เดินเรือ

เจียม อัมระปาล

กรมยุทธศึกษาทหารเรือ

ห้องสมุด
ก.ฝ.ร.
สัตหีบ ชลบุรี

สมบัติของกองทัพเรือ
โปรดนำส่งคืนเพื่อประโยชน์ส่วนรวมต่อไป

เดินเรือ

เจียม อัมระปาล

พิมพ์ครั้งที่ ๕ จำนวน ๑,๐๐๐ เล่ม

พ.ศ. ๒๕๓๕

7984

- 8 ส.ย. 2553

623.89

จ616ต

2535

ฉ.31



ที่ ๑/๙๓

อนุมัติบัตร

ด้วย น.อ. เจียม อัมระปาล ได้เรียบเรียงตำราว่าด้วยการเดินเรือขึ้นเพื่อใช้ราชการในกองทัพเรือ ฉะนั้นจึงอนุมัติให้หนังสือนี้เป็นตำราสำหรับใช้สอนในโรงเรียนทหารของกองทัพเรือ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป.

พลเรือเอก ส. กมลนาวิน

ผู้บัญชาการทหารเรือ

ที่ว่าการกองทัพเรือ

๑๗ พ.ค. ๙๓

คำนำในการพิมพ์ครั้งแรก

การทำหนังสือเดินเรือเล่มนี้ได้รวบรวมเรียบเรียงและแปลจากหนังสือต่อไปนี้

1. ตำราเดินเรือของพลเรือโทพระยาราชวังสัน(ศรีกมลนาวิน)
2. แนวการสอนวิชาเดินเรือของ นาวาเอก หลวงศรีพยัตต์ (ล้อม ศรีพยัตต์)
3. **Admiralty Navigation Manual. 1938, Vol. I, II & III.**
4. **Navigation and Nautical Astronomy by Dutton, 1932,1943 & 1948**
5. **Text-Book on Navigation** (ญี่ปุ่น)
6. **The American Practical Navigator by Bowditch, 1938**
7. **An Introduction to Navigation and Nautical Astronomy by Shute-Shirk-Porter-Hemenway, 1944**

นอกจากนี้แล้วอาศัยความรู้ ที่บรรดาครูและอาจารย์ได้สั่งสอนและแนะนำไว้ตั้งแต่ยังเป็นนักเรียนนายเรือ เมื่อ พ.ศ.2464 เป็นต้นมา และมีอีกผู้หนึ่งซึ่งจะงดกล่าวถึงเสียมิได้ เพราะท่านผู้นี้ได้สละเวลาส่วนตัวของท่านสั่งสอนและแนะนำวิชาเดินเรือนี้ ให้แก่ข้าพเจ้าที่บ้านของท่าน เมื่อ พ.ศ.2464-2465 ขณะที่ข้าพเจ้ายังเป็นนักเรียนนายเรือชั้น 1 อยู่โดยทั้ง ๆ ที่ท่านมิได้มีหน้าที่เป็นครูสอนแต่อย่างใดเลย และทั้งไม่มีความสัมพันธ์ในทางส่วนตัวกันแต่อย่างใดด้วย แต่เป็นเพราะท่านรักวิชาการทหารเรือและชอบเผยแพร่วิชาการทหารเรือให้แก่ผู้ที่สนใจทั่ว ๆ ไป ท่านผู้นี้คือ พลเรือตรี หลวงชลธารพฤติไกร (พงษ์ อาศนะเสน) เจ้ากรมอุทกศาสตร์ปัจจุบัน ซึ่งในขณะนั้นท่านมียศเป็นเรือโท ข้าพเจ้าขอถือโอกาสขอบพระคุณท่านไว้อย่างสูงในที่นี้ด้วย เพราะท่านเป็นผู้ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจ และมีความพยายามทำหนังสือนี้ให้สำเร็จขึ้นเป็นเล่ม

อนึ่ง ถ้าอ่านผู้ใดพบข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดอย่างหนึ่งอย่างใดในหนังสือเล่มนี้แล้ว ขอได้โปรดกรุณาแจ้งให้ข้าพเจ้าทราบด้วย จะเป็นพระคุณยิ่ง เพื่อจะได้แก้ไขให้เรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

กรมอุทกศาสตร์ นาวาเอก เจียม อัมระปาล

เมษายน 2493

คำนำในการพิมพ์ครั้งที่สอง

หนังสือเดินเรือเล่มนี้ ได้พิมพ์ขึ้นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2493 จำนวน 500 เล่ม ต่อมาหนังสือเดินเรือนี้ได้หมดลงไม่มีพอจ่ายสำหรับการศึกษาในกองทัพเรือ กองทัพเรือจึงให้พิมพ์ขึ้นเป็นครั้งที่สองจำนวน 1,000 เล่ม การพิมพ์ครั้งที่สองนี้มิได้มีการแก้ไขให้ผิดแผกไปจากเล่มที่พิมพ์ครั้งแรกเมื่อ พ.ศ.2493 แต่อย่างใด นอกจากแก้ตัวสะกดการันต์ให้ถูกต้องตามกาลสมัย ซึ่งกันอยู่ในขณะนี้เท่านั้น และได้เพิ่มตอนที่ 13 ว่าด้วยเดินเรือช่วยชีวิตขึ้นอีก 1 ตอน

กรมการขนส่งทหารเรือ
19 ธันวาคม 2500

พลเรือจัตวา เจียม อัมระปาล

คำนำในการพิมพ์ครั้งที่สาม

การพิมพ์หนังสือเดินเรือครั้งที่สามนี้ เนื่องจากหนังสือที่พิมพ์ครั้งที่สองเมื่อ พ.ศ.2500 หมดลง กรมยุทธศึกษาทหารเรือจึงพิมพ์ขึ้นเป็นครั้งที่สาม การพิมพ์ครั้งที่สามนี้มิได้แก้ไขฉบับพิมพ์ครั้งที่สองแต่อย่างใด แต่ได้เพิ่ม ตอนที่ 14 ว่าด้วยเดินเรือดอพเล่อร์ และตอนที่ 15 ว่าด้วยเดินเรือความเฉื่อยขึ้นอีกสองตอนเท่านั้น

ข้าราชการบำนาญสังกัดกองทัพเรือ พลเรือตรี เจียม อัมระปาล
กระทรวงกลาโหม
22 พฤศจิกายน 2519

สารบัญ

หน้า

เดินเรือ

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ศัพท์ 1

ตอนที่ 2 หน่วยการวัด-ละติจูด และลองจิจูด-หาละติจูดเปลี่ยน-หาละติจูดเปลี่ยน ส่วนเมริเดียน-หาละติจูดถึง-หาลองจิจูดเปลี่ยน-หาลองจิจูดถึง-หาละติจูดกลาง 18

ตอนที่ 3 การแก้เข็มและแบริง
วาริเอชั่น-แผนที่วาริเอชั่น-วิธีแก้เข็ม-ดิวิเอชั่น ของเข็มทิศ-การแก้เข็มด้วยดิวิเอชั่น-การตรวจสอบดิวิเอชั่น-ลีเวย์-วิธีแก้ลีเวย์ 34

ตอนที่ 4 แผนที่เดินเรือหรือแผนที่ทะเล-ชนิดของแผนที่เดิน เรือ-ระยะทาง และทิศระหว่างที่สองตำบล-แผนที่เมอเคเตอร์-มาตราส่วนในแผนที่เมอเคเตอร์-การแบ่งขอบแผ่นที่-ส่วนเมริเดียน-วิธีหาส่วนเมริเดียนของละติจูดต่าง ๆ-วิธีสร้างแผนที่เมอเคเตอร์-การวัดระยะทางในแผนที่-วิธีวัดระยะทางในแผนที่เมอเคเตอร์-วิธีลงตำบลที่ด้วยละติจูด และลองจิจูดในแผนที่-วิธีหาละติจูด และลองจิจูดของจุดในแผนที่-วิธีหาทิศหรือเข็มในระหว่างที่สองตำบล-ทิศในแผนที่เมอเคเตอร์-วงเข็มทิศในแผนที่-แผนที่ขยาย-มาตราส่วน-มาตราส่วน **Natural** -มาตราส่วนละติจูด-มาตราส่วนลองจิจูด-แผ่นจดที่เรือ-แผนที่โนโมนิก-การใช้แผนที่เดินเรือ-คำแนะนำในการใช้แผนที่เดินเรือ-บรรณสารการเดินเรือต่าง ๆ-หนังสือนำร่อง-ทำเนียบไฟ,สัญญาณหมอกและทัศนสัญญาณเทียบเวลา, ทำเนียบวิทยุ-มาตราน้ำ-เครื่องหมายและอักษรย่อ-ประกาศชาวเรือ-มาตราระยะทาง-บัญชีราคาแผนที่-การแก้แผนที่เดินเรือ 56

หน้า

ตอนที่ 5 แนวทางเรือ
การชี้ดแนวทางเรือ-วิธีหาเข็มเมื่อแล่นในที่ ๆ มีกระแสน้ำขึ้นลง-วิธีหาหรือลงที่เรือรายงาน ในระหว่างแปรกระบวน 104

ตอนที่ 6 วิธีหาที่เรือโดยการตรวจวัตถุบนพื้นโลก และวิธีหาที่เรือในเมื่อมีกระแสน้ำขึ้นลง
วิธีหาเส้นตำบลที่-การเลื่อนเส้นตำบลที่-การใช้เส้นตำบลที่เส้นเดียว-วิธีหาที่เรือเมื่อเห็นวัตถุบนพื้นโลก-การเลือกวัตถุสำหรับวัดหาที่เรือแบริง-การลงตำบลที่เรือที่หาได้โดยการวัดมุมแนวนอน-มุม สำหรับตรวจสอบ-การเลือกวัตถุสำหรับหาที่เรือโดยวัดมุมแนวนอน-เครื่องตั้งมุมและวิธีใช้-การหาที่เรือในที่มีกระแสน้ำขึ้นลง และกระแสน้ำ-แบริงอันตราย,มุมอันตรายและวิธีหลีกที่อันตราย 121

ตอนที่ 7 แล่นเรือต่าง ๆ นอกจากแล่นเรือวงใหญ่และแล่นเรือผสม
ระยะทางบนวงขนานละติจูด-ละติจูดกลางจริง-ละติจูดกลาง-วิธีหาละติจูดกลางจริง-สูตรแล่นเรือตามเส้นเกลียว-แล่นเรือตรง-มาตราทราเวิส-วิธีใช้มาตราทราเวิส- แล่นเรือลดเลี้ยว-แล่นเรือขนาน-แล่นเรือละติจูดกลาง-แล่นเรือเมอเคเตอร์-แล่นเรือกระแสน้ำ-รายงานประจำวัน-วิธีทำรายงานประจำวันโดยการชี้ดลงในแผนที่ 178

ตอนที่ 8 แผนที่วงใหญ่,แล่นเรือวงใหญ่และแล่นเรือผสม
ทางวงใหญ่ในแผนที่เมอเคเตอร์-แผนที่วงใหญ่หรือแผนที่โนโมนิก-แผนที่ขั้วโลก-การสร้างแผนที่ขั้วโลก-วิธีเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์-วิเคราะห์ศัพท์ในแล่นเรือวงใหญ่-แล่นเรือวงใหญ่-แล่นเรือผสม-แบริงวิทยุเป็นวงใหญ่ 254

หน้า

ตอนที่ 9 เข็มทิศแม่เหล็ก
เข็มทิศแม่เหล็ก ชนิดเข็มแห้ง-เข็มทิศแม่เหล็ก ชนิดเข็มน้ำ-เรือนเข็มทิศ-การระวังรักษา- กฎข้อบังคับที่จะต้องพิจารณาในการจัดวางโครงเรือและติดตั้งส่วนประกอบในบริเวณเข็มทิศและโครโนเมตร 302

ตอนที่ 10 การหมุนเรือหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศ
ข้อเตือนใจที่ต้องปฏิบัติก่อนหมุนเรือ-วิธีหมุนเรือหาดิวิเอชั่น-เส้นโค้งดิวิเอชั่น 317

ตอนที่ 11 เข็มทิศไยโร
ไยโรสโคป-ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรในเรือ-การใช้เข็มทิศไยโร-ข้อดีของเข็มทิศไยโร-ข้อเสียของเข็มทิศไยโร-เข็มทิศไยโรย่อย 347

ตอนที่ 12 เดินเรืออีเล็กตรอนิก
แบริงวิทยุ-เครื่องวิทยุหาทิศ-เครื่องวิทยุหาทิศในเรือ-กระโจมวิทยุ-สถานีวิทยุหาระยะทาง- มาตราแปลงกลับแบริงวิทยุ-เรดาร์-เครื่องเรดาร์-ข้อดีของเรดาร์-ข้อเสียของเรดาร์-ที่เรือแบริงเรดาร์-หาที่เรือโดย VPR -แผนที่ VPR-เรดอนหรือกระโจมเรดาร์-ชอแรน-ลอแรนข้อดีของระบบลอแรน-ข้อเสียของลอแรน-การรบกวน- การเทียบสัญญาณลอแรน-วิธีอ่านค่าผลต่างของเวลา-มาตราลอแรน-แผนที่ลอแรน-วิธีขีดเส้นตำบลที่ลอแรนโดยใช้แผนที่-วิธีเขียนเส้นตำบลที่ลอแรน โดยใช้มาตรา-กี-เด็กก้า-คอนโซล-โซฟาร์ 360

ตอนที่ 13 เดินเรือช่วยชีวิต
การเตรียมการเพื่อภาวะฉุกเฉิน-การจัดระเบียบ หรือสถานีในเรือช่วยชีวิต-ขวัญ-ที่เรือรายงาน-ทิศทาง-อัตราเร็ว-

หน้า

มาตราทราเวิส-การวัดสูง-การวัดระยะเชนิธด้วยโปร แตรก
เตอร์-การวัดสูงด้วยโปรแตรกเตอร์-การวัดสูงโดยไม่ใช้
โปรแตรกเตอร์-ความยาวของเงา-ไม้กากบาท-การเทียบ
เชิงเส้น-การแก้สูงวัด-เส้นตำบลที่-หาละติจูด- แลต.
โดยดาวเหนือ-สูงบนเมริเดียน-หาดิคลิเนชั่น ของดวง
อาทิตย์-หาลองจิจูด-การกะประมาณระยะทาง- - - -- 434

ตอนที่ 14 เดินเรือดอพเล่อร์
คำนำ-กลศาสตร์ การเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์-สัญญาณ
โซนิกที่ส่งผ่านน้ำทะเล-อัตราเร็วเสียง-เสียงสัญญาณแผ่ว
เบาลง-ขนาดความดังของเสียงสะท้อน-เครื่องมือเดินเรือ
ดอพเล่อร์-ความแม่นยำ-ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ สำหรับ
รักษาให้การจดที่เรือรายงานแม่นยำในทะเล- เครื่องมือ
เดินเรือดอพเล่อร์ยุคที่สอง-ใช้ระบบเดินเรือดอพเล่อร์
นำเรือบรรทุกน้ำมันเข้าอู่-ข้อยุติ - - - - - - - - 471

ตอนที่ 15 เดินเรือความเฉื่อย
คำจำกัดความ-ระบบเดินเรือความเฉื่อยของเรือ-ภูมิหลัง-
แนวความคิด-มาตรวัดความเร่ง-ไยโรสโคป- ไยโรสโคป
อินทิเกรดอัตรา-ไยโรสโคปแต่งอัตรา-อัตราผิดของเดิน
เรือความเฉื่อย-อัตราผิดการอยู่ในแนวอัตราหมุนรอบของ
โลก-การให้แท่นเครื่องเข้าแนว โดยใช้อัตราหมุนรอบ
ของโลก-การลอยของไยโร-อัตราผิดเบ็ดเตล็ด-แนวทาง
การปรับแต่งให้เข้ารูป-มอนิเตอร์ไยโร-เดินเรือความเฉื่อย
Stellar-มุมเวคเตอร์-ระบบโคออดิเนต- ระบบโคออดิ
เนตของเรือ-ระบบโคออดิเนตภูมิศาสตร์ของท้องถิ่น- -
ระบบโคออดิเนตอิเควเตอร์-เครื่องคำนวณ-ข้อยุติ
- - - - - - - - - - - - - - - - ต่อจากหน้า 481

เดินเรือ

เดินเรือ เป็นศิลป์สำหรับหาตำบลที่เรือในขณะใดขณะหนึ่งและสำหรับนำเรือจากที่แห่งหนึ่งไปยังแห่งอื่นให้ปลอดภัย

เดินเรือไม่ใช่วิทยาศาสตร์โดยแท้ทีเดียว เพราะวิธีทำง่ายและกำหนดวิธีทำไว้หลายวิธีซึ่งไม่สู้ละเอียดแท้นัก แต่เมื่อนำไปใช้ภายในขอบเขตแล้วก็ไม่ทำให้ผิดมากนัก

เดินเรือแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

(ก) เดินเรือ (Geo-Navigation) เดินเรือประเภทนี้หาตำบลที่เรือได้สองวิธี คือ

(1) โดยการนำร่อง (Piloting) คือการหาตำบลที่เรือ จากวัตถุที่แลเห็นบนพื้นโลก

(2) โดยที่เรือรายงาน (Dead reckoning) คือการหาตำบลที่เรือในขณะใดขณะหนึ่งจากตำบลที่เรือที่ทราบครั้งสุดท้าย โดยใช้ทิศทางและระยะทางเข้าคิด

เดินเรือประเภท (ก) นี้ ในการคำนวณใช้กฎของตรีโกณมิติด้านตรง ใช้มุมและระยะทางซึ่งหาได้จากเข็มทิศและล็อก

(ข) ดาราศาสตร์เดินเรือ (Celo-Navigation หรือNautical Astronomy) เดินเรือประเภทนี้หาตำบลที่เรือบนพื้นโลก โดยใช้วัตถุท้องฟ้า เช่นใช้ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์, ดาวนพเคราะห์ และดาวฤกษ์ หรือเรียกอย่างย่อว่า ใช้วัดแดดหรือวัดดาว

เดินเรือประเภท (ข) นี้ ในการคำนวณใช้กฎของตรีโกณมิติทรงกลม เครื่องมือที่สำคัญที่ใช้มี เครื่องวัดแดด นาฬิกาโครโนเมตรและปฏิทินเดินเรือ

ตอนที่ 1
วิเคราะห์ศัพท์

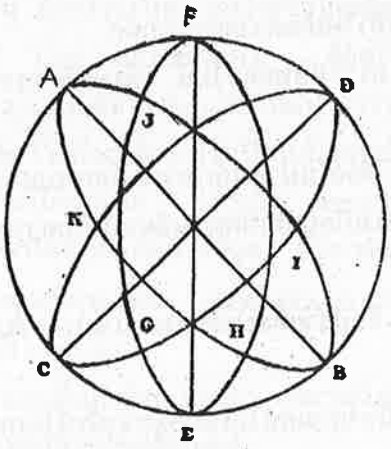
ทรงกลม (Sphere) เป็นผิวพื้นซึ่งมีจุดทุกจุดอยู่ในระยะห่างเท่า ๆ กันจากจุดประจำจุดหนึ่งภายใน จุดประจำนี้เรียกว่าศูนย์กลางทรงกลม

เส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter) เป็นเส้นตรงลากผ่านศูนย์กลางและปลายทั้งสองบรรจบกับเส้นรอบวง

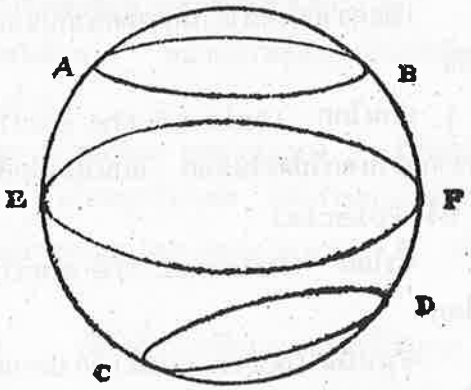
รัศมี (Radius) เป็นเส้นตรงซึ่งต่อจุดใดจุดหนึ่งของผิวพื้นกับศูนย์กลาง

วงใหญ่ (Great circle) เป็นวงกลมบนผิวพื้นทรงกลมซึ่งมีพื้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม ฉะนั้นวงใหญ่จึงแบ่งทรงกลมออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน

วงเล็ก (Small circle) เป็นวงกลมบนผิวพื้นทรงกลมซึ่งมีพื้นไม่ผ่านศูนย์กลางทรงกลม ฉะนั้นวงเล็กจึงแบ่งทรงกลมออกเป็นส่วนไม่เท่ากัน



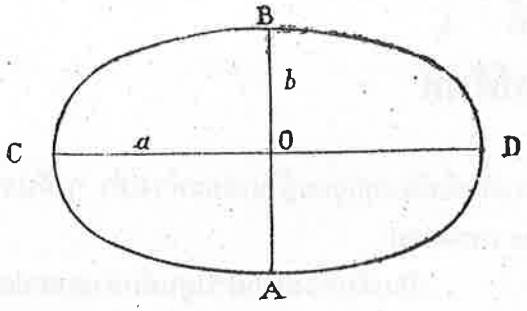
รูป ๑



รูป ๒

AHBJ, FJEH และ CIDK เป็นวงใหญ่ AB และ CD เป็นวงเล็ก

สัณฐานของโลก (Shape of the earth) โลกมีสัณฐานเกือบคล้ายรูปสะเฟียรอยด์ซึ่งขั้วทั้งสองแบน (Oblate spheroid)กล่าวคือเป็นรูปอิลลิปซอยด์ ซึ่งเกิดจากการหมุนรูปอิลลิปซ์ โดยรอบแกนสั้นเช่นหมุนรูปอิลลิปซ์ ABCD โดยรอบแก่นสั้น AB ในรูป 3



รูป ๓

เมื่อมีพื้นหนึ่งพื้นใดผ่านตลอดแกนโลกเข้าไปพื้นหน้าตัดของแกนโลกก็เกือบเป็นรูปอิลลิปซ์ ซึ่งมีแกนยาวเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางอิเควเตอร์ของโลก และแกนสั้นเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางขั้วโลก เส้นผ่าศูนย์กลางอันยาวหรือเส้นผ่าศูนย์กลางอิเควเตอร์ ยาว 12756.7760 กม. (หรือ 6888.10 ไมล์ทะเล) บางตำราว่า (Navigation and Nautical Astronomy by Dutton) ยาวประมาณ 6884 ไมล์ทะเล และเส้นผ่าศูนย์กลางอันสั้นหรือเส้นผ่าศูนย์กลางขั้วโลกยาว 12713.8238 กม (หรือ 6864.90 ไมล์ทะเล) บางตำรา (Navigation and Nautical Astronomy by Dutton) ว่ายาวประมาณ 6860.5 ไมล์ทะเล ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าสัณฐานของโลกไม่แตกต่างจากทรงกลมเท่าใดนัก การคำนวณในวิชาเดินเรือภาคปฏิบัติคิดคำนวณโดยถือเสียว่า โลกเป็นทรงกลมจริงได้โดยไม่ทำให้เกิดความผิดมากนัก

เพื่อความมุ่งหมายในการตกลงกันและวิเคราะห์ศัพท์ต่อไปนี้ ได้สมมุติถือเอาว่าโลกเป็นทรงกลมจริง

แกนโลก (Axis of the earth) คือเส้นผ่าศูนย์กลางซึ่งโลกหมุนอยู่ด้วยความเร็วประจำจากตะวันตกไปตะวันออก แกนนี้อยู่ใกล้เคียงเกือบเป็นทิศทางเดียวกันกับดาวเหนือ (Pole star หรือ Polaris)

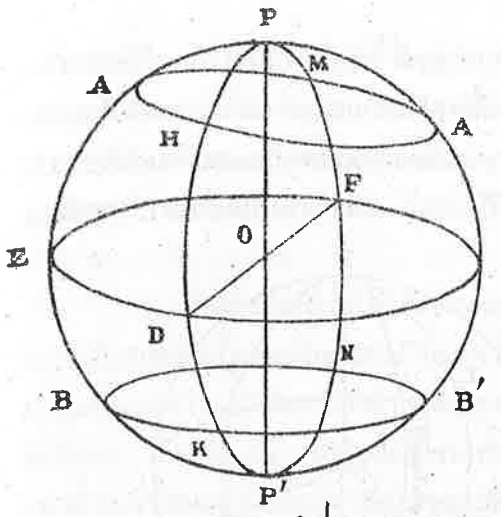
ขั้วโลก (Poles of the earth) คือปลายทั้งสองของแกนโลก ที่มาบรรจบกันกับพื้นผิวโลก

ขั้วเหนือ (North pole) คือ ปลายเหนือของแกนโลกเมื่อดูจากขั้วนี้โลกหมุนรอบตัวไปในทางตรงข้ามกับเข็มนาฬิกา

ขั้วใต้ (South pole) คือปลายใต้ของแกนโลกหรือขั้วซึ่งตรงกันข้ามกับขั้วเหนือ

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก (East and west) ทิศทางซึ่งโลกหมุนไปรอบแกนตัวเองเรียกว่า ทิศตะวันออก ทิศทางตรงข้ามเรียกว่า ทิศตะวันตก

อิเควเตอร์ (Equator) คือ วงใหญ่ของโลกซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างขั้วโลกทั้งสอง - พื้นของอิเควเตอร์ตั้งได้ฉากกับแกนโลกและผ่านจุดศูนย์กลางโลก จุดทุกจุดบนอิเควเตอร์อยู่ห่างจากขั้วโลกแต่ละขั้ว 90° อิเควเตอร์แบ่งโลกออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน เรียกว่ากึ่งทรงกลมเหนือ และกึ่งทรงกลมใต้ (อิเควเตอร์นี้บางทีก็เรียกว่า Equinoctial และชาวเรือเรียกกันว่า the Line)



รูป ๔

O เป็นศูนย์กลางโลก PP' เป็นแกนโลก , P และ P'เป็นขั้วโลก EDQF เป็นอิเควเตอร์ OD,OF,OQ และ OP' เป็นรัศมี PDP'F, PEP'Q และ EDQE เป็นวงใหญ่ AHA'M เป็นวงเล็ก BKB'N เป็นวงขนานละติจูด

เมริเดียน (Meridians) เป็นวงใหญ่ของโลกซึ่งผ่านขั้วโลกทั้งสอง ฉะนั้นพื้นเมริเดียนทุกพื้นจึงมีแกนโลกร่วมอยู่ด้วยและแกนโลกแบ่งเมริเดียนทุกเมริเดียนออกเป็นครึ่งวงใหญ่สองวงเท่ากัน ฉะนั้นเมริเดียนจึงตั้งได้ฉากกับอิเควเตอร์

สำหรับที่ตำบลหนึ่งตำบลใด เมริเดียนส่วนบน (Upper branch of themeridians) ของที่ตำบลนั้น คือครึ่งวงใหญ่ระหว่างขั้วโลกทั้งสองซึ่งผ่านที่ตำบลนั้น เมริเดียนส่วนล่าง (Lower branch of the meridians) คือครึ่งวงใหญ่ซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามของแกนโลก

ตามปรกติที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนั้น คำว่า"เมริเดียน" หมายความเฉพาะถึงเมริเดียนส่วนบนเท่านั้น เว้นไว้แต่จะได้กล่าวว่าเป็นเมริเดียนส่วนล่าง

เมริเดียนแรก (First meridian or prime meridian) เป็นเมริเดียนที่ใช้เป็นต้นกำเนิดสำหรับวัดลองจิจูด ประเทศต่าง ๆ เกือบทุกประเทศ ยอมรับตกลงใช้เมริเดียนของหอตรวจดาวเมืองกรีนิช (The Royal Observatory at Greenwich) ประเทศอังกฤษเป็นเมริเดียนแรก

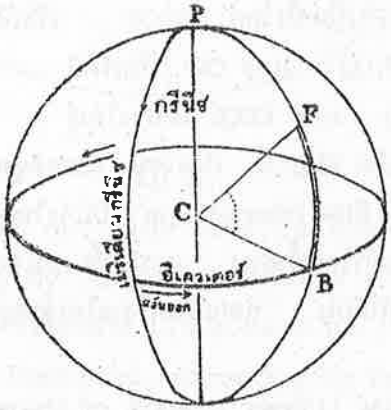
แอนตี้เมริเดียน (Anti-meridian) เป็นครึ่งเมริเดียนของเมริเดียนแรก ที่ทำให้เมริเดียนแรกเป็นวงใหญ่สมบูรณ์

ละติจูด (Latitude ใช้อักษร L) ของตำบลที่เป็นระยะทางเชิงมุม (Angular distance) นับไปทางเหนือหรือใต้ของอิเควเตอร์ วัดตามขอบเมริเดียนซึ่งผ่านตำบลที่นั้นจาก 0° ถึง 90° ละติจูดนี้เป็นมุมที่ศูนย์กลางโลกในระหว่างขอบเมริเดียนซึ่งผ่านอิเควเตอร์และตำบลที่นั้น

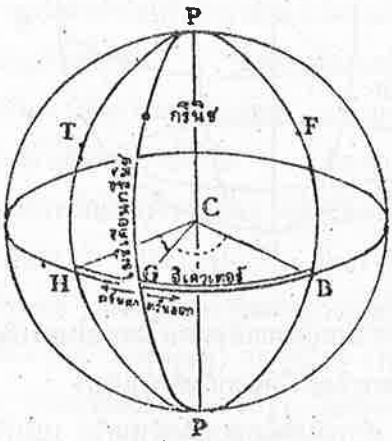
วงขนานละติจูด (Parallels or par allels of latitude) เป็นวงกลมของผิวพื้นโลกซึ่งมีพื้นขนานกับพื้นอิเควเตอร์

ลองจิจูด (Longitude ใช้อักษร λ) ของตำบลที่เป็นระยะทางเชิงมุม (Angular distance) ในระหว่างเมริเดียนแรกและเมริเดียนซึ่งผ่านตำบลที่ หรือเป็นขอบของ

อิเควเตอร์ในระหว่างเมริเดียนแรก และเมริเดียนซึ่งผ่านตำบลที่ หรือเป็นมุมที่ขั้วโลก ในระหว่างเมริเดียนแรกและเมริเดียนซึ่งผ่านตำบลที่ หรือเป็นมุมที่แกนโลกในระหว่างพื้นของเมริเดียนแรกและพื้นของเมริเดียนซึ่งผ่านตำบลที่ ตามปรกติวัดไปทางตะวันออกหรือตะวันตกของเมริเดียนแรก วัดเป็นองศา (Degree)และลิบดา (Minute)จาก 0° ถึง 180° แต่อาจวัดเป็นชั่วโมง, นาทีและวินาทีจาก 0 ชั่วโมงถึง 12 ชั่วโมงก็ได้



รูป 5 ก.

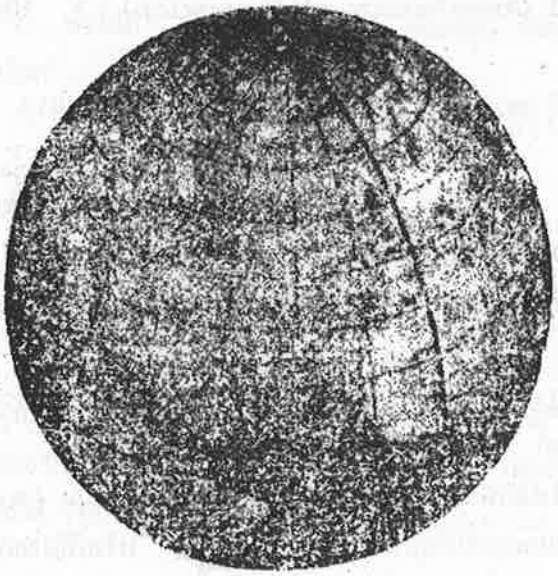


รูป 5 ข.

ในรูป 5 ก. ละติจูดของ 'F คือมุม 'FCB หรือขอบ 'FB ทางเหนือของอิเควเตอร์

ในรูป 5 ข. ลองจิจูดของ 'F คือขอบ GB หรือมุม GCB หรือมุม GPB ตะวันออกของกรีนิช และลองจิจูดของ 'T คือขอบ GH หรือมุม GCH หรือมุม GPH ตะวันตกของกรีนิช

ในรูป 6 แสดงให้เห็นเมริเดียนแรก, เมริเดียนของลองจิจูดตะวันออก และตะวันตก, อิเควเตอร์ และวงขนานละติจูด จะเห็นได้ว่าลองจิจูดทวีขึ้น ทั้งทางตะวันออกและทางตะวันตก - จากเมริเดียนกรีนิชและละติจูดทวีขึ้นทางเหนือและทางใต้จากอิเควเตอร์



รูป ๖

ละติจูดเปลี่ยน (**Difference of latitude** ใช้อักษร 1)ของที่สองตำบลเป็นความยาวของขอบ-เมริเดียนในระหว่างวงขนานละติจูดของตำบลที่ทั้งสองคิดเป็นมุม (Angular length) ถ้าตำบลที่ทั้งสองอยู่บนอิเควเตอร์ข้างเดียวกัน (คือบนกึ่งทรงกลมเดียวกัน) ละติจูด

เปลี่ยนเท่ากับผลลบของละติจูดทั้งสอง ถ้าหากว่าตำบลที่ทั้งสองอยู่ต่างข้างของอิเควเตอร์แล้ว ละติจูดเปลี่ยนเท่ากับผลบวกของละติจูดทั้งสอง ฉะนั้นละติจูดเปลี่ยนของเรือ เป็นระยะทางจริง ระหว่างที่สองตำบล (Distance made good) ที่เรือแล่นเหนือหรือใต้ตรง วิธีนี้ใช้เรียกว่า "แล่นเหนือตรง" (Northing) หรือ "แล่นใต้ตรง" (Southing) ด้วยเหมือนกัน ใช้อักษรย่อ N. หรือ S.

ลองจิจูดเปลี่ยน (Difference of longitude ใช้อักษร DLo) ของที่สองตำบลเป็นขอบอันสั้นของอิเควเตอร์ในระหว่างเมริเดียน ซึ่งผ่านตำบลที่ทั้งสองนั้น หรือเป็นมุมที่ขั้วโลกในระหว่างเมริเดียนของตำบลที่ทั้งสอง ถ้าที่สองตำบลนั้นอยู่ในลองจิจูดตะวันออก (หรือตะวันตก) ด้วยกันแล้ว ลองจิจูดเปลี่ยนเท่ากับผลลบของลองจิจูดของตำบลที่ทั้งสอง ถ้าลองจิจูดของตำบลที่ทั้งสองมีชื่อผิดกัน ลองจิจูดเปลี่ยนเท่ากับผลบวกของลองจิจูดทั้งสอง เว้นเสียแต่ว่าถ้าผลบวกของลองจิจูดเกินกว่า 180° แล้ว ลองจิจูดเปลี่ยนเท่ากับ 360° ลบด้วยผลบวกของลองจิจูดนั้น

ละติจูดออก (Latitude from) คือ ละติจูดของตำบลที่ออกเรือ

ละติจูดถึง (Latitude in) คือ ละติจูดของตำบลที่เรือไปถึง

ลองจิจูดออก (Longitude from) คือลองจิจูดของตำบลที่ออกเรือ

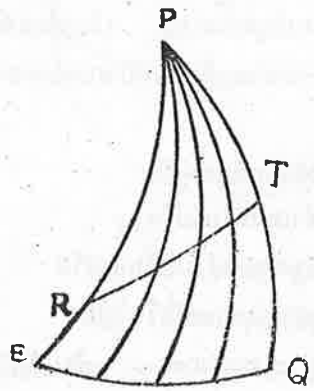
ลองจิจูดถึง (Longitude in) คือลองจิจูดของตำบลที่เรือไปถึง

เส้นเกลียว (Rhumb line or loxodromic curve) เป็นเส้นโค้งซึ่งลากไปตามผิวพื้นโลก ซึ่งทำมุมกับเมริเดียนเท่ากันทุกเมริเดียนหรือเป็นเส้นโค้งซึ่งลากต่อตามจุดต่างๆ บนผิวโลกติดต่อกันไปตามแนวทางที่เรือแล่นไปโดยมิได้เปลี่ยนเข็มเลย ที่สองตำบลใด ๆ ก็ตามย่อมมีเส้นเกลียวต่อถึงกันได้

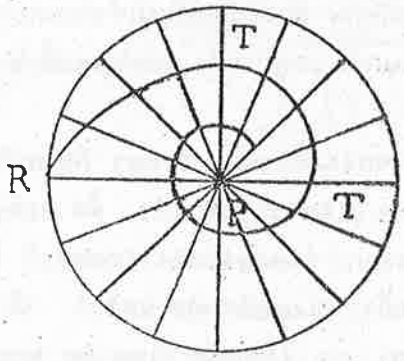
เส้นเกลียวนี้ทับร่วมกับเมริเดียน ในเมื่อแล่นเข็มเหนือตรงหรือใต้ตรง หรือร่วมกับอิเควเตอร์และวงขนานละติจูดเมื่อแล่นเข็มตะวันออกตรงหรือตะวันตกตรง ถ้าแล่นเข็มอื่น ๆ (เส้นเกลียวอื่น ๆ) นอกจากที่กล่าวแล้วเส้นเกลียวจะเป็นเส้นโค้งรูปก้นหอย (Loxodromic curve) โค้งเข้าหาขั้วโลกขั้วใดขั้วหนึ่งใกล้มากเข้าทุกรอบ แต่จะไปไม่ถึงขั้วโลกเลย

ตามวิเคราะห์ศัพท์ที่กล่าวแล้วจะเห็นได้ว่าเมริเดียน, อิเควเตอร์และวงขนานละติจูดเป็นเส้นเกลียว แต่เมริเดียนและอิเควเตอร์เป็นวงใหญ่ด้วยจึงไม่นับว่าเป็นเส้นเกลียว ส่วนวงขนานละติจูดนั้นเป็นเส้นเกลียวชนิดพิเศษเพราะวงขนานละติจูดทำมุมฉากกับเมริเดียนทุกอันและทุก ๆ แห่งบนวงขนานละติจูดอยู่ห่างจากขั้วโลกเท่ากัน

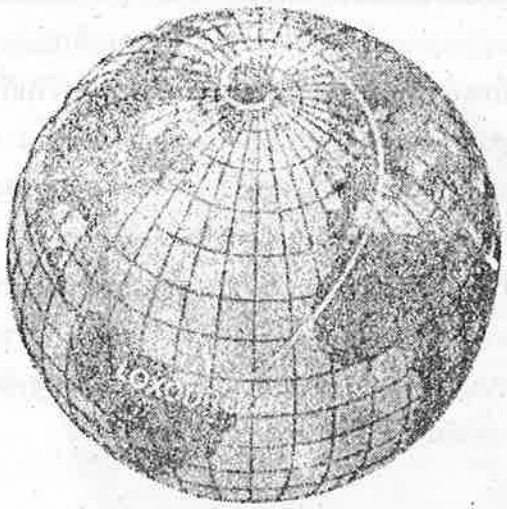
รูป 7 ค. แสดงเส้นเกลียวซึ่งตัดกับเมริเดียนเป็นมุม 60 องศา จะสังเกตเห็นได้ว่าในละติจูดต่ำ ๆ ใกล้อิเควเตอร์นั้น เส้นโค้งก้นหอยเป็นเส้นแบนงาม (ไม่สู้จะโค้งมาก) และเมื่อเกลียวนั้นนับว่าเกือบเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดบนผิวพื้นโลก และเมื่อยิ่งเข้าไปใกล้ขั้วโลกมากเข้า เส้นโค้งรูปก้นหอยก็ยิ่งวนมากขึ้นทุกที ทั้งนี้เนื่องจากว่าเส้นโค้งจะต้องตัดกับเมริเดียน ซึ่งสอบไปรวมกันที่ขั้วโลกให้เป็นมุมเท่ากัน ฉะนั้น ความแตกต่างกันระหว่างระยะทางบนวงใหญ่และระยะทางตามเส้นเกลียวยิ่งมีมากขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ดีในการแล่นเรือระยะทางไกลพอประมาณใช้แล่นเข็มเดียวประจำมีความสะดวกมาก ฉะนั้น จึงนิยมการแล่นเรือตามเส้นเกลียวกันมากกว่าตามเส้นทางวงใหญ่ เว้นไว้แต่ว่าระยะทางระหว่างตำบลที่ออกเรือและที่เรือถึงอยู่ห่างกันมากมาย



ก.



ข.



ค.

RT และ RTT' เป็นเส้นเกลียว

รูปที่ 7

ไมล์ทะเล (Nautical mile or sea mile) เป็นความยาวเฉลี่ยของละติจูดหนึ่งลิบดา (One minute of latitude) หรือความยาวของขอบเมริเดียนหนึ่งลิบดา หรือความยาวของขอบอิเควเตอร์หนึ่งลิบดา ซึ่งนักเดินเรือใช้เป็นหน่วยสำหรับวัดความยาว เท่ากับ 6080 ฟุต (หรือ 1853.2 เมตร)

อังกฤษใช้หน่วยนี้เท่ากับ 6080 ฟุต (หรือ 1853.2 เมตร) ซึ่งเกือบเท่ากับความยาวของหนึ่งลิบดาของละติจูด 48°

สหรัฐอเมริกากำหนดให้หน่วยความยาวนี้เท่ากับ 6080.27 ฟุต (1853.3 เมตร) และเท่ากับหนึ่งลิบดาของขอบวงใหญ่ของทรงกลมซึ่งมีเนื้อที่ผิวพื้นเท่ากับเนื้อที่ผิวพื้นของโลก

บรรดาประเทศที่ใช้มาตราเมตริกเช่นเยอรมันนี, ฝรั่งเศส, ญี่ปุ่น ใช้ความยาวนี้เท่ากับ 1852.20 เมตร) (หรือ 6076.82 ฟุต) หรือ 1852 เมตร (ใกล้เคียง) ซึ่งเป็นความยาวเฉลี่ยของหนึ่งลิบดาของขอบเมริเดียนหรือความยาวของหนึ่งลิบดาของละติจูดในละติจูด 45° แต่ตามทางปฏิบัติแล้วไม่ถือว่า ค่าของความยาวเหล่านี้ทำให้เกิดผลแตกต่างมากมายอย่างใด

ความยาวเฉลี่ยนี้ใช้วัดตามขอบเมริเดียน ซึ่งผ่านตำบลที่สมมุติให้เท่ากับความยาวของละติจูดหนึ่งลิบดา แต่ความยาวนี้ไม่เท่ากันทุกแห่ง ต่างกันตามละติจูดเนื่องจากสัณฐานของโลกไม่กลมจริง เมื่อละติจูดยิ่งสูงขึ้นความยาวยิ่งทวีมากขึ้น ความยาวของละติจูดหนึ่งลิบดา หาได้จากสูตรต่อไปนี้เมื่อ L เป็นละติจูด

ความยาวของ 1' ละติจูด = (1852.2-9.5 Cos 2 L) เมตร

หรือ = (6076.8-31.1 Cos 2 L) ฟุต

ที่อิเควเตอร์ความยาวของหนึ่งลิบดาละติจูดเท่ากับ 6046 ฟุต ที่ขั้วโลกเท่ากับ 6108 ฟุต

สำหรับการเดินเรือทั่ว ๆ ไปไมล์ทะเลคิดให้เท่ากับหนึ่งลิบดา ของละติจูดตลอดทุกภาคของโลก ไม่ว่าเรือจะเปลี่ยนตำบลที่ไปอย่างใด ไมล์ทะเลยาวกว่าไมล์บกประมาณ $\frac{1}{7}$ หรือไมล์บกสั้นกว่าไมล์ทะเลประมาณ $\frac{1}{8}$

นอต (Knot ใช้อักษร kt) เป็นหน่วยวัดอัตราเร็วของเรือและกำหนดให้เท่ากับหนึ่งไมล์ทะเลต่อชั่วโมง

ถ้าเรือแล่นในน้ำได้ระยะทาง 8×6080 ฟุต ในหนึ่งชั่วโมงแล้วเรียกว่าเรือแล่นได้ 8 นอต

คำว่า "นอต" นี้ได้มาจากวิธีหาอัตราเร็วของเรือที่แล่นไปในน้ำในสมัยโบราณโดยใช้ล็อกและเชือกสายล็อก คือในสมัยโบราณนั้นได้แบ่งเชือกสายล็อกออกเป็นระยะเท่า ๆ กันทุกระยะที่แบ่งไว้นั้นใช้เศษผ้าสีต่าง ๆ ผูกไว้เป็นปม (Knot) เมื่อเรือแล่นก็ทิ้งล็อก และปล่อยสายล็อกลงไปในน้ำ ใช้นาฬิกาทรายเป็นเครื่องวัดเวลา เมื่อทรายในนาฬิกาหมดแล้วตรวจดูว่า สายล็อกวิ่งออกไปได้กี่ปมตามเวลานั้น จำนวนปมของสายล็อกที่วิ่งออกไปกี่ปมนี้เป็นอัตราเร็วของเรือเป็นไมล์ - ทะเล ต่อชั่วโมง

ไมล์บก (Statute mile or land mile) เป็นหน่วยสำหรับวัดระยะทางบนบกยาวเท่ากับ 5280 ฟุต (1609.3 เมตร) บรรดาเรือที่เดินในแม่น้ำและในทะเลสาบ ในประเทศภาคพื้นยุโรปนิยมใช้ความยาวนี้

ระยะทาง (Distance ใช้อักษร d) ในระหว่างที่สองตำบลบนพื้นโลก คือ

(1) ความยาวของเส้นเกลียว ในระหว่างที่สองตำบลนับเป็นไมล์ทะเล

(2) ความยาวของขอบวงใหญ่ขอบสั้น ในระหว่างที่สองตำบล

ระยะทางในข้อ (2) นี้เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างที่สองตำบล

ระยะขยาย (Departure ใช้อักษร p) เป็นมาตราวัดเชิงเส้น (Linear measure) ของขอบวงขนานละติจูดในระหว่างเมริเดียนสองเมริเดียนนับเป็นไมล์ทะเล หรือเป็นระยะทางที่เรือแล่นไปได้จริงในทางตะวันออกหรือตะวันตก (Distance made good due east or due west) นับเป็นไมล์ทะเลจากที่ตำบลหนึ่งไปยังอีกตำบลหนึ่ง บนเส้นเกลียว ระยะขยายกำหนดเป็นตะวันออกหรือตะวันตกย่อมแล้วแต่ว่าเรือแล่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก

ระยะขยายนี้ต่างกันกับลองจิจูดเปลี่ยน เพราะลองจิจูดเปลี่ยนเป็นมาตราวัดเชิงมุม (Angular measure) ของขอบเดียวกัน ในเมื่อไม่คำนึงถึงละติจูดแล้ว ลองจิจูดเปลี่ยนในระหว่างเมริเดียนสองเมริเดียนมีค่าอันเดียวกัน แต่ทว่าระยะขยายในระหว่างเมริเดียนเหล่านั้นแปรตามวง - ขนานละติจูดซึ่งมันใช้วัด



รูป 8



รูป 9

เช่นในรูป 8 ลองจิจูดเปลี่ยนระหว่างเมริเดียน Pn A Ps และ Pn B Ps มีค่าคงตัว (constant) ส่วนระยะขยายในระหว่างเมริเดียนทั้งสอง เช่นความยาวของ Ac ใช้วัดบนวงขนานละติจูด 40° หรือความยาวของ dB ใช้วัดบนวงขนานละติจูด 10° ในระหว่างที่สองตำบล ซึ่งอยู่บนวงขนานละติจูดเดียวกันนั้น ระยะขยายและระยะทางเท่ากัน และเมื่อตำบลที่ทั้งสองอยู่บนอิเควเตอร์แล้วระยะขยายและระยะทางเท่ากันและเท่ากับ ลองจิจูดเปลี่ยนนับเป็นลิบดา

รูป 9 แสดงแนวทางเรือเดินจาก A แลต.44° น. ลอง 20° อ. ไปยัง B แลต.46°น. ลอง 25°อ. จะได้ละติจูดเปลี่ยน 2°น. หรือ 120 ไมล์เหนือ - ลองจิจูดเปลี่ยนได้ 5°อ. หรือ 300' - ตะวันออก ระยะขยายได้ 212 ไมล์ตะวันออก ระยะทางได้ 244 ไมล์

ละติจูดกลางจริง (True middle latitude) ของที่สองตำบลเป็นละติจูดซึ่งมีระยะทางในระหว่างเมริเดียนเท่ากับระยะขยาย

ละติจูดกลาง (Middle latitude ใช้อักษร Lm) ของที่สองตำบลบนอิเควเตอร์ข้างเดียวกัน เป็นผลเฉลี่ยของละติจูดของตำบลที่ทั้งสอง ละติจูดกลางเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลบวกของละติจูดทั้งสองศัพท์นี้ จะนำไปใช้ กับตำบลที่ซึ่งอยู่ต่างข้างกันของอิเควเตอร์ไม่ได้ บางทีก็เรียกว่าละติจูดกลางเฉลี่ย (Mean middle latiude)

ส่วนเมริเดียน (Meridional parts) เป็นความยาวของขอบเมริเดียน ซึ่งเขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์ แสดงเป็นหน่วยที่ใช้แทนหนึ่งลิบดาของขอบอิเควเตอร์ หรือเป็นระยะทางในแผนที่เมอเคเตอร์จากอิเควเตอร์ไปยังวงขนานละติจูดใดละติจูดหนึ่งนับเป็นไมล์ทะเล

ที่อิเควเตอร์นั้น หนึ่งองศาลองจิจูดเท่ากับความยาวของหนึ่งองศาละติจูด แต่เมื่อเข้าไปใกล้ขั้วโลก (โดยสมมุติให้โลกเป็นทรงกลม) ความยาวขององศาละติจูดยังคงที่ตามเดิม แต่ระยะเมริเดียน (Meridian distance) ขององศาลองจิจูดน้อยลงทุกที

ในแผนที่เมอเคเตอร์นั้นสร้างให้ระยะเมริเดียนขององศาลองจิจูดยาวเท่ากันทุกละติจูด เพราะฉะนั้นเพื่อที่จะดำรงไว้ซึ่งการได้ส่วนกันที่มีอยู่ในทุก ๆ ส่วนของผิวพื้นโลกในระหว่างองศาละติจูด และองศาลองจิจูดและเพื่อมิให้บรรดาเมริเดียนทั้งหลายในแผนที่เมอเคเตอร์ เกิดการบิดตัวตามตำบลที่ขึ้นได้ จึงจำต้องขยายความยาวขององศาละติจูดให้ทวีมากขึ้นจากความยาวปรกติ ต้องขยายมากขึ้นเมื่อตำบลที่ยิ่งห่างออกไปจากอิเควเตอร์

ค่าของส่วนเมริเดียนของละติจูด ทุกลิบดามีปรากฏอยู่ในมาตราเดินเรือ (Nautical Tables) ต่าง ๆ เช่น Inman's Nautical Tables, Bowditch ฯลฯ เป็นต้น

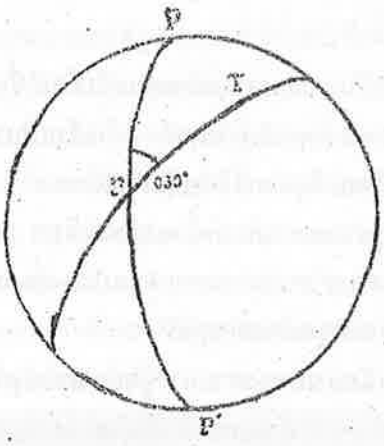
ละติจูดเปลี่ยนส่วนเมริเดียน (Defference of meridional parts or meridional difference of latitude) เป็นส่วนขยายของละติจูดเปลี่ยนของที่สองตำบลในแผนที่เมอเคเตอร์หรือเป็นจำนวนที่ได้อัตราส่วน (Ratio) กับละติจูดเปลี่ยน ซึ่งเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับที่ลองจิจูดเปลี่ยนได้อัตราส่วนเดียวกับระยะขยาย

ทิศ (Direction) ของเส้นซึ่งผ่านจุดบนพื้นโลก เป็นมุมในระหว่างเส้นกับเมริเดียนของจุด (วัดและนับเวียนตามเข็มนาฬิกาจาก 000° ที่ทิศเหนือถึง 360°) หรือเป็นจุดที่ขอบฟ้าซึ่งผู้ตรวจมองเล็งไปหรือจุดที่เรือแล่นตรงไป การวัดและนับนี้บางทีเอา 0° ไว้ที่ทิศเหนือและทิศใต้ แล้วเวียนไปทางตะวันออกและตะวันตก จนครบ 90° (การนับตามแบบเก่า)

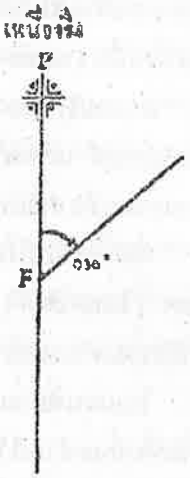
แบริง (Bearing) สำหรับนักเดินเรือ ซึ่งอยู่กลางมหาสมุทรนั้น ขอบฟ้าของเขาก็คือวงกลมซึ่งเขียนขึ้นรอบตัวเรือโดยใช้ตัวเรือเป็นศูนย์กลาง และไม่มีวิธีใดที่จะกำหนดให้ทราบว่าจุดหนึ่ง ๆ บนวงกลมนั้นผิดแผกกับจุดอื่น ๆ ได้ ฉะนั้น เพื่อที่จะกำหนดทิศโดยเฉพาะ จึงจำเป็นต้องอ้างถึงเส้นเกณฑ์ หรือทศประจำอันหนึ่งขึ้น มุมในระหว่างเส้นเกณฑ์นี้และทิศซึ่งต้องการแล่นไปหรือเล็งไปเรียกว่า แบริง ของจุดซึ่งแล่นตรงไปหา หรืออีกนัยหนึ่ง แบริงของวัตถุเป็นมุมใน

ระหว่างเมริเดียนกับพื้นตรง หรือขอบวงใหญ่ซึ่งผ่านวัตถุนั้น และผู้ตรวจ

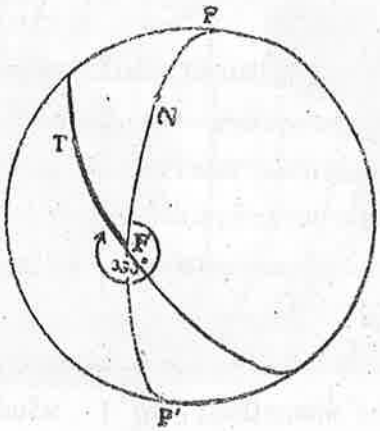
แบริงจริง(True bearing) เส้นเกณฑ์หรือทิศประจำที่เหมาะที่สุดคือเมริเดียนที่ผ่านตำบลที่เรือ แบริงที่นับจากเส้นเกณฑ์นี้ เรียกว่า แบริงจริง หรือ แบริงจริงของวัตถุเป็นมุมในระหว่างเมริเดียนจริงกับพื้นตรง หรือขอบวงใหญ่ ซึ่งผ่านวัตถุนั้นและผู้ตรวจ



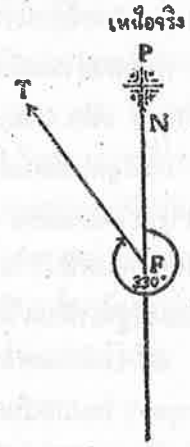
รูป 10 ก.



รูป 10 ข.



รูป 11 ก.



รูป 11 ข.

ในรูป 10 ก. FP เป็นเมริเดียนผ่านจุด F ทำให้เกิดเป็นทิศเหนือจริง FT เป็นวงใหญ่ซึ่งต่อ F ไปยัง T ทำให้เกิดทิศจริงของ T มุม PFT เป็นแบริงจริงของ T จาก F

ถ้า T อยู่ใกล้ F แล้วเนื้อที่ผิวพื้นโลกซึ่งเกิดโดย FT นั้นมีน้อยมาก จึงอาจให้เป็นพื้นแบนได้และจะไม่มีความผิดมากนัก ถ้าใช้เขียนวงใหญ่ให้เป็นเส้นตรงเสีย เช่นในรูป 10 ข.

แบริงจริงใช้วัดและนับเป็นองศาเวียนตามเข็มนาฬิกาจาก 000° ที่ทิศเหนือถึง 360° เสมอไป และใช้เขียนเป็นเลขสามตัวเสมอเพื่อจะระลึกได้ทันทีว่าแบริงนั้นเป็นแบริงจริง (แต่ถ้าเขียนข้อความกำกับบอกเป็นแบริงชนิดอื่นไว้ก็ต้องถือตามนั้น)

ในรูป 11 ก. และ 11 ข. T อยู่ในแบริง 330° จาก F และจุด B ซึ่งอยู่บนเมริเดียนซึ่งผ่าน F จึงอยู่ทางเหนือของ F และอยู่ในแบริง 000°

เข็ม (Course or ship's course ใช้อักษร C) เป็นทิศที่กำหนดขึ้นสำหรับให้เรือเคลื่อนที่ หรือแล่นไปในน้ำ หรือเป็นทิศที่เรือแล่นจากตำบลหนึ่งไปยังอีกตำบลหนึ่ง เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนกับทิศที่เรือแล่นไป เข็มนี้ใช้วัดและนับเป็นองศาเวียนตามเข็มนาฬิกาจาก 000° ที่ทิศเหนือถึง 360°

ทิศหัวเรือ (Ship's head or heading of a ship ใช้อักษร S.H. or Hdg.) เป็นทิศซึ่งหัวเรือชี้ไปจริงหรือหันไปชั่วขณะหนึ่งโดยเฉพาะ เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนและกระดูกงูเรือ ใช้วัดและนับทำนองเดียวกับเข็ม คือวัดเป็นองศาจาก 000° ที่ทิศเหนือ เวียนตามเข็มนาฬิกา ถึง 360° อย่าเอา ทิศหัวเรือ ไปสับสนหรือทำให้ฉงนกับเข็ม เรือมักตกออกนอกเข็ม (ทิศทางที่กำหนดขึ้นสำหรับให้เรือเคลื่อนที่หรือแล่นไป) บ่อย ๆ แต่จะไม่ตกออกไปนอกทิศหัวเรือเลยเป็นอันขาด

เข็มทิศ (Compass) เข็มทิศที่ใช้ในการเดินเรือนั้นเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งสำหรับใช้วัดเข็ม และแบริงจากเส้นเกณฑ์ (เมริเดียน) และเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักเดินเรือนำเรือของตนไปยังที่หมายได้

เข็มทิศมี 2 ชนิด คือ

1. เข็มทิศไยโร (Gyro compass)

2. เข็มทิศแม่เหล็ก (Magnetic compass)

เข็มทิศไยโร เข็มทิศชนิดนี้ ส่วนสำคัญประกอบด้วยลูกข่าง (Spinning wheel หรือgyroscope) ที่มีน้ำหนักและมีอัตราเร็วในการหมุนมาก ลูกข่างนี้มีแกนชี้ใกล้เคียงทิศเหนือจริง ฉะนั้นเข็มทิศไยโรจึงเป็นเครื่องมือของนักเดินเรือที่จะบอกทิศเหนือจริง โดยหันตรงไปตามเมริเดียนจริง ฉะนั้น เมื่อใช้เข็มทิศไยโร แบริงจึงได้แบริงจริง และใช้จำนวนเลขเป็นเลขสามตัวที่ขอบนอกของหน้าปัดเข็มทิศไยโรย่อย (Repeater) แบ่งขีดไว้จาก 000° เวียนตามเข็มนาฬิกาถึง 360° เพื่อวัดแบริง

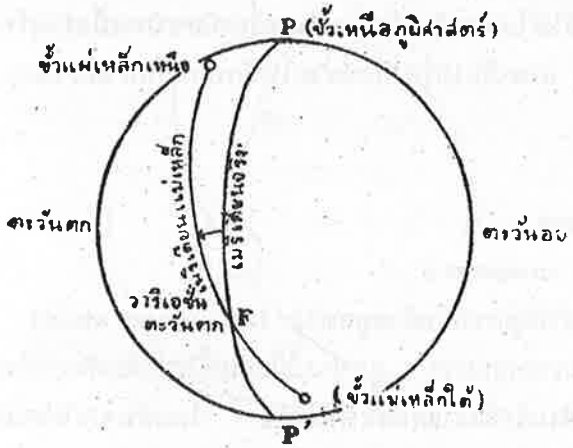
มีเหตุหลายประการ ที่ทำให้เข็มทิศไยโรไม่ใคร่ชี้ตรงทิศเหนือจริง ๆ อาจผิดไปข้างหนึ่งข้างใดของเมริเดียนจริงได้บ้างเล็กน้อย

เข็มทิศแม่เหล็ก เครื่องมือนี้เป็นแท่งแม่เหล็กปล่อยแขวนไว้โดยอิสระ ฉะนั้น เข็มแม่เหล็กนี้จึงหันและหยุดแกว่งลง โดยให้ปลายเข็มข้างหนึ่งชี้ไปใกล้เคียงกับทิศเหนือ และถือเป็นกฎได้ว่าปลายเข็มนี้จะไม่ชี้ไปยังทิศเหนือจริง เพราะว่าขั้วโลกตามฐานะภูมิศาสตร์ หรือขั้วโลกจริงไม่ได้ทับกับขั้วแม่เหล็กโลก ซึ่งมีอำนาจดูดดึงเข็มทิศ ตำบลที่ของขั้วแม่เหล็กโลกตามที่ยอมรับนับถือกันคือ ขั้วเหนือแม่เหล็กโลกอยู่ประมาณ แลต. 70° น. ลอง. 97° ตก.และขั้วใต้อยู่ประมาณ แลต.72°ต. ลอง.154°อ.

เส้นของแรงซึ่งผ่านระหว่างขั้วแม่เหล็กโลกทั้งสองนี้ ทำให้เกิดเป็นเมริเดียนแม่เหล็กขึ้น และเข็มทิศก็จะชี้ไปตามแนวเมริเดียนแม่เหล็กซึ่งผ่านเข็มทิศแม่เหล็กนั้น

เมริเดียนแม่เหล็ก(Magnetic meridian)เป็นวงใหญ่ ซึ่งผ่านขั้วโลกเหนือ และขั้วใต้ของแม่เหล็กโลก หรือเมริเดียนแม่เหล็กของตำบลที่ คือ วงใหญ่ซึ่งมีพื้นผ่านขั้วทั้งสองของเข็มแม่เหล็ก ในเมื่อไม่มีอำนาจแม่เหล็กของตำบลที่มารบกวนเข็มแม่เหล็ก หรือเป็นเส้นซึ่งแม่เหล็กของโลกออกแรงของมัน

วาริเอชั่น(Variation) วาริเอชั่นของตำบลที่เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนจริง และเมริเดียนแม่เหล็ก ถ้าทิศเหนือแม่เหล็กอยู่ทางตะวันออกของทิศเหนือจริง เรียกว่าวาริเอชั่นตะวันออก ใช้หมายด้วยเครื่องหมายบวก (+) ถ้าอยู่ทางตะวันตก เรียกว่าวาริเอชั่นตะวันตกใช้หมายด้วยเครื่องหมาย (-) วาริเอชั่นนี้ ใช้วัดเป็นองศาและลิบดา



รูป 12

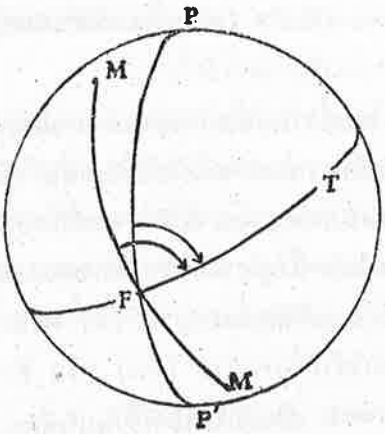
ในรูป 12 วาริเอชั่นที่ F มีประมาณ 20° ตะวันตก

ในทางปฏิบัติ นักเดินเรือ ได้วาริเอชั่นมาจากแผนที่เดินเรือที่ตนใช้ หรือได้จากแผนที่ Isogonic พิเศษ (หรือ Variation chart) ซึ่งในแผนที่นี้มีเส้นต่อตำบลที่ต่าง ๆ ทั้งหมดที่มีวาริเอชั่นเท่ากันไว้ด้วยกัน เส้นเหล่านี้เรียกว่าเส้น Isogonic

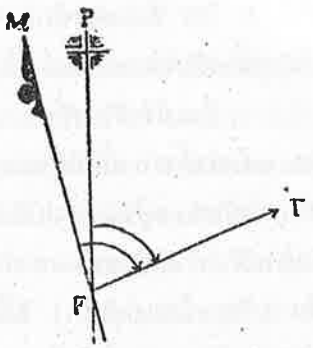
ในแผนที่เดินเรือธรรมดานั้นมีวาริเอชั่นให้ไว้เฉพาะปีใดปีหนึ่ง และทั้งมีอัตราเปลี่ยนประจำปีกำกับไว้ให้ด้วย ฉะนั้น เมื่อนักเดินเรือนำเอาแผนที่เก่ามาใช้ จึงต้องคิดเอาอัตราเปลี่ยนประจำปีนี้มาใช้ด้วย

แบริงแม่เหล็ก (Magnetic bearing) เป็นมุมในระหว่างทิศของตำบลที่หรือวัตถุกับทิศเหนือแม่เหล็ก หรือเป็นมุมในระหว่างวงใหญ่ซึ่งผ่านวัตถุนั้น และผู้ตรวจกับเมริเดียนแม่เหล็ก

ในรูป 13 ก. แบริงแม่เหล็กของ T จาก F นั้นเป็นมุมในระหว่างวงใหญ่ FT และเมริเดียนแม่เหล็กซึ่งผ่าน F



รูป 13 ก



รูป 13 ข

เพื่อที่จะให้เห็นความแตกต่างกัน ระหว่างแบริงจริงและแบริงแม่เหล็กนั้น ในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง จึงใช้วัดและนับแบริงแม่เหล็กตามทิศใหญ่ คือ เหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตกไม่ใช้เขียนเป็นจำนวนเลขสามตัว แต่ในปัจจุบันที่ใช้วัดและนับทำนองเดียวกับแบริง-จริง แต่มีข้อความกำกับบอกไว้เป็นแบริงแม่เหล็ก

ในรูป 13 ข. แบริงแม่เหล็กของ T จาก F (มุม MFT) ได้ประมาณ 085° และแบริงจริง (มุม PFT) ได้ประมาณ 065° ผลต่างระหว่างมุมทั้งสองนี้เป็นวาริเอชั่น

เพื่อให้เข้าใจง่ายเข้า ก็อาจกล่าวได้ว่า แบริงแม่เหล็กของตำบลที่ หรือของวัตถุก็คือมุมในระหว่างเส้นเหนือใต้แม่เหล็ก (เมริเดียนแม่เหล็ก) และทิศของตำบลที่หรือของวัตถุ

ในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง ใช้วัดและนับไปทางตะวันออก หรือตะวันตกจาก 0° ที่ทิศเหนือหรือทิศใต้ถึง 90°, ที่ทิศตะวันออกหรือตะวันตก

หมายเหตุ ธรรมเนียมการนับแบริงแม่เหล็กตามทิศใหญ่เพื่อให้แตกต่างกับแบริงจริงนั้น มีอยู่ว่าในทางปฏิบัติของนักเดินเรือในสมัยก่อนที่มีเข็มทิศไยโรใช้นั้น แผ่นเข็มทิศแบ่งออกเป็น 32 ปอยนต์ (Point) คือ-น., น.บ.อ.,น.น.อ.บ.น.ฯลฯ(N., N. by E., N.N.E., NE. by N. etc) และในยุคเรือใบนั้นนักเดินเรือสั่งเข็มแก่คนถือท้ายเป็นปอยนต์ เช่น,- "น.ว.บ.ว." (NW. by W.) ซึ่งเท่ากับ น.$56\frac{1}{4}°$ ว. (N. $56\frac{1}{4}$ W) เพราะหนึ่งปอยนต์เท่ากับ $11\frac{1}{4}°$ พอดี ฉะนั้นศัพท์ "ปอยนต์" จึงยังคงใช้หมายความเช่นเดิม

ดิวิเอชั่น (Deviation) เมื่อเอาแผ่นเข็มทิศลงไปติดตั้งในเรือไม้ซึ่งไม่มีคุณภาพเป็นแม่เหล็กแล้ว ทิศเหนือ (ขั้วเหนือ) ของแผ่นเข็มทิศนั้น จะชี้ตรงไปยังทิศเหนือแม่เหล็กและทิศที่แผ่นเข็มทิศนี้ชี้จะเป็นทิศเหนือแม่เหล็ก ส่วนเรือที่ทำด้วยเหล็กหรือเหล็กกล้าก็ย่อมมีกรณีแตกต่างไป

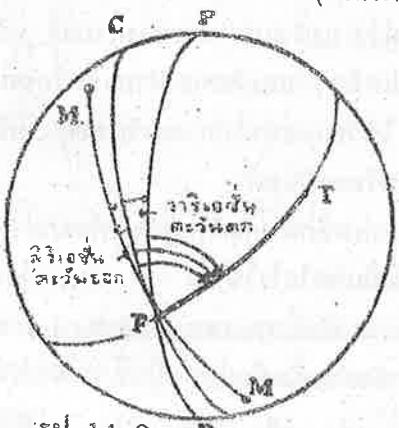
เพราะว่าเรือเหล็กมีคุณภาพแม่เหล็กที่สำคัญมาก และอำนาจแม่เหล็กของเรือกระทำต่อเข็มทิศทำให้แกนของแผ่นเข็มทิศ (Axis of the compass card) ชี้ผิดไปจากเมริเดียนแม่เหล็ก มุมในระหว่างเมริเดียนแม่เหล็ก และแกนของแผ่นเข็มทิศ (ทิศซึ่งเข็มทิศชี้ไปจริง) เรียกว่า ดิวิเอชั่น ดิวิเอชั่นนี้ ใช้แทนอาการแรงรบกวนของเหล็กซึ่งอยู่ใกล้เข็มทิศ

ทิศ ซึ่งแผ่นเข็มทิศชี้ไปจริง เรียกว่า ทิศเหนือของเข็มทิศ (หรือขั้วเหนือของเข็มทิศ) เพื่อให้แตกต่างกับทิศเหนือแม่เหล็กและทิศเหนือจริง

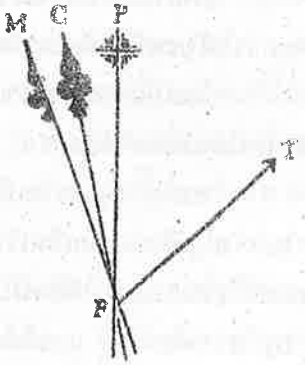
ถึงแม้ว่าดิวิเอชั่นจะแตกต่างจากวาริเอชั่น โดยที่วาริเอชั่นเกิดจากอำนาจแม่เหล็กของโลก แต่ทว่าทั้งสองนี้ก็มีชื่อและเครื่องหมายในทำนองเดียวกัน เช่นว่า เมื่อไม่มีดิวิเอชั่น แกนของแผ่นเข็มทิศจะอยู่ในแนวเมริเดียนแม่เหล็ก และทิศเหนือของแผ่นเข็มทิศ จะชี้ทิศของทิศเหนือแม่เหล็ก ถ้ามีดิวิเอชั่นและทิศเหนือ (ขั้วเหนือ) ของเข็มทิศชี้อยู่ทางตะวันออกของเมริเดียนแม่เหล็ก (ทิศเหนือแม่เหล็ก) ดิวิเอชั่นก็มีชื่อเป็น ตะวันออก และใช้เครื่องหมาย (อ) หรือ (+) ถ้าชี้อยู่ทางตะวันตกของเมริเดียนแม่เหล็กดิวิเอชั่นเป็นตะวันตกใช้เครื่องหมาย (ตก) หรือ (-)

ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (Compass error) เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนจริง และแกนของแผ่นเข็มทิศ (หรือเป็นผลบวกของวาริเอชั่น และดิวิเอชั่นตามวิชาพีชคณิต)

แบริงเข็มเรือ (Compass bearing) เป็นมุมในระหว่างแกนของแผ่นเข็มทิศ (ทิศเหนือใต้ของเข็มทิศ) ในเรือและวงใหญ่ซึ่งผ่านวัตถุและผู้ตรวจ หรือเป็นมุมในระหว่างแกนของแผ่นเข็มทิศ และทิศของตำบลที่หรือวัตถุ มุมนี้ใช้วัดและนับทำนองเดียวกับแบริงจริงแต่ในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง ใช้วัดและนับไปทางตะวันออกหรือตะวันตกจาก 0° ที่ทิศเหนือหรือใต้ ถึง 90° ที่ทิศตะวันออกหรือตะวันตก เช่นในรูป 14 ก. แบริงเข็มเรือของ T จาก F เป็นมุมในระหว่างวงใหญ่ FT และแกนของแผ่นเข็มทิศ (ทิศเหนือใต้ของเข็มทิศ)



รูป 14 ก.



รูป 14 ข.

ในรูป 14 ข. แบริงเข็มเรือของ T จาก F (มุม CFT) ได้ประมาณ 055° ซึ่งแบริงแม่เหล็ก (มุม MFT) ได้ประมาณ 065° และแบริงจริง (มุม PFT) ได้ประมาณ 045° มุม MFC เป็นดิวิเอชั่น (ประมาณ 10° ตะวันออก) และมุม PFM เป็นวาริเอชั่น

นักเดินเรือต้องจำใส่ใจไว้ว่า เมื่อใช้เข็มทิศแม่เหล็กในเรือวัดหาแบริงจะได้เป็นแบริง

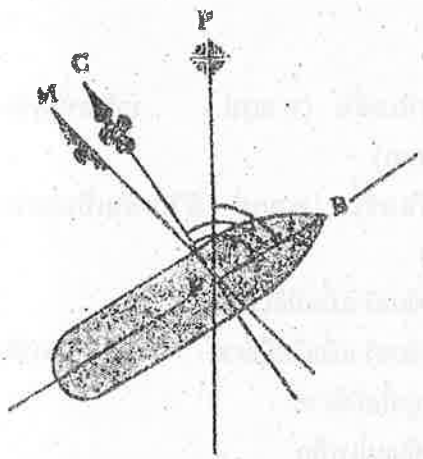
เข็มเรือเสมอ และเมื่อเอาดิวิเอชั่นแก้จะได้แบริงแม่เหล็ก และถ้าเอาวาริเอชั่นแก้อีกทีหนึ่งจะได้แบริงจริง หรือถ้าเอาความเคลื่นคลาดของเข็มทิศ (Compass error) เข้าแก้กับแบริงเข็มเรือเสียทีเดียวก็จะได้แบริงจริงเช่นเดียวกัน

ลีเวย์ (Leeway) เป็นมุมในระหว่างแนวทางที่เรือแล่นไปบนผิวน้ำ (พลิ้วน้ำทางท้ายเรือ) กับกระดูกงูเรือ

เรือกลไฟเมื่อแล่นในเวลาคลื่นลมสงบ หรือเรือใบเมื่อแล่นในเวลามีลมเรียบนั้น ทิศของหัวเรือโดยเข็มทิศเมื่อได้แก้วาริเอชั่น และดิวิเอชั่นแล้ว จะตรงกับทิศจริงของแนวทางเรือที่เรือแล่นไปในน้ำ แต่ถ้ามีลมพัดมาทางข้างเรือ (กราบเรือ) หรือมาทางทิศใดก็ตาม นอกจากตรงหัวเรือหรือตรงท้ายเรือเท่านั้น ลมจะพัดทำให้เรือเซตกไปตามลม ฉะนั้นแล้ว ทิศของหัวเรือก็จะไม่ร่วมทับกับแนวทางที่เรือแล่นอีกต่อไป มุมในระหว่างหัวเรือ (กระดูกงูเรือ) กับแนวทางที่เรือแล่นไปบนผิวน้ำ (พลิ้วน้ำที่เห็นทางท้ายเรือ) นี้เรียกว่า ลีเวย์ ตามที่ใช้กันนั้น ใช้กะประมาณ ลีเวย์ เป็นปอยนด์

เข็มจริง (True course ใช้อักษร Cn) เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนจริง (ทิศเหนือจริง) และทิศที่เรือแล่นไป ใช้วัดและนับเป็นองศาเวียนตามเข็มนาฬิกาจาก 000° ที่ทิศเหนือถึง 360°

เข็มปรากฏ (Apparent course) เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนจริง และทิศหัวเรือเมื่อมีลีเวย์



รูป 15 วาริเอชั่นตะวันตก
ดิวิเอชั่นตะวันออก

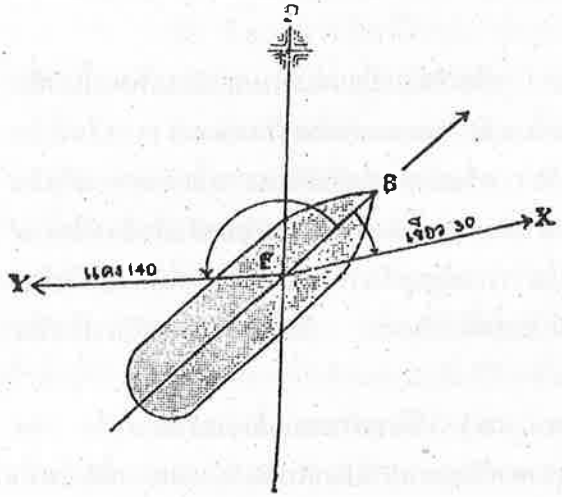
เข็มแม่เหล็ก (Magnetic course) เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนแม่เหล็กและทิศที่เรือแล่นไปในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สองใช้วัดและนับเป็นองศาไปทางตะวันออกหรือตะวันตกจาก 0° ทิศเหนือหรือทิศใต้ถึง 90° แต่ในสมัยนี้ใช้วัดและนับเป็นองศาทำนองเดียวกับเข็มจริง (มุม MFB รูป 15)

เข็มเรือ (Compass course) เป็นมุมในระหว่างแกนของแผ่นเข็มทิศ (ทิศเหนือใต้ของเข็มทิศ) ในเรือและทิศที่เรือแล่นไปใช้วัดและนับทำนองเดียวกับเข็มจริง แต่ในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สองใช้วัดและนับเป็นองศาไปทางตะวันออกหรือตะวันตกจาก 0° ที่ทิศเหนือหรือใต้ถึง 90° (มุม CFB รูป 15)

เข็มจริงที่เดินเข็มเดียว (True course made good) เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนจริง และเส้นเกลียวซึ่งผ่านตำบลที่เรือออกและตำบลที่เรือถึง (คือเข็มจริงของแนวทางเรือนั่นเอง)

ระยะทางจริงระหว่างที่สองตำบล (Distance made good) เป็นระยะทางที่วัดบนเส้นเกลียว ซึ่งผ่านตำบลที่เรือออกและตำบลที่เรือถึง

แบริงสัมพัทธ์ (Relative bearing) เป็นทิศซึ่งนับจากแนวกระดูกงูเรือ ไม่มีวาริเอชั่นและดิวิเอชั่น อังกฤษใช้วัดและนับเป็นองศาจาก 000° ถึง 180° ไปทางขวา (เขียว) หรือทางซ้าย (แดง) จากแนวกระดูกงูเรือ คืออ่านว่าเขียว (ขวา) หรือแดง (ซ้าย) แล้วแต่ว่าวัตถุนั้นอยู่ทางกราบขวาหรือกราบซ้าย ส่วนอเมริกันใช้วัดและนับจาก 000° ถึง 360° เวียนตามเข็มนาฬิกา



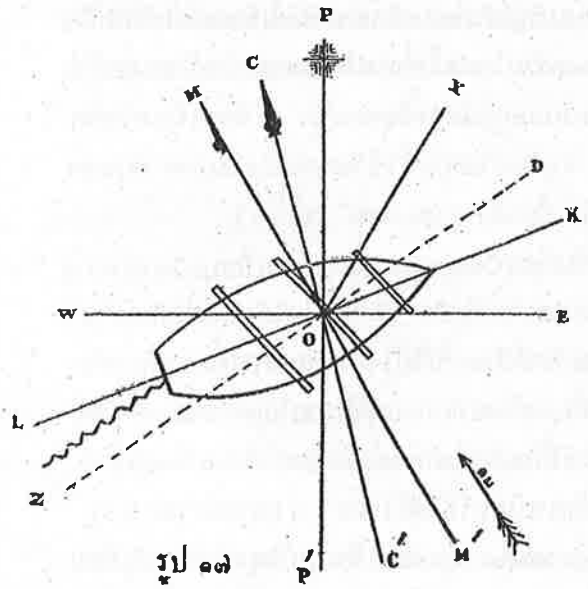
รูป 16

ในรูป 16 แบริงของ X คือเขียว 030° และ Y คือ แดง 140° ถ้าเรือแล่นเข็มจริง 045° แบริงจริงของ X เป็น 075° และของ Y เป็น 265° หรือจะเรียกว่า X ขาว 030° และ Y ซ้าย 130° ก็ได้

ในรูป 17, PP' เป็นเมริเดียนจริง ของดำบลที่หรือเส้นเหนือใต้ของขอบฟ้า

MM' เป็นเมริเดียนแม่เหล็กหรือแนวเหนือใต้ของเข็มแม่เหล็ก หรือเป็นแกนของแผ่นเข็มทิศ (ทิศเหนือใต้ของแผ่นเข็มทิศ) ในเมื่อมีแต่อำนาจแม่เหล็กของโลกอย่างเดียวเท่านั้นมากระทำ

CC' เป็นแกนของแผ่นเข็มทิศ (แนวเหนือใต้ของเข็มเรือ) ในเรือ (ซึ่งได้รับการดูดดึงจากบรรดาเหล็กในบริเวณที่ตั้งเรือนเข็มทิศ)



รูป ๑๗

POM เป็นวาริเอชั่น (ตามรูป วาริเอชั่นเป็นตะวันตก)

MOC เป็นดิวิเอชั่น (ตามรูป ดิวิเอชั่นเป็นตะวันออก)

POD เป็นเข็มจริงเมื่อมีลีเวย์

POK เป็นเข็มจริงเมื่อไม่มีลีเวย์ หรือเป็นเข็มปรากฏเมื่อมีลีเวย์

MOK เป็นเข็มแม่เหล็ก

COK เป็นเข็มเรือ

LTZ เป็นลีเวย์

POX เป็นแบริงจริงของ X

MOX เป็นแบริงแม่เหล็กของ X

COX เป็นแบริงเข็มเรือของ X

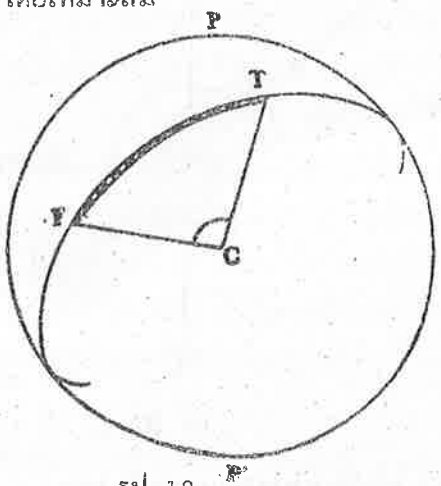
หมายเหตุ การวัด, นับเข็มและแบริงนั้นจะใช้โดยวิธีจำนวนเลขสามตัวตั้งแต่ 000° ถึง 360° ก็ดีหรือเป็นตรีจักร(quadrant) จาก 0° ถึง 90° ก็ดี เมื่อพบปะเข้าแล้วก็ไม่ควรต้องสงสัยอย่างใดข้อสำคัญมีอยู่ว่าต้องรู้ว่าการวัดและนับนั้น ๆ นับจากเมริเดียนใดเป็นเกณฑ์เพราะสามารถเปลี่ยนการวัด และนับด้วยจำนวนเลขสามตัวให้เป็นตรีจักรคือจาก 0° ถึง 90° ได้หรือเปลี่ยนจากตรีจักรให้เป็นจำนวนเลขสามตัวได้เสมอ

ในปัจจุบันนี้ยังมีเรือค้าขายที่ใช้วัด และนับเป็นตรีจักรอยู่เหมือนกัน โดยที่ใช้แผ่นเข็มทิศชนิดแบ่งเป็นตรีจักร

ตอนที่ 2

1. หน่วยการวัด

ระยะเชิงมุมระหว่างที่สองตำบล (Angular distance between two Places) โดยที่ยอมรับกันว่าโลกเป็นทรงกลม ฉะนั้นระยะทางระหว่างตำบลที่ต่าง ๆ บนผิวพื้นโลกจึงใช้วัดแสดงเป็นมุมได้โดยเหมาะสม

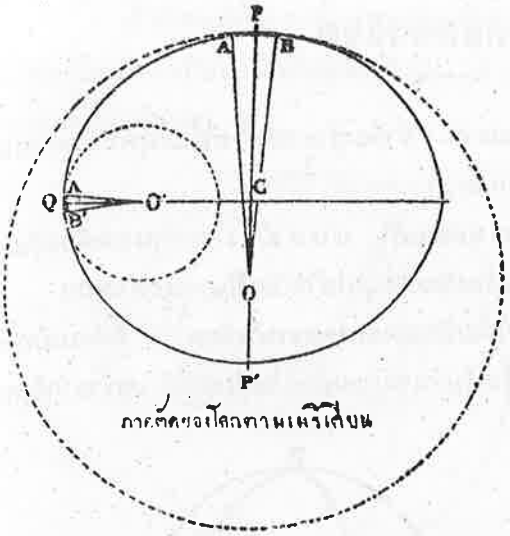


รูป 18

เช่นในรูป 18 ความยาวของขอบวงใหญ่ FT เท่ากับ R × มุม FCT ในเมื่อ R เป็นรัศมีของทรงกลม และมุม FCT ใช้วัดเป็นเรเดียน (Radian) เพราะว่า R มีค่าคงตัว ฉะนั้นความยาว FT จึงได้ส่วนกับขนาดของมุม FCT โดยเหตุนี้จึงถือเป็นธรรมเนียมว่าขอบวงใหญ่ - ขอบสั้นในระหว่างจุดสองจุด เป็นระยะเชิงมุมในระหว่างจุดสองจุดนั้นเพราะฉะนั้นหน่วยที่ - เหมาะที่สุดสำหรับวัดระยะทางบนผิวพื้น จึงใช้ถือเอาหน่วยวัดเป็นมุมและหน่วยสำหรับวัดระยะทางใช้ความยาวของขอบวงใหญ่ ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับมุมหนึ่งลิบดา (minute) ที่ศูนย์กลางของความโค้ง (centre of curvature)

ความแตกต่างกันของความยาวของขอบหนึ่งลิบดา ถ้า โลกเป็นทรงกลมโดยแท้จริงแล้ว ความยาวของขอบวงใหญ่หนึ่งลิบดานี้จะต้องยาวเท่ากันทุกแห่ง และทั้งจะไม่ยุ่งยากอย่างใดเลยในการที่จะพิจารณาถึงค่าของความยาวนี้

ในรูป 19 นั้นได้แสดงสัณฐานของโลกให้เห็นผิดต่อความเป็นจริงมากเกินไป ทั้งนี้ต้องการแสดงให้เห็นผลของการที่ขั้วโลกแบนราบและจะเห็นได้ว่าความยาวของขอบที่ขั้วโลกคือขอบ-AB ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับมุมหนึ่งลิบดาที่ O ยาวกว่าขอบ A′ B′ ซึ่งเป็นความยาวของขอบตามเส้นเมริเดียนที่อิเควเตอร์อันอยู่ตรงข้ามกับมุมหนึ่งลิบดาที่ O′ ด้วยเหมือนกัน O และ O′ ต่างก็เป็นศูนย์กลางของความโค้ง ตำบลที่ของ O และ O′ หาได้โดยการงอของขอบ AB และ A′B′ O และ O′ นี้จะทับร่วมกับ C อันเป็นจุดศูนย์กลางของรูปอิลลิปซ์ได้เฉพาะแต่ในเมื่อรูปอิลลิปซ์กลายเป็นรูปวงกลม และเมื่อความโค้งตามจุดต่าง ๆ ทุกจุดเหมือนกันหมดเท่านั้น



ภาคตัดของโลกตามเมริเดียน

รูป 19

ไมล์ตามขนาดของโลก (Geographical mile) โลกมีสัณฐานเป็นรูปอิลลิปซ์ตัน เกิดขึ้นโดยการหมุนรูปครึ่งอิลลิปซ์ PQP' โดยรอบแกนสั้น PP' ฉะนั้นแกนยาวจึงทำให้เกิดเป็นวงกลมมีรัศมี CQ และทุก ๆ จุดบนอิเควเตอร์จะอยู่ห่างจากศูนย์กลางโลกเท่า ๆ กัน เพราะฉะนั้นความยาวของขอบหนึ่งลิบดาที่อิเควเตอร์ จึงประจำคงตัวและความยาวของขอบหนึ่งลิบดา นี้เรียกว่า "ไมล์ตามขนาดของโลก"

ไมล์บก เป็นหน่วยใช้วัดความยาวบนบกเท่ากับ 5280 ฟุต พระนางเอลิซาเบธทรงกำหนดขึ้นใช้ (ให้ 1 ไมล์บก เท่ากับ 8 เฟอร์ลอง × 40 เพิช × $16\frac{1}{2}$ ฟุต) และโดยที่ขอบอิเควเตอร์ยาว 24,902.18 ไมล์บก เมื่อคิดเป็นฟุต = 24902.18×5280 =131,483,510 ฟุต แต่ขอบอิเควเตอร์เท่ากับ 360° เพราะฉะนั้นความยาวของขอบอิเควเตอร์หนึ่งลิบดา (ไมล์ตามขนาดของโลก) = $\frac{131,483,510}{360^{\circ}\times 60}$ = 6087.2 ฟุต ฉะนั้นหนึ่งไมล์ตามขนาดของโลก เมื่อใช้วัดเป็นหน่วยมาตราบกเท่ากับ 6087.2 ฟุต

ไมล์ทะเล เป็นความยาวของขอบหนึ่งลิบดาวัดตามขอบเมริเดียน แต่ความยาวอันนี้แตกต่างกันประมาณดังนี้ คือที่อิเควเตอร์ยาว 6,046 ฟุต และที่ขั้วโลกยาวประมาณ 6,108 ฟุต ฉะนั้น ในทางปฏิบัติถ้าจะเอาความยาวนี้มาใช้ย่อมไม่สะดวก เพราะในทางปฏิบัติต้องใช้ความยาวคงตัว โดยเหตุนี้จึงต้องเอาความยาวปานกลางมาใช้ คือ ให้หนึ่งไมล์ทะเลเท่ากับ 6,080 ฟุต การวัดระยะทางต่าง ๆ ในทะเลและในการเดินเรือใช้หน่วยวัดระยะทางไมล์ทะเลนี้ อักษรย่อของไมล์ทะเลใช้ "M" หรือเครื่องหมาย ' เครื่องหมายนี้ใช้เป็นเครื่องหมายสำหรับลิบดาของขอบด้วย เช่น 10'.8 หมายความว่า 10.8 ไมล์ทะเล และถ้าใช้เครื่องหมายแล้วให้ใส่เครื่องหมายไว้หน้าจุดทศนิยม ไม่ใช่ใส่ไว้ข้างหลังตัวเลขสุดท้าย (เช่น 10'.8 ไม่ใช่ 10.8') เช่นตัวอย่าง - ถ้ามุม FCT ในรูป 18 เป็น 56°25'.5 แล้วความยาวของขอบวงใหญ่ FT ก็เป็น 56°25'.5 ด้วยในเมื่อวัดเป็นมุมหรือ (56×60+25.5) ลิบดาของขอบคือเท่ากับ 3,385.5 ไมล์ทะเล

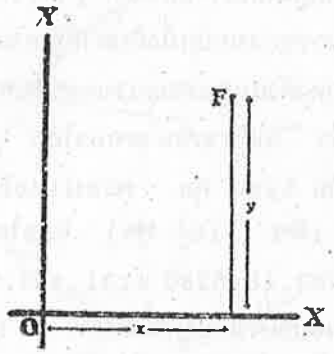
โดยที่หนึ่งไมล์ทะเลเท่ากับ 6,080 ฟุต และหนึ่งไมล์บกเท่ากับ 5,280 ฟุต ฉะนั้น 7 ไมล์ทะเลเท่ากับ 8 ไมล์บกใกล้เคียง หรือถ้าจะให้ละเอียดยิ่งขึ้นแล้ว 13 ไมล์ทะเลเท่ากับ 15 ไมล์บก

2. ละติจูดและลองจิจูด

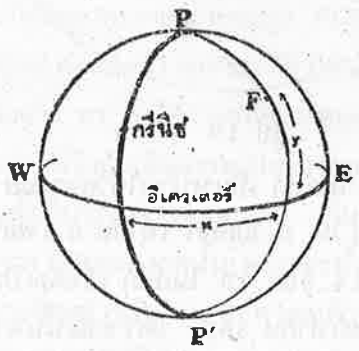
ในการหาตำบลที่ของจุดบนพื้นแบนราบ จำต้องรู้ระยะทางที่สั้นที่สุดจากเส้นสองเส้นในพื้นนั้น เส้นทั้งสองนี้ตัดกันเป็นมุมฉาก (รูป 20 ก.)

แต่เมื่อหาตำบลที่ของจุดซึ่งอยู่บนทรงกลมแล้ว การหาก็ทำโดยทำนองเดียวกันเฉพาะในหลักการ แต่การวัดระยะทางจากแกนทั้งสองนั้นต้องวัดเป็นมุมไม่ใช่วัดเป็นระยะทางตรง

แกนทั้งสองที่กล่าวนี้บนผิวพื้นโลกได้แก่อิเควเตอร์และเมริเดียน ที่ผ่านเมืองกรีนิช (รูป 20 ข.) การที่เลือกเอาอิเควเตอร์เป็นแกนนั้นนับว่าเหมาะแก่ความประสงค์ เพราะว่าอิเควเตอร์



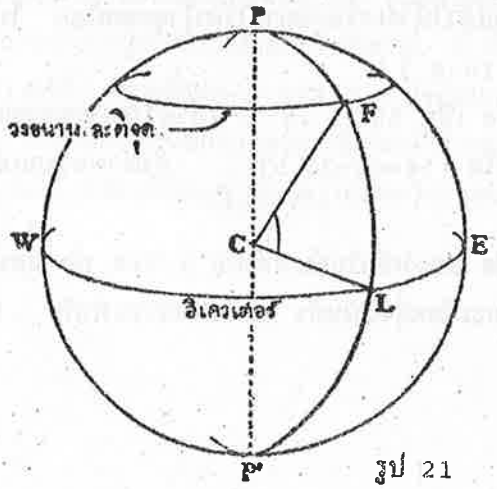
รูป 20 ก.



รูป 20 ข.

อยู่กึ่งกลางระหว่างขั้วโลกทั้งสอง และพื้นของอิเควเตอร์ก็ตัดกันเป็นมุมฉากกับแกนหมุนของโลก ส่วนเมริเดียนกรีนิชนั้น กำหนดเลือกเอาตามที่ทราบกันอยู่แล้วเรียกว่าเมริเดียนแรก ระยะทางที่วัดจากแกนทั้งสองนี้ใช้วัดตามทิศที่อยู่ในอาการโคจรของโลก คือ เหนือ, ใต้, ตะวันออกและตะวันตก

ละติจูด ในรูป 21 นั้น PFP' เป็นเมริเดียนผ่านตำบลที่ F และตัดกับอิเควเตอร์ที่ L ระยะเชิงมุม FL เรียกว่าละติจูดของ F ฉะนั้นมุม FCL วัดละติจูดของ F เพราะฉะนั้นละติจูดของตำบลที่จึงใช้แสดงเป็นองศาและลิบดาและจะเป็น "น" (เหนือ) หรือ "ต" (ใต้) กี่องศากี่ลิบดานั้นแล้วแต่ว่าตำบลที่นั้นอยู่เหนือหรือใต้ของอิเควเตอร์

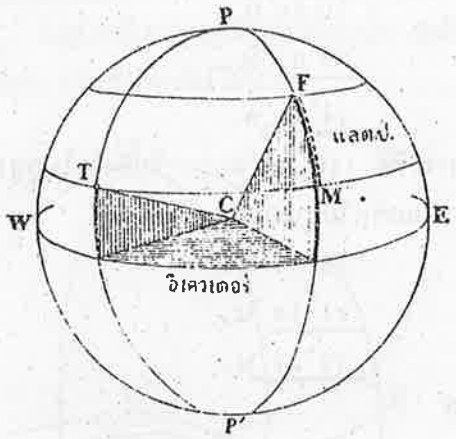


รูป 21

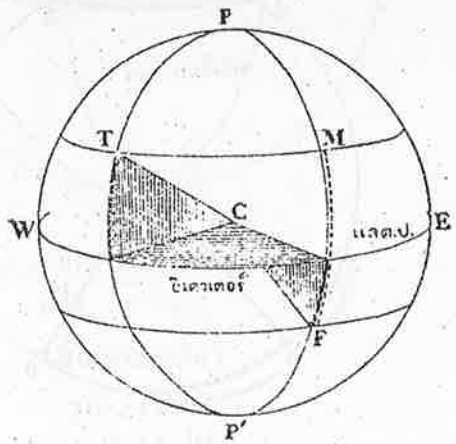
เมื่อแสดงเป็นลิบดา จะได้ระยะทาง FL เป็นไมล์ทะเล เช่นว่าถ้าแลต.ของ F เป็น 50° 30' น. แล้ว F จะอยู่ทางเหนือของอิเควเตอร์ 3,030 ไมล์ทะเล

ละติจูดเปลี่ยน ละติจูดเปลี่ยนระหว่างที่สองตำบล F และ T คือผลต่างระหว่างละติจูด F และ T คือเป็นความยาวของ FM ตามขอบเมริเดียนซึ่งผ่าน F ในระหว่างวงขนานละติจูด F และ T

ถ้าตำบลที่ทั้งสองนั้นต่างอยู่บนอิเควเตอร์ด้านเดียวกัน (กึ่งทรงกลมเดียวกัน) และมีชื่อเหมือนกันแล้วถ้าเป็นเหนือทั้งคู่เช่นในรูป 22 ก. ละติจูดเปลี่ยนเท่ากับผลลบของละติจูดอันน้อย T จากละติจูดอันมาก F



แลต. F-น.
แลต. T-น.
(ชื่อเหมือนกัน)
รูป 22 ก.



แลต. F-ต.
แลต. T-น.
(ชื่อผิดกัน)
รูป 22 ข.

ถ้า T อยู่บนอิเควเตอร์ในด้านตรงข้าม (ต่างกึ่งทรงกลมกัน) กับ F และตำบลที่ทั้งสองมีชื่อผิดกันแล้ว คือเหนือและใต้ดังในรูป 22 ข. ละติจูดเปลี่ยนเท่ากับผลบวกของละติจูดทั้งสองนั้น

ถ้าเรือแล่นจาก F ไปยัง T แล้วจำเป็นต้องใส่ชื่อกำกับไว้ที่ละติจูดเปลี่ยนเพื่อแสดงให้ทราบว่าเรือแล่นไปเหนือหรือใต้ ในรูป 22 ก.นั้น เรือแล่นไปทางใต้และต้องกำกับแลต.เปลี่ยนด้วย ต. ส่วนในรูป 22 ข. เรือแล่นไปทางเหนือใช้กำกับด้วย น.

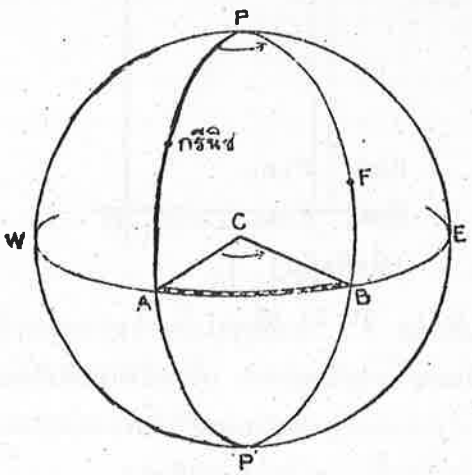
กฎสำหรับหาละติจูดเปลี่ยนนั้นอาจสรุปได้ดังนี้ - ถ้าละติจูดมีชื่อเหมือนกันให้ลบ ชื่อผิดกันให้บวก

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งแล่นจากปอร์ตสมัธ (50°48'น.) ไปยังจิบรัลตาร์ (36° 07'น.) จะทำให้ละติจูดเปลี่ยนไป 14°41'ต. เพราะว่าเรือแล่นไปทางใต้ ดังนี้

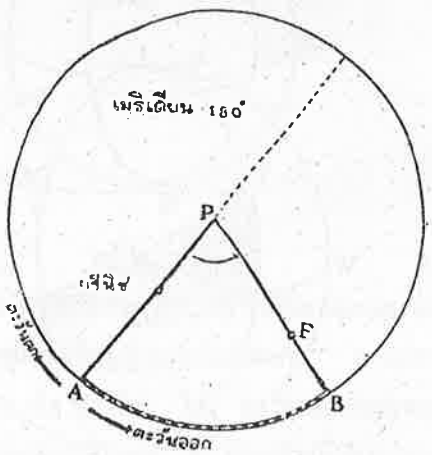
จากปอร์ตสมัธ	50°48'น.
ไปยังจิบรัลตาร์	36°07'น.
แลต.ป. (ชื่อเหมือนกันลบกัน)	14°41'ต.

เรือลำหนึ่งแล่นจาก Suva ในเกาะฟิจี (18°09'ต.) ไปยังโฮโนลูลู(21°18'น) จะทำให้ละติจูดเปลี่ยนไป 39°27'น. เพราะว่าเรือแล่นไปทางเหนือ ดังนี้

จาก Suva	18°09'ต.
ไปยังโฮโนลูลู	21°18'น.
แลต.ป. (ชื่อผิดกันบวกกัน)	39°27'น.



รูป 23 ก.



รูป 23 ข.

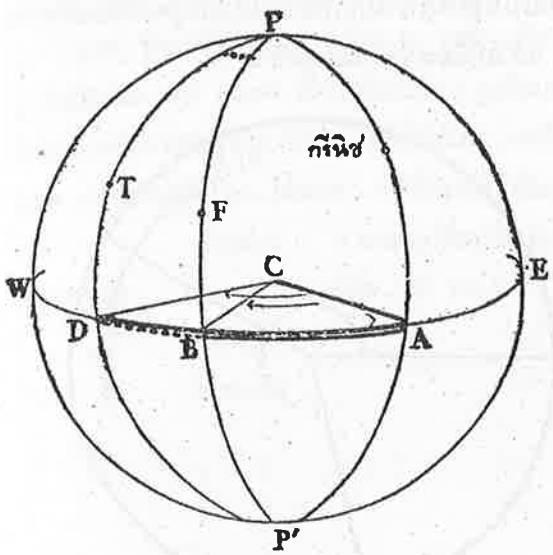
ลองติจูด ในรูป 23 ก. PFP' เป็นเมริเดียนผ่าน F ตัดกับอิเควเตอร์ที่ B เมริเดียนที่ผ่านกรีนิชตัดกับอิเควเตอร์ที่ A ระยะเชิงมุม AB เรียกว่าลองจิจูดของ F ฉะนั้นลองจิจูดของตำบลที่เป็นมุมในระหว่างเมริเดียนซึ่งผ่านตำบลที่นั้นกับเมริเดียนที่ผ่านเมืองกรีนิช

ลองจิจูดจะเป็นตะวันออก หรือตะวันตกนั้นย่อมแล้วแต่ว่าตำบลที่อยู่ทางตะวันออก - หรือตะวันตก ของเมริเดียนกรีนิช

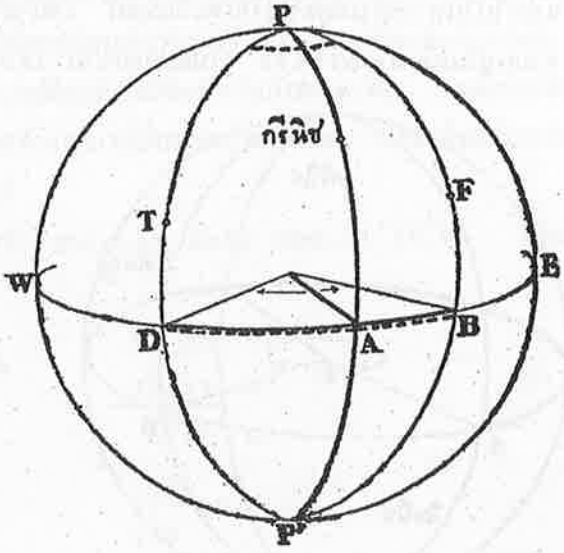
ลองจิจูดจะมากกว่า 180° ตะวันออกหรือตะวันตกไม่ได้เพราะว่าพื้นของเมริเดียน - กรีนิชแบ่งโลกออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน โดยเหตุนี้เองจึงใช้วัดลองจิจูดตามขอบสั้นเสมอ — คือ วัดตามขอบ AB ไม่วัดตามขอบ AWEB

ลองจิจูดเปลี่ยน ลองจิจูดเปลี่ยนในระหว่างที่สองตำบล F และ T ในรูป 24 ก. และ 24 ข. เป็นผลต่างระหว่างลองจิจูดของ F และ T คือความยาวของขอบอิเควเตอร์ BD ในระหว่างเมริเดียนที่ผ่าน F และ T หรือเป็นมุมที่ขั้วโลกในระหว่างเมริเดียนที่ผ่านที่สองตำบลนั้น

กฎสำหรับหาลองจิจูดเปลี่ยนนั้น เหมือนกับกฎสำหรับหาละติจูดเปลี่ยน คือ – ชื่อเหมือนกันให้ลบ และชื่อผิดกันให้บวก



ลอง. F -ตก.
ลอง. T -ตก.
(ชื่อเหมือนกัน)
รูป 24 ก.



ลอง. F -อ.
ลอง. T -ตก.
(ชื่อผิดกัน)
รูป 24 ข.

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งออกจาก **Sandy Hook** นิวยอร์ค (74°00'ตก.) ไปยังไฟ **Bishop Rock** ใน **Scillies**(6°27'ตก.) ลองจิจูดจะเปลี่ยนไป 67°33'อ. เพราะเรือแล่นไปตะวันออกดังนี้

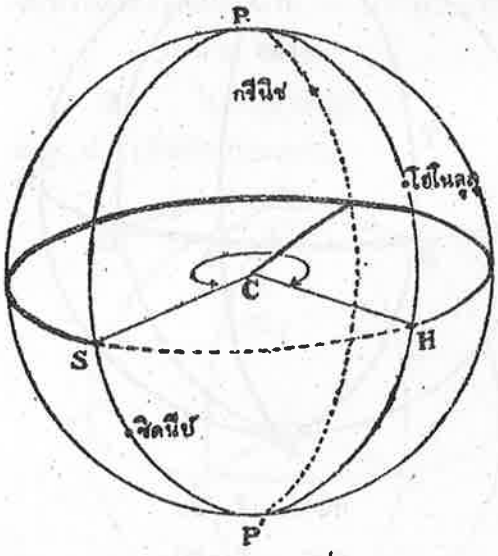
จาก **Sandy Hook**	74°00' ตก.
ไป **Bishop Rock**	6°27' ตก.
ลอง.เปลี่ยน (ชื่อเหมือนกันลบ)	67°33' อ.

เรือลำหนึ่งแล่นจากมัลต้า (14°31'อ.)ไปยังจิบรัลตาร์ (5°21' ตก.) ลองจิจูดเปลี่ยนไป 19°52'ตก. เพราะเรือแล่นไปทางตะวันตกดังนี้

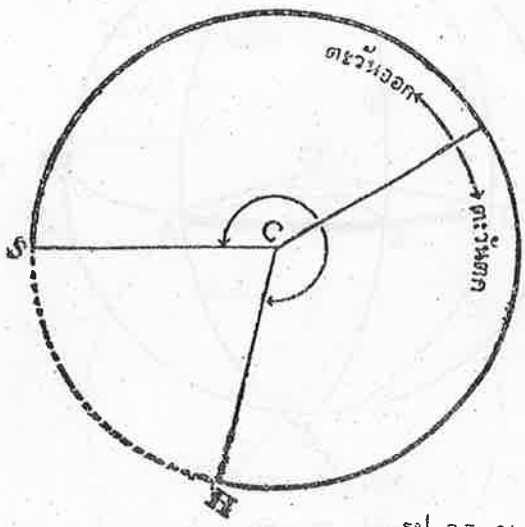
จากมัลต้า	14°31' อ.
ไปจิบรัลตาร์	5°21' ตก.
ลองเปลี่ยน (ชื่อผิดกันบวก)	19°52' ตก.

ถ้าหากผลบวกของลองจิจูดเปลี่ยนมากกว่า 180° แล้ว จะต้องเอาผลบวกที่ได้ไปลบจาก 360° แล้วเปลี่ยนชื่อกลับตรงกันข้ามดูตัวอย่างต่อไปนี้แล้วจะเข้าใจได้ดี

สมมุติว่านายเรือจะนำเรือจาก **Sydney** (151°13' อ.) ไปยังโฮโนลูลู (157° 52' ตก.) ตามกฎ-ลอง. เปลี่ยนได้ 309° ตก. เพราะว่านายเรือ จะต้องนำเรือกลับไปยังแมริเดียนกรีนิชเสียก่อนแล้วจึงแล่นต่อไปทางตะวันตกตลอดเวลา แต่ในทางปฏิบัติหาเป็นเช่นนั้นไม่ คือจะต้องแล่นไปในทางที่สั้นที่สุดซึ่งเป็นตะวันออก เพราะฉะนั้นจึงต้องเอาผลลัพธ์ของลองจิจูดเปลี่ยนที่หาได้ตามกฎในเมื่อมากกว่า 180° ไปลบออกจาก 360° แล้วเปลี่ยนชื่อกลับตรงข้าม



รูป 25 ก



รูป 25 ข

จาก **Sydney**	151°13' อ.
ไปโฮโนลูลู	157°52' ตก.
ลอง.เปลี่ยน (ชื่อผิดกันบวกกัน)	309°05' ตก.
	306°
	50°55' อ.

เพราะฉะนั้นการกำหนดตำบลที่ใด ๆ บนพื้นโลกจึงใช้กำหนดด้วยละจิจูด และลองจิจูด และตำบลที่ของตำบลอื่น ๆ อาจกำหนดให้เกี่ยวข้องต่อเนื่องกับตำบลที่แรกได้ โดยละติจูดเปลี่ยนและลองจิจูดเปลี่ยน

3. หาละติจูดเปลี่ยน (เมื่อรู้ละติจูดออกและละติจูดถึง)

กฎ 1. เมื่อละติจูดมีชื่อเหมือนกัน ให้ลบละติจูดน้อยจากละติจูดมาก แล้วทอนผลลบให้เป็นลิบดา (**minutes**) ผลที่ได้เป็นละติจูดเปลี่ยน

ห้องสมุด
ก.ฝ.ร.
สัตหีบ ชลบุรี
7984

2. เมื่อละติจูดมีชื่อผิดกัน ให้บวกละติจูดทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วทอนเป็นลิบดา ผลที่ได้เป็นละติจูดเปลี่ยน

3. การให้ชื่อละติจูดเปลี่ยน ถ้าละติจูดถึงอยู่ทางเหนือของละติจูดออก ให้ชื่อละติจูดเปลี่ยนเป็นเหนือ (น) แต่ถ้าละติจูดถึงอยู่ทางใต้ของละติจูดออกให้ชื่อเป็นใต้ (ต)

หมายเหตุ การให้ชื่อละติจูดเปลี่ยน- โดยที่ละติจูดนั้นนับจากอิเควเตอร์ (แลต. 0°) ไปยังขั้วโลก (แลต. 90°น. หรือ 90°ต.) จึงเกิดผลตามว่าเมื่อเรือแล่นจากแลต.ต่ำไปยังแลต.. สูง (แลต.ชื่อเหมือนกัน) แล้วแลต.เปลี่ยนต้องมีชื่อเหมือนกันกับแลต.ถึง และเมื่อแล่นจากแลต. สูงไปยังแลต.ต่ำ (แลต.ชื่อเหมือนกัน) แล้วแลต.เปลี่ยนต้องมีชื่อผิดกันกับแลต.ถึง แต่เมื่อเรือแล่นข้ามอิเควเตอร์จาก แลต.ใต้ไปยังแลต.เหนือแล้วแลต.เปลี่ยนจะเป็นเหนือ และเมื่อแล่นจากแลต.เหนือไปยังแลต.ใต้แลต. เปลี่ยนก็จะเป็นใต้

ตัวอย่าง 1 หาแลตเปลี่ยนในระหว่าง Shiriya Zaki แลต.41°26'น. และประภาคาร แลต.32°37'น.

แลต.ออก	41°26' น.
แลต.ถึง	32°37' น.
	8°49' ต.
	60
	480
	49
แลต.เปลี่ยน	529' ต.

ตัวอย่าง 2 เรือแล่นจากแลต.60°13'ต.ไปยังแลต.51°12'ต. Ose Zaki จะได้แลต.เปลี่ยนเท่าใด

แลต. ออก	60°13' ต.
แลต. ถึง	51°12' ต.
	9°01' น.
	60
	540
	01
แลต. เปลี่ยน	541' น.

ตัวอย่าง 3 จงหาแลต.เปลี่ยนระหว่าง Cape San Rogue แลต.5°28'ต. และ Cape Verde แลต. 14°43' น.

แลต.ออก	5°28' ต.
แลต.ถึง	14°43' น.
	20°11' น.
	60
	1200
	11
แลต.เปลี่ยน	1211' น.

โจทย์ฝึกหัด

จะหาแลต.เปลี่ยนในระหว่างตำบล A และ B ในโจทย์ต่อไปนี้

1. แลต. A 10°45' น.
   " B 20°52' ต.
2. แลต. A 0°00'
   " B 9°15' ต.
3. แลต. A 68°17' น.
   " B 75°41' ต.
4. แลต. A 16°24' น.
   " B 30°18' ต.
5. แลต. A 23°46' ต.
   " B 8°50' ต.
6. แลต. A 80°10' ต.
   " B 30°29' ต.
7. แลต. A 15°55' น.
   " B 3°04' ต.
8. แลต. A 34°46' น.
   " B 0°00'
9. แลต. A 11°14' ต.
   " B 5°05' น.
10. แลต. A 53°20' น.
    " B 47°46' น.

4. หาละติจูดเปลี่ยนส่วนเมริเดียน (เมื่อรู้ละติจูดออกและละติจูดถึง)

กฎ เปิดหาส่วนเมริเดียนของละติจูดทั้งสองจากมาตราส่วนเมริเดียนในมาตราเดินเรือ (Nautical Tables) เช่น มาตราเดินเรืออินแมนส์ ฯลฯ ถ้าหากละติจูดทั้งสองมีชื่อเหมือนกัน เอาส่วนเมริเดียนลบกัน ถ้าผิดชื่อกันให้บวกกันผลที่ได้เป็นละติจูดเปลี่ยนส่วนเมริเดียน

ตัวอย่าง 1 แลต. A 49°10'น. แลต. B 27°40'น. หาแลต. เปลี่ยนส่วนเมริเดียน (แลต.ป.ส.ม.)

แลต. A	49°10' น.	ส.ม.	3397'.4 น.
" B	27°40' น.	"	1728'.5 น.
		แลต.ป.ส.ม.	1668'.9 ต.

ตัวอย่าง 2 แลต.ออก 49°58' ต. แลต.ถึง 32°42' ต. หาแลต.เปลี่ยนส่วนเมริเดียน

แลต.ออก 49°58' ต. ส.ม. 3471'.4 ต.
" ถึง 32°42' ต. " 2078'.1 ต.
แลต.ป.ส.ม. 1393'.3 น.

ตัวอย่าง 3 แลต.ออก 29°53' ต. แลต.ถึง 20°08' น. หาแลต.เปลี่ยนส่วนเมริเดียน

แลต.ออก 29°53' ต. ส.ม. 1880'.3 ต.
" ถึง 20°08' น. " 1233'.7 น.
แลต.ป.ส.ม. 3114'.0 น.

โจทย์ฝึกหัด

จงหาแลต.เปลี่ยนส่วนเมริเดียนในโจทก์ต่อไปนี้

1. แลต.ออก 34°42' น.
" ถึง 33°15' น.
2. แลต.ออก 74°10' น.
" ถึง 80°30' น.
3. แลต.ออก 0°00'
" ถึง 2°45' น.
4. แลต.ออก 4°43' ต.
" ถึง 0°00'
5. แลต.ออก 65°32' ต.
" ถึง 57°56' ต.
6. แลต.ออก 38°29' ต.
" ถึง 36°42' ต.
7. แลต.ออก 24°30' น.
" ถึง 3°58' ต.
8. แลต.ออก 15°5' ต.
9 " ถึง 13°46' ต.
9. แลต.ออก 23°50' ต.
" ถึง 11°23' น.
10. แลต.ออก 63°23' น.
" ถึง 56°19' น.

5. หาละติจูดถึง (เมื่อรู้ละติจูดออกและละติจูดเปลี่ยน)

กฎ 1. เมื่อละติจูดออกและละติจูดเปลี่ยน มีชื่อเหมือนกัน-ให้บวกแลต.เปลี่ยน - (ถ้าจำเป็นให้เปลี่ยนเป็นองศา, ลิบดาและฟิลิบดาเสียก่อน) เข้ากับแลต.ออก ผลบวกจะเป็นแลต.ถึง มีชื่อเดียวกันกับแลต.ออก

2. เมื่อละติจูดออก และละติจูดเปลี่ยนมีชื่อผิดกัน-ให้ลบกันและให้ชื่อเดียวกันกับแลต.ซันมาก ผลลัพธ์เป็นแลต.ถึง

ตัวอย่าง 1 เรือแล่นออกจากแลต.34°18' น. ไปทางเหนือจนได้ละติจูดเปลี่ยน 135 ไมล์ หาละติจูดถึง

แลต.ป.
60)135'
2°15'

แลต.ออก 34°18' น.
" ป. 2°15' น.
แลต.ถึง 36°33' น.

ตัวอย่าง 2 เรือแล่นเหนือ 215 ไมล์จากแลต.19°14' ต. หาแลต.ถึง

แลต.ป.
60)250'
3°35'

แลต.ออก 19°14' ต.
" ป. 3°35' น.
แลต.ถึง 15°39' ต.

ตัวอย่าง 3 เรือลำหนึ่งแล่นใต้จากตำบลที่ในแลต.3°25' น. ได้แลต.เปลี่ยน 250 ไมล์ หาแลต.ถึง

แลต.ป.
60)250'
4°10'

แลต.ออก 3°25' น.
" ป. 4°10' ต.
แลต.ถึง 0°45' ต.

โจทย์ฝึกหัด

จงหาละติจูดถึงในโจทย์ต่อไปนี้

	แลต.ออก	แลต.ป.		แลต.ออก	แลต.ป.
1.	28°19' น.	264' น.	6.	0°00'	216' ต.
2.	19°40' ต.	218' ต.	7.	0°00'	64' น.
3.	0°10' น.	244' ต.	8.	18°41' ต.	340' น.
4.	4°17' ต.	221' น.	9.	3°48' ต.	160' น.
5.	0°00'	216' ต.	10.	6°39' น.	532' ต.

6. หาลองจิจูดเปลี่ยน (เมื่อรู้ลองจิจูดออกและลองจิจูดถึง)

กฎ 1 เมื่อลองจิจูดมีชื่อเดียวกัน-ให้ลบกันแล้วทอนผลลบให้เป็นลิบดา ผลที่ได้เป็นลองจิจูดเปลี่ยน

2. เมื่อลองจิจูดมีชื่อผิดกัน - ให้บวกกัน และถ้าผลบวกน้อยกว่า 180° ให้ทอนเป็นลิบดา ถ้าเกิน 180°ให้ลบจาก 360°แล้วทอนผลลบที่ได้เป็นลิบดา ผลลัพธ์ที่ได้โดยนัยทั้งสองเป็นลองจิจูดเปลี่ยน

3. การให้ชื่อลองจิจูดเปลี่ยน - ถ้าลอง.ถึงอยู่ทางตะวันออกของลอง.ออก ให้ชื่อลองเปลี่ยนเป็นตะวันออก (อ) ถ้าอยู่ทางตะวันตกของลองออก ให้ชื่อลองเปลี่ยนเป็นตะวันตก-(ตก)

หมายเหตุ เมื่อเรือแล่นข้ามเมริเดียนกรีนิช ไปสู่ลอง.ตะวันออก ต้องให้ชื่อลอง.เปลี่ยน เป็นตะวันออก (อ) และไปสู่ลองตะวันตก ให้ชื่อว่าตะวันตก (ตก)

เมื่อเรือแล่นข้ามเมริเดียน 180° จากลอง.ตะวันออกไปสู่ลอง.ตะวันตก ต้องให้ชื่อลอง.เปลี่ยนเป็นตะวันออก (อ) และถ้าแล่นจากลอง.ตะวันตก ไปสู่ลอง.ตะวันออก ให้ชื่อว่าตะวันตก (ตก)

ตัวอย่าง 1 จงหาลอง.เปลี่ยนระหว่างเซี่ยงไฮ้ (ลอง.121°30'อ.) และโกเบ (ลอง.135°12'อ.)

ลอง.ออก	121°30' อ.
ลอง.ถึง	135°12' อ.
	13°42' อ.
	60
	780
	42
ลอง.เปลี่ยน	822' อ.

ตัวอย่าง 2 หาลอง.เปลี่ยนระหว่าง **Cape of Good Hope** ลอง.18°29'อ. และ **Tristan da Cunha** ลอง. 13°00'ตก.

ลอง.ออก $18^{\circ}29'$ อ.
ลอง.ถึง $13^{\circ}00'$ ตก.
$31^{\circ}29'$ ตก.
60
1860
29
ลอง.เปลี่ยน $1889'$ ตก.

ตัวอย่าง 3 หาลอง.เปลี่ยน ในระหว่างลอง. $162^{\circ}54'$ อ. และลอง.$166^{\circ}30'$ตก.
ลอง.ออก $162^{\circ}54'$ อ.
ลอง.ถึง $166^{\circ}30'$ ตก.
$329^{\circ}24'$ ตก.เกิน 180°
360° ลบจาก 360°
$30^{\circ}36'$ อ. เปลี่ยนชื่อ
60
1800
36
ลอง.เปลี่ยน $1836'$ อ.

โจทย์ฝึกหัด

จงหาลอง.เปลี่ยนในโจทย์ต่อไปนี้-

	ลอง.ออก	ลอง.ถึง		ลอง.ออก	ลอง.ถึง
1.	$167^{\circ}39'$ อ.	$98^{\circ}27'$ อ.	6.	$6^{\circ}29'$ตก.	$14^{\circ}13'$ อ.
2.	$153^{\circ}21'$ ตก.	$94^{\circ}10'$ ตก.	7.	$99^{\circ}32'$อ.	$167^{\circ}19'$ อ.
3.	$79^{\circ}47'$ ตก.	$52^{\circ}38'$ ตก.	8.	$4^{\circ}29'$อ.	$0^{\circ}17'$ ตก.
4.	$54^{\circ}30'$ อ.	$36^{\circ}42'$ อ.	9.	$175^{\circ}10'$ตก.	$169^{\circ}26'$ อ.
5.	$111^{\circ}26'$ อ.	$2^{\circ}19'$ ตก.	10.	$146^{\circ}28'$อ.	$155^{\circ}16'$ ตก.

7. หาลองจิจูดถึง (เมื่อรู้ลองจิจูดออกและลองจิจูดเปลี่ยน)

กฎ 1. เมื่อลองจิจูดออก และลองจิจูดเปลี่ยน มีชื่อเหมือนกันเอาลอง.เปลี่ยน - (เปลี่ยนเป็นองศาและลิบดาแล้ว) บวกเข้ากับลอง.ออก ผลบวกเป็นลองถึง และให้ชื่อเหมือนกับลอง.ออก แต่ถ้าผลบวกเกินกว่า 180° ให้ลบจาก 360° ผลลบที่ได้เป็นลอง.ถึง และให้ชื่อตรงข้ามกับลอง.ออก

2. ถ้าลอง.ออกและลอง.เปลี่ยนมีชื่อผิดกันให้ลบกัน ผลลบที่ได้เป็นลอง.ถึง และให้ชื่อเหมือนกับลอง.ที่มีค่ามาก

ตัวอย่าง 1 เรือลำหนึ่งออกจาก **Nojima Zaki** ในลอง.139°54'อ. ได้ลอง.เปลี่ยน 463'อ. หาลอง.ถึง

ลอง.เปลี่ยน		ลอง.ออก	139°54' อ.
60)463'		" ป.	7°43' อ.
7°43' อ.		ลอง.ถึง	147°37'อ.

ตัวอย่าง 2 เรือลำหนึ่งออกจาก **Ose Zaki** ในลอง. 128°36'อ. แล่นไปทางตะวันตกจนได้ลอง.เปลี่ยน 349' หาลองถึง

ลอง.เปลี่ยน		ลอง.ออก	128°36' อ.
60)349'		" ป.	5°49' ตก.
5°49' ตก.		ลอง.ถึง	122°47' อ.

ตัวอย่าง 3 เรือลำหนึ่งออกจาก **A** ในลอง. 2°58' อ. แล่นไปจนได้ลอง.เปลี่ยน 373' ตก. หาลอง.ถึง

ลอง.เปลี่ยน		ลอง.ออก	2°58' อ.
60)373'		" ป	6°13' ตก.
6°13' ตก.		ลอง.ถึง	3°15 ตก.

ตัวอย่าง 4 เรือลำหนึ่งออกจาก **A** ในลอง.175°17' ตก. แล่นไปจนได้ลอง.เปลี่ยน 783'ตก. หาลอง.ถึง

ลอง.เปลี่ยน		ลอง.ออก	175°17'ตก.
60)783'		" ป.	13°03'ตก.
13°03'ตก			188°20'ตก.เกิน 180.
			360° ลบจาก 360°
		ลอง.ถึง	171°40'อ.

โจทย์ฝึกหัด

จงหาลองจิจูดถึงในโจทย์ต่อไปนี้

	ลอง.ออก	ลอง.เปลี่ยน		ลอง.ออก	ลอง.เปลี่ยน
1.	0°00'	356'อ.	6.	169°59'ตก.	800'ตก.
2.	14°37'อ.	247'ตก.	7.	98°21'อ.	324'ตก.
3.	3°19'อ.	420'ตก.	8.	8°36'อ.	735'ตก.
4.	3°58'ตก.	419'อ.	9.	156°55'ตก.	139'อ.
5.	179°13'อ.	646'อ.	10.	0°03'อ.	235'ตก.

8. หาละติจูดกลาง (เมื่อรู้ละติจูดออกและละติจูดถึง)

กฎ ถ้าละติจูดทั้งสองมีชื่อเหมือนกัน คือแลต.เหนือหรือใต้ทั้งคู่ให้บวกแลต. ทั้งสองเข้าด้วยกัน แล้วหารด้วยสอง ผลลัพธ์ที่ได้เป็นแลต.กลาง

ตัวอย่าง 1 หาแลต.กลางเมื่อรู้แลต.ออก 43°42'น. และแลต.ถึง 13°32'น.

แลต.ออก 43°42'น.
แลต.ถึง 13°32'น.
2)57°14'
แลต.กลาง 28°37'น.

ตัวอย่าง 2 แลต.ออก 15°13'น. แลต.เปลี่ยน 168'น. หาแลต.กลาง

แลต.เปลี่ยน
6)168'
2°48'น.

แลต.ออก 15°13'น.
" ป. 2°48'น.
แลต.ถึง 18°01'น.
" ออก 15°13'น.
2)33°14'
แลต.กลาง 16°37'น.

ตัวอย่าง 3 แลต.ออก 46°23'ต. แลต.เปลี่ยน 218'น หาแลต.กลาง

แลต.เปลี่ยน
60)218°
3°38 น.

แลต.ออก 46°23'ต.
" ป. 3°38'น.
แลต.ถึง 42°45'ต.
" ออก 46°23'ต.
2)89°08'
แลต.กลาง 44°34'ต.

โจทย์ฝึกหัด

จงหาละติจูดกลางในโจทย์ต่อไปนี้

	แลต.ออก	แลต.ถึง	แลต.เปลี่ยน
1.	25°47'ต.	43°38'น.	-
2.	34°38'น.	78°45'น.	-
3.	53°39'น.	-	440'น.
4.	40°54'น.	-	138'ต.
5.	21°33'น.	-	240'น.
6.	17°31'ต.	-	350'ต.
7.	34°48'น.	42°20'น.	-
8.	28°40'ต.	-	154'น.
9.	29°56'ต.	-	372'น.
10.	48°39'น.	-	493'ต.

ตอนที่ 3
การแก้เข็มและแบริง

จากวิเคราะห์ศัพท์ในตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ทิศ แบริง เข็ม หรือทิศหัวเรือก็ดีอาจแสดงได้เป็น 3 นัย คือ

(1) จริง เมื่ออ้างถึงเมริเดียน จริง (ภูมิศาสตร์)เป็นต้นกำเนิดของการวัด

(2) แม่เหล็ก เมื่ออ้างถึงเมริเดียน แม่เหล็ก เป็นต้นกำเนิดของการวัด

(3) เข็มทิศ เมื่ออ้างถึงแกนของแผ่น เข็มทิศ เป็นต้นกำเนิดของการวัด

ตามวิเคราะห์ศัพท์ของ "ทิศ"และ "แบริง"ในตอนที่ 1 ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น นักเดินเรือใช้เข็มทิศเป็นเครื่องมือหาทิศและแบริงที่กล่าวนั้น ทิศและแบริงที่หาได้โดยเข็มทิศนี้ใช้นับจาก - ขั้วเหนือใต้ของเข็มทิศ (แกนของแผ่นเข็มทิศ) นั้น ฉะนั้นเมื่อต้องการหาทิศและแบริงจริง (นับจากเมริเดียนจริง) แล้วจึงต้องใช้ตัวประกอบต่อไปนี้แก้ หรือเมื่อรู้ทิศและแบริงจริงก็ใช้ตัวประกอบ - เหล่านี้แก้เมื่อต้องการหาจากเข็มทิศ

ตัวประกอบเหล่านี้ คือ

1.วาริเอชั่นของเข็มทิศ

2.ดิวิเอชั่นของเข็มทิศ

3.ลีเวย์

หมายเหตุ ในปัจจุบันนี้ไม่ได้แก้ลีเวย์แล้ว สำหรับเรือที่ใช้เครื่องจักร ใช้เฉพาะในเรือใบเท่านั้น

ทิศใด ๆ ที่กำหนดให้ก็ตาม อาจแสดงได้ดัง 3 นัยที่กล่าวแล้ว โดยให้พึงเข้าใจว่า

จริง ต่างจาก แม่เหล็ก โดย วาริเอชั่น

แม่เหล็ก ต่างจาก เข็มทิศ โดย ดิวิเอชั่น

เข็มทิศ ต่างจาก จริง โดย ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ

วาริเอชั่นหาได้จากแผนที่ วาริเอชั่นประจำปีและแผนที่เดินเรือดิวิเอชั่นได้จากบัญชี - ดิวิเอชั่น หรือเส้นโค้งดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือ ส่วนลีเวย์หาได้โดยการกะประมาณโดยอาศัยความ - ชำนาญ

วาริเอชั่น(Variation of the compass)

เข็มแม่เหล็กที่ปล่อยให้แขวนหรือลอยอยู่โดยอิสระ ณ ที่ตำบลหนึ่งตำบลใด และอยู่ภายในสนามแม่เหล็กของโลกแล้ว เข็มแม่เหล็กนั้นจะหยุดนิ่งอยู่ในเส้นของแรง ณ ที่ตำบลนั้น วงใหญ่ของโลกในพื้นซึ่งเข็มแม่เหล็กชี้อยู่นั้น เรียกว่า เมริเดียนแม่เหล็กของตำบลที่

มุมแนวนอนในระหว่างเมริเดียนแม่เหล็กและเมริเดียนจริงของตำบลที่เรียกว่าวาริเอชั่น

ถ้าขั้วเหนือของเมริเดียนแม่เหล็กอยู่ทางตะวันออกของเมริเดียนจริงเรียกว่า วาริเอชั่นตะวันออก หรือ (+) ถ้าอยู่ทางตะวันตกเรียกว่าวาริเอชั่นตะวันตก หรือ (-)

ค่าของวาริเอชั่นจะมีมากหรือน้อย ย่อมแล้วแต่มุมที่เปลี่ยนไป อันเกิดจากขั้วแม่เหล็กและขั้วโลกไม่ทับกัน เพราะขั้วแม่เหล็กโลกเคลื่อนที่ได้และทำให้เส้นของแรงเปลี่ยนทิศไป

วาริเอชั่นเปลี่ยน วาริเอชั่นต่างกันตามตำบลที่ต่าง ๆ และยังมีการเปลี่ยนคงตัวอีก การเปลี่ยนคงตัวนี้มีอัตราคงตัวตามตำบลที่ต่าง ๆ ซึ่งได้ตรวจสอบมาเป็นเวลานานแล้ว อาจเกิดจากการที่ขั้วแม่เหล็กโลกเปลี่ยนตำบลที่ได้ส่วนสัมพันธ์กันกับขั้วโลก

วาริเอชั่นเปลี่ยนประจำวัน ตามการทดลองปรากฏว่าวาริเอชั่น มีการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ น้อย ๆ ประจำวัน ออกจากการเปลี่ยนคงตัวที่มีอยู่แล้ว เวลากลางวันมีมากกว่าเวลากลางคืน และในฤดูร้อนมีมากกว่าในฤดูหนาว การเปลี่ยนแปลงประจำวันนี้ ในการเดินเรือทางปฏิบัติได้ตัดทิ้งไม่ได้นำเอามาเกี่ยวข้องด้วย

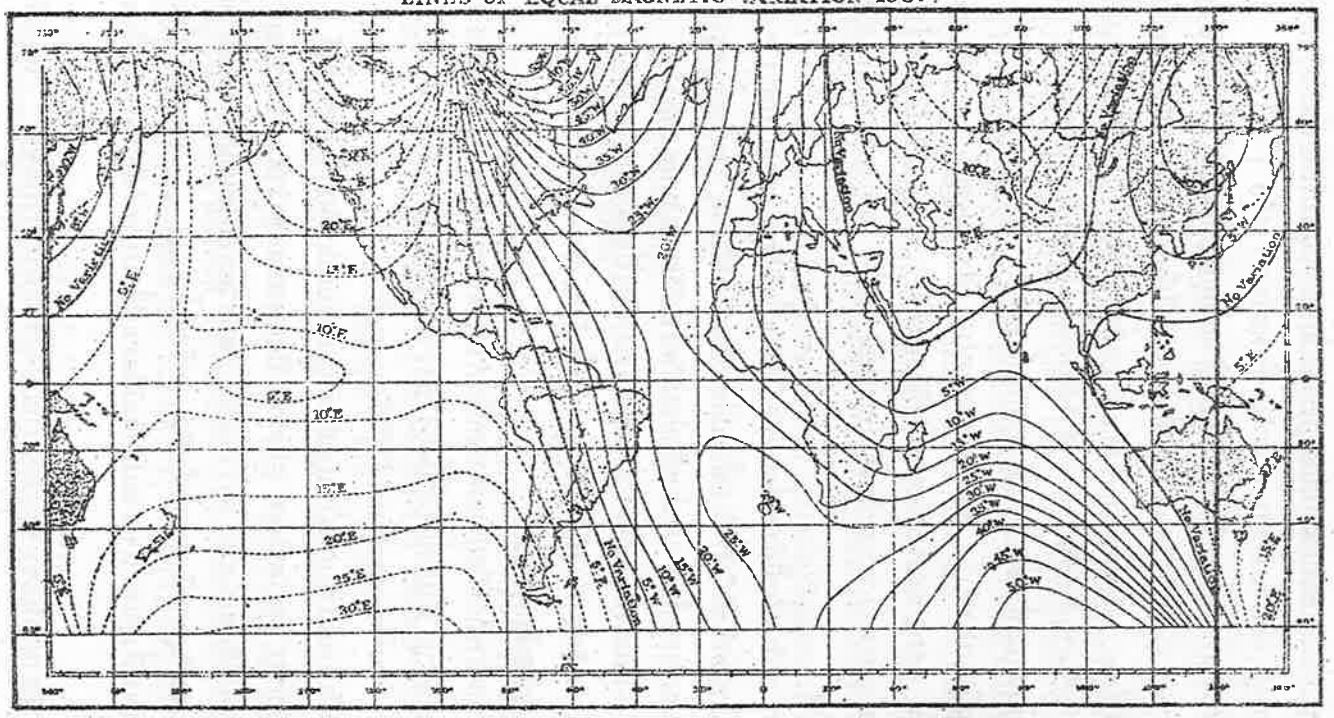
วาริเอชั่นจร วาริเอชั่นนี้ยังเปลี่ยนแปลงได้อีกเมื่อได้รับการรบกวนต่าง ๆ อันไม่แน่นอนจากภายนอก เช่นพายุแม่เหล็กซึ่งทำให้วาริเอชั่นเปลี่ยนชั่วคราวได้มาก ในละติจูดสูง ๆ มีแสงเงินแสงทอง (aurora) ซึ่งตามปรกตินั้นพายุแม่เหล็กย่อมเกิดร่วมกับแสงเงินแสงทองด้วย (การที่รู้ได้เช่นนี้เพราะว่าเมื่อเกิดแสงเงินแสงทองแล้วต้องมีพายุแม่เหล็กต่อเนื่องตามมาด้วยเสมอ) โดยเหตุนี้เองในละติจูดสูง ๆ แผ่นเข็มทิศจึงหันได้คล่อง นอกจากนี้แล้วดวงจันทร์ ดาวนพเคราะห์ยังอาจทำให้วาริเอชั่นเปลี่ยนชั่วคราวได้เล็กน้อยอีกด้วย

แรงที่รบกวนแม่เหล็กที่มีอยู่ตามตำบลที่ในตำบลที่เฉพาะบางแห่งมีแร่แม่เหล็กและหินซึ่งอาจรบกวนแม่เหล็กให้ผิดได้มาก ตำบลที่เหล่านี้ต้องใช้ความระมัดระวัง และได้มีกล่าวไว้ในหนังสือนำร่องของตำบลเหล่านั้น ส่วนข้อความเตือนได้ให้ไว้ในแผนที่

เรืออับปางที่ไม่โผล่น้ำอาจทำให้เกิดอำนาจรบกวนแม่เหล็กตามตำบลที่ได้

แผนที่วาริเอชั่น (Variation chart) เป็นแผนที่แสดงวาริเอชั่นทั่วโลกตำบลที่ต่าง ๆ ที่มีวาริเอชั่นเท่ากันมีเส้นขีดไว้ติดต่อถึงกัน ถ้าวาริเอชั่นเป็นตะวันออกใช้เขียนด้วยเส้นไข่ปลา (หรือสีแดง) และวาริเอชั่นเป็นตะวันตกเขียนด้วยเส้นพืด (หรือสีน้ำเงิน) เส้นเหล่านี้ทุกเส้นมีอัตราวาริเอชั่นเขียนกำกับไว้ แผนที่วาริเอชั่นของอเมริกันมีอัตราเปลี่ยนประจำปีแทรกลงไว้ในระหว่างเส้นวาริเอชั่นด้วย

เมื่อต้องการทราบวาริเอชั่นของตำบลใดก็หาดูในแผนที่วาริเอชั่น โดยใช้ละติจูดและลองจิจูดของตำบลนั้นจดลง เส้นวาริเอชั่นที่ผ่านหรืออยู่ใกล้เคียงกับตำบลนั้นเป็นวาริเอชั่นที่ต้องการ แต่ถ้าแผนที่วาริเอชั่นนั้นเป็นแผนที่เก่า เมื่อหาวาริเอชั่นตามตำบลที่ได้แล้วต้องเอาอัตราเปลี่ยนประจำปีในแผนที่นั้นเข้าไปคิดคำนวณตามปีเสียก่อน จึงจะได้วาริเอชั่นจริงที่ต้องการ


LINES OF EQUAL MAGNETIC VARIATION 1937.
No Variation
No Variation
No Variation

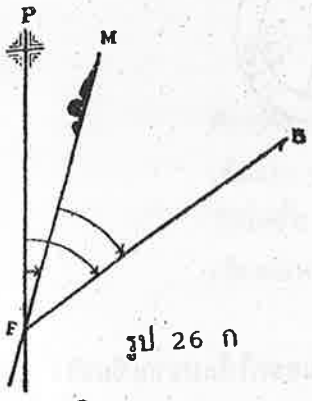
ในแผนที่เดินเรือของบางประเทศเช่นไทย อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา มีวงเข็มจริงและวงเข็มแม่เหล็กเขียนไว้ในแผนที่ทั้งสองอย่าง ฉะนั้น ถ้าใช้ปีดจากวงเข็มแม่เหล็กแล้วก็ไม่ต้องแก้วาริเอชั่น

วิธีแก้เข็ม โดยที่เข็มทิศในเรือมีความผิดต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว เพราะฉะนั้น ในการเดินเรือจึงเดินตามเข็มจริงไม่ได้ต้องแก้เข็มจริง ให้เป็นเข็มแม่เหล็ก และแก้เข็มแม่เหล็กให้เป็นเข็มเรือสำหรับถือท้าย

ในการแก้เข็มนี้ วิธีที่ง่ายและสะดวก คือการแก้ด้วยการเขียนรูปประกอบ

การเขียนรูปแก้เข็มดังนี้

ในรูป 26 ก.และ 26 ข.ให้ PF เป็นส่วนหนึ่งของเมริเดียนจริง

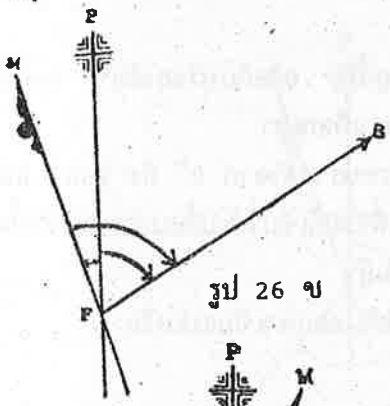


รูป 26 ก

MF เป็นส่วนหนึ่งของเมริเดียนแม่เหล็ก

FB เป็นทิศหัวเรือ หรือแนวแบริงของวัตถุ และให้ตัดกันตรงจุด F ถ้าวาริเอชั่นเป็นตะวันออกเขียนให้-เมริเดียนแม่เหล็ก MF อยู่ทางขวาของเมริเดียนจริง - PF หรือถ้าเป็นตะวันตก เขียนให้อยู่ทางซ้ายดังในรูป

ในรูป 26 ก.นั้น MFB=PFB-PFM คือ-เข็มแม่เหล็ก =เข็มจริง+วาริเอชั่น



รูป 26 ข

ในรูป 26 ข.นั้น MFB=PFB+PFM คือ-เข็มแม่เหล็ก =เข็มจริง+วาริเอชั่น

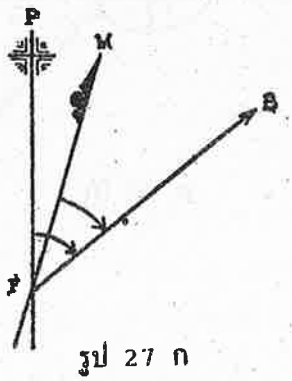
วิธีแก้เข็มจริงเป็นเข็มแม่เหล็ก

ตัวอย่าง 1 เข็มจริง 056° วาริเอชั่น 10°อ. หาเข็มแม่เหล็ก

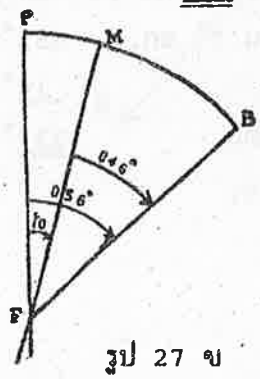
เข็มจริง PFB 056°

วาริเอชั่น PFM 10°อ.

เข็มแม่เหล็ก PFB 046°



รูป 27 ก



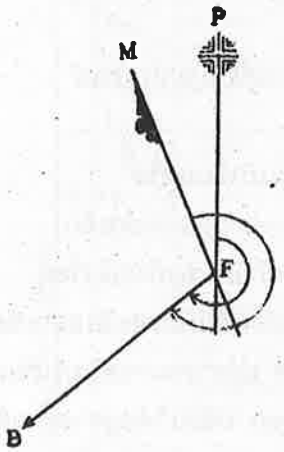
รูป 27 ข

ตัวอย่าง 2 เข็มจริง 230° วาริเอชั่น 15° ตก. หาเข็มแม่เหล็ก

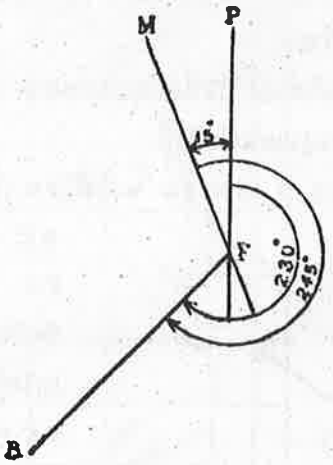
เข็มจริง PFB 230°

วาริเอชั่น PFM 15° ตก.

เข็มแม่เหล็ก MFB 245°



รูป 28 ก.



รูป 28 ข.

กฎ การแก้เข็มจริงให้เป็นเข็มแม่เหล็ก ถ้าวาริเอชั่นตะวันออกให้ลบจากเข็มจริง และวาริเอชั่นตะวันตกให้บวก

หมายเหตุ ให้พึงระลึกไว้ว่าการแก้เข็มโดยการจำกฎนั้น อาจลืมหรือสงสัยได้ ฉะนั้นย่อมสู้การเขียนรูปประกอบไม่ได้ ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ผู้ใช้จะพึงพิจารณาเลือกเอา

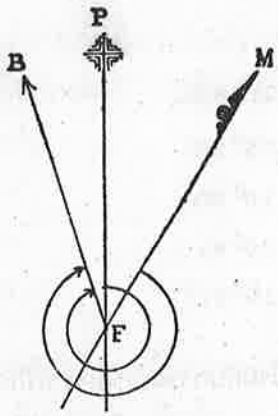
การแก้เข็มนี้ ถ้าหากว่าเข็มที่ให้นั้นไม่ได้ใช้นับเป็นเลขสามตัวจาก 0° ถึง 360° แต่นับเป็นมุมในระหว่าง 0° ถึง 90° จากทิศเหนือหรือใต้แล้วก่อนที่จะแก้เข็มให้เปลี่ยนการนับเข็มนั้นเป็นนับจาก 0° ถึง 360° เสียก่อนแล้วจึงแก้ตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตัวอย่าง 1 เข็มจริง น.7° ตก. วาริเอชั่น 16° ตะวันออกหาเข็มแม่เหล็ก

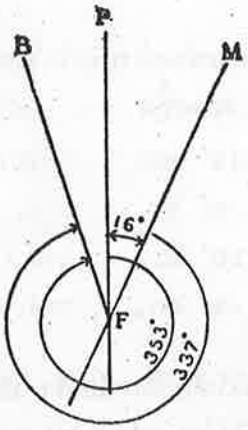
เข็มจริง น.7° ตก.= 353°

วาริเอชั่น 16° อ.

เข็มแม่เหล็ก 337°



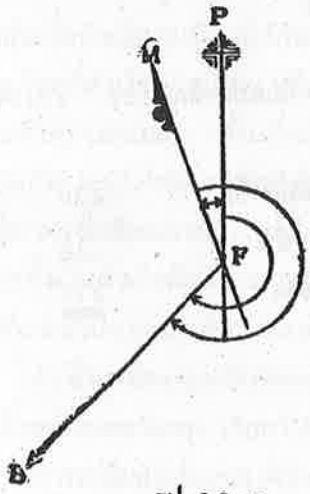
รูป 29 ก.



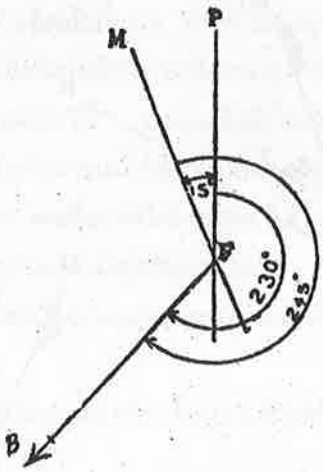
รูป 29 ข.

ตัวอย่าง 2 เข็มจริง ต.50° ตก. วาริเอชั่น 15° ตก. หาเข็มแม่เหล็ก

เข็มจริง ต. 50° ตก. =	230°	
วาริเอชั่น	15°	ตก.
เข็มแม่เหล็ก	245°	



รูป 30 ก



รูป 30 ข

โจทย์ฝึกหัด

จากหาเข็มแม่เหล็กในโจทย์ต่อไปนี้

	เข็มจริง	วาริเอชั่น		เข็มจริง	วาริเอชั่น
1.	201°	12° ตก.	5.	น. 65° อ.	15° ตก.
2.	318°	8° อ.	6.	ต. 20° ตก.	10° ตก.
3.	140°	20° อ.	7.	ต. 80° ตก.	20° อ.
4.	210°	5° ตก.	8.	ต. 40° อ.	10° อ.

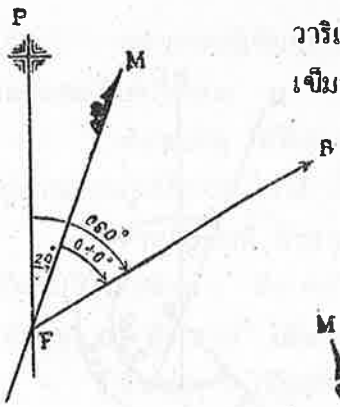
วิธีแก้เข็มแม่เหล็กเป็นเข็มจริง วิธีนี้เป็นการแก้ตรงข้ามกับการแก้เข็มจริงเป็นเข็มแม่เหล็กเมื่อดูรูปแล้วก็จะเข้าใจได้ง่าย เช่นในรูป 26.ก.นั้น **PFB=MFB+PFM** คือ เข็มจริง=เข็มแม่เหล็ก +วาริเอชั่น

และในรูป 26 ข. **PFB=MFB-PFM** คือ เข็มจริง = เข็มแม่เหล็ก-วาริเอชั่น

กฎการแก้นั้นตรงกันข้ามกับการแก้เข็มจริง เป็นเข็มแม่เหล็ก คือ-วาริเอชั่นตะวันออกให้บวกเข้ากับเข็มแม่เหล็ก และวาริเอชั่นตะวันตกให้ลบ

ตัวอย่าง 1 เข็มแม่เหล็ก 040° วาริเอชั่น 20°อ.หาเข็มจริง

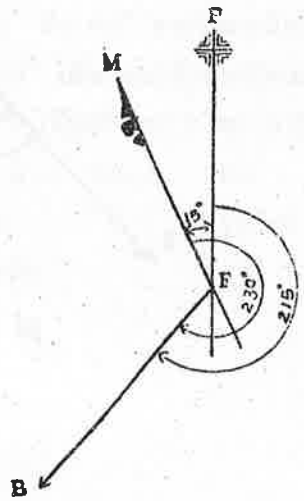
เข็มแม่เหล็ก	040°
วาริเอชั่น	+ 20°
เข็มจริง	060°



รูป 31

ตัวอย่าง 2 เข็มแม่เหล็ก 230° วาริเอชั่น 15°ตก. หาเข็มจริง

เข็มแม่เหล็ก	230°
วาริเอชั่น	- 15°
เข็มจริง	215°



รูป 32

โจทย์ฝึกหัด

จงหาเข็มจริงในโจทย์ต่อไปนี้

	เข็มแม่เหล็ก	วาริเอชั่น	เข็มแม่เหล็ก	วาริเอชั่น
1.	075°	15° ตก.	5. น. 50° ตก.	20° อ.
2.	060°	10° อ.	6. อ.	12° ตก.
3.	150°	5° อ.	7. ต. 8° อ.	8° อ.
4.	210°	10° ตก.	8. ต. 85° ตก.	5° ตก.

การแก้ที่กล่าวมานี้ กล่าวเฉพาะเข็มเท่านั้น ฉะนั้นเมื่อจะแก้แบริงก็ทำในทำนองเดียวกัน โดยเปลี่ยน เข็ม เป็น แบริง เท่านั้น

ดิวิเอชั่นของเข็มทิศ (Deviation of the compass)

ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (compass error) ที่ใช้อยู่ในเรือเหล็กนั้น มิได้มีแต่วาริเอชั่นอย่างเดียวเท่านั้น ยังมีความเคลื่อนคลาดอีกชนิดหนึ่งคือดิวิเอชั่น ถ้ากล่าวย่อ ๆแล้วดิวิเอชั่นคือความผิดที่ขั้วเหนือ ของเข็มทิศชี้ผิดไปจากเมริเดียนแม่เหล็ก ซึ่งเกิดจากอำนาจแม่เหล็กในตัวเรือดูดดึงให้ขั้วเหนือของเข็มทิศชี้ผิดไป หรืออีกนัยหนึ่งเป็นมุมในระหว่างเมริเดียนแม่เหล็กและแกนของแผ่นเข็มทิศ

การที่ตัวเรือเกิดเป็นแม่เหล็กขึ้นได้นั้น เนื่องจากว่าตัวเรือและส่วนประกอบตัวเรือทำด้วยเหล็ก ขณะเมื่อกำลังต่ออยู่ในอู่นั้น ย่อมถูกค้อนเคาะหรือทุบตี ฯลฯ เป็นต้น ทำให้โมเลกุล (molecule) เนื้อเหล็กจัดตัวเป็นระเบียบมีลักษณะเป็นแม่เหล็กขึ้นแต่ไม่ถึงกับมีอำนาจที่จะดึงดูดเหล็กอื่นให้ติดแน่นได้ และโดยที่ตัวเรือย่อมมีทั้งเหล็กธรรมดาและเหล็กกล้าผสมกัน ฉะนั้นจึงมีทั้งแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กชั่วคราวผสมกัน ครั้นเมื่อเรือออกจากอู่ลงสู่น้ำแล้วอำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเหล่านี้ก็ลดลงไปมากเหมือนกัน แต่ยังไม่หมดเสียทีเดียวยังมีตกค้างอยู่อีกมาก พอที่จะทำให้เข็มทิศ เกิดความผิดได้ โดยเหตุนี้เมื่อเอาเข็มทิศแม่เหล็ก ลงวางในเรือที่ต่อด้วยเหล็กธรรมดาหรือเหล็กกล้าแล้ว อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในตัวเรือดังกล่าวมาแล้วนั้นจะทำให้เข็มทิศชี้ผิดไปจากเมริเดียนแม่เหล็กคือขั้วเหนือของเข็มทิศห้นหนีไปจากเมริเดียนแม่เหล็ก

ถ้าขั้วเหนือของเข็มทิศอยู่ทางตะวันออกของเมริเดียนแม่เหล็กเรียกว่า ดิวิเอชั่นตะวันออก หรือ (+) ถ้าอยู่ทางตะวันตก เรียกว่าดิวิเอชั่นตะวันตก หรือ (-)

การเปลี่ยนแปลงของดิวิเอชั่น ตามปรกตินั้นมักใช้วางเข็มทิศไว้บนสะพานเดินเรือ ฉะนั้นเข็มทิศจึงอยู่ใกล้หัวเรือมากกว่าท้ายเรือ โดยเหตุนี้เองเหล็กธรรมดาและเหล็กกล้าจึงอยู่ไม่ได้ส่วนสัมพันธ์กันกับเข็มทิศ และทุกครั้งที่เรือเปลี่ยนเข็ม (ทิศหัวเรือ) ไปเหล็กธรรมดาและเหล็กกล้าเหล่านั้นก็จะเปลี่ยนที่ของมันอันไม่สัมพันธ์อยู่กับเข็มทิศด้วย ฉะนั้นมันจึงดูดดึงหรือผลักเข็มทิศโดย

จำนวนต่าง ๆ กัน เพราะฉะนั้นดิวิเอชั่นจึงเปลี่ยนทุกทิศหัวเรือ (เข็ม) ดังเหตุที่ได้กล่าวมาแล้ว

นอกจากนี้แล้วยังมีเหตุอื่นหลายประการ ที่ทำให้ดิวิเอชั่นเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ก่อนที่จะเอาเข็มทิศในเรือมาใช้การนั้นต้องแก้แรงรบกวนต่าง ๆ ที่ทำให้เข็มทิศมีดิวิเอชั่นเสียก่อนซึ่งได้กล่าวไว้ในเรื่องของดิวิเอชั่นของเข็มทิศโดยเฉพาะ แต่การที่จะแก้เข็มทิศไม่ให้มีดิวิเอชั่นเลยนั้นย่อมทำไม่ได้ เป็นแต่เพียงทำให้เหลือน้อยได้เท่านั้น และส่วนที่เหลืออยู่น้อยนั้นก็หาได้ แล้วเอามาเขียนเป็นเส้นโค้งดิวิเอชั่น และทำบัญชีดิวิเอชั่นไว้สำหรับใช้แก้ตามทิศหัวเรือต่าง ๆ เมื่อต้องการดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือใดก็หาจากเส้นโค้งดิวิเอชั่นหรือจากบัญชีดิวิเอชั่น

ตัวอย่างบัญชีดิวิเอชั่นที่ให้ไว้ในหนังสือนี้เป็นแต่เพียงแสดงให้เห็นเป็นตัวอย่างและเพื่อการหัดทำโจทย์เท่านั้น เพราะในทางปฏิบัตินั้นเข็มทิศเรือนเอก ที่ได้แก้ดิวิเอชั่นไว้ถูกต้องเรียบร้อยแล้วจะมีดิวิเอชั่นมากเท่าตัวอย่างบัญชีที่แสดงไว้นี้ไม่ได้ เพราะเข็มทิศเรือนเอกที่ได้แก้ไว้แล้วอย่างดีจะต้องมีดิวิเอชั่นน้อยกว่า 2° เสมอ เว้นไว้แต่เข็มทิศในเรือดำน้ำซึ่งไม่สามารถที่จะแก้ให้มีดิวิเอชั่นน้อยได้

การแก้เข็มด้วยดิวิเอชั่น การแก้เข็มแม่เหล็กเป็นเข็มเรือหรือแก้เข็มเรือเป็นเข็มแม่เหล็กด้วย ดิวิเอชั่นนั้น ใช้แก้โดยทำนองเดียวกันกับการใช้วาริเอชั่นแก้เข็มจริงหรือเข็มแม่เหล็ก ในการแก้นี้วิธีที่ดีควรใช้เขียนรูปประกอบการแก้ด้วยเหมือนกัน

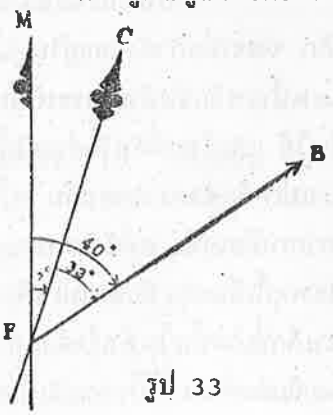
วิธีแก้เข็มเรือเป็นเข็มแม่เหล็ก

ตัวอย่าง 1 เข็มเรือ 033° ดิวิเอชั่น 7°อ. หาเข็มแม่เหล็ก ดูตามรูปจะเห็นได้ว่า

MFB = CFB + MFC

คือ เข็มแม่เหล็ก = เข็มเรือ + ดิวิเอชั่น

เข็มเรือ	033°
ดิวิเอชั่น	7° อ.
เข็มแม่เหล็ก	040°



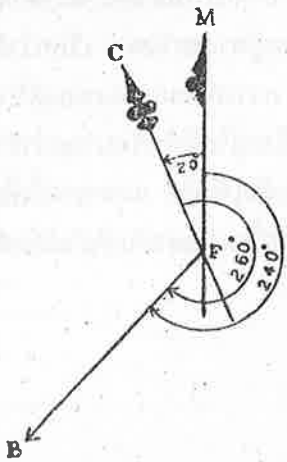
รูป 33

ตัวอย่าง 2 เข็มเรือ 260°ดิวิเอชั่น 20°ตก. หาเข็มแม่เหล็ก

ดูตามรูปจะเห็นได้ว่า MFC=CFB-MFC

คือ เข็มแม่เหล็ก = เข็มเรือ - ดิวิเอชั่น

เข็มเรือ	260°
ดิวิเอชั่น	20° ตก.
เข็มแม่เหล็ก	240°



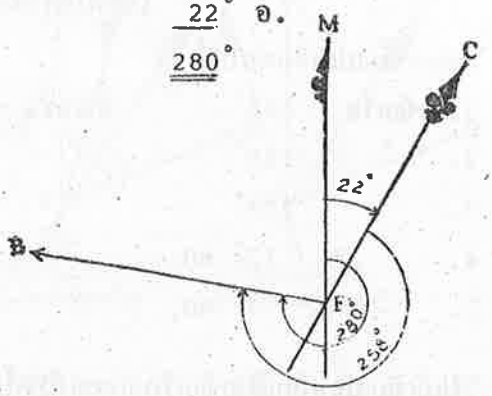
รูป ๓๔

ตัวอย่าง 3 เข็มเรือ ต.78°ตก. ดิวิเอชั่น 22°อ. หาเข็มแม่เหล็ก

เข็มเรือ ต. 78° ตก. = 258°

ดิวิเอชั่น 22° อ.

เข็มแม่เหล็ก 280°



รูป ๓๕

บัญชีดิวิเอชั่น

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น
0°	0°00'	180°	0°00
10°	+ 2 00	190°	+ 8 30
20°	+ 1 00	200°	+ 15 00
30°	+ 0 30	210°	+ 16 30
40°	- 2 30	220°	+ 19 00
50°	- 3 30	230°	+ 21 00
60°	- 8 00	240°	+ 22 00
70°	- 12 00	250°	+ 20 00
80°	- 15 00	260°	+ 18 00
90°	- 19 00	270°	+ 17 30
100°	- 22 00	280°	+ 12 00
110°	- 24 00	290°	+ 10 00
120°	- 25 00	300°	+ 7 00
130°	- 24 30	310°	+ 3 00
140°	- 22 00	320°	+ 2 00
150°	- 21 00	330°	- 1 30
160°	- 15 00	340°	- 2 00
170°	- 13 00	350°	- 1 00

กฎ ถ้าดิวิเอชั่นตะวันออกให้บวกกับเข็มเรือ และดิวิเอชั่นตะวันตกให้ลบ

โจทย์ฝึกหัด

จงหาเข็มแม่เหล็กต่อไปนี้

1.	เข็มเรือ	005°	ดิวิเอชั่น	6°	ตก.
2.	"	120°	"	5°	อ.
3.	"	357°	"	10°	อ.
4.	" ต.	12° ตก.	"	3°	ตก.
5.	" น.	3° ตก.	"	5°	อ.

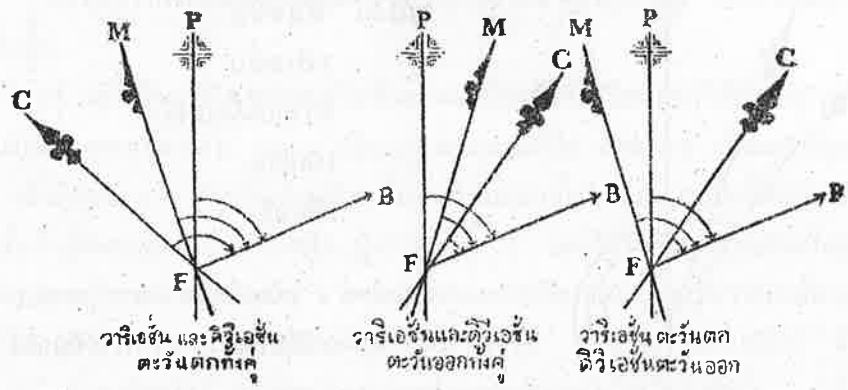
วิธีแก้เข็มแม่เหล็กเป็นเข็มเรือ การแก้วิธีนี้เป็นการแก้ตรงกันข้ามกับการแก้เข็มเรือเป็นเข็มแม่เหล็ก เมื่อพิจารณาดูตามรูปของการแก้เข็มเรือเป็นเข็มแม่เหล็กแล้วก็จะเข้าใจได้ ในรูป 33 นั้น CFB=MFB-MFC คือเข็มเรือ = เข็มแม่เหล็ก - ดิวิเอชั่น และในรูป 34 นั้น CFB=MFB+MFC คือเข็มเรือ = เข็มแม่เหล็ก + ดิวิเอชั่น ส่วนกฎการแก้นั้นตรงกันข้ามกับการแก้เข็มเรือเป็นเข็มแม่เหล็ก คือดิวิเอชั่นตะวันออกให้ลบจากเข็มแม่เหล็ก และดิวิเอชั่นตะวันตกให้บวก

การแก้แบริงเข็มเรือเป็นแบริงเข็มแม่เหล็ก หรือแบริงเข็มแม่เหล็กเป็นแบริงเข็มเรือนั้น ก็แก้โดยทำนองเดียวกันกับการแก้เข็ม แต่ข้อสำคัญให้จำใส่ใจไว้ว่าการแก้แบริงนั้นต้องเอาดิวิเอชั่น ของทิศหัวเรือมาแก้เสมอ เช่นว่าแบริงเข็มเรือของวัตถุสิ่งหนึ่ง อาจเป็น 203° แต่ถ้าทิศหัวเรือในขณะที่แบริงนั้นเป็น 072° แล้ว ดิวิเอชั่นที่จะเอามาแก้นั้น ต้องเป็นดิวิเอชั่นของทิศ 072° เพราะว่าบัญชีดิวิเอชั่นหรือเส้นโค้งดิวิเอชั่นที่ได้มานั้น ได้ทำมาจากทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนนั้น

การแก้รวม คือการแก้เข็มจริงให้เป็นเข็มเรือหรือแก้เข็มเรือให้เป็นเข็มจริง โดยเอาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ คือวาริเอชั่นและดิวิเอชั่นเข้าแก้รวมกัน ในสมัยก่อนเมื่อครั้งใช้เรือใบนั้นต้องเอาสีเวย์แก้ด้วย

การแก้นี้จะใช้วาริเอชั่นและดิวิเอชั่นแก้ทีละขั้นก็ได้ หรือจะหาความเคลื่อนคลาดเสียก่อนแล้วแก้ก็ได้ การหาความเคลื่อนคลาดนี้ให้บวกลบกันตามเครื่องหมายพีชคณิต (ตะวันออกเป็น + ตะวันตกเป็น -) เสียก่อนแล้วจึงเอาผลที่ได้ไปแก้

วิธีแก้รวม (วาริเอชั่นและดิวิเอชั่น) ใช้รูปเป็นหลักประกอบเช่นการแก้ที่แล้ว ๆ



รูป ๓๖ ก. รูป ๓๖ ข. รูป ๓๖ ค.

ตามรูปข้างบนนี้ FB เป็นทิศหัวเรือ CFB เป็นเข็มเรือ MFB เป็นเข็มแม่เหล็ก และ PFB เป็นเข็มจริง ถ้ารู้เข็มเรือ วาริเอชั่นและดิวิเอชั่นแล้วก็หาเข็มจริงได้ หรือถ้ารู้เข็มจริง วาริเอชั่นและดิวิเอชั่นแล้วก็หาเข็มเรือได้

วิธีแก้เข็มเรือเป็นเข็มจริง ในรูป 36 ก.นั้นเห็นได้ว่า

เข็มจริง = เข็มเรือ - (วาริเอชั่น + ดิวิเอชั่น)

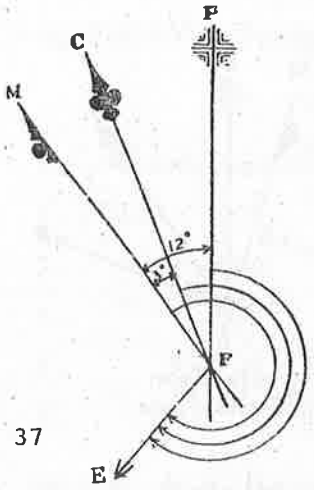
ในรูป 36 ข. เข็มจริง = เข็มเรือ + วาริเอชั่น + ดิวิเอชั่น

และในรูป 36 ค. เข็มจริง = เข็มเรือ + ดิวิเอชั่น - วาริเอชั่น

กฎ ถ้าวาริเอชั่นและดิวิเอชั่นเป็นตะวันตกทั้งคู่ให้ลบจากเข็มเรือ ถ้าเป็นตะวันออกทั้งคู่ให้บวก และถ้าวาริเอชั่นเป็นตะวันตกแต่ดิวิเอชั่นเป็นตะวันออกให้บวกดิวิเอชั่นและลบวาริเอชั่น หรือถ้าจะให้จำได้ง่ายก็คือ ความเคลื่อนคลาดตะวันออกให้บวก ความเคลื่อนคลาดตะวันตกให้ลบ

ตัวอย่าง 1 เข็มเรือ 210° ดิวิเอชั่น 3°อ. และวาริเอชั่น 12°ตก.หาเข็มจริง

แก้ทีละขั้น	เข็มเรือ	210°
	ดิวิเอชั่น	3° อ.
	เข็มแม่เหล็ก	213°
	วาริเอชั่น	12° ตก.
	เข็มจริง	201°

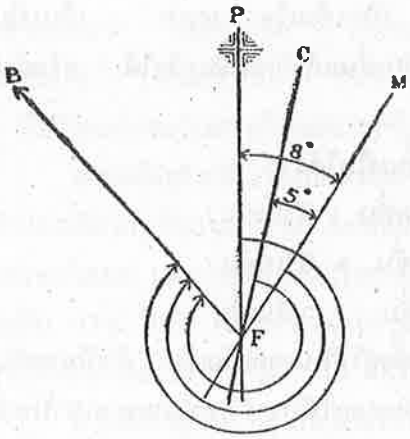


รูป 37

แก้รวม ดิวิเอชั่น + 3°
วาริเอชั่น - 12°
ความเคลื่อนคลาด - 9°
เข็มเรือ 210°
เข็มจริง 201°

ตัวอย่าง 2 เข็มเรือ น. 45° ตก. ดิวิเอชั่น 5° ตก วาริเอชั่น 8° อ. หาเข็มจริง

แก้ทีละขั้น เข็มเรือ น.45°ตก. = 315°
ดิวิเอชั่น 5° ตก.
เข็มแม่เหล็ก 310°
วาริเอชั่น 8° อ.
เข็มจริง 318°



แก้รวม ดิวิเอชั่น - 5°
วาริเอชั่น + 8°
ความเคลื่อนคลาด + 3°
เข็มเรือ 315°
เข็มจริง 318°

รูป ๓๘ โจทย์ฝึกหัด

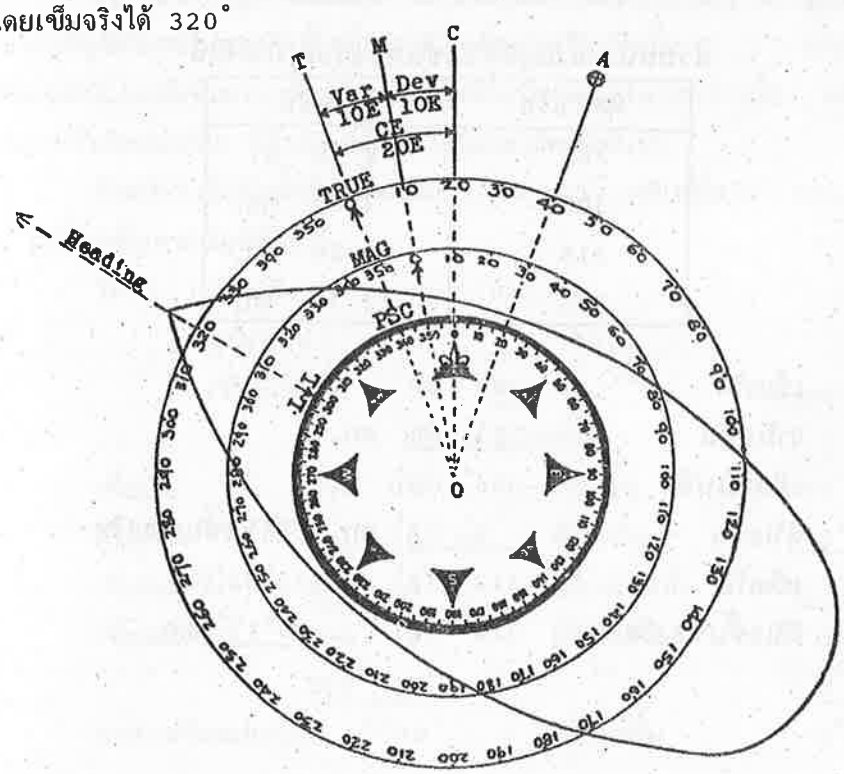
1. เข็มเรือเหนือ วาริเอชั่น 13°ตก. ดิวิเอชั่น 2° อ.หาเข็มจริง
2. เรือแล่นเข็มเรือ 153° ดิวิเอชั่น 3° วาริเอชั่นตามตำบลที่ + 12° หาเข็มจริง
3. เข็มเรือ 179° ดิวิเอชั่น 2° ตก. วาริเอชั่น 19° ตก. หาเข็มจริง
4. เข็มเรือ 214° ดิวิเอชั่น 2° อ. วาริเอชั่น 9° อ. หาเข็มจริง

วิธีแก้เข็มจริงเป็นเข็มเรือ การแก้นี้เป็นการแก้กลับกันกับวิธีแก้เข็มเรือเป็นเข็มจริงที่แล้วมา และกฎสำหรับการแก้ก็กลับตรงข้ามหมด

กฎ วาริเอชั่นและดิวิเอชั่นตะวันตก ให้บวกกับเข็มจริงวาริเอชั่นและดิวิเอชั่นตะวันออกให้ลบ หรือถ้าจะให้จำได้ง่ายก็คือความเคลื่อนคลาดตะวันออกให้ลบ ความเคลื่อนคลาดตะวันตกให้บวก

เพื่อที่จะให้เข้าใจซึ่งถึงการแก้เข็ม ให้พิจารณาดูในรูป 39 ซึ่งอาจจะทำให้เห็น และเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น

รูป 39 เป็นรูปสังเขปของเรือซึ่งแสดงแผ่นเข็มทิศเรือนเอกให้ปรากฏ OC เป็นทิศของเข็มทิศ (เมริเดียนของเข็มทิศ) OM เป็นเมริเดียนแม่เหล็ก และ OT เป็นเมริเดียนจริง วงกลมวงนอกสองวงซึ่งมีศูนย์กลาง ร่วมกันกับแผ่นเข็มทิศเรือนเอกนั้นใช้แทนวงเข็มทิศแม่เหล็ก และวงเข็มทิศจริง ฉะนั้นจึงชี้ทิศแม่เหล็กและทิศจริง ผู้ตรวจอยู่ที่ O มองไปในทิศซึ่งเข็มทิศเรือนเอกชี้ไป - เมริเดียนแม่เหล็กอยู่ทางตะวันออก 10° (ขวา) ของเมริเดียนจริง ฉะนั้นวาริเอชั่นของตำบลที่เป็น 10° อ. หรือ (+) ต้องบวกเข้ากับทิศแม่เหล็กของ M (0° ที่วงเข็มทิศแม่เหล็ก) จึงจะได้ทิศจริงของ M (10° ที่วงเข็มจริง) เข็มทิศเรือนเอกอยู่ทางตะวันออก 10° (ขวา) ของเมริเดียนแม่เหล็ก ฉะนั้นดิวิเอชั่นเป็น 10° อ. หรือ (+) สำหรับทิศหัวเรือซึ่งแสดงไว้ต้องบวกเข้ากับทิศเข็มเรือของ C (0° ที่แผ่นเข็มทิศเรือนเอก) จึงจะได้ทิศแม่เหล็กของ C (10° ที่วงเข็มทิศแม่เหล็ก) ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ เป็นผลบวกทางพิชคณิตของวาริเอชั่นและดิวิเอชั่น = 20° อ. หรือ (+) ต้องบวกเข้ากับทิศเข็มเรือของ C (0° ที่แผ่นเข็มทิศเรือนเอก) จึงจะได้ทิศจริงของ C (20° ที่วงเข็มทิศจริงแบริงของวัตถุ A จากเรือเท่าที่แสดงไว้โดยเข็มทิศเรือนเอกได้ 20 โดยเข็มแม่เหล็กได้ 30° และโดยเข็มจริงได้ 40° ในทางปฏิบัติแบริงใช้แสดงเป็นเลขสามตัว คือ 020°, 030° และ 040° ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอกได้ 300° (ดูเส้นหัวเรือ LL) โดยเข็มแม่เหล็กได้ 310° และโดยเข็มจริงได้ 320°



รูป ๓๙

สรุปกฎการแก้เข็ม การแก้หรือเปลี่ยนทิศเข็มหรือเป็นทิศจริง ให้ทำตามเครื่องหมายของความเคลื่อนคลาด (คือบวกความเคลื่อนคลาดตะวันออกและลบความเคลื่อนคลาดตะวันตก) และถ้าแก้หรือเปลี่ยนทิศจริงเป็นทิศเข็มเรือ ให้ทำตรงข้ามกับเครื่องหมาย (คือลบความเคลื่อนคลาดตะวันออก และบวกความเคลื่อนคลาดตะวันตก) กฎนี้ใช้แก้เข็มได้ทุกชนิด

การแก้เข็มจริงเป็นเข็มเรือมีข้อยุ่งยากอยู่สักหน่อย เพราะก่อนที่นักเดินเรือจะหาเข็มได้นั้นเขาจำเป็นต้องรู้ดิวิเอชั่นเสียก่อน แต่จะหาดิวิเอชั่นไม่ได้จนกว่าจะทราบเข็มเรือเสียก่อนแล้ว - เหมือนกัน จะเอาดิวิเอชั่นตามทิศของเข็มแม่เหล็ก ไปใช้แก้โดยตรงไม่ได้เพราะดิวิเอชั่นที่ให้ไว้นั้นเป็นดิวิเอชั่นสำหรับทิศหัวเรือโดยเข็มเรือ ฉะนั้นเมื่อได้เข็มแม่เหล็กแล้วให้เอาเข็มแม่เหล็ก ไปหาดิวิเอชั่นและเอามาแก้กับเข็มแม่เหล็กก็จะได้เข็มเรือใกล้เคียง แล้วจึงเอาเข็มเรือที่ได้ไปหาดิวิเอชั่นและเอาดิวิเอชั่นและเอาดิวิเอชั่นมาทดลองแก้ กับเข็มเรือใกล้เคียงจะได้เข็มแม่เหล็ก ถ้าเข็มแม่เหล็กที่ได้นี้เท่ากันกับเข็มแม่เหล็กเดิมนับว่าเข็มเรือที่ได้แก้ด้วยดิวิเอชั่นนั้นถูกต้องแล้ว แต่ถ้ายังต่างกันอยู่ให้เอาดิวิเอชั่นของเข็มเรือใกล้เคียง ไปแก้กับเข็มแม่เหล็กเดิมจะได้เข็มเรือใกล้เคียงเข้าไปอีกแต่ยังไม่ถูกทีเดียว เมื่อต้องการให้ใกล้เคียงเข้าไปอีก ก็ให้หาดิวิเอชั่นของเข็มเรือใกล้เคียงเอาไปแก้กับเข็มแม่เหล็กเดิมจะได้เข็มเรือ ที่ใกล้เคียงเกือบถูกแม่นยำเข้าอีกการแก้วิธีนี้ถ้าต้องการให้ถูก-จริง อาจต้องทดลองแก้หลายครั้งจนกว่าจะได้ดิวิเอชั่นที่ถูกจริง

ตัวอย่าง เรือดำน้ำลำหนึ่งต้องการแล่นเข็มจริง 295° วาริเอชั่น 11°ตก. หาเข็มเรือสำหรับถือท้าย

ส่วนหนึ่งของบัญชีดิวิเอชั่นของเรือดำน้ำมีดังนี้

ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น
285°	2°00' อ.
300	4 00 ตก.
315	10 20 ตก.
330	13 30 ตก.

วิธีทำ

เข็มจริง	295° 00'	
วาริเอชั่น	11° 00'	ตก.
เข็มแม่เหล็ก	306° 00'	
ดิวิเอชั่น	6° 32'	ตก. ใช้ดิวิเอชั่นเข็มเรือ
เข็มเรือ	312° 32'	...312°32'
ดิวิเอชั่นของทิศ	312° 32'	.....9°17' ตก.

เข็มแม่เหล็ก ..... 303° 15' ยังใช้ไม่ได้
เข็มแม่เหล็ก 306° 00'
ดิวิเอชั่น 9° 17' ตก.
เข็มเรือ 315° 17'....315° 17'
ดิวิเอชั่นของทิศ 315° 17'.... 10°20' ตก.
เข็มแม่เหล็ก..... 304° 57' ยังใช้ไม่ได้
เข็มแม่เหล็ก 306° 00'
ดิวิเอชั่น 10° 20' ตก.
เข็มเรือ 316° 20'....316° 20'
ดิวิเอชั่นของทิศ 316° 20'.... 10° 37' ตก.
เข็มแม่เหล็ก..... 305° 43' นับว่าใช้ได้
เข็มแม่เหล็ก 306° 00'
ดิวิเอชั่น 10° 37' ตก.
เข็มเรือ 316° 37'

การถือท้าย ถือเป็นลิบดาไม่ได้ต้องถือเป็นองศาเต็ม เพราะฉะนั้นเข็มเรือเท่ากับ 317°

วิธีที่จะทำให้ถูกต้องแม่นยำโดยไม่ต้องทดลองนั้น ก็คือเมื่อได้เข็มแม่เหล็กแล้ว ให้หาเข็มเรือจากบัญชีดิวิเอชั่นสองเข็มซึ่งเมื่อเอาดิวิเอชั่นสำหรับเข็มนั้น ๆ มาแก้เข้าแล้วให้ได้เข็มแม่เหล็กสองเข็มโดยมีเข็มแม่เหล็กที่ต้องการแก้เป็นเข็มเรืออยู่ในระหว่างนั้น แล้วจึงเปรียบเทียบหาดิวิเอชั่นสำหรับทิศแม่เหล็ก ที่ต้องการนั้นต่อไปจึงจะได้ผลแม่นยำ

ตัวอย่าง เรือดำน้ำลำหนึ่งแล่นเข็มจริง 045° วาริเอชั่น 2° ตก. หาเข็มเรือสำหรับถือท้าย ใช้ดิวิเอชั่นตามบัญชีที่ให้ไว้

วิธีทำ เข็มจริง 045°
วาริเอชั่น 2° ตก.
เข็มแม่เหล็ก 047°

เทียบหาดิวิเอชั่น

เข็มเรือ	050° 00'	เข็มเรือ	060° 00'
ดิวิเอชั่น	3° 30' ตก.	ดิวิเอชั่น	8° 00' ตก.
เข็มแม่เหล็ก	046° 30'	เข็มแม่เหล็ก	052° 00'
เข็มแม่เหล็ก	046° 30'	มีดิวิเอชั่น	3° 30' ตก.
"	052° 00'	"	8° 00' ตก.
ผลต่างเข็มแม่เหล็ก	5° 30'	มีดิวิเอชั่น	4° 30' ตก.

แต่ผลต่างระหว่างเข็มแม่เหล็ก 047° กับ 046° 30' นั้นเท่ากับ 000° 30'
เพราะฉะนั้นดิวิเอชั่นจะต้องเพิ่มขึ้น $= \frac{4^\circ 30' \times 0^\circ 30'}{5^\circ 30'} = \frac{4.5^\circ \times 0.5^\circ \times 60^\circ}{5^\circ.5}$

$= 24.'5$ ตก.

หรือ $= 25'$ ตก. (ใกล้เคียง)

เพราะฉะนั้นเข็มแม่เหล็ก 047° มีดิวิเอชั่น $= 3^\circ 30'$ ตก. $+ 0^\circ 25'$ ตก.

$= 3^\circ 55'$ ตก.

แล้วเอาดิวิเอชั่นนี้ไปแก้กับเข็มแม่เหล็ก ที่ต้องการจะได้เข็มเรือที่ถูกจริงคือ

เข็มแม่เหล็ก	047° 00'
ดิวิเอชั่น	3° 55' ตก.
เข็มเรือ	050° 55'

การแก้ดังกล่าวแล้วนี้เป็นการแก้อย่างละเอียด และเป็นวิธีการแก้ทางตำราซึ่งในทางปฏิบัตินั้นไม่ใคร่จะได้ปฏิบัติตามนี้ เนื่องจากว่าดิวิเอชั่น ของเข็มทิศเรือนเอกที่ได้แก้ความผิดต่าง ๆ ไว้อย่างดีแล้วนั้น จะมีไม่เกิน 2° เลยและอีกประการหนึ่งการถือท้ายเรือนั้นจะถือให้ตรงตามเข็มที่ตั้งไว้ย่อมทำไม่ได้ ย่อมมีการผิดไปทางตะวันออกหรือทางตะวันตกของเข็มที่ตั้งไว้ได้เกินกว่า 1° และดิวิเอชั่นที่หาได้ละเอียดจนถึงลิบดานั้น ก็ใช้ปัดเข็มไม่ได้เพราะวงเข็มได้แบ่งไว้เพียงองศาเท่านั้น แต่ถ้าเป็น 30' ก็อาจใช้ปัดได้โดยกะประมาณเอา เพราะฉะนั้นถึงจะคำนวณให้ละเอียดเพียงใดก็ตาม-ในทางปฏิบัติย่อมทำไม่ได้ตามนั้น ตามปรกตินั้นในทางปฏิบัติเอาเข็มแม่เหล็กที่แก้ได้ไปหาดิวิเอชั่นแล้วเอามาแก้กับเข็มแม่เหล็กได้เป็นเข็มเรือที่จะต้องถือท้ายไป

แต่ถ้าดิวิเอชั่นมีมากเกินไปก็ควรต้องทำให้ใกล้เคียงพอสมควรจึงจะได้ผลดี

โจทย์ฝึกหัด

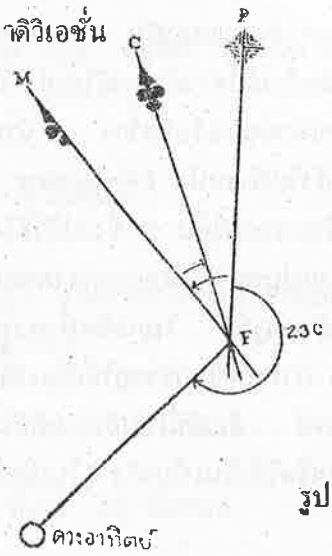
หาเข็มเรือจากโจทย์ต่อไปนี้ใช้ดิวิเอชั่นตามบัญชีที่ให้ไว้

1.	เข็มจริง 035°	วาริเอชั่น 2°	ตก.
2.	" 095°	" 5°	อ.
3.	" 102°	" 7°	อ.
4.	" 174°	" 3°	ตก.
5.	" 276°	" 5°	ตก.

การตรวจสอบดิวิเอชั่น ขณะที่เรืออยู่ในทะเลเมื่อเห็นขอบฝั่งหรือวัตถุบนฝั่งหรือเห็นแต่วัตถุท้องฟ้า เราอาจตรวจสอบดิวิเอชั่นของเข็มทิศในเรือตามทิศหัวเรือต่าง ๆ ได้ว่า จะถูกต้องกับบัญชีดิวิเอชั่นหรือเส้นโค้งดิวิเอชั่นที่มีอยู่หรือไม่ โดยเอาแบริงเข็มเรือไปสอบกับแบริงจริง

ตัวอย่าง ในขณะหนึ่งเรือลำหนึ่งแบริงดวงอาทิตย์ได้ 235° วาริเอชั่น 12° ตก. แต่โดยการคำนวณได้แบริงจริงดวงอาทิตย์ในขณะนั้นเป็น 230° จงหาดิวิเอชั่น

แบริงจริงดวงอาทิตย์	230°
วาริเอชั่น	12° ตก.
แบริงแม่เหล็ก	242°
แบริงเข็มเรือ	235°
ดิวิเอชั่น	7° อ.



รูป 40

โจทย์ฝึกหัด

1. แบริงดวงอาทิตย์โดยเข็มทิศเรือนเอกได้ 091° แต่เมื่อทำการคำนวณแล้วได้แบริงจริง 085° มีวาริเอชั่น 8° ตก. หาดิวิเอชั่น

2. กระโจมสองกระโจมบนฝั่งตั้งอยู่ในแนวเดียวกันตามแผนที่ปรากฏว่าแนวนี้อยู่ในทิศจริง 161° แต่ในขณะที่เรือลำหนึ่งผ่านแนวนี้วัดแบริงเข็มเรือขณะกระโจมทั้งสองทับกันได้ 157°30' วาริเอชั่นตามตำบลที่มี 2°10' อ. หาดิวิเอชั่น

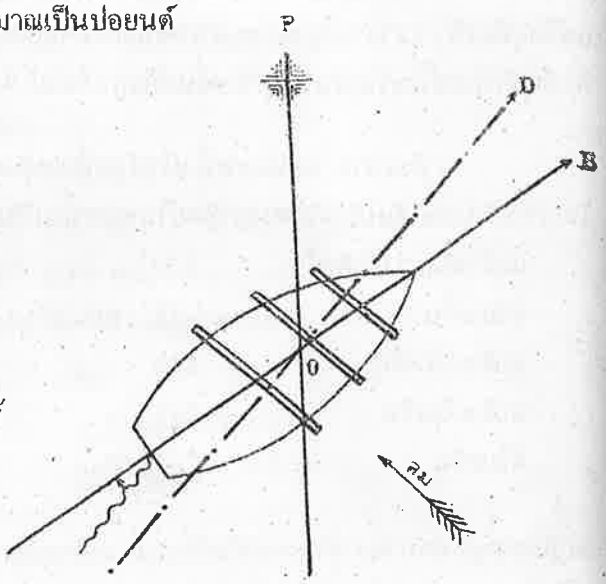
3. เรือลำหนึ่งเมื่อผ่านแนวกระโจมไฟคู่หนึ่งวัดแบริงกระโจมไฟนั้นโดยเข็มเรือได้ 185° แต่แนวแบริงที่เรือผ่านนั้นตามแผนที่บอกไว้เป็นแบริงแม่เหล็ก 200° หาดิวิเอชั่น

ลีเวย์ (Leeway)

เรือกลไฟเมื่อแล่นไปในเวลาที่ลมสงบเงียบหรือเรือใบ เมื่อได้ลมดีทางท้าย ลมกำลังปานกลาง ทิศของหัวเรือโดยเข็มเรือเมื่อแก้วาริเอชั่นและดิวิเอชั่นแล้วจะเป็นทิศจริงของแนวทางเรือที่แล่นไปในน้ำ แต่เมื่อมีลมพัดมาทางข้าง (กราบ) เรือหรือทิศอื่นนอกจากตรงหัวเรือหรือตรงท้ายเรือ-แล้ว ลมจะทำให้เรือลอยตกไปทางปลายลมของเข็มที่ถือท้ายแต่หัวเรือคงหันตรงตามเข็มที่ตั้งไว้ แล้วจะทำให้ทิศหัวเรือหันไม่ร่วมกันกับแนวทางเรืออีกต่อไป ในกรณีนี้ถ้าสังเกตดูน้ำท้ายเรือจะเห็นแนวทางเรือเดินทำมุมกับกระดูกงู มุมในระหว่างแนวทางที่เรือแล่นไปนี้กับกระดูกงูเรือ (หรือทิศหัวเรือ)

เรียกว่าลีเวย์ ตามปรกตินั้นใช้กะประมาณลีเวย์เอาด้วยตา ดูว่าแนวทางของเรือที่ท้ายเรือในน้ำกับแนวลำเรือ(กระดูกงูเรือ) ทำกันเป็นมุมเท่าใดกะประมาณเป็นปอยนต์

ลีเวย์นั้นไม่ใช่ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ อย่างวาริเอชั่นหรือดิวิเอชั่น แต่เป็นความเคลื่อนคลาดของเข็มอันเนื่องมาจากทิศและกำลังลมและทริม (trim) ของเรือ อัตราผิดลีเวย์นี้ต่างลำต่างมีไม่เท่ากันโดยสมัพันธ์อยู่กับขนาดของเรือที่สร้าง จำนวนใบที่ฉางความเร็วไปข้างหน้า (Velocity forward) ของเรือและกรณีอื่น ๆ ซึ่งไม่มีวิธีใดที่จะตรวจให้ถูกต้องแน่นอนได้ นอกจากคาดคะเนเอาโดยความชำนาญว่า ในกรณีหนึ่งควรจะให้มีลีเวย์เท่าใด การแก้เข็มปรากฏให้เป็นเข็มจริงต้องแก้ด้วยลีเวย์ ลีเวย์นี้เป็นอัตราแก้อันหนึ่งในการแก้เข็มเรือให้เป็นเข็มจริง (ในเมื่อมีลีเวย์)



POB เป็นทิศที่หัวเรือหันไปตามเข็ม
POD เป็นทิศของแนวทางเรือที่แล่นไปตามลม
ลีเวย์ = POB-POD

รูป 41

วิธีแก้ลีเวย์ อำนาจของลมที่กระทำต่อเรือ คือ

1. ถ้าลมพัดมาทางขวา จะทำให้เรือตกไปทางซ้ายของเข็มที่ต้องการแล่นไป
2. ถ้าลมพัดมาทางซ้าย จะทำให้เรือตกไปทางขวาของเข็มที่ต้องการแล่นไป

ฉะนั้นจึงมีกฎสำหรับแก้ดังนี้

(1) แก้เข็มปรากฏให้เป็นเข็มจริงที่แล่นไปตามกำลังลม

ก. ถ้าลมพัดมาทางขวา ให้แก้ลีเวย์ไปทางซ้าย หรือใช้เครื่องหมายลบ (-)

ข. ถ้าลมพัดมาทางซ้าย ให้แก้ลีเวย์ไปทางขวาหรือใช้เครื่องหมายบวก (+)

ตัวอย่าง

1. เข็มปรากฏ 067° ลมทิศ N/W(N.by W.) ลีเวย์ $1\frac{1}{4}$ ปอยนต์ ให้หาเข็มจริงที่แล่นไปตามกำลังลม

เข็มปรากฏ	067°
ลีเวย์ $1\frac{1}{4}$ ปอยนต์ = +	14° (ใกล้เคียง)
เข็มจริง	081°

2. หาเข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลมเมื่อเข็มปรากฏเป็น 191° ลมทิศ WSW และลีเวย์ $2\frac{3}{4}$ ปอยนต์

เข็มปรากฏ		191°
ลีเวย์ $2\frac{3}{4}$ ปอยนต์	= -	31° (ใกล้เคียง)
เข็มจริง		160

3. หาเข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลม เมื่อเข็มปรากฏเป็น 281° ลมทิศ NW/NCNW by N.) ลีเวย์ $3\frac{1}{4}$ ปอยนต์

เข็มปรากฏ		281°
ลีเวย์ $3\frac{1}{4}$ ปอยนต์	= -	37° (ใกล้เคียง)
เข็มจริง		244°

(2) แก้เข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลมให้เป็นเข็มปรากฏ หรือถ้าจะให้ทางเรือที่แล่นไปนั้นตรงตามตำบลที่ที่ต้องการแล้ว ต้องแก้บวกหรือแก้ตรงข้ามกับกฎใน (1)

ตัวอย่าง

1. เข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลม 041° ลม SE/E ลีเวย์ $2\frac{1}{2}$ ปอยนต์ หาเข็มปรากฏ

เข็มจริง		041°
วีเวย์ $2\frac{1}{2}$ ปอยนต์	= +	28° (ใกล้เคียง)
เข็มปรากฏ		069°

2. เข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลม 216° ลม SE/E ลีเวย์ $1\frac{1}{2}$ ปอยนต์ หาเข็มปรากฏ

เข็มจริง		216°
ลีเวย์ $1\frac{1}{2}$ ปอยนต์	= -	17° (ใกล้เคียง)
เข็มปรากฏ		199°

3. เข็มเรือที่แล่นไปตามลม 028° ดิวิเอชั่น 6° อ. วาริเอชั่น 21° อ. ลม SE ลีเวย์ 1 ปอยนต์ หาเข็มจริงเพื่อแล่นให้ถึงที่หมาย

เข็มเรือตามลม		028°
ลีเวย์ 6 ปอยนต์	= +	11° (ใกล้เคียง)
เข็มเรือ		039°
ดิวิเอชั่น	+	6°

เข็มแม่เหล็ก		045°
วาริเอชั่น	+	21°
เข็มจริง		066°

โจทย์ฝึกหัด

หาเข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลม ต่อไปนี้

1.	เข็มปรากฏ	115°	ลมทิศ	SW	ลีเวย์	$1\frac{3}{4}$	ปอยนด์
2.	"	104°	"	SSE	"	$2\frac{1}{4}$	"
3.	"	158°	"	NE/E	"	$\frac{3}{4}$	"
4.	"	357°	"	WNW	"	$\frac{3}{4}$	"
5.	"	146°	"	E	"	$1\frac{1}{4}$	"

วิธีแก้เข็ม รวมด้วยความเคลื่อนคลาด 3 อย่าง (วาริเอชั่น ดิวิเอชั่น และลีเวย์)

การแก้เข็มด้วยความเคลื่อนคลาดทั้ง 3 อย่างนี้ คือแก้วาริเอชั่น ดิวิเอชั่น และลีเวย์ วิธีทำแก้อย่างเดียวกันกับที่ได้แก้แยกดังกล่าวมาแล้วและการแก้ในตอนนี้จะแก้ทีละขั้นหรือแก้รวมก็ได้

ตัวอย่าง 1 เข็มเรือ 056° ลม SW/S ลีเวย์ $2\frac{1}{2}$ ปอยนด์ วาริเอชั่น 15° อ. - ดิวิเอชั่น 2° ตก. หาเข็มจริง

แก้ทีละขั้น

เข็มเรือ		056°
ลีเวย์ $2\frac{1}{2}$ ปอยนด์	= -	28° (ใกล้เคียง)
เข็มเรือ		028°
ดิวิเอชั่น	-	2°
เข็มแม่เหล็ก		026°
วาริเอชั่น	+	15°
เข็มจริง		041°

แก้รวม

วาริเอชั่น	+	15°
ดิวิเอชั่น	-	2°
ลีเวย์	-	28°
ผิดรวม	-	15°
เข็มเรือ		056°
เข็มจริง		041°

ตัวอย่าง 2 เข็มเรือ 163° ลมทิศ E/S ลีเวย์ $3\frac{1}{4}$ ปอยนด์ วาริเอชั่น 17° ตก. ดิวิเอชั่น 23° ตก. หาเข็มจริง

เข็มเรือ		163°
ลีเวย์ 3¼ ปอยนต์ =	+	37° (ใกล้เคียง)
เข็มเรือ		200°
ดิวิเอชั่น	-	23°
เข็มแม่เหล็ก		177°
วาริเอชั่น	-	17°
เข็มจริง		160°

ตัวอย่าง 3 เข็มจริง 022° 30' วาริเอชั่น 15° ตก. ดิวิเอชั่น 6° อ. ลมทิศ W/S ลีเวย์ 1 ปอยนต์ หาเข็มเรือที่แล่นไปตามลม

เข็มจริง		022° 30'
ลีเวย์ 1 ปอยนต์ =	-	11° 15'
เข็มจริง		033° 45'
วาริเอชั่น	-	15° 00'
เข็มแม่เหล็ก		048° 45'
ดิวิเอชั่น	+	6° 00'
เข็มเรือ		042° 45'
หรือ =		043° (ใกล้เคียง)

โจทย์ฝึกหัด

1. หาเข็มจริงที่เรือแล่นไปตามลม ดังต่อไปนี้
   ก. เข็มเรือ 121° ลม WSW ลีเวย์ 1½ ปอยนต์ วาริเอชั่น 23° อ. ดิวิเอชั่น 23° ตก.
   ข. เข็มเรือ 028° ลม NW/N ลีเวย์ 1½ ปอยนต์ วาริเอชั่น 17° ตก. ดิวิเอชั่น 7° อ.
   ค. เข็มเรือ 180° ลม SW/S ลีเวย์ ½ ปอยนต์ วาริเอชั่น 20° อ. ดิวิเอชั่น 14 ตก.
   ง. เข็มเรือ 017° ลม E ลีเวย์ 2¾ ปอยนต์ วาริเอชั่น 10° ตก. ดิวิเอชั่น 11° อ.
   จ. เข็มเรือ 281° ลม N ลีเวย์ 3¼ ปอยนต์ วาริเอชั่น 4° อ. ดิวิเอชั่น 22° อ.
2. เข็มจริง 090° ลม NNW ลีเวย์ 1 ปอยนต์ วาริเอชั่น 14° อ. ดิวิเอชั่น 18° ตก. เรือจะต้องถือท้ายเข็มอะไร เมื่อถึงจึงจะตรงที่หมาย
3. เข็มจริง 315° วาริเอชั่น 8° อ. ดิวิเอชั่น 13° ตก. ลม WSW ลีเวย์ 1½ ปอยนต์ หาเข็มถือท้ายเพื่อแล่นให้ตรงที่หมาย
4. เข็มจริง 149° วาริเอชั่น 14° ตก. ดิวิเอชั่น 13° ตก. ลม ESE ลีเวย์ 1 ปอยนต์ หาเข็มเรือที่แล่นไปตามลม

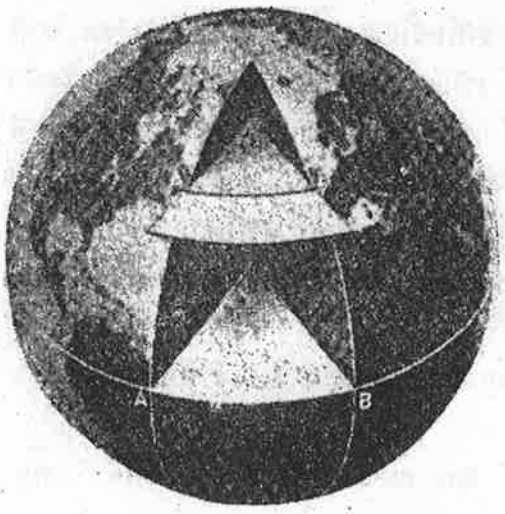
ตอนที่ 4

แผนที่เดินเรือหรือแผนที่ทะเล เป็นเครื่องหมายแทนส่วนของโลกเขียนลงบนพื้นราบ-เพื่อใช้ในการเดินเรือ หรือถ้าจะพูดง่าย ๆ ก็คือ แผนที่ท้องทะเลและการขยายขอบฝั่ง สำหรับใช้ในการเดินเรือ

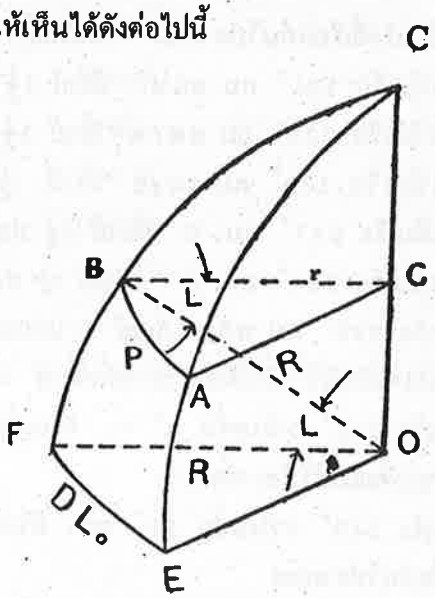
ชนิดของแผนที่เดิน เรือ แผนที่เดินเรือมี 2 ชนิด ให้ชื่อต่างกันโดยอาศัยวิธีการขยายผิวพื้นโลก (Projection) คือ

1. แผนที่เมอเคเตอร์ (Mercator chart)
2. แผนที่โนโมนิก {หรือเรียกว่าแผนที่วงใหญ่ (Gnomonic or great circle chart)}

ตามที่ได้กล่าวถึงระยะขยายในวิเคราะห์ศัพท์ ตอนที่ 1 หน้า 17 ว่าในการวัดเชิงมุมนั้น ขอบของวงขนานละติจูดในระหว่างสองเมริเดียนเท่ากันกับขอบของอิเควเตอร์ในระหว่าง สองเมริเดียนนั้น ซึ่งแต่ละขอบต่างเท่ากับลองจิจูดเปลี่ยนในระหว่างสองเมริเดียนนั้น ส่วนการวัดเชิงเส้นนั้นขอบหาได้เท่ากันไม่ วงขนานละติจูดใด ๆ ก็ตามเป็นวงกลมเล็กกว่าอิเควเตอร์ ฉะนั้น ขอบของวงขนานละติจูดจึงมีความยาวสั้นกว่าขอบของอิเควเตอร์ รูป 42 แสดงให้เห็นหลักการที่กล่าวนี้ ลองจิจูดเปลี่ยน และการวัดเชิงมุม ระหว่าง A′ และ B′ เท่ากันกับระหว่าง A และ B แต่ระยะขยายซึ่งเป็นการวัดระยะทางในระหว่าง A′ และ B′ นั้นสั้นกว่าระยะขยายระหว่าง A และ B มาก โดยที่ลองจิจูดเปลี่ยนมีค่าคงตัวจึงเห็นประจักษ์ได้ว่า ระยะขยายลดลงเมื่อละติจูดทวีขึ้น และระยะขยาย (ขอบของวงขนานละติจูดนับเป็นไมล์ทะเล) ใช้กล่าวอ้างโดยละติจูดของวงขนานละติจูดต่อลองจิจูดเปลี่ยน (ขอบอันสมกันของอิเควเตอร์นับเป็นลิบดาของขอบ) วิธีเปลี่ยนจากการวัดเชิงเส้นเป็นการวัดเชิงมุมโดยใช้ละติจูดนั้น อธิบายให้เห็นได้ดังต่อไปนี้



รูป 42



รูป 43

ในรูป 43, O เป็นศูนย์กลางโลก P เป็นขั้วโลก A และ B เป็นที่สองตำบลบนวงขนานละติจูด AB เดียวกันซึ่งมีรัศมี r PE และ PF เป็นเมริเดียนผ่าน A และ B ตามลำดับ R เป็นรัศมีที่อิเควเตอร์ของโลก ขอบ EF ของอิเควเตอร์เป็นลองจิจูดเปลี่ยน (DLo) ระหว่างสองเมริเดียนและขอบ AB เป็นระยะขยาย (p) ที่สมกันในละติจูดของ A และ B

AB และ EF ต่างเป็นขอบที่คล้ายคลึงกัน ของวงกลมสองวงได้สัดส่วนต่อรัศมีของวงกลม

เพราะฉะนั้น $AB : EF :: r : R$

หรือ $p : DLo :: r : R$

$\therefore \quad p = \frac{r\,DLo}{R}$ ----------(1)

ละติจูด (L) ของ A และ B คือ $\angle FOB = \angle OBC$ และใน $\triangle OBC$

$\cos L = \frac{r}{R}$ ----------(2)

เอา (2) ใส่แทนใน (1) จะได้ $p = DLo \cos L$ ระยะขยาย=ลองเปลี่ยน× cos แลต.) หรือ $DLo = p \sec L$ (ลอง.เปลี่ยน = ระยะขยาย × sec แลต.) สูตรทั้งสองนี้แสดงความสัมพันธ์ที่มีอยู่ระหว่างระยะขยายนับเป็นไมล์และลองจิจูดเปลี่ยน ที่สมกันนับเป็นลิบดาของขอบ (minutes of arc) และใช้เปลี่ยนซึ่งกันและกันได้

ระยะทางและทิศระหว่างที่สองตำบล ระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างที่สองตำบล บนพื้นโลก คือ ระยะทางที่วัดบนขอบวงใหญ่ซึ่งผ่านที่สองตำบลนั้น ฉะนั้น ระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างที่สองตำบล ซึ่งต่างก็อยู่บนอิเควเตอร์ด้วยกันนั้น เป็นระยะทางที่วัดตามขอบอิเควเตอร์ และในทำนองเดียวกันระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างที่สองตำบล ซึ่งต่างก็อยู่บนเมริเดียนเดียวกัน ก็เป็นระยะทางที่วัดตามขอบเมริเดียน ในกรณีแรกนั้น เข็มของเรือสำหรับระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างที่สองตำบลจะทำมุมกับเมริเดียนเท่ากัน (90°) ทุกเมริเดียนที่ผ่านไป ส่วนในกรณีหลังนั้นเข็มจะทำมุมคงตัว (0°) กับเมริเดียนในกรณีทั้งสองที่กล่าวแล้วนี้ แต่ละกรณีทิศของเข็มคงตัว (ดูวิเคราะห์ศัพท์ของทิศ) ส่วนสำหรับกรณีอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวแล้ว เป็นต้นว่าเมื่อที่สองตำบลนั้น ต่างก็ไม่อยู่บนอิเควเตอร์ด้วยกัน หรือไม่ได้อยู่บนเมริเดียนด้วยกันทั้งคู่แล้ว วงใหญ่ซึ่งต่อตำบลที่ทั้งสองนั้น จะตัดทำมุมกับเมริเดียนที่ติดต่อเนื่องกันด้วยมุมต่าง ๆ กัน ทั้งนี้ ไม่สามารถจะอธิบายให้เห็นได้แจ่มแจ้งโดยรูปสะเก็ช เนื่องจากว่าไม่สามารถที่จะเขียนรูปสะเก็ชแบนราบให้แทนเนื้อที่ผิวทรงกลมได้โดยถูกต้อง ถ้าหากว่านักเรียนไม่เข้าใจในหลักการอันนี้แล้ว ควรใช้ลูกโลกประกอบก็จะเห็นจริงได้ทันที ระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างจุดสองจุดอาจใช้เส้นด้วยวัดเอาได้ เมื่อเอาเส้นด้ายขึงเข้าในระหว่างที่สองตำบลแล้ว จงเขียนเส้นไปตามวงใหญ่ซึ่งมีที่สองตำบลนั้นอยู่บนวงใหญ่ จะเห็นได้ว่าวงใหญ่ตัดกับเมริเดียนทุกอันเป็นมุมต่าง ๆ กัน เว้นเสียแต่ในกรณีพิเศษที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นนั้น -

ฉะนั้น จากข้อความที่กล่าวแล้วข้างต้นก็เห็นได้ชัดเจนว่าถ้าเรือลำหนึ่งแล่นจากที่แห่งหนึ่งไปยังที่อีกตำบลหนึ่งโดยทางที่สั้นที่สุดแล้ว ทางที่เรือแล่นไปนั้นต้องเป็นขอบของวงใหญ่ และทิศของทางเรือนั้นก็เปลี่ยนคงตัว (ประจำ) เว้นแต่ในกรณีพิเศษที่กล่าวแล้วข้างต้น ในทางปฏิบัติเมื่อแล่นเรือไปตามทางเรือนั้น (วงใหญ่) จะต้องเปลี่ยนเข็มตามระยะเวลาให้สม่ำเสมอ ฉะนั้น เรือจึงแล่นไปตามเส้นเกลียวเป็นอนุกรมกันไป (เส้นเกลียวเป็นชุด ๆ ไป) ซึ่งใกล้เคียงกับวงใหญ่

สำหรับระยะทางซึ่งไม่ไกลมากนัก (ไม่ยาวนัก) การประหยัดเวลาโดยแล่นเรือตามทางวงใหญ่ก็ได้ผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ต้องใช้คำนวณมาก และต้องเปลี่ยนเข็มหลายครั้ง ฉะนั้นโดยทั่ว ๆ ไปแล้วใช้แล่นเข็มประจำ หรือนัยหนึ่งก็คือแล่นเรือตามเส้นเกลียวมากกว่าตามทางวงใหญ่

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เส้นเกลียวเป็นเส้นโค้งซึ่งเป็นเส้นทางที่เรือแล่นไปชั่วระยะทางปานกลาง เพื่อให้สะดวกเหมาะสมในการแล่นเข็มประจำ การที่จะให้ได้ความสะดวกเหมาะสมบริบูรณ์เต็มที่นั้นต้นหนจำเป็นต้องใช้แผนที่ชนิดหนึ่ง ซึ่งเส้นเกลียวทุกเส้นที่เขียนลงในแผนที่นั้นเป็นเส้นตรง แผนที่ชนิดนี้เรียกว่า แผนที่เมอเคเตอร์แผนที่ชนิดนี้ได้สร้าง โดยกำหนดให้วงขนานละติจูดต่าง ๆ เป็นเส้นตรงแนวนอนขนานกัน และให้เมริเดียนต่าง ๆ เป็นมุมฉากกับวงขนานละติจูด แผนที่เมอเคเตอร์นี้ เมริเดียนทั้งหลายขนานกัน (เมริเดียนทั้งหมดมีทิศเดียวกัน) และเส้นตรงใด ๆ ที่ตัดผ่านเมริเดียนเหล่านี้จะทำมุมเท่ากันทุกเมริเดียน คือเส้นตรงนั้นใช้แทนเส้นเกลียว แต่ให้พึงระลึกไว้ว่า บนผิวพื้นโลกนั้น เมริเดียนทั้งหลายสอบเข้าหากันโดยคงตัวจากอิเควเตอร์ไปยังขั้วโลก ส่วนในแผนที่เมอเคเตอร์นั้นให้เมริเดียนขนานกันหมด ฉะนั้น จึงเห็นประจักษ์ได้ทันทีว่าระยะทางตะวันออก และตะวันตกทั้งหมดตามขอบวงขนานละติจูดในแผนที่นอกจากที่อิเควเตอร์แล้วได้ขยายยืดออก และในละติจูดยิ่งสูงขึ้นไปจำนวนที่ขยายยืดออกก็ยิ่งทวีขึ้น

แผนที่เมอเคเตอร์

โดยที่สัณฐานของโลก มีลักษณะเกือบเป็นทรงกลม ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น มีอิเควเตอร์และเมริเดียนเป็นวงใหญ่และวงขนานละติจูดเป็นวงเล็ก ส่วนวงขนานละติจูดนั้น เมื่อสูงจากอิเควเตอร์ไปทางเหนือหรือทางใต้ คือ เข้าไปหาขั้วโลกทั้งสองแล้วจะค่อย ๆ เล็กลง เมื่อวางขนานละติจูดค่อย ๆ เปลี่ยนเล็กลงนี้จะทำให้ระยะเมริเดียน (ระยะขยาย) ค่อย ๆ สั้นเข้าด้วย เพราะฉะนั้น ความยาวของขอบลองจิจูดหนึ่งองศาที่อิเควเตอร์ จึงยาวกว่าระยะเมริเดียน (ระยะขยาย) หนึ่งองศาที่วงขนานละติจูดอื่น ๆ สำหรับวงขนานละติจูดที่อยู่ใกล้ ๆ อิเควเตอร์ ผลต่างระหว่างความยาวทั้งสองนี้มีเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าละติจูดยิ่งสูงหรืออยู่ที่ขั้วโลกแล้วผลต่างก็ทวีขึ้น ทั้งนี้เป็นด้วยเมริเดียนต่าง ๆ ไม่ขนานกัน แต่เอียงเข้าหากัน และไปรวมเป็นจุดเดียวกันที่ขั้วโลกทั้งสอง

ในการเดินเรือนั้น การเขียนแผนที่แทนส่วนของโลกลงให้มีลักษณะเป็นพื้นโค้งดังผิวโลกย่อมไม่สะดวก การปิดแนวทางเรือเดิน การหาที่เรือ หาเข็ม หาระยะทาง และหาแบริงเหล่านี้

จะต้องทำหรือเขียนลงบนพื้นราบ เพราะฉะนั้น จึงต้องหาวิธีตัดแปลงจำลองผิวโค้งของโลกลงมา - เป็นพื้นราบ โดยใช้วิธีขยาย และให้ส่วนที่ขยายเป็นพื้นราบนั้นได้ส่วนกับความเป็นจริงด้วย

แผนที่เมอเคเตอร์นี้ใช้ขยาย โดยวิธีเมอเคเตอร์(Mercator projection) โดย สมมุติให้

(1) อิเควเตอร์เป็นเส้นตรง

(2) วงขนานละติจูดเป็นเส้นตรงขนานกับอิเควเตอร์

(3) เมริเดียนเป็นเส้นตรงตั้งได้ฉากกับอิเควเตอร์

การที่สมมุติเช่นนี้ เพราะประสงค์

(1) ให้เส้นเกลียวต่าง ๆ บนพื้นโลกเป็นเส้นตรง เมื่อเขียนลงในแผนที่

(2) ให้มุมในระหว่างเส้นเกลียวเหล่านี้ คงตัวไม่เปลี่ยนแปลง

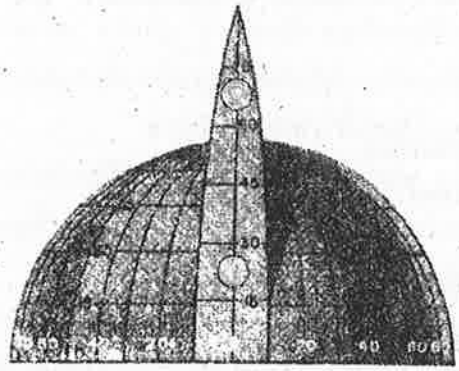
ฉะนั้น เมริเดียนทั้งหลายจึงขนานกัน และไม่ไปรวมที่ขั้วโลกและจะเห็นได้ว่า ระยะขยายบนวงขนานละติจูดต่าง ๆ ได้ขยายออกจนเท่ากับระยะลองจิจูดเปลี่ยน

เพราะฉะนั้น เมื่อใช้แผนที่เมอเคเตอร์แล้ว ต้นหนจึงสามารถเขียนแนวทางเรือเดิน - ระหว่างจุดที่เรือออก กับจุดที่เรือถึงให้เป็นเส้นตรงได้ ฉะนั้น จึงสามารถวัดหาเข็มคงตัว ที่จะต้องถือท้ายไปยังตำบลที่หมายได้

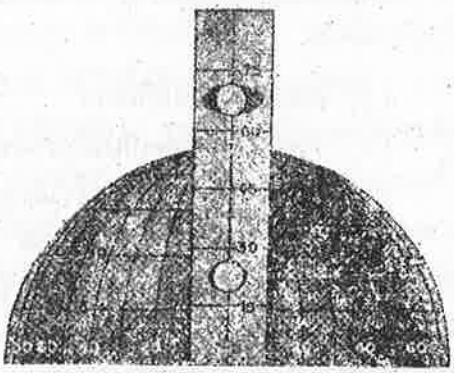
Gerad Mercator(เกิดที่ Flander ค.ศ.1512-1574)ได้คิดวิธีขยายดังกล่าวขึ้น ฉะนั้น แผนที่เดินเรือซึ่งเขียนโดยวิธีขยายดังกล่าว จึงเรียกว่าแผนที่เมอเคเตอร์**Gerad Mercator** ได้เขียนแผนที่เมอเคเตอร์เป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ.1569

มาตราส่วนในแผนที่เมอเคเตอร์ โดยที่เขียนอิเควเตอร์ลงในแผนที่ให้เป็นเส้นตรงอัน มีความยาวจำกัด และเมริเดียนเป็นเส้นตรงตั้งได้ฉากกับอิเควเตอร์แล้ว ฉะนั้น มาตราส่วนลองจิจูดจึงคงตัวตามความยาวอันนั้น และยาวคงตัวเช่นนี้ทุกละติจูด เช่นนี้จะเห็นได้ว่าระยะขยายบนวงขนานละติจูดต่าง ๆ ได้ขยายออกจนเท่ากับระยะลองจิจูดเปลี่ยนและละติจูดยิ่งสูงขึ้นไป จำนวนที่ขยายยืดออกก็ยิ่งทวีขึ้น

รูป 44 แสดงภาพการขยายของระยะขยายตามวงขนานละติจูด และแสดงหลักการในการสร้างแผนที่เมอเคเตอร์ ในรูป 44 (ก) ส่วนหนึ่งของผิวพื้นโลกได้โพล่ออกมา และขยายเป็นผิวพื้นแนวราบ วงกลมสองวงที่เห็นนั้นมีพื้นที่เท่ากันและปรากฏว่าตัวจริงบนโลก สำหรับการขยายวิธีเมอเคเตอร์ (Mercator projection)นั้น เมริเดียนต้องขนานกัน ในรูป 44 (ข)วงขนานละติจูดได้ขยายออกเพื่อให้เมริเดียนขนานกัน จงสังเกตดูว่าที่นี้วงกลมทั้งสองได้ขยายยืดสัณฐานออกอย่างไร และปรากฏว่าเป็นอิลลิปซ์ (พื้นที่แรเงา) อาการบิดตัวนี้ ซึ่งทำให้พื้นที่ขยายผิดออกจาก - สัณฐานเดิมของมัน ทำให้แผนที่ไม่มีประโยชน์ (ใช้ไม่ได้ผลถูกต้อง) แก่ต้นหนเพราะว่าไม่สามารถเปรียบเทียบสิ่งที่มีอยู่ในแผนที่ กับสิ่งที่ตรวจวัดได้จริง ๆ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วเพื่อที่จะให้ได้สัดส่วนโดย

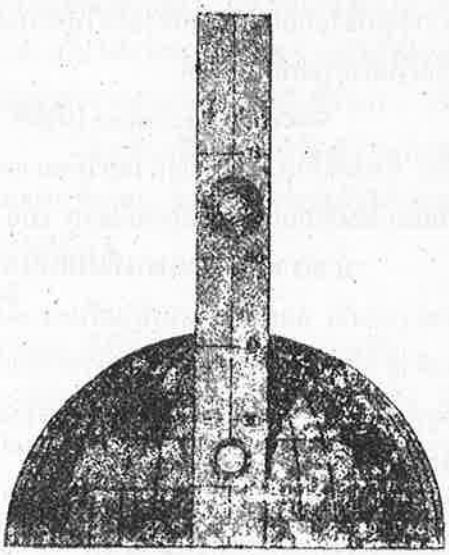


รูป 44 (ก)



รูป 44 (ข)

เฉพาะ จึงจำต้องขยายเมริเดียนออกด้วยในอัตราส่วนอันเดียวกันกับวงขนานละติจูด โดยผลอันนี้เสี้ยวของรูป 44 (ก)จะปรากฏเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของรูป 44 (ค) ในแผนที่ที่เขียนเสร็จบริบูรณ์แล้ว จงเปรียบเทียบรูปทั้งสองและพิจารณาดู เมื่อละติจูดทวีขึ้น วงขนานละติจูดได้ขยายยืดออกตามมาตราส่วนที่ทวีขึ้นและโดยเหตุนั้น เมริเดียนจึงได้ขยายยืดออกให้ได้สัดส่วนกัน เมื่อเช่นนี้แล้ว วงกลมทั้งสองกลับมีสัณฐานเฉพาะของมันตามเดิม แต่ปรากฏว่าโตกว่าและไม่เท่ากัน ในการแก้ให้ภาวะนี้เท่ากัน จึงต้องใช้มาตราส่วนต่าง ๆ ในแผนที่เมอเคเตอร์ สำหรับวัดระยะทางในละติจูดต่าง ๆ

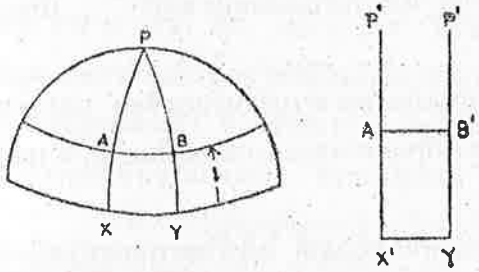


รูป 44 (ค)

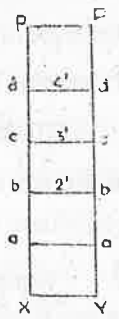
การหาจำนวนส่วนขยายนี้เฉพาะในละติจูดใดละติจูดหนึ่ง ตามในรูป 45 และสมมุติให้โลกเป็นทรงกลม รูปนี้แสดงแทนกึ่งทรงกลมของโลกกับอิเควเตอร์ที่ได้ลดขนาดลงตามมาตราส่วน ซึ่งจะจำลองลงในแผนที่ P เป็นขั้วโลก PX และ PY เป็นเมริเดียน XY เป็นขอบอิเควเตอร์ และ AB เป็นขอบของวงขนานละติจูด ซึ่งเป็นละติจูด L ต้องการจำลองพื้นที่ ABYX ลงในแผนที่เมอเคเตอร์

ลาก $X'Y' = XY$ ให้แทนขอบอิเควเตอร์ ลากเมริเดียน $X'P'$ และ $Y'P'$ ให้ตั้งได้ฉากกับ $X'Y'$ ฉะนั้นแล้วในแผนที่ ขอบของวงขนานละติจูด AB จึงต้องขยายออก ดังได้แสดงไว้ที่ $A'B'$ เพื่อให้เท่ากับ $X'Y' = XY$ อยากทราบว่าขอบ AB ขยายออกตามอัตราส่วนใด ระยะทาง $AB = XY \cos L$ จากสูตรแล่นเรือขนาน, ระยะขยาย = ลองจิจูดเปลี่ยน × cos ละติจูด (หรือ $p = DLo \cos L$) แต่ในแผนที่ AB ได้ขยายให้เท่ากับ XY หรือในอัตราส่วน $\frac{XY}{XY \cos L} = \sec L$ เพราะฉะนั้นในแผนที่เมอเคเตอร์วงขนานละติจูดทุกวง จึงขยายออกตามอัตราส่วนของ secant ของละติจูดของมัน

การป้องกันมิให้เกิดการบิดตัวขึ้นตามตำบลที่ได้ จึงต้องให้ขยายเมริเดียนทุกเมริเดียนของแผนที่เมอเคเตอร์ ในบริเวณของแต่ละวงขนานละติจูดออกด้วย โดยคูณเมริเดียนด้วย secant ของละติจูดของวงขนานละติจูด ได้แสดงการกระทำไว้พอเป็นสังเขปในรูป 46 ให้ XY แทนขอบอิเควเตอร์ซึ่งมีความยาวเป็นหนึ่งไมล์ทะเล = 1' ของขอบ XP และ YP เป็นเมริเดียน aa เป็นวงขนานละติจูด 1' เหนือ bb เป็นวงขนานละติจูด 2' เหนือ ฯลฯ ฉะนั้น ขอบของวงขนานละติจูด aa จึงขยายออกโดย secant ของละติจูดของมัน ขอบเมริเดียน ab ซึ่งมีความยาวบนโลก เท่ากับ XY ได้เขียนลงบนพื้นแบนราบเช่นในแผนที่เมอเคเตอร์ให้เท่ากับ $XY \sec 1'$



รูป ๔๕



รูป ๔๖

ในทำนองเดียวกัน $bc = XY \sec 2'$; $cd = XY \sec 3'$ ฯลฯ ความยาว $dY = XY(1' + \sec 1' + \sec 2' + \sec 3')$ ฉะนั้นในแผนที่เมอเคเตอร์มาตราส่วนละติจูดจึงเปลี่ยนคงตัว ส่วนมาตราส่วนลองจิจูดนั้นคงตัวไม่เปลี่ยน

เมริเดียนของโลกหาได้เป็นวงกลมแท้จริงทีเดียวไม่ เพราะว่าเส้นผ่าศูนย์กลางขั้วโลกสั้นกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางอิเควเตอร์อยู่เล็กน้อย และคำอธิบายที่กล่าวแล้วข้างต้นนั้นไม่ได้เอา ellipticity ของเมริเดียนที่มีอยู่นิดหน่อยเข้ามาคิดด้วย แต่สำหรับระยะทางไกล ๆ เช่นที่ต้องใช้ในแผนที่เมอเคเตอร์แล้ว เพื่อที่จะให้ได้ผลถูกต้องแม่นยำจะตัดค่าของ อันมีจำนวนเล็กน้อยทิ้งเสียหาได้ไม่

หมายเหตุ Ellipticity (c)$=\frac{a-b}{a}=\frac{1}{297}$ คือ

เส้นผ่าศูนย์กลางอิเควเตอร์ - เส้นผ่าศูนย์กลางขั้วโลก

เส้นผ่าศูนย์กลางอิเควเตอร์

ดูรูป 3 หน้า 2

เนื่องจากเหตุผลเกี่ยวกับการบิดตัวข้างต้น จำนวนการบิดตัวในละติจูดใด ๆ ย่อมต้องแล้วแต่ secant ของละติจูดนั้น ๆ เช่นเกาะกรีนแลนด์ที่ละติจูด 70° น เป็นตัวอย่างจะปรากฏเห็นใหญ่เท่ากับอัฟริกาที่อิเควเตอร์ ซึ่งที่จริงแล้วอัฟริกาใหญ่ถึงสามเท่าของเกาะกรีนแลนด์ การที่เป็นเช่นนี้เพราะ secant ของ 70° เท่ากับ 3 และในทำนองเดียวกันเกาะบอร์เนียวที่อิเควเตอร์ จะปรากฏโตเท่ากับเกาะไอสแลนด์ในละติจูด 65° ซึ่งที่จริงแล้วพื้นที่เกาะบอร์เนียวโตประมาณ $5\frac{1}{2}$ เท่าของเกาะไอสแลนด์

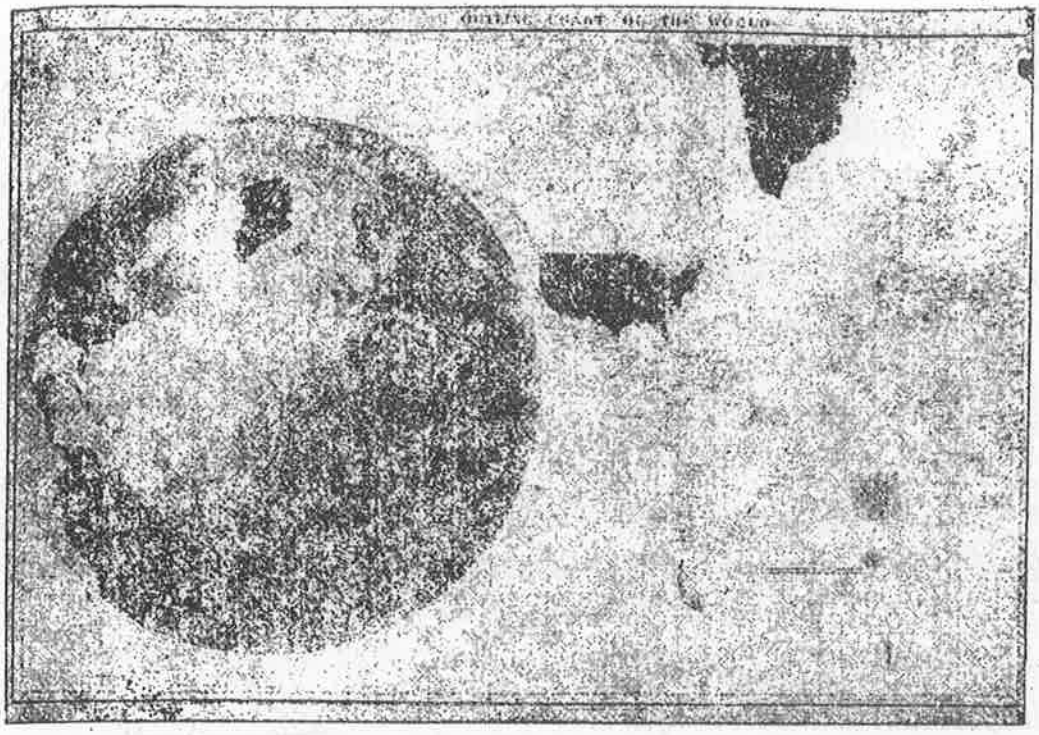
รูป 47 เป็นการเปรียบเทียบโลกกับแผนที่เมอเคเตอร์ของพื้นที่อันเดียวกันตามที่ปรากฏ-เมื่อมองมาจากจุดหนึ่ง จะสังเกตเห็นได้ว่าในแถบอิเควเตอร์มีการบิดตัวน้อยที่สุด แต่เมื่อละติจูดทวีขึ้นจะรู้สึกว่าขนาดของพื้นที่ในแผนที่ได้ทวีขึ้น และในละติจูดสูง ๆ มีการบิดตัวมากมายเท่าที่ปรากฏจากแผนที่ (จงเปรียบเทียบกรีนแลนด์บนพื้นโลกกับในแผนที่ดู) จงสังเกตดูด้วยถึงแม้ว่าวงขนานละติจูดในแผนที่จะห่างกัน 20° หรือ 1,200 ไมล์ ก็ตามแต่จะปรากฏว่า เมื่อละติจูดยิ่งทวีขึ้นระยะห่างในแผนที่ก็ยิ่งทวีมากขึ้น

การแบ่งขอบแผ่นที่ แผนที่เมอเคเตอร์นั้นแบ่งมาตราส่วนสำหรับละติจูด และระยะทางไว้ตามขอบแผนที่ ทางขอบซ้ายมือและขอบขวามือ ส่วนที่ขอบบนและขอบล่างเป็นมาตราส่วนสำหรับลองจิจูด

มาตราส่วนลองจิจูดใช้สำหรับวัดหาลองจิจูดของตำบลที่ ไม่ใช้วัดหาระยะทางเป็นอันขาด

ส่วนเมริเดียน(Meridional part) ความยาวของขอบเมริเดียนที่เขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์เป็นหน่วยแทน 1' ของขอบอิเควเตอร์เรียกว่าส่วนเมริเดียน เช่นในรูป 46 ส่วนเมริเดียนของขอบ Yd คือ 1+sec 1+sec 2+sec 3 และส่วนเมริเดียนของขอบ ad คือ sec 1+ sec 2+sec 3

ถ้าวิเคราะห์ศัพท์ข้างต้นนี้ยังไม่เข้าใจดีให้พิจารณาดูคำอธิบายต่อไปนี้ โดยที่มาตราส่วนละติจูดและระยะทางตรงส่วนใด ๆ ของแผนที่เมอเคเตอร์ย่อมได้ส่วนกันกับ secant ของละติจูดของส่วนนั้น ๆ ฉะนั้นมาตราส่วนนี้จึงทวีขึ้นต่อเนื่องกันไปในเมื่อส่วนนั้น อยู่ห่างออกไปจากอิเควเตอร์จนกระทั่งที่ขั้วโลกจะทวีขึ้นโดยไม่มีขีดจำกัด (โดยเหตุนี้จึงไม่สามารถเขียนพื้นที่บริเวณ - ขั้วโลกทั้งหมดลงในแผนที่เมอเคเตอร์ได้) เช่น tangent ของมุม PFT ในรูป 50 นั้นไม่ใช่



รูป 47

เท่ากับ PT หารด้วย FP เพราะ PT ใช้วัดตามมาตราส่วนลองจิจูดและ FP วัดตามมาตราส่วนละติจูด อัตราส่วนอันนี้จะใช้ได้ก็แต่เมื่อ PT และ FP ใช้วัดด้วยหน่วยคงตัวอันเดียวกัน มาตราส่วนลองจิจูดอันคงตัว ซึ่งใช้เป็นหน่วยวัดนี้เป็นความยาวของขอบ 1 ลิบดา บนมาตราส่วนลองจิจูด ความยาวของหน่วยนี้เรียกว่า "ส่วนเมริเดียน" ฉะนั้นจึงให้วิเคราะห์ศัพท์ของส่วนเมริเดียนได้ดังนี้

"ส่วนเมริเดียนของละติจูดใดคือจำนวนหน่วยลองจิจูดซึ่งเป็นความยาวของเมริเดียนในระหว่างวงขนานละติจูดนั้น ๆ กับอิเควเตอร์" (คือเป็นความยาวของเมริเดียนซึ่งใช้วัดด้วยหน่วยลองจิจูด)

ส่วนเมริเดียนของความยาวของเมริเดียนต่าง ๆ ได้คำนวณและให้ไว้ในมาตราเดินเรือต่าง ๆ เช่นมาตราเดินเรือ Inman (Inman's nautical tables) Bowditch ฯลฯ เป็นต้น ในมาตราส่วนเมริเดียนนั้น ส่วนเมริเดียนของละติจูด 40° เมื่อแก้สัณฐานของโลก (figure of the earth) แล้วเท่ากับ 2607.7 ถ้าเขียนเมริเดียนโดยมิได้มีการขยายแล้วความยาวของเมริเดียนจากอิเควเตอร์ถึงละติจูด 40° จะเป็น 2,400 เท่าของหน่วยที่เลือกแทน 1' ของขอบอิเควเตอร์เพราะว่า 40° มี 2,400 ลิบดา ค่าที่ให้ไว้สำหรับส่วนเมริเดียนนั้น แสดงให้เห็นส่วนขยายที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างแผนที่เมอเคเตอร์ ถ้าหากมาตราส่วนลองจิจูดของแผนที่เมอเคเตอร์กำหนดให้ 1 องศาหรือ 60 ส่วนเมริเดียนเท่ากับ 1 นิ้วแล้ว ความยาวของเมริเดียนในระหว่างวงขนานละติจูด 40° กับอิเควเตอร์เมื่อวัดบนแผนที่จะเป็น 43.5 นิ้วไม่ใช่ 40 นิ้ว ฉะนั้นส่วนเมริเดียนจึงเป็นความยาวของแผนที่ หาได้หมายถึงระยะทางบนผิวพื้นโลกที่ใช้นับเป็นไมล์ทะเลไม่

วิธีหาส่วนเมริเดียนของละติจูดต่าง ๆ ในรูป 48 รูปตอนบนแสดงพื้นโลกส่วนหนึ่ง - F เป็นจุดอยู่ที่อิเควเตอร์ FT เป็นเส้นเกลียวลากต่อ F ไปยัง T รูปตอนล่างแสดงให้เห็นเส้นเกลียวกลางเป็นเส้นตรง ในแผนที่เมอเคเตอร์

ถ้าแบ่ง TQ ออกเป็นส่วนเล็ก ๆ n ส่วน ๆ หนึ่งยาว α แล้วจะเห็นได้ว่า $(n\alpha)$ เท่ากับละติจูดของ T และขอบวงขนานละติจูดซึ่งลากผ่านจุดที่แบ่งก็จะมีระยะเท่ากัน และขอบวงขนานละติจูดเหล่านี้เมื่อประกอบกันกับเมริเดียนก็เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ ขึ้นชุดหนึ่งคือ FAX, ABY, ... และถ้าหากว่าส่วนยาว α นี้สั้นมาก ๆ แล้ว อาจถือได้ว่ารูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ เหล่านี้เป็นพื้นแบนและเท่ากันทุกประการ เพราะ

$$FX = AY = \alpha$$

$$\angle X = \angle Y = \text{มุมฉาก}$$

$$\angle F = \angle A = \text{เฉียง}$$

เพราะฉะนั้น AX = BY = ... และโดยที่ขอบเล็ก ๆ เหล่านี้อยู่ห่างไกลต่อเนื่องกันไปจากอิเควเตอร์มากเข้าทุกที เมริเดียนซึ่งตัดขอบเหล่านี้จึงมีระยะห่างไกลต่อเนื่องกันไป ฉะนั้น

$$FQ_1 < Q_1 < Q_2 < \ldots\ldots\ldots$$

เมื่อเปรียบเทียบรูป 48 ดูทั้งสองตอนแล้วจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างรูปสาม - เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เขียนบนพื้นโลกและตามที่ปรากฏเห็นเมื่อเขียนลงในแผนที่ได้อย่างชัดเจน ตามที่เขียนบนพื้นโลกจะเห็นได้ว่ารูปสมเหลี่ยมเล็ก ๆ นั้นเท่ากัน แต่ตามที่ปรากฏในแผนที่จะเห็นว่าเป็นเพียงคล้ายคลึงเท่านั้น ตามรูปในแผนที่นั้นจะเห็นได้ว่า มันทวีขึ้นตามลำดับเมื่อยิ่งอยู่ห่างจากอิเควเตอร์ ส่วนที่ทวีขึ้นนี้จะหาได้โดยพิจารณาดูรูปสามเหลี่ยมที่คล้ายคลึงกัน - และตามลำดับกันสองรูปเช่น

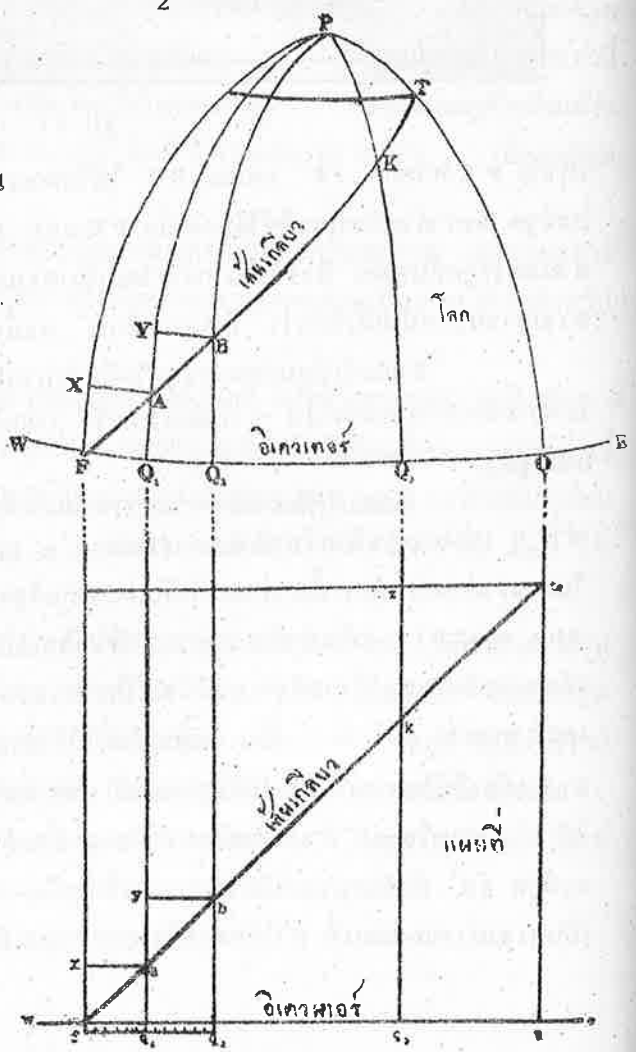
$$\therefore \frac{fx}{FX} = \frac{nx}{AX} = \frac{FQ_1}{AX} = \sec(\text{แลด. A})$$

$$fx = FX \sec(\text{แลด. A})$$

$$= \alpha \sec \alpha$$

โดยทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาดูรูปสามเหลี่ยม ABY และ aby

$$ay = \alpha \sec 2\alpha$$



รูป ๔๘

แต่ qt อันเป็นความยาวของเมริเดียนในวงขนานละติจูดที่ผ่าน t และอิเควเตอร์เป็นผลบวกของส่วนเล็ก ๆ ทั้งหมด fx, ay,....kz คือ gt= α (sec α + sec 2 α + sec 3 α + _____sec n α)

สมการที่ได้นี้เป็นจำนวนส่วนเมริเดียนของละติจูดของ T

หมายเหตุ การหาส่วนเมริเดียนในตอนที่ 2 ข้อ 4 หน้า 55 ไม่ได้เอาสัณฐานของโลกหรือความโค้งของโลกเข้าหักด้วย เพราะในตอนนั้นประสงค์เพียงแต่ให้ผู้ศึกษาเข้าใจ วิธีเปิดหาส่วนเมริเดียนไว้ก่อนเท่านั้น

ตัวอย่าง - ถ้าต้องการสร้างแผนที่เมอเคเตอร์แผ่นหนึ่งในระหว่างแลต. 30°และ 31°น. กำหนดมาตราส่วนให้ 0.1 ซม.เท่ากับ 1 ลิบดาลองจิจูด อยากทราบว่าจะต้องเขียนเมริเดียน ยาวเท่าใด

วิธีทำ ละติจูด 30° มีอัตราหักแลต.(Reduction of lat.) เพื่อแก้ความโค้งของโลกในมาตรา Figure of the earth ใน Inman's Nautical Tables เท่ากับ 10' 09" ซึ่งจะต้องลบออกจากแลต. 30° เพราะฉะนั้นเมื่อลบออกแล้วคงได้แลต. 29°49'51"และแลต. 31° มีอัตราหักแลต.เท่ากับ 10°20" เมื่อลบออกแล้วได้แลต 30°49'39" แล้วเอาแลต. ที่ได้แก้ความโค้งเหล่านี้ไปเปิดหาส่วนเมริเดียนในมาตราส่วนเมริเดียนแต่ในมาตราเดินเรือบางชนิด-เช่น Bowditch มาตรา 5 ได้ให้ส่วนเมริเดียนที่ได้แก้ความโค้งของโลกไว้แล้ว

แลต. 31° ส.ม. (ส่วนเมริเดียน) = 1946.0

แลต. 30° ส.ม. (") = 1876.7

แลต. ป.ส.ม.แลต.(เปลี่ยนส่วนเมริเดียน) = 69.3

ความยาวของเมริเดียน = 69.3×0.1 ซม.

= 6.93 ซม.

ให้ M เป็นอักษรย่อแทนส่วนเมริเดียน

m เป็นแลต. เปลี่ยนส่วนเมริเดียน

k เป็นความยาวคงตัวสำหรับมาตราส่วนของแผนที่ เมอเคเตอร์แทน 1 ลิบดาลองจิจูด

Mx และ My เป็นส่วนเมริเดียนสำหรับละติจูด Lx และ Ly เมื่อ Ly ใหญ่กว่า เพราะฉะนั้น m=My-Mx และความยาวของเมริเดียนตามมาตราส่วนของแผนที่ในระหว่าง Lx และ Ly เท่ากับ mk หรือความยาวของแลต. เปลี่ยนส่วนเมริเดียนทั้งหมด ตามมาตราส่วนที่กำหนดให้ (mk)=(My-Mx) k

วิธีสร้างแผนที่เมอเคเตอร์ ก่อนที่จะสร้างต้องกำหนดมาตราส่วนให้เหมาะกับเขตพื้นที่ และแผ่นกระดาษที่ใช้ การกำหนดมาตราส่วนมักจะให้เป็นมาตราส่วนของลองจิจูด เช่นมาตราส่วน 10 ซม. เท่ากับ 1° ลองจิจูด ฯลฯ เป็นต้น ส่วนทางละติจูดนั้นจะต้องหาส่วนเมริเดียนในระหว่างที่สองตำบล คือ แลต.เปลี่ยนส่วนเมริเดียนเสียก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นมาตราส่วนได้

การสร้างแผนที่เมอเคเตอร์นั้นทำดังต่อไปนี้

1. กำหนดมาตราส่วน
2. หาแลต.เปลี่ยนส่วนเมริเดียนตามแลต.ที่ให้
3. คำนวณความยาวของขอบแลต. ด้วยแลต. เปลี่ยนส่วนเมริเดียนที่หาได้ตามมาตราส่วนที่กำหนดให้
4. คำนวณความยาวของขอบลองจิจูดตามมาตราส่วนที่กำหนดให้
5. เขียนเส้นตรงแนวนอนกะระยะให้เท่ากับความยาวของขอบลองจิจูด
6. ตั้งเส้นฉากขึ้นจากปลายทั้งสองของเส้นขอบลองจิจูด วัดระยะความยาวของขอบละติจูดที่คำนวณได้
7. จากปลายข้างบนทั้งสองของขอบแลต. เขียนเส้นตรงเข้าบรรจบกัน
8. ให้สอบระยะและเส้นฉากทุกด้าน
9. เขียนเส้นขอบนอกอีกเส้นหนึ่งให้ขนานกันเส้นขอบในทั้งสี่ด้านระยะห่างประมาณ 2 มม. และเขียนขอบอีกชั้นหนึ่งทั้งสี่ด้านโดยรอบให้ห่างประมาณ 1 มม.
10. แบ่งหนึ่งองศาออกเป็น 6 ส่วนเท่า ๆ กันทั้งขอบแลต.และขอบลอง.
11. เขียนเส้นเมริเดียน และเส้นขนานแลต.ผ่านตรงจุดองศาลองจิจูดและองศาละติจูด
12. เขียนตัวเลขจำนวนองศากำกับ ทั้งทางละติจูดและ ลองจิจูดตามจุดที่แบ่ง

ตัวอย่าง จงสร้างแผนที่เมอเคเตอร์แผ่นหนึ่ง ในระหว่างแลต.54° น. และแลต. 58° น. ลอง. 142° อ. และลอง. 146° อ.กำหนดมาตราส่วนให้ 1° ลองจิจูดเท่ากับ 3 ซม.

วิธีทำ หาความยาวของขอบลองจิจูด

ลอง.ถึง 146° อ.
ลอง.ออก 142° อ.
ลอง.เปลี่ยน 4° อ.

ตามมาตราส่วน 1° ลองจิจูด = 3 ซม.

∴ 4° ลองจิจูด = 3×4 ซม. = 12 ซม. คือขอบลองจิจูดทั้งหมดยาว 12 ซม.

หาความยาวของขอบละดิจูด ความยาวนี้จะต้องหาระยะแลต. เปลี่ยนส่วนเมริเดียนทุกระยะ 1° ดังนี้

แลต.	ส่วนเมริเดียนเมื่อแก้ความโค้งของโลกแล้ว	แลต.ป.ส.ม.	ระยะตามมาตราส่วน
			ซ.ม.
58°	4274.4	.111.4	5.57
57	4163.0	108.5	5.425
56	4054.5	105.7	5.285
55	3948.8	103.1	5.155
54	3845.7		
∴ความยาวของขอบแลต. ทั้งหมด =		428.7	21.435

หาความยาวของขอบละดิจูด ตามมาตราส่วน 1° ลอง. = 3 ซม. หรือ 60 ไมล์ = 3 ซม.

$\therefore$ 111.4 ไมล์ = $\frac{111.4\times3}{60}$ = 5.57 ซม.

108.5 ไมล์ = $\frac{108.5\times3}{60}$ = 5.425 ซม.

105.7 ไมล์ = $\frac{105.7\times3}{60}$ = 5.285 ซม.

103.1 ไมล์ = $\frac{103.1\times3}{60}$ = 5.155 ซม.

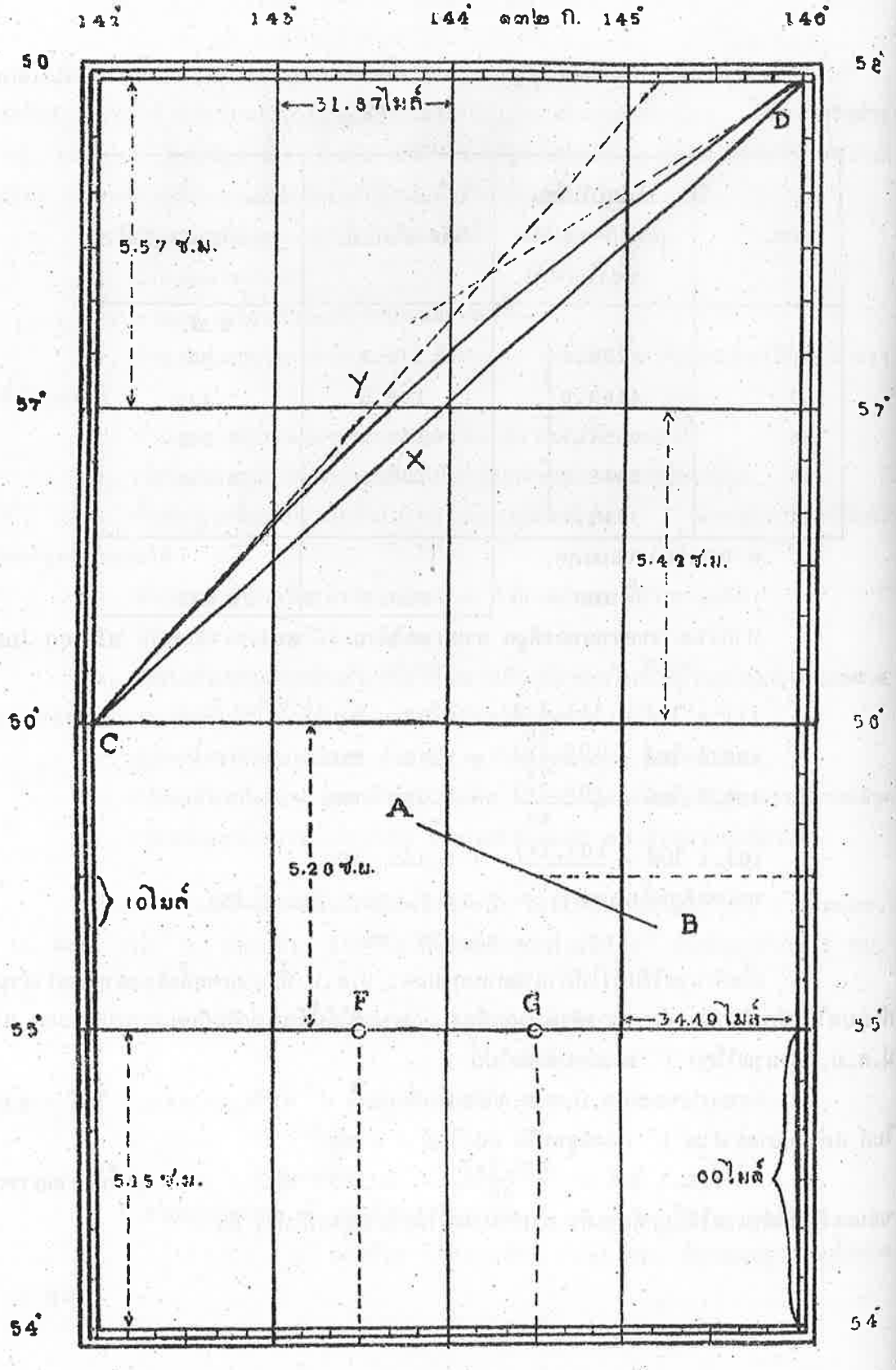
$\therefore$ ขอบละดิจูดทั้งหมดยาว = 5.57+5.425+5.285+5.155

= 21.435 ซม.

เมื่อคำนวณได้แล้วให้คำนวณสอบหาแลต. ป.ส.ม.ที่ปลายเขตทั้งสองตามมาตราส่วน ที่กำหนดให้เช่นเดียวกัน ถ้าผลการคำนวณถูกต้อง ระยะที่ได้นี้ต้องเท่ากันกับผลรวมของระยะ แลต. ป.ส.ม.ที่คำนวณไว้ทุก 1° ครั้งก่อนดังต่อไปนี้

ความยาวของแลต.ป.ส.ม.ของแผนที่แผ่นนี้ = 4274.4-3845.7 ไมล์ = 428.7 ไมล์ แต่ตามมาตราส่วน 1° ลองจิจูดหรือ 60 ไมล์ = 3 ซม.

$\therefore$ 428.7 ไมล์ = $\frac{428.7\times3}{60}$ = 21.435 ซม. ฉะนั้นความยาวของขอบละดิจูดที่คำนวณได้นี้ถูกต้องแล้ว การคำนวณนี้ได้มาจากสูตรที่ให้ไว้ คือ


142°
143°
144°
๑๓๒ ก. 145°
146°
58°
57°
56°
55°
54°
31.87 ไมล์
5.57 ช.ม.
D
Y
X
5.42 ช.ม.
C
A
5.20 ช.ม.
B
๑๐ไมล์
F
G
34.19 ไมล์
5.15 ช.ม.
๑๐ไมล์

รูป ๕๕

mk=(My-Mx)k; mk เป็นความยาวของเมริเดียน (หรือขอบแลต.) มาตราส่วน 1° ลอง. = 3 ซม. หรือ $60'$ = 3 ซม.

$\therefore 1' = \frac{3}{60} = \frac{1}{20}$ ซม.

$\therefore mk = (My-Mx)\times\frac{1}{20} = (4274.4-3845.7)\times\frac{1}{20}$

$= \frac{428.7}{20} = 21.435$ ซม.

ต่อไปนี้ให้ทำตามหลักของการสร้างแผนที่เมอเคเตอร์ในข้ออื่นต่อไป ดูรูป 49

ตามธรรมดานั้น แผนที่เมอเคเตอร์ ในทางปฏิบัติมีวงเข็มเขียนประกอบไว้ด้วยหนึ่งหรือสองวง วงเข็มเหล่านี้ก็คือรูปจำลองของแผ่นเข็มทิศนั่นเอง

ในแผนที่ตัวอย่างนี้ไม่ได้ให้วงเข็มไว้เพื่อตัดความยุ่งยากในการเขียนแต่ถึงกระนั้น ก็อาจหาทิศทางของเส้นตรงหรือหาเข็มได้ โดยใช้ไม้บรรทัดขนาน หรือโปรแตรกเตอร์ ทำมุมกับเมริเดียนในแผนที่ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

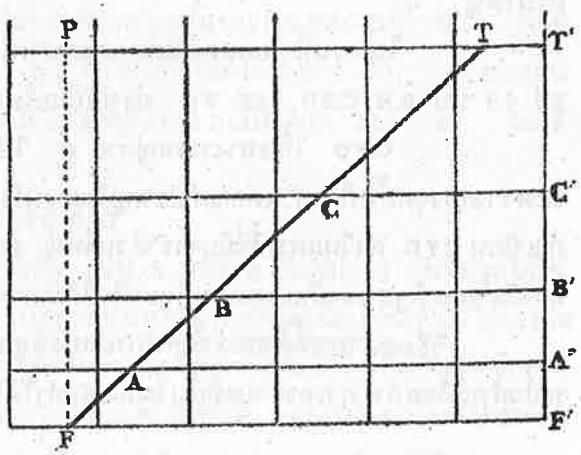
โดยที่โลกเป็นทรงกลม ฉะนั้นความยาวของ 1 (60') ลองจิจูดบนผิวพื้นโลกที่วงขนานละติจูด 58° นั้นเท่ากับ 31.87 ไมล์ทะเลแต่ในแผนที่เมอเคเตอร์ตามรูป 49 นั้นที่แลต. 58° องศาลองจิจูดต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 6 ส่วน ๆ ละ $10'$ ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าส่วนหนึ่ง ๆเหล่านี้หาได้เท่ากับ 10 ไมล์ไม่ แต่ 1° ละติจูดบนผิวพื้นโลกนั้นเท่ากับ 60 ไมล์ ทุกแห่งไป เพราะฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าส่วนหนึ่ง ๆ ของมาตราส่วนละติจูด จึงเท่ากับ 10 ไมล์ตามแลต.ของมัน

โดยเหตุนี้การวัดระยะทางในแผนที่เมอเคเตอร์ จึงไม่ใช้มาตราส่วนลองจิจูด หรือขอบลองจิจูด ให้ใช้มาตราส่วนละติจูด (Longitude scale) หรือขอบละติจูด ซึ่งอยู่ในละติจูดเดียวกันกับระยะทางที่จะวัด (Latitude scale)

การวัดระยะทางในแผนที่ ความยาวของเส้นเกลียวในระหว่างที่สองตำบลเป็นระยะทางในระหว่างตำบลที่นั้น

ในรูป 50 FABCT เป็นเส้นเกลียวตามที่เขียนในแผนที่ FF', AA', BB'..... เป็นวงขนานละติจูด

ระยะทาง FA ต้องใช้วัดตามมาตราส่วน ระหว่าง F' และ A' ระยะทาง AB วัดตามมาตราส่วนระหว่าง A' และ B' และต่อ ๆ ไป ถ้า FT ไม่ยาวจนเกินไป คือสั้นกว่า 100 ไมล์ แล้วการวัดระยะทางตามมาตราส่วนที่มีอยู่ ประมาณในทางข้างของจุดกึ่งกลางระยะทางแล้วจะไม่ผิดมากนัก



รูป ๕๐

วิธีวัดระยะทางในแผนที่เมอเคเตอร์ เป็นวิธีวัดระยะทางในทางปฏิบัติโดยใช้วัดระยะทางนั้นเข้ากับขอบละติจูด ซึ่งอยู่ในละติจูดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน

วิธีทำ ใช้ปากคีบ วัดระยะทางนั้น เอาไปกะลงที่ขอบแลด. ให้กึ่งกลางของปากคีบอยู่ตรงแลด.กลาง ของระยะทางนั้น ความยาวที่อ่านได้ ในระหว่างปลายปากคีบทั้งสองข้างเป็นระยะทางที่ต้องการหรือพูดง่าย ๆ ก็คือ เอาปากคีบวัดระยะทางนั้นเพียงครึ่งหนึ่งมากะลงบนขอบแลด. ข้างบนเส้นขนานแลด.กลางของเส้นระยะทางนั้นทีหนึ่งและกะลงข้างใต้อีกทีหนึ่ง จำนวนลิบดา ในระหว่างขอบละติจูดที่กะลงนี้เป็นระยะทางที่ต้องการ (หรือผลลบของจำนวนองศาที่ขอบแลด. ทั้งสองข้างเมื่อทำเป็นลิบดาแล้วเป็นระยะทางเป็นไมล์ ทะเลที่ต้องการ) เช่นหาระยะทาง AB ในรูป 49 ดังกล่าวแล้ว จะได้ระยะทางเท่ากับ 50 ไมล์และในทำนองเดียวกันระยะ FG ซึ่งมีลองจิจูดเปลี่ยน 60' . จะได้ระยะทางเท่ากับ 35 ไมล์

ถ้าตำบลที่ที่วัดนั้นอยู่ในลองจิจูดเดียวกัน ระยะทางจะเท่ากับแลด. เปลี่ยนในระหว่างตำบลที่นั้น

หมายเหตุ แผนที่บางชนิดเช่นแผนที่ขยาย (Plan) มีระยะละติจูดสั้น คือจำนวนองศาของขอบแลด.มีน้อยหรือมีไม่ถึงหนึ่งองศาแต่เอามาสร้างเป็นแผนที่ ให้มีมาตราส่วนใหญ่ ฉะนั้นความเปลี่ยนแปลงของความยาวของขอบแลด. หนึ่งลิบดา ภายในพื้นที่ของแผนที่แผ่นนั้นจึงไม่สู้มากนัก ฉะนั้นในแผนที่เช่นนั้นอาจให้มาตราส่วนแลด.ไว้เพื่อให้ใช้ได้ทั่วแผนที่แผ่นนั้น

จากข้อความที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นจริงว่า มาตราส่วนของแผนที่เป็นไมล์นั้นเปลี่ยนทุก ๆ ละติจูดต่อเนื่องกันคือว่ามันยิ่งยาวขึ้น เมื่อละติจูดยิ่งทวีขึ้นและมันทวีขึ้นแม่นยำในทำนองเดียวกันและจำนวนเดียวกันกับที่มาตราส่วนแลด.ทวีขึ้น เพราะฉะนั้นพื้นที่อันเท่ากันสองพื้นที่ในละติจูดที่ต่างกันจะปรากฏว่า มีขนาดต่างกันในแผนที่เมอเคเตอร์ พื้นที่ซึ่งอยู่ในละติจูดสูงจะปรากฏว่ามีรูปใหญ่

ในแผนที่เมอเคเตอร์เส้นตรงเส้นหนึ่งเส้นใดย่อมเป็นเส้นเกลียวทั้งนั้นในแผนที่เมอเคเตอร์รูป 49 นั้น AB,CXD และ FG ต่างก็เป็นเส้นเกลียวทั้งนั้น

CYD เป็นทางวงใหญ่จาก C ไปยัง D ถึงแม้เส้นนี้จะเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างสองจุดนั้นก็ตาม แต่ตามที่ปรากฏในแผนที่แล้วรู้สึกว่ายาวกว่าเส้นเกลียว CXD อย่างไรก็ดีถ้าเขียน CYD ลงในแผนที่ที่มีมาตราส่วนใหญ่ (Large scale) ที่แม่นยำถูกต้องและเมื่อแต่ละส่วนต่างวัดในละติจูดของมันเองแล้ว ก็จะเห็นได้ว่าการวัดระยะทาง CYD นั้นสั้นกว่าเส้นเกลียว CXD

วิธีลงตำบลที่ด้วยละติจูดและลองจิจูดในแผนที่ เมื่อรู้ละติจูด และลองจิจูดของตำบลหนึ่งตำบลใดแล้ว การลงตำบลที่นั้นในแผนที่ทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) วางไม้บรรทัดขนานลงให้ขอบข้างหนึ่งทาบกับเส้นขนานละติจูดที่ใกล้เคียงกับละติจูดที่ต้องการ แล้วเลื่อนไม้บรรทัดไปจนขอบข้างหนึ่งทับหรือผ่านแลต. ของตำบลที่ที่ต้องการ ตามที่แสดงไว้ที่ขอบแลต.ของแผนที่ แล้วเอาปากคีบวัดความยาวที่ขอบลองจิจูดขอบบนหรือขอบล่าง จากเมริเดียนอันใกล้ที่สุดจนถึงลองจิจูดที่ต้องการแล้วกะความยาวอันนี้ลงบนวงขนานละติจูดที่ขอบไม้บรรทัดโดยกะจากเมริเดียนเดียวกันกับที่วัดที่ขอบลอง.ขอบบนหรือขอบล่าง จุดที่ปากคีบตัดกับวงขนานแลต. ที่ขอบไม้บรรทัดเป็นตำบลที่ที่ต้องการ หรือถ้าจะให้สะดวกยิ่งขึ้นแล้ว ให้วางไม้บรรทัดทาบเข้ากับลองจิจูดที่ต้องการแล้วใช้ปากคีบวัดละติจูดมากะลง

(2) วางขอบไม้บรรทัดขนานข้างหนึ่งทาบเข้ากับละติจูดที่ต้อง การแล้วลากเส้นสั้นๆเส้นหนึ่งในบริเวณลองจิจูดที่กำหนดให้แล้วลากเส้นสั้น ๆ อีกเส้นหนึ่งโดยวิธีเดียวกันตรงลองจิจูดที่กำหนดให้ ๆ ขนานกับเมริเดียน จุดที่เส้นทั้งสองนี้ตัดกันเป็นตำบลที่ที่ต้องการ

วิธีหาละติจูดและลองจิจูดของจุดในแผนที่ ถ้าจะหาละติจูด และลองจิจูดของจุดหนึ่งจุดใดแล้ว ให้ทำตรงกันข้ามกับวิธีลงตำบลที่ด้วยละติจูดและลองจิจูดที่ได้กล่าวมาแล้ว ให้ใช้ปากคีบวัดระยะทางของจุดนั้นจากวงขนานละติจูดที่อยู่ใกล้จุดนั้นที่สุด แล้วเอาปากคีบไปเปรียบเทียบระยะที่ขอบละติจูด หรือจะใช้ไม้บรรทัดขนานเลื่อนระยะทางนี้ไปที่ขอบละติจูดก็ได้ ส่วนการหาลองจิจูดก็ทำโดยทำนองเดียวกัน คือใช้วัดระยะทางจากเส้นเมริเดียนที่ใกล้ที่สุด แล้วเอาไปเปรียบเทียบกับขอบลองจิจูด

ในการถ่าย (ย้าย) ตำบลที่จากแผนที่แผ่นหนึ่งไปยังแผ่นอื่นนั้น ใช้วิธีเอาแลต.และลอง.ของตำบลที่นั้นจากแผนที่แผ่นหนึ่งไปลงยังอีกแผ่นหนึ่ง และควรต้องหาแบริงและระยะทางของตำบลนั้นจากที่หมายแห่งหนึ่งแห่งใดที่มีอยู่ในแผนที่ทั้งสอง เพื่อตรวจสอบกับการลงตำบลที่ด้วยแลต.-และลอง.

ตัวอย่าง ให้ลงตำบลที่ A แลต. 55° 40' น. ลอง. 143° 50' อ. และ B แลต. 55° 20' น. ลอง 145° 10' อ. ในแผนที่รูป 49

วิธีทำ วางไม้บรรทัดขนานลงให้ขอบไม้บรรทัดจดกับเส้นขนานแลต. 55° น. พอดีแล้วเลื่อนไม้บรรทัดไปจนขอบจดกับแลต. 55° 40' น. เอาปากคีบวัดขอบลอง. 50' จากเส้นเมริเดียน 143° อ. แล้วเอาระยะนี้ไปกะลงบนขอบไม้บรรทัดตั้งต้นจากเมริเดียน 143° อ. จะได้จุด A ตามต้องการ หรือจะทำโดยวิธีที่ 2 ก็ได้

วิธีหาทิศหรือเข็มในระหว่างที่สองตำบล

(1) ให้ลากเส้นต่อตำบลทั้งสองเข้าด้วยกัน เช่น A และ B ในรูป 49 หรือจะไม่ใช้ลากเส้นก็ได้แล้วเอาขอบไม้บรรทัดขนานทาบเข้ากับเส้นที่ลากนั้นหรือตำบลที่ทั้งสอง แล้วเลื่อนไม้บรรทัดขนานไปยังวงเข็มทิศที่ใกล้ที่สุด ให้ขอบไม้บรรทัดผ่านศูนย์กลางวงเข็มจำนวนองศา ที่ขอบวงเข็มตรงที่ขอบไม้บรรทัดผ่าน เป็นทิศหรือเข็มที่ต้องการ หรือจะไม่ใช้วงเข็มทิศก็ได้ คือทำโดยเลื่อนไม้บรรทัดขนานไปยังเส้นเมริเดียนอันใกล้ที่สุด ให้จุดล่างของเส้นกึ่งกลางไม้บรรทัดขนานทับกับเมริเดียน แล้วหุบขาไม้บรรทัดทั้งสองเข้าหากันให้สนิทจำนวนองศาของปีดที่ขอบไม้บรรทัดที่เส้นเมริเดียนตัด เป็นแบริงจริงหรือเข็มจริงที่ต้องการ

(2) ใช้โปรแตรกเตอร์ซึ่งมีขีดแบ่งไว้ โดยวางไม้บรรทัดขนานให้ขอบไม้บรรทัดจดกับตำบลที่ทั้งสอง แล้ววางขอบโปรแตรกเตอร์ให้จดกับขอบไม้บรรทัดเลื่อนโปรแตรกเตอร์ไปตามขอบไม้บรรทัดขนานจนจุดศูนย์กลางตั้งฉากของมันทับกับเมริเดียนใดเมริเดียนหนึ่งก็ได้ แล้วอ่านจำนวนองศาของขีดที่ขอบโปรแตรกเตอร์ทับกับเมริเดียนจำนวนองศาที่ได้นั้นเป็นทิศหรือเข็มที่ต้องการ

หรือจะทำดังต่อไปนี้ คือ-ใช้ไม้บรรทัดขนานเลื่อนขนานมาจากเส้นเมริเดียน หรือเส้นขนานละติจูดใดก็ได้ให้ผ่านจุดของตำบลแรก เช่น C ในรูป 49 เขียนเส้นตรงผ่าน วางโปรแตรกเตอร์ลงให้เส้นตั้งหรือเส้นนอนทับอยู่บนเส้นเมริเดียน หรือเส้นขนานแลตที่เขียนผ่าน ให้จุดศูนย์กลางตั้งฉากขอบโปรแตรกเตอร์ทับบนจุดแรก เส้นแนวทาง ระหว่างที่สองตำบลตัดกับของโปรแตรกเตอร์ตรงขีดใดจะเป็นค่าของทิศ หรือเข็มจริงระหว่างที่สองตำบลนั้น

เข็มจริงที่ได้นี้ ถ้าจะเอาไปตั้งเข็มสำหรับเดินเรือโดยใช้เข็มทิศเรือนเอกแล้ว ต้องแก้ให้เป็นเข็มเรือเสียก่อนด้วยความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (คือ วาริเอชั่น+ดิวิเอชั่น) แล้วจึงเอาไปตั้งเป็นเข็มเดินทางต่อไป

ทิศในแผนที่เมอเคเตอร์ แบริงของที่แห่งหนึ่งบนผิวพื้นโลกจากที่อีกแห่งหนึ่ง คือทิศซึ่งตำบลที่สองแลเห็นได้จากตำบลที่หนึ่งโดยเหตุที่เส้นเล็งเป็นเส้นสั้นที่สุดในระหว่างตำบลทั้งสอง ฉะนั้นทิศของแบริงจึงหาได้โดยวงใหญ่ ซึ่งต่อตำบลที่ทั้งสอง

แบริงจริงของตำบลที่หนึ่งบนผิวพื้นโลกจากตำบลที่ของผู้ตรวจเป็นมุมในระหว่างวงใหญ่-ซึ่งต่อตำบลที่ทั้งสองกับเมริเดียนของผู้ตรวจ

โดยที่แบริงจริงได้มาจากทิศของวงใหญ่ ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าเส้นตรงในแผนที่เมอเคเตอร์คือเส้นเกลียว นั้นหาได้เป็นแบริงจริงที่แท้โดยถูกต้องแน่นอนทีเดียวไม่ แต่อย่างไรก็ดีสำหรับระยะทางสั้น ๆ และเส้นเกลียวและวงใหญ่หาได้แตกต่างกันมากมายเท่าใดนักไม่ ฉะนั้นแล้วสำหรับในชั่วระยะทัศนวิสัย (Range of visibility) จึงใช้เส้นเกลียวในแผนที่เมอเคเตอร์แทนแบริงได้ โดยไม่มีความผิดมากเท่าใดนัก และในทางปฏิบัติก็ได้ใช้กันเช่นว่านั้น ในกรณีเช่นนี้แบริงของที่สองตำบลจากกันและกันอาจสมมุติให้เป็นแบริงกลับกันได้ คือว่าเมื่อตำบลทั้งสองนั้นเป็น A และ B แล้ว (ดูรูป 49) แบริงของ A จาก B = 180° ลบด้วยแบริงของ B จาก A

ถ้าหากว่าระยะทางนั้นไกลมาก เช่นในบางคราวได้แก่แบริงวิทยุเป็นต้นจะทำให้เกิดความผิดมาก ในเมื่อให้แบริงนั้นเป็นเส้นเกลียว (ดูรูป 49) แบริงจริงระหว่าง C และ D หาได้ด้วยวงใหญ่ CYD เพราะฉะนั้นทิศของ D ที่ C เป็นเส้นสัมผัสกับวงใหญ่ซึ่งเขียนด้วยเส้นไข่ปลา ถ้าเขียนทิศนี้เป็นเส้นเกลียวเพื่อหาตำบลที่ D แล้วจะเห็นได้ว่า D นั้นอยู่ไกลไปทางเหนือของเขตแผนที่ ซึ่งความจริงแล้วหาเป็นเช่นนั้นไม่

เมื่อพิจารณาต่อไปจะเห็นได้ว่าทิศของ C จาก D เป็นเส้นสัมผัสกับวงใหญ่ที่ D ตามนี้หาได้เป็นแบริงกลับของ C จาก C ไม่ จงดูการตัดกันของเส้นสัมผัส (เส้นไข่ปลา) ของวงใหญ่ที่ C และ D

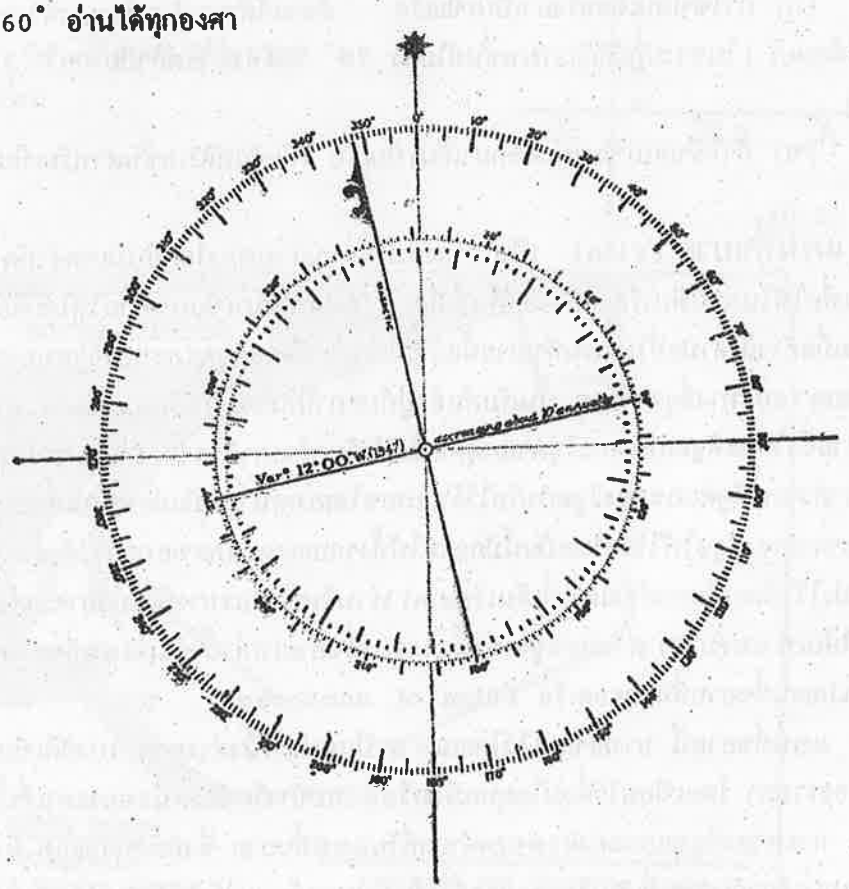
วิธีหาละติจูด และลองจิจูดถึงของตำบลที่ในแผนที่ ถ้ารู้ตำบลที่ออกเรือ เข็ม และระยะทางแล้ว จะหาตำบลที่เรือถึงให้ทำดังต่อไปนี้

(1) ขีดเข็มลงในแผนที่จากที่ออกเรือ

(2) กะระยะทางเป็นไมล์ทะเลตามที่ให้ จาก ขอบแลต. ของแผนที่ด้วยปากคีบแล้วจดลงจากจุดออกเรือไปตามเข็ม จุดที่ปลายปากคีบอีกด้านหนึ่งตัดกับเข็มเป็นตำบลที่เรือถึง แล้วหาแลต.และลองของจุดนี้โดย วิธีคล้ายกันกับการลงตำบลที่ด้วยแลต.และลอง.ที่กล่าวมาแล้วแต่ต่างกันอยู่เล็กน้อย คือต้องเอาจุดตำบลที่ไปหาแลต.และลองที่ขอบแผนที่

วงเข็มทิศในแผนที่ ตามธรรมดาแผนที่เดินเรือจะต้องเขียนวงเข็มทิศให้ไว้เสมอ ความประสงค์ของการนี้ก็เพื่อให้ความสะดวกแก่การตั้งเข็มและการขีดแบริงหาตำบลที่ของเรือในแผนที่ การเขียนวงเข็มนี้เขียนเป็น 3 ขอบโดยมาก คือ

(ก) ขอบนอกเป็นวงเข็มจริงแบ่งออกเป็น 360° นับเวียนตามเข็มนาฬิกาจาก 0° ที่ทิศเหนือถึง 360° อ่านได้ทุกองศา



รูป ๕๑
วงเข็มทิศ

(ข) ขอบกลางเป็นวงเข็มแม่เหล็กแบ่งออกเป็น 360° นับเวียนตามเข็มนาฬิกาจาก 0°

ที่ทิศเหนือแม่เหล็กถึง 360° (แบบเก่าแบ่งออกเป็นตรีจักรจาก 0° ถึง 90° โดยให้ทิศเหนือและใต้เป็น 0° แล้วเวียนไปทางตะวันออกและตะวันตกจนครบ 90°) อ่านได้ทุก 2 องศา

(ค) ขอบในเป็นวงเข็มแม่เหล็ก แบ่งออกเป็นปอยนต์และ $\frac{1}{4}$ ปอยนต์

สำหรับแผนที่เดินเรือฝั่งเศส ไม่มีวงเข็มทิศให้ไว้คงมีแต่เส้นเมริเดียนจริง และเมริเดียนแม่เหล็กเขียนไว้ด้วยกันกับเมริเดียนจริงตรงที่ใดที่หนึ่งเท่านั้น

วาริเอชั่นของตำบลที่ วาริเอชั่นหรือความผิดของขั้วเข็มทิศที่ชี้ไม่ตรงตามเมริเดียนจริงของโลก ย่อมจะไม่เท่ากันทุกแห่ง ทั้งความผิดนี้ก็ไม่คงตัวบางทีก็ผิดเปลี่ยนมากขึ้น หรือเปลี่ยนน้อยลงไปทางตะวันออกหรือตะวันตกของเมริเดียนจริง เพราะฉะนั้นที่วงเข็มทิศ จึงจำเป็นต้องเขียนอัตราผิดของวาริเอชั่นไว้ด้วยว่า มีอัตราผิดน้อยลงหรือมากขึ้นปีละเท่าใดในตำบลนั้น ๆ เพื่อจะได้คิดคำนวณมาใช้แก้เข็มให้ถูกต้องตามปีที่ใช้แผนที่แผ่นนั้น

วิธีใช้วงเข็มทิศปิดเข็ม

(ก) ถ้าใช้ขอบเข็มจริงมาเป็นเข็มเรือ ต้องแก้ด้วยวาริเอชั่นและดิวิเอชั่น ถ้าไม่มีวาริเอชั่นไม่ต้องแก้ (ในทางปฏิบัติถ้าวาริเอชั่นมีไม่ถึง 30' ไม่ต้องแก้แต่ถ้ามีมากกว่า 30' ขึ้นไปให้ถือเป็น 1°)

(ข) ถ้าใช้ขอบเข็มแม่เหล็กมาเป็นเข็มเรือ ให้แก้แต่ดิวิเอชั่นสำหรับเข็มเรือแต่อย่างเดียว

แผนที่ขยาย (Plan) เป็นเครื่องหมายแทนส่วนของโลกอันมีเขตจำกัด เขียนลงบนพื้นแบนราบเพื่อใช้ในการเดินเรือ (คือเอาพื้นที่เล็ก ๆ อันจำกัดมาเขียนขยายให้โตเพื่อให้เห็นได้สะดวก) ซึ่งเมื่ออ้างถึงตำบลที่ในแผนที่ขยายนี้แล้ว ไม่กล่าวถึงละติจูดและลองจิจูดของตำบลที่เลยแต่ใช้อ้างถึงทิศและระยะทางที่จุดต่าง ๆ นั้นสัมพันธ์อยู่กับสถานีตรวจ(Observation spot) ฉะนั้นในแผนที่ขยายจึงให้ละติจูดและลองจิจูดของจุดหนึ่งไว้เรียกว่าสถานีตรวจ (Observation spot) และให้มาตราส่วนละติจูดและลองจิจูดกำกับไว้ด้วยเสมอโดยเหตุนี้ในสมัยก่อนแผนที่ขยายจึงไม่มีขอบละติจูด และขอบลองจิจูดให้ไว้แต่ในสมัยนี้มักจะมีให้ทั้งขอบแลต.และขอบลอง.ด้วย แต่ถึงกระนั้นก็ตามไม่ได้แบ่งไว้ให้ละเอียดอย่างแผนที่เดินเรือมาตราส่วนใหญ่ และบางทีก็ไม่มีมาตราส่วนลองจิจูดให้ไว้ด้วย คงมีให้เฉพาะแต่มาตราส่วนละติจูดเท่านั้น แผนที่ขยายเหล่านี้ได้แก่แผนที่ขยายท่าเรือ (Harbour plan)แผนที่ขยายที่ทอดจอดเรือ (Plan of anchorage) ฯลฯ

แผนที่ขยายนี้ บางทีเขียนไว้โดยเฉพาะเป็นแผ่นหนึ่งต่างหาก บางทีก็เขียนแทรกลงในแผนที่เดินเรือธรรมดา โดยเขียนไว้ที่มุมใดมุมหนึ่งหรือที่ขอบข้างใดข้างหนึ่งของแผนที่นั้นเอง

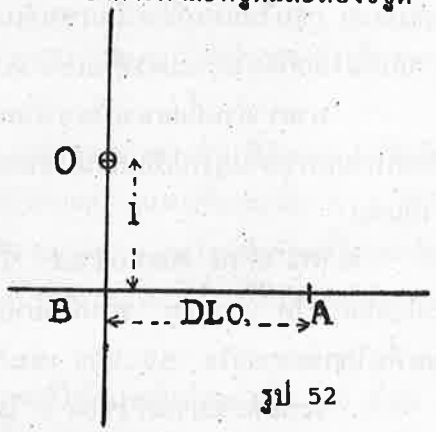
การหาละติจูดและลองจิจูดของตำบลที่ในแผนที่ขยาย ซึ่งมีทั้งขอบแลต.และขอบลอง.ก็หาได้ในทำนองเดียวกับแผนที่เดินเรือธรรมดาดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าไม่มีขอบแลต. และขอบลอง.ให้ไว้คงมีให้เฉพาะแต่มาตราส่วนแลต. และมาตราส่วนลอง.หรือมีแต่มาตราส่วนแลต.ให้ไว้อย่างเดียวเท่านั้นก็ให้ทำดังต่อไปนี้

โดยที่แผนที่ขยายต้องให้ แลต. และลอง.ของสถานีตรวจไว้ฉะนั้นให้เขียนเส้น - เมริเดียนผ่านสถานีตรวจ และเขียนเส้นขนานแลต.ผ่านตำบลที่ที่ต้องการนั้น แล้วกะระยะขอบเมริเดียนระหว่างเส้นขนานแลต. ทั้งสองนั้น (แลต.ป.) ไปเปรียบเทียบกับมาตราส่วนแลต. จะได้แลต.เปลี่ยนและกะระยะเมริเดียน (meridian distance) บนเส้นขนานแลต.(ลอง.ป.) ไปเปรียบเทียบกับมาตราส่วนลองจิจูดจะได้ลอง.เปลี่ยน แต่ถ้ามีมาตราส่วนแลต.แต่อย่างเดียว การหามาตราส่วนลองจิจูดนั้นให้ทำดังที่กล่าวไว้ โดยเฉพาะในมาตรส่วนลองจิจูดนั้น เมื่อได้แลต.เปลี่ยนและลอง.เปลี่ยนแล้วก็จะหาแลต.และลอง.ที่ต้องการได้ดังได้เรียนมาแล้วในตอนต้น

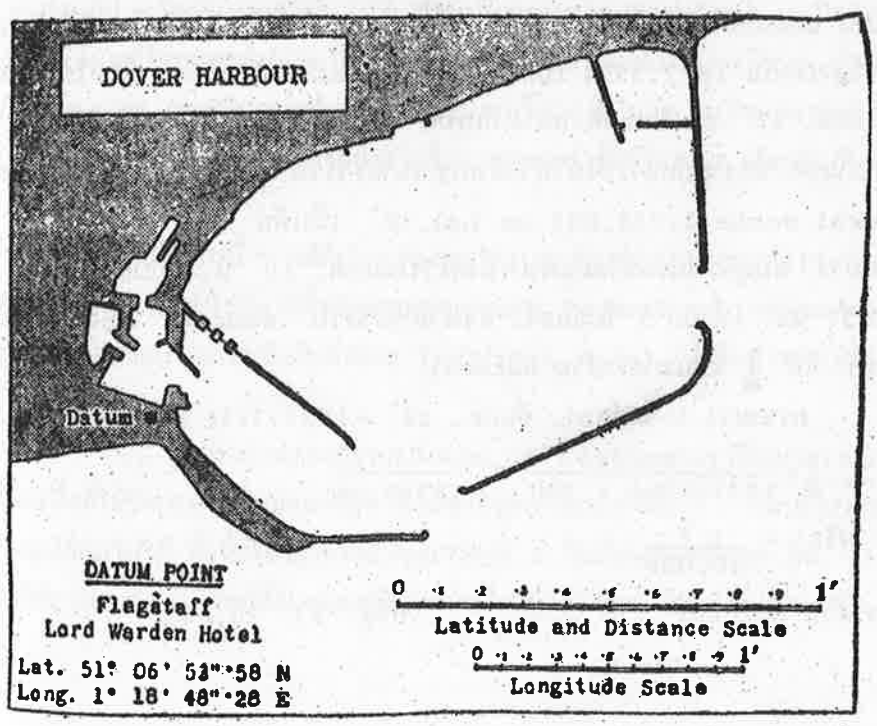
ตัวอย่าง O เป็นสถานีตรวจ A เป็นตำบลที่ที่ต้องการหาละติจูดและลองจิจูด

วิธีทำ เขียนเส้นเมริเดียนผ่าน O เขียนเส้นขนานแลต.ผ่าน A เส้นทั้งสองที่เขียนขึ้นนั้นจะตัดกันที่ B ฉะนั้นตามรูปจะเห็นได้ว่า

OB เป็นแลต.เปลี่ยนและ AB เป็นลอง.เปลี่ยน



รูป 52



รูป ๕๓

มาตราส่วน (Scale) แผนที่เดินเรือโดยมากมักต้องเขียนมาตราส่วนให้ไว้เสมอ เพื่อสะดวกในการวัดระยะต่าง ๆ โดยมากมีในแผนที่ขยายหรือแผนที่มาตราส่วนใหญ่ มาตราส่วนมีหลายชนิด

(1) มาตราส่วน **Natural(Natural scale)** เป็นอัตราส่วนของความยาวที่ใช้วัดบนแผนที่ขยายแผนที่เดินเรือ หรือบนกระดาษ ซึ่งได้ส่วนกันกับความยาวจริง ที่วัดบนพื้นโลก หรือถ้าจะให้เข้าใจง่ายเข้าก็คือว่าความยาวที่เขียนลงในแผ่นกระดาษนั้น ได้ย่อส่วนให้สั้นลงจากความยาวจริงบนพื้นโลก เพื่อให้เขียนความยาวนั้นลงในแผ่นกระดาษได้ หน่วยของความยาวนั้นจะต้องเป็นหน่วยเดียวกันเสมอ เช่นในแผนที่คิดเป็นเซนติเมตร บนพื้นโลกก็ต้องคิดเป็นเซนติเมตรด้วย หรือถ้าคิดเป็นเมตร บนพื้นโลกก็ต้องเป็นเมตรด้วยเช่นเดียวกัน

มาตราส่วนนี้แสดงเป็นหน่วยต่าง ๆ กัน เช่น อังกฤษและอเมริกาใช้เป็นนิ้ว ฟุต ฯลฯ ส่วนประเทศบนภาคพื้นยุโรปเป็นส่วนมากและประเทศไทยใช้เป็นมาตราเมตริก เช่นเซนติเมตร เมตร ฯลฯ เป็นต้น

มาตราส่วน Natural นี้ในแผนที่มักเขียนเป็นอัตราส่วนหรือเศษส่วนเช่น - 1: 50,000 หรือ $\frac{1}{50,000}$ ตามนี้หมายความว่าถ้าในแผนที่ยาว 1 เซนติเมตร หรือ 1 เมตร แล้วบนพื้นโลกจะยาวจริง 50,000 เซนติเมตรหรือ 50,000 เมตรตามลำดับ

ระยะความยาวจริงของ 1 ไมล์ลองจิจูดที่อิเควเตอร์ที่ใช้กันในเวลานี้ยาวเท่ากับ - 1855.39783 เมตร และเมื่อคิด 1 ไมล์ลองจิจูดที่แลด.กลาง 10° เช่นประเทศไทยแล้ว ความยาวของ 1 ไมล์ ลองจิจูดเท่ากับ 1827.3954 เมตร (ในการสร้างแผนที่เดินเรือของไทยใช้ความยาว - ของไมล์ลองจิจูดที่แลด. 10° อันเป็นแลด.กลางเป็นเกณฑ์) ฉะนั้นมาตราส่วน **Natural** ที่ให้ไว้โดยมาก เขามักบอกแลด.ของไมล์ลอง.ที่ใช้ให้ไว้ด้วยเช่นมาตราส่วน **Natural** ของแผนที่อเมริกันแผ่นหนึ่งมี **Natural scale 1:752,831 at Lal.30°** เป็นต้น

ตัวอย่าง สมมุติว่าแผนที่ไทยแผ่นหนึ่งสร้างในแลด. 10° น. เป็นแลด.กลาง เขียนด้วยความยาว 9.137 ซม. เท่ากับ 1 ไมล์ลอง. จงหามาตราส่วน **Natural** ของแผนที่แผ่นนั้น

วิธีทำ ให้ $\frac{1}{m}$ เป็นมาตราส่วน **Natural**

ความยาว 1 ไมล์ลอง. ที่แลด. 10° = 1827.3954 เมตร

$$\therefore \frac{1}{m} = \frac{9.137}{1827.3954 \times 100} = \frac{1}{19999.94}$$

หรือ $= \frac{1}{20,000}$

$\therefore$ มาตราส่วน **Natural** $= \frac{1}{20,000}$ หรือ 1: 20,000

ตัวอย่าง แผนที่แผ่นหนึ่งสร้างในแลต. 10° น. เป็นแลต.กลาง ใช้มาตราส่วน 1: 10,000 ต้องการหาระยะ 3 ไมล์ลองจิจูด

วิธีทำ ให้ X เป็นจำนวนไมล์ลอง.

$\frac{1}{m}$ เป็นมาตราส่วน Natutal

ความยาว 1 ไมล์ลอง.ที่แลต. 10° = 1827.3954 เมตร

$\therefore$ X ไมล์ลอง. = $1827.3954 \times \frac{1}{m} \times X'$ เมตร

3 ไมล์ลอง. = $1827.3954 \times \frac{1}{10,000} \times 3 \times 100$ ซม.

= 54.822 ซม.

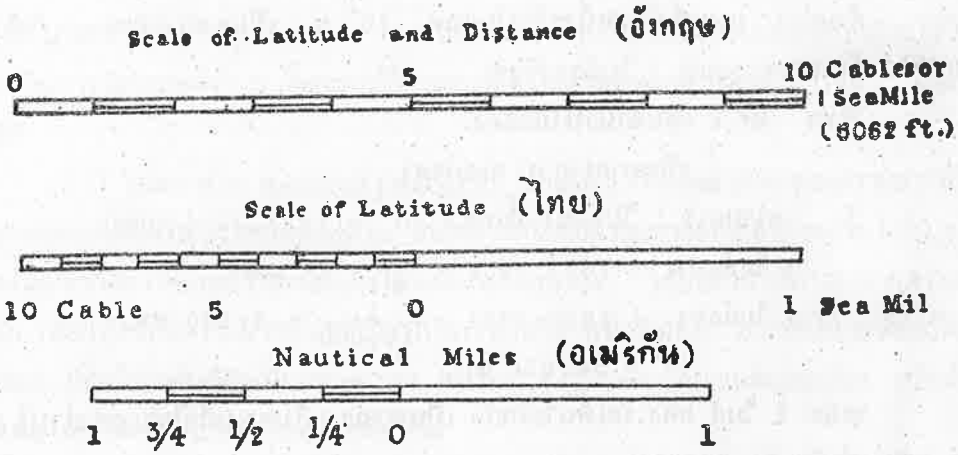
ระยะ 3 ไมล์ ลอง.บนพื้นโลกจริง เป็นความยาวในแผนที่ที่ใช้มาตราส่วน Natural 1: 10,000 เท่ากับ 54.822 ซม.

(2) มาตราส่วนละติจูด (Scale of Latitnde) มาตราส่วนนี้คิดเอา 1 ไมล์ละติจูดมาสร้างเป็นเกณฑ์วัดตามมาตราส่วน Natural ที่ใช้กำหนดสร้างแผนที่แผ่นนั้น ๆ ไม่กำหนดแน่นอนว่าจะต้องใช้กี่เซนต์กี่นิ้วต่อ 1 ไมล์แลต. ระยะความยาวของ 1 ไมล์ละติจูดนี้ไม่เท่ากันทุก - แห่งไปเนื่องด้วยความโค้งของผิวโลกดังกล่าวแล้ว โดยเหตุนี้มาตราส่วนละติจูดนี้จึงใช้วัดได้เฉพาะ ในแผนที่แผ่นนั้น ๆ เท่านั้น

การแบ่งส่วนย่อยของมาตราส่วนละติจูดนี้ ตามที่ใช้กันอยู่แบ่งออกเป็น 10 ส่วน ก็มี หรือ 4 ส่วนก็มี ชนิดที่แบ่งออกเป็น 10 ส่วนนั้นส่วนหนึ่ง ๆ เท่ากับ 1 เคเบิล (cable) เป็นมาตราอังกฤษเช่นแผนที่ไทยและอังกฤษเป็นต้น ส่วนของอเมริกันมักแบ่งออกเป็น 4 ส่วน มาตราส่วนนี้โดยมากบอก แลต.กลางในการสร้างกำกับไว้ด้วย หรือบางทีก็บอกเป็นจำนวนฟุตต่อ 1 ไมล์แลต. - กำกับไว้ ถ้าหากไม่ได้เขียนกำกับไว้อย่างใดก็หมายความว่า ใช้ในแลต.เดียวกันกับแลต.ในมาตราส่วน Natural นั้น

มาตราส่วนนี้ บางทีก็เรียกว่ามาตราส่วนละติจูด และระยะทาง (Scale of Latitude and Distance) เพราะใช้วัดได้ทั้งลิบดาของขอบแลต. (minute of latitude) และระยะทางเป็นไมล์หรือบางทีก็เขียนบอกไว้เป็นไมล์ทะเล (nautical mile) ใช้อย่างเดียวกันกับที่กล่าวข้างต้น - นั้น

(3) มาตราส่วนลองจิจูด (Scale of Longitude) เป็นมาตราส่วน หรือความยาวอีกชนิดหนึ่งที่ใช้วัดเฉพาะขอบลองจิจูด คือลองจิจูดเปลี่ยนเท่านั้น จะเอามาตราส่วนละติจูดมาวัดลองจิจูดเปลี่ยนไม่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าความยาวของ 1 ไมล์ลองจิจูดที่แลต.อื่น ๆนอกจากที่อิเควเตอร์แล้วหาได้ยาวเท่ากับ 1 ไมล์ที่อิเควเตอร์ไม่เพราะว่าเมริเดียนของโลกสอบเข้าหากัน ดังนั้นระยะ



มาตราส่วนละติจูดต่างๆ

รูป ๕๔

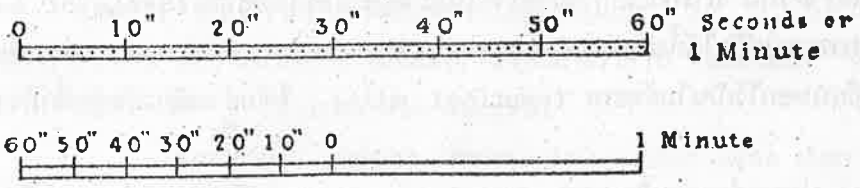
เมริเดียนหรือขอบลองจิจูดที่แลตอื่น ๆ นอกจากอิเควเตอร์แล้วจึงสั้นกว่าที่อิเควเตอร์ละติจูดยิ่งสูงขึ้น - ขอบลองจิจูดก็ยิ่งสั้นเข้า ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าความยาวของขอบลองจิจูดเปลี่ยนตามละติจูด

ในการสร้างแผนที่เดินเรือนั้นใช้ละติจูดกลางเป็นเกณฑ์คำนวณ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนความยาวของลองจิจูดได้ในตัว

แบบสำเร็จในการคำนวณหาความยาว ของขอบลองจิจูดที่แลต.ใดแลต.หนึ่งคือ

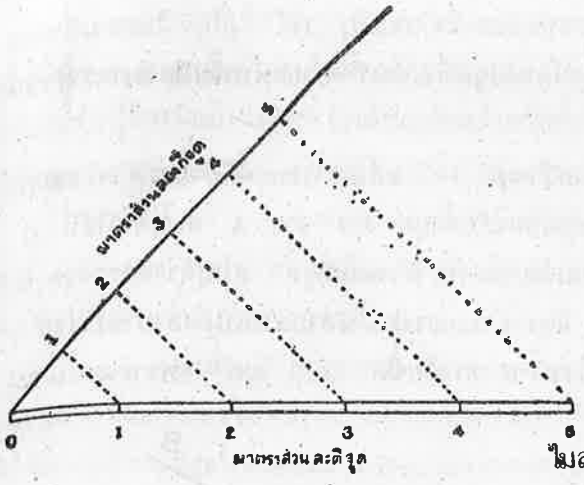
p = DLo cos L หรือระยะขยาย = ลอง.เปลี่ยน x cos แลต. ในหน้า 17 ระยะขยายนี้ก็คือความยาวของขอบลองจิจูดที่ละติจูดต่าง ๆ นอกจากแลต. 0° (อิเควเตอร์) และลองจิจูดเปลี่ยนก็คือความยาวของขอบอิเควเตอร์

มาตราส่วนลองจิจูด โดยมากมักแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ๆ หนึ่งเท่ากับ 10"



มาตราส่วนลองจิจูดต่างๆ รูป ๕๕

ถ้าหากว่า ในแผนที่ขยายแผ่นใดไม่ได้ให้มาตราส่วนลองจิจูดไว้ มีให้แต่มาตราส่วนละติจูดอย่างเดียวเท่านั้น ผู้ใช้ก็หามาตราส่วนลองจิจูดได้เหมือนกัน โดยใช้วิธีสร้างแบบ - Cosine-secant ธรรมดา



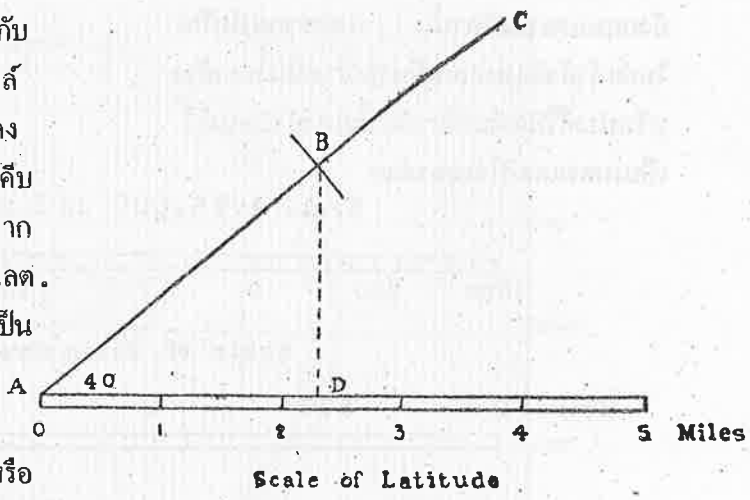
รูป ๕๖

ในรูป 56 นั้นเป็นมาตราส่วนละติจูดที่ให้ไว้ในแผนที่ขยายแผ่นหนึ่งและต้องการหามาตราส่วนลองจิจูดของตำบลที่ในแลต. 45° น. ในแผนที่ขยายแผ่นนั้น

วิธีทำ ในรูป 56 จาก 0 ของมาตราส่วนละติจูด เขียนเส้นตรงทำมุมกับมาตราส่วน-แลต. ให้เท่ากับละติจูดของตำบลที่ (ในรูปใช้มุม 45°) จากขีดแบ่งทุกขีดของมาตราส่วนละติจูดให้เขียนเส้นตรงไปตั้งฉากกับเส้นตั้งมุม จุดที่เส้นตั้งฉากเหล่านี้ตัดกับเส้นตั้งมุมเป็นขีดแบ่งของ-มาตราส่วนลองจิจูดหรือจะทำอีกอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ก็ได้ ซึ่งนับว่าสะดวกดี

ตัวอย่าง แผนที่ขยายแผ่นหนึ่งมีแต่มาตราส่วนแลต. เท่านั้น ต้องการหาระยะ 3 ไมล์ลองจิจูด (3') ของตำบลที่หนึ่งในแลต 40° ของแผนที่แผ่นนั้น

วิธีทำ ตามรูป 57 จาก 0 ของมาตราส่วนแลต. ลากเส้น AC ทำมุม 40° กับมาตราส่วนแลต. เอาปากคีบกะระยะ 3 ไมล์ของมาตราส่วนแลต. แล้วเอาระยะนี้ไปกะลงบนเส้นตั้งมุม AC จาก A ปลายปากคีบอีกข้างหนึ่งจะตัดกับเส้น AC ที่จุด B จากจุด B ทิ้งเส้นตั้งฉากลงไปหามาตราส่วนแลต. เส้นฉากจะตัดที่จุด D ระยะ AD นี้ เป็นความยาว 3 ไมล์ ลองจิจูดที่ต้องการ



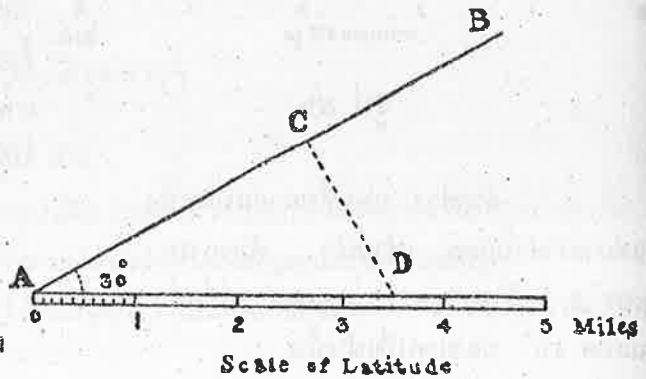
รูป ๕๗

โดยการพิสูจน์ ตามรูป AD=AB cos 40°, AD เป็นระยะทางหรือระยะขยาย (ในเมื่ออยู่ในละติจูดเดียวกัน), AB เป็นลองจิจูดเปลี่ยน, BAD= 40° (แลต.) บทพิสูจน์นี้คือ ระยะขยาย=ลอง.ป.× cos แลต.

หรือถ้าต้องการหาความยาวของระยะอันหนึ่งว่าจะยาวกี่ไมล์ลองจิจูดในเมื่อมีแต่มาตราส่วนละติจูดเท่านั้น และไม่ต้องการทำอย่างในรูป 57 ด้วยแล้วก็ให้ทำดังจะได้กล่าวในตัวอย่างต่อไปนี้

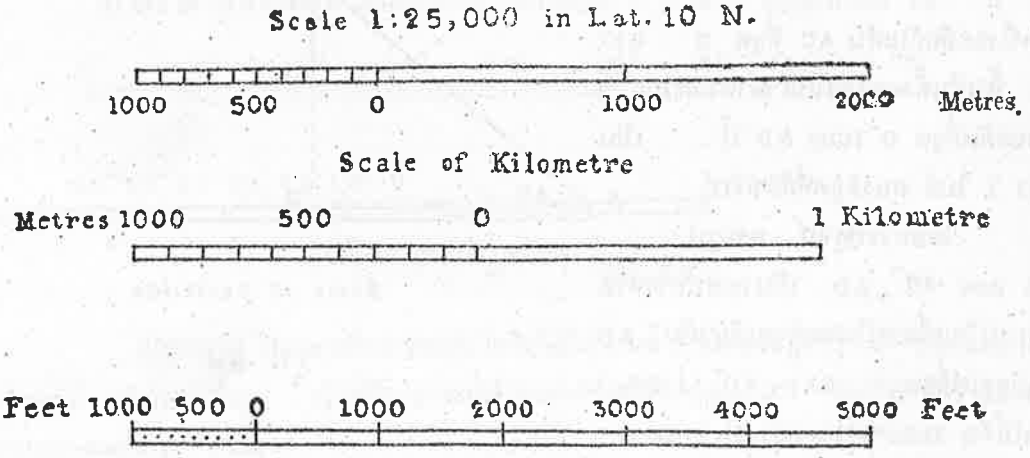
ตัวอย่าง ในรูป 58 ต้องการทราบระยะอันหนึ่งในแลต. 30° ในแผนที่ขยายแผ่นหนึ่งซึ่งมีความยาวเท่ากับ AC ว่า จะยาวกี่ไมล์ลองจิจูดซึ่งแผนที่ขยายแผ่นนั้นมีแต่มาตราส่วน - แลต.อย่างเดียวเท่านั้น

วิธีทำ ที่ 0 ของมาตราส่วนละติจูด สร้างมุม 30° แล้วเอาระยะที่ต้องการหาความยาวไมล์ลองจิจูด เช่นยาวเท่ากับ AC ตามโจทย์ไปกะลงบนเส้นตั้งมุม AB จาก A สมมุติว่าได้ที่ C แล้วให้เขียนเส้นฉากกับเส้นตั้งมุมนี้จากจุด C ไปจนตัดกับมาตราส่วนละติจูด สมมุติว่าตัดตรงจุด D ให้ดูว่า D ตรงกับขีดของมาตราส่วนแลต.เท่าใด อัตราอ่านของขีดนั้นตามการแบ่งของมาตราส่วน - ละติจูดเป็นจำนวนไมล์ลองจิจูดที่ต้องการ ในตัวอย่างนี้ D ตรงกับขีด 3.5 ไมล์ เพราะฉะนั้น AC ยาว 3.5 ไมล์ลองจิจูด



รูป ๕๘

นอกจากมาตราส่วนที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ ยังมีมาตราส่วนระยะทางที่แบ่งออกเป็นเมตร กิโลเมตร ฟุต หลาอีกเป็นต้น - มาตราส่วนชนิดนี้ใช้สำหรับวัดระยะทาง - อย่างเดียวกันกับมาตราส่วนระยะทางที่แบ่ง - ออกเป็นไมล์ ในแผนที่ของประเทศที่ใช้ - มาตราเมตริกนั้นเขาแบ่งมาตราส่วนระยะทางออกเป็นเมตรและกิโลเมตร ส่วนแผนที่อังกฤษและอเมริกานั้น นอกจากแบ่งเป็นไมล์แล้วยังมีแบ่งออกเป็นฟุตบ้างเป็นหลาบ้าง หรือบางทีในแผ่นเดียวกันนั้นเองยังมีแบ่งไว้เป็นเมตรและกิโลเมตรด้วย



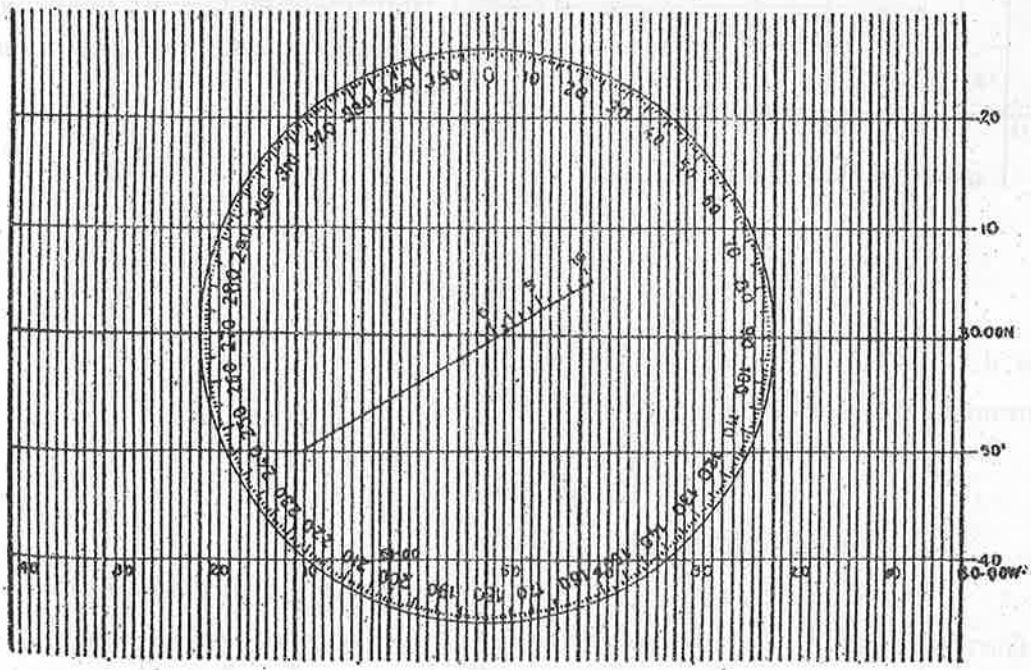
มาตราส่วนระยะทางต่างๆ

รูป ๕๙

แผ่นจดที่เรือ (Small area plotting sheets or plotting sheets) สำหรับพื้นที่เล็ก ๆ อาจสมมุติให้เมริเดียนเป็นวงกลมจริงได้ โดยมิทำให้เกิดความผิดมากนัก และโดยการสมมุติเช่นนี้จึงสร้างแผ่นจดที่เรือเส้นเกลียวสำหรับพื้นที่เล็ก ๆ ขึ้นได้ การสร้างนี้เพื่อความสะดวกจะใช้กระดาษชนิดใด ๆ ก็ได้ซึ่งได้ตีบรรทัดไว้เป็นช่องห่างเท่า ๆ กันเรียบร้อย

ตัวอย่าง - จงสร้างแผ่นจดที่เรือสำหรับละติจูดกลาง 30° 00' น. และเขียนตัวเลข 60° 00' ตก. กำกับไว้ที่เมริเดียนขวามือ ในรูป 60 เส้นแนวยืนแต่ละเส้นแทน 1' ของลองจิจูด จงเขียนตัวเลขกำกับที่ลองจิจูดทุก ๆ 10' ดังในรูป

ก่อนที่จะใช้กระดาษนี้ เป็นแผ่นจดที่เรือได้จำต้องเตรียมการสำหรับละติจูดที่พึงประสงค์ เพราะว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของละติจูดที่พึงประสงค์ เพราะว่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของละติจูดหนึ่งลิบดา และความยาวของลองจิจูดหนึ่งลิบดาแปรตามละติจูดหนึ่งไมล์หรือ 1' ละติจูดเท่ากับความยาวของ 1' ลองจิจูด คูณด้วย secant ของละติจูด เพราะฉะนั้นถ้าเขียนเส้นตรงทำมุมกับเส้นแนวนอนให้เท่ากับจำนวนองศาของละติจูดกลางของแผ่นจดที่เรือนั้น แล้วความยาวของ 1 ไมล์ จะเท่ากับความยาวของเส้นตั้งมุมนี้ซึ่งถูกตัดด้วยเส้นแนวยืนประชิดกันสองเส้น (คือเส้นแนวยืนแต่ละคู่ได้แบ่งเส้นตั้งมุมออกเป็นช่องละ 1 ไมล์) เช่นนี้แล้วให้เขียนเส้นตรงทำมุม 30° กับเส้นแนวนอนให้ผ่านศูนย์กลางของวงเข็มทิศ แล้วแบ่งเส้นตั้งมุมออกเป็นส่วนสั้น ๆ เขียนตัวเลขกำกับดังในรูป ขีดที่แบ่งนี้เป็นมาตราส่วนไมล์ ต่อไปให้สร้างและเขียนตัวเลขกำกับวงขนาน - ละติจูดทุก 10'

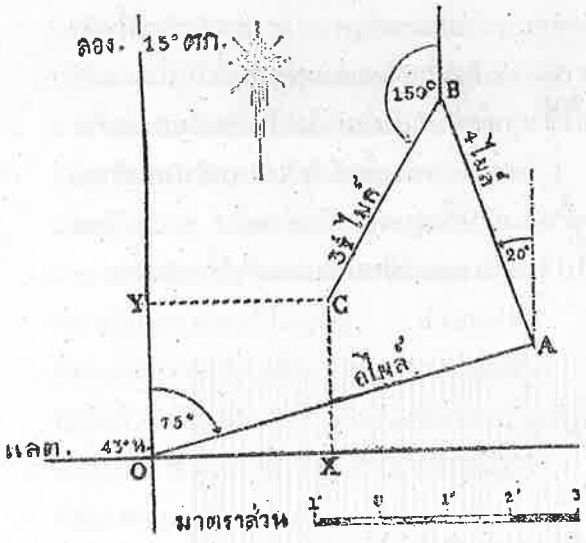


รูป ๖๐

ถ้าหากว่าไม่มีแผ่นจดที่เรือดังกล่าวแล้วให้ขีดระยะทางและเข็มลงบนแผ่นกระดาษที่จัดขึ้นเอง ในการนี้ให้เลือกกำหนดเมริเดียนและวงขนานละติจูดที่เหมาะเป็นแกนและสมมุติให้มาตรา ส่วนละติจูดและระยะทางเท่ากันทุกแห่งในแผ่นจดที่เรือ ไม่มีมาตราส่วนลองจิจูดแยกให้ไว้ ลองจิจูดเปลี่ยนหาได้จากสูตร

ลอง.ป. = ระยะขยาย × sec แลต.กลาง

ในรูป 61 แสดงทางเรือเท่าที่ปรากฏบนแผ่นจดที่เรือในเมื่อเรือแล่นได้ระยะทาง 6 ไมล์ เข็ม 075° ระยะทางและเข็มใช้แทนด้วยเส้น OA ระยะทาง 4 ไมล์เข็ม 340° ใช่แทนด้วย AB และระยะทาง $3\frac{1}{2}$ ไมล์เข็ม 210° ใช้แทนด้วย BC ฉะนั้นจึงลงตำบลที่ของ C ให้สัมพันธ์กับ O ได้โดยใช้แลต.เปลี่ยน และระยะขยายของมัน



รูป ๖๑

ถ้าตำบลที่ของ O เป็นแลต. 43° น. ลอง. 15° ตก. แล้วละติจูดของ C จะเป็น

แลต. O	43° 00'.0	น.
แลต. ป.	2'.3	น.
แลต. C	43° 02'.0	น.

โดยการคำนวณ (2'.7 x sec 43°) หรือจากมาตรา (สำหรับระยะขยาย 2'.7 และละติจูด 43') จะได้ลอง.เปลี่ยนเป็น 3'.7 อ เพราะฉะนั้น ลองจิจูดของ C จะได้

ลอง. O	15°.00'.0	ตก.
ลอง. ป.	3'.7	อ.
ลอง. C	14° 56'.3	ตก.

แลต.ป. (CX) = 2'.3 น.
ระยะขยาย (CY) = 2'.7 อ.

แผนที่โนโมนิก

แผนที่โนโมนิก มีลักษณะย่อ ๆ ดังต่อไปนี้

เป็นแผนที่ที่เขียนลงบนพื้นราบให้แผนที่สัมผัสกับโลกตรงจุดหนึ่งตามปรกติให้สัมผัสตรงจุดศูนย์กลางของแผนที่ ซึ่งเรียกว่าจุดสัมผัสให้บรรดาเส้นต่าง ๆ ลากจากจุดศูนย์กลางโลก ให้ไปผ่านจุดต่าง ๆ บนผิวโลกแล้วยืดต่อไปจนกระทั่งไปถึงพื้นราบของแผนที่ ฉะนั้นจะได้

(1) บรรดาวงใหญ่เขียนเป็นเส้นตรงบนแผนที่

(2) เมริเดียนเขียนเป็นเส้นตรงไปบรรจบรวมกันที่ขั้วโลก

(3) วงขนานละติจูดเขียนเป็นเส้นโค้ง

(4) จุดหนึ่งจุดใดในแผนที่ ซึ่งอยู่ห่างไกลออกไปจากจุดสัมผัสมากเท่าใด ก็ยิ่งมีการบิดตัวมากขึ้นเท่านั้น

หมายเหตุ ตามปรกติเส้นขอบแผนที่นั้นเขียนให้ขนาน และเป็นมุมฉากกับเมริเดียนอันกลาง แทนที่จะให้ขนานกับเมริเดียนที่ขอบแผนที่ การขยายวิธีนี้ใช้สำหรับ

(ก) แผนที่เดินเรือวงใหญ่

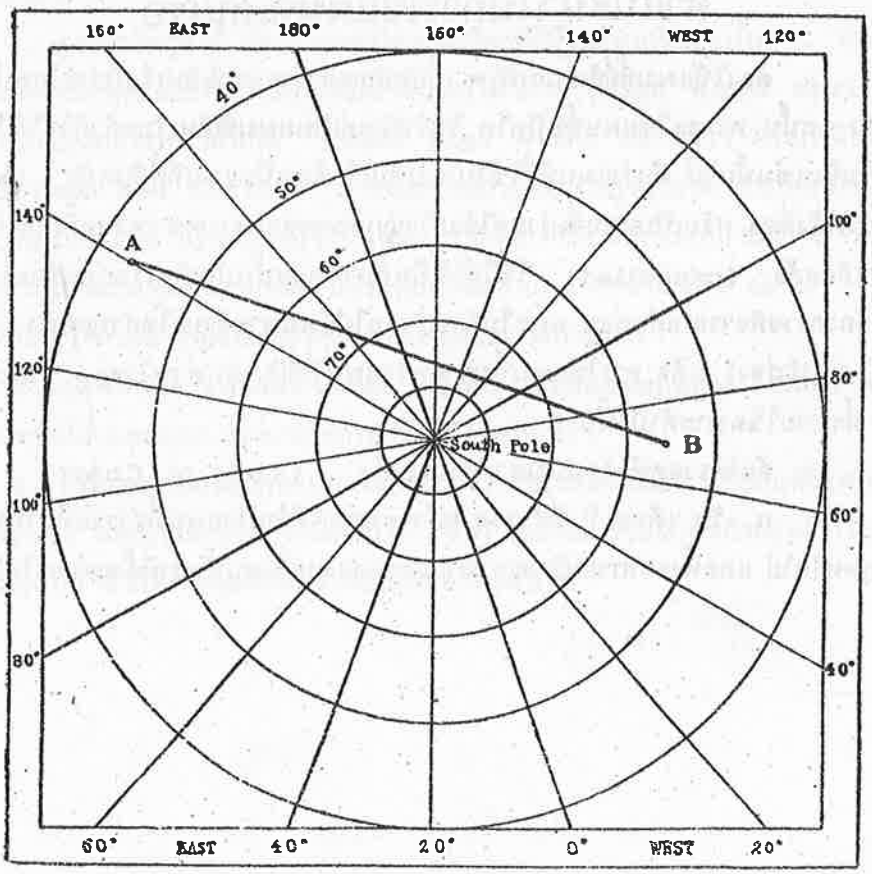
(ข) แผนที่ขั้วโลก

(ค) แผนที่ที่มีมาตราส่วน Natural ใหญ่กว่า 1/50,000 คือว่ามาตราส่วนที่ให้นั้นใหญ่กว่า $1\frac{1}{2}$ นิ้วต่อ 1 ไมล์

แผนที่ที่ขยายโดยวิธีนี้ โดยมากเป็นแผนที่ที่ขยายในแถบใกล้ขั้วโลก เพราะที่ใกล้ขั้วโลกนั้นระยะละติจูดทวีขึ้นเร็วมาก ถ้าจะใช้ขยายวิธีอื่นจะได้ผลไม่แน่นอน

รูป 62 เป็นแผนที่โนโมนิกที่ขั้วโลกบางทีเรียกว่าแผนที่ขั้วโลก (Polar chart or Polar gnomonic chart) ให้จุดศูนย์กลางของแผนที่สัมผัสกับผิวโลกตรงขั้วโลกใต้ เมื่อมองตรง ๆ ลงไปที่ขั้วโลกแล้วจะเห็นปรากฏว่าเมริเดียนเป็นเส้นตรงหรือเป็นรัศมีของวงกลม ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ขั้วโลก และวงขนานละติจูดเป็นวงกลมซ้อนกัน มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน (Concentric circles) ที่ขั้วโลก และวงใหญ่เป็นเส้นตรง

เส้นตรง AB ที่ปรากฏนั้นเป็นเส้นทางวงใหญ่



รูป ๖๒ แผนที่ขั้วโลก

การใช้แผนที่เดินเรือ

ความจำเป็นที่จะต้องใช้แผนที่เดินเรือ นักเดินเรือทั้งหลาย แม้จะมีความรู้ความชำนาญในการหาที่เรือ หรือนำเรือไปในที่ต่าง ๆ ได้ก็จริง แต่เมื่อปราศจากแผนที่แล้ว ก็เปรียบเหมือนกับคนเดินทางในที่มืด ซึ่งมองไม่เห็นแนวทางอย่างใด จริงอยู่ในเขตที่เคยเดินนักเดินเรือย่อมอาศัยความชำนิชำนาญนำเรือไปได้ แต่ก็เป็นไปในทำนองที่คนตาบอดเดินคลำทางตามที่เคยชิน แต่ถ้าหากมีสิ่งหนึ่งสิ่งใดมากีดขวางทางที่เคยเดินเสีย เขาอาจจะไปไม่ถูก และอาจสะดุดสิ่งกีดขวางล้มลงได้ ทั้งนี้ก็เพราะเขาไม่รู้ล่วงหน้าโดยที่สายตาไม่สามารถจะมองเห็นสิ่งใด ๆ ได้

ในลักษณะการเช่นเดียวกัน การเดินเรือทั่ว ๆ ไปเป็นการจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้แผนที่เดินเรือ เพราะแผนที่เปรียบได้กับแสงสว่างช่วยให้เรามองเห็นทางเดิน ให้เห็นให้รู้ว่าทางที่เดินไปนั้นมีสิ่งกีดขวาง มีอันตราย หรือมีสิ่งเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ซึ่งจะนำเรือผ่านไปไม่ได้

นอกจากนั้นแล้วถ้าต้องนำเรือไปยังที่ที่ไม่เคยไปแล้ว จะรู้ไม่ได้ว่าจะปลอดภัยหรือไม่ถ้าไม่มีแผนที่ หรือจะนำเรือไปให้ถึงที่หมายได้ถูกต้อง และเสียเวลาน้อยที่สุดหรือไม่ ฉะนั้น แผนที่เดินเรือจึงมีคุณประโยชน์เป็นอันมาก โดยเหตุนี้การเดินเรือจะขาดแผนที่ไม่ได้เป็นอันขาด

คำแนะนำในการใช้แผนที่เดินเรือ

1. ต้องใช้แผนที่ที่ทันสมัยที่สุด เมื่อทราบแล้วว่าแผนที่เดินเรือมีประโยชน์อเนกประการดังกล่าวแล้ว ฉะนั้น ควรจะใช้แผนที่ชนิดใด ใช่ว่าสักแต่เป็นแผนที่เดินเรือแล้วก็ใช้ได้เสมอไป - ความจริงหาเป็นเช่นนั้นไม่ คือว่าแผนที่ที่ใช้ในการเดินเรือต้องเป็นแผนที่ที่ทันสมัย หรือได้แก้ไขพิมพ์ขึ้นครั้งหลังที่สุด หรือเป็นแผนที่เก่าแต่ได้แก้ไขถูกต้องตามประกาศชาวเรือครั้งหลังที่สุดแล้วบรรดาแผนที่ที่ยกเลิกแล้ว (cancelled) ใช้ไม่ได้เป็นอันขาดฉะนั้นนักเดินเรือก่อนที่จะใช้แผนที่แผ่นใด ๆ จะต้องตรวจพิจารณาเสียก่อน และในการนำเรือไปยังเฉพาะตำบลใดตำบลหนึ่ง หรือเข้าช่องแคบ (การนำร่อง) แล้ว ควรใช้แผนที่ขยายหรือแผนที่ที่มีมาตราส่วนใหญ่ (Large scale chart) ที่ขยายไว้เฉพาะตำบลนั้น ๆ

2. ต้องตรวจดูข้อความในสารบัญแผนที่ (Title of Chart) คือ

ก. วัน เดือน ปี ที่สำรวจ แล้วจะทราบได้ว่าเป็นแผนที่สำรวจขึ้นใหม่หรือเก่า - ครั้งหลังที่สุดหรือไม่ และทั้งจะทราบบริเวณอาณาเขตของแผนที่แผ่นนั้นว่ามีตั้งแต่เขตใดถึงเขตใด

ข. การหยั่งน้ำ (Sounding) ตรวจดูว่าการหยั่งน้ำในแผนที่แผ่นนั้นใช้เป็นเมตร วา หรือ ฟุต และหักลงหาระดับอะไร คือ หักลงหาระดับน้ำลงหน้าน้ำเกิดธรรมดา {Reduced to low water ordinary spring(L.W.O.S.)}หรือน้ำลดลงต่ำที่สุด(Lowest low water) หรือระดับทะเลปานกลาง {Mean sea level(M.S.L.)} ประเทศไทยและประเทศที่ใช้มาตราเมตริก และประเทศบนภาคพื้นยุโรป ส่วนมากใช้หน่วยความลึกของน้ำเป็นเมตร แต่อังกฤษและอเมริกาใช้เป็นวา (fathom) และฟุต แผนที่อังกฤษในสมัยนี้ ถ้าความลึกของน้ำต่ำกว่า 11 วาแล้วใช้บอกว่าเป็นฟุต

การหยั่งน้ำในแผนที่ไทย ใช้หักลงหาระดับน้ำลงหน้าน้ำเกิดธรรมดา ส่วนของอังกฤษนั้นหักลงหาระดับน้ำลงปานกลางหน้าน้ำเกิด (Mean low water spring) ก็มี ระดับน้ำลงหน้าน้ำเกิดก็มี ข้อสำคัญต้องพิจารณาดูให้แน่ว่า การหยั่งน้ำในแผนที่แผ่นนั้นหักลงหาระดับอะไร - เพราะว่าอาจหักลงหาระดับอื่นผิดจากที่ได้กล่าวไว้แล้วก็เป็นได้หรือในเขตหนึ่ง ๆ อาจหักลงหาในระดับผิดกันก็ได้

ค. อัตราหาเวลาน้ำขึ้นประจำอ่าว (H.W.F.&C.) และ Spring rise อัตราหาเวลาน้ำขึ้นประจำอ่าวนั้นเป็นอัตราสำหรับหาเวลาน้ำขึ้นในวันต่าง ๆ ที่ต้องการ ส่วน Apring rise นั้นบอกให้รู้ความลึกของน้ำขึ้นลงที่ไหนอย่างใดเท่าใด อันจะเป็นหลักในการนำเรือเข้าท่าต่าง ๆ

ง. สูงของวัตถุที่ให้ ต้องตรวจดูว่าสูงของวัตถุที่ให้ในแผนที่แผ่นนั้น ๆ คิดเป็นหน่วยอะไร คือเป็นเมตรหรือฟุต และคิดเหนือระดับน้ำขึ้นหน้าน้ำเกิด (High water spring) หรือเหนือระดับน้ำขึ้นปานกลางหน้าน้ำเกิด (Mean high water spring) หรือเหนือระดับทะเลปานกลาง (Mean sea Level) หน่วยของการวัดความสูงนี้บรรดาประเทศที่ใช้มาตรา - เมตริกแล้วใช้เป็นเมตร เช่น แผนที่ไทยใช้เป็นเมตร และคิดเหนือระดับทะเลปานกลาง ส่วนของอังกฤษและอเมริกันคิดเป็นฟุตอังกฤษคิดเหนือระดับน้ำขึ้นปานกลางหน้าน้ำเกิด ฉะนั้น จึงต้องพิจารณาดูให้ดี่ถ้วน เพราะอาจคิดเป็นอย่างอื่นนอกจากที่กล่าวแล้วได้อีก

จ. สถานีตรวจ (Observation Spot) ถ้าเป็นแผนที่ขยาย (Plan) ต้องตรวจดูว่ามีสถานีตรวจหรือไม่ และแลต.ลอง.ของตำบลที่มีให้ไว้หรือเปล่า

ฉ. เครื่องหมายและอักษรย่อ ได้อธิบายไว้หรือใช้ผิดแปลกจากที่เคยเห็นเคยใช้ หรือผิดจากสากลอย่างไร โดยมากอักษรย่อของคำนาม (ชื่อ) มักเขียนด้วยอักษรอังกฤษตัวใหญ่ แต่มีคำที่ยกเว้นเหมือนกัน ถ้าเป็นคำคุณศัพท์ใช้เขียนด้วยอักษรตัวเล็ก

3. หมายเลขแผนที่ บรรดาแผนที่เดินเรือมีหมายเลขเขียนกำกับไว้ทุกแผ่น สำหรับแผนที่ไทยมีเขียนไว้ข้างหน้าที่มุมล่างข้างขวาและมุมบนข้างซ้าย ส่วนแผนที่อังกฤษมีเขียนไว้ที่มุมล่างข้างขวา และทั้งมีที่กระดาษป้ายข้างหลังของแผนที่ด้วย

4. วัน เดือน ปี ที่โฆษณา (Date of Publication) มีบอกไว้ที่นอกขอบล่างของแผนที่ตรงกึ่งกลาง

5. เดือน ปี ของบรรณาธิกรครั้งใหม่ (Date of New Edition) มีบอกไว้ทางขวาของเดือนปีที่โฆษณา

6. ขนาดของแผนที่ บอกไว้เป็นเซนติเมตร เป็นความยาวในระหว่างเส้นที่แบ่งขีดเส้นใน (ขอบใน) อยู่ภายในวงเล็บข้างนอกขอบแผนที่ทางมุมล่างข้างขวา ของอังกฤษบอกเป็นนิ้ว ขนาดของแผนที่นี้มีประโยชน์สำหรับตรวจสอบแผนที่แผ่นนั้น กับแม่พิมพ์ต้นฉบับ ในเมื่อสงสัยว่าแผนที่อาจมีการบิดตัว (distortion) เกิดขึ้น

7. การแก้เล็กน้อย (Small Corrections) เป็นการสำคัญยิ่งที่จะต้องตรวจการแก้เล็กน้อย ที่เขียนไว้ที่มุมล่างซ้ายของแผนที่ว่า "Small corrections" ดูปีที่แก้ สิ่งที่เปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ครั้งหลังที่สุดตามประกาศชาวเรือ ซึ่งบางทีเขาจะไม่ตีตราบอก "corrected" ไว้ให้ก็ได้

8. ลักษณะพื้นท้องทะเล เป็นการสำคัญที่สุดก่อนที่จะขีดเข็มลงในแผนที่ จักต้องตรวจดูพื้นท้องทะเลในแนวทางที่เรือจะเดินไปว่าท้องทะเลเป็นหิน ทราย โขด ฯลฯ และมีน้ำลึกพอกับเรือที่จะไปโดยปราศจากอันตรายหรือไม่ อย่าขีดเข็มผ่านเข้าไปในที่อันตรายเป็นอันขาด

9. วาริเอชั่น ให้พึงเข้าใจว่าวาริเอชั่นของเข็มทิศที่ให้ไว้ย่อมจะเปลี่ยนลดลงหรือทวีขึ้นเสมอ ฉะนั้น เมื่อจะแก้เข็มใด ๆ จะต้องตรวจดูวาริเอชั่นว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร และให้ไว้ตั้งแต่ปีใด

10. เส้นแนวน้ำลึก (Fathom lines) จงระวังอย่าใช้แผนที่ที่ไม่มีเส้นแนวน้ำลึก-ต้องพิจารณาคำเตือนซึ่งเกี่ยวกับที่นั้น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากความบกพร่องของการสำรวจก็ได้

ในแผนที่อังกฤษส่วนมากนอกจากแผนที่ขยายของท่าเรือซึ่งได้สำรวจไว้อย่างละเอียดแล้ว ถือว่าเส้นแนวน้ำ 11 เมตร (6 วา) เป็นแนวอันตรายซึ่งมิบังควรที่จะนำเรือเข้าไปใกล้ชายฝั่งภายในแนวน้ำนั้น ในเมื่อไม่จำเป็น

แต่ถ้าชายฝั่งเป็นหินแล้ว ถือว่าเส้นแนวน้ำ 18 เมตร (10 วา) เป็นแนวอันตราย สำหรับเรือที่กินน้ำลึกดังกล่าวแล้วข้างต้น

ฉะนั้น แผนที่ซึ่งได้สำรวจขอบฝั่งไว้อย่างละเอียดแล้ว ถ้าจะเขียนแนวอันตรายไว้ก็นับว่ามีประโยชน์มาก การเขียนนั้นควรใช้ดินสอสีลากแนวเส้นลงตามตัวเลขน้ำที่เท่ากัน ซึ่งต้องกะให้มากกว่าการกินน้ำลึกของเรือพอเหมาะพอควร

แผนที่ซึ่งไม่มีเส้นแนวน้ำลึกเขียนไว้ต้องระมัดระวังให้มาก เพราะหมายความว่าการหยั่งน้ำไม่บริบูรณ์ และความลึกของพื้นท้องทะเลก็ต่างกันมาก จนไม่สามารถจะเขียนเส้นแนวน้ำลึกให้ละเอียดได้

เมื่อเห็นตัวเลขน้ำใดอยู่โดดเดี่ยว มีความลึกน้อยกว่าตัวเลขน้ำที่อยู่รอบ ๆ แล้ว เช่นว่ามีเป็นจุดไข่ปลาเขียนไว้โดยรอบตัวเลขน้ำนั้นแล้ว ไม่ควรเข้าไปใกล้เป็นอันขาด เพราะว่าอาจไม่ได้สำรวจจุดนั้นให้ละเอียด หรือมิฉะนั้นจุดนั้นก็มีน้ำตื้นมาก

11. ควรใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่ ตามธรรมดาแผนที่แผ่นหนึ่งย่อมมีฝั่งยืดยาว แต่ถ้าตรงไหนยังมิได้มีส่วนขยายเพียงพอเขาย่อมจะตัดตอนเฉพาะตอนนั้นออกขยายให้โตขึ้น พิมพ์เป็นพิเศษเป็นแผนที่มาตราส่วนใหญ่ไว้ต่างหาก หรือพิมพ์แทรกลงในแผ่นเดียวกันเพื่อสะดวกในการใช้ ถ้าเกี่ยวกับการที่จะต้องนำเรือเข้าท่าอ่าว ช่องแคบด้วยแล้ว ยิ่งเป็นการจำเป็นยิ่งที่จะต้องใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่หรือแผนที่ขยายเสมอ เพราะว่าการที่ใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่มีประโยชน์คือ

(ก) ความผิดต่าง ๆ ที่มีนั้นลดเหลือน้อย

(ข) ถ้าแผนที่มีการบิดตัว ความผิดเหล่านี้จะมีผลเล็กน้อยที่สุด

(ค) มีรายละเอียดต่าง ๆ ปรากฏมาก

12. ข้อที่ควรระวังในการใช้แผนที่มาตราส่วนเล็ก ในการเข้าใกล้ฝั่งหรือหาดที่เป็นอันตราย จะต้องใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่เสมอ ความผิดเล็กน้อยที่เกิดขึ้นจากการขีดตำบลที่นั้นในแผนที่มาตราส่วนใหญ่เป็นเพียงแต่ผิดจำนวนเมตรเท่านั้น ส่วนในแผนที่มาตราส่วนเล็กแล้วจำนวนความผิดอันเดียวกันนั้น กลับผิดนับเป็นเศษส่วนใหญ่ของไมล์

โดยเหตุผลอันเดียวกันสำหรับแผนที่มาตราส่วนเล็กควรใช้แบริงของวัตถุที่อยู่ใกล้ดีกว่าวัตถุที่อยู่ไกล ถึงแม้ว่าวัตถุที่อยู่ไกลจะเห็นเด่นชัดกว่าก็ตาม เพราะว่าความผิดเล็กน้อยที่เกิดจากการแบริงหรือเกิดจากการขีดตำบลที่ลงในแผนที่ ย่อมยิ่งมีผิดมากถ้าลงตำบลที่ผิดในเมื่อต้องขีดเส้นยาว

แผนที่มาตราส่วนเล็กใช่ว่าจะใช้ไม่ได้เสียทีเดียว เช่นแผนที่ **General chart** เป็นต้น แผนที่ชนิดนี้ก็ใช้ได้เหมือนกัน ในเมื่อเรือเดินห่างฝั่งมาก ๆ หรือเดินทางในระยะไกล ๆ ซึ่งจะหาแผนที่ขยายไม่ได้ แต่ถ้าจะนำเรือเข้าใกล้ฝั่ง เกาะหรืออ่าว ฯลฯ แล้วต้องระวังให้มาก ถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้เลย

13. การลบเลือนของแผนที่เครื่องหมายต่าง ๆ ในแผนที่อาจจะลบเลือนเห็นไม่ชัดเจนขาดตกบกพร่องได้ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการพิมพ์หรือการยืดหดของกระดาษที่ใช้พิมพ์ ยิ่งเป็นสิ่งอันตรายแล้วนับว่าสำคัญยิ่งทีเดียว

14. ไม่ควรใช้ที่หมายอันเลื่อนลอยในการแบริง ที่หมายเลื่อนลอยนี้ได้แก่ ทุ่น ทุ่นไฟ และเรือทุ่นไฟอันเป็นวัตถุที่ลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งอาจเคลื่อนที่ไปมาได้โดยเนื่องจากถูกกำลังกระแสน้ำ คลื่น ลม พายุ เป็นการไม่สมควรที่จะใช้เป็นที่หมายแบริงหาที่เรือ ที่เรือที่หาได้อาจไม่ถูกต้องจริง เว้นไว้แต่ไม่มีที่หมายใด ๆ เลย แต่ไม่ควรเชื่อถือที่เรือที่หาได้จากการแบริงสิ่งเหล่านี้

ให้พึงเข้าใจว่า สิ่งที่หมายเหล่านี้เป็นแต่เพียงสิ่งเตือนใจให้รู้เขตอันตราย หรือช่วยเหลือนำทางให้เรือหาทางเข้าตำบลที่ที่ต้องการได้ใกล้เคียงเท่านั้น เว้นไว้แต่เจ้าของท่าจะรับรองแน่นอน

15. ทัศนวิสัยของไฟ (Visibility of light) ทัศนวิสัยของไฟนั้นใช้นับเป็นไมล์ทะเล เป็นระยะที่เห็นได้ในเวลาอากาศโปร่ง เมื่อมีสูงตา 4.57 เมตร (15 ฟุต) ฉะนั้น ถ้าสูงตายิ่งสูงขึ้นไปอีกทัศนวิสัยก็ยิ่งไกลออกไปอีก หรือถ้าต่ำลงมาก็เห็นใกล้เข้า

16. แบริง บรรดาแบริงทั้งหลายที่ให้ไว้ในแผนที่เป็นแบริงจริง เว้นไว้แต่จะได้กล่าวไว้เป็นอย่างอื่น แบริงหล่านี้นับจากทะเลเข้าหาฝั่ง

17. เครื่องหมายกระแสน้ำ เป็นเครื่องหมายแสดงทางของกระแสน้ำโดยประมาณฉะนั้น ทางของกระแสน้ำที่ชี้ตามลูกศรนี้ จึงไม่ถูกต้องแน่นอนทีเดียวนัก เพราะความจริงกระแสน้ำย่อมเปลี่ยนแปลงตามเหตุการณ์เสมอ ทั้งอัตราที่ให้ไว้ในแผนที่ก็เป็นอัตราที่ได้ตรวจหาในชั่วระหว่างการสำรวจอันสั้นเพียง 6 เดือน หรือมากกว่านั้นเล็กน้อยเท่านั้น

18. จำนวนตัวเลขน้ำ ความละเอียดของการหยั่งน้ำจะมากน้อยอย่างไร จะสังเกตเห็นได้จากจำนวนตัวเลขน้ำที่เขียนลงในแผนที่ คือ ถ้าตัวเลขน้ำห่างกันมาก และมีความลึกต่างกันมากแล้ว แสดงว่าการสำรวจมิได้สำรวจอย่างละเอียด ที่ที่ว่างเปล่าแสดงว่าเป็นที่ที่ยังไม่ได้ทำการหยั่งน้ำอย่าไปนึกหรือเข้าใจเอาว่ารอบ ๆ หรือใกล้ ๆ ที่ว่างเปล่านั้นมีน้ำลึกด้วย เพราะถ้าสำรวจละเอียดแล้วต้องไม่มีที่ว่าง แต่ถ้าเป็นในระหว่างช่องหรือใกล้กับโขดแล้ว ถ้ามีที่ว่างอยู่อาจจะแสดงว่ายังเป็นที่ที่สงสัยอยู่ก็ได้ แต่อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าจะเป็นแผนที่ที่ได้สำรวจอย่างละเอียดเรียบร้อยแล้วก็ดี ก็อาจมีหินโดดเดี่ยวอยู่ในระหว่างแนวหยั่งน้ำที่ได้หยั่งแล้ว แต่ไม่พบก็เป็นได้เหมือนกัน

19. คำเตือนต่าง ๆ คำเตือนที่เขียนไว้ในแผนที่เป็นสิ่งช่วยเหลือแก่การเดินเรือเป็นอย่างดี ฉะนั้น จักต้องไม่ลืมอ่านและทำความเข้าใจไว้เสมอ

20. ลักษณะของแผนที่ที่ได้สำรวจไว้อย่างละเอียดเรียบร้อย แผนที่ที่สำรวจไว้อย่างละเอียด มีลักษณะดังต่อไปนี้

(ก) การสำรวจจักต้องทำโดยวิธีการอันทันสมัยเหมาะกับเหตุผล

(ข) ตัวเลขน้ำต้องอยู่ชิดกัน และมีความลึกสม่ำเสมอกันกับทั้งไม่มีที่ว่างเปล่า

(ค) ต้องมีเส้นแนวน้ำและเมตรกำกับเขียนไว้

(ง) ควรต้องมีรายละเอียดต่าง ๆ และเส้นแนวน้ำมาก ฯลฯ

(จ) เส้นขอบฝั่งทั้งหมดต้องเขียนไว้ให้เห็น ต้องไม่มีเส้นไข่ปลาอันแสดงว่ายังบกพร่องอยู่

21. ข้อที่ควรจำเมื่อใช้แผนที่

(1) จงใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่เสมอ (ถ้ามี) เพราะว่า

(ก) ความผิดต่าง ๆ ที่มีนั้นลดเหลือน้อย

(ข) ถ้าแผนที่เกิดการบิดตัวขึ้น ความผิดเหล่านี้จะมีผลเล็กน้อยที่สุด

(ค) มีรายละเอียดต่าง ๆ แสดงไว้มาก

(ง) แผ่นสังกะสีแม่พิมพ์ ต้นฉบับของแผนที่มาตราส่วนใหญ่ย่อมได้จัดแก้ให้ถูกต้องก่อนแม่พิมพ์ของแผนที่มาตราส่วนเล็ก

(2) การถ่ายตำบลที่จากแผนที่แผ่นหนึ่ง ไปยังอีกแผ่นหนึ่งโดยใช้แบริง และระยะทางจากจุดซึ่งมีอยู่ในแผนที่ทั้งสองแล้ว ควรตรวจสอบตำบลที่นั้นด้วยละติจูดและลองจิจูดด้วย การนี้นับว่าจำเป็นมาก เพราะการแบ่งขีดของขอบแผนที่ทั้งสองแผ่นย่อมต่างกันได้

(3) จงลงตำบลที่เรือไว้โดยเร็วเสมอ ภายหลังที่ได้ถ่ายตำบลที่จากแผนที่แผ่นหนึ่งไปยังอีกแผ่นหนึ่งแล้ว

(4) จงใช้วงเข็มทิศที่ใกล้ที่สุดเสมอ เพราะว่า

(ก) การบิดตัวของแผนที่จะทำให้เกิดความผิดได้เป็นส่วนน้อยมาก และจะได้ใช้วาริเอชั่นที่ถูกต้อง

(ข) ถ้าแผนที่ที่ใช้นั้น เป็นแผนที่สร้างโดยวิธีขยายแบบโนโมนิกแล้วจะทำให้ความผิดชนิดหนึ่งไม่เกิดขึ้น

(5) จงดูอัตราเปลี่ยนวาริเอชั่นที่ให้ไว้ที่วงเข็มทิศแต่ละวงให้ดี

22. การเก็บรักษาแผนที่ แผนที่เดินเรือต่าง ๆ ที่มีอยู่ นอกจากจะต้องแก้ไขให้ใช้ได้ทันสมัย ตามประกาศชาวเรือแล้วยังจะต้องเก็บและรักษาให้แผนที่นั้นคงทนไม่ชำรุดเสียหาย ให้มีคุณสมบัติพร้อมที่จะใช้การได้เสมอ และให้ใช้ได้นานที่สุดด้วย ฉะนั้น จึงควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

(ก) ควรจัดเก็บไว้เป็นพวกเป็นตอน เพื่อสะดวกแก่การหยิบใช้ และไม่ควรเก็บในลิ้นชักแคบ ๆ

(ข) ควรม้วนเก็บเป็นแผ่น ๆ ไม่ควรพับให้เป็นรอยซ้ำเพราะจะทำให้ตัวหนังสือหรือตัวเลขน้ำตรงลอยพับเลอะเลือน และขาดง่าย (ข้อนี้ย่อมแล้วแต่สถานที่เก็บ โดยมากต้องพับเพราะที่เก็บเป็นลิ้นชัก และสะดวกในการค้นหาหมายเลขของแผนที่)

(ค) การขีดเข็มและเส้นแบริงหาที่เรือต่าง ๆ ควรใช้ดินสออ่อน ๆ ขีดแต่เบา ๆ และลบง่าย เมื่อเสร็จการเดินเรือหรือไม่ใช้แผนที่ต่อไปแล้ว ต้องใช้ยางลบอ่อน ๆ ลบเส้นดินสอที่ขีดไว้ให้สะอาดเรียบร้อยทุกแผ่นที่ใช้

(ง) เมื่อจะใช้เดินเรือ จักต้องวางคลี่ลงบนโต๊ะที่จัดทำไว้โดยเฉพาะในห้องแผนที่ หรือสะพานเดินเรือ เป็นต้น อย่าวางคลี่ลงบนดาดฟ้าเรือ

(จ) ห้องที่เก็บแผนที่จักต้องเป็นสถานที่มิดชิดกันฝนและน้ำเค็มได้เป็นอย่างดีเป็นที่เก็บเครื่องอุปกรณ์การเดินเรือโดยเฉพาะ

(ฉ) การใช้ปากคีบวัดระยะทาง หรือแนวทางใด ๆ ในแผนที่ต้องระวังอย่ากดให้แรงจนถึงกับทำให้กระดาษทะลุ และทำให้สิ่งต่าง ๆ เลอะเลือนได้

(ช) การใช้เครื่องตั้งมุมสามขา (สะเตชั่นปอยนต์เตอร์) หาที่เรือ และใช้ไม้บรรทัดขนานขีดเส้นแบริงหรือขีดเข็ม ควรเช็ดให้สะอาดเรียบร้อยก่อน มิฉะนั้นอาจทำให้แผนที่เปรอะเปื้อนได้

(ซ) ไม่ควรเขียนจำนวนองศาที่วัดแบริงได้ ลงในแผนที่เพื่อแก้เข็มจะทำให้แผนที่สกปรกและลบยาก

บรรณสารการเดินเรือต่าง ๆ (Navigational Publications)

แม้ว่านักเดินเรือทั้งหลาย จะมีความรู้และความชำนาญในการเดินเรือ คือ สามารถนำเรือไปได้ และคำนวณหาที่เรือได้ถูกต้องแน่นอนแล้วก็ดี จะนับว่าเป็นการปลอดภัยทีเดียวหาได้ไม่ ทั้งนี้ ย่อมเนื่องด้วยเหตุการณ์ สถานที่ และสิ่งต่าง ๆ ในน้ำ ในร่องน้ำ และท่าเรือทั้งหลาย ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขอยู่เสมอ เพราะฉะนั้นจึงเป็นการจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสิ่งอุปกรณ์ช่วยเหลือ - ให้ได้รับความสะดวกและความปลอดภัยยิ่งขึ้น โดยเหตุนี้ทุก ๆประเทศจึงได้พยายามรวบรวมบรรดาสิ่ง - ต่าง ที่กล่าวนี้พิมพ์ขึ้นเป็นเล่มออกจำหน่ายและจ่ายให้แก่ผู้ที่ทำการเดินเรือทั้งหลาย เพื่อใช้เป็นข้อแนะนำ และระมัดระวังในการเดินเรือไปยังที่ต่าง ๆ

บรรณสารเหล่านี้ได้แก่

1. หนังสือนำร่อง (Sailing Directions หรือ Pilots)

หนังสือนำร่องเป็นบรรณสารที่กล่าวถึงตำบลที่ร่องทางเรือเดินเกาะ ฝั่ง หินใต้น้ำ ไฟทุ่นเครื่องหมาย การคมนาคม เสบียงอาหาร ลักษณะอุตุ พลเมือง การทำมาหากิน และระเบียบการของท่าเรือต่าง ๆ แผนที่ที่ต้องใช้ ฯลฯ

(1) ที่ปกด้านใน มีคำเตือนสำหรับบรรดาเรือที่เข้าไปใกล้เมืองท่าบริติช และรายละเอียดในการตรวจเรือ (Examination service)

(2) แบบฟอร์มสำหรับกรอกรายการ สมุดเพิ่มเติมนำร่องและประกาศชาวเรือฉบับสรุปเล่มประจำปีซึ่งเกี่ยวกับหนังสือเล่มนั้น

(3) คำเตือนเรื่องการใช้หนังสือนำร่อง ว่าด้วยการก่อนใช้ ควรตรวจสอบกับสมุดเพิ่มเติมน้ำร่องฉบับหลังที่สุด และประกาศชาวเรือฉบับสรุปเล่มประจำปีเสียก่อน

(4) คำเตือนเกี่ยวกับหน่วยการวัด และหน่วยมาตรฐานอื่น ๆ ที่ใช้ในหนังสือนำร่อง

(5) ประกาศ ว่าด้วยหนังสือนำร่องที่พิมพ์ใหม่ครั้งหนึ่ง ๆ ในการนี้บอกรายการครั้งสุดท้ายที่ได้แก้หนังสือนั้น

(6) บัญชีสารบัญ

(7) บัญชีชีวิว

(8) แจ้งความ ว่าด้วย แผนที่เดินเรือของกระทรวงทหารเรืออังกฤษ และบรรณสารอื่น ๆ เกี่ยวกับการอุทกศาสตร์และว่าด้วยการเดินเรือทั่ว ๆ ไป

(9) แผนที่สารบัญ ข้อนี้ เฉพาะเขตที่มีอยู่ในหนังสือนำร่องนั้น ๆ และทั้งแสดงวันโฆษณาของแผนที่ ตามที่ให้ไว้ในแจ้งความเขียนเขตเฉพาะของแผนที่ และมีหมายเลขกำกับไว้ที่-มุมของเขตแผนที่ มีดอกจันและหมายเลขกำกับไว้ตรงชื่อของตำบลที่ -เช่น Skegness 93* หมายความว่า แผนที่ขยายของ Skegness ได้พิมพ์ไว้ในแผนที่หมายเลข 93 เป็นต้น มีหมายเลขเขียนกำกับไว้ตรงชื่อของตำบลที่-เช่น Port Blyth 1626- หมายความว่าได้พิมพ์แผนที่ขยายของ Port Blyth แยกไว้โดยเฉพาะ ซึ่งมีหมายเลขตามที่บอกไว้

(10) บทที่ 1 ยกเว้นเฉพาะบรรดาหนังสือนำร่องที่ใช้เฉพาะในน่านน้ำเกาะบริติช (British Isles) บทที่ 1 เริ่มอธิบายย่อ ๆ ถึงบรรดาประเทศที่มีอยู่ในเขต ของหนังสือเล่มนั้น ว่าด้วยรัฐบาลการกสิกรรม การค้าขาย และปริวรรตเงินตรา ต่อจากนั้นทุกเล่มก็กล่าวถึงรายละเอียดของอุตุนิยมวิทยา -น้ำ - กระแสน้ำ - สัญญาณ - คำเตือน -การช่วยชีวิตชาวเรือ - ระบบการวางทุ่น - การคมนาคม - วิทยุโทรเลข - อู่เรือ - การปราบหนู - เวลา อัตรา - เชื้อเพลิง และคำแนะนำอื่น ๆ ที่มิได้ให้ไว้ใน Ocean Passages for the World

(11) บทที่ 2, ฯลฯ กล่าวถึงรายการต่าง ๆ ของเขตซึ่งอยู่ในหนังสือไว้โดย - พิสดาร ได้ให้หมายเลขของแผนที่มาตราส่วนใหญ่ของเขตที่ได้อธิบายไว้นั้นที่บรรทัดล่างสุดของทุกหน้า

(12) ข้อความเพิ่มเติมต่าง ๆ มีอยู่ที่ท้ายเล่ม ข้อความนี้มีมากข้อด้วยกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

(ก) บัญชีเมืองท่าที่มีอู่ซ่อมเรือ

(ข) บัญชีเมืองท่าที่มีการซ่อมแซมตัวเรือใต้แนวน้ำ พร้อมทั้งรายละเอียดของอู่แห้งขนาดใหญ่ อู่ลอยหรือคานเรือ (Patent slip) ของเมืองท่านั้น ๆ

(ค) บัญชีเมืองท่าสำคัญ และรายละเอียดเกี่ยวกับความลึก ฯลฯ ของเมืองท่านั้น ๆ

(ง) ตาราง อุตุนิยมวิทยาซึ่งรวบรวมจากตำบลต่าง ๆ ในหนังสือเล่มนั้น

(จ) บัญชีตำบลที่ซึ่งเหมาะแก่การตรวจหาอำนาจแม่เหล็ก

(13) สารบัญพิสดาร

ข้อความที่ขัดกัน ถ้าบรรดารายการที่ให้ไว้ในแผนที่เกิดแตกต่างขัดแย้งกันกับในหนังสือนำร่องแล้ว ให้ถือเอารายการที่ให้ไว้ในแผนที่มาตราส่วนใหญ่เป็นรายการที่ถูกต้อง

หนังสือนำร่องฉบับที่พิมพ์ครั้งใหม่ หนังสือนำร่องเล่มหนึ่ง ๆ นั้นได้แก้ไขจัดพิมพ์ขึ้นใหม่ในระยะประมาณ 10 ถึง 12 ปี ต่อครั้ง บรรดาหมายเลขของประกาศชาวเรือที่ยังคงใช้อยู่ในระหว่างเวลาที่กำลังพิมพ์ หนังสือนำร่องกับเวลาที่ส่งหนังสือนำร่องไปยังเรือ นั้นได้ให้ไว้ในประกาศชาวเรือฉบับที่แจ้งให้ทราบถึงการพิมพ์หนังสือนำร่องเล่มนั้น ๆ เพื่อให้สามารถแก้นำร่องเล่มใหม่ได้ก่อนที่จะนำเอาไปใช้การ

สมุดเพิ่มเติมนำร่อง สมุดเพิ่มเติมนำร่องของหนังสือนำร่องทุกเล่มนั้น ตามปรกติย่อมพิมพ์เป็นประจำทุกปี สมุดเล่มใหม่นั่นใช้ยกเลิกสมุดเล่มเก่าไปในตัว ให้กรอกรายละเอียดของสมุดเพิ่มเติมนำร่องทุกเล่มที่ได้รับลงในแบบฟอร์มที่ปลิว (Fly leaf) ของหนังสือนำร่อง ประกาศชาวเรือสุดท้ายที่ใช้รวบรวมเป็นสมุดเพิ่มเติมนำร่องนั้นได้กล่าวไว้ในแจ้งความ

ประกาศชาวเรือฉบับสรุปเล่มประจำปี เมื่อได้มีการรวบรวมแก้ไขหนังสือนำร่องเล่มหนึ่ง - เล่มใดแล้ว ก็ไม่ออกเพิ่มเติมนำร่องสำหรับเล่มนั้นอีกต่อไป แต่จะได้รวบรวมประกาศชาวเรือที่ออกตามมาที่มีผลบังคับใช้กับหนังสือนำร่องเล่มนั้นทุกปี และออกเป็นเล่มหนึ่งต่างหากโดยเฉพาะ จนกว่าหนังสือเล่มนั้นจะได้พิมพ์ขึ้นใหม่เสร็จแล้วรายละเอียดต่าง ๆ ในการนี้ควรกรอกลงในแบบฟอร์มที่ปลิวของหนังสือนำร่องดังได้กล่าวแล้ว

การแก้หนังสือนำร่องจากสมุดเพิ่มเติมนำร่อง และประกาศชาวเรือสรุปเล่มประจำปี บรรดาสมุดเพิ่มเติมนำร่องและประกาศชาวเรือฉบับสรุปเล่มประจำปี ควรเก็บไว้ให้เรียบร้อย เพื่อจะได้ค้นหาตรวจได้และสอดไว้ข้างในปกหนังสือนำร่อง หรือเขียนหมายเหตุกำกับอ้างไว้ตามหน้าหนังสือที่เกี่ยวข้องกัน เมื่อแก้แล้วให้กรอกลงในแบบฟอร์มที่ปลิวของหนังสือด้วย

การแก้จากประกาศชาวเรือ อย่าตัดและอย่านำเอาประกาศชาวเรือเฉพาะส่วนที่แก้หนังสือนำร่องไปปิดลงในหนังสือ แต่ให้เขียนหมายเหตุไว้ที่ขอบหนังสือหรือเขียนแก้แล้วแต่เห็นควร

2. ทำเนียบไฟ, สัญญาณหมอกและทัศนสัญญาณเทียบเวลา

ทำเนียบไฟอังกฤษ (The Admiralty List of Lights, Fog Signals and Visual Time Signals) นั้นพิมพ์ทั่วโลก แบ่งออกเป็น 12 เล่ม แบ่งออกตามฐานะทางภูมิศาสตร์ ดังได้ให้ไว้ในแผนที่สารบัญที่ตอนต้นเล่มของทำเนียบไฟทุกเล่ม ทุ่นไฟไม่มีให้ไว้ในทำเนียบนี้ สารบัญของทุก ๆ เล่มมีดังต่อไปนี้

(1) คำเตือนสำหรับบรรดาเรือ ที่เข้าไปใกล้เมืองท่าบริติช รายการละเอียดของการตรวจเรือ

(2) แผนที่สารบัญ กำหนดเขตของทำเนียบไฟเล่มต่าง ๆ

(3) คำนำ

(4) สารบัญ

(5) หมายเหตุนำ

(6) บัญชีสถานีสัญญาณของลอยด์ (Lloyd's signal stations)

(7) มาตราระยะทาง (Table of distances) สำหรับระยะทางของวัตถุซึ่งแลเห็นในทะเล ตามความสูงของวัตถุ และสูงตาของผู้ตรวจ

การเปิดมาตรานี้ ใช้สูงของไฟและสูงตาของผู้ตรวจเปิดหาแล้ว จะได้ระยะจากไฟไปยังขอบฟ้าและระยะจากผู้ตรวจไปยังขอบฟ้า แล้วเอาระยะทางทั้งสองบวกกันจะได้ระยะทางของไฟที่แลเห็นได้จากผู้ตรวจดังได้อธิบายไว้ในตอนหาที่เรือโดยตรวจที่หมายบนพื้นโลกข้อ (8) โดยใช้ระยะขอบฟ้า

(8) รายละเอียดของไฟต่าง ๆ ที่เป็นเครื่อง อุปกรณ์ แก่การเดินเรือในเขตของทำเนียบไฟแต่ละเล่มนอกจากทุ่นไฟ และมีรายละเอียดของสัญญาณหมอกต่าง ๆ ยกเว้นสัญญาณหมอกที่บอกโดยทางวิทยุ

(9) บัญชีทัศนสัญญาณเทียบเวลาโดย (Visual time signals)

(10) สารบัญพิสดาร

รายการบางข้อจากหมายเหตุนำ

ชนิดของอักษรตัวพิมพ์ใช้สำหรับชื่อไฟ ในทำเนียบไฟนี้ใช้ตัวอักษรพิมพ์หลายชนิด เพื่อแสดงไฟต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

อักษร Ionic หนา (Thick Jonic Lettera) บรรดาไฟที่มุ่งหมายใช้สำหรับเดินเรือใกล้ฝั่งและเห็นได้ไกล 15 ไมล์ หรือกว่าขึ้นไป

อักษรเอนเปียนด้วยตัวใหญ่ (*ITALIC CAPITALS*) เป็นชื่อเรือทุ่นไฟ (Light Vessels)

อักษรเอน *Italics* เป็นแพไฟ (Light floats)

อักษรโรมันธรรมดา (Ordinary Roman Type) ไฟอื่น ๆ นอกจากที่ได้กล่าวแล้ว

ตำบลที่ (Position) ตำบลที่ของไฟที่ให้ไว้เป็นละติจูด และลองจิจูดใกล้เคียง เพื่อประสงค์ให้ค้นหาในแผนที่ได้สะดวกเท่านั้น

ส่วนสูง (Heights) (ก) ส่วนสูงที่ให้ไว้ในช่องที่ 6 นั้น เป็นส่วนสูงที่วัดในระหว่างศูนย์กลางของตัวตะเกียงกับระดับน้ำขึ้นปานกลางหน้าน้ำเกิด(Level of mean high water springs)

(ข) ส่วนสูงที่ให้ในช่อง 9 นั้น เป็นส่วนของโครงเรือนไฟ วัดจากยอดเรือนไฟไปถึงฐานเรือนไฟ สำหรับเรือทุ่นไฟนั้นเป็นส่วนสูงของเครื่องหมาย สำหรับเวลากลางวันที่ติดอยู่บนยอด นับจากแนวน้ำขึ้นไป

ทัศนวิสัย (Visibility) ระยะทางที่เห็นได้ที่ให้ไว้ในช่องที่ 7 นั้นเป็นระยะทางเป็นไมล์ทะเลที่ผู้ตรวจซึ่งมีสูงตา 15 ฟุตอาจแลเห็นได้ในเวลาอากาศโปร่ง

การแบ่งเสี้ยวไฟ (Sectors) ในช่องที่ 10 ได้ให้รายละเอียดของเสี้ยวไฟไว้

การแก้ทำเนียบไฟ ทำเนียบไฟทุกเล่มได้จัดพิมพ์ขึ้นทุกปี ในอัตราหนึ่งเล่มต่อเดือนเริ่มต้นด้วยเล่ม 1 ในเดือนมกราคม และ สุดลงด้วยเล่ม 12 ในเดือนธันวาคม สมุดเพิ่มเติมทำเนียบไฟเหล่านี้จะไม่มีออกเพิ่มเติม

ทำเนียบไฟแต่ละเล่มจะได้แจ้งไว้ที่ปก และที่หน้าชื่อเรื่องถึงวันที่ที่แต่ละเล่มได้แก้ถึงไว้ ซึ่งกะประมาณราวหกสัปดาห์ก่อนวันออกจำหน่าย การแก้ถาวรและชั่วคราว หรือการเพิ่มเติมของแต่ละเล่ม ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างวันที่แก้และวันออกจำหน่าย จะได้ประกาศให้ไว้ในประกาศชาวเรืออังกฤษตอนที่ 3

การแก้ต่าง ๆ ที่สำคัญเกี่ยวกับไฟได้พิมพ์ออกจ่ายเป็นรายสัปดาห์ มีแจ้งไว้ในประกาศชาวเรืออังกฤษฉบับรายสัปดาห์ (Weekly Complete Edition of Admiralty Notices to Mariners)ในตอนที่ 3 และควรแก้เท่าที่จำเป็นเท่านั้น

การแก้ชั่วคราวต่าง ๆ อันได้จากประกาศชาวเรือชั่วคราวหรือประกาศ ที่แจ้งความดำริล่วงหน้าไว้นั้น ควรแก้ลงในทำเนียบไฟตามเล่มนั้น ๆ ด้วยดินสอ แต่ถ้าเป็นการแก้ถาวร ควรตัดข้อความจากประกาศชาวเรือตอนที่ 3 ปิดทับลงในความที่ต้องแก้นั้นทีเดียว

บรรดาทำเนียบไฟที่มีไว้เพื่อจำหน่ายและจ่ายที่กรมอุทกศาสตร์ที่แผนกเก็บแผนที่-ทะเลของกระทรวงทหารเรืออังกฤษ หรือตามห้างที่ขายแผนที่ต่าง ๆ นั้นไม่ได้แก้ไว้แต่อย่างใด ฉะนั้นเมื่อรับมาจากที่ดังกล่าวแล้วนี้จะต้องตรวจและแก้ไขเสียให้ถูกต้องตามประกาศชาวเรือรายสัปดาห์ก่อนที่จะนำไปใช้

3. ทำเนียบวิทยุ(The Admiralty List of Radio Signals)

บรรณสารนี้แบ่งออกเป็น 3 เล่ม คือ เล่ม 1,2 และ 3 แต่เล่ม 3 นั้นแยกออกเป็น 2 เล่มคือเล่ม 3 (ตอน A) และเล่ม 3 (ตอน B)

เล่ม 1 (การสื่อสาร) ว่าด้วยสถานีวิทยุชายฝั่ง การแพทย์ และการกักเรือตรวจโรค กฎข้อบังคับทั่ว ๆ ไป ฯลฯ

เล่ม 2 (การอุปกรณ์การเดินเรือ) ว่าด้วยสถานีวิทยุหาทิศ (Direction-finding Stations) กระโจมวิทยุ (Radiobeacons) สัญญาณเทียบเวลา (Time signals) และคำเตือนเกี่ยวกับการเดินเรือ (รวมทั้งสัญญาณแจ้งข่าวน้ำแข็ง) รหัสและกฎข้อบังคับ

เล่ม 3 (ตอน A) ว่าด้วยการอุตุนิยมวิทยา รหัส ฯลฯ (รายละเอียดเกี่ยวกับข่าวอากาศ)

เล่ม 4 (ตอน B) บัญชีสถานีตรวจอุตุนิยมวิทยา

ที่ปกหน้าด้านในของแต่ละเล่มมีคำเตือนสำหรับเรือที่เข้าไปใกล้เมืองท่าบริติช ว่าด้วยการปิดเมืองท่าและการตรวจเรือ

สารบัญย่อของแต่ละเล่มมีดังต่อไปนี้

เล่ม 1

(1) คำนำ (พร้อมด้วยคำอธิบาย)

(2) คำแนะนำสำหรับแก้ทำเนียบวิทยุ

(3) ระบบการกำหนดสารบัญสถานีวิทยุ บัญชีอักษรย่อที่ใช้ ฯลฯ

(4) บันทึกที่มาของนำเนียบวิทยุกล่าวถึงการรวบรวมทำเนียบขึ้นโดยอาศัยบรรณสารต่าง ๆ

(5) สารบัญตามฐานะภูมิศาสตร์

(6) คาบเวลาเข้ายามวิทยุซึ่งเป็นสากล ตารางและแผนภาพ (สำหรับเรือที่มีพนักงานวิทยุน้อยกว่า 3 คน มีคำอธิบายและแผนที่อยู่ในเล่มนี้)

(7) อักษรชื่อสถานีซึ่งเป็นสากล

(8) บัญชีชื่อสถานีตามลำดับอักษร

(9) การสื่อสารวิทยุเรือ-ฝั่งระยะไกล

(10) การเข้ายามวิทยุสำหรับเรือเล็ก สำหรับบริเตนใหญ่ และแอรา

(11) สถานีวิทยุชายฝั่ง

(12) คำแนะนำการแพทย์และการกักเรือตรวจโรค

(ก) คำแนะนำการแพทย์ (ส่งไปให้เรือในทะเล)

(ข) การแจ้งข่าวโรคติดต่อ

(ค) รายงานการกักเรือตรวจโรคจากเรือในทะเล โดยวิทยุ รหัส

(ง) กฎข้อบังคับ

(13) กฎข้อบังคับพิสดาร ฯลฯ

(ก) ข่าววิทยุราชการบริติชส่งไปยังเรือค้าขายบริติช (มีแผนที่โลกแสดงเขตขององค์การนี้)

(ข) อนุสัญญาการสื่อสารทางโทรเลขระหว่างประเทศ ที่กรุงไคโร ค.ศ. 1938 คัดจากกฎข้อบังคับทั่ว ๆ ไป

(ค) กฎข้อบังคับว่าด้วยการใช้วิทยุโทรเลข และวิทยุโทรศัพท์ของเรือในน่านน้ำอาณาเขต และเมืองท่า

(ง) สัญญาณอับจน ข้อความเพิ่มเติม

(จ) รหัสมอร์สสากล และอนุสัญญาสัญญาณ

(ฉ) บัญชีอักษรย่อที่ใช้ในการส่งวิทยุโทรเลข

(ช) ตารางความถี่ (Frequencies) การเปลี่ยนความยาวคลื่น

(14) สารบัญสถานีวิทยุชายฝั่งตามลำดับอักษร

(15) สารบัญพิสดาร

เล่ม 2

(1) คำนำ (พร้อมด้วยคำอธิบาย)

(2) คำแนะนำสำหรับแก้ทำเนียบวิทยุ

(3) อักษรย่อที่ใช้ ฯลฯ

(4) บันทึกที่มาของทำเนียบวิทยุ

(5) อักษรชื่อสถานีซึ่งเป็นสากล

(6) บัญชีชื่อสถานีตามลำดับอักษร

(7) อักษรย่อชื่อกระโจมวิทยุ

(8) สถานีวิทยุหาทิศ

(9) กระโจมวิทยุ และการใช้สัญญา QTG

(10) การอุปกรณ์แก่เครื่องบินซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเรือ

(11) สัญญาณเทียบเวลา

(12) คำเตือนเกี่ยวกับการเดินเรือและสัญญาณแจ้งข่าวน้ำแข็ง

(13) สารบัญสถานีตามลำดับอักษร

เล่ม 3 (ตอน A)

(1) คำนำ
(2) ระบบการกำหนดสารบัญสถานีวิทยุ
(3) คำแนะนำสำหรับแก้ทำเนียบวิทยุ
(4) บัญชีอักษรย่อ
(5) บัญชีชื่อสถานีตามลำดับอักษร
(6) หมายเหตุทั่ว ๆ ไป
(7) รายงานอากาศทางวิทยุของเรือ (เรือตรวจอากาศบริติช)
(8) เรือตรวจอากาศในมหาสมุทร
(9) รหัสอุตุนิยมวิทยา
(10) รหัสคำเตือนแจ้งพายุ
(11) ข่าวอากาศทางวิทยุ
(12) ตารางต่าง ๆ
(13) สารบัญสถานี

เล่ม 3 (ตอน B)

(1) คำนำ
(2) คำแนะนำสำหรับแก้ทำเนียบวิทยุ
(3) บัญชีสถานีตรวจอุตุนิยมวิทยา

การแก้ทำเนียบวิทยุได้พิมพ์ให้ไว้ใน ประกาศชาวเรืออังกฤษรายสัปดาห์ในตอนที่ 4

4. มาตราน้ำ (Tide Tables) เป็นบรรณสารที่ว่าด้วยเวลา ส่วนสูงของน้ำขึ้นลงประจำอ่าวต่าง ๆ ในปีหนึ่ง ๆ รวมทั้งข้อความอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับเรื่องน้ำ มาตราน้ำนี้บางประเทศก็ทำไว้หมดทุกแห่งทั่วโลก เช่นอังกฤษ ฯลฯ แต่บางประเทศ ก็ทำเฉพาะในน่านน้ำของตน ความประสงค์ที่ทำขึ้นนี้เพื่อให้ความสะดวกแก่บรรดาเรือทั้งหลาย ที่มีความมุ่งหมายจะนำเรือเข้าออกยังอ่าวท่าเรือนั้น ๆ ได้ตามวันและเวลาที่ต้องการดังได้แจ้งไว้ในมาตราน้ำ - โดยไม่ต้องนำเรือมารอให้เสียเวลามาตราน้ำของไทยเรา คือ มาตราน้ำซึ่งบอกเวลาน้ำขึ้นลงและส่วนสูงของน้ำในร่องที่สันดอนเจ้าพระยาทุกชั่วโมง ส่วนท่าอื่น ๆ นั้น บอกเฉพาะเวลาน้ำขึ้นเต็มที่และลงเต็มที่กับส่วนสูงเท่านั้น

ส่วนมาตราน้ำอังกฤษ (Admiralty Tide Tables) พิมพ์ออกเป็น 3 เล่ม คือ

สำหรับ "น่านน้ำอังกฤษ (เกาะบริติช ยุโรป และอัฟริกาฝั่งเหนือ)"

สำหรับ "มหาสมุทรอัตลันติกและอินเดีย"

สำหรับ "มหาสมุทรปาซิฟิกและทะเลใกล้เคียง"

แต่ละเล่มแบ่งออกเป็นสองตอน คือตอน 1 เป็นการทำนายน้ำขึ้นลงสำหรับเมืองท่ามาตรฐาน (Standard Ports) และเป็นการทำนายกระแสน้ำขึ้นลงสำหรับช่องแคบบางแห่ง ตอน II ให้ข้อมูล (data) สำหรับทำนายน้ำขึ้นลง ณ ตำบลที่ซึ่งไม่เป็นเมืองท่ามาตรฐาน

มาตราน้ำอังกฤษตอน III มีคำแนะนำ สำหรับทำนายน้ำขึ้นลง และกระแสน้ำขึ้นลงและสำหรับวิเคราะห์การตรวจน้ำขึ้นลงและกระแสน้ำขึ้นลง พร้อมด้วยมาตราสำหรับช่วยการทำนายและการวิเคราะห์

5. เครื่องหมายและอักษรย่อ(Signs and Abbreviations) เป็นบรรณสารที่ว่าด้วยเครื่องหมายและอักษรย่อที่ใช้ในแผนที่ทะเล มีเครื่องหมายและอักษรย่อบอกลักษณะของภูมิประเทศบนบก และลักษณะพื้นท้องทะเล ทุ่น กระโจมไฟ หิน เรือจม ที่อันตรายต่าง ๆ และกระแสน้ำ ฯลฯ ตามระเบียบของสภาสากลอุทกนิยมเช่นเดียวกัน

บรรณสารชนิดนี้บางประเทศ จัดทำขึ้นเป็นเล่มโดยเฉพาะเช่น ของไทยเราเป็นต้น แต่บางประเทศเช่นอังกฤษจัดทำเป็นแผนที่ขึ้นแผ่นหนึ่งให้หมายเลขไว้โดยเฉพาะ คือแผนที่หมายเลข 5011

6. ประกาศชาวเรือ (Notices to Mariners) เป็นเอกสารที่ประกาศและแจ้งความ ให้ชาวเรือทั้งหลายทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวแก่การเดินเรือโดยทั่วไป เช่น เปลี่ยนแปลงเครื่องหมายทางเรือ อันได้แก่กระโจมไฟ ทุ่น ฯลฯ ความลึกของน้ำเปลี่ยน พบหินใหม่ พบโขดใหม่ เปลี่ยนร่องน้ำและสิ่งกีดขวางเป็นอันตรายต่อการเดินเรือ ฯลฯ เป็นต้น บรรณสารนี้ใช้เป็นหลักฐานในการแก้แผนที่ หนังสือนำร่อง ทำเนียบไฟและบรรณสารอื่น ๆ ที่พิมพ์ออกจากกรมอุทกศาสตร์ บรรดาเรือต่าง ๆ ที่เก็บรักษาแผนที่และบรรณสารเหล่านั้นไว้ เมื่อได้รับประกาศชาวเรือแล้วจักต้องแก้ตามประกาศนั้น ๆ - ฉะนั้นบรรดาแผนที่ต่าง ๆ และเอกสารต่าง ๆ จึงถูกต้องตามที่เป็นจริงอยู่เสมอ จึงถือเอาได้ว่าประกาศชาวเรือมีประโยชน์ และให้ความปลอดภัยแก่การเดินเรือเป็นอย่างมาก ประกาศชาวเรือได้ส่งไปตามที่ต่าง ๆ ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวแก่การใช้และการแก้แผนที่และบรรณสาร เช่น บริษัทเดินเรือและเรือต่าง ๆ เป็นต้น

ประกาศชาวเรือนั้นกรมอุทกศาสตร์เป็นเจ้าหน้าที่ออกประกาศ เช่น ประเทศไทย อังกฤษ ฯลฯ เป็นต้น ตามปรกติประกาศชาวเรือของไทยเราออกเป็นรายเดือน 1 วันแต่ถ้ามี

เรื่องที่ควรต้องประกาศให้ทราบล่วงหน้าก่อนที่ฉบับรายเดือนจะออกแล้ว ก็ออกประกาศเป็นใบปลิวแจกให้ เช่นว่าไฟดับ มีเรือจม ฯลฯ เป็นต้น ถ้าหากเรื่องที่ประกาศนั้นเป็นการชั่วคราวแล้ว ก็มีคำว่า "ชั่วคราว" ต่อท้ายของหมายเลขประกาศชาวเรือนั้นไว้ด้วย เพราะประกาศเช่นนี้จะได้ยกเลิกไปเมื่อเรื่องที่ประกาศไว้นั้นกลับคืนเข้าสู่สภาพเดิมแล้ว เช่นว่ามีไฟดับ จึงได้ออกประกาศชาวเรือเป็นการชั่วคราวเพราะไฟนั้นอาจจะจุดขึ้นได้ในไม่ช้า เมื่อได้จุดไฟขึ้นแล้วก็ออกประกาศให้ทราบอีกว่าไฟนั้นได้จุดเสร็จแล้ว หรือมีการห้ามการเดินเรือเป็นการชั่วคราวในร่องน้ำร่องหนึ่งร่องใดเนื่องจากการลอกร่อง ต่อเมื่อลอกเสร็จแล้วก็เปิดให้เดินได้อีกต่อไปเช่นนี้เป็นต้น การออกประกาศชาวเรือนี้ บางประเทศเป็นหน้าที่ของเจ้าท่าก็มีเหมือนกัน

ตามเมืองท่าที่สำคัญ ๆ โดยมาก ชาวเรือขอดูหรือขอรับประกาศชาวเรือได้ที่ที่ทำการศูนย์กลางประกาศชาวเรือ (Centralisa-tion of Notices to Mariners) ของเมืองเท่านั้น ๆ หรือที่เจ้าท่า รายชื่อศูนย์กลางประกาศชาวเมืองเหล่านี้มีในประกาศชาวเรือเป็นครั้งคราว

7. มาตราระยะทาง(Dis tance Table) เป็นบรรณสารที่แสดงระยะทางตามแนวทางที่เดินตามปรกติจากเมืองท่าหนึ่งไปยังอีกเมืองท่าหนึ่งทั่วโลก นับเป็นโมล์ทะเล บรรณสารนี้ทำขึ้นเป็นเล่มหลายเล่มด้วยกัน แบ่งออกเป็นน่านน้ำ อ่าว ทะเล และภาคมหาสมุทร จัดเมืองท่าตามลำดับอักษร A ไป และมีแผนที่ประกอบติดไว้ด้วยสำหรับเล่ม - หนึ่ง ๆ บรรณสารนี้นับว่ามีประโยชน์มากในเมื่อต้องการทราบระยะทางจากเมืองท่าหนึ่งไปยังอีกเมืองท่าหนึ่งโดยใช้เปิดดูในบรรณาสารนี้ก็จะทราบระยะทางได้ทันที โดยไม่ต้องเสียเวลาไปวัดเอาเลย

มาตราระยะทางนี้ของอังกฤษแบ่งออกเป็น 5 เล่ม และได้บอกไว้ในเล่มนั้น ๆ เสร็จว่า เล่มใดใช้ในเขตใดและมีแผนที่ประกอบสอดไว้ท้ายเล่มบอกว่าเขตใดใช้เล่มใดด้วยและที่ท้ายเล่มมีตารางหาเวลาระยะทาง (Distance Time-table) ให้ไว้ด้วย เมื่อทราบระยะทางที่ต้องแล่นและทราบอัตราเร็วของเรือแล้ว ก็หาเวลาที่เรือจะต้องแล่นว่าเป็นกี่ชั่วโมงกี่วันได้

8. บัญชีราคาแผนที่(Catalogue of Charts) เป็นบรรณสาร แสดงสารบัญแผนที่เดินเรือของแต่ละประเทศในน่านน้ำของตน ซึ่งแสดงให้รู้ว่าในการเดินเรือไปในเขตหรือตำบลต่าง ๆ ต้องใช้แผนที่หมายเลขอะไร ในบรรณสารนี้ได้แบ่งการจัดหมายเลขแผนที่ไว้เป็นสองตอน คือตอนหนึ่งจัดตามตำบลที่ตามฐานะภูมิศาสตร์ (หมายเลขไม่เรียงกัน) ส่วนอีกตอนหนึ่งจัดเรียงตามลำดับหมายเลขไป ในแผนที่แต่ละหมายเลข (แต่ละแผ่น) นั้นได้บอกรายละเอียดไว้เป็นช่อง ๆ คือ สารบัญแผนที่ วันไขษณาครั้งหลัง มาตราส่วนกำเนิดขนาดเป็นเซนติเมตรและราคา กับทั้งมีแผนที่แสดงเขตของแผนที่หมายเลขต่าง ๆ กำกับไว้

ในเล่มด้วย

บรรณสารนี้ของบางประเทศซึ่งมีการเดินเรือทั่วโลก เช่น อังกฤษ อเมริกา - ญี่ปุ่น ฯลฯ เป็นต้น ได้ทำไว้ทั่วโลก ส่วนรายละเอียดในสารบัญนั้นส่วนใหญ่ย่อมคล้ายคลึงกันเป็นส่วนมาก บัญชีราคาแผนที่ของอังกฤษนั้น นอกจากมีสารบัญแผนที่แล้วยังมีสารบัญ - บรรณสารอื่น ๆ อีก เช่น หนังสือนำร่อง ทำเนียบไฟ และบรรณสารอื่นๆ รวมอยู่ด้วยในเล่มเดียวกัน และมีแผนที่แสดงเขตที่ใช้ของบรรณสารเหล่านั้นให้ไว้ด้วย เพื่อความสะดวกในการใช้บรรณสารเหล่านั้น

การแก้แผนที่เดินเรือในเรือ

บรรดาการแก้เล็กน้อยแต่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อการเดินเรือ ซึ่งใช้แก้แผนที่เดินเรือด้วยมือได้แล้ว ได้พิมพ์ออกประกาศให้ไว้ในประกาศชาวเรือ การแก้นี้นอกจากเป็นการแก้จากประกาศชาวเรือชั่วคราวหรือประกาศชาวเรือล่วงหน้าแล้ว ต้องเขียนแก้ด้วยหมึกสีไวโอเล็ตชนิดไม่เปียกน้ำลงในแผนที่ที่เกี่ยวข้องให้ประณีตทันที นอกจากนี้แล้วจะต้องเขียนบันทึกปี (ถ้ายังไม่ได้เขียนไว้) และหมายเลขของประกาศชาวเรือด้วยหมึกสีไวโอเล็ต ชนิดไม่เปียกน้ำใส่ลงที่มุมซ้ายมือขอบล่างของแผนที่ด้วย เครื่องมือและอักษรย่อต่าง ๆ ที่แก้ในแผนที่ต้องใช้ตามเครื่องหมาย และอักษรย่อที่กรมอุทกศาสตร์กำหนดไว้

ถ้าประกาศชาวเรือที่ให้ไว้นั้น จะต้องแก้ในแผนที่หลายแผ่นแล้ว ควรต้องแก้ในแผนที่มาตราส่วนใหญ่ที่สุดเสียก่อน

กล่าวอย่างกว้าง ๆ แล้ว จำนวนรายละเอียดซึ่งจะต้องใส่ลงในแผนที่จะต้องให้เหมาะสมกันกับรายละเอียด ซึ่งได้มีปรากฏอยู่ในแผนที่แล้ว

การแก้แผนที่ขยาย (แผนที่มาตราส่วนใหญ่) แผนที่ขอบฝั่ง และแผนที่มาตราส่วนเล็ก (แผนที่มหาสมุทร) ให้แก้ดังนี้

แผนที่ขยายหรือแผนที่มาตราส่วนใหญ่ (Large scale charts) สิ่งที่จะต้องแก้ใส่ลงในแผนที่นี้คือ บรรดารายละเอียดทั้งหมดของไฟทั้งปวง ทุ่นไฟและสัญญาณหมอกปีของสิ่งกีดขวางทางเรือเดิน ของที่ตื้นที่ได้รับรายงานของการขุดร่อง ความลึกของน้ำที่สันดอนหรือร่องน้ำเลื่อนเปลี่ยนไป และความไม่สม่ำเสมอของไฟ รายการย่อของสิ่งที่กล่าวข้างต้นนี้ให้เป็นไปตามเครื่องหมายและอักษรย่อของกรมอุทกศาสตร์

แผนที่ขอบฝั่ง (Coastal charts) สิ่งที่จะแก้ใส่ลงในแผนที่ขอบฝั่งได้แก่ รายการย่อของไฟที่สำคัญ และสัญญาณหมอกที่สำคัญเท่านั้น คือว่าเฉพาะสิ่งที่เป็นเครื่องช่วยเหลือในเมื่อเข้าใกล้ฝั่ง หรือที่อันตรายต่าง ๆ

ส่วนรายละเอียดต่าง ๆ ของไฟที่กล่าวแล้ว ควรงดแก้ในลำดับต่อไปข้างล่างนี้ -

เพราะมาตราส่วนของแผนที่ได้ลดลง คือ

(1) สูงของไฟ (2) คาบของไฟ (3) จำนวนวับหรือวาบของไฟในหมู่ (4) ทัศนวิสัยของไฟ

หมายเหตุ สีของไฟจะต้องใส่เสมอ จะเว้นเสียมิได้นอกจากไฟขาวเท่านั้น

รายละเอียดของสัญญาณหมอก ให้แก้ลงในที่โดยเฉพาะของมัน ถ้าหากมีที่พอหรือมิฉะนั้นควรเขียนลงในบัญชีตารางใต้สารบัญ หรือที่หนึ่งที่ใดที่เหมาะในแผนที่

บรรดาทุ่นไฟและกระโจมที่อยู่ข้างในท่าเรือ ไม่ควรแก้ในแผนที่ขอบฝั่ง ส่วนทุ่นไฟที่อยู่นอกท่าเรือควรแก้เฉพาะลักษณะของไฟเท่านั้น

แผนที่มาตราส่วนเล็กหรือแผนที่มหาสมุทร (Ocean charts) ให้แก้ใส่ลงเฉพาะไฟซึ่งเห็นได้ไกลตั้งแต่ 15 ไมล์ขึ้นไปและใส่เฉพาะลักษณะและสีของไฟเท่านั้น

แผนที่เดิน เรือทุกชนิด การแก้พยายามเขียนในน้ำให้น้อยที่สุด เว้นเสียแต่สิ่งนั้นอยู่ในน้ำ และต้องระวังอย่าให้ทับรายการสิ่งอื่นที่มีเขียนอยู่ก่อนแล้วซึ่งจะทำให้และเห็นไม่ชัด

เมื่อจะเขียนข้อความสั้น ๆ (Notes) ว่าด้วยคำเตือน หรือรายการน้ำขึ้นลง ฯลฯ แล้ว ควรเขียนลงในที่ที่เหมาะและเห็นได้ชัด ควรให้ใกล้กับสารบัญ (Title) ของแผนที่นั้นซึ่งจะได้ไม่ปะปนกับรายละเอียดอย่างอื่น

การแก้นั้นไม่ควรลบรายละเอียดของเดิมออก ถ้าจำเป็นแล้วให้ใช้หมึกสีไวโอเล็ตชนิดไม่เปียกน้ำขีดฆ่าให้ตลอด แล้วเขียนแก้ใหม่ในที่ที่เหมาะ หรือถ้าเป็นรายการเล็ก ๆ น้อย ๆ ให้ลบออกโดยประณีต

ใบปะแผนที่หรือแผนที่จำลองส่วนหนึ่ง (Reproductions of portions of charts หรือเรียกว่า "blocks" ประกาศชาวเรือนั้นบางครั้งบางคราวมีส่วนหนึ่งของแผนที่จำลองติดไปด้วย ซึ่งเรียกว่า "ใบปะแผนที่" เมื่อจะแก้แผนที่จากใบปะนี้แล้ว ควรจำหัวข้อต่อไปนี้ไว้

(1) ใบปะแผนที่นี้มีได้แสดงว่า เพียงแต่แก้ตามรายการใหม่เท่านั้น แต่ทั้งอาจใช้ยกเลิกข้อความที่ได้มีอยู่ ในแผนที่แล้วด้วย สำหรับการยกเลิกข้อความที่กล่าวอันหลังนี้ ก็จะได้กล่าวไว้ด้วยในหัวข้อเรื่องของประกาศชาวเรือ และการมีใบปะแผนที่แนบติดไปกับประกาศนั้น ต้องไม่ถือเป็นเหตุที่จะละเลยไม่นำพาต่อหัวข้อเรื่องของประกาศชาวเรือ

(2) เส้นเขตของใบปะแผนที่นั้น กำหนดเอาเพื่อความสะดวกในการจำลอง - แผนที่ และไม่จำต้องถือตามเส้นเขตนั้นในเมื่อตัดใบปะแผนที่เพื่อปิดลงบนแผนที่ เว้นแต่จะได้พิจารณาตามรายการในข้อ (1) ข้างต้นแล้ว

(3) บางทีข้อความที่ประกาศใหม่ ที่มีอยู่ในใบปะแผนที่อาจเขียนแก้ลงในแผนที่ด้วยมือได้โดยไม่ต้องตัดใบปะแผนที่ไปปิด เหตุผลที่ออกใบปะแผนที่ ในกรณีเช่นนั้น ก็เพราะ

ไม่ต้องการเขียนรายการยืดยาวของประกาศใหม่นั้นลงในหัวข้อเรื่องของประกาศชาวเรือ

(4) เนื่องจากการบิดตัวของกระดาษ จึงปิดใบปะแผนที่ไม่ได้ถูกต้องพอเหมาะกับแผนที่เสมอไป ฉะนั้นเมื่อจะปิดใบปะแผนที่ลงบนแผนที่แล้ว จะต้องระวังให้การแก้ที่เกี่ยวกับการเดินเรือที่สำคัญมาก ๆ ให้อยู่ใกล้ชิดกันให้มากที่สุด วิธีดีที่สุดให้ปิดใบปะแผนที่ลงขณะที่แห้งและใช้ดินสอจุด ทำเป็นกรอบบังคับไว้สองสามจุดรอบมุมต่าง ๆ ของใบปะแผนที่ในแผนที่สำหรับใช้เป็นเครื่องหมายสำหรับปิดใบปะแผนที่ลงให้ถูกต้องเมื่อได้ทางแป้งเปียก หรือกาวที่ใบปะแผนที่แล้ว

การบันทึกการแก้ เมื่อได้แก้แผนที่ ตามประกาศชาวเรือแล้วให้เขียนปี (ถ้ายังไม่ได้เขียนไว้) และหมายเลขของประกาศชาวเรือด้วยหมึกสีไวโอเล็ตชนิดไม่เปียกน้ำ ลงที่มุมซ้ายมือขอบล่างของแผนที่ดังนี้

(ก) ถ้าเป็นแผนที่เดินเรือไทย ซึ่งกรมอุทกศาสตร์เป็นผู้โฆษณา ให้เขียนลงทางขวาของข้อความ **Small corrections** ในแนวนอนเดียวกันด้วยตัวเลขไทย เช่น

Small corrections ๒๔๙๑-๒๐๕. ๒๔๙๒ ๒๖-๒๘ หมายความว่าแผนที่นั้นได้แก้ จากประกาศชาวเรือไทย พ.ศ. ๒๔๙๑ หมายเลข ๒๐๕ และ พ.ศ. ๒๔๙๒ หมายเลข ๒๖ และ ๒๘ แต่ถ้าได้เขียนปีไว้แล้วก็ให้เขียนหมายเลขประกาศต่อไปได้ทีเดียว

(ข) ถ้าเป็นแผนที่เดินเรืออังกฤษ ซึ่งกรมอุทกศาสตร์อังกฤษเป็นผู้โฆษณา ให้เขียนลงทางขวาและข้างใต้ของข้อความ **Small corrections** ด้วยตัวเลขไทย (การที่ต้องเขียนลงข้างใต้นั้นเพราะว่าในแนวของข้อความ **Small corrections** ดังในข้อ (ก) นั้นเป็นที่สำหรับบันทึกการแก้จากประกาศชาวเรืออังกฤษ ซึ่งเจ้าหน้าที่ผู้รักษาแผนที่ของกรมอุทกศาสตร์เป็นผู้แก้และบันทึกเอง) เช่น

Small corrections ๑๙๔๘-๖๑-๑๕๐. ๑๙๔๙-๔๒-๕๐

๒๔๙๑-๗๕-๑๒๕. ๒๔๙๒-๒๖

หมายความว่าแผนที่แผ่นนั้นได้แก้จากประกาศชาวเรืออังกฤษ ค.ศ. ๑๙๔๘ หมายเลข ๖๑ และ ๑๕๐ และ ค.ศ. ๑๙๔๙ หมายเลข ๔๒ และ ๕๐ กับทั้งได้แก้จากประกาศชาวเรือไทย พ.ศ. ๒๔๙๑ หมายเลข ๗๕ และ ๑๒๕ และ พ.ศ. ๒๔๙๒ หมายเลข ๒๖

หมายเหตุ การแก้จากประกาศชาวเรืออังกฤษนั้น เป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ผู้รักษาแผนที่ของกรมอุทกศาสตร์ ซึ่งต้องแก้และบันทึกด้วยตัวเลขอาหรับดังตัวอย่างในข้อ (ข) ข้างต้น

การแก้จากประกาศชาวเรือชั่วคราว (**Temporary Notices to Mariners**) หรือประกาศล่วงหน้า (**Preliminary**) ให้แก้ในแผนที่ด้วยดินสอและให้เขียนปี และหมายเลขของประกาศ ด้วยดินสอกำกับไว้ตรงที่แก้ เช่น ป.ช.ร. ๒๕/๒๔๙๒ (ชั่วคราว) แล้วให้บันทึกการแก้นี้ลงที่มุมล่างข้างซ้ายมือของขอบแผนที่ ข้างใต้ข้อความ **Small**

corrections ด้วยดินสอไว้ด้วย (ดู ข้อ ก.) ให้ลบการแก้ประกาศชั่วคราวนี้ออก เมื่อได้รับประกาศชาวเรือใหม่บอกยกเลิกประกาศชั่วคราวที่แก้ไว้นั้น ส่วนการแก้จากประกาศล่วงหน้านั้นให้แก้ด้วยหมึก ในเมื่อได้รับประกาศชาวเรือรายงานว่า ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามที่ได้ประกาศล่วงหน้านั้นไว้แล้ว

บรรดาแผนที่เดินเรือซึ่งมีคงคลังไว้จ่าย และจำหน่ายหรือเก็บรักษาไว้ที่กรมอุทกศาสตร์ไม่มีการแก้จากประกาศชาวเรือชั่วคราวหรือประกาศล่วงหน้า (แผนที่เดินเรืออังกฤษซึ่งคงคลังที่กรมอุทกศาสตร์อังกฤษ เอเย่นต์จำหน่ายแผนที่ของกระทรวงทหารเรืออังกฤษและคลังเก็บแผนที่ของกระทรวงทหารเรืออังกฤษก็ไม่มีการแก้ดังกล่าวเช่นกัน) ฉะนั้นเมื่อรับแผนที่ไปจากกรมอุทกศาสตร์ (หรือจากหน่วยหนึ่งหน่วยใดของอังกฤษที่กล่าวข้างต้น) แล้วจะต้องแก้จากประกาศชาวเรือที่กล่าวแล้วข้างต้นที่ได้รับไว้แล้ว หรือได้รับพร้อมกับแผนที่ด้วยดินสอเท่าที่จำเป็น

การแก้จากคำเตือนการเดินเรือซึ่งประกาศทางวิทยุ (Radio Navigational Warnings) เกี่ยวด้วยวัตถุเลื่อนลอยและสิ่งกีดขวางทางเรือที่เลื่อนลอย การดับไฟชั่วคราว การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ในการเดินเรือที่สำคัญ รายงานน้ำแข็ง ฯลฯ จะต้องหมายไว้ด้วยดินสอในแผนที่ที่เกี่ยวข้องด้วยในเมื่อได้รับคำเตือน คำเตือนการเดินเรือซึ่งประกาศทางวิทยุที่มีสภาพเป็นคำเตือนถาวร และคำเตือนอันเกี่ยวด้วยวัตถุเลื่อนลอย และสิ่งกีดขวางทางเรือที่เลื่อนลอยอันเป็นอันตรายต่อการเดินเรือจะได้ออกประกาศซ้ำในประกาศชาวเรือ แต่คำเตือนอื่น ๆ จะไม่ออกประกาศซ้ำในวิธีนี้ เว้นแต่ในเหตุพิเศษ

การแก้จากข่าวที่ได้รับจากเจ้าหน้าที่อื่นนอกไปกว่ากรมอุทกศาสตร์ (สำหรับอังกฤษใช้กระทรวงทหารเรืออังกฤษ) ให้หมายไว้ด้วยดินสอในแผนที่ที่เกี่ยวข้อง แต่ห้ามลบสิ่งอันตรายในแผนที่ออกโดยมิใช่ประกาศของกรมอุทกศาสตร์เป็นอันขาด

แผนที่เดินเรืออังกฤษที่คงคลังอยู่ในกรมอุทกศาสตร์นั้น เจ้าหน้าที่ได้แก้จากประกาศชาวเรือไทย และประกาศชาวเรืออังกฤษแล้วบันทึกการแก้ไว้ที่ข้อความ Small corrections ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้อ (ข) ข้างต้น

ประกาศชาวเรือที่ได้แก้ลงในแผนที่เดินเรือแล้วให้เจ้าหน้าที่ที่แก้ลงชื่อรับรองไว้ในประกาศชาวเรือนั้น ดังนี้

ได้แก้ถูกต้องแล้ว

ชื่อ .....

ตำแหน่ง .....

วัน เดือน ปี .....

ตอนที่ 5
แนวทางเรือ (The Ship's Track)

การหาแนวทางเรือนั้น จำเป็นต้องตั้งต้นหาจากตำบลที่ที่ทราบแล้ว ถ้าตำบลที่ที่ทราบนี้หาได้จากเส้นตำบลที่ 2 เส้น หรือมากกว่าตัดกันแล้วให้หมายตำบลที่ไว้ด้วยวงกลมเล็กๆ ตำบลนี้เรียกว่า

1. ที่เรือแบริง (Fix.) คือเมื่อหาเส้นตำบลที่ได้จากการตรวจวัตถุบนพื้นโลก (วัดแบริงที่หมายบนพื้นโลก) ใช้กำกับด้วยอักษรย่อ Fix.

หรืออีกนัยหนึ่ง ที่เรือแบริง คือตำบลที่เรือได้จากการวัดแบริงวัตถุบนพื้นโลก

2. ที่เรือตรวจ (Observed position) คือเมื่อหาเส้นตำบลที่ได้จากการตรวจวัตถุท้องฟ้า (วัดแดดหรือวัดดาว) และใช้กำกับด้วยอักษรย่อ Obs.

หรืออีกนัยหนึ่ง ที่เรือตรวจ คือตำบลที่เรือที่ได้จากการวัดหรือตรวจวัตถุท้องฟ้า

ฉะนั้นตำบลที่เรือที่ทราบ ณ เวลาหนึ่งเวลาใดจึงใช้เขียนไว้ในแผนที่ ดังนี้

⊙ Fix.110 หรือ ⊙ Obs.110

หมายเหตุ เส้นตำบลที่ได้อธิบายไว้อย่างละเอียดในตอนที่ 6 แล้ว

การปิดแนวทางเรือ

วิธีปิดแนวทางเรือจากตำบลที่ที่ทราบแล้ว มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. ปิดเข็มถือท้ายและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปในน้ำได้จริง (Speed made good through the water) ลง ฉะนั้นตำบลที่ที่เรือถึงนี้จึงเรียกว่า ที่เรือรายงาน (Dead reckoning position)

2. ปิดอาการกระทำของสิ่งต่อไปนี้ลงต่อจากที่เรือรายงาน

(ก) กระแสน้ำ (Current)

(ข) กระแสน้ำขึ้นลง (Tidal stream)

(ค) ลม (ในข้อนี้คิดเฉพาะลมที่มีนอกเหนือไปจากที่ได้คิดแก้ไว้แล้ว - สำหรับอัตราเร็วที่เรือแล่นไปในน้ำได้จริง)

ตำบลที่เรือที่ได้ครั้งหลังจากอาการของสิ่งทั้งสามที่กล่าวแล้วข้างบนนี้ เรียกว่า ที่เรือประมาณ (Estimated position)

ลม อาการของลมที่กระทำต่อเรือนั้นย่อมไม่เท่ากัน ย่อมแตกต่างกันตามรูปร่างชนิดและแบบของเรือ และนับว่าเป็นการจำเป็นมากสำหรับนักเดินเรือที่จะต้องรวบรวมรายการ

ต่าง ๆ อันเกี่ยวกับรายละเอียดของเรือของคนที่เกี่ยวข้องกับกำลังลมต่าง ๆ ในทิศสัมพันธ์ต่าง ๆ ไว้

ลมกระทำกับเรือให้เกิดอาการ 2 ประการ

1. อาการกระทำของลมต่อตัวเรือและส่วนประกอบตัวเรือตอนบน - (Superstructure) ซึ่งทำให้เกิด

(ก) ทวีหรือลดอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริงในน้ำ ผลอันนี้ได้คิดให้ไว้ในการหาที่เรือรายงาน

(ข) พัดให้เรือลอยตกไปทางปลายลม อาการนี้ย่อมได้แก้ไว้เสมอแล้วในตัว โดยแก้ให้หัวเรือหันเข้าหาลมไว้ โดยมากถ้าคนถือท้ายไม่ชำนาญหรือเลินเล่อแล้ว อาจทำให้เข็มที่ถือท้ายไปเมื่อคิดเฉลี่ยแล้วผิดเข้าหาทางต้นลมของเข็มที่สั่ง ให้ถือไว้ได้ประมาณ 2 ถึง 3 องศา

โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะสังเกตได้จากเรือเบา ซึ่งแล่นตามน้ำตามลม คือมีลมและน้ำพัดทางท้ายเรือขวาหรือท้ายเรือซ้าย อังกฤษเรียกการแล่นเช่นนี้ว่า "boring to windward"

อาการกระทำของลมนี้มีวิธีตรวจหาได้ 2 วิธี

(1) โดยสังเกตทิศทางของหัวเรือทุก 2 หรือ 3 วินาที สักครึ่งชั่วโมงหรือกว่านั้น แล้วจะได้เข็มปานกลางที่จะต้องถือท้าย

(2) โดยเปรียบเทียบแนวทางเรือซึ่งเครื่องจดทางเรืออัตโนมัติ (Automatic plotting instrument) ที่ถูกต้องได้ทำไว้กับเข็มเรือที่คนถือท้ายได้รับคำสั่งให้ถือท้ายไป (ข้อนี้จะทำได้ต่อเมื่อมีเครื่องมือชนิดที่กล่าวแล้ว)

2, อาการลอย (Drift) ของน้ำบนผิวพื้นทะเล เนื่องจากอำนาจลม อาการลอยนี้สามารถคาดคะเนเอาได้โดยอาศัยความชำนาญเท่านั้น และรู้ลักษณะอุตุนิยมใน 48 ชั่วโมงที่แล้วมา ในบริเวณที่เรือกำลังแล่นไป

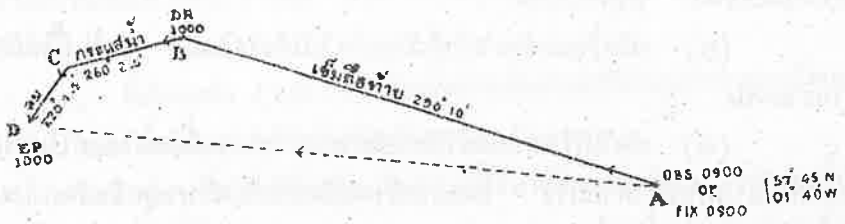
กฎที่ดีในการกะประมาณอาการลอยนี้มีว่า ตามปรกติปรากฏว่าอาการลอยของน้ำบนผิวพื้นทะเล มีความเร็วประมาณ 1/50 ของความเร็วลม และในเขตละติจูดอบอุ่น (Temperate latitde) แล้วทางของอาการลอยเฉเข้ามาทิศที่ลมพัดไปประมาณ 40° ในกึ่งทรงกลมเหนือจะเฉเข้าทางขวา และในกึ่งทรงกลมใต้เฉเข้าหาทางซ้าย

ตัวอย่างแสดงการใช้สิ่งเหล่านี้เข้าแก้เมื่อขีดแนวทางเรือ

สมมุติว่าเวลา 0900 เรืออยู่ในแลต.57° 45′ น. ลอง. 1° 40′ ตก แล่นเข็ม 290° อัตราเร็ว 10 นอต กระแสน้ำพัดไปทิศ 260° ความเร็ว 2.5 นอต (หาได้จากแผนที่กระแสน้ำ) ลมทิศ นอ. กำลัง 8

วิธีทำ ขั้นที่ 1 ปิดเข็มแนวทางเรือที่ถือท้ายและกะอัตราที่เรือแล่นไปในน้ำได้จริง

ในรูป 63 จุดตั้งต้น A นั้นอาจเป็นที่เรือแบริงหรือที่เรือตรวจ หรือเป็นแลต. ลอง. ที่ให้ไว้ก็ได้



รูป 63

วางไม้บรรทัดขนานลงให้ใกล้กับวงเข็มทิศอันใกล้กับที่เรือที่สุด ให้ขอบไม้บรรทัดจดกับศูนย์กลางวงเข็มและขีด 290° ซึ่งเป็นเข็มถือท้าย และเพื่อตรวจสอบให้ถูกต้องแน่นอนยิ่งขึ้น จงดูว่าขอบไม้บรรทัดขนานนั้นผ่านทิศ (290°-180°) คือ 110° ด้วยหรือไม่ แล้วเลื่อนไม้บรรทัดขนานไปยังจุดตั้งต้น A ให้ขอบไม้บรรทัดผ่านจุดนี้ แล้วเขียนเส้นตรงลงให้ยาวพอควรแก่การเล่นเรือในทิศนี้ เส้นนี้จะเป็นเข็มเรือ ส่วนระยะทางที่เรือแล่นไปในน้ำระหว่างเวลา 0900 และ 1000 นั้นได้จากล็อกปาเต้นต์ (หรือล็อกชนิดใดก็ได้ซึ่งใช้วัดระยะทางเรือเดิน) หรือตารางบอกรอบเครื่องจักร (Revolution table) ตามตัวอย่างอันนี้ อัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริงเป็น 10 นอต วัดระยะ 10 ไมล์จาก มาตราส่วนแลต. (ขอบแลต.) ตามแลต.ของ A แล้วกะลงจากจุด A ไปตามเข็มก็จะได้จุด B จุด B นี้เรียกว่า "ที่เรือรายงาน"

เขียนกากบาทขนาดเล็กและอักษรกำกับจุดนี้ ดังนี้

+D.R.1000

ถ้าหากว่าใช้เข็มแม่เหล็ก จะต้องเอาดิวิเอชั่นแก้กับเข็มเรือเสียก่อน แล้วจึงขีดเข็มไปจากวงเข็มแม่เหล็ก

หมายเหตุ (ก) ถ้ามีเครื่องจดทางเรืออัตโนมัติแล้ว เอาเข็มทิศที่เชื่อได้ และล็อกปาเต้นต์ที่เชื่อได้มากระทำร่วมกันแล้ว ก็จะได้ที่เรือรายงานอยู่เสมอตลอดเวลา

(ข) ที่เรือรายงานนั้น จะต้องคิดเอาอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริงในน้ำเข้าเกี่ยวข้องด้วย จะต้องแก้อัตราเร็วของเรือที่ลดลงหรือทวีขึ้นอันเกิดจากอาการของ

(1) ทวนคลื่นหรือตามคลื่น

(2) อาการของลมที่กระทำต่อตัวเรือ เป็นทวนลมหรือตามลม

ขั้นที่ 2 ขีดอาการของกระแสน้ำ กระแสน้ำขึ้นลง หรืออาการของลมต่อจากที่เรือรายงาน (อาการต่าง ๆ นี้เป็นอาการนอกจากส่วนที่ได้เอาแก้เข้าแล้วเมื่อหาอัตราเร็วที่แล่นไปได้จริงในน้ำ)

ในตอนนี้จำต้องพิจารณาถึงกระแสน้ำขึ้นลง ซึ่งไหลไปในทิศ 260° ด้วยความเร็ว 2.5 นอต และอาการของลมซึ่งเป็นทิศ นอ. กำลัง 8

โดยการกะประมาณเอาจากสถิติ ซึ่งได้จากการรวบรวมไว้ (ของราชนาวีอังกฤษเอาจาก Navigational Data Book) หรือโดยคำนวณจากกฎที่ได้กล่าวแล้วอย่างใดอย่างหนึ่ง จะประมาณได้ว่าอาการของลมที่กระทำต่อตัวเรือ และอาการลอยของน้ำบนผิวพื้นทะเลจะทำให้เรือตกไปในทิศ 220° อัตราเร็ว 1.5 นอต

จากจุด B ที่เรือรายงานเวลา 1000 (1000 D.R.) ขีดเส้น BC ไปในทิศ 260° ระยะ 2.5 ไมล์ เส้นนี้แทนทิศและความเร็วของกระแสน้ำขึ้นลงที่ทำให้เรือลอยตกไป

จากจุด C เขียนเส้น CD ไปในทิศ 220° ระยะ 1.5 ไมล์ เส้นนี้แทนทิศและความเร็วที่ลมทำให้เรือตกไป

หมายเหตุ อัตราเร็วที่แล่นไปได้จริงในน้ำอันเกิดจากอำนาจของลมที่จะทำให้อัตราเร็วลดลงหรือมากขึ้นนั้น ได้คิดเข้าเกี่ยวแล้วในตอนที่หาที่เรือรายงาน ที่ได้อธิบายมาแล้ว

จุด D เรียกว่า "ที่เรือประมาณ" และใช้กำกับด้วยสามเหลี่ยมเล็กดังนี้

△ E.P.1000

เส้นไข่ปลา AD เป็นแนวทางเรือจริงซึ่งเรือจะแล่นไปได้จริงบนพื้นน้ำ และถ้าหากว่าเมื่อได้หาเข็มที่จะต้องถือท้ายไว้ล่วงหน้าแล้วควรต้องขีดแนวทางเรือนี้ลงบนแผนที่ เพื่อตรวจพิจารณาดูว่าเรือไม่ได้เข้าไปใกล้สิ่งอันตรายอย่างใดจนเกินไปนัก

ฉะนั้นอาจให้วิเคราะห์ศัพท์ของ "ที่เรือประมาณ" (Estimated Position) ได้ว่า เป็นตำบลที่เรือที่กะประมาณที่ดีที่สุด ซึ่งได้ทำมาจากที่เรือแบริงครั้งสุดท้าย หรือที่เรือตรวจอันเชื่อถือได้ โดยใช้สิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดที่ทราบที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ผิดไปเข้าคิดแก้ด้วยแล้ว

ถ้าหากตรวจสอบหาที่เรือโดยใช้การหยั่งน้ำ ตรวจวัตถุท้องฟ้าที่ยังสงสัยอยู่หรือใช้เส้นตำบลที่เพียงเส้นเดียว ดังจะกล่าวต่อไปนี้ เป็นต้น ไม่ตรงกับที่เรือประมาณแล้วจะเลยลงความเห็นเอาเป็นที่แน่นอนว่าที่เรือประมาณนั้นผิดก็ยังไม่สู้เหมาะนัก ควรจะต้องตรวจสอบหาที่เรืออีกสองสามครั้งจนกว่าจะได้ที่เรือแบริงแน่นอน หรือที่เรือตรวจอันถูกต้องแล้วเสียก่อนจึงจะลงความเห็นได้ ฉะนั้นควรคำนึงถึงที่เรือประมาณไว้บ้าง หรืออย่าตัดทิ้งเสียเลยทีเดียว

สรุปความ ว่าด้วยตำบลที่เรือในแผนที่

ที่เรือแบริง (Fix.) เป็นตำบลที่เรือซึ่งได้จากการตรวจวัตถุบนพื้นโลก อันเชื่อถือได้

ที่เรือตรวจ (Observed Position) เป็นที่เรือซึ่งได้จากการตรวจวัดฤทัยฟ้า (การวัดแดดวัดดาว) อันเชื่อถือได้

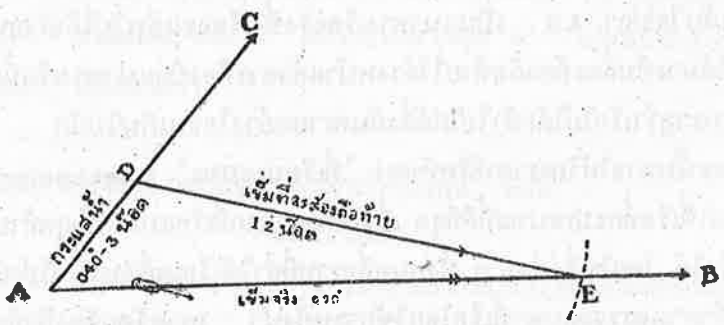
ที่เรือรายงาน (Dead Reckoning Position) เป็นตำบลที่เรือ ซึ่งได้จากการกะอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริงในน้ำ ลงตามเข็มจากที่เรือแบริงครั้งสุดท้าย หรือที่เรือตรวจอันเชื่อถือได้

ที่เรือประมาณ (Estimated Position) เป็นตำบลที่เรือที่กะประมาณดีที่สุด ซึ่งได้ทำมาจากที่เรือแบริงครั้งสุดท้ายหรือที่เรือตรวจอันเชื่อถือได้โดยใช้สิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดที่ทราบที่อาจทำให้เรือเคลื่อนที่ผิดไปเข้าแก้ด้วย

วิธีหาเข็มเมื่อแล่นในที่ที่มีกระแสน้ำขึ้นลง

ตัวอย่าง เข็มจริง (Course made good) จาก A ไป B เท่ากับ 090° เรือแล่น 12 นอต ต้องการแล่นจาก A ไปยัง B กระแสน้ำขึ้นลงพัดไปในทิศ 040° ความเร็ว 3 นอต (โดยการกะประมาณ) จะต้องถือท้ายเข็มอะไร

วิธีทำ เขียนเข็มจริง AB เท่ากับ 090° ลงดังในรูป 64 จากจุด A เขียนทิศของกระแสน้ำ AC เท่ากับ 040° แล้วกะความเร็วของกระแสน้ำลงบนเส้น AC ใช้กำหนดระยะเวลาพอสมควรตามมาตราส่วนที่ต้องการในรูป 64 นี้ใช้กำหนดเวลาใน 1 ชั่วโมง คือความเร็วของกระแสน้ำ 3 ไมล์เท่ากับ AD



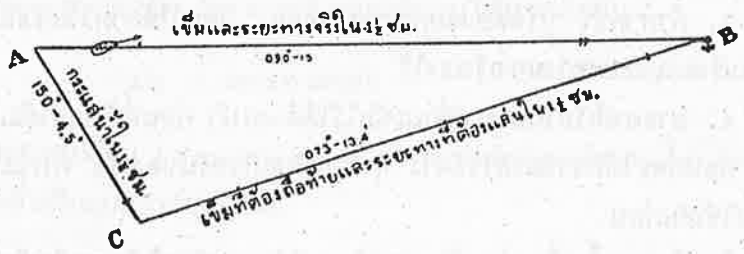
รูป ๖๔

เอา D เป็นศูนย์กลาง และเอาระยะทางที่เรือแล่นในกำหนดเวลาเดียวกัน (12 ไมล์) และมาตราส่วนเดียวกันเป็นรัศมีเขียนขอบวงกลมตัด AB ได้ E ฉะนั้น DE เป็นเข็มที่ต้องถือท้าย

เข็มที่ได้นี้เป็นเข็มที่ต้องถือท้ายไปจริงจาก A ระยะทาง AE เป็นอัตราเร็วจริงที่แล่นเข็มเดียว (Speed made good) ในทิศ 090° และตามปรกติใช้กำกับด้วยหัวลูกศร 2 อัน

วิธีหาเข็มและอัตราเร็วเพื่อให้เรือแล่นไปยังตำบลที่ที่กำหนดให้ภายในกำหนดเวลาในที่ที่มีกระแสน้ำขึ้นลง

ตัวอย่าง เข็มจริง (Course made good) จาก A ไปยังที่ทอดสมอ B เท่ากับ 090° ระยะห่าง 15 ไมล์ เรือลำหนึ่งต้องการแล่นจาก A ให้ไปถึง B ในเวลา $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง จะต้องถือท้ายเข็มอะไรและใช้ความเร็วเท่าใด ในเมื่อปรากฏว่าในบริเวณนั้นกระแสน้ำพัดไปในทิศ 150° ความเร็ว 3 นอต



รูป ๖๕

วิธีทำ ต่อเส้น AB ดังในรูป 65 เส้นนี้เป็นเข็ม และระยะทางจริงที่ต้องแล่นใน $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมงเข็มเป็น 090° และระยะทางเท่ากับ 15 ไมล์

จาก A เขียนทิศของกระแสน้ำคือทิศ 150° และกะระยะ AC ให้เท่ากับความยาวของระยะทางที่น้ำพัดไปใน $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง = $4\frac{1}{2}$ ไมล์ แล้วต่อ CB เข้าหากัน

ฉะนั้น CB เป็นเข็มที่ต้องถือท้ายเท่ากับ 073° และระยะ CB เป็นระยะทางที่เรือต้องแล่นใน $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง = 13.4 ไมล์ เพราะฉะนั้น อัตราเร็วของเรือเท่ากับ $\frac{13.4}{1.5}$ ชม. --------เท่ากับ 8.9 นอต

วิธีหาหรือลงที่เรือรายงานในระหว่างแปรกระบวน

ในขณะที่กองเรือทำการแปรกระบวนอยู่นั้น ย่อมมีการเปลี่ยนเข็มกันบ่อย ๆ และเปลี่ยนมาก ๆ ด้วย ทั้งระยะทางที่เรือแล่นตามเข็มหนึ่ง ๆ นั้นก็สั้นด้วย ฉะนั้นเมื่อเขียนเส้นโค้งแนวทางเรือขณะที่เลี้ยวหลาย ๆ ครั้งนั้นแล้ว ย่อมทำให้การชี้ตำแหน่งที่เรือนั้นมีบริเวณกว้างขวางมาก เพราะฉะนั้นเมื่อต้องการหาที่เรือรายงานให้แน่นอนแล้ว จึงเป็นการสำคัญที่จะต้องแก้วงหันของเรือและแก้อัตราเร็วของเรือที่เสียไปในขณะเมื่อเลี้ยวเรือ

เรือที่อยู่ในระหว่างทำการแปรกระบวนอยู่นั้น อาจมีความจำเป็นที่จะต้องบีดเข็มไปยังตำบลที่ใดตำบลที่หนึ่งโดยเฉพาะไม่ว่าในขณะใดขณะหนึ่งได้ ฉะนั้นจึงนับว่าเป็นการสำคัญที่จะต้องรู้ที่เรือรายงานไว้เสมอเพื่อว่าจะลงตำบลที่เรือในขณะใดขณะหนึ่ง ในแผนที่ได้โดยให้เสียเวลาน้อยที่สุด

หมายเหตุ เมื่อเรือหลายลำรวมกันเข้าเป็นหมวดเรือ มีระยะห่างพอสมควรซึ่งสามารถติดต่อกับเรือธงได้โดยทัศนสัญญาณ และอาจต้องแยกกระบวนในขณะที่แปรกระบวนอยู่นั้นได้แล้ว ขอแนะนำให้บีดแนวทางเรือธงไว้ เนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

1. เรือธงยิ่งเปลี่ยนเข็มน้อยครั้งเพียงใดและอัตราเร็วยิ่งประจำคงที่เท่าใดก็จะลดความผิดได้มากเท่านั้น

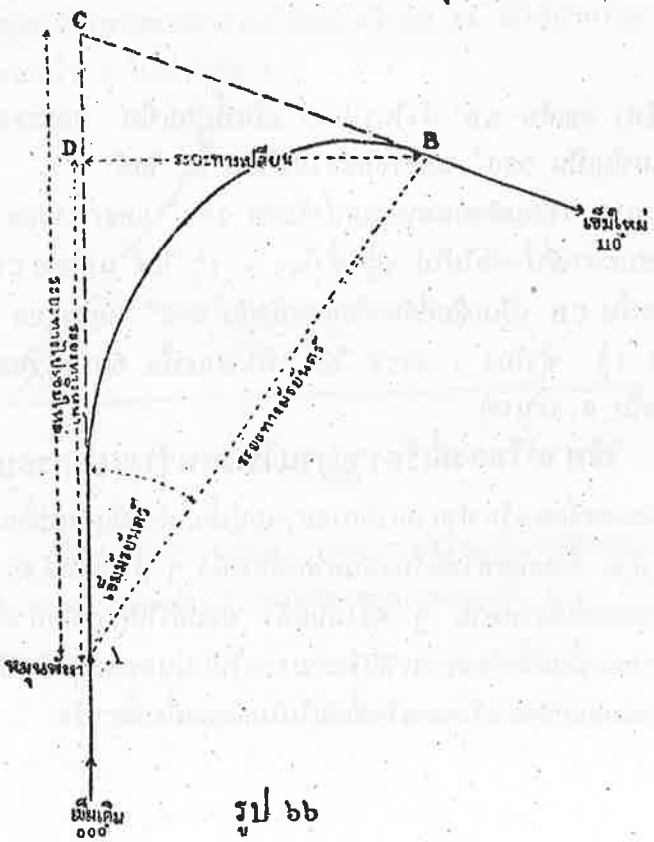
2. เวลาที่จะไว้ในปูมสัญญาณนั้นมีประโยชน์มากในการตรวจสอบเวลาสำหรับหาที่เรือ

3. ถ้าหากว่า เรือต้องแยกกระบวนออก โดยมิได้คาดไว้แล้วก็ย่อมหาที่เรือได้ทันทีโดยวัดแบริงและระยะทางของเรือธงไว้

4. อาจลงที่เรือในการเปลี่ยนเข็มไว้ได้ล่วงหน้า ก่อนที่เรือจะได้แล่นไปจริง

ก่อนที่จะได้พิจารณาถึงวิธีต่าง ๆ สำหรับแก้วงหันของเรือ ควรจะต้องรู้วิเคราะห์ศัพท์ที่จะต้องใช้เสียก่อน

ในรูป 66 นั้นเรือแล่นเข็ม 000° ได้หมุนพังงาให้หางเสือหันที่จุด A เพื่อเปลี่ยนเข็มเป็น 110° และแล่นตรงตามเข็มใหม่ 110° ที่จุด B



รูป ๖๖

เข็มมัธยันตร์และระยะทางมัธยันตร์ (Intermediate Course and Distance) เป็นมุมและระยะทางจากจุดซึ่งหมุนพังงาให้หางเสือหันจนถึงจุดที่เรือแล่นตรงไปตามเข็มใหม่

CAB = เข็มมัธยันตร์

AB = ระยะทางมัธยันตร์

ระยะทางไปเข็มใหม่ (Distance to New Course) เป็นระยะทางจากจุดซึ่งมุมพังงาให้หางเสือหัน จนถึงที่แนวเข็มใหม่ และแนวเข็มเก่าตัดกัน

AC = ระยะทางไปยังเข็มใหม่

ระยะทางหน้า (Advance) เป็นระยะทางที่จุดศูนย์กลางน้ำหนักของเรือได้ถลำล้ำไปในแนวทางของเข็มเดิม วัดจากจุดซึ่งหมุนพังงานให้หางเสือหัน

AD = ระยะทางหน้า

ระยะทางเปลี่ยน (Transfer) เป็นระยะทางที่จุดศูนย์กลางน้ำหนักของเรือได้เลื่อนไปในทิศทางซึ่งเป็นมุมฉากกับเข็มเดิม

DB = ระยะทางเปลี่ยน

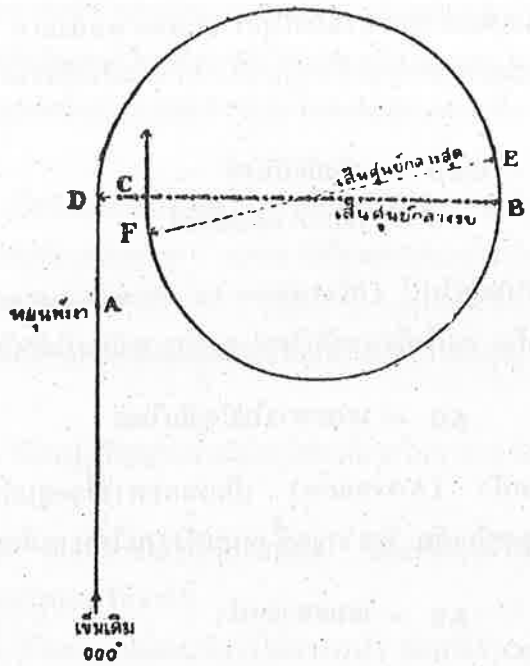
ในรูป 67 เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 000° เปลี่ยนเข็มไปทางขวาและหัน 360° ได้หมุนพังงาตรงจุด A เรือหัน 180° เมื่อถึงจุด B และหัน 360° เมื่อถึงจุด C

เส้นศูนย์กลางรบ (Tactical Diameter) เป็นระยะตั้งฉากในระหว่างเข็มเดิมของเรือและตำบลที่เรือเมื่อเรือหัน 180°

BD = เส้นศูนย์กลางรบ

เส้นศูนย์กลางสุด (Final Diameter) เป็นเส้นศูนย์กลางของทางเรือที่เป็นวงกลมซึ่งเรือยังคงแล่นไป ถ้าหากยังหมุนพังงาไว้ ในเมื่อทางของเรือกลายเป็นวงกลมตามที่ถือกันในทางปฏิบัติ

EF = เส้นศูนย์กลางสุดโดยใกล้เคียง



รูป 67

ความยาวของขอบ (Length of arc) เป็นระยะทางจากจุดถึงจุดตามขอบทางเรือซึ่งเกิดขึ้นจริงในขณะที่เรือหัน

รายการต่าง ๆ ของเรือที่กล่าวข้างบนนั้นหาได้จากการหาวงหันของเรือ

วิธีรักษาที่เรือรายงานให้ถูกต้อง ในแผนที่มาตราส่วนใหญ่

มีวิธีสำหรับแก้วงหันของเรืออยู่หลายวิธี ซึ่งวิธีต่าง ๆ ทั้งหมดเหล่านี้ต้องอาศัยการชีดทางเรือประกอบ

1. เครื่องจดทางเรือ (Plotting instryment)
2. เข็มมัธยันตร์ และระยะทางมัธยันตร์ (Intermediate course and distance)
3. ระยะทางไปเข็มใหม่ (Distance to new course)
4. เขียนวงหันของเรือด้วยวงเวียน

5. ระยะเวลากึ่งกลางของวงหัน (Mid-time of turn)

6. ระยะทางหน้าและระยะทางเปลี่ยน (Advance and transfer)

7. ใช้โปรแตรกเตอร์ขีดแทนวงหันของเรือ (Using a protractor cut to represent the turning circle)

1. เครื่องจดทางเรือ มีอยู่ 2 ชนิด คือ

(ก) the Brewerton course recorder

(ข) the Mark V course recorder

2. เข็มมัธยันตร์และระยะทางมัธยันตร์ ถ้าเรือ X ในรูป 68 แล่นเข็ม 000° และหมุนพังงาเพื่อเปลี่ยนเข็มเป็น 110° เมื่อเรืออยู่ที่ A เวลา 0900 แล้วเรือจะแล่นไปตามเส้นโค้ง ADB และจะแล่นตรงไปตามเข็มใหม่ 110° ที่จุด B

โดยอาศัยรายการจากการหาวงหันของเรือ ก็จะลงจุด B ได้ และจะหาเวลาที่เรือจะต้องแล่นจาก A ไปยัง B ตามขอบของวงกลมได้

ในระหว่างที่เรือหันจาก A ไปยัง B นั้นเรือจะต้องเสียอัตราเร็วไป และเมื่อแล่นตรงไปตามเข็มใหม่นั้น เรือจะแล่นไปด้วยอัตราเร็วไม่เท่าเดิม ฉะนั้น การที่ขีดทางเรือต่อจากจุด B จึงยังไม่ถูกต้อง เว้นเสียแต่จะได้แก้อัตรุาเร็วที่เสียไปเข้าด้วย

สำหรับเรือหนักนั้น ในการที่จะแล่นให้ได้อัตราเร็วที่เสียไปแต่ละนอตนั้น ต้องแล่นเป็นระยะทาง 100 หลา

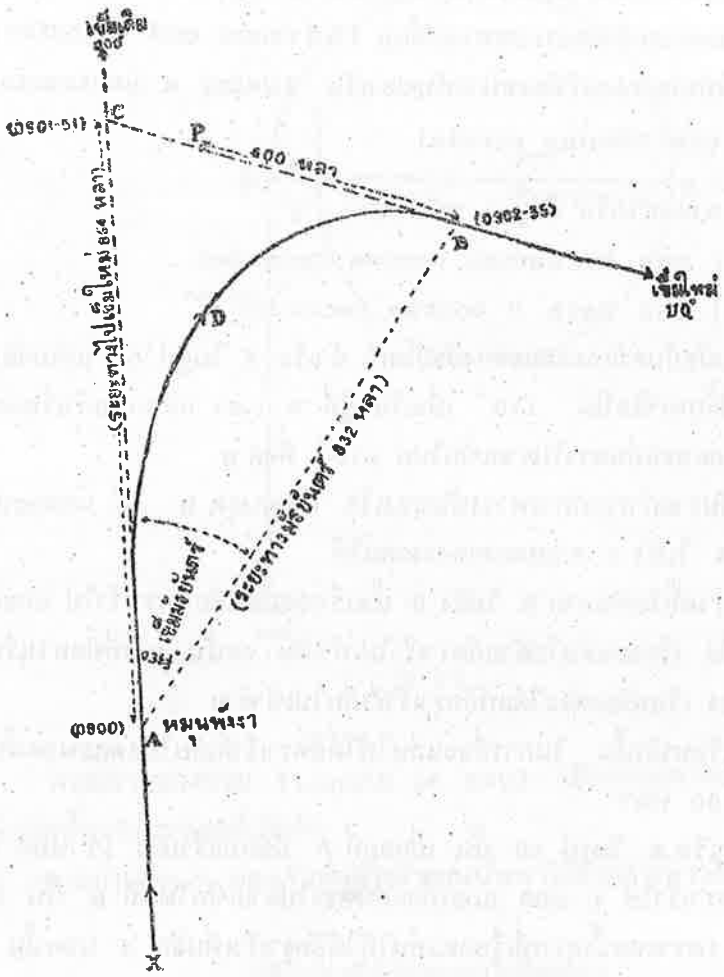
สมมุติว่าเรือ X ในรูป 68 นั้น เมื่ออยู่ที่ A มีอัตราเร็วเดิม 15 นอต และเมื่อเรือเลี้ยวนั้นได้เสียอัตราเร็วไป 4 นอต และเมื่อแล่นตรงไปตามเข็มใหม่ที่ B นั้น แล่นด้วยอัตราเร็ว 11 นอต เพราะฉะนั้นการที่เรือจะแล่นให้ได้อัตราเร็วเพิ่มอีก 4 นอตนั้น จะต้องแล่นไปเป็นระยะทาง (4×100)=400 หลา

เพราะฉะนั้นแทนที่จะกะระยะทางที่เรือจะต้องแล่นให้ได้อัตราเร็วเท่าเดิมจากจุด B ซึ่งเป็นจุดสุดเลี้ยว จึงใช้กะลงที่ P ได้ ซึ่ง BP เท่ากับ 400 หลา และใช้แก้อัตราเร็ว 15 นอต จากจุดนี้ไป

และทางที่สะดวกแล้ว การแก้ระยะทางนี้ ใช้แก้ด้วยอัตราแก้เวลา

เวลาที่ต้องเสียไปในการเลี้ยวเรือนั้นย่อมทราบได้ ฉะนั้นการที่จะกำหนดเวลานี้ไว้ให้ตรงจุด P ก็ย่อมเป็นการถูกต้อง แต่โดยที่เราสามารถลงจุด B ได้อย่างถูกต้องแล้ว ฉะนั้นจึงนับว่าวิธีที่เหมาะควรจดเวลาลงตรงจุด B ซึ่งจะเป็นเวลารวมที่ต้องเสียไปในการเลี้ยวเรือกับเวลาที่ใช้แล่นให้ได้ระยะทาง PB ตามอัตราเร็วเดิม

วิธีนี้เรียกว่า "อัตราแก้เวลา" (Time correction) และถ้าเอารวมเข้ากับเวลาเมื่อเริ่มหมุนพังงาแล้ว จะได้เวลาของจุด B อันมีอัตราเร็วเดิมซึ่งใช้ขีดที่เรือต่อไป ฉะนั้นการลงตำบลที่ทั้งหมดต่อมาภายหลังจึงจดลงได้ตามเข็มใหม่ และขีดต่อจากจุด B ไป ส่วน



รูป ๖๘

ระยะเวลานั้นคำนวณได้จากเวลาที่แก้

โดยอาศัยจากการหาวงหันของเรือ จึงทำเป็นมาตราขึ้นได้ ได้เข็มชัยยันตร์และระยะทางชัยยันตร์ในการเปลี่ยนเข็มต่าง ๆ สำหรับอัตราเร็วและมุมหางเสือต่าง ๆ

ตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นมาตราที่ทำขึ้นสำหรับเรือประจัญบานที่มีอัตราเร็ว 15 นอต ใช้มุมหางเสือ 15°

จำนวนการเปลี่ยนองศา	เข็มมัธยันตร์ องศา	ระยะทางมัธยันตร์ หลา	ไมล์	อัตราแก้เวลา นท.	วนท.
20	2	285	0.14	0	47
40	11	510	0.25	1	20
60	17	625	0.31	1	46
80	25	730	0.36	2	12
100	32	800	0.40	2	40
120	41	865	0.43	3	10
140	50	900	0.45	3	40
160	58	895	0.45	4	13
180	67	870	0.43	4	53

ถ้าหากใช้มาตราในตัวอย่างข้างบนนี้แล้ว จะลงจุด B ได้ $036\frac{1}{2}^{\circ}$ - 832 หลา จาก A อัตราแก้เวลาสำหรับเลี้ยวเป็นเวลา 2 นาที 55 วินาที (0902-55)

3. ระยะทางไปเข็มใหม่ ถ้าเอาวิธีนี้ไปใช้ในการเลี้ยวเรือสำหรับรูป 68 แล้ว จะบีดที่เรือตามเข็มใหม่ได้จากจุด C ซึ่งเมื่อลากเข็มใหม่ถอยกลับให้ไปตัดกับเข็มเดิมยืดแล้ว เรือคงหมุนพังงาเต็มที่ ณ ตรงจุด A ดังเดิม และแล่นผ่านจุด B

ได้อธิบายไว้แล้วว่าอัตราเร็วที่เสียไปในระหว่างเลี้ยวนั้นได้ใช้แก้โดยอัตราแก้เวลา ซึ่งจะได้เวลาที่ถูกต้อง ณ จุดที่เรือตั้งต้นแล่นตามเข็มใหม่จากจุด B ฉะนั้น จึงเห็นได้ชัดเจนว่า ถ้าเอาจำนวนเวลาที่เรือแล่นจาก C ไปยัง B อันเป็นจุดที่มีอัตราเร็วเท่าเดิมไปลบออกจากเวลาที่ถูกต้องของ B นี้ ก็จะได้เวลาที่ถูกต้องของเรือเมื่อเริ่มต้นแล่นตามเข็มใหม่จาก C

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของมาตรา "ระยะทางไปเข็มใหม่" ที่ทำขึ้นสำหรับเรือประจัญบานมีอัตราเร็ว 15 นอต ใช้มุมหางเสือ 10°

การเปลี่ยนเข็มองศา	ระยะทางไปเข็มใหม่ หลา	ไมล์	อัตราแก้เวลา นท.	วนท.
20	250	0.12	+ 0	43
40	384	0.19	+ 1	04
60	493	0.24	+ 1	24
80	608	0.30	+ 1	36
100	753	0.38	+ 1	50
120	975	0.49	+ 1	52
140	1400	0.70	+ 1	35

ถ้าเอามาตราในตัวอย่างนี้ไปใช้กับตัวอย่างที่ปรากฏในรูป 68 แล้วก็จะลงจุด C ได้ในระยะ 864 หลา ตามแนวเข็มเดิม 000° และอัตราแก้เวลาเป็น 1 นาที 50 วินาที (0901-50)

วิธีที่ 3 นี้ มี

(ก) ข้อดี คือ ไม่ต้องเกี่ยวข้องกับเข็มมัธยันตร์แต่อย่างใด และใช้อัตราแก้เล็กน้อยเพียงสองอย่างเท่านั้น

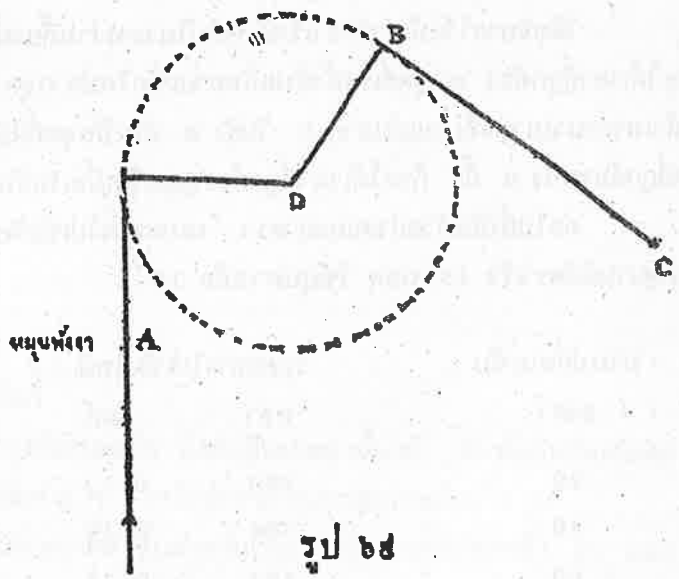
(1) ระยะทางที่จะต้องบวกเข้ากับเข็มเดิม

(2) อัตราแก้เวลา ซึ่งจะต้องบวกเข้ากับเวลาเมื่อหมุนพังงาให้หางเสือหัน เพื่อให้ได้เวลาอันถูกต้องสำหรับจุด C

(ข) ข้อเสีย คือ ใช้สำหรับการเปลี่ยนเข็มเกินกว่า 150° ไม่ได้ เพราะว่าเมื่อเลยจุดนี้ไปแล้วระยะทางไปเข็มใหม่นั้นยาวมากเกินไป

4. ใช้วงเวียนเขียนวงหัน วิธีนี้ได้แสดงไว้ในรูป 69 เป็นวิธีที่ไม่ละเอียดถูกต้องเหมือนอย่างวิธี "ระยะทางหน้าและระยะทางเปลี่ยน"

กางขาวงเวียนให้เท่ากับเครื่องหนึ่งของเส้นศูนย์กลางรบ แล้วเลือกกะจุด D เอาด้วยตา ให้อยู่ล้ำเลื่อนไปข้างหน้าจุด A นิดหน่อย จุด A นี้ เป็นจุดที่หมุนพังงาให้หางเสือหัน เอา D เป็นศูนย์กลางความยาวของครึ่งเส้นศูนย์กลางรบเป็นรัศมี เขียนวงกลมเข้าแล้วเขียนเข็มใหม่ BC ให้สัมผัสกับวงกลมที่เขียนนี้ และเขียนเวลาจริงที่เรือแล่นตรงตามเข็มนี้กำกับไว้ที่จุด B

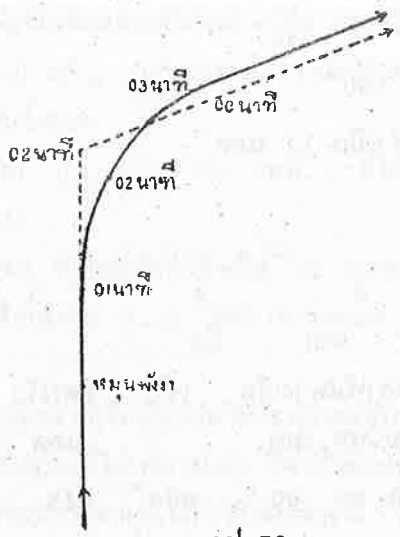


รูป ๖๙

5. ลงที่เรือโดยใช้ระยะเวลามัธยันตร์ของวงหัน จดเวลามัธยันตร์ของวงหันไว้และลงที่เรือตามแนวเข็มเดิมจนถึงเวลามัธยันตร์นี้ เมื่อถึงจุดเวลามัธยันตร์แล้วให้ลงที่เรือต่อไปตามเข็มใหม่

วิธีนี้ได้แสดงไว้ในรูป 70 ซึ่งทำให้ได้ผลใกล้เคียงเข้าไป และได้แก้อัตราเร็วที่

เสียไปเข้าบ้างเป็นบางส่วน แต่ถ้าต้องการให้ได้ผลแน่นอนมาก ๆ แล้ว ไม่ควรใช้วิธีนี้



รูป 70

6. ระยะทางหน้าและระยะทางเปลี่ยน วิธีลงที่เรือแบบนี้ได้แสดงไว้ในรูป 66

7. ใช้โปรแตรกเตอร์ตัดแทนวงหัน วิธีนี้มีข้อเสียโดยที่ต้องใช้โปรแตรกเตอร์หลายอัน คือ เมื่อเปลี่ยนอัตราเร็วครั้งหนึ่ง ๆ และเมื่อเปลี่ยนมาตราส่วนในแผ่นจดที่เรือ (plotting sheet) หรือในแผ่นที่ครั้งหนึ่ง ๆ ต้องใช้โปรแตรกเตอร์ใหม่อีกอันหนึ่ง

อัตราแก้อัตราเร็วเปลี่ยน เมื่อเปลี่ยนอัตราเร็วในระหว่างที่เรือแล่นตรงตามเข็มอยู่นั้น ถึงแม้ว่าเครื่องจักรจะทำจำนวนรอบได้ตามอัตราเร็วที่เปลี่ยนได้ทันทีก็ตาม ตัวเรือยังหาได้แล่นไปได้ตามอัตราเร็วที่เปลี่ยนใหม่นั้นไม่ เรือจะต้องเสียเวลาอยู่อีกจะต้องแล่นไปตามอัตราเร็วเดิมก่อน แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มหรือลดแล่นตามอัตราเร็วใหม่ต่อไป

สำหรับเรือหนักนั้น มีอัตราแก้ระยะทางประมาณ 100 หลา ต่อ 1 นอต ซึ่งจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่จะต้องเอาไป + (บวก) เมื่อลดอัตราเร็ว และเอาไป -(ลบ) เมื่อเพิ่มอัตราเร็ว

หมายเหตุ อัตราแก้ที่แท้จริงของเรือแต่ละลำหาได้ในระหว่างการหาวงหันของเรือและจดเป็นรายการไว้

ถ้าหันเรือเป็นมุมใหญ่แล้วต้องแก้อาการของลมด้วย เพราะว่าเมื่อหันเรือทวนลม (หันเข้าหาลม) นั้น หันได้เร็วกว่าเมื่อหันตามลม (หันออกจากลม)

ตัวอย่างการจดรายการ ตัวอย่างข้างล่างนี้แสดงวิธีการจดรายการ

จาก 0900 ถึง 1000 เรือแล่นเข็ม 000° อัตราเร็ว 15 นอต

จาก 0900 ถึง 1000 เรือแล่นเข็ม 000° อัตราเร็ว 15 นอต
เวลา 1000 เปลี่ยนเข็มเป็น 030° " "
" 1015 " 135° " "
" 1022 " 142° " "
" 1027 หันซ้าย 180° " "
" 1040 ลดอัตราเร็วเป็น 12 นอต
" 1100 หาที่เรือ

1	2	3	4	5	6
		จาก	ถึง		
อัตราแก้เวลา	(เวลาที่แก้)	เวลาหันหางเสือ	เข็ม	อัตรเร็ว	ระยะทาง
นท. วนท.	ชม.นท.วนท.	ชม.นท.วนท.		นอต	ไมล์
	09 00 00	10 00 00	000°	15	15.00+.15
0 54	10 00 54	10 15 00	030°	15	3.52+.40
1 50	10 16 50	10 22 00	135°	15	1.29+ 04
0 14	10 22 14	10 27 00	142°	15	1.19
			075°	15	0.43
4 53	10 31 53	10 40 00	322°	15	2.03
	10 40 00	11 00 00	322°	12	4.00+.15

แบบฟอร์มข้างบนนี้จะใช้ทำไว้เป็นกระดานตารางก็ได้ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับทุก ๆ วิธี

ในตัวอย่างอันหลังนี้ เมื่อเปลี่ยนเข็มน้อย ๆ ใช้ทำโดยวิธี "ระยะทางไปเข็มใหม่" และเมื่อหัน 180° ใช้ทำโดยวิธี "เข็มมัธยันตร์ และระยะทางมัธยันตร์"

เวลา 1000 หันหางเสือ ให้เอาเวลานี้ใส่ลงในช่อง 3 และเอาเข็มใหม่ 030° ใส่ลงในช่อง 4 ข้างใต้เข็มครั้งหลัง

ในช่อง 1 ในบรรทัดเดียวกับเข็มใหม่ให้ใส่อัตราแก้เวลา ซึ่งหาได้จากมาตรา "ระยะทางไปเข็มใหม่" สำหรับเข็ม 030° (ได้ 0 นท. 54 วนท.)ลง แล้วเอาอัตราแก้เวลาที่หาได้นี้บวกเข้ากับเวลาเมื่อหันหางเสือ แล้วเอาผลที่ได้ใส่ลงในช่อง 2 หา "ระยะทางไปเข็มใหม่" สำหรับ 030° (ได้.15') แล้วใส่ลงในช่อง 6 ของบรรทัดเข็มครั้งหลัง เพื่อเป็นการเพิ่มเติมระยะทางที่เรือแล่น และทำเช่นนี้ต่อ ๆ ไป สำหรับเข็มอื่น

เวลา 1027 เปลี่ยนเข็มโดยหันซ้าย 180° (คือเปลี่ยนเข็มเป็น 322°)ในที่นี้ต้องหาเข็มมัธยันตร์(067°) จากมาตราเข็มมัธยันตร์และระยะทางมัธยันตร์ แล้วใส่เข็มนี้ลงในช่อง 4 ในระหว่างเข็มเดิมและเข็มใหม่ (คือ ระหว่างเข็มเมื่อยังไม่ได้เปลี่ยนและเข็มที่เปลี่ยนเมื่อหันซ้าย 180°แล้ว) แล้วหาระยะทางมัธยันตร์ได้ 0.43' เขียนลงในช่อง 6 และใส่วงเล็บปีกกาที่เข็มทั้งสอง

อัตราแก้เวลา (4 นท. 53 วนท.) ที่ได้นั้นเขียนลงในช่อง 1 ในบรรทัดเดียวกันกับเข็มใหม่ 322°

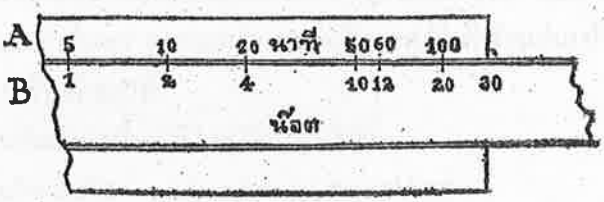
เวลา 1040 เมื่อลดอัตราเร็วเป็น 12 นอตนั้น เรือยังแล่นเลยไปอีกเป็นระยะทาง 3×100 หลา หรือเท่ากับ 0.15 ไมล์ เอาระยะทางนี้ไปบวกเข้ากับระยะทางที่เรือแล่นในช่อง 6

ในการลงหรือหาที่เรือรายงานในระหว่างแปรกระบวนตามวิธีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ ถ้ามาตราส่วนของแผนที่ไม่เหมาะแล้ว ก็ควรใช้แผ่นจดที่เรือ **(plotting sheet)** แผ่นจดที่เรือนี้สำหรับราชนาวีอังกฤษได้ทำไว้โดยเฉพาะ ให้หมายเลข 5004 หรือ 5004 **(a)** เป็นแผนภาพ

มาตราส่วนระยะทาง **(The Distance Scale)** การคำนวณหาระยะทางที่เรือแล่นโดยอัตราเร็วต่าง ๆ ในชั่วเวลาหนึ่งนั้น มีวิธีหาอยู่หลายวิธี

วิธีที่ดีที่สุดใช้ไม้บรรทัดเลื่อน **(Slide rule)** ดังได้แสดงไว้ในรูป 71

ไม้บรรทัดเลื่อนใช้เป็นมาตราส่วนอัตราเร็วและระยะทาง
ตั้งสำหรับอัตราเร็วเรือ 12 นอต



รูป 71

ให้มาตราส่วน **A** แทนเวลาเป็นนาที และมาตราส่วน **B** แทนอัตราเร็วเรือเป็นนอต

ตั้งอัตราเร็วหรือมาตราส่วน **B** ให้ตรงกับขีด 60 ของมาตราส่วน **A**

ฉะนั้น ก็จะหาระยะทางที่เรือแล่นในชั่วเวลาใด ๆ ได้ทั้งสิ้นโดยอ่านเอาจากมาตราส่วน **B** ในรูป 71 นั้น ได้ตั้งไม้บรรทัดเลื่อนไว้สำหรับอัตราเร็วเรือ 12 นอต

วิธีหาอัตราเร็วของเรือเมื่อรู้ระยะทางที่เรือแล่น เลื่อนระยะทางที่เรือแล่นบนมาตราส่วน B ให้ตรงกับชั่วเวลาที่เรือแล่นบนมาตราส่วน A แล้วจะอ่านอัตราเร็วเรือได้บนมาตราส่วน B ตรงขีดใต้ขีด 60 ของมาตราส่วน A

ตอนที่ 6

วิธีหาที่เรือโดยการตรวจวัตถุบนพื้นโลก(เมื่อเห็น เกาะ. ฝั่ง ฯลฯ) และวิธีหาที่เรือในเมื่อมีกระแสน้ำขึ้นลง

ในตอนที่ 5 ได้ให้วิเคราะห์ศัพท์ของที่เรือประมาณไว้ว่าเป็นตำบลที่เรือที่หาได้จากเข็มถือท้าย และอัตราเร็วโดยประมาณที่เรือแล่นไปได้ในน้ำ โดยคิดรวมทั้งระยะทางที่กระแสน้ำขึ้นลง (Tidal stream) กระแสน้ำ (current), ลมและคลื่นอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้เรือเคลื่อนที่ไปเข้าด้วยแล้ว

ที่เรือประมาณนี้ยังนับว่าไม่ถูกแท้ทีเดียวนัก ย่อมมีผิดอยู่อีก โดยเหตุฉะนี้นักเดินเรือจึงจำเป็นอยู่เสมอที่ต้องหาที่เรือโดยตรวจวัตถุบนพื้นโลกอันมีปรากฏอยู่แล้วในแผนที่ หรือถ้าในโอกาสที่ตรวจวัตถุบนพื้นโลกไม่ได้แล้วก็ต้องใช้ตรวจวัตถุท้องฟ้าต่อไป

เส้นตำบลที่ และที่เรือแบริง

เส้นตำบลที่ (A position line) ในแผนที่นั้นจะเป็นเส้นตรงหรือเส้นรอบวงกลมก็ได้ทั้งสิ้นซึ่งมีเรืออยู่ในเส้นนั้นด้วยที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของเส้น (หรืออีกนัยหนึ่งเส้นตำบลที่นี้เรียกว่าเส้นแบริงในเมื่อหาได้โดยการแบริง)

ที่เรือแบริง (A fix) เป็นตำบลที่ซึ่งเกิดจากเส้นตำบลที่สองเส้นหรือมากกว่าที่หาได้ในเวลาติด ๆ กัน ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นเวลาเดียวกันตัดกันเป็นมุมพอเหมาะ (ดู - หน้า 203 ตอนที่ 5)

ที่เรือแบริงโดยใช้วัตถุสิ่งเดียวสองครั้ง ในเวลาต่างกัน (Running fix) เป็นตำบลที่ซึ่งได้จากการใช้เส้นตำบลที่สองเส้นซึ่งตรวจในเวลาต่างกัน และคิดระยะทางที่เรือแล่นและอาการของกระแสน้ำขึ้นลง กระแสน้ำและลมในระหว่างที่เรือแล่นเข้าเกี่ยวข้องด้วย

วิธีหาเส้นตำบลที่

การหาเส้นตำบลที่หาได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

1. แบริงเข็มทิศ (Compass bearing)
2. แบริงสัมพัธ (Relative bearing)
3. แบริงผ่าน (Transit หรือ range)
4. วัดมุมแนวนอน (Horizontal sextant angle)
5. วัดมุมแนวยืน (Vertical sextant angle of an object of known height)
6. วัดระยะทางด้วย Distance meter หรือ Stadimeter เมื่อรู้สูงของวัตถุ
7. วัดระยะทางด้วยกล้องวัดระยะทาง

8. ระยะขอบฟ้า (A horizon range)

9. การหยั่งน้ำ (Sounding)

10. เสียงสะท้อนของไซเร็น (An echo of the siren)

11. แบริงวิทยุ (W/T-D/F bearing)

12. Radio sound ranging

13. Submarine sound ranging

14. Taut-wire measuring gear

15. ตรวจทางดาราศาสตร์ (Astronomical observation)

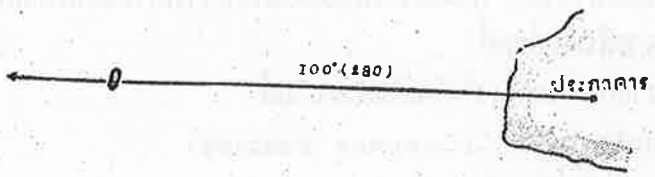
16. ระยะเรดาร์ (Radar range)

ตามปรกติเมื่อเขียนเส้นตำบลที่ลงในแผนที่ มักเขียนหัวลูกศรกำกับไว้หนึ่งอัน เพื่อให้เห็นแตกต่างกับเส้นอื่น ๆ ในแผนที่ แต่เมื่อเลื่อนเส้นตำบลที่ไปต้องเขียนหัวลูกศรกำกับไว้สองอัน

1. แบริงเข็มทิศ (Compass Bearing) สมมุติว่าเรือลำหนึ่ง แบริงกระโจมไฟด้วยเข็มทิศได้ 100° ถ้าเขียนเส้นตรงไปในทิศกลับตรงข้าม (280°) จากตำบลที่ของกระโจมไฟในแผนที่แล้ว ก็จะเห็นได้ชัดเจนจากรูป 72 ว่าผู้ตรวจใด ๆ ซึ่งแบริงกระโจมไฟได้ 110° แล้วต้องอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งบนเส้นนี้

เส้นตำบลที่นี้เรียกว่า "เส้นแบริง"

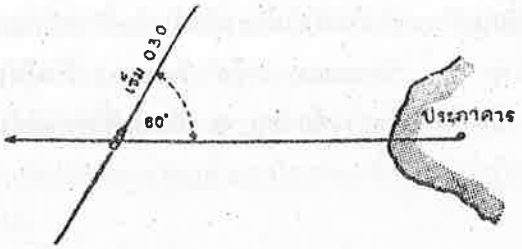
หมายเหตุ ถ้าวัดแบริงชายฝั่ง (edge of the land) ฯลฯ แล้วตามปรกติถ้าวัดแบริงชายฝั่งข้างขวามือแล้ว ให้เขียนเครื่องหมาย →| กำกับ ถ้าวัดชายฝั่งข้างซ้ายมือใช้ |←



รูป 72

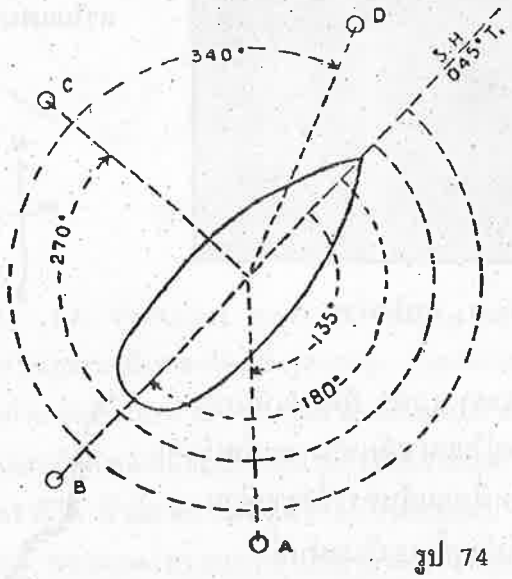
2. แบริงสัมพัธ (Relative Bearing) การหาเส้นแบริงนั้นใช้วัดทิศของที่หมาย อันสัมพันธ์อยู่กับทิศของทิศหัวเรือก็ได้เหมือนกันคือวัดมุมกับหัวเรือ

ถ้าวัดมุมประภาคารในรูป 73 ได้ 60° ทางหัวเรือขา (หรือเขียว 60°) ในเมื่อเรือแล่นทิศ 030° แล้ว ก็จะเห็นทันที่ว่าแบริงของประภาคารเท่ากับ 090° แล้วก็จะเขียนเส้นแบริงลงในแผนที่ได้



รูป 73

อีกนัยหนึ่ง แบริงสัมพัทธของวัตถุเป็นทิศของวัตถุจากเรือซึ่งสัมพันธ์อยู่กับหัวเรือเป็นมุมในระหว่างแนวกระดูกงูเรือกับเส้นแบริงของวัตถุ ตามปรกติวัดเวียนตามเข็มนาฬิกาหมุนจาก 000° ที่หัวเรือจนถึง 360° แต่บางทีก็วัดเวียนตามเข็มนาฬิกาหมุนหรือเวียนตรงข้ามกับเข็มนาฬิกาหมุนจาก 0° ที่หัวเรือถึง 180° เมื่อวัดเช่นนี้ต้องบอกว่าขวาหรือซ้าย ในรูป 74 แบริงสัมพัทธของวัตถุ A, B, C และ D เป็น 135°, 180°, 270° และ 340° ตามลำดับ การวัดแบริงสัมพัทธใช้เข็มใบ้โดยตั้งให้ขีด 0° ของแผ่นเข็มใบ้ตรงกับเส้นหัวเรือแล้ววัดแบริงวัตถุและอ่านองศาของแผ่นเข็มไว้ นอกจากเข็มใบ้แล้วจะใช้วงกลมแอซซิมัธ(azimuth circle) หรือเครื่องแบริงก็ได้

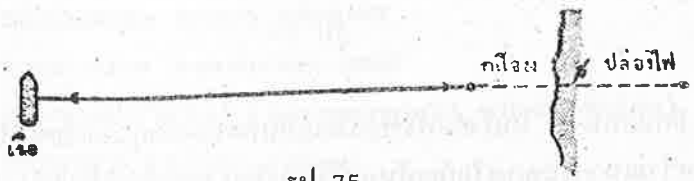


รูป 74

โดยมากในทางปฏิบัตินั้น ก่อนที่จะขีดแบริงลงในแผนที่มักเปลี่ยนแบริงสัมพัทธเป็นแบริงจริงก่อนเสมอ วิธีเปลี่ยนก็ให้เอาแบริงสัมพัทธที่วัดได้บวกเข้ากับทิศหัวเรือจริง ถ้าผลบวกเท่ากับหรือมากกว่า 360° ให้เอา 360° ลบออก เช่นสมมุติว่าทิศหัวเรือจริงขณะวัดเป็น 045° ก็จะได้แบริงตามลำดับของ A, B, C และ D เป็น 180°, 225°, 315° และ 025°

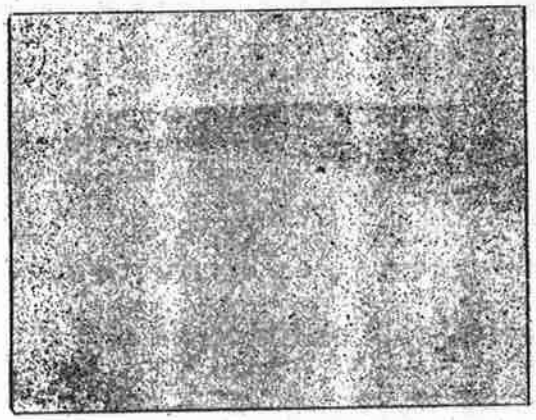
หรือเมื่อรู้แบริงจริงจะเปลี่ยนเป็นแบริงสัมพัธให้เอาทิศหัวเรือจริงลบออกจากแบริงจริง

3. แบริงผ่าน (A Transit หรือ range) ถ้าผู้ตรวจเห็นที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันแล้ว เป็นอันว่าผู้ตรวจต้องอยู่ ณ ที่หนึ่งที่ใดบนเส้นนั้นยึดซึ่งต่อที่หมายทั้งสองดังในรูป 75



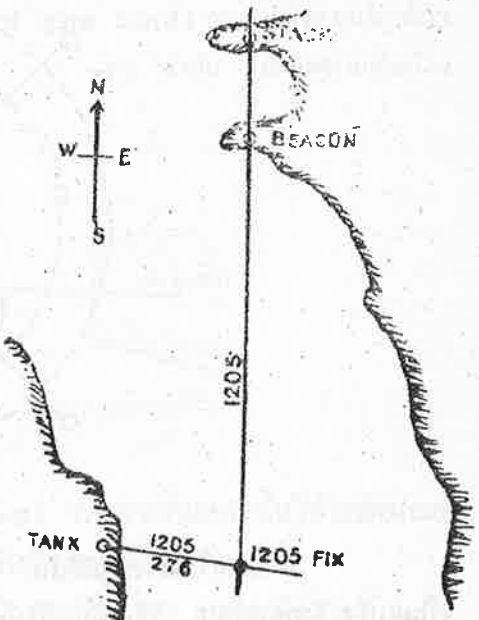
รูป 75

เส้นตำบลที่นี้นับว่าเป็นเส้นตำบลที่ ที่ดีที่สุดในเมื่อระยะทางระหว่างผู้ตรวจกับที่หมายแห่งใกล้ยาวไม่เกินกว่า 3 เท่าของระยะทาง ในระหว่างที่หมายทั้งสองอันอยู่ในแนวเดียวกัน



รูป 76 ก. แบริงผ่าน

ในรูป 76 ก. นั้น ผู้ตรวจในเรือเห็นวัตถุที่ทราบตำบลที่แล้วสองสิ่งปรากฏอยู่ในแนวเดียวกัน เราเขียนเส้นเล็งนี้ลงในแผนที่ ซึ่งมีวัตถุทั้งสองปรากฏอยู่ได้



รูป ๗๖ ข. ชิกแบริงผ่าน

รูป 76 ข. เวลา 1205 ผู้ตรวจเห็นกระโจมและปล่องไฟอยู่ในแนวเดียวกัน ฉะนั้นเรือจะต้องอยู่ ณ จุดหนึ่งบนเส้นตรงซึ่งลากผ่านเครื่องหมายสำหรับวัตถุทั้งสองในแผนที่

จงเขียนเส้นแต่เบา ๆ ให้ผ่านเครื่องหมายสำหรับวัตถุทั้งสองในแผ่นที่ และไม่ต้องให้ยาวเกินควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งแล้วไม่ควรลากเส้นให้ทับเครื่องหมายต่าง ๆ ในแผนที่ เพราะ

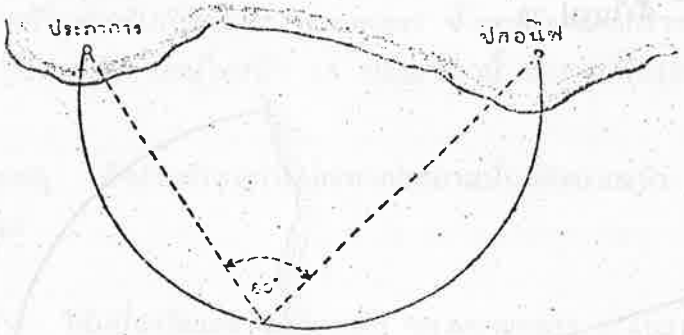
เมื่อลบเส้นที่เขียนไว้อาจทำให้เครื่องหมายลบเลือนเห็นไม่ชัด แต่ในรูปที่แสดงให้เห็นนี้ได้ลากเส้นให้ผ่านเครื่องหมายไว้ เพื่อแสดงให้เห็นหลักการกระทำ

ตามปรกติแบริงผ่านใช้กำกับด้วยเครื่องหมาย ϕ

หมายเหตุ ถ้าหากวัดแบริงของวัตถุทั้งสองในขณะที่ทับกัน (อยู่ในแนวเดียวกัน) แล้ว ก็จะหาความผิดของเข็มทิศได้

4. วัดมุมแนวนอน **(A horizontal sextant angle)** โดยที่มุมทั้งหลายในเซ็กเมนต์เดียวกันย่อมเท่ากัน ฉะนั้นเมื่อผู้ตรวจวัดมุมแนวนอนในระหว่างวัตถุสองแห่งแล้ว (โดยใช้เครื่องวัดแดดหรือเครื่องวัดมุม) ผู้ตรวจคงต้องอยู่ ณ ที่หนึ่งที่ใดบนขอบของวงกลมซึ่งผ่านวัตถุทั้งสองแห่งนั้นและมีมุมเท่ากับมุมที่วัดนั้น

ดูรูป 77 ในรูปนั้น มุมในระหว่างประภาคารกับปล่องไฟวัดด้วยเครื่องวัดแดดได้ 80°



รูป 77

5. วัดมุมแนวยืน **(A vertical sextant angle of an object of known height)** ถ้าผู้ตรวจวัดมุมแนวยืนของวัตถุซึ่งรู้ความสูง (มุมที่เกิดขึ้นที่ตาของผู้ตรวจกับวัตถุในแนวยืนแล้วเอาไปคิดคำนวณกับแบบสำเร็จของรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ก็จะได้ระยะทางของผู้ตรวจจากฐานของวัตถุ และเส้นตำบลที่นี้จะเป็นเส้นรอบวงของวงกลม

หรือจะใช้เปิดมาตราก็ได้ ถ้ามีมาตรา **Lecky's Vertical Danger Angle and Off Shore-Distance Tables** เพราะมาตรานี้ก็คำนวณมาจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉากโดยใช้สูงของวัตถุ และมุมที่ตรวจที่ได้แก้ถูกต้องแล้ว

มาตรานี้แบ่งเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 สำหรับใช้เมื่อวัตถุอยู่ในระหว่างผู้ตรวจกับขอบฟ้า ความสูงทวีมากขึ้นจนถึง 1,100 ฟุต และระยะทางทวีขึ้นจนถึง 5 ไมล์

โดยสมมุติให้

(ก) มุมที่วัดเป็นส่วนของรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก

(ข) ไม่มีรีแฟรกชั่นหรือความโค้งของโลก

(ค) ความสูงของตาผู้ตรวจ (สูงตา) เป็นศูนย์

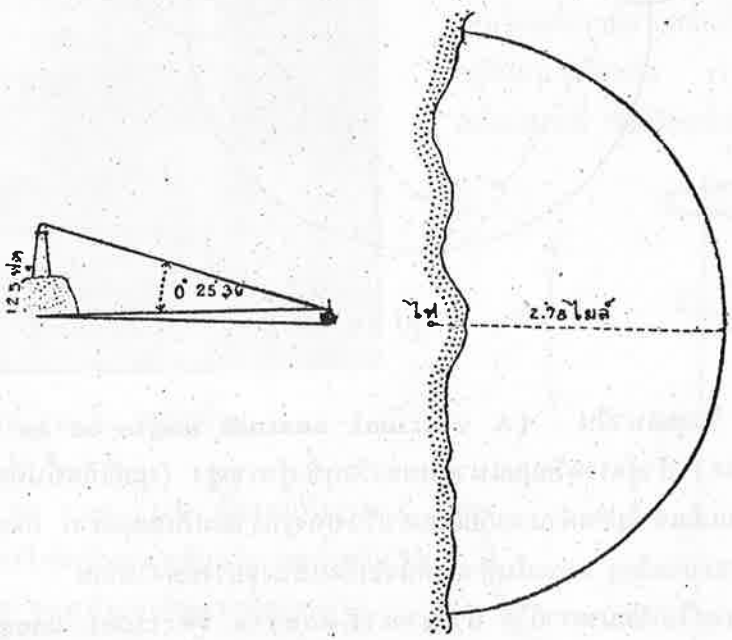
(ง) ลาดฝั่ง (foreshore) อยู่ต่ำกว่าวัตถุในแนวยืน

ตามปรกติแล้วความผิดอันเกิดจากการสมมุตินี้ ได้ตัดทิ้งเสียไม่เอามาเกี่ยวข้องด้วย ในเมื่อระยะทางระหว่างเรือกับฝั่ง มากกว่าระยะทางจากฝั่งไปยังจุดที่อยู่ต่ำกว่าวัตถุ

ระยะทางที่หาได้นี้เป็นระยะทางของวัตถุไม่ใช่ระยะของลาดฝั่ง (ชายฝั่งเมื่อน้ำลงงวด)

มุมที่วัดได้นั้นต้องแก้ผิดอินเด็กซ์เสียก่อน และความสูงของวัตถุต้องนับจากแนวน้ำขึ้น (คือต้องแก้ความสูงของวัตถุให้เป็นความสูงจากระดับน้ำขึ้น)

ตัวอย่าง ใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมแนวยืนของยอดประภาคาร ซึ่งสูง 125 ฟุต ได้ 0° 25' 15" ดังในรูป 78



รูป 78

มุมวัด	0° 25' 15"
ผิดอินเด็กซ์	15" +
มุมที่แก้แล้ว	0° 25' 30"

โดยใช้มาตรา **Lecky's Tables** ตอนที่ 1 เปิดหาด้วยความสูง 125 ฟุต และมุม 0° 25' 30" แล้ว จะได้ระยะทาง 2.78 ไมล์

ฉะนั้นเส้นดำบลที่จึงเป็นเส้นรอบวงของวงกลมซึ่งมีรัศมี 2.78 ไมล์ เขียนรอบประภาคารโดยมีประภาคารเป็นศูนย์กลาง

ตอนที่ 2 สำหรับใช้เมื่อวัตถุอยู่สุดขอบฟ้า **(beyond the horizon)** คือเลยขอบฟ้าไป ความสูงมีจนถึง 18,000 ฟุตและระยะทางตั้งแต่ 5 ไมล์ถึง 110 ไมล์

มุมที่วัดได้จะต้องแก้ดังต่อไปนี้

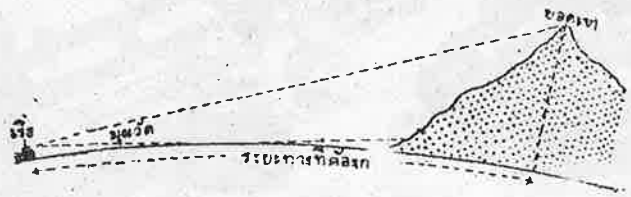
(ก) ผิดอินเด็กซ์

(ข) อัตราผิดรีแฟรกชั่น หาได้โดยหารระยะทางประมาณเป็นไมล์ด้วย 12 ผลหารที่ได้นี้เป็นอัตราแก้รีแฟรกชั่นเป็นลิบดา **(minutes)** ซึ่งจะต้องลบออกจากมุมที่วัดได้

(ค) อัตราแก้ดิพ มีอยู่ในหน้า 46 ของมาตรานี้ อัตราแก้นี้ต้องลบออกจากมุมที่วัดได้เสมอ

หมายเหตุ ถ้าหากปรากฏว่าระยะทางประมาณนั้นมีผิดมากแล้ว ก็จำต้องกะประมาณหาครั้งที่สอง

ตัวอย่าง ใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมแนวยืน ของเขายอดสูง 5,400 ฟุต ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 24 ไมล์ ได้ 1° 57' 20" สูงตา 25 ฟุต ดังในรูป 79



รูป 79

มุมวัด	1° 57' 20"	
ผิดอินเด็กซ์	40"	+
	1° 58' 00"	
อัตราแก้ดิพ	5' 19"	-
	1 25 41	
อัตราแก้รีแฟรกชั่น $\frac{24}{12} = 2$	2 00	-
มุมจริง	1° 50' 41"	

เอาความสูง 5,400 ฟุต และมุม 1°50'41" ไปเปิดในมาตรา Lecky ตอนที่ 2 ได้ระยะทาง 24.8 ไมล์

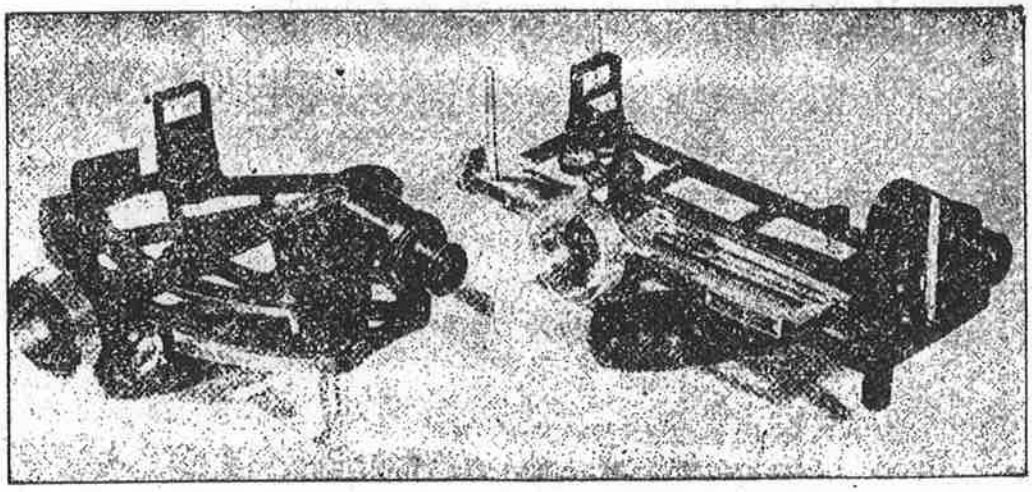
6. วัดระยะทางด้วย Distance meter หรือ Stadimeter เมื่อรู้ความสูงของวัตถุ วิธีนี้อาศัยหลักของการวัดมุมแนวยืนด้วยเครื่องวัดแดด

Distance meter มี 3 ชนิด คือ

(ก) Stuart's Distance Meter ใช้สำหรับระยะทางระหว่าง $\frac{1}{4}$ เคเบิลและประมาณ 15 เคเบิล

(ข) Husun Marine Distance Meter ใช้สำหรับวัดระยะทางระหว่าง 1 เคเบิลและ 10 เคเบิล

(ค) Waymouth-Ross Sextant Rangefinder ซึ่งใช้แทน Waymouth Cooke Sextant Rangefinder ที่เลิกใช้แล้ว ใช้สำหรับระยะทางระหว่าง 1,000 และ 18,000 หลา



แบบเครื่องวัดแดด Brandon แบบ Fisk

รูป 80 Stadimeters

Stadimeters เป็นเครื่องมือสำหรับวัดระยะทางของวัตถุซึ่งรู้ความสูงในระหว่าง 50 และ 200 ฟุต วัดระยะทางได้ตั้งแต่ 200 ถึง 10,000 หลา และใช้วัดได้มากกว่านี้เมื่อใช้ตัวประกอบมาตราส่วนแบ่งขีดออกไป แบบที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมี 2 แบบคือแบบ **Fisk** และแบบเครื่องวัดแดด **Brandon** (ดูรูป 80)

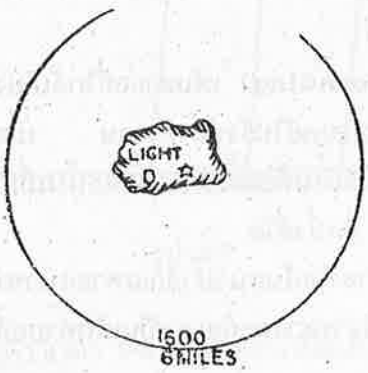
เครื่องมือทั้งสองชนิดนี้นับว่ามีประโยชน์มาก เพราะวัดระยะทางได้เร็ว ราชนาวีเรามี **Stadimeter** แบบ **Fisk** ใช้บ้างเหมือนกันแต่ยังไม่ทั่วทุกลำ

เส้นตำบลที่ที่หาได้โดยวิธีนี้ . เป็นเส้นรอบวงของวงกลม ซึ่งมีรัศมีเป็นระยะทางที่หาได้ด้วยเครื่องมือ

7. วัดระยะทางด้วยกล้องวัดระยะทาง **(By a Rangefinder)** วิธีนี้นับว่ามีประโยชน์มาก สำหรับหาระยะทางของไฟดวงเดียวในเวลากลางคืนหรือของวัตถุในเมื่อใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมแนวยืนไม่เหมาะ

ถ้ารู้ระยะทางของวัตถุแล้วเรือก็จะต้องอยู่ ณ จุดใด จุดหนึ่งบนวงกลมซึ่งวัตถุนั้นเป็นศูนย์กลางและระยะทางที่ทราบเป็นรัศมี

ตัวอย่าง เวลา 1600 ใช้กล้องวัดระยะทางวัดไฟ D ได้ระยะทาง 6 ไมล์ ฉะนั้นเมื่อเวลา 1600 เรือต้องอยู่ ณ จุดหนึ่งบนวงกลมซึ่งไฟ D เป็นศูนย์กลางและมีรัศมี 6 ไมล์ (ดูรูป 81)



รูป 81 เส้นตำบลที่ซึ่งเป็นวงกลม

8. ระยะขอบฟ้า **(A horizon range)** วิธีนี้มีประโยชน์มากในเวลากลางคืนสำหรับหาระยะทางของไฟในเมื่อมีไฟปรากฏขึ้น

ระยะทางของเรือและไฟจากขอบฟ้านั้นจะหาได้จากมาตราระยะทาง**(Distance Table)** ในทำเนียบไฟอังกฤษหรือจากมาตรา A ในมาตรา **Lecky's** หรือมาตรา **Distance of horizons** ในมาตราเดินเรืออินแมนส์ เมื่อเอาระยะทางเหล่านี้ (ระยะจากเรือไปยัง

ขอบฟ้ากับระยะจากขอบฟ้าไปยังไฟ) บวกกันเข้า ก็จะได้ระยะทางจากเรือไปยังไฟ

หมายเหตุ เมื่อคำนวณหาระยะทางที่จะเห็นไฟได้นั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงกำลังของไฟ (Power of light) ด้วย รายละเอียดนี้มีให้ไว้ในทำเนียบไฟอังกฤษ

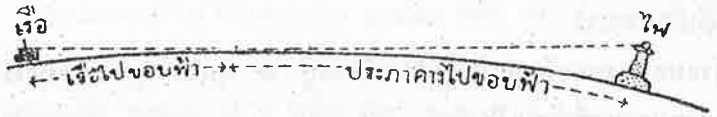
ตัวอย่าง ผู้ตรวจคนหนึ่งอยู่บนสะพานเดินเรือซึ่งมีสูงตา 40 ฟุต แลเห็นไฟบนฝั่งซึ่งอยู่สูงเหนือระดับน้ำ 150 ฟุต จงหาระยะทางของไฟจากเรือ

โดยเปิดมาตราระยะทาง จะได้

ระยะทางของไฟจากขอบฟ้า(สูง 150 ฟุต) = 14.02 ไมล์

ระยะทางของเรือจากขอบฟ้า(สูงตา 40 ฟุต) = 7.26 ไมล์

เพราะฉะนั้นระยะทางจากไฟไปยังสะพานเดินเรือ = 21.28 ไมล์



รูป 82

ระยะทางที่หาได้จากมาตราระยะทางกับ Lecky's Table A นั้น ต่างกันเล็กน้อย เพราะแก้รีแฟรกชั่นต่างกัน ถ้าตัวอย่างข้างบนนี้ใช้เปิดด้วย Lecky's Table A แล้วจะได้ระยะทาง 21.35 ไมล์

9. การหยั่งน้ำ (Sounding) เส้นตำบลที่ใกล้เคียงใช้หาได้จากการหยั่งน้ำ เช่น ตัวอย่างว่าเรือลำหนึ่งแล่นจากอ่าวบิสเคย์ไปยังช่องอังกฤษ เมื่อดูในแผนที่แล้วจะเห็นว่าเส้นแนวน้ำลึก 100 วา มีเขียนไว้ในแผนที่อย่างชัดเจน ฉะนั้นเมื่อหยั่งน้ำลึก 100 วา แล้วเรือจะต้องอยู่ในเส้นแนวน้ำลึกนี้ ณ ที่หนึ่งที่ใด

ในทำนองเดียวกันสำหรับเส้นแนวน้ำลึกเฉพาะแนวหนึ่ง ๆ ถ้าหากว่าได้เขียนไว้ชัดเจนแล้ว อาจหยิบยกขึ้นมาพิจารณาและถือเอาเป็นเส้นตำบลที่สำหรับอาจใช้หลีกที่อันตรายได้

ลักษณะของพื้นท้องทะเลซึ่งทราบได้โดยการหยั่งน้ำนั้น อาจใช้หาเส้นตำบลที่ใกล้เคียงได้ในบางโอกาสในเมื่อในแผนที่ได้ให้ลักษณะของพื้นท้องทะเลไว้อย่างชัดเจน (คือเขียนลักษณะของพื้นท้องทะเลที่เหมือนกันไว้เป็นแนวเป็นพวกเดียวกัน) เช่น ในร่องน้ำเข้าแม่น้ำลาพลาต้า (River Plate) เป็นต้น ซึ่งมีพื้นที่ท้องทะเลเป็นโคลนเป็นแนวแบ่ง (mud wall) ร่องน้ำ คือข้างหนึ่งของแนวนี้พื้นท้องทะเลเป็นทรายและอีกข้างหนึ่งเป็นหิน

10. เสียงสะท้อนของไซเร็น (An echo of the siren) ถ้าหากว่าสามารถได้ยินเสียงสะท้อนของไซเร็นจากหน้าผาแล้ว ก็จะสามารถคำนวณระยะทางของหน้าผาได้

และฉะนั้นแล้วก็หาเส้นตำบลที่ได้ ให้วัดระยะเวลาอย่างถูกต้องในระหว่างที่ทำเสียงกับที่เสียงสะท้อนกลับ เพราะฉะนั้นระยะทางของเรือเป็นฟุตจากหน้าผา

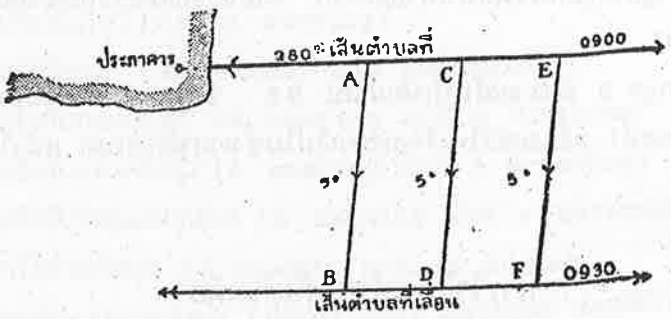
$$= \frac{\text{ระยะเวลาเป็นวินาที} \times 1130}{2}$$

การกะระยะทางอย่างใกล้เคียง คือ

ระยะทางเป็นเคเบิล = ระยะเวลาเป็นนาที $\times \frac{9}{10}$

การเลื่อนเส้นตำบลที่ (Transferring Position Linie)

มักปรากฏอยู่บ่อย ๆ ว่า บางเวลาเมื่อต้องการ ก็หาเส้นตำบลที่ได้เพียงเส้นเดียวเท่านั้น ถึงกระนั้นก็ดีการที่ได้เส้นตำบลที่เส้นเดียวนี้ก็ยังใช้ได้ภายหลังในเมื่อสามารถหาเส้นตำบลที่เส้นที่สองได้



รูป 83

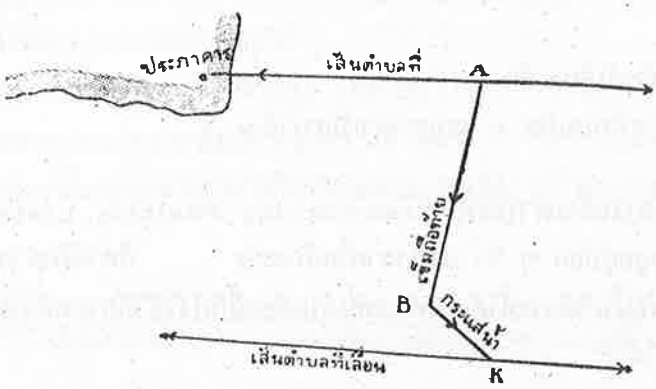
ในรูป 83 สมมุติว่าเวลา 0900 เรือลำหนึ่งแบริงประภาคารได้ 280° เรือนั้นแล่นเข็ม 200° อัตราเร็ว 10 นอต จงหาที่เรือเวลา 0930

เขียนเส้น ACE ไปในทิศ 100° จากไฟ เส้นนี้เป็นเส้นตำบลที่เวลา 0900 สมมุติให้เขียนเส้นตรงอีก 3 เส้น คือ AB, CD, EF ให้แต่ละเส้นลากไปในทิศ 200° และยาว 5 ไมล์ทุกเส้น (ระยะทางที่เรือแล่นในครึ่งชั่วโมง) และถ้าหากว่าเมื่อเวลา 0900 เรืออยู่ที่ A แล้วถ้าเมื่อไม่มีลมหรือกระแสน้ำ ฯลฯ อย่างใดมาทำแล้ว เวลา 0930 เรือจะอยู่ที่ B และในทำนองเดียวกันถ้าเวลา 0900 เรืออยู่ที่ C หรือ E แล้วเวลา 0930 เรือจะอยู่ที่ D หรือ F

โดยที่เส้น ACE เป็นตำบลที่เวลา 0900 เพราะฉะนั้นเส้น BDF จะต้องเป็นเส้นตำบลที่เวลา 0930 คือว่าได้เลื่อนเส้นตำบลที่แรกมายังแนวใหม่และแนวใหม่นี้เรียกว่า "เส้น

ตำบลที่เลื่อน" เส้นตำบลที่เลื่อนนี้ขนานกับเส้นตำบลที่แรก และตามที่นิยมใช้กันอยู่นั้นนิยมเขียนหัวลูกศร 2 อันกำกับไว้ที่ปลายทั้งสองข้าง

ถ้าหากว่ากระแสน้ำขึ้นลง กระแสน้ำ หรือลมมากระทำให้เรือลอยตกผิดทางไปแล้ว การที่จะเขียนเส้นตำบลที่ให้ผ่านจุดใดนั้นต้องทำเป็นสองขั้น ดังในรูป 84



รูป 84

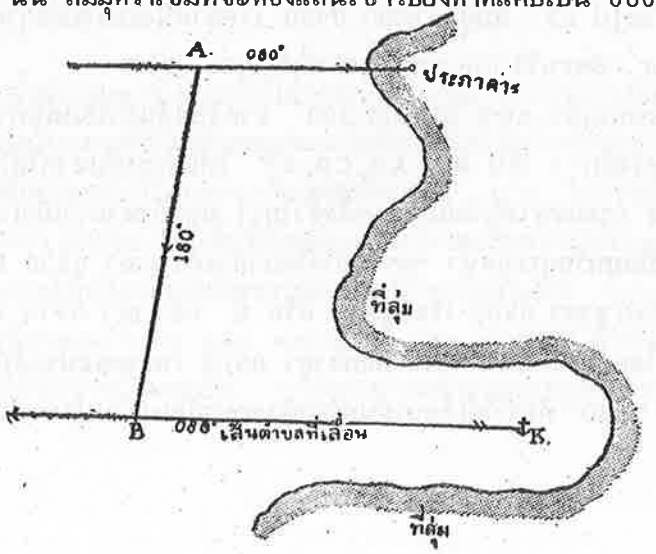
(ก) จากจุดใดจุดหนึ่งในเส้นตำบลที่แรก เขียนเข็มและระยะทางที่เรือแล่นในชั่วเวลาที่กำหนดให้ (คือ AB)

(ข) จากจุด B ที่ปลายเส้นนี้เขียนเส้น BK ซึ่งแทนทิศและระยะทางโดยประมาณที่กระแสน้ำขึ้นลง กระแสน้ำ หรือลมทำให้เรือลอยตกไปในชั่วเวลาที่กำหนด แล้วให้เลื่อนเส้นตำบลที่แรกไปให้ผ่านจุด K

การใช้เส้นตำบลที่เส้นเดียว

เมื่อไม่สามารถหาเส้นตำบลที่ได้สองเส้นแล้ว ก็อาจใช้เส้นตำบลที่เส้นเดียวนั้น หลีกอันตรายหรือนำเรือเข้าท่าได้เหมือนกัน

ในรูป 85 นั้น สมมุติว่าเข็มที่จะต้องแล่นเข้าไปยังท่าที่แคบเป็น 080°



รูป ๘๕

เดิมเรือแล่นเข็ม 180° พอแบริงประภาคาร L ได้ 080° ได้จดเวลาไว้ แล้วคำนวณหาเวลาที่จะต้องแล่นไปให้ได้ระยะ AB ครั้นเมื่อเรือแล่นสิ้นตามเวลาที่คำนวณหาได้นี้แล้ว ก็ให้เปลี่ยนเข็มเป็น 080° ฉะนั้นจะเห็นได้ชัดเจนทีเดียวว่าเรือจะหันเข้าไปอยู่ในเส้นตำบลที่เลื่อน BK ซึ่งเป็นแนวทางเข้าไปยังท่าเรือได้ ไม่ต้องไปคำนึงถึงว่าเรือจะไม่อยู่บนเส้นตำบลที่แรก

วิธีหาที่เรือเมื่อเห็นวัตถุบนพื้นโลก (เช่น เกาะ, ฝั่ง ฯลฯ)

การหาที่เรือที่กล่าวนี้ หมายความถึงการหาตำบลที่ของเรือเมื่อใกล้ฝั่งทะเลหรือน่านน้ำช่องแคบต่าง ๆ ซึ่งสามารถเห็นบรรดาวัตถุเหล่านั้นได้ ทั้งวัตถุเหล่านั้นต้องมีปรากฏอยู่ในแผนที่ด้วยแล้ว ตามความจริงวิธีหาที่เรือนี้นับว่าเป็นส่วนสำคัญของการนำร่องซึ่งนักเดินเรือทั้งหลาย จักต้องฝึกหัดให้ชำนิชำนาญในการใช้เครื่องมือตลอดจนการสังเกตและจดจำรูปขอบฝั่ง เขา เครื่องหมายต่าง ๆ ในแผนที่ซึ่งจะเห็นได้ให้แม่นยำ จึงจะช่วยเหลือให้หาที่เรือได้ถูกต้องแน่นอนและรวดเร็ว การหาที่เรือนี้ย่อมสัมพันธ์อยู่กับเครื่องมือที่ใช้วัด

ที่เรือแบริงนั้นเป็นตำบลที่ซึ่งเกิดจากเส้นตำบลที่สองเส้นหรือมากขึ้นไป ซึ่งหาได้ในเวลาเดียวกันหรือติด ๆ กัน ติดกันเป็นมุมพอเหมาะ

วิธีหาที่เรือมีดังต่อไปนี้

1. แบริงเข็มไขว้ (Cross bearing)
2. แบริงกับมุม (A bearing and an angle)
3. แบริงกับระยะทาง (A bearing and a distance)
4. แบริงกับการหยั่งน้ำ (A bearing and a sounding)
5. แบริงกับวัดมุมแนวนอน (A bearing and a horizontal angle)
6. แบริงผ่านกับมุม (A transit and an angle)
7. วัดมุมแนวนอนสองมุม (Horizontal sextant angles)
8. แบริงวัดถุสิ่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกัน (A running fix)
9. แนวเส้นหยั่งน้ำ (A line of soundings)
10. แบริงวิทยุ
11. ระยะเรดาร์ (A radar range)

ก่อนที่จะได้อธิบายวิธีหาที่เรือเหล่านี้ ควรจะสังเกตหัวข้อต่อไปนี้และจำใส่ใจไว้

ก่อนหาที่เรือ นักเดินเรือควรต้องพิจารณาตกลงใจว่า ตนจะใช้วัตถุใดบ้าง และทั้งต้องตรวจดูให้แน่ใจว่าวัตถุเหล่านั้นมีในแผนที่ด้วย การที่วัดแบริงวัตถุที่เด่นชัดแห่งหนึ่งได้แล้วจึงเลือกหาว่าจะวัดวัตถุที่สองอีกสิ่งหนึ่งต่อไปนั้นนับว่าไม่ดีไม่สู้จะได้ผลนัก (เว้นไว้เสียแต่เมื่อโอกาสไม่อำนวย) ควรต้องเลือกเสียให้เรียบร้อยแล้วจึงวัด

การหาที่เรือโดยใช้วัตถุแบริงนั้น หมายถึงการหาที่เรือโดยใช้เข็มทิศเรือนเอกหรือเข็ม

ทิศไยโรวัดแบริงวัตถุต่าง ๆ แล้วแก้แบริงนั้น ๆ ให้เป็นเข็มจริงเอาไปขีดลงในแผนที่

เมื่อวัดแบริงเข็มไขว้ ควรจดชื่อวัตถุที่ใช้วัดลงในสมุดโน้ตแล้วจึงรีบวัดแบริงโดยเร็วที่สุด และควรต้องระมัดระวังไว้ว่า วัตถุใดที่แบริงเปลี่ยนเร็วที่สุดควรต้องวัดครั้งหลังที่สุด เว้นไว้เสียแต่ขณะที่จะทอดสมอ จะต้องวัดแบริงวัตถุที่เปลี่ยนแบริงเร็วที่สุดเสียก่อน แบริงที่วัดได้นั้นต้องเขียนจำนวนลงกำกับชื่อวัตถุในสมุดโน้ต ต้องจดเวลาที่วัดแบริงกำกับไว้ในสมุดด้วย ให้เอาเวลาที่วัดแบริงครั้งสุดท้ายเวลาที่จดกำกับที่เรือแบริงในแผนที่ ให้จดให้ละเอียดจนถึงนาที

ถ้าวัดแบริงต่าง ๆ ในเวลาติด ๆ กันแล้ว เส้นตำบลที่(เส้นแบริง)เหล่านี้ย่อมตัดกันเป็นมุมที่ดีพอ ถ้ามิฉะนั้นจะไม่ดี เช่นถ้าแบริงวัตถุสิ่งแรกเปลี่ยนเร็ว มุมตัดที่ดีที่สุดคือเมื่อวัตถุที่วัดสิ่งแรกอยู่เกือบตรงหัวเรือ และวัตถุที่วัดครั้งหลังอยู่เกือบตรงกลางลำเรือ(คือเกือบเป็นมุมฉากกับตัวเรือ)

จงจำไว้ว่า เมื่อใช้เข็มทิศวัด แบริงจะต้องใช้ดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือขณะที่วัดแบริงแก้แบริงที่วัดได้

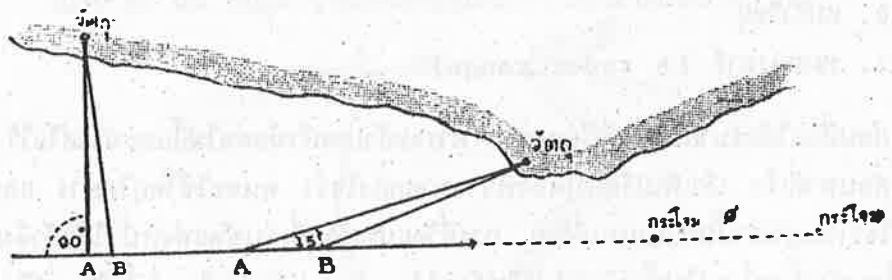
การเลือกวัตถุสำหรับวัดหาที่เรือแบริง ถ้าจะหาที่เรือโดยใช้วัดแบริง วัตถุสามสิ่งแล้ว ถ้าสามารถทำได้ควรเลือกใช้วัตถุให้มีแบริงต่างกันประมาณ 60° จึงจะทำให้เส้นตำบลที่ตัดกันเป็นมุมดี

ถ้าหากว่าหาวัตถุเพื่อวัดแบริงหาที่เรือ ได้เพียงสองสิ่งเท่านั้นแล้ว ควรใช้วัตถุซึ่งมีแบริงต่างกันเกือบ 90° (หรือถ้าได้ 90° ก็ยิ่งดี)

ความผิดเล็ก ๆ น้อย ๆ ต่าง ๆ ในการวัดและการขีดเส้นตำบลที่ลงในแผนที่ย่อมมีน้อยที่สุดเมื่อมุมที่ตัดกันเป็น 90° และความผิดนี้จะมีมากขึ้นในเมื่อมุมที่ตัดเล็กลง (ดูรูป 86)

ไม่ว่าในกรณีใด ๆ ก็ตามมุมที่ตัดกัน ต้องไม่น้อยกว่า 30° เป็นอันขาด

รูป 86 แสดงให้เห็นความแตกต่างของตำบลที่เนื่องจากวัดแบริงผิดไป 5° ในเมื่อวัตถุที่ใช้วัดนั้นมีแบริงเป็นมุมตัดดี (90°) และมุมตัดไม่ดี (15°) ในรูปนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อวัดถุมีมุมตัด 90° ถ้าวัดผิดไป 5° ที่เรือก็จะผิดไปเล็กน้อยเท่านั้นและเมื่อวัตถุมีมุมตัด 15° ถ้าวัดผิดไป 5° ที่เรือก็จะผิดไปมาก



รูป 86

A เป็นที่เรือที่วัดแบริงถูกต้อง B เป็นที่เรือที่วัดแบริงผิดไป

ในการเลือกวัตถุจงเลือกวัตถุที่ใกล้เรือไว้เสมอเป็นการดีกว่าวัตถุที่อยู่ไกลออกไปเพราะ

(ก) ความผิดใด ๆ อันเกิดจากการแบริงวัตถุที่อยู่ใกล้ผิดนั้น ย่อมทำให้ที่สุดท้ายผิดได้น้อยกว่าความผิดอันเดียวกัน ในเมื่อวัตถุนั้นอยู่ไกลออกไป

(ข) ความผิดอันเกิดจากการปิดตัวของกระดาษแผนที่ย่อมทำให้เส้นแบริงที่ยาวที่เขียนในแผนที่ไม่ถูกต้องแน่นอนเหมือนเส้นแบริงที่สั้น

ถ้าเรืออยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม ซึ่งผ่านวัตถุสามสิ่งแล้ว เส้นแบริงทั้งสามนี้ จะต้องตัดกันเป็นจุดเดียวเสมอถึงแม้ว่าเข็มทิศจะมีอัตราผิดมากเท่าใดซึ่งยังไม่ทราบก็ตาม ดูรูป 91 จะเข้าใจได้ดี

เมื่อเรืออยู่ในช่องหรือช่องแคบ ถ้าสามารถจะรู้ได้ว่าฝั่งทั้งสองในช่องแคบนั้นได้สำรวจไว้ฝั่งละคราว (คือสำรวจแยกกันไม่ได้สำรวจที่เดียวทั้งสองฝั่ง) แล้วควรใช้วัตถุที่อยู่บนฝั่งเดียวกันเมื่อวัดแบริงหาที่เรือ

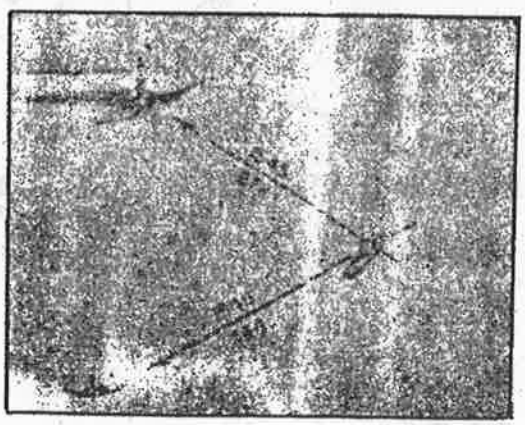
1. แบริงเข็มไขว้ คือการวัดหาเส้นแบริงของวัตถุสองสิ่ง(หรือกว่าขึ้นไป) ในขณะเดียวกัน ฉะนั้นเรือจึงต้องอยู่บนเส้นแบริงทั้งสองในขณะเดียวกัน หมายความว่าถ้าเส้นแบริงนั้นๆ ตัดกันเป็นมุมพอเหมาะแล้วที่เรือจะต้องอยู่ตรงจุดที่ตัดกันนั้น

แบริงเข็มไขว้อาจแยกออกได้ 2 ชนิด คือ

(ก) ใช้เส้นแบริง 2 เส้น (ข) ใช้เส้นแบริง 3 เส้น

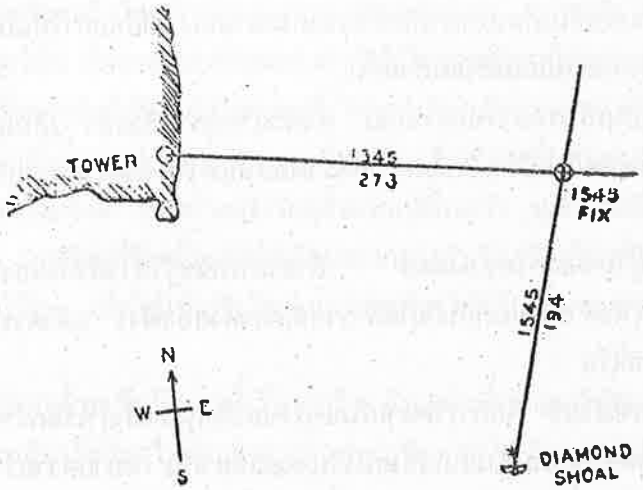
(ก) แบริงเข็มไขว้ใช้เส้นแบริง 2 เส้น

รูป 87 เวลา 1545 เรือเล่นเข็ม 000° แบริงหอคอย ที่หัวแหลมได้ 278° (แบริงจริง) และแบริงเรือทุ่นไฟที่ตื้น Diamond ได้ 194° (แบริงจริง) เรือจึงต้องอยู่ตรงจุดตัดกันของเส้นแบริงทั้งสองนั้น

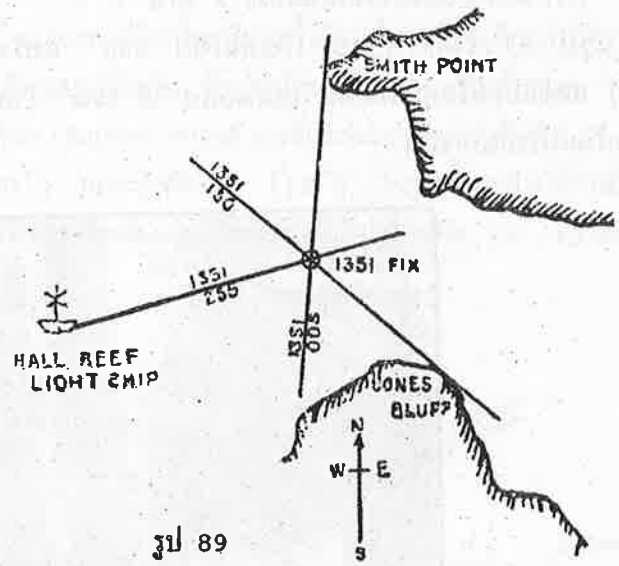


รูป 87

ที่เรือเวลา 1545 หาได้โดยขีดลงในแผนที่ ขีดเส้นแบริงตามที่วัดได้ไปยังเครื่องหมายของหอคอยที่หัวแหลม และเรือทุ่นไฟที่ตื้น Diamond ในแผนที่ (ดูรูป 88)



รูป 88



รูป 89

(ข) แบริงเข็มไขว้ใช้เส้นแบริง 3 เส้น

รูป 89 เวลา 1351 วัดแบริงปลายแหลม Smith ด้านซ้ายสุดได้ 005° (แบริงจริง) หน้าผา Jones ด้านซ้ายสุด 130° (แบริงจริง) เรือทุ่นไฟ Hall Reef ได้ 255°

(แบริงจริง) เมื่อขีดในแผนที่แล้วจะได้ที่เรือตรงจุดตัดกันของเส้นแบริงทั้งสาม (ดูรูป 89)

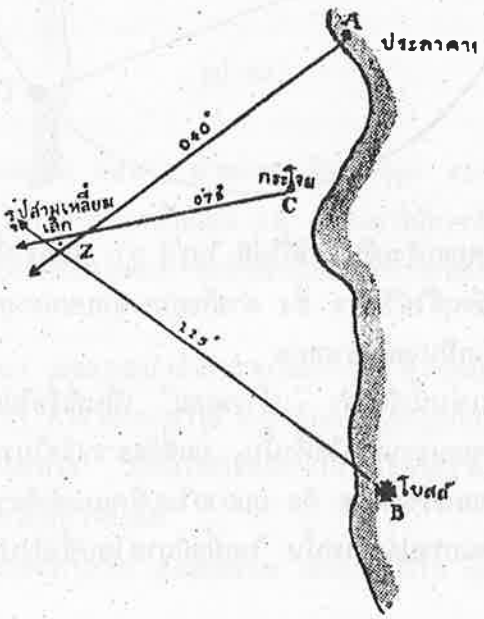
ในรูป 90 สมมุติว่าเวลา 1015 ผู้ตรวจในเรือแบริงประภาคารได้ 040° และแบริงโบสถ์ได้ 125° เมื่อเขียนเส้นแบริงทั้งสองนี้ลงในแผนที่แล้ว จะได้ที่เรือเวลา 1015 ตรงจุดที่เส้นทั้งสองตัดกัน

เพื่อมิให้เกิดผิดพลาดได้ ควรวัดหาแบริงของวัตถุอีกสิ่งหนึ่ง แบริงหลังนี้เรียกว่าแบริงตรวจสอบ (check bearing) เส้นแบริงอันนี้ควรต้องตัดหรือผ่านใกล้จุดตัดกันของแบริงเดิมสองอันก่อนนั้น ในรูป 90 นั้นแบริงตรวจสอบคือแบริงกระโจมได้ 075°

ฉะนั้นในการวัดแบริงเข็มไขว้ ควรใช้วัตถุ 3 สิ่งเสมอถ้าทำได้

รูปสามเหลี่ยมเล็ก (Cocked hat) ในทางปฏิบัตินั้นมักปรากฏว่าเมื่อวัดแบริงวัตถุ 3 สิ่งแล้ว เส้นแบริงทั้งสามนี้มักไม่ใคร่ตัดเป็นจุดเดียวกัน เมื่อเขียนลงในแผนที่แล้วมักเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ เรียกว่า cocked hat ถ้าหากว่ารูปสามเหลี่ยมเล็กนี้มีขนาดเล็กมากแล้วใช้ถือเอาว่าตำบลที่เรืออยู่ภายในรูปสามเหลี่ยมนั้น

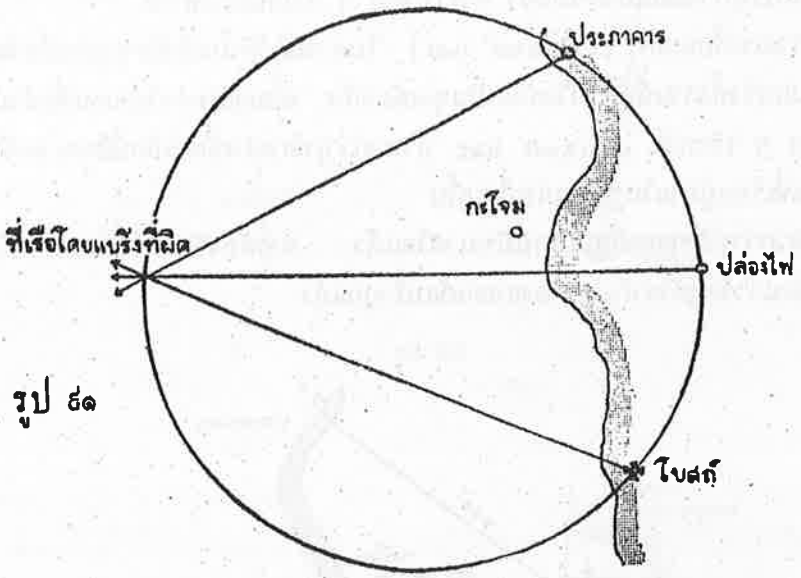
ถ้าหากว่ารูปสามเหลี่ยมเล็กนี้มีขนาดโตแล้ว ควรต้องวัดแบริงสอบหาที่เรือเสียใหม่เพื่อตรวจสอบให้แน่ว่าวัตถุที่ใช้นั้นถูกต้องและแก้แบริงถูกแล้ว



รูป 90

ถ้าเมื่อวัดแบริงสอบใหม่แล้ว ก็ยังมีรูปสามเหลี่ยมเล็กอยู่นั่นเองแล้วไซร้ ให้ถือว่าตำบลที่เรืออยู่ที่มุมรูปสามเหลี่ยมนั้น ตรงมุมที่อยู่ใกล้ที่อันตรายที่ใกล้ที่สุด การที่ถือเอาเช่นนี้เพื่อทำให้มั่นใจว่าการเปลี่ยนเข็มเพื่อหลีกเครื่องหมายอันตรายต่าง ๆ ฯลฯ ที่ล้อมอยู่ในเวลาถัดไปจะได้มีที่ปลอดภัยพอ

ดิวิเอชั่นของเข็มทิศหรือความผิดของเข็มทิศไยโรที่ยังไม่ทราบนั้น อาจทำให้เส้นแบริงตัดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมเล็กได้ ฉะนั้นต้องพยายามตรวจสอบดิวิเอชั่นหรือความผิดของเข็มทิศไยโรไว้เมื่อมีโอกาส



รูป ๙๑

ตัวอย่างที่เรือโดยแบริงเข็มไขว่ที่ไม่ดี ในรูป 91 นั้นจะเห็นได้ว่า

(ก) เรือและวัตถุที่ใช้วัด 3 สิ่ง ต่างก็อยู่บนขอบของวงกลมด้วยกัน และจะเห็นว่าเส้นแบริงทั้งสามนั้นจะตัดกันเป็นจุดเดียวเสมอ

ที่เรือมีลักษณะเช่นนี้เรียกว่า "เข้าวงกลม" เป็นที่เรือไม่แน่นอนไม่ควรใช้ เพราะที่เรือจะอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งบนขอบวงกลมก็ได้ทั้งนั้น มุมที่วัดจากเรือในระหว่างประภาคารและโบสถ์ย่อมเท่ากันเสมอ (ตามกฎของเรขาคณิต คือ มุมภายในเซ็กเมนต์เดียวกันย่อมเท่ากัน)

(ข) ไม่ควรวัดแบริงปล่องไฟนั้น ในเมื่อมีกระโจมซึ่งมีแบริงคล้ายใกล้เคียงกันอยู่ใกล้เรือมากกว่าปล่องไฟ

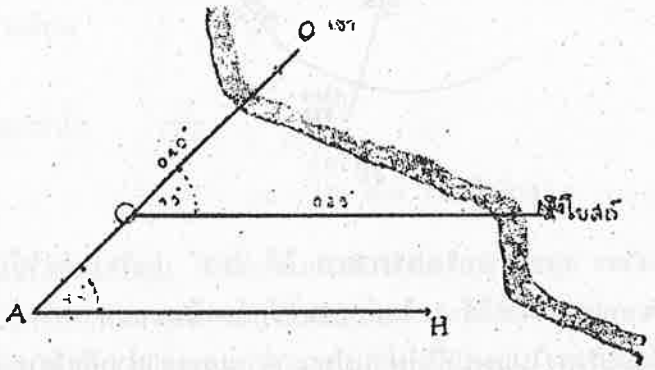
2. แบริงกับมุม ในทางปฏิบัตินั้นในบางโอกาสอาจใช้เข็มทิศเรือนเอกวัดแบริงวัตถุได้แต่เพียงสิ่งเดียวเท่านั้น (คือเมื่ออยู่ที่เข็มทิศเรือนเอกแลเห็นวัตถุได้แต่เพียงสิ่งเดียวเท่านั้น) แต่เห็นวัตถุอีกสิ่งหนึ่งทางข้างเรือ (คือแลเห็นได้จากสะพานเดินเรือตรงตอนกราบเรือ) ในลักษณะเช่นนี้ให้ใช้เข็มทิศเรือนเอกแบริงวัตถุสิ่งที่สามารถวัดได้และในขณะเดียวกันนั้น ใช้เครื่องวัดแดด

วัดมุมในระหว่างวัตถุสองสิ่งไปพร้อมกัน

วิธีเขียนเส้นแบริงละมุม ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ก็ได้

(ก) เอามุมที่วัดได้เข้าคิดกับแบริงที่วัดได้ แล้วก็จะได้แบริงของวัตถุที่แลไม่เห็นจากเข็มทิศ

ในรูป 92 เขาอยู่ในแบริง 040° และใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมในระหว่างเขาและโบสถ์ได้ 45° ฉะนั้นโบสถ์จึงอยู่ในแบริง 085° เช่นนี้ แล้วก็สามารถลงที่เรือได้โดยใช้วิธีแบริงเข็มไขว้



รูป 92

(ข) เขียนเส้นแบริง 040° ผ่านเขาแล้วสร้างมุม 45° บนจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นแบริงนี้ เช่นที่ A เป็นต้น ให้ไปทางโบสถ์ได้เส้น AH และเอาไม้บรรทัดบนานทาบลงบนเส้น AH นี้ แล้วเลื่อนไปจนขอบไม้บรรทัดจดโบสถ์ จุดที่ขอบไม้บรรทัดตัดกับเส้นแบริงจากเขาเป็นตำบลที่เรือ

หมายเหตุ (1) ขอแนะนำว่าถ้าสามารถทำได้ ควรวัดมุมอีกครั้งหนึ่งเพื่อตรวจสอบ

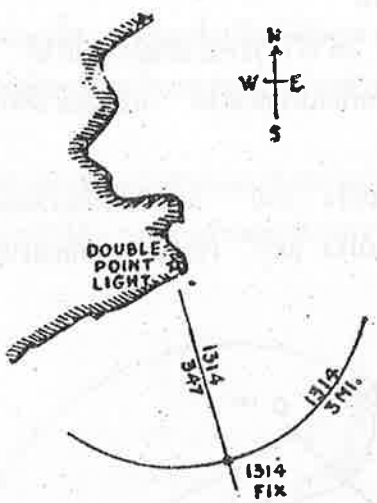
(2) ถ้าสามารถทำได้ ควรเลือกวัตถุที่อยู่เกือบเป็นมุมฉากกับเส้นแบริง

3. แบริงกับระยะทาง วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีมากหาที่เรือได้รวดเร็วเมื่อเห็นวัตถุแต่เพียงสิ่งเดียว ระยะทางจากเรือไปยังวัตถุหาได้โดย

(1) กล้องวัดระยะทางเรือ distance meter หรือ stadimeter ดังที่ได้อธิบายไว้ในหน้า 128 และ 129

(2) วัดมุมแนวยืนด้วยเครื่องวัดแดดดังที่ได้อธิบายไว้ในหน้า 139

(3) ระยะขอบฟ้า ดังได้อธิบายไว้ในหน้า 142



รูป 93

รูป 93 เวลา 1314 แบริงประภาคาร ได้ 347° (จริง)และใช้เครื่องวัดแดดวัดมุม คำนวณหา ระยะทางจากประภาคารได้ 3 ไมล์ (จะใช้กล้องวัดระยะทางหรือ **stadimeter** ฯลฯ ก็ได้) ขีดเส้นแบริงลงในแผนที่ให้ผ่านประภาคารและเอาปากคีบวัดระยะทาง 3 ไมล์ ตัดลงบนเส้นแบริงให้ประภาคารเป็นศูนย์กลาง (ดูรูป)

4. แบริงกับการหยั่งน้ำ เมื่อแล่นเรือเข้าไปใกล้ฝั่งในที่ซึ่งความลึกของน้ำเปลี่ยนเร็วมากแล้ว ก็จะหาที่เรือใกล้เคียง **(approximateposition)** ได้โดยการวัดแบริงและหยั่งน้ำในขณะเดียวกัน

ข้อควรจำ

(ก) ในการหยั่งน้ำนั้น ถ้าใช้หลอดแก้วน้ำยาแล้ว ต้องแก้(หัก)ความสูงของน้ำขึ้นลง **(tide)** และความสูงของบาโรเมตร ก่อนที่จะนำไปเปรียบเทียบกับการหยั่งน้ำในแผนที่

(ข) ที่เรือที่หาได้นี้จะยังเชื่อถือไม่ได้ เว้นไว้แต่ว่าเส้นแนวน้ำจะได้เขียนไว้ชัดเจนมาก

(ค) ให้เรือแล่นผ่านตัดเส้นแนวน้ำ เกือบเป็นมุมฉากให้มากที่สุดที่จะทำได้

5. แบริงกับวัดมุมแนวนอน วิธีนี้เป็นวิธีหาที่เรือที่ดีมาก ในเมื่อเรือแล่นผ่านเกาะเล็ก ถ้าหากว่าใช้เข็มทิศแบริงปลายสุดของขอบเกาะทั้งสองข้างแล้วก็คงจะได้มุมตัดเล็กมาก เพราะฉะนั้นจึงใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมระหว่างปลายเกาะทั้งสองข้าง และวัดแบริงปลายเกาะข้างหนึ่งไว้ แล้ววัดหาความกว้างของเกาะในแผนที่และคำนวณหาระยะทางจากเรือ



รูป 94

ตัวอย่าง ใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมของปลายทั้งสองของเกาะหนึ่งซึ่งกว้าง 1.7 ไมล์ ดังในรูป 94 ได้ 7° และวัดแบริงปลายเกาะข้างซ้ายในขณะเดียวกันได้ 085°

วิธีหาระยะทางของเรือจากเกาะ สมมุติให้ R ไมล์ เท่ากับระยะทางโดยที่ขอบ =รัศมี×มุมนับเป็นเรเดียน

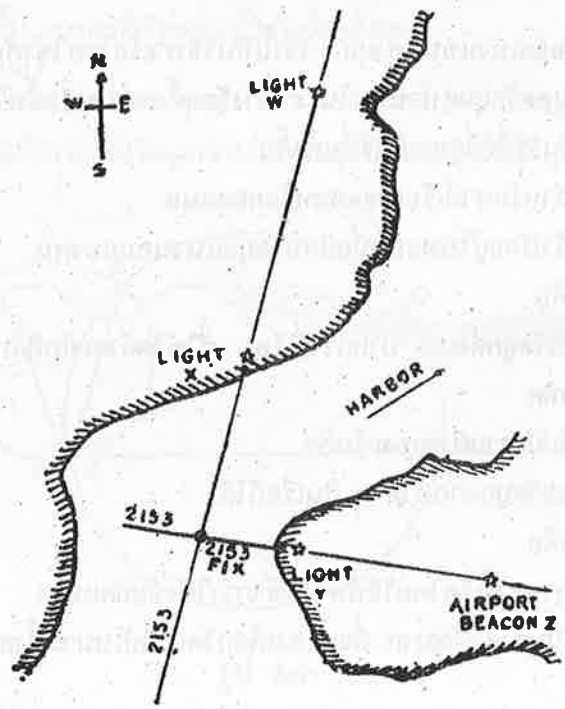
เพราะฉะนั้น $\frac{R}{1.7} = \frac{360}{2\pi \times 7}$

$= 14$ ไมล์ (ใกล้เคียง)

6. แบริงผ่านกับมุม วิธีนี้คล้ายกันกับวิธีโดยแบริงกับมุม แต่โดยที่ไม่ได้ใช้เข็มทิศวัดแบริง จึงนับว่ามีข้อดีที่ทำให้ความผิดของเข็มทิศศูนย์หายหมดไป (ไม่มีความผิดของเข็มทิศเกิดขึ้น)

วิธีนี้มักใช้กันมากในการหาที่ของเรือเล็ก (เรือโบต) เมื่อทำการหยั่งน้ำในระหว่างการสำรวจแผ่นที่ทะเล

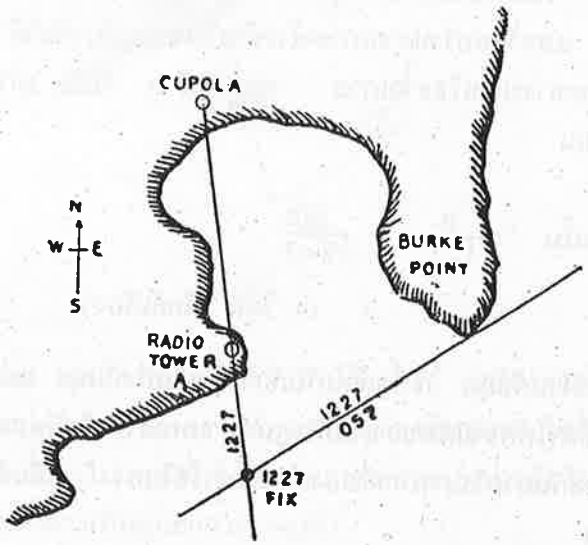
วิธีนี้จะไม่ใช้วัดมุมก็ได้ถ้ามีแบริงผ่านสองแนว หรือจะใช้แบริงผ่านหนึ่งแนวกับแบริงก็ได้



รูป 95

(ก) แบริงผ่านสองแนว — เรือแล่นเข้าท่าโดยแล่นประมาณในแนวไฟ W และ X ครั้งเวลา 2153 ได้แล่นตรงแนวที่ไฟ W และ X ทับกันสนิทจนกระทั่งเห็นไฟ Y และไฟกระโจมสนามบิน Z อยู่ในแนวเดียวกัน จุดตัดกันของแบริงผ่านทั้งสองแนวเป็นที่เรือ (ดูรูป 95)

(ข) แบริงผ่านกับแบริง — รูป 96 เวลา 1227 ขณะที่หอคอยวิทยุ A และหลังคายอดกลมอยู่ในแนวเดียวกันนั้นวัดแบริงปลายขวาสุดของแหลม Burke ได้ 057° จุดตัดของเส้นแบริงทั้งสองเป็นที่เรือ



รูป 96

7. วัดมุมแนวนอนสองมุม วิธีนี้เป็นวิธีหาเรือโดยใช้เส้นตำบลที่ตัดกันตั้งแต่สองเส้นขึ้นไป ใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมแนวนอนในระหว่างวัตถุตั้งแต่สามสิ่งขึ้นไป

วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดกว่าวิธีอื่นทั้งสิ้น

(ก) สำหรับหาที่เรือเมื่อจอดหรือทอดสมอ

(ข) ถ้าเรืออยู่ในทะเลเมื่อมีคนวัดมุมแนวนอนสองคน

ข้อดี คือ

(1) ที่เรือถูกต้อง มากกว่าที่เรือ ที่ใช้วัดด้วยเข็มทิศเพราะว่าอ่านเครื่องวัดแดดได้ละเอียดมากกว่าเข็มทิศ

(2) ไม่มีความผิดของเข็มทิศ

(3) จะวัดมุมจากที่ใด ๆ ในเรือก็ได้

ข้อเสียคือ

(1) การหาที่เรือโดยวิธีนี้หาได้ช้ากว่าใช้เข็มทิศแบริง

(2) เป็นสิ่งสำคัญมาก ที่จะต้องเลือกวัตถุ ให้เหมาะทั้งสามสิ่ง

(3) ถ้าวัตถุที่ใช้วัดนั้นลงตำบลที่ไว้ในแผนที่ผิดไป ก็ย่อมทำให้ที่เรือที่หาได้พลอยผิดไปด้วยและอาจจะไม่รู้สึกผิดก็ได้ โดยเหตุดังกล่าวแล้วนี้ เมื่อใช้แผนที่ซึ่งได้สำรวจไว้อย่างหยาบๆ แล้ว ควรหาที่เรือโดยใช้เข็มทิศแบริงดีกว่า เพราะว่าความเคลื่อนคลาดของตำบลที่ของวัตถุในแผนที่ จะปรากฏให้เห็นในเมื่อลากเส้นแบริงที่วัดหาได้ในขณะเดียวกันไม่ไปตัดเป็นจุดเดียวกันในแผนที่

ในรูป 97 ถ้า A และ B เป็นวัตถุสองสิ่งบนฝั่งซึ่งอยู่ประมาณในพื้นระดับเดียวกันกับผู้ตรวจ ผู้ตรวจวัดมุมในระหว่างวัดทั้งสองนั้น ฉะนั้นที่เรือจะต้องอยู่บนเซ็กเมนต์ AOB ซึ่งมีมุมที่วัดได้

ในทำนองเดียวกัน ถ้าผู้ตรวจวัดมุมในระหว่าง B และ C แล้ว ที่เรือจะต้องอยู่บนเซ็กเมนต์ COB

เซ็กเมนต์ทั้งสองนี้ตัดกันสองจุดคือที่ B และ O และจุด O ต้องเป็นตำบลที่เรือ

การลงตำบลที่เรือที่หาได้โดยการวัดมุมแนวนอน ไม่จำเป็นต้องเขียนวงกลมแต่ใช้เขียนเส้น AO, OB และ OC ลงบนกระดาษแก้วหรือกระดาษโปร่งใส (tracing paper) แล้วเอากระดาษแก้วนี้วางทาบลงบนแผนที่ให้เส้น OA, OB และ OC ผ่านหรือทับจุด A, B และ C ตามลำดับแล้วจุดที่เรือลงตรงจุด O

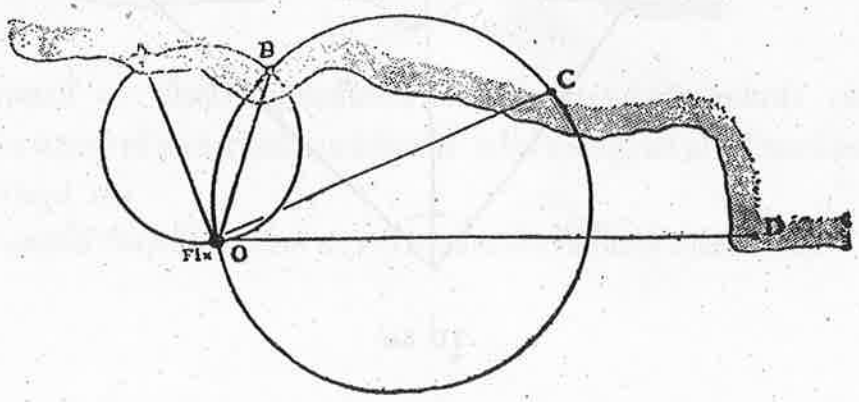
วิธีที่ง่ายและสะดวกที่จะลงที่เรือชนิดนี้ ในทางปฏิบัติใช้ลงด้วย

(ก) โปรแตรกเตอร์ Douglas (Douglas protractor)

(ข) เครื่องตั้งมุม หรือสะเตชั่นปอยนเตอร์ (Station pointer หรือ The 3-arm protractor)

ในราชนาวีเรานั้น การลงที่เรือชนิดนี้ใช้เครื่องตั้งมุม

มุมสำหรับตรวจสอบ (Check angle) การหาที่เรือโดยวัดมุมแนวนอนสองมุมนี้ในทางปฏิบัติถ้าสามารถทำได้แล้วควรต้องวัดมุมระหว่าง วัตถุแห่งกลางไปยังวัตถุแห่งที่สี่ สำหรับตรวจสอบไว้ด้วย



รูป ๙๗

การที่จะลงมุมนี้ในแผนที่ หลังจากหาที่เรือโดยใช้เครื่องตั้งมุมได้แล้วนั้น ทำดังนี้ คือ กดเครื่องตั้งมุมไว้ให้นิ่ง แล้วเลื่อนขาเครื่องขาหนึ่งไปให้ได้มุมเท่ากับมุมที่วัดสำหรับตรวจสอบ (คือตั้งมุมของขาเครื่องให้เท่ากับมุมสำหรับตรวจสอบ) แล้วขาข้างนี้จะต้องผ่านวัตถุแห่งที่สี่ จึงจะนับว่าถูกต้อง ในรูป 97 นี้ BOD เป็นมุมสำหรับตรวจสอบและขาเครื่องที่ต้องเลื่อนคือขา OC ที่ผ่านจุด C

การจดที่เรือที่หาได้ในรูปข้างบนนี้ลงในสมุดโน๊ต ใช้เขียนดังนี้

A 39° B 50° C

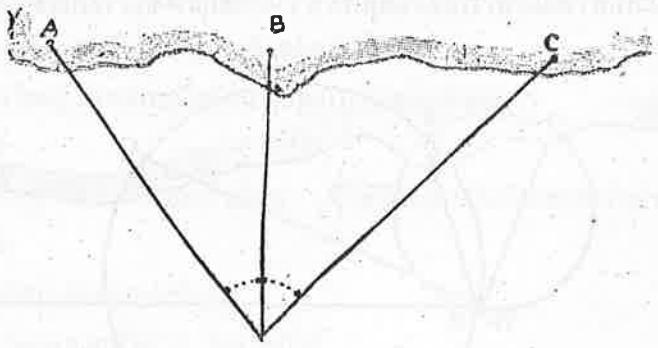
73° D

การเลือกวัตถุสำหรับหาที่เรือ โดยวัดมุมแนวนอนสองมุม เมื่อพิจารณาดูตามรูป 91 แล้วจะเห็นได้ว่า ถ้าประภาคาร ปล่องไฟและโบสถ์ทั้งสามแห่งนี้ต่างอยู่บนขอบวงกลม ซึ่งผ่านเรือแล้วจะหาที่เรือให้แน่นอนไม่ได้ เพราะว่าเรือย่อมจะอยู่ที่จุดใด ๆ บนเส้นรอบวงกลมได้ทั้งนั้น

เพราะฉะนั้นเพื่อมิให้ที่เรือมีลักษณะ "เข้าวงกลม" ดังกล่าวแล้วนี้ เมื่อเวลาจะหาที่เรือจึงต้องเลือกพิจารณาวัตถุที่จะใช้วัดมุมโดยระมัดระวังให้มากต้องให้วัตถุเหล่านั้น มีลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังต่อไปนี้ซึ่งมี 6 ลักษณะถือว่าเป็นวัตถุที่มีลักษณะดี ลักษณะเหล่านี้รวมทั้งลักษณะ 7 ด้วยย่อมจะได้พบเสมอไม่ลักษณะใดก็ลักษณะหนึ่ง

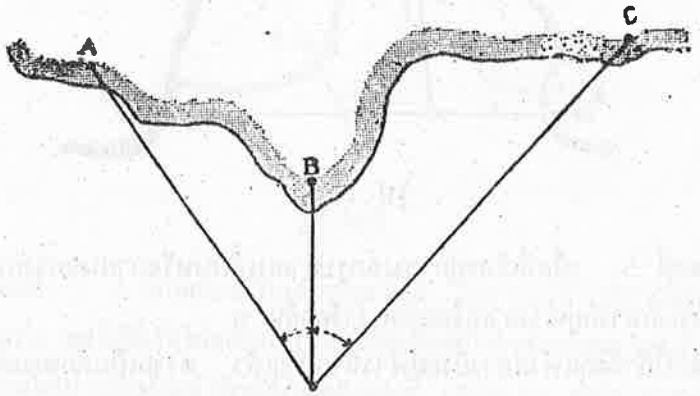
ลักษณะที่ 1 วัตถุทั้งสามแห่งอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน หรือเกือบเป็นเส้นตรงเดียวกัน ดังในรูป 98

ลักษณะนี้มุมยิ่งใหญ่ที่เรือก็ยิ่งดี ในทางปฏิบัติจะพบลักษณะที่เรือเกือบใกล้เคียงกับลักษณะนี้มากกว่าลักษณะอื่น ๆ ลักษณะนี้ถ้าวัตถุแห่งกลางอยู่ห่างจากเส้นตรงมาก ๆ จะกลายเป็นลักษณะ 2 หรือ 5



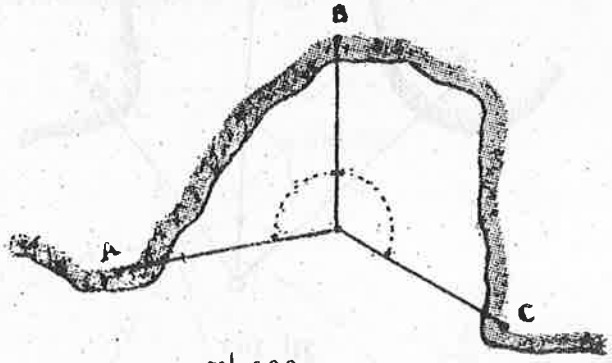
รูป ๙๘

ลักษณะที่ 2 วัตถุแห่งกลางอยู่ในระหว่างเรือกับเส้นตรงซึ่งต่อวัตถุอีกสองแห่ง (คือเรืออยู่ภายนอกวงกลมซึ่งผ่านวัตถุทั้งสามแห่งและวัตถุแห่งกลางอยู่ใกล้เรือที่สุด วัตถุแห่งกลางอยู่ใกล้เรือมากกว่าอีกสองแห่ง)และมุมทั้งสองไม่ควรน้อยกว่า 40° ถ้ามุมเล็กทำให้ที่เรือไม่ดี ดูรูป 99



รูป 99

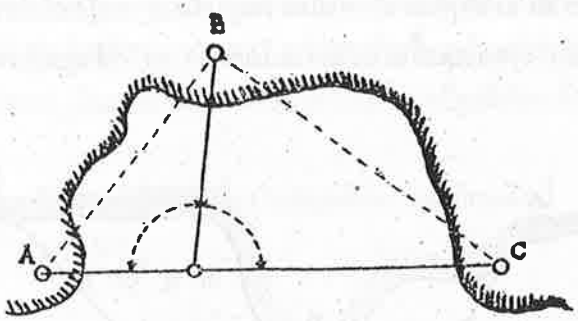
ลักษณะที่ 3 เรืออยู่ภายในรูปสามเหลี่ยม ซึ่งเกิดขึ้นโดยวัตถุทั้งสามแห่ง (คือวัตถุทั้งสามแห่งอยู่เป็นรูปสามเหลี่ยมรอบที่เรือ) ลักษณะนี้ได้ที่เรือที่ดีที่สุด แต่จะไม่ใคร่พบ ดังในรูป 100



รูป 100

ลักษณะที่ 4 เมื่อที่เรืออยู่บนเส้นหรือใกล้เส้นซึ่งต่อระหว่างวัตถุสองแห่ง (คือวัตถุสองแห่งอยู่ทางขวาและทางซ้ายของเรือเป็นแนวเดียวกัน หรือว่าเรืออยู่บนด้านใดด้านหนึ่งของรูปสามเหลี่ยม) ดังในรูป 101

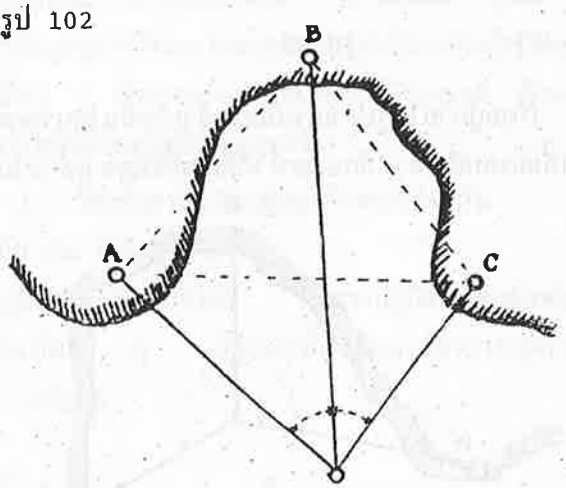
ลักษณะนี้ถ้าวัตถุแห่งกลางยิ่งห่างจากเรือ จะทำให้ความเป็นลักษณะที่ดีลดลง



รูป 101

ลักษณะที่ 5 เมื่อที่เรืออยู่ภายนอกรูปสามเหลี่ยมหรือภายนอกวงกลมซึ่งเกิดขึ้นโดยวัตถุสามแห่ง วัตถุแห่งกลางอยู่ห่างจากเรือมากกว่าวัตถุอื่น ๆ

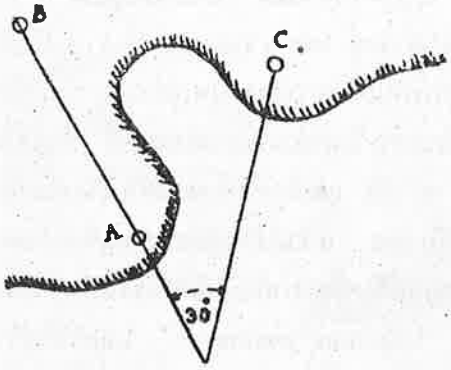
ลักษณะนี้ถ้าวัตถุแห่งกลางยิ่งอยู่ห่างจากเรือแล้ว ความเป็นลักษณะที่ดีก็ลดลงเหมือนกับลักษณะที่ 4 ดังในรูป 102



รูป 102

ลักษณะที่ 6 เมื่อวัตถุสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันตัดเป็นมุมกับเส้น ซึ่งลากจากวัตถุอีกแห่งหนึ่ง มุมที่ตัดกันไม่ควรน้อยกว่า 30°

ถ้าระยะในระหว่างวัตถุสองแห่งในแนวเดียวกันนั้น ยาวเท่าหรือยาวกว่าระยะจากเรือไปยังวัตถุแห่งที่สาม หรือระยะจากวัตถุที่อยู่ในแนวแห่งใกล้ไปยังเรือแล้วจะทำให้ที่เรือมีลักษณะดีที่สุด

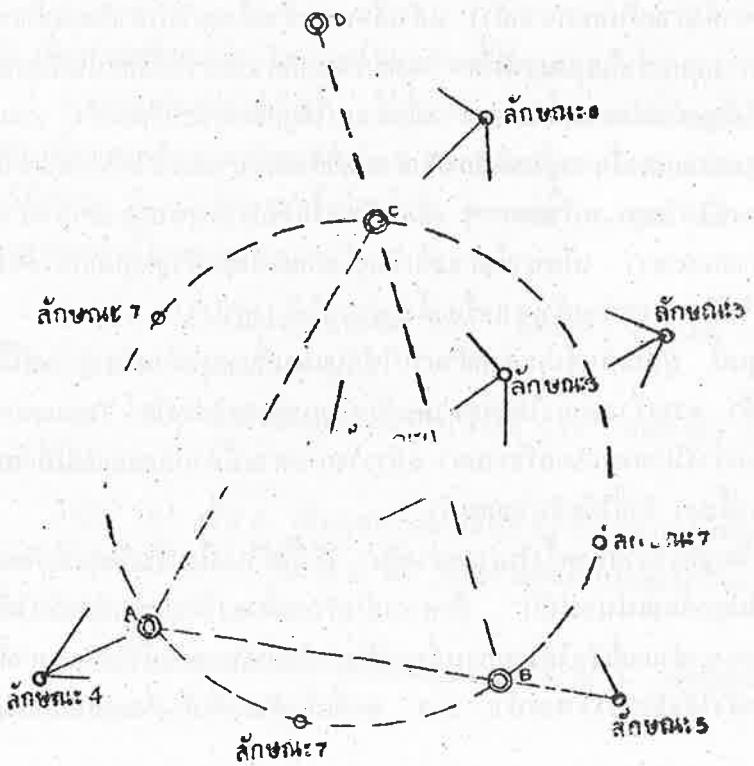


รูป 103

ลักษณะที่ 7 ลักษณะนี้เป็นลักษณะไม่ดี คือตำบลที่เรือที่หานั้นอยู่บนขอบวงกลมซึ่งผ่านวัตถุทั้งสามแห่ง จะได้ที่เรือไม่แน่นอน จะได้ที่เรือทั่วไปรอบวงกลม ฉะนั้นในการเลือกวัตถุจึงต้องอย่าให้มีลักษณะอย่างนี้หรือเข้าใกล้ลักษณะเช่นนี้ (ดูรูป 91 หน้า 239)

ในการวัดมุมนี้ ถ้าสงสัยว่าการวัดมุมจะไม่ถูกแล้ว ควรวัดมุมที่สามในระหว่างวัตถุแห่งกลางกับวัตถุแห่งที่สี่ไว้ด้วย

ในรูป 104 ต่อไปข้างล่างนี้เป็นการสรุปรวมลักษณะของที่เรือที่หาได้ โดยการวัดมุมสองมุมในระหว่างวัตถุสามแห่งอันมีลักษณะต่าง ๆ กัน



104

หมายเหตุ ในรูป 104 นั้น วงกลมใหญ่ต่าง ๆ ที่มีอักษร A,B และ C กำกับนั้น คือวัตถุที่ใช้วัดมุมในลักษณะต่าง ๆ นอกจากลักษณะที่ 1 ซึ่งใช้วัตถุ B,C,D ส่วนวงกลมเล็กต่าง ๆ ที่มีเส้นสั้น ๆ เขียนหันเข้าหาวงกลมใหญ่ต่าง ๆ นั้นเป็นที่เรือในลักษณะต่าง ๆ

การหาที่เรือโดยการวัดมุมแนวนอนสองมุมนี้ ถ้าจะวัดมุมในขณะที่เรือแล่นแล้วควรใช้คนวัดมุมสองคนวัดพร้อม ๆ กัน แต่ถ้าหากว่าจะใช้คนวัดคนเดียววัดมุมทั้งสองมุมแล้ว ควรวัดมุมของวัตถุแห่งที่เปลี่ยนช้าเสียก่อน แล้วจึงวัดมุมของวัตถุที่เหลือต่อไป แล้วจึงวัดมุมแรกซ้ำอีกหนหนึ่ง และใช้ผลเฉลี่ยของมุมที่วัดครั้งแรกกับมุมที่วัดครั้งหลังเป็นค่าของมุมแรก

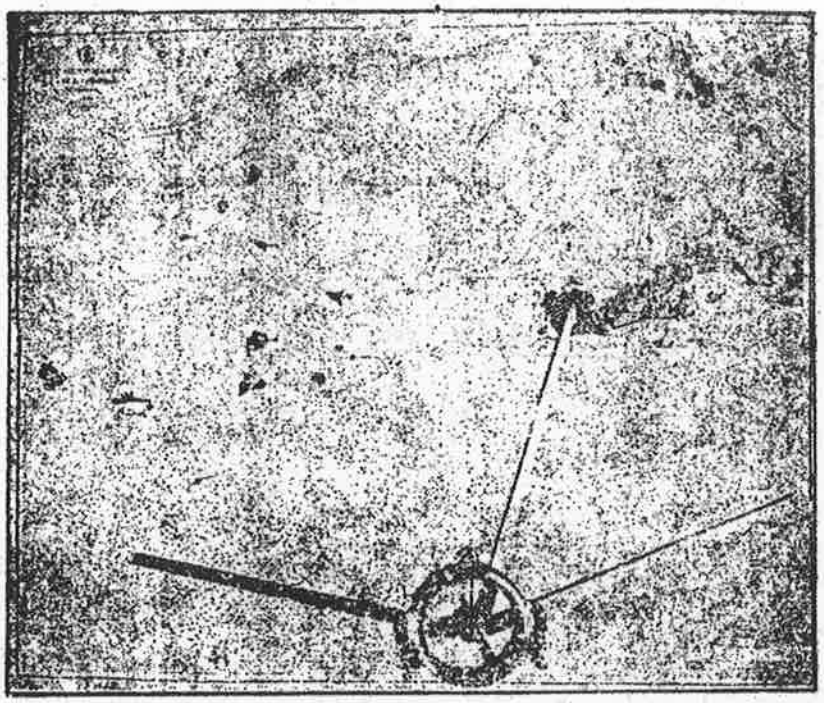
เครื่องตั้งมุม (Station pointer) และวิธีใช้ เครื่องตั้งมุมนี้ประกอบด้วยวงกลมทองเหลือง ซึ่งที่ขอบนอกของวงกลมได้แบ่งออกได้เป็นองศา และลิบดา

เครื่องนี้มีขาทองเหลือง 3 ขาติดอยู่กับวงกลม ขอบลาดของขาทั้งสามนี้ผ่านศูนย์กลางของวงกลม ขาอันกลางติดประจำกับวงกลมเลื่อนไม่ได้ ขอบลาดของขากลางอยู่ตรงขีดศูนย์ของวงกลม ส่วนขาอีกสองขาทางขวาและซ้ายของขากลางนั้นเลื่อนหมุนไปได้โดยรอบศูนย์กลางวงกลมทองเหลือง ขาที่เลื่อนได้ทั้งสองนี้มีเกลียวยึดให้ติดแน่นกับวงทองเหลืองและมีเกลียวสัมผัสสำหรับแต่งให้ขาทั้งสองนี้เลื่อนได้โดยช้า ๆ อีกและทั้งมีขอบเวอร์เนียร์ติดอยู่กับขาทั้งสองนี้ด้วย เมื่อต้องการตั้งมุมใดก็เลื่อนขาที่ต้องการไปให้ทำมุมกับขาประจำเท่ากับมุมที่ต้องการ ที่ศูนย์กลางของวงกลมมีรูเล็ก ๆ รูหนึ่งสำหรับใช้ดินสอจุดหาที่เรือในแผนที่

เมื่อจะตั้งมุมของวัตถุที่วัดได้ลงในเครื่องเพื่อหาที่เรือ ให้วางเครื่องตั้งมุมลงหันวงกลมเข้าหาตัวผู้ตรวจ (ให้ขาทั้งสามหันออกจากตัว) แล้วเลื่อนขาซ้ายตั้งมุมให้เท่ากับมุมซ้ายของที่วัดได้และเลื่อนขาขวาให้กางออกเท่ากับมุมขวาที่วัด และกวดเกลียวยึดขาให้ติดแน่นกับขอบวงกลมใช้เกลียวสัมผัสแต่งให้ได้มุมตามจำนวนที่ต้องการ เมื่อตั้งมุมได้ถูกต้องเรียบร้อยแล้ว วางเครื่องตั้งมุมลงบนแผ่นที่โดยให้ศูนย์กลางเครื่องอยู่ใกล้เคียงกับตำบลที่เรือประมาณและให้ขอบลาดของขากลางทับกับวัตถุแห่งกลางที่ใช้วัดมุม แล้วค่อย ๆ เลื่อนตัวเครื่องไปมาจนขอบลาดของขาซ้ายและขาขวาทับกับวัตถุแห่งซ้ายและขวา เมื่อขาทั้งสามทับวัตถุทั้งสามแห่งดีแล้วจุดศูนย์กลางของเครื่องจะเป็นที่เรือที่ต้องการ ใช้ดินสอจุดลงแล้วเอาเครื่องตั้งมุมออกได้ (ดูรูป 105)

เครื่องตั้งมุมนี้ ผู้ประดิษฐ์ประสงค์สำหรับใช้กับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ ฉะนั้นเมื่อใช้แผนที่มาตราส่วนเล็กแล้ว ควรสร้างมุมลงในกระดาษแก้วหรือกระดาษโปร่งใส (Transparent paper) โดยวิธีสร้างอย่างโปรแตรกเตอร์ธรรมดา แล้ววางกระดาษนี้ทาบลงบนแผนที่ และใช้ในทำนองเดียวกันกับเครื่องตั้งมุม ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

8. แบริงวัตถุสิ่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกัน วิธีนี้ใช้ในเมื่อเห็นวัตถุแต่เพียงสิ่งเดียวที่เรือที่หาโดยวิธีนี้ย่อมไม่ถูกต้องแน่นอนนัก ถ้าหากเส้นตำบลที่ของวัตถุแห่งเดียวกันได้สองเส้นในเวลาต่างกันแล้ว ก็จะหาตำบลที่เรือได้โดยการเลื่อนเส้นตำบลที่เส้นแรกเข้าไปหาเวลาที่วัดแบริงหาเส้นตำบลที่เส้นที่สองดังได้อธิบายไว้ในหน้า 144 จุดที่เส้นตำบลที่เส้นที่สองตัดกับเส้นตำบลที่



รูป 105 เครื่องตั้งมุม

เลื่อนนั้น เป็นตำบลที่ของเรือ ในขณะที่วัดแบริงครั้งที่สอง

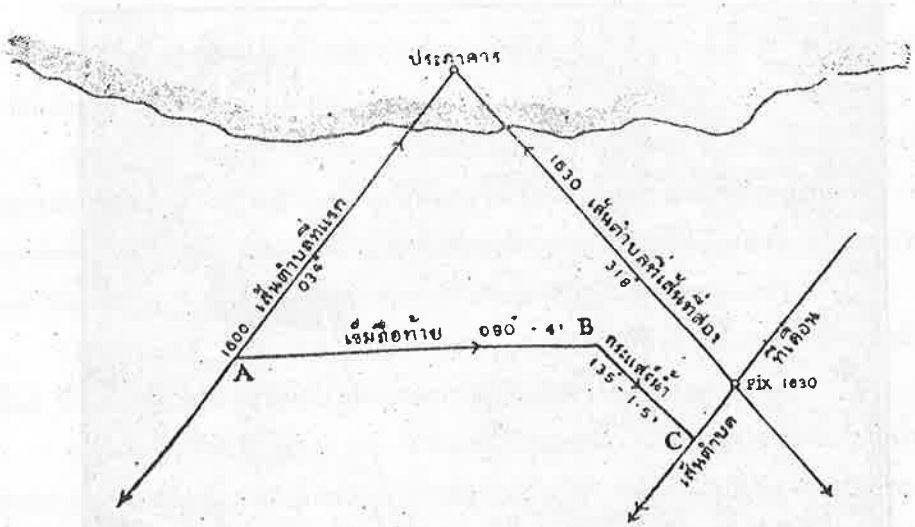
ความถูกต้องของที่เรือนี้ ย่อมแล้วแต่ว่าระยะทางที่เรือแล่นโดยประมาณในระหว่างแบริงทั้งสองนั้นจะถูกต้องมากน้อยเพียงใด เพราะฉะนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องใช้ความระมัดระวังให้มาก ในการที่ต้องแก้น้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ และลม ที่มากระทำกับเรือในระหว่างกำหนดเวลาที่แบริงนี้โดยความชำนาญ

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 090° อัตราเร็ว 8 นอต กะประมาณดูว่ามีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 135° ความเร็ว 3 นอต

เวลา 1600 แบริงประภาคารแห่งหนึ่งได้ 034° และเวลา 1630 แบริงประภาคารแห่งเดียวกันนี้ได้ 320°

ในรูป 106 นั้น A เป็นจุดหนึ่งบนเส้นตำบลที่เส้นแรกตรงที่ใดก็ได้ AB เป็นเข็มและระยะทางที่เรือแล่นในเวลา 30 นาที BC เป็นกำลังของกระแสน้ำในเวลา 30 นาที (หาได้โดยอาศัยความชำนาญ)

จุดซึ่งเส้นตำบลที่เส้นแรกได้เลื่อนมาและลากผ่าน C ตัดกับเส้นตำบลที่เส้นที่สองจะเป็นที่เรือเวลา 1630



รูป 106

แบริงวัตถุสิ่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกันนั้น ยังแบ่งออกอีกเป็น 3 ชนิด คือ

(1) แบริงไม่จำกัดมุม

(2) แบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า (Doubling the angle on the bow) หรือเรียกว่า "แบริงทวีมุม"

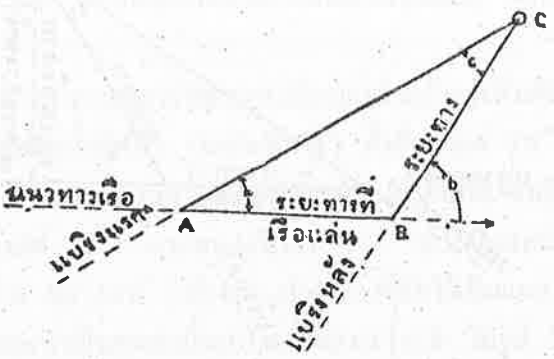
(3) แบริงสี่ปอยนต์ { Four points bearing or the bow and beam (45°-90°) }

(1) แบริงไม่จำกัดมุม การหาที่เรือโดยแบริงวัตถุสิ่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกันนั้น มีวิธีทำอยู่ 2 วิธี คือ (ก) โดยวิธีคำนวณ (ข) โดยวิธีเขียนกราฟหรือเขียนลงบนแผนที่

โดยวิธีคำนวณนั้น บางทีก็ได้ทำไว้เป็นมาตราต่างหากอีก ซึ่งเวลาใช้ก็เปิดหาเอาจากมาตรานั้นได้ทีเดียว ไม่ต้องเสียเวลาคำนวณแต่ตามทางใช้การนั้นใช้ขีดลงในแผนที่กันเป็นส่วนมาก แต่ถึงกระนั้นก็ตาม ควรได้รู้การคำนวณและการเปิดมาตราไว้ด้วย

โดยวิธีคำนวณนั้นใช้สูตรของรูปสามเหลี่ยม ซึ่งรูปสามเหลี่ยมนั้นเกิดขึ้นจากแบริงของวัตถุแห่งเดียวสองแบริง กับระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงทั้งสองนั้น ระยะทางที่เรือแล่นนั้นอาจหาได้โดยการคำนวณโดยตรวจเวลาที่แบริงแต่ละครั้งได้ และทั้งอาจคำนวณได้จากการตรวจอัตราอ่านล็อกในขณะที่แบริงครั้งแรก และแบริงครั้งหลังในรูป 107 แสดงรูปสามเหลี่ยมและส่วนประกอบต่าง ๆ

C เป็นวัตถุประจำซึ่งใช้วัดแบริง มุมเป็น a แบริงสัมพัธแบริงแรก (ผลต่างระหว่าง



รูป 107

เข็มและแบริงแรก) มุม b เป็นแบริงสัมพัธ แบริงหลัง (ผลต่างระหว่างเข็มและแบริงหลัง) ฉะนั้น จึงคำนวณหามุม ABC ได้โดยง่าย คือเท่ากับ 180° - b และมุม $c = b - a$ AB เป็นระยะทางที่เรือแล่นที่ทราบคำนวณหาได้ ดังได้อธิบายไว้แล้ว เมื่อเป็นดังนี้ ในรูปสามเหลี่ยม ABC เราก็รู้มุมสามมุม และด้านหนึ่งด้าน

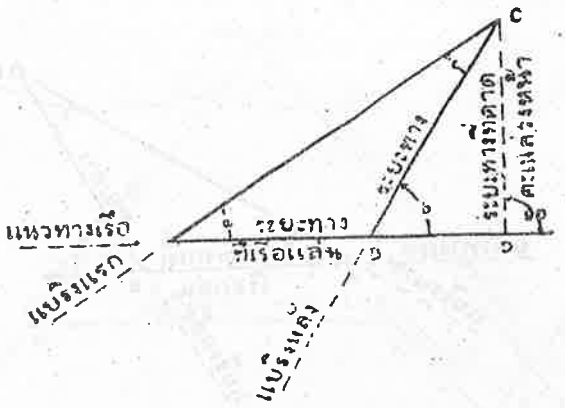
เมื่อใช้สูตรของตรีโกณมิติ ก็อาจหาด้าน CB ซึ่งเป็นระยะทางจากวัตถุ C ขณะที่แบริงครั้งหลังได้

จากรูปสามเหลี่ยม ABC

$$\frac{CB}{\sin a} = \frac{AB}{\sin C} = \frac{AB}{\sin (b-a)}$$

หรือ $$CB = \frac{AB \sin a}{\sin (b-a)}$$

ถ้าหากว่าทิ้งเส้นฉากเส้นหนึ่ง คือ CD จาก C ไปยัง AB ยืดแล้ว (ดูรูป 108) ก็อาจคำนวณหาค่าของ CD ได้ด้วย ระยะ CD นี้เรียกว่าระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้า (predicted distance) ซึ่งวัตถุ C จะผ่านตรงข้างเรือ (abeam) ในกรณีที่เรือคงแล่นตามเข็มเดิมและอัตราเร็วเดิม



รูป 108

จากรูป 108 $CD = CB \sin b$

แต่ $CB = AB\frac{\sin a}{\sin (b-a)}$

$\therefore CD = AB\frac{\sin a \sin b}{\sin (b-a)}$

หรือ $AD = CD \cot a$

และ $BD = CD \cot b$

แต่ $AD-BD = AB = CD (\cot a - \cot b)$

$\therefore CD = \frac{AB}{\cot a - \cot b}$

ในการหาค่าของ CB (ระยะทางจาก C ในขณะเมื่อแบริงครั้งที่สอง) และค่าของ CD (ระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าซึ่งอยู่ตรงข้างเรือ) นั้น ไม่จำเป็นที่จะต้องคำนวณโดยวิธีตรีโกณมิติดังได้ทำไว้ให้เห็นแล้วนั้น เพราะว่าได้ทำให้ไว้เป็นมาตราอยู่ในมาตราเดินเรืออินแมนส์ว่าด้วยมาตราระยะทาง โดยการเปลี่ยนแบริง (Distance by change of bearing) แล้ว มาตรานี้ได้ให้ผลสำหรับระยะทางที่เรือแล่นได้ 1 ไมล์ไว้ (AB = 1 ไมล์) สำหรับแบริงสัมพัธอันมีจำนวนเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 20° จากหัวเรือจนถึง 20° จากท้ายเรือ (คือ 160° จากหัวเรือ) และโดยที่จะให้ได้ระยะทางที่เรือแล่น AB เท่ากับ 1 ไมล์ถ้วนๆ นั้น ย่อมหาได้ยากมาก

เพราะฉะนั้นผลที่ให้ไว้ในมาตรานั้นอันที่จริงจึงเป็นแต่เพียงตัวคูณ (multipliers หรือ factors) ซึ่งเมื่อเอาคูณเข้ากับระยะทางที่เรือแล่นไปได้จริงแล้วจะได้

(1) ระยะทางจากวัตถุในเมื่อวัดแบริงครั้งที่สองตามเส้นแบริงที่สอง

(2) ระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้า ในเมื่อวัตถุจะผ่านตรงข้างเรือ (วัตถุตั้งฉากกับตัวเรือ)

สำหรับข้อ (2) นี้ไม่ได้ให้ไว้ในมาตราเดินเรืออินแมนส์ แต่มีให้ไว้ในมาตราเดินเรือ Bowditch ของนาวีอเมริกัน ฉะนั้นเมื่อใช้มาตราเดินเรืออินแมนส์ ก็จะหาระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้านี้ไม่ได้

เมื่อเปิดดูในมาตราระยะทางโดยการเปลี่ยนแบริงแล้วจะเห็นได้ว่า ในช่องข้างบนนั้นเป็น มุมจากหัวเรือ เมื่อแบริงครั้งที่หนึ่ง (แบริงสัมพัธ) ตั้งต้นตั้งแต่ 20° ถึง 90° และในช่องล่างสุดตั้งต้นตั้งแต่ 90° ถึง 160° ส่วนในช่องซ้ายสุดของหน้าเป็น แบริงเปลี่ยน (change of bearing) ตั้งต้นตั้งแต่ 20° จากบนลงไปถึง 90° ข้างล่างและในช่องขวาสุดของหน้าตั้งต้นตั้งแต่ 90° ข้างล่าง ถึง 160° ข้างบน ส่วนช่องที่จัดไว้เป็นแถว ๆ ที่เหลืออยู่นั้น เป็นค่าของตัวคูณสำหรับหาระยะทางในขณะเมื่อแบริงครั้งที่สอง ⟨CB ในรูป 107 และ 108 ถ้าเปิดในมาตราเดินเรือ Bowditch ของนาวีอเมริกันแล้วจะเห็นได้ว่าในช่องตัวคูณช่องหนึ่ง ๆ นั้น เขาได้จัดตัวเลขไว้เป็นสองแถว คือ แถวซ้ายมือเป็นตัวคูณสำหรับหาระยะทางในขณะเมื่อแบริงครั้งที่สอง และแถวขวามือเป็นตัวคูณสำหรับหาระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้า (CD ในรูป 108)⟩

⟨สำหรับมาตราเดินเรือ Bowditch นั้น เมื่อแบริงครั้งที่สองเป็น 90° (แบริงสัมพัธ) แล้วตัวคูณทั้งสองเท่ากันในกรณีนี้แบริงครั้งที่สองเป็นแบริงตรงข้างเรือ ฉะนั้นระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าจึงไม่มีอีกต่อไป และสำหรับในกรณีเมื่อแบริงครั้งที่สองโตกว่า 90° (แบริงสัมพัธ) แล้วตัวคูณทางขวามือ ก็ใช้เป็นตัวคูณของระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าไม่ได้อีกต่อไป แต่ถึงกระนั้นก็ตามคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้นั้น อาจใช้เป็นระยะทางในขณะเมื่อวัตถุผ่านตรงข้างเรือได้⟩

โดยที่มาตราระยะทางโดยการเปลี่ยนแบริงนั้นได้ให้แบริงสัมพัธ (มุมจากหัวเรือ) ไว้เป็นจำนวนเลขคู่เท่านั้น ฉะนั้น ในทางปฏิบัติเมื่อประสงค์จะใช้มาตรานี้ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้เทียบหาในเมื่อแบริงสัมพัธเป็นเลขขอน เพราะว่าการที่จะให้ได้แบริงสัมพัธเป็นจำนวนเลขคู่นั้นย่อมทำได้โดยง่าย คือ ผู้วัดแบริงหรือนักเดินเรือต้องยอมเสียเวลาเพียงอีกนิดหน่อยเท่านั้นเอง คือว่า ถ้าเข็มเรือเป็นจำนวนเลขขอนแล้ว ผู้วัดแบริงจะต้องรอวัดให้ได้แบริงเป็นจำนวนเลขขอนด้วยแล้ว ก็จะได้แบริงสัมพัธเป็นจำนวนเลขคู่ และถ้าเข็มเรือเป็นจำนวนเลขคู่แล้ว แบริงใด ๆ ซึ่งเป็นจำนวนเลขคู่ ก็จะได้แบริงสัมพัธเป็นเลขคู่ด้วยเช่นเดียวกัน

ตัวอย่าง 1 เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 187° (จริง) อัตราเร็ว 12 นอต เวลา 1319 แบริงประภาคาร A ให้ 161° (จริง) ครั้นเวลา 1334 วัดแบริงประภาคารแห่งเดียวกันนี้ได้ 129° (จริง) จงหา (ก) ระยะทางจากประภาคาร A เวลา 1334 (ข) ระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้า ซึ่งประภาคาร A จะผ่านตรงข้างเรือ

วิธีทำ แบริงสัมพัธ หรือมุมจากหัวเรือเท่ากับผลต่างระหว่างเข็มและแบริงครั้งแรก = 187° — 160° = 26° และอัตราเปลี่ยนแบริงเท่ากับผลต่างระหว่างแบริงครั้งที่หนึ่งกับแบริงครั้งที่สอง = 161° — 129° = 32° ตัวคูณที่หาได้จากมาตรา = 0.83

ระยะทางที่เรือแล่นจากเวลา 1319 ถึง 1334 = 15 นาที = $\frac{15}{60} \times 12 = 3$ ไมล์

เพราะฉะนั้นระยะทางจากประภาคารเมื่อแบริงครั้งที่สอง (เวลา 1334) = 3×0.83 = 2.49 ไมล์ = 2.5 ไมล์

ส่วนข้อ (ข) นั้น ต้องใช้เปิดในมาตราเดินเรือ Bowditch

แบริงสัมพัทธหรือมุมจากหัวเรือเท่ากับผลต่างระหว่างเข็ม และแบริงครั้งที่สอง = 187° - 129 = 58° ตัวคูณที่หาได้จากแถวขวามือ = 0.70

ระยะทางที่เรือแล่นเท่ากันกับในข้อ (ก) = 3 ไมล์ เพราะฉะนั้น ระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าเมื่อประภาคารอยู่ตรงข้างเรือ = 3×0.70 = 2.10 ไมล์

ตัวอย่าง 2 เรือลำหนึ่งแล่นเข็มเรือ 235° อัตราเร็ว 14 นอต เวลา 2054 แบริงไฟ X ได้ 267° (เข็มเรือ) อ่านล็อกได้ 26.7 ไมล์ ครั้นเวลา 2129 อ่านล็อกได้ 34.9 แบริงไฟ X ได้ 289° (เข็มเรือ) จงหา (ก) ระยะทางจากไฟ X เวลา 2129 (ข) ระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าซึ่งไฟ X จะผ่านตรงข้างเรือ

วิธีทำ แบริงสัมพัทธหรือมุมจากหัวเรือ เท่ากับผลต่างระหว่างเข็มและแบริงครั้งแรก = 267°-235° = 32 อัตราเปลี่ยนแบริงเท่ากับผลต่างระหว่างแบริงครั้งที่หนึ่งกับแบริงครั้งที่สอง = 289°-267° = 22° เมื่อเอาไปเปิดในมาตราแล้วจะได้ตัวคูณ = 1.41

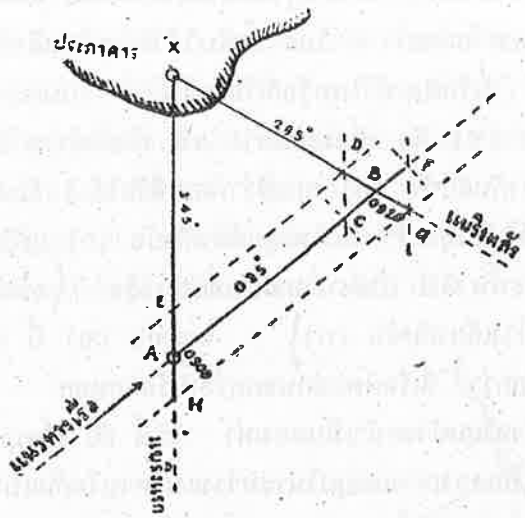
ระยะทางที่เรือแล่นจากเวลา 2054 ถึง 2129 = 34.9-26.7 = 8.2 ไมล์ (ตามล็อก)

เพราะฉะนั้นระยะทางจากไฟ X เมื่อแบริงครั้งที่สอง = 8.2×14.1=11.512 =11.6 ไมล์

ส่วนในข้อ (ข) นั้น ก็ต้องใช้เปิดในมาตราเดินเรือ Bowditch เช่นเดียวกับข้อ (ข) ตัวอย่าง 1 แบริงสัมพัทธหรือมุมจากหัวเรือเท่ากับผลต่างระหว่างเข็ม และแบริงครั้งที่สอง = 289°-235° = 54° ตัวคูณที่หาได้จากแถวขวามือในมาตรา = 11.4 เพราะฉะนั้น ระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าเมื่อไฟอยู่ตรงข้างเรือ = 8.2×1.14 = 9.3 ไมล์

ในการหาที่เรือในเมื่อเห็นวัตถุแห่งเดียวนี้ ในทางปฏิบัติไม่ใช้คำนวณหรือเปิดมาตรา (การเปิดมาตรานี้มิใช่ว่าจะใช้ไม่ได้เสียทีเดียว ย่อมใช้ได้เหมือนกัน) แต่ใช้การขีดเส้นแบริง (เส้นตำบลที่) ทั้งสองลงในแผนที่เลยทีเดียว แล้วเอาระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงทั้งสองครั้งนั้น ไปกะดูในแผนที่ว่าจะเข้าระยะได้ตรงที่ใดในแนวทางเรือที่แล่นไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 3 เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 035° อัตราเร็ว 12 นอต เวลา 0900 แบริงประภาคาร X ได้ 345° อ่านล็อกได้ 25.5 ไมล์ ครั้นเวลา 0920 แบริงประภาคารแห่งเดิมได้ 285° อ่านล็อกได้ 29.5 ไมล์ จงหาที่เรือเมื่อแบริงครั้งที่สอง (ครั้งหลัง)



รูป 109

วิธีทำ ขีดแบริงทั้งสองนั้นลงในแผนที่ให้ตัดกับแนวทางเรือที่ได้ขีดไว้แล้ว รูป 109) เส้นแบริงแรกจะตัดกับแนวทางเรือที่ A และเส้นแบริงหลังตัดที่ B ระยะทาง AB ที่เรือแล่นไปได้นี้เท่ากับผลต่างของล็อกที่อ่านได้สองครั้ง (คือ 29.5-25.5) = 4.0 ไมล์ แต่ยังไม่รู้ว่าเรือจะแล่นไปบนแนวทางเรือ AB จริงหรือไม่

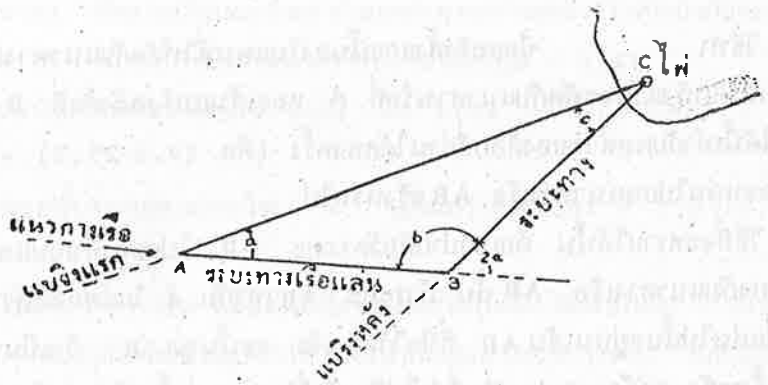
วิธีที่จะทราบได้นั้น คือเอาปากคีบวัดระยะ AB ไปกะลงที่ขอบแลต.ของแผ่นที่ในบริเวณใกล้เคียงกับแนวทางเรือ AB นั้น ถ้าระยะ AB เท่ากับ 4 ไมล์พอดีแล้ว แสดงให้เห็นว่าแนวทางเรือที่แล่นไปนั้นอยู่บนเส้น AB ที่ขีดไว้ตามเดิม ฉะนั้นจุด B จึงเป็นที่เรือเวลา 0920 เมื่อวัดแบริงครั้งหลัง แต่ถ้าระยะ AB ที่นำไปวัดเข้าที่ขอบแลต.นั้น ไม่เท่ากับ 4 ไมล์พอดี คือ (ก) มากกว่า 4 ไมล์ อย่างหนึ่ง (ข) น้อยกว่า 4 ไมล์ อีกอย่างหนึ่ง เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วให้ทำดังต่อไปนี้

สำหรับข้อ (ก) เอาปากคีบวัดระยะที่ขอบแลต. ให้เท่ากับ 4 ไมล์ แล้วกะระยะนี้ลงบนเส้น AB โดยให้ A เป็นศูนย์กลาง สมมุติว่าตัดตรงจุด C แล้วเลื่อนเส้นแบริงแรก (เส้นตำบลที่แรก)มาให้ผ่านจุด C เส้นแบริงเลื่อน(เส้นตำบลที่เลื่อน)นี้จะตัดเส้นแบริงหลังตรงจุด D จุด D นี้เป็นที่เรือเมื่อแบริงครั้งหลัง และเมื่อเลื่อนแนวทางเรือที่ขีดไว้แล้วให้มาผ่านจุด D นี้ เส้นแนวทางเรือที่เลื่อนจะตัดกับเส้นแบริงแรกตรงจุด E ฉะนั้น DE จึงเป็นแนวทางเรือที่แล่นจริง (หมายเหตุ แนวทางเรือ DE นี้ จะเป็นแนวทางที่แล่นไปจริงได้ต่อเมื่อเรือแล่นในที่น้ำนิ่งหรือแล่นตามน้ำ หรือทวนน้ำโดยตรงหรือแล่นตามลมหรือทวนลมโดยตรง และแล่นได้ตรงตามเข็มที่ขีดไว้ ถ้าในกรณีอื่นนอกจากนี้แล้วแนวทางเรือก็ไม่อยู่ในแนวทางเรือ DE แต่ที่เรือเมื่อแบริงครั้งหลังคงเป็นจุด D ตามเดิม) เพราะฉะนั้นตามรูปนี้จะเห็นได้ว่าถ้าระยะทาง AB เท่ากับระยะทางที่วัดได้

จากขอบ แลต. แล้วแนวทางเรือจริงก็จะอยู่ในแนวทางเรือ AB ที่ปิดไว้แต่เดิม แต่สำหรับข้อ (ก) คือ ระยะทาง AB มากกว่า 4 ไมล์ นี้เห็นได้ว่าแนวทางเรือที่แล่นจริงอยู่ข้างในของแนวทางเรือเดิม จึงเรียกว่า "ที่เรือผิดเข้าในหรือที่เรือตกใน"

สำหรับข้อ (ข) คือ เมื่อระยะทาง AB น้อยกว่า 4 ไมล์ ในข้อนี้การวัดและการกะระยะ ก็ทำอย่างเดียวกันกับข้อ (ก) สมมุติว่าระยะที่วัดได้ 4 ไมล์ ตัด AB ตรงจุด F แล้วเลื่อนเส้นแบริงแรกไปให้ผ่านจุด F ในทำนองเดียวกับข้อ (ก) แล้วจะได้จุด G เป็นที่เรือเมื่อแบริงครั้งหลัง เพราะฉะนั้น GH เป็นแนวทางเรือที่แล่นจริง (จะเป็นแนวทางเรือจริงได้ต่อเมื่อการแล่นนั้นมีลักษณะอย่างเดียวกับข้อ (ก)) ตามข้อ (ข) นี้ จะเห็นได้ว่าแนวทางเรืออยู่ข้างนอกแนวทางเดิม จึงเรียกว่า "ที่เรือผิดออกนอกหรือที่เรือตกนอก"

(2) แบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า วิธีนี้ คือ เมื่อมุมในระหว่างแนวทางเรือ (ทิศหัวเรือ) กับแบริงหลังเป็นสองเท่าของมุมในระหว่างแนวทางเรือกับแบริงแรก (คือแบริงสัมพัทธครั้งหลังเป็นสองเท่าของแบริงสัมพัทธครั้งแรก)



รูป 110

ในรูปสามเหลี่ยม ABC (รูป 110)

$$b = 180^\circ - 2a$$

$$a + b + c = 180^\circ$$

$$a + 180^\circ - 2a + c = 180^\circ$$

$$a - 2a + c = 0$$

และ $a = c$

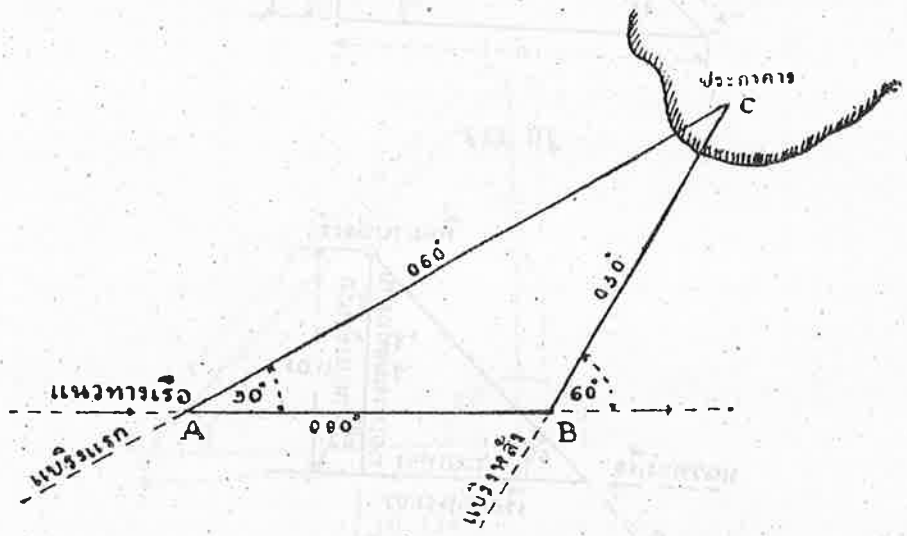
เพราะฉะนั้น ABC เป็นรูปสามเหลี่ยมสองด้านเท่า (สามเหลี่ยมหน้าจั่ว) และ $AB = BC$

ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงทั้งสองนั้นเท่ากันระยะทางจากวัตถุถึงเรือเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง คือว่าเรือจะอยู่ในเส้นแบริงหลังมีระยะห่าง (BC) จากวัตถุ C เท่ากับ AB

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 090° อัตราเร็ว 15 นอต เวลา 1000 แบริงประภาคาร C ได้ 060° อ่านล็อกได้ 15.0 เวลา 1020 แบริงประภาคารเดียวกันอีกได้ 030° ล็อกได้ 20.0 จงหาที่เรือเมื่อแบริงครั้งหลัง

วิธีทำ ตามตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่าแบริงสัมพัทธแบริงแรกเท่ากับ 30° (คือ 090°-060°) และแบริงสัมพัทธแบริงหลังเท่ากับ 60° (คือ 090°-030°)

เพราะฉะนั้นตามรูป 111 เห็นได้ว่ารูปสามเหลี่ยม ABC เป็นรูปสามเหลี่ยมสองด้านเท่า และที่เรือเมื่อวัดแบริงครั้งหลังก็อยู่ในเส้นแบริงหลัง BC ห่างจาก C เท่ากับระยะ AB

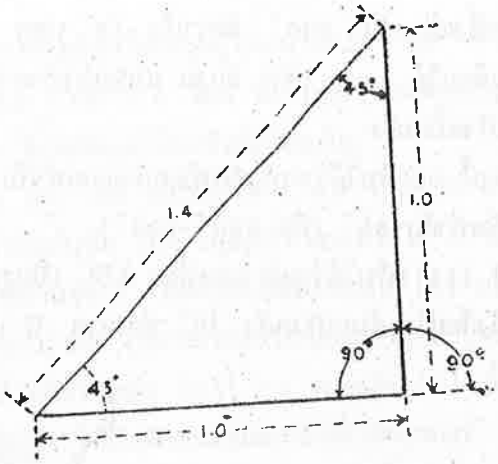


รูป 111

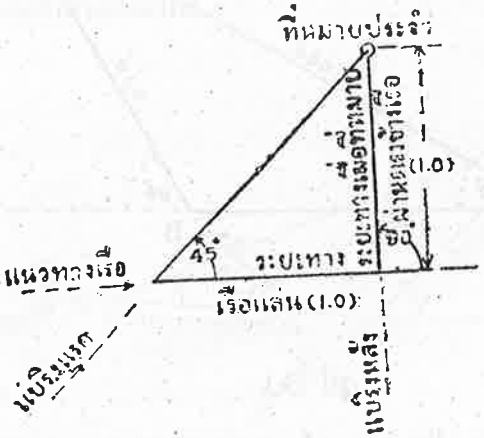
ในทางปฏิบัตินั้นการหาที่เรือโดยวิธีนี้ ผู้ตรวจจะต้องคิดแบริงสัมพัทธที่ตนต้องการหาไว้ล่วงหน้าก่อน เช่นว่าตามรูป 111 นั้น ถ้าผู้ตรวจต้องการให้แบริงสัมพัทธแบริงแรกเป็น 30° แล้วจะต้องหาว่าแบริงจริงของวัตถุจะต้องเป็นเท่าใด ตามรูปแบริงของ C เท่ากับ 060° (090°-30°) แบริงสัมพัทธแบริงหลังเท่ากับ 30°×2 = 60° ฉะนั้นแบริงจริงครั้งหลังเท่ากับ 030° (090°-60 แล้วหาแบริงเข็มเรือของแบริงจริงทั้งสองนี้ไว้ ซึ่งผู้ตรวจจะต้องเอาไปตั้งลงในเครื่องแบริง เพื่อวัดแบริงของวัตถุนั้น และในขณะที่วัดแบริงได้ตามต้องการนั้นต้องจดเวลาและอ่านล็อกไว้ด้วยทุกคราว

หมายเหตุ วิธีนี้เป็นวิธีที่หาที่เรือได้ง่ายโดยไม่ต้องเปิดมาตรา

(3) แบริงสี่ปอยนต์ วิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งของวิธี "แบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า" และเป็นวิธีหาที่เรือได้โดยไม่ต้องเปิดมาตรา วิธีนี้คล้ายกันกับ "แบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า" ทุกประการ ต่างกันตรงที่แบริงสัมพัทธแบริงแรกเป็น 45° (4 ปอยนต์) กับแบริงสัมพัทธแบริงหลังเป็น 90° (8 ปอยนต์) เท่านั้น



รูป 112



รูป 113

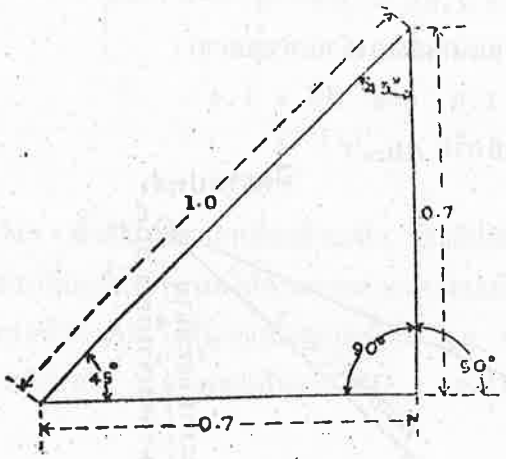
ในรูปสามเหลี่ยมสองด้านเท่ามุมฉาก (รูป 112) นั้น ถ้าด้านประกอบมุมฉากต่างเท่ากับ 1.0 แล้ว ด้านตรงข้ามมุมฉากจะเท่ากับ 1.4 เพราะฉะนั้นจึงเห็นได้ว่าด้านที่ประกอบมุมฉากแต่ละด้านนั้นได้อัตราส่วนกันกับด้านตรงข้ามมุมฉาก = 1.0 : 1.4 จากรูปสามเหลี่ยมนี้เองจึงได้วิธีแบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่าและแบริงสี่ปอยนต์

วิธีแบริงสี่ปอยนต์นี้ (รูป 113) ระยะทางที่เรือแล่นที่ทราบในระหว่างแบริงสัมพัธ 45° และแบริงสัมพัธ 90° (แบริงเมื่อที่หมายผ่านตรงข้างเรือ) นั้น เท่ากับระยะทางเมื่อที่หมายประจำผ่านตรงข้ามเรือพอดี

วิธีหาที่เรือโดยแบริงวัตถุแห่งเดียวสองครั้ง ในเวลาต่างกันนั้นนอกจากที่ได้กล่าวมาแล้ว 3 วิธีนี้ยังแยกออกเป็นส่วนย่อยได้อีกหลายประเภท ดังจะได้กล่าวต่อไป ซึ่งเป็นวิธีง่ายและ

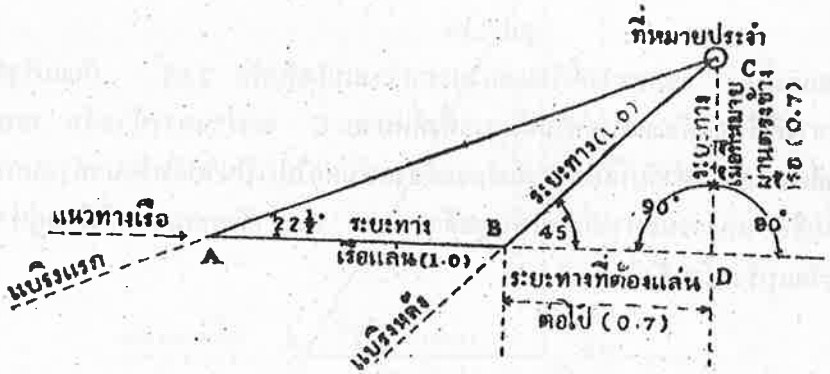
สะดวกโดยไม่ต้องเปิดมาตรา แต่แท้จริงแล้วก็รวมอยู่ในวิธีที่ (2) และ (3) นั่นเองซึ่งได้มาจากรูปสามเหลี่ยมสองด้านเท่ามุมฉากรูป 112 บางประเภทก็เข้าอยู่ในแบริงไม่จำกัดมุมบ้าง แบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่าบ้าง แต่ทั้งนี้ก็นับว่ามีประโยชน์อยู่บ้าง ซึ่งแล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้เอาตามโอกาสอันควร ประเภทย่อยเหล่านี้ได้แก่

(ก) ประเภท 22 ½—45 หรือกฎทศนิยมเจ็ด วิธีหาประเภทนี้นับว่ามีประโยชน์มาก เป็นวิธีหนึ่งของทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่าและระยะทางที่เรือแล่นเท่ากับระยะทางจากที่หมายในขณะเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง แต่ในประเภทนี้ระยะทาง (ขณะเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง) เป็นด้านตรงข้างของรูปสามเหลี่ยมสองด้านเท่ามุมฉากด้วย ดูรูป 114



รูป 114

ในรูป 114 ถ้าให้ด้านตรงข้ามมุมฉาก = 1.0 แล้ว ด้านประกอบมุมต่างก็จะเท่ากับ 0.7



รูป ๑๑๕

เพราะฉะนั้นจะได้กฎทศนิยมเจ็ด (ดูรูป 115) คือ "ระยะทางที่เรือแล่น **AB** เท่ากับระยะทาง **CB** จากที่หมายในขณะเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง และระยะทางที่เรือจะต้องแล่นต่อไปจนกระทั่งที่หมาย **C** อยู่ตรงข้างเรือจะเท่ากับ 0.7 ของระยะทางที่เรือแล่นได้จริง **AB** และระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้า **CD** ซึ่ง **C** จะต้องผ่านตรงข้างเรือก็เท่ากับ 0.7 ของระยะทางที่เรือแล่นได้จริง **AB** ด้วย"

(ข) ประเภท 26½ - 45 โดยที่ **Natural cotangent.** ของ 26°33'55" เท่ากับ 2 เพราะฉะนั้น **cotangent** ของ **26½°** จึงเกือบเท่ากับ 2 มากทีเดียว

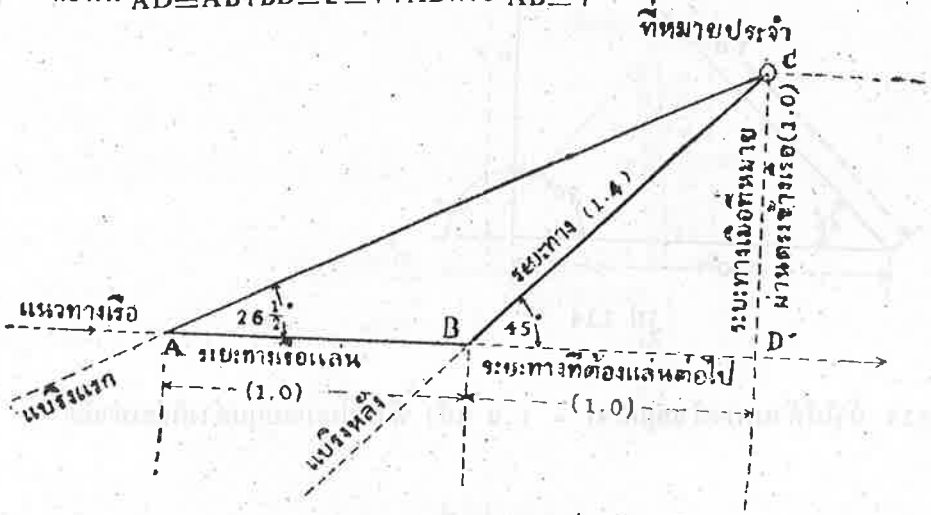
ในรูปสามเหลี่ยม ACD (รูป 116) cot. $26\frac{1}{2}° = 1 = \frac{AB}{CD}$

ให้ CD = 1.0 ฉะนั้น AB = 2.0

แต่รูปสามเหลี่ยม BDC เป็นรูปสามเหลี่ยมสองด้านเท่ามุมฉาก

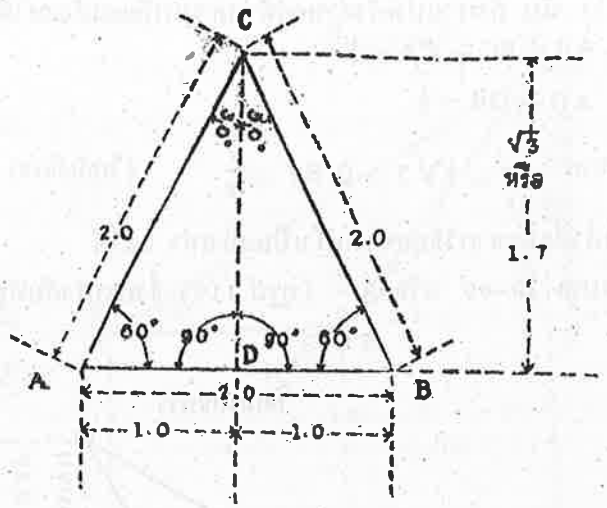
ถ้า CD = 1.0 แล้ว BD = 1.0 และ BC = 1.4

ฉะนั้น AD=AB+BD=2=1+ABหรือ AB=1



รูป 116

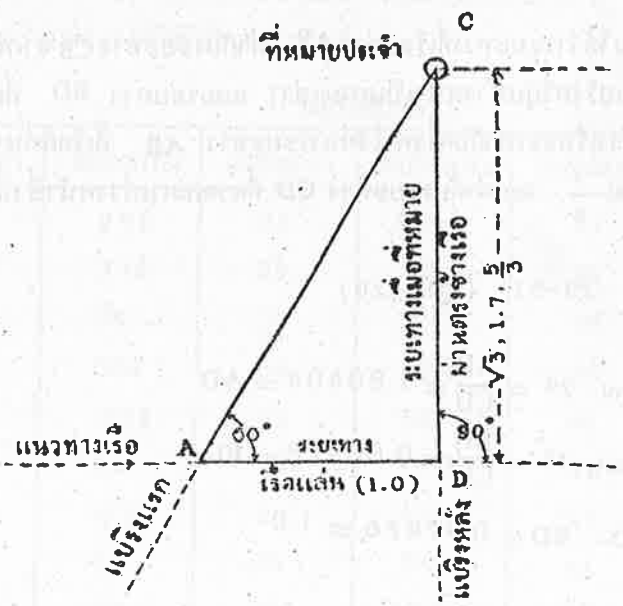
เพราะฉะนั้น "ระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงสัมพัธ **26½°** กับแบริงสัมพัธ 45° เท่ากับระยะทางที่เรือจะต้องแล่นต่อไปจนกระทั่งที่หมาย C จะผ่านตรงข้างเรือ ระยทางที่เรือแล่น (หรือเวลาที่เรือแล่น) เท่ากับระยะทางที่เรือจะต้องแล่นต่อไป (เป็นไมล์หรือนาที) จนกระทั่งที่หมายผ่านตรงข้างเรือ และระยะทางที่เรือแล่นคูณด้วย 1.4 จะเท่ากับระยะทางที่เรืออยู่ห่างจากที่หมายในขณะเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง"



รูป 117

ในรูป 117 ซึ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า จะได้ประเภท (ค) และ (ง) ดังจะได้กล่าวต่อไป ในรูปสามเหลี่ยมนี้ถ้ากำหนดให้ด้านของสามเหลี่ยมเท่ากับ 2 แล้ว และถ้าทิ้งเส้นฉากจาก C ไปยังด้านตรงข้าม AB เส้นฉากนี้จะแบ่งด้าน AB ออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน คือ AD และ DB ต่างก็เท่ากับ 1.0 และเส้นฉาก CD จะเท่ากับ $\sqrt{3}$ หรือ 1.7 จากค่าเหล่านี้จะได้

(ค) ประเภท 60-90 (รูป 118) คือระยะทางที่เรือแล่นคูณด้วย 1.7 เท่ากับระยะทางเมื่อที่หมายผ่านตรงข้างเรือ



รูป ๑๑๘

ในรูป 117 นั้น ถ้าเราแบ่งครึ่งค่าของด้านสามเหลี่ยมแล้วจะได้

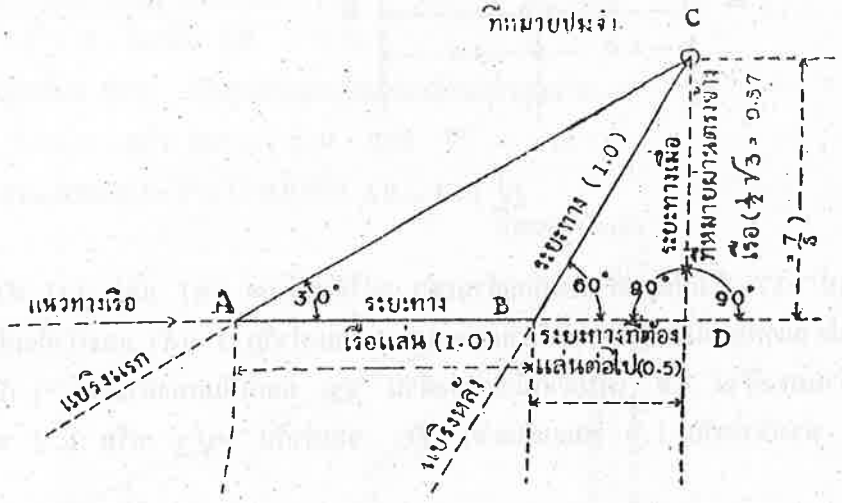
$$AB = BC = CA = 1$$

$$AD = DB = \frac{1}{2}$$

และ $CD = \frac{1}{2}\sqrt{3} = 0.87 = \frac{7}{8}$ (ใกล้เคียง)

จากค่าเหล่านี้และจากวิธีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า จะได้

(ง) ประเภท 30-60 หรือกฎ $\frac{7}{8}$ (ดูรูป 119) ซึ่งมีแบริงสัมพัธเป็น 30° กับ 60°



รูป 119

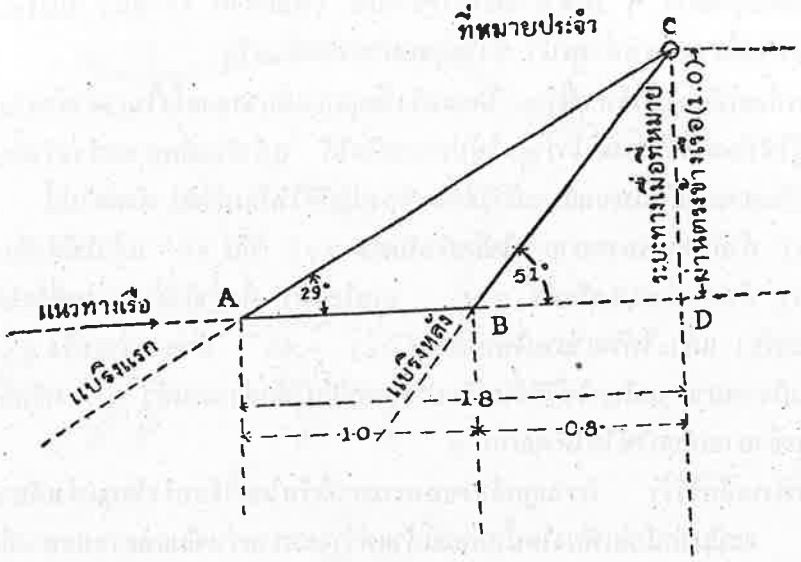
จากรูป จะเห็นได้ว่าระยะทางที่เรือแล่น AB เท่ากับระยะทาง CB จากที่หมายในขณะเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง (ดูวิธีแบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า) และระยทาง BD ที่เรือจะต้องแล่นไปจนที่หมาย C อยู่ตรงข้างเรือจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะทาง AB ที่เรือแล่นจริง และระยะทาง AB ที่เรือแล่นนี้คูณด้วย $\frac{7}{8}$ จะเท่ากับระยะทาง CD ที่คาดคะเนล่วงหน้าซึ่งที่หมาย C จะผ่านตรงข้างเรือ

(จ) ประเภท 29-51 (ดูรูป 120)

$$\text{nat. cot. } 29^\circ = \frac{AD}{CD} = 1.80404 = AD$$

$$\text{nat. cot. } 15^\circ = \frac{BD}{CD} = 0.80978 = BD$$

$$AB = AD - BD = 0.99426 = 1.0$$



รูป 120

เพราะฉะนั้นระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงสัมพัธ 29° กับแบริงสัมพัธ 51° เท่ากับระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้าซึ่งที่หมาย C จะต้องผ่านตรงข้างเรือ นอกจากการใช้แบริงสัมพัธเป็นคู่ ๆ ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ยังมีการใช้แบริงสัมพัธเป็นมุมอื่น ๆ เป็นคู่ ๆ กันอีกมาก ซึ่งมุมต่าง ๆ เหล่านี้ มี natural cotangents ต่างกันเพียงหน่วย (หนึ่ง) เท่านั้น ตารางต่อไปข้างล่างนี้เป็นบัญชีแบริงสัมพัธบางอันที่ได้ทำขึ้นไว้เพื่อให้ใช้ได้สะดวกรวดเร็ว และไม่ประสงค์ให้ผู้ใช้ท่องจำจนขึ้นใจได้ทุกอันซึ่งเป็นการเปลืองสมองเกินไป ทางที่ดีแล้วควรปิดตารางนี้ไว้บนสะพานเดินเรือเพื่อจะได้ใช้ได้รวดเร็วทันที

แบริงสัมพัธ

แบริงแรก	แบริงหลัง	แบริงแรก	แบริงหลัง	แบริงแรก	แบริงหลัง
20°	29¾°	28°	48½°	37°	71¼°
21	31¾	29	51	38	74¼
22	34	30	53¾	39	76¾
23	36¼	31	56¼	40	79
24	38¾	32	59	41	81¼
25	41	33	61½	42	83½
26	43½	34	64¼	43	85¾
26½	45	35	66¾	44	88
27	46	36	69¼	45	90

ในประเภทต่าง ๆ ในตารางที่กล่าวข้างบน (นอกจาก 45-90) นั้นระยะทางที่เรือแล่นเท่ากับระยะทางที่คาดคะเนล่วงหน้า ซึ่งวัตถุจะผ่านตรงข้างเรือ

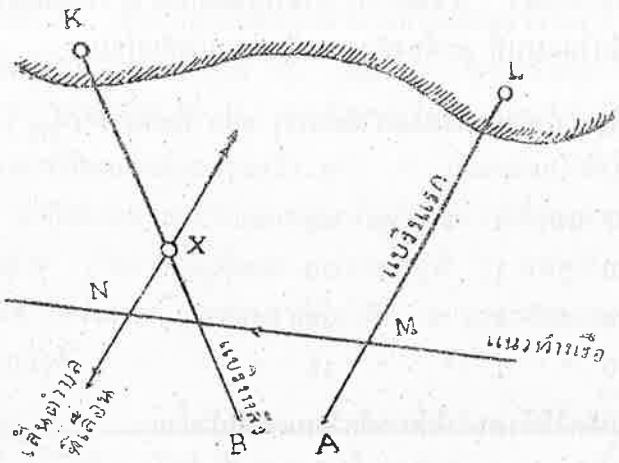
การที่จะเลือกใช้วิธีหาที่เรือ โดยแบริงวัตถุแห่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกันว่าจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ผู้ใช้ต้องคิดไว้ล่วงหน้าว่าจะใช้ประเภทใดได้ แล้วต้องคิดหาแบริงจริงที่จะต้องวัดไว้เป็นการล่วงหน้าในทางปฏิบัตินั้นขอแนะนำวิธีที่จะต้องปฏิบัติไว้เป็นลำดับ ดังต่อไปนี้

(ก) ถ้ามีโอกาสจงพยายามใช้แบริงสัมพัธ $22\frac{1}{2}^{\circ}$ กับ 45° แล้วใช้ทำกับกฎ 0.7

(ข) ถ้าหากว่าแบริงสัมพัธ $22\frac{1}{2}$ เลยไปแล้ว คือว่าถ้าแบริงแรกที่วัดได้นั้นโตกว่า $22\frac{1}{2}^{\circ}$ (แบริงสัมพัธ) แล้ว ให้พยายามใช้ประเภท $26\frac{1}{2}$ - 45° ถ้าหากว่าแบริง $26\frac{1}{2}$ เลยไปแล้วเช่นเดียวกันก็จงพยายามเลือกใช้วิธีอื่นหรือประเภทที่อื่นได้กล่าวมาแล้ว หรือที่ได้ให้ไว้ในตารางข้างต้นนั้นซึ่งอาจเลือกใช้ได้ให้พอเหมาะ

ให้พึงระลึกไว้ว่า ความถูกต้องของการหาที่เรือโดยวิธีแบริงวัตถุแห่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกันนั้น จะมีมากน้อยเพียงใดนั้นย่อมแล้วแต่ว่าจะทราบว่าเข็มและระยะทางที่เรือแล่นไปได้จริง (course and distance made good) นั้นถูกต้องมากน้อยเพียงใด ถ้าหากว่ามีกระแสน้ำมากระทำกับเรือแต่ไม่ได้เอาแก้เข้าด้วย ผลที่ได้(ที่เรือ)ก็ย่อมจะผิดไป เป็นต้นว่ามีกระแสน้ำไหลไปในทิศที่ตรงข้ามกับเข็มเรือทำให้เรือตกไปหนึ่งไมล์ในขณะที่แล่นในระหว่างแบริง 45° กับ 90° โดยที่ผู้ตรวจไม่ทราบว่ามีกระแสน้ำ และถ้าล็อกปาเต็นต์บอกระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงทั้งสองเป็น $4\frac{1}{4}$ ไมล์ แล้วย่อมจะลงความเห็นได้ว่า เมื่อเรือแล่นมาถึงจุดที่แลเห็นวัตถุอยู่ตรงทางข้างเรือนั้น ระยะทางได้ $4\frac{1}{4}$ ไมล์ ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วเรือจะแล่นได้ $3\frac{1}{4}$ ไมล์เท่านั้น ถ้ากระแสน้ำไหลไปในทิศขนานกับเข็มเรือ (เรือแล่นตามกระแสน้ำ) แล้วก็ย่อมจะทราบความผิด ไม่ได้ในระหว่างที่แบริงสองครั้งติด ๆ กัน แต่ถ้ากระแสน้ำไหลไปในทิศเฉกับเข็มเรือ (คือทิศของกระแสน้ำตัดเป็นมุมกับทิศของเข็มเรือ) แล้วก็ย่อมทราบความผิดได้จากการที่แบริงสองครั้งติด ๆ กัน มีผลไม่ลงรอยกัน แต่ก็เป็นการยากที่จะทราบกำลังและทิศของกระแสน้ำในชั่วเวลาอันเล็กน้อย ซึ่งปรากฏมีเป็นส่วนมากเมื่อเรืออยู่ในระหว่างอันตราย เพราะฉะนั้นถ้าเห็นวัตถุสองแห่งหรือมากกว่าขึ้นไปแล้ว ควรหาที่เรือโดยแบริงเข็มไขว้ไว้ย่อมเป็นการดีกว่าเสมอไป

อนึ่งบางครั้งบางคราว วัตถุซึ่งได้แบริงไว้ครั้งแรกอาจลับไปหรือมีสิ่งใดบังเสีย ไม่สามารถจะแบริงวัตถุเดิมได้ ฉะนี้แล้วให้ขีดเส้นแบริงแรกไว้ก่อน รอจนกว่าจะแลเห็นวัตถุข้างหน้าอีกหนึ่งแห่ง เมื่อเห็นแล้วก็ให้รีบแบริงวัตถุใหม่นี้ทันที และขีดเส้นแบริงลงผ่านแนวทางเรือเดิน กะระยะทางระหว่างแบริงแรกกับแบริงหลังแล้วจุดลงในแนวทางเรือเดิน เลื่อนเส้นตำบลที่แรก (เส้นแบริงแรก) มาให้ผ่านจุดปลายระยะทางไปจนตัดกับเส้นแบริงหลังนี้ จุดที่เส้นตำบลที่เลื่อนนี้ตัดกับเส้นแบริงหลังจะเป็นตำบลที่ของเรือเมื่อวัดแบริงครั้งหลัง (ดูรูป 121)



รูป 121

L เป็นวัตถุแห่งแรก AL เป็นแบริงแรก K เป็นวัตถุแห่งหลังที่เห็นต่อมา BK เป็นแบริงหลัง(คือแบริงของวัตถุแห่งใหม่) MN เป็นระยะทางระหว่างแบริงแรกกับแบริงหลัง NX เป็นเส้นตำบลที่เลื่อน X เป็นที่เรือเมื่อแบริงครั้งหลัง

9. แนวเส้นหยั่งน้ำ ถ้าหากว่าไม่มีวัตถุสำหรับหาที่เรือได้แล้ว บางทีอาจสามารถใช้การหยั่งน้ำหาที่เรือได้ คือให้ทำการหยั่งน้ำโดยระยะเวลาประจำเท่า ๆ กัน (เช่นว่า หยั่งทุกนาที ฯลฯ เป็นต้น) แล้วจดความลึกของน้ำและลักษณะพื้นท้องทะเลลงไว้ในสมุดหยั่งน้ำ ถ้าหากว่าการหยั่งน้ำนั้นใช้หลอดแก้วน้ำยาแล้ว จะต้องหัก(แก้)ความลึกของน้ำตามความสูงของบาโรเมตรและความสูงของกระแสน้ำขึ้นลง (tide) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

เอากระดาษแก้วแผ่นหนึ่ง เขียนเมริเดียนลงสักสองสามเส้น เขียนเข็มที่เรือแล่นเข็มเดียว (course made good) ลงและแก้กระแสน้ำขึ้นลง กระแสน้ำหรือลมด้วยถ้ามี และเขียนความลึกของน้ำที่ได้ หักแล้วลงตามแนวเข็มนี้ตามมาตราส่วนของแผนที่ที่ใช้ ทาบกระดาษแก้วนี้ลงบนแผนที่ในบริเวณตำบลที่ประมาณของเรือใช้เส้นเมริเดียนเป็นเกณฑ์ในการเลื่อนกระดาษแก้วขึ้นลง เลื่อนกระดาษแก้วไปมาแล้วดูว่าตัวน้ำ(ความลึกของน้ำ)ในกระดาษแก้วนั้นจะร่วมลงกันได้พอเหมาะกับตัวน้ำในแผนที่ตรงไหน

การกำหนดช่วงเวลาการหยั่งน้ำ (คือการหยั่งน้ำทุกนาทีหรือทุก 2 นาที ฯลฯ) ที่จะให้ถี่หรือห่างนั้น ย่อมแล้วแต่ความเร็วของเรือช่วงตัวน้ำ และลักษณะของพื้นท้องทะเลในแผนที่

คำเตือน การใช้ตำบลที่เรือใกล้เคียง (approximate position) ที่หาได้จากแนวเส้นหยั่งน้ำนี้ จะต้องเลือกใช้โดยระมัดระวังเสมอเพราะมักปรากฏบ่อย ๆ ว่า แนวเส้นหยั่งน้ำนี้ย่อมลงกันกับตำบลที่ในแผนที่ได้หลายแห่ง

การหักความลึกของน้ำ ซึ่งได้จากการใช้หลอดแก้วน้ำยาก่อนที่จะเอาความลึกที่หยั่งได้ไปเปรียบเทียบกับความลึกในแผนที่ จะต้องหักความลึกของน้ำเสียก่อน

(ก) บาโรเมตร ถ้าอ่านบาโรเมตรได้ต่ำกว่า 999 มิลลิบาร์ (mb) อัตราหัก (แก้) เป็น 0

อ่านได้	1007	บวก	1	วา	ทุก	40	วา
"	1010	"	1	"	"	30	"
"	1033	"	1	"	"	20	"
"	1050	"	1	"	"	15	"

อัตราแก้นี้ตอกติดไว้ข้างหลังไม้บรรทัดวัดหลอดแก้วน้ำยา

(ข) น้ำ หัก (ลบ) ความสูงของน้ำตามเวลาที่หยั่งน้ำ

นอกจากวิธีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นยังอาจหาที่เรือได้ โดยการแล่นเรือให้เฉียดเครื่องหมายทางเรือ เช่น ทุ่น ทุ่นไฟหรือเรือทุ่นไฟซึ่งทราบตำบลที่แล้วได้เหมือนกัน แล้วถือเอาว่าตำบลที่ของเครื่องหมายทางเรือนั้นเป็นตำบลที่เรือในขณะนั้น

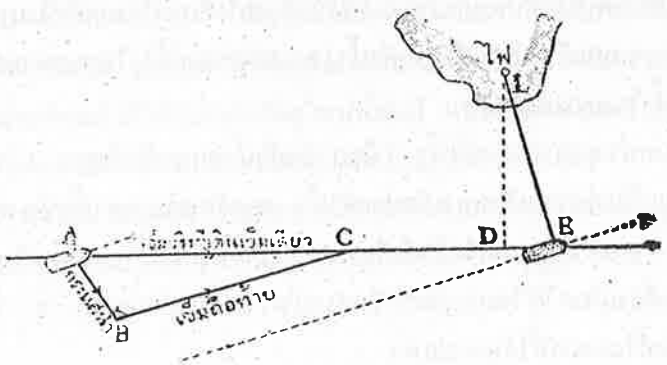
การหาที่เรือในที่มีกระแสน้ำขึ้นลงและกระแสน้ำ

ในตอนที่ 5 นั้นได้อธิบายวิธีหาที่เรือประมาณโดยแก้กระแสน้ำขึ้นลงและกระแสน้ำไว้แล้ว ส่วนในการหาที่เรือโดยแบริงวัตถุแห่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกันในเมื่อมีกระแสน้ำก็ใช้แก้โดยทำนองเดียวกันกับดังได้กล่าวแล้วนั้น

แต่ในตอนนี้ยังมีข้อปลีกย่อยอื่น ๆ อีกซึ่งเกี่ยวกับการต้องแก้กระแสน้ำ

1. หาเวลาเมื่อวัตถุจะผ่านตรงข้างเรือ ในเมื่อมีกระแสน้ำ

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งที่ A ในรูป 122 ต้องการแล่นไปยังที่ตำบลหนึ่งในทิศ 090° ของ A แต่มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 140° อยากทราบว่าไฟ L จะอยู่ตรงข้างเรือเมื่อใด

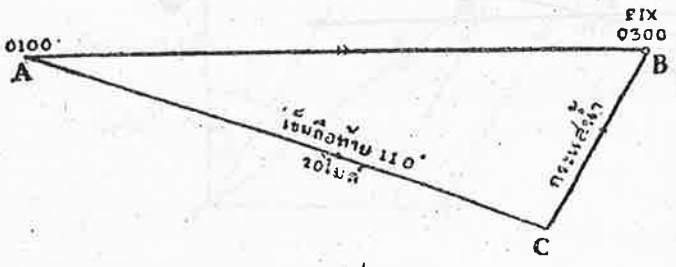


รูป ๑๒๒

หาเข็ม BC ที่จะต้องถือท้ายไปตามวิธีที่ได้อธิบายไว้ในหน้า 119 ไฟจะอยู่ตรงข้างเรือในเมื่อแบริงสัมพัธของไฟจากเรือได้ 90° (มุมในระหว่างแบริงของไฟกับเข็มที่ถือท้ายไป) คือว่าเมื่อเรืออยู่ตรง E ไม่ใช่เมื่ออยู่ที่ D ระยะเวลาที่เรือแล่นจาก A ไปยัง E จนได้ระยะทาง AE นั้นจะเป็นเวลาที่ต้องแล่นด้วยความเร็ว AC, A เป็นความเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง

2. หาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ ในระหว่างที่สองตำบล

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งเมื่อเวลา 0100 อยู่ที่ A ตามรูป 123 แล้วแล่นเข็ม 110° อัตราเร็ว 10 นอต ครั้นเวลา 0300 หาที่เรือได้ที่ B จงหาทิศและความเร็วของกระแสน้ำจากเวลา 0100 ถึง 0300



รูป 123

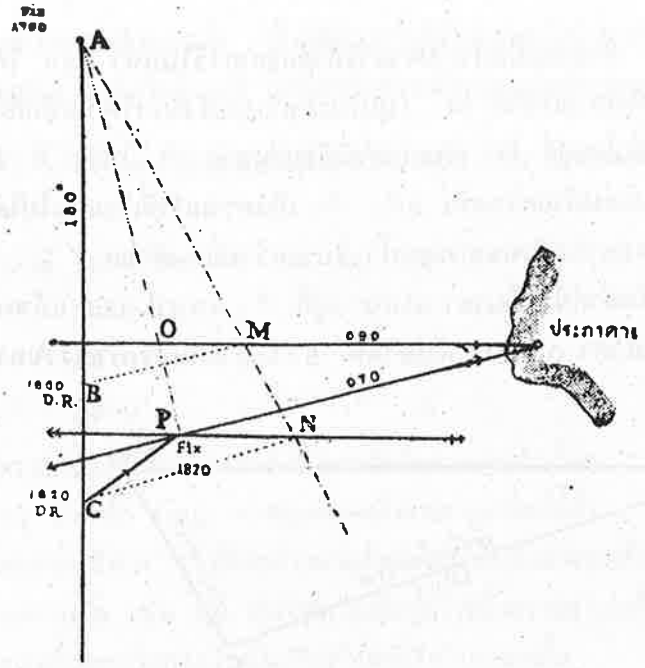
ขีดทางเรือ 110° กะระยะทาง 20 ไมล์จาก A เพราะฉะนั้นผลต่างระหว่างที่เรือรายงานที่หาได้นี้กับตำบลที่โดยตรวจเวลา 0300 จะเป็นทิศของกระแสน้ำ CB (045°)และระยะทาง (CB) นี้เป็นระยะทางที่น้ำไหลในระหว่าง 2 ชั่วโมง ฉะนั้นก็จะหาความเร็วของกระแสน้ำได้ คือกระแสน้ำไหลไปทิศ 045° ความเร็ว 3.7 นอต

3. หาที่เรือโดยแบริงวัตถุแห่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกัน โดยรู้ตำบลที่เรือออกครั้งแรก แต่ไม่รู้ทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

ตัวอย่าง เวลา 1700 เรือลำหนึ่งอยู่ที่ A แล่นเข็ม 180° ครั้นเวลา 1800 แบริงประภาคารแห่งหนึ่งได้ 090° เวลา 1820 แบริงประภาคารแห่งเดียวกันอีกได้ 070° จงหาที่เรือเวลา 1820 และหาทิศและหาความเร็วของกระแสน้ำระหว่างเวลา 1700 ถึง 1820

กะที่เรือรายงานเมื่อเวลา 1800 และ 1820 (B และ C ตามรูป 124) ลงตามแนวทางที่เรือแล่นโดยใช้ระยะทางที่แล่นได้ในระหว่างนั้น ลากเส้น BM ให้ติดกับแบริงแรกตรงจุด M, M จะอยู่ตรงจุดใดก็ได้ ต่อ AM แล้วยืดออกไป ลาก CN ให้ขนานกับ BM ไปตัด AM ยืดที่ N ฉะนั้น

$$\frac{MN}{AM} = \frac{BC}{AB}$$



รูป 124

ลาก NP ให้ขนานกับแบริงแรกจนไปตัดแบริงหลังที่ P (คือ PN เป็นเส้นตำบลที่เลื่อน) เพราะฉะนั้น P จึงเป็นตำบลที่เรือ และ CP เป็นทิศของกระแสน้ำ เพราะว่า

$$\frac{OP}{AO} = \frac{MN}{AM} = \frac{BC}{AB}$$

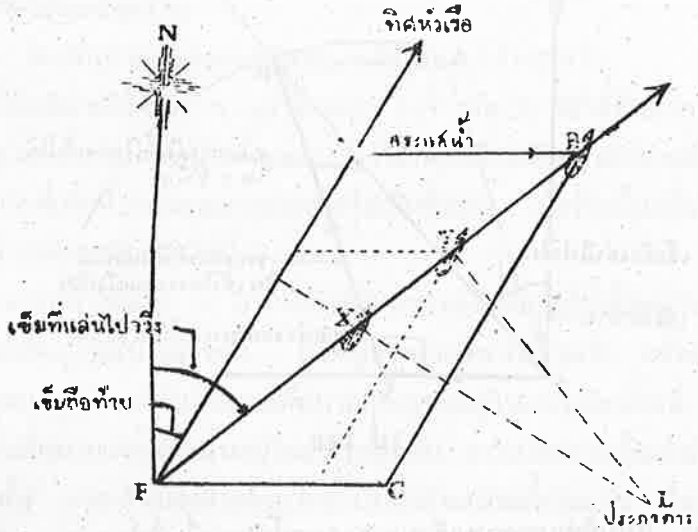
เพราะฉะนั้นเส้น AP จึงเป็นเส้นที่ได้ถูกแบ่งให้ถูกต้องได้ส่วนตามเวลาแล้วและ O และ P ต่างก็อยู่บนเส้นตำบลที่ตามแบริง

หมายเหตุ วิธีนี้ควรใช้เฉพาะเมื่อเรือแล่นในชั่วระยะทางสั้น ๆ เท่านั้น เพราะว่าถ้ากระแสน้ำไหลไม่ประจำแล้วย่อมมีผิดได้มาก

วิธีหาที่เรือรายงานในที่ที่มีกระแสน้ำ

เรือที่แล่นไปในที่ที่มีกระแสน้ำมีอัตราเร็วอยู่สองอัตราเร็ว คือ อัตราเร็วอันเกิดจากใบจักรที่ทำให้เรือแล่นไปในน้ำด้วยอัตราเร็วเท่าใดก็แล้วแต่อย่างหนึ่ง (คืออัตราเร็วแยกอันเกิดจากอำนาจใบจักรของเรือ) กับอีกอัตราเร็วหนึ่งเป็นความเร็วของน้ำที่ทำให้เรือลอยไปตามทิศ และความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลไป (คืออัตราเร็วแยกอันเกิดจากกำลังของน้ำ) อัตราเร็วทั้งสองรวมกัน

ทำให้เกิดเข็มและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริงขึ้น (คือเข็มและอัตราเร็วที่เรือแล่นเข็มเดียวหรืออีกนัยหนึ่งคือเข็มและอัตราเร็วสัมพัธ)



รูป 125

สมมุติว่าเรือลำหนึ่งแล่นเข็ม FA ผ่านไปในที่ที่มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 090° (รูป 125)

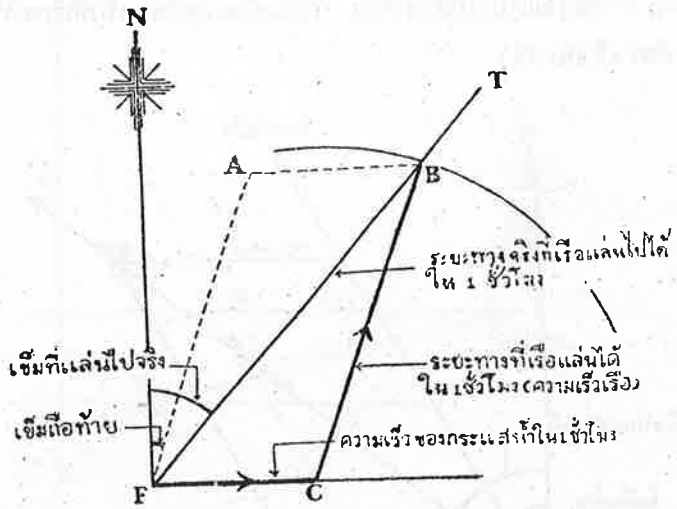
สมมุติว่าเมื่อสิ้นเวลาหนึ่งชั่วโมงแล้ว ในเมื่อไม่มีกระแสน้ำเรือไปถึง A แต่ตามรูปนี้ในระหว่างที่แล่นนั้น น้ำทำให้เรือลอยไปทางตะวันออกได้ระยะทาง AB และเมื่อสิ้นเวลาหนึ่งชั่วโมงเรือไปถึง B เพราะฉะนั้นเข็มที่เรือแล่นไปจริงคือ NFB และด้วยอัตราเร็วจริง FB

อาการที่เรือแล่นนี้จะเห็นได้ว่าเรือแล่นส่ายอย่างปูเดินและเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องจำข้อนี้ไว้ให้ดี ดังตัวอย่าง ประภาคารในรูป 125 นั้นจะอยู่ตรงข้างเรือเมื่อเรืออยู่ที่ X ซึ่ง LX ตั้งฉากกับ FA ไม่ใช่เมื่อเรืออยู่ที่ Y ซึ่ง LY ตั้งได้ฉากกับ FB

หาเข็มที่เรือแล่นในที่ที่มีกระแสน้ำ

เมื่อนายเรือทราบทิศของตำบลที่ที่ต้องการไป และทิศและความเร็วของกระแสน้ำในทางที่ผ่านไปแล้ว ก็จะต้องหาเข็มที่ถือท้ายไป(เข็มที่เรือแล่น)หรืออีกนัยหนึ่งคือเมื่อทราบ AB และทิศของ FB แล้วจะหา FA ได้อย่างไร

ในรูป 126 FT เป็นทิศของตำบลที่ต้องการไปและมีกระแสน้ำไหลไปทิศ 090° ฉะนั้นแล้วจะเห็นได้ทันทีว่าเข็มที่จะต้องถือท้ายไปต้องอยู่ทางซ้ายของ FT เพราะว่ากระแสน้ำจะทำให้เรือลอยตกไปตามทาง FT



รูป 126

ให้ FC แทนทิศและความเร็วของกระแสน้ำในหนึ่งชั่วโมง เอา O เป็นศูนย์กลาง ใช้รัศมีเท่ากับระยะทางที่เรือแล่นได้ในหนึ่งชั่วโมงเขียนขอบวงกลมตัด FT ที่ B เพราะฉะนั้น CB เป็นทิศที่จะต้องถือท้าย

ถ้าเขียนรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานให้สมบูรณ์โดยลาก FA ให้ขนานกับ CB และลาก AB ให้ขนานกับ FC แล้ว จะเห็นได้ว่าในทางหลักการนั้นรูป 126 ไม่ต่างกับรูป 125 เลย

และถ้าจำเป็นจะต้องแล่นให้ได้อัตราเร็วเฉพาะที่ต้องการในทิศ FT แล้วก็ให้เขียน FB เท่ากับอัตราเร็วที่ต้องการนั้นลง แล้วลากเส้นต่อ B กับ O เข้าด้วยกัน ฉะนั้น CB จึงเป็นทิศที่ต้องถือท้ายและเป็นอัตราเร็วที่จะต้องแล่น

แบริงอันตราย มุมอันตราย และวิธีหลีกที่อันตราย

ขณะที่แล่นเรือไปตามชายฝั่งทะเล ถ้ามีความมุ่งหมายหรือความจำเป็นที่จะต้องนำเรือผ่านไปใกล้ ๆ ตำบลที่ที่มีหินใต้น้ำหรือสิ่งกีดขวางต่อการเดินเรืออย่างอื่น ๆ แล้ว ซึ่งเมื่อบรรดาสิ่งเหล่านี้มีปรากฏอยู่ในแผนที่เดินเรือแล้ว นักเดินเรือจะต้องใช้ความระมัดระวังให้มากและทั้งจักต้องพิจารณาเอาเองว่า ควรจะผ่านให้ห่างสิ่งอันตรายเหล่านี้ในระยะเท่าใด แนวทางที่เรือเดินไปจึงจะปลอดภัยที่สุด

ตามปรกติแล้วกลางคืนต้องแล่นให้ห่างกว่าเวลากลางวัน และในเวลาอากาศผิดปรกติ (มืดครึ้ม คลื่นลมจัด ฯลฯ) ต้องให้ห่างกว่าเวลาอากาศดี หรือเวลามีกระแสน้ำไหลพาเข้าหาที่อันตรายต้องแล่นให้ห่างกว่าเวลาไม่มีกระแสน้ำ ฯลฯ เป็นต้น

วิธีหาที่เรืออาจทำให้นักเดินเรือทราบได้ว่า เรือตนพ้นอันตรายจากที่อันตรายอย่างใด

แล้วหรือไม่มีอยู่ 3 วิธี ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นที่จะต้องทราบที่เรือโดยแน่นอนเลย

วิธีทั้ง 3 นี้ได้แก่ (ก) โดยที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกัน (ข) โดยใช้แบริงอันตราย (ค) โดยใช้มุมอันตราย

(ก) โดยที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกัน (Transit)

วิธีนี้ได้อธิบายไว้คราว ๆ แล้วในหน้า 237 ข้อ 3 วิธีใช้ที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันนี้ มีประโยชน์มากมายเหลือที่จะพรรณนาได้โดยมิต้องเลือกว่าที่หมายที่อยู่ในแนวเดียวกันนั้น จะเป็นที่หมายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเป็นที่หมาย ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการเดินเรือก็ตามที ดังจะได้กล่าวให้ละเอียดต่อไปนี้

ถ้าสามารถทำได้แล้ว ควรจัดทำให้แนวทางเรือที่แล่นไปนั้นอยู่ในลักษณะซึ่งอาจจะเห็นที่หมายสองแห่งที่อยู่ในแนวเดียวกัน นั้นอยู่ทางหัวเรือหรือท้ายเรือ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเพื่อให้เรือได้แล่นไปตามเส้นตำบลที่อันเกิดจากที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันนี้ ถ้าในระหว่างที่แล่นอยู่นั้น ยังเห็นที่หมายสองแห่งนั้นอยู่ในแนวเดียวกัน ตราบใดตราบนั้นเรือก็คงแล่นอยู่ในแนวทางที่ได้บีดไว้แล้วนั้น และถ้าเมื่อเห็นที่หมายนั้นไม่ทับกันสนิทเมื่อใดแล้ว ก็จะเห็นได้ว่าที่เรือจะต้องอยู่ทางขวาหรือทางซ้ายของแนวทางที่ได้บีดไว้

ผลที่ได้จะมีมากหรือน้อยในการใช้แนวของที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันนั้นย่อมได้ส่วนกันกับอัตราส่วนของระยะทาง ระหว่างที่หมายสองแห่ง ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกันต่อระยะทางระหว่างเรือกับที่หมายแห่งใกล้ ถ้าอัตราส่วนนี้ยิ่งมากก็ยิ่งมีผลดี แต่อย่างไรก็ดีถ้าทำได้แล้วไม่ควรให้อัตราส่วนนี้น้อยกว่า $\frac{1}{5}$ เป็นอันขาด คือว่า "ระยะทางระหว่างที่หมายสองแห่ง ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกันนั้น ควรต้องเท่าหรือมากกว่า ระยะทางระหว่างเรือกับที่หมายแห่งใกล้ หรืออย่างน้อยที่สุดถ้าทำได้ก็ไม่ควรน้อยกว่า $\frac{1}{5}$ ของระยะทางระหว่างเรือกับที่หมายแห่งใกล้"

ถ้าที่หมายสองแห่งนั้นไม่ทับกันสนิทแล้ว เรียกว่าที่หมายเปิดเช่นในรูป 127 นั้นผู้ตรวจที่ O เห็นปล่องไฟและประภาคารอยู่ในแนวเดียวกัน แต่ผู้ตรวจที่ C จะเป็นปล่องไฟเปิดอยู่ทางขวาของประภาคาร

ถ้าเห็นที่หมายเปิด จงเปลี่ยนเข็มแล่นเข้าหาแนว

แผนที่ขยายท่าเรือ โดยมากมักจะทำให้ที่หมายสองแห่งเข้าอยู่ในแนวเดียวกันเป็นแนวนำให้เรือพ้นจากที่อันตรายหรือเป็นแนวบอกร่องน้ำที่ดีที่สุดที่เรือควรแล่น ที่หมายที่กล่าวนี้เรียกว่า "ที่หมายนำ" (leading marks) และเขียนเส้นให้ผ่านที่หมายทั้งสองไว้ในแผนที่เรียกว่า "แนวนำ" (leading line) โดยมากแนวนำนี้มักเขียนเป็นเส้นตรงเส้นเดียว แต่บางทีก็เขียนเป็นเส้นคู่ขนานกันสองเส้นไว้ใกล้ ๆ กัน เส้นนี้เขียนเป็นเส้นพืดหรือเป็นเส้นคู่ชั่วระยะยาวส่วนหนึ่ง แล้วต่อจากนั้นไปเป็นเส้นไข่ปลาหรือเส้นเดี่ยว การที่เขียนไว้เช่นนี้ก็เพื่อประสงค์ให้แล่นตรงตามแนวนำไปแค่ชั่วระยะเส้นพืดหรือเส้นคู่เท่านั้น ส่วนตอนที่เป็นเส้นไข่ปลาหรือเส้นเดี่ยวที่เขียนไว้นั้น ก็ประสงค์เพื่อให้เป็นแนวเล็งที่หมายซึ่งจะต้องคอยระวังไว้ให้อยู่ในแนวเท่านั้น โดยมากแล้วมักเขียนชื่อของที่หมายทั้งสองแห่งและแบริงจริงของที่หมาย ซึ่งนับจาก

ทะเลเข้าหาฝั่งไว้ในแนวเส้นนั้น เช่นในรูป 127 นั้น ถ้า OB เป็นแนวนำที่มีปรากฏอยู่ในแผนที่แล้ว จะต้องเขียนดังนี้ ปล่องไฟ ⌀ ประภาคาร 000° หรือปล่องไฟอยู่ในแนวเดียวกับประภาคาร 000°

ถ้าเห็นที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันแล้วควรวัดแบริงไว้ แล้วเอาไปเปรียบเทียบกับแบริงที่ให้ไว้ในแผนที่ เพื่อใช้สอบหาอัตราผิดของเข็มทิศได้ และถ้าเป็นการแล่นเรือไปในน่านน้ำหรือดำบลที่ไม่เคยไปมาก่อนหรือไม่ชำนาญแล้วจะเป็นการแสดงให้ทราบแน่ว่า ที่หมายที่อยู่ในแนวเดียวกันสองแห่งนั้น เป็นที่หมายที่ถูกต้องจริงตามแผนที่หรือไม่

ในบางโอกาสอาจจะมีขึ้นได้ว่า เมื่อที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันเข้าเมื่อใดแล้วจะกลายเป็นแบริงอันตรายขึ้นได้ เพราะฉะนั้นเมื่อพบที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกันเข้าแล้วควรต้องวัดแบริงไว้เสมอ

ในรูป 127 นั้นแนว OB เป็นแนวที่เรือเดินปลอดอันตรายจากหินชายฝั่ง ต้องระวังอย่าให้เรือแล่นเข้าไปภายในเส้นนี้ ถ้าตราบใดที่เรือยังอยู่ภายนอกเส้นนี้แล้ว คือว่าเห็นที่หมายเปิดไว้แล้วเรือจะอยู่พ้นอันตรายจากหิน แนว OB นี้เรียกว่า "แนวอันตราย หรือเรียกว่า "แนวปลอดอันตราย" (clearing line) ก็มี และที่หมายปลอดอันตราย" (clearing marks)

(ข) แบริงอันตราย (The danger bearing) เป็นวิธีที่นักเดินเรือใช้นำเรือให้พ้นจากที่อันตรายที่มีปรากฏอยู่ในแผนที่ โดยใช้เข็มทิศแบริงในเมื่อเข็มที่แล่นไปนั้นผ่านย่านอันตราย สมมุติว่าในรูป 128 เรือแล่นใกล้ฝั่งเข้าไปใกล้ประภาคาร O ซึ่งบริเวณนี้มีที่ตื้นหรืออันตรายอย่างอื่นอยู่ใกล้ฝั่ง

วิธีทำ เพื่อที่จะให้เรือพ้นอันตราย ให้เขียนเส้น AO ให้สัมผัสกับที่อันตรายลงในแผนที่และหาแบริงของเส้นสัมผัสไว้ ขณะที่เรือแล่นอยู่นั้นให้วัดแบริงของ O ไว้บ่อย ๆ ตราบใดที่เส้นแบริง เช่น BO และ CO ที่วัดในขณะที่เรือแล่นอยู่นั้น ยังคงอยู่ทางขวาของเส้นแบริง AO (คือแบริงที่วัดได้มากกว่าแบริงของ AO) แล้วเรือก็อยู่ทางซ้ายหรือทางด้านปลอดอันตรายของ AO และเรือจะผ่านพ้นจากอันตราย แต่ทั้งนี้มิจำเป็นที่จะต้องหมายความว่าแบริงที่อยู่ทางซ้ายของ AO เช่น DO จะแสดงว่าอยู่ในที่อันตรายเสมอไปเพราะว่าการที่จะเป็นเช่นนั้นได้ต้องพึ่งพิงอยู่กับระยะทางขณะที่วัดแบริงนั้นว่าเรืออยู่ห่างจากที่อันตรายมากน้อยเพียงใด ถ้าตราบใดที่แบริงยังอยู่ทางขวาของ AO แล้วเรือก็ไม่อยู่ในที่อันตราย แต่ถ้าหากว่าอยู่ทางซ้ายของ AO แล้วอาจเป็นอันตรายได้ ให้สังเกตไว้ว่า XY นั้นเป็นแต่เพียงทิศของเข็มเท่านั้น มิได้มุ่งหมายให้แทนทิศทางที่เรือแล่นไปจริง ๆ ขณะเมื่อวัดแบริง DO ได้นั้นเรืออาจอยู่ที่ D (เป็นอันตราย) หรือที่ D (ไม่เป็นอันตราย)ได้ ฉะนั้นโดยที่ตำบลที่ของเรือไม่แน่นอนถ้าหากว่าวัดแบริงได้ทางซ้ายของ AO แล้วจะต้องรีบสั่งเปลี่ยนเข็มไปทางซ้ายของเข็มที่แล่นอยู่โดยมิต้องรอช้า และคงแล่นไปตามเข็มที่สั่งเปลี่ยนนั้นจนกระทั่ง วัดแบริง O ได้ AO หรือใหญ่กว่าแล้วจึงกลับไปใช้เข็มเดิมได้และคอย

รักษาให้ O อยู่ทางขวาของ AO ไว้ ดังได้อธิบายแล้ว

ถ้าในกรณีดังกล่าวนั้นแลเห็นที่หมายแต่เพียงอย่างเดียว และอยู่เกือบตรงหัวเรือแล้ว ย่อมเป็นการยากยิ่ง ที่จะหาที่เรือให้แน่นอนได้ แต่ถึงกระนั้นก็ตามวิธีนี้ย่อมแสดงให้ทราบได้เสมอว่า เข็มที่เรือแล่นไปนั้นดีหรือไม่ดีและผลที่ได้นั้นอาจมีค่ามากยิ่ง และแม้นว่าถ้าเห็นที่หมายอื่น ๆ ซึ่งจะใช้หาที่เรือแบริงอย่างถูกต้องได้แล้วก็ย่อมเป็นการง่ายเข้าที่จะสังเกตแบริงอันตรายได้ โดยเพียงแต่ชำเลืองตรวจดูที่หมายเหล่านั้นที่เครื่องเล็งของเข็มไบ้หรือเข็มทิศเป็นครั้งคราวเท่านั้นว่าเรือได้แล่นไปตามเข็มหรือแนวทางที่ปลอดภัยหรือเปล่า ดีกว่าที่จะต้องหาที่เรือทุกคราวไป

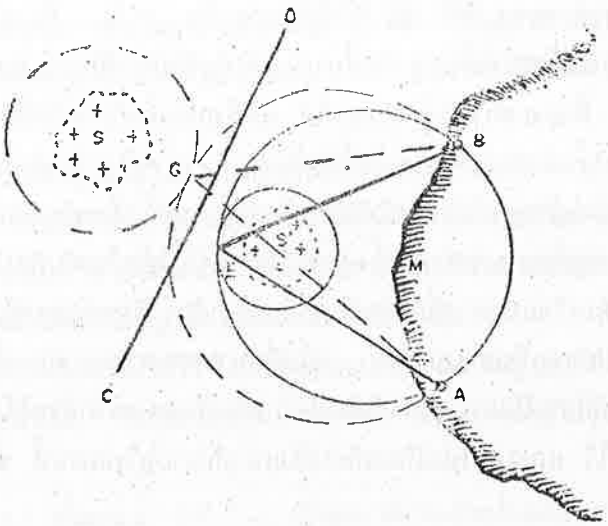
มักจะปรากฏเป็นส่วนมากว่า เมื่อที่หมายตามธรรมชาติบนพื้นโลกสองแห่งมาอยู่ตรงในแนวเดียวกันแล้วมักจะเป็นแนวแบริงอันตราย เมื่อเห็นแนวดังกล่าวแล้ว ควรถือโอกาสวัดแบริงเข็มทิศของแนวนั้นไว้ และเอาไปเปรียบเทียบกับแนวที่ปรากฏในแผนที่ ซึ่งจะหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศได้

ในการเขียนเส้นแบริงนั้น ควรเลือกเอาที่หมายซึ่งไม่อยู่ไกลเกินไปนัก ถ้าที่หมายอยู่ใกล้แล้วย่อมจะตรวจทราบแบริงเปลี่ยนได้โดยง่ายในเมื่อเรือแล่นออกนอกแนวเส้นแบริง เช่นถ้าที่หมายอยู่ห่าง 1 ไมล์ แบริงจะเปลี่ยน 1 องศาในเมื่อเรือเซออกนอกเส้นแบริงเพียง 35 หลา แต่ถ้าที่หมายอยู่ห่าง 10 ไมล์แล้วก่อนที่จะทราบว่าแบริงเปลี่ยนไป 1 องศานั้นเรือก็จะเซออกนอกทางประมาณ 2 เคบิลเสียแล้ว

(ค) มุมอันตราย (The danger angle) เพื่อนำเรือหลีกให้พ้นอันตรายจากหินใต้น้ำหรือที่ตื้น หรือสิ่งกีดขวางอันเป็นอันตรายในการเดินเรือซึ่งมีปรากฏอยู่ในแผนที่แล้ว นักเดินเรืออาจใช้วิธีหลีกเรือซึ่งเรียกว่า "มุมอันตราย" ได้ มุมอันตรายมีอยู่ 2 ชนิด คือ มุมอันตรายแนวน้อน และมุมอันตรายแนวยืน การใช้มุมอันตรายแนวนอนนั้นต้องใช้ที่หมายที่เห็นชัดสองแห่งอันมีปรากฏอยู่ในแผนที่ แล้วตั้งอยู่ตามแนวชายฝั่งและทั้งต้องอยู่ห่างจากกันและกันพอควรเพื่อจะได้มุมแนวนอนมีขนาดพอดีพอเหมาะ ส่วนมุมอันตรายแนวยืนนั้นต้องใช้ที่หมายซึ่งทราบส่วนสูงแล้ว และปรากฏอยู่ในแผนที่แล้วเช่นเดียวกัน

วิธีหามุมอันตรายแนวนอน (The horizontal danger angle)

ในรูป 129 ให้ AMB เป็นส่วนหนึ่งของขอบฝั่งตามแนวทางที่เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม CD A และ B เป็นที่หมายสำคัญ 2 แห่งซึ่งมีปรากฏอยู่ในแผนที่ S และ S เป็นที่ตื้นหินใต้น้ำหรือที่อันตรายซึ่งอยู่นอกฝั่ง เมื่อประสงค์ที่จะแล่นเรือให้ผ่านด้านนอกของที่อันตราย S แล้ว ต้องเอาจุดกึ่งกลางของที่อันตรายเป็นศูนย์กลางและเอาระยะทางที่ต้องการแล่นให้ห่างจากที่อันตรายเป็นรัศมี เขียนวงกลมโดยรอบที่อันตราย แล้วเขียนวงกลมอีกวงหนึ่งให้ผ่านจุด A และ B และให้สัมผัสกับ วงกลมวงแรก(วงกลมที่เขียนโดยรอบที่อันตราย)ทางด้านทะเล วิธีเขียนวงกลมนี้จำเป็นแต่เพียงต่อเส้นระหว่าง A และ B และเขียนเส้นตั้งฉากจากกึ่งกลางของเส้น AB เท่านั้น แล้วทดลองหาศูนย์กลางของวงกลม EAB เมื่อได้ศูนย์กลางที่ต้องการแล้วก็เขียน



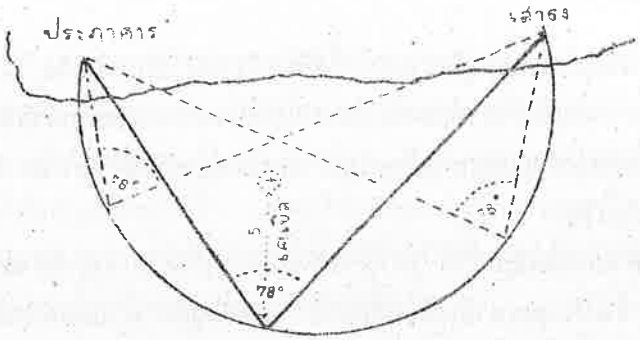
รูป 129

วงกลม EAB ต่อไป ใช้โปรแตรกเตอร์วัดมุม AEB แล้วตั้งมุมนี้ลงในเครื่องวัดแดดและจงจำไว้ว่ามุมภายในเซ็กเมนต์ AB นี้ตามจุดต่าง ๆ ของขอบ AEB ย่อมเท่ากันทั้งสิ้น ฉะนั้นเรือจะอยู่ภายในขอบ AEL และพ้นจากที่อันตราย S ตราบเท่าที่มุม ในหว่าง A และ B ไม่โตกว่ามุม AEB ซึ่งตั้งไว้ในเครื่องวัดแดด และถ้าหากว่าในขณะเดียวกันกับที่เรือแล่นอยู่นี้ต้องการหลีกที่อันตราย S ด้วยแล้ว ก็ย่อมทำได้ คือเอาจุดกึ่งกลางของที่อันตราย S เป็นศูนย์กลางเอาระยะทางที่ต้องการหลีกให้ห่าง เป็นรัศมีเขียนวงกลมโดยรอบที่อันตราย S แล้วเขียนวงกลมใหญ่วงที่สองให้ผ่านจุด A และ B และให้สัมผัสกับวงกลมเล็กนี้ที่ G ใช้โปรแตรกเตอร์วัดมุม AGB แล้วตั้งมุมนี้ลงในเครื่องวัดแดดเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นตราบเท่าที่มุมในระหว่าง A และ B ใหญ่กว่ามุม AGB แล้วเรือก็จะอยู่ภายในวงกลม AGB โดยเหตุฉะนี้เรือจะผ่านไปในระหว่างที่อันตราย S และ S' ตราบเท่าที่มุมในระหว่าง A และ B เล็กกว่ามุม AEB แต่โตกว่ามุม AGB

หมายเหตุ ที่หมายที่จะใช้วัดมุมแนวนอนนั้น ควรเลือกเอาที่หมายซึ่งอยู่แห่งละข้างของที่อันตรายที่จะหลีก ควรให้มีระยะห่างจากที่อันตรายเท่า ๆ กัน โดยใกล้เคียง

วิธีทำอีกอย่างหนึ่ง ให้กำหนดจุดเข้าจุดหนึ่งซึ่งอยู่ในระยะภายนอกที่อันตราย ซึ่งเห็นว่าปลอดอันตรายในการที่แล่นผ่านได้ แล้วลากเส้นตรงจากที่หมายทั้งสองมายังจุดนี้แล้ว วัดมุมในระหว่างเส้นทั้งสองนี้ไว้ ถ้าในระหว่างที่เรือแล่นนั้นวัดมุมในระหว่างที่หมายทั้งสองได้เล็กกว่ามุมนี้แล้ว เรือก็อยู่ภายนอกที่อันตรายและปลอดภัย

ในรูป 130 มุมแนวนอนระหว่างประภาคารกับเสาธงที่ใช้ตั้งแต่ในเครื่องวัดแดดเท่ากับ 78° ถ้ามุมแนวนอนในระหว่างที่หมายทั้งสองนี้เล็กกว่า 78° แล้ว เรือจะอยู่ภายนอกวงกลมซึ่ง



รูป 130

ผ่านจุดทั้งสาม และผ่านปลอดอันตรายจากหิน ถ้ามุมในระหว่างที่หมายทั้งสองเล็กกว่ามุมที่ตั้งไว้ในเครื่องวัดแดดแล้ว เมื่อดูในเครื่องวัดแดดก็จะเห็นปรากฏว่าเสาธงอยู่ทางซ้ายของประภาคาร

วิธีหามุมอันตรายแนวยืน (The vertical danger angle)

หลักสำคัญทั่วไปของวิธีนี้ ก็เช่นเดียวกันกับมุมอันตรายแนวนอน เว้นแต่ใช้สิ่งที่หมายแห่งเดียวซึ่งรู้ความสูงแล้วเท่านั้น

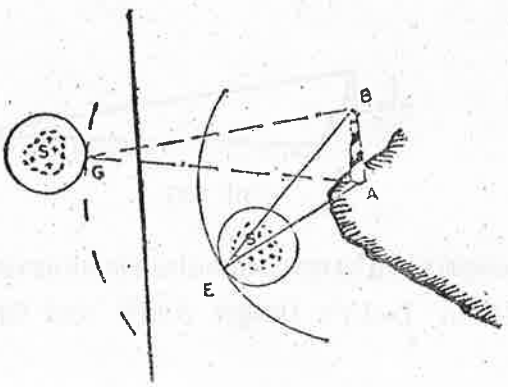
วิธีทำดังนี้

(1) ให้เอากึ่งกลางของสิ่งอันตรายเป็นศูนย์กลาง ใช้ระยะห่างที่เห็นว่าพ้นอันตรายเป็นรัศมีเขียนวงกลมโดยรอบ

(2) ใช้จุดที่หมายแห่งใดแห่งหนึ่งบนฝั่ง ซึ่งรู้ความสูงของที่หมายนั้นแล้ว เป็นศูนย์กลางเขียนขอบวงกลมสัมผัสกับขอบวงกลมในข้อ (1)

(3) วัดระยะทางระหว่างจุดสัมผัส กับจุดที่หมายบนฝั่งว่าห่างเท่าใด แล้วเอาไปคำนวณกับความสูงของที่หมาย เพื่อหามุมแนวยืน(หรือใช้เปิดมาตราก็ได้) ซึ่งเป็นมุมที่ใช้หลีกอันตราย

(4) เอามุมที่หาได้ตั้งลงในเครื่องวัดแดด สำหรับวัดมุมแนวยืนของที่หมาย (คือ มุมระหว่างยอดที่หมายกับขอบฟ้า) ต้องคอยระหวังอย่าให้มุมโตกว่าที่ตั้งไว้ เพราะเรือจะล้ำทางเข้าไปหาอันตรายจนกว่าเรือจะแล่นพ้นอันตรายแล้ว ดูรูป 131



รูป ๑๓๑

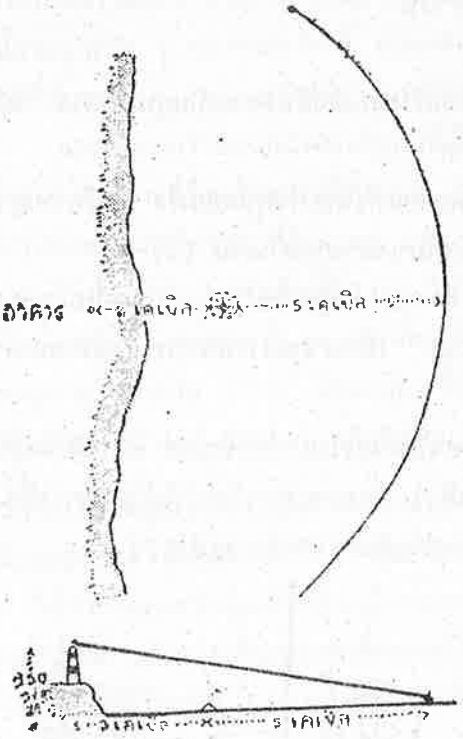
ให้ A เป็นที่หมายซึ่งรู้ความสูง (AB) แล้ว CD เป็นเข็มเรือ S และ S' เป็นหินใต้น้ำหรือที่อันตราย จากจุดศูนย์กลางของที่อันตรายเขียนวงกลมโดยรอบด้วยรัศมีที่ต้องการ จากจุด A เขียนวงกลมสัมผัสกับวงกลมแรกทางด้านนอก และถ้าจะหลีกที่อันตราย S ด้วย แล้วให้เขียนวงกลมให้สัมผัสทางด้านใน

โดยรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก รู้ด้าน AB และ AE หรือ AG ก็คำนวณหาค่าของมุม AEB และ AGB ได้ ซึ่งเป็นมุมแนวยืนของที่หมาย และถ้าจะผ่านในระหว่างที่อันตรายทั้งสองแห่งแล้ว จักต้องระวังอย่าให้มุมแนวยืนโตกว่า AGB

ตัวอย่างอีกอันหนึ่ง ถ้าที่อันตรายที่ต้องคอยระวังนั้นอยู่ใกล้ฝั่งซึ่งเป็นเขา หรือประภาคาแล้วจะทำดังต่อไปนี้อีกก็ได้ ซึ่งอาจจะเห็นได้ง่าย

ต้องการแล่นห่างจากหินในระยะ 5 เคบิล หินกองนี้อยู่ห่างจากประภาคาร 3 เคบิล ดังในรูป 132 ประภาคารสูง 150 ฟุต เหนือแนวน้ำขึ้นเฉลี่ยหน้าน้ำเกิด

วิธีทำ เอาประภาคารเป็นศูนย์กลางใช้รัศมี 8 เคบิลเขียนวงกลมหาสูงจริงของประภาคารเหนือระดับทะเล โดยแก้อัตราต่างระหว่างสูงของน้ำ และสูงของแนวน้ำขึ้นเฉลี่ยหน้าน้ำเกิด



รูป 132

ส่วนค่าของมุมแนวยืนในระหว่างยอดประภาคารและระดับทะเลจากจุดใด ๆ ขอบขอบวงกลมนั้นเปิดหาได้จาก Lecky's Danger Angle and Off-Shore Distance Tables

หรือจากมาตรามุมยอดเสาในมาตราเดินเรืออินแมนส์ หรือจะคำนวณเอาก็ได้

แล้วเอามุมที่ได้นี้ไปตั้งลงในเครื่องวัดแดด และตราบใดที่ใช้เครื่องวัดแดดวัด ยังเห็นเงาของยอดประภาคารอยู่ใต้ระดับน้ำแล้ว เรือจะอยู่ภายนอกวงกลมและปลอดอันตราย

แต่ถ้าไม่ได้แก้สูงของน้ำไว้ และใช้สูงของประภาคารตามที่ให้ไว้ในแผนที่ด้วยแล้ว เรือก็จะอยู่ห่างจากประภาคารมากกว่าที่ได้กะประมาณไว้ ไว้เสียแต่ว่าระดับทะเลจะอยู่เหนือระดับน้ำขึ้นเฉลี่ยหน้าน้ำเกิดเท่านั้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ย่อมไม่มีขึ้นได้

วิธีหลีกอันตรายในข้อ (ก) และ (ข) ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นมีประโยชน์มาก ฉะนั้นถ้ามีโอกาสแล้วควรใช้เสมอ

ตอนที่ 7
แล่นเรือต่าง ๆ นอกจากแล่นเรือวงใหญ่ และแล่นเรือผสม

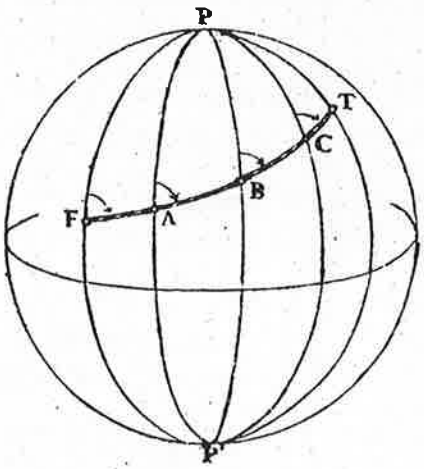
การแล่นเรือต่าง ๆ ในตอนนี้เป็นการแล่นเรือบนเส้นเกลียว

วิธีแล่นเรือเหล่านี้ คือ แล่นเรือตรง (Plane sailing) แล่นเรือลดเลี้ยว (Traverse sailing) แล่นเรือขนาน (Parallel sailing) แล่นเรือละติจูดกลาง (Middle latitude sailing) แล่นเรือเมอเคเตอร์ (Mercator sailing) และแล่นเรือกระแสน้ำ (Current sailing)

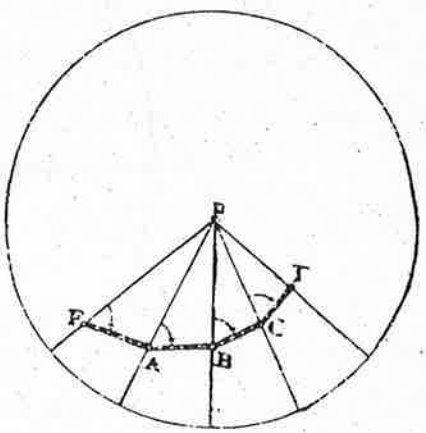
ก่อนที่จะกล่าวถึงการแล่นเรือ ขอย้อนกล่าวถึงเส้นเกลียวเสียก่อน

เข็มที่เหมาะสมและสะดวกที่สุดสำหรับถือท้ายเรือนั้นได้แก่เข็มประจำคงตัว คือ เมื่อแล่นเรือไปตามแนวเข็มประจำคงตัวนี้แล้ว แบริงหัวเรือจะประจำคงที่ เพราะฉะนั้น แนวทางเรือเดินจะทำมุมกับเมริเดียนเท่ากันทุกเมริเดียน และโค้งเป็นรูปก้นหอย (spiral) เข้าหาขั้วโลกขั้วใกล้

เส้นที่ลากไปตามพื้นผิวโลก ซึ่งทำมุมกับเมริเดียนทั้งหลายเท่ากันนี้เรียกว่า "เส้นเกลียว"



รูป 133 ก.

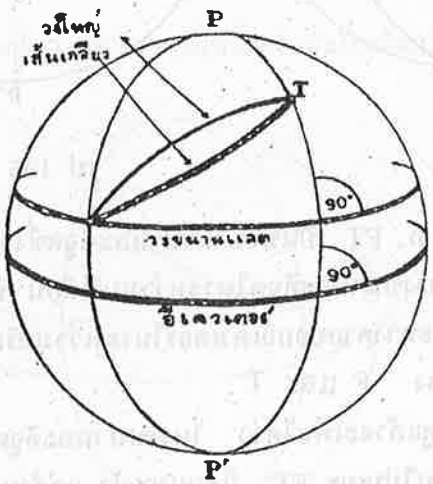


รูป 133 ข.

ในรูป 133 ก. และ 133 ข. FABCT เป็นเส้นเกลียวในระหว่าง F และ T มุม PFA, PAB, PBC และ PCT ต่างเท่ากันหมด ฉะนั้นจึงถือเอาว่ามุมใดมุมหนึ่งเหล่านี้เป็นเข็มได้

เมื่อมุมประจำตัวนี้เท่ากับ 90° แล้วเส้นเกลียวก็กลายเป็นวงขนานละติจูดหรืออิเควเตอร์ (รูป 134) เมื่อมุมเป็น 0° เส้นเกลียวก็ทับร่วมกันกับเมริเดียน เพราะฉะนั้นแนวทางเรือซึ่งถือท้ายเข็มประจำ แล้วจึงเป็นเส้นเกลียวหรือเมริเดียนอย่างใดอย่างหนึ่ง ยกเว้นเสียแต่ที่ขั้วโลก

(ซึ่งเมริเดียนทั้งหลายตัดกันเป็นมุมตั้งแต่ 0° ถึง 180°) แล้วอาจนับเอาว่าเมริเดียนเป็นเส้นเกลียวได้

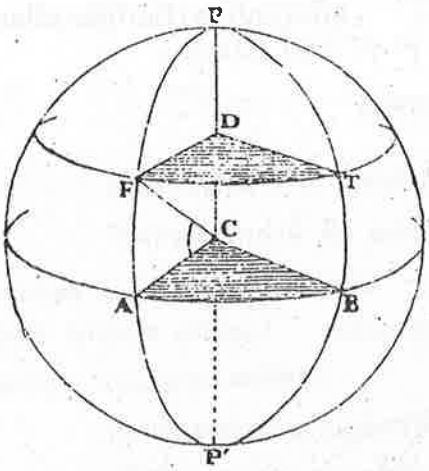


รูป 134

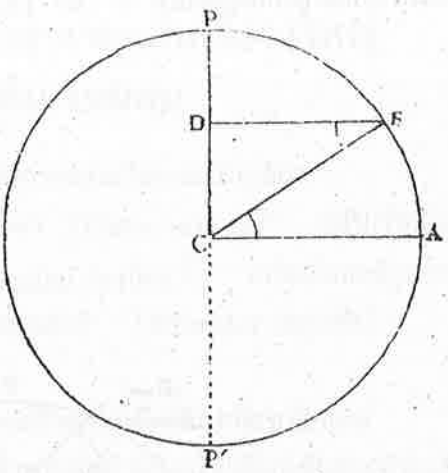
ในวิชาเดินเรือว่าเส้นเกลียวเป็นสิ่งสำคัญส่วนหนึ่ง เมื่อพูดถึงระยะทาง ย่อมหมายความถึงระยะทางตามเส้นเกลียวในระหว่าง F และ T ฉะนั้น ระยะทางในระหว่างที่สองตำบล (ถ้าไม่ได้กล่าวไว้ว่าเป็นอย่างอื่นแล้ว) หมายถึงระยะทางตามเส้นเกลียวซึ่งต่อตำบลที่ทั้งสองนั้นวัดเป็นไมล์ทะเล

ในทำนองเดียวกันเมื่อพูดถึงเข็มแล้ว ก็หมายความถึงเข็มตามเส้นเกลียว ฉะนั้นเข็มที่เรือจะต้องแล่นจากที่ตำบลหนึ่งไปยังอีกตำบลหนึ่งนั้น คือ มุมในระหว่างเมริเดียน และเส้นเกลียวซึ่งต่อตำบลที่ทั้งสองนั้น

ระยะทางบนวงขนานละติจูด การที่จะหาเข็มและระยะทางตามเส้นเกลียวนั้น จำเป็นจะต้องทราบระยะทางบนวงขนานละติจูดในระหว่างที่สองตำบลที่กำหนดให้เสียก่อน เพราะว่าสูตรสำหรับแล่นเรือบนเส้นเกลียวได้มาจากการที่สมมุติ ให้เส้นเกลียวประกอบไปด้วยรูปสามเหลี่ยมมุมฉากเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งรูปสามเหลี่ยมเหล่านี้แต่ละรูปมีด้าน ๆ หนึ่งอยู่บนวงขนานละติจูด



รูป 135 ก.



รูป 135 ข.

ในรูป 135 ก. FT เป็นขอบวงขนานละติจูดซึ่งจะต้องหาความยาว ฉะนั้น อาจถือเอาได้ว่าเป็นระยะทางตามวงขนานละติจูดในระหว่างเมริเดียน ซึ่งผ่าน F และ T

AB เป็นระยะทางตามขอบอิเควเตอร์ในระหว่างเมริเดียนทั้งสองนั้นเหมือนกัน คือว่าเป็นลองจิจูดเปลี่ยนระหว่าง F และ T

เมื่อพิจารณาดูแล้วจะเห็นได้ว่า ในวงขนานละติจูดที่อยู่ใกล้ ๆ ขั้วโลกหรืออีกนัยหนึ่งคือเมื่อละติจูดยิ่งสูงขึ้นไประยะ FT ก็สั้นมากเข้า แต่ส่วนลองจิจูดนั้นไม่เปลี่ยนแปลงคงยาวเท่าเดิม เพราะฉะนั้น FT จึงต้องสัมพันธ์กับ AB โดยเกี่ยวข้องกับละติจูด

การหาส่วนสัมพันธ์นี้ต้องพิจารณาดูพื้นหน้าตัด DFT และ CAB จะเห็นได้ว่าพื้นหน้าตัดทั้งสองนี้ขนานกันและมีมุมเท่ากัน ฉะนั้น

$$\frac{FT}{AB} = \frac{DF}{CA}$$

จากรูปสามเหลี่ยม DCF ในรูป 135 ข. นั้น

$$DF = CF \cos (\text{ละติจูด})$$
$$= CA \cos (\text{ละติจูด}) \text{ เพราะว่า}$$

CF = CA โดยที่ต่างเป็นรัศมีของโลก

$$\text{เพราะฉะนั้น } \frac{FT}{AB} = \frac{CA \cos (\text{ละติจูด})}{CA}$$

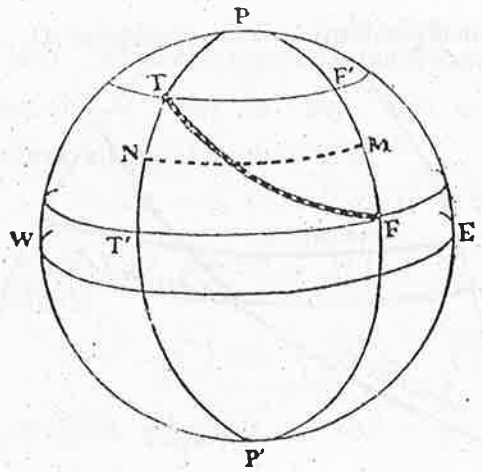
$$\text{คือ } FT = AB \cos (\text{ละติจูด})$$

ฉะนั้น ระยะทางบนวงขนานละติจูดนับเป็นไมล์ทะเลเท่ากับลองจิจูดเปลี่ยนนับเป็นลิบดาของขอบคูณด้วย cosine ของละติจูด

ตัวอย่าง ถ้าวงขนานละติจูดเป็น 40° น. และลองจิจูดของ F และ T เท่ากับ 05°อ. และ 60° อ. ตามลำดับแล้วลองจิจูดเปลี่ยนจะเท่ากับ 45° หรือเมื่อนับเป็นลิบดาของขอบซึ่งเป็นไมล์ทะเลที่อิเควเตอร์แล้วเท่ากับ 2700' เพราะฉะนั้น FT = 2700' × cos 40°
= 2068'.3

ถ้าหากละติจูดเป็น 60° แล้วระยะทางบนวงขนานละติจูดนี้จะเท่ากับ 2700' × cos 60° ซึ่งเท่ากับ 1350'

ระยะขยาย ระยะทางบนวงขนานละติจูดนั้นนับว่าเป็นตัวอย่าง โดยเฉพาะของระยะขยายได้ตัวอย่างหนึ่ง



รูป 136

ระยะขยายเป็นระยะทางที่เรือแล่นไปได้จริง ในทิศตะวันออก-ตะวันตกตรง เมื่อแล่นจากตำบลหนึ่งไปยังอีกตำบลหนึ่งตามเส้นเกลียว

ในรูป 136 สมมุติว่าเรือลำหนึ่งแล่นจาก F ไปยัง T

ตามรูปนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อเรือแล่นไปตามเส้นเกลียวเช่นนั้น แล้วระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออก-ตะวันตกจะยาวเกินกว่า F'T ซึ่งเป็นระยะทางบนวงขนานละติจูดซึ่งผ่าน F ไม่ได้ เพราะว่าเมริเดียนทั้งสอง FF' และ TT' ต่างก็สอบรวมเข้าไปบรรจบกันทางเหนือของ F'T และโดยเหตุเช่นเดียวกันระยะทางอันนั้นจะสั้นกว่า F'T ไม่ได้

เพราะฉะนั้นระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออก-ตะวันตก เมื่อแล่นจาก F ไปยัง T ต้องเท่ากับระยะทางบนวงขนานละติจูดใดละติจูดหนึ่ง MN ซึ่งอยู่ในระหว่างวงขนานละติจูดที่ผ่าน F และ T

ละติจูดกลางจริง (True middle latitude) ละติจูดของวงขนานละติจูด MN นี้เรียกว่า "ละติจูดกลางจริง" ระหว่าง F และ T ฉะนั้น ถ้าใช้สูตรที่ได้ให้ไว้แล้วจะได้

ระยะขยาย = ลองติจูดเปลี่ยน × cos (ละติจูดกลางจริง)

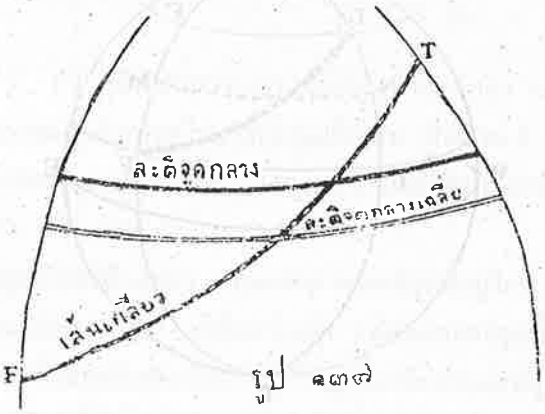
ละติจูดกลางจริงอยู่สูงกว่าละติจูดกลางไปทางขั้วโลกเล็กน้อย

ละติจูดกลาง (Middle latitude) เป็นค่าเฉลี่ยของละติจูดสองละติจูดตามวิธีเลขคณิต (หมายเหตุ ละติจูดกลางนี้ คือ ละติจูดกลางเฉลี่ยในวิเคราะห์ศัพท์)

ถ้าหากละติจูดเปลี่ยนไม่มาก หรือละติจูดทั้งสองไม่สูงมากแล้ว การหาระยะขยายอาจใช้ละติจูดกลางแทนละติจูดกลางจริงในสูตรได้ ซึ่งไม่ทำให้ผิดมากนัก สูตรที่ได้ผลละเอียดถูกต้อง คือ

ระยะขยาย = ลองจิจูดเปลี่ยน × cos (ละติจูดกลางจริง) เมื่อใช้ละติจูดกลางแทนละติจูดกลางจริงแล้ว ผลที่ได้รับจะเป็นแต่เพียงผลโดยใกล้เคียง และสูตรอันบนกลายเป็นสูตรที่ได้ผลโดยประมาณ คือ

ระยะขยาย = ลองจิจูดเปลี่ยน × cos (ละติจูดกลาง)



รูป ๔๓๗

เมื่อที่สองตำบลอยู่ใกล้อิเควเตอร์ แต่อยู่ต่างซีกอิเควเตอร์อัน แล้วอาจสมมุติเอาว่าระระยะขยายเท่ากับลองจิจูดเปลี่ยนได้ แต่ถ้าหากว่าที่สองตำบลนี้ ไม่อยู่ใกล้อิเควเตอร์มากพอถึงกับจะสมมุติให้ เช่นกล่าวแล้วได้ การใช้ละติจูดกลางแทนละติจูดกลางจริงก็ได้ผลไม่ใกล้เคียงกับละติจูดกลางจริง ฉะนั้น จึงต้องใช้วิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสำหรับระยะทางไม่เกิน 600 ไมล์ ซึ่งเป็นระยะทางมากที่สุดของมาตราทราเวิส และละติจูดไม่สูงเกินกว่า 50° แล้วใช้ละติจูดกลางแทนละติจูดกลางจริงได้ ฉะนั้นระยะขยายที่ได้จึงเป็นแต่เพียงระยะขยายประมาณเท่านั้น ข้อพิสูจน์นี้ต้องอาศัยวิชาคัลกุลัส

วิธีหาละติจูดกลางจริง เมื่อตำบลที่อยู่ห่างกันมากจนต้องใช้ละติจูดกลางจริงแล้ว ก็หาละติจูดกลางจริงได้โดยบวกอัตราแก้ละติจูดกลาง (รูป 137) เข้ากับละติจูดกลาง อัตราแก้นี้มีให้ไว้ในมาตราเดินเรืออินแมนส์

ตัวอย่าง ถ้าเรือลำหนึ่งแล่นจาก F แลต. 30° น. ลอง 40° ตก. ไปยัง T

แลต. 34° น. ลอง. 36° ตก. แล้วระยะขยาย(ซึ่งเป็นตะวันออก) เมื่อใช้สูตรโดยประมาณจะได้

$$(40^\circ - 35^\circ)\cos\tfrac{1}{2}(34^\circ + 30^\circ)$$
$$= 240' \cos(32^\circ)$$
$$= 203'.5$$

เมื่อเปิดหาอัตราแก้ละติจูดกลาง ซึ่งจะต้องเอาไปบวกเข้ากับ แลต. กลาง 32° จากมาตราเดินเรืออินแมนส์แล้วจะได้ $3'$ ฉะนั้นระยะขยายตามสูตรที่ละเอียดถูกต้องจะได้

$$240' \cos(32^\circ 3')$$
$$= 203'.4$$

ตามนี้จะเห็นได้ว่า ผลต่างของระยะขยายโดยวิธีทั้งสองมีเพียงเล็กน้อยจึงตัดทิ้งเสียได้ แต่ถ้าเรือแล่นจาก แลต.50° น. ลอง 20° ตก. ไปยัง แลต.70° น. ลอง.8° ตก. แล้วจะมีผลต่างกันมาก ระยะขยายตามสูตรโดยประมาณได้

$$(20^\circ - 8^\circ)\cos\tfrac{1}{2}(70^\circ + 50^\circ)$$
$$= 720' \cos 60^\circ = 360'$$

และเมื่อใช้สูตรที่ละเอียดถูกต้องได้

$$(20^\circ - 8^\circ)\cos(60^\circ + 1^\circ 12'.5)$$
$$= 720' \cos(61^\circ 12'.5)$$
$$= 346'.8$$

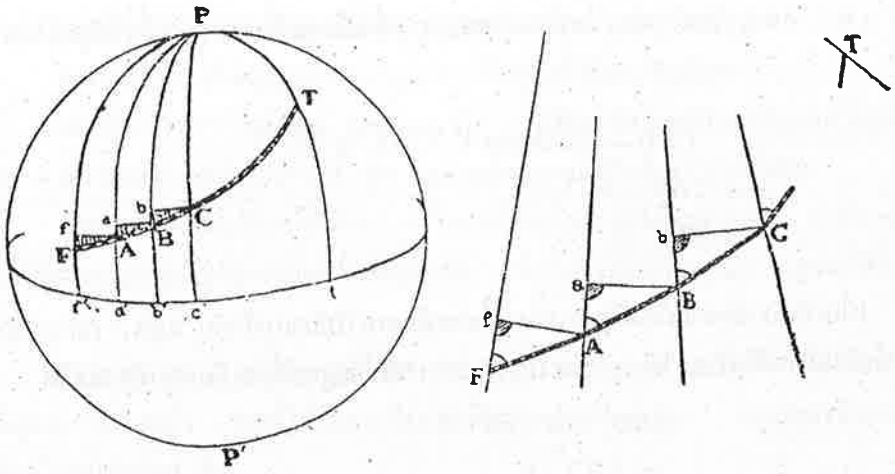
สูตรแล่นเรือตามเส้นเกลียว

เมื่อทราบระยะทางบนวงขนานละติจูดและระยะขยายในระหว่างที่สองตำบลแล้ว ก็หาเป็มที่จะต้องถือท้ายไปตามเส้นเกลียวซึ่งต่อที่สองตำบล และระยทางที่แล่นไปตามเส้นเกลียวได้

ในรูป 138, FT เป็นเส้นเกลียวซึ่งได้แบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เท่า ๆ กัน เป็นจำนวนมาก ได้แก่ FA, AB, BC .....

Af, Ba, Cb.....เป็นขอบวงขนานละติจูดลากผ่าน A, B, C,

ฉะนั้น มุมต่าง ๆ ที่ f, a, b,..... ต่างก็เป็นมุมฉาก เพราะเมื่อส่วนต่าง ๆ เหล่านี้เล็กมาก จึงถือเอาว่าเส้นโค้งเป็นเส้นตรงได้



รูป 138

ถ้าแบ่ง FT ออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ให้มีจำนวนมากพอแล้ว รูปสามเหลี่ยม FAf, ABa, BCb ก็จะมีขนาดเล็กมากพอจนถือเอาว่ารูปสามเหลี่ยมเหล่านี้เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านตรงได้

และโดยที่มุมเข็มที่ F, A, B, C .... ต่างก็มีค่าประจำคงตัว เพราะเป็นมุมที่เส้นเกลียวตัดกับเมริเดียน เพราะฉะนั้นรูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ เหล่านี้จึงต่างกัน

หมายเหตุ ควรจะเข้าใจเสียให้ดีว่าในการที่สมมุติหรือถือเอารูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ เหล่านี้ เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านตรงนั้นมิใช่ว่าจะถือเสียว่าโลกไม่เป็นทรงกลมก็หามิได้ การสมมุติเช่นนี้จึงทำให้เกิดชื่อวิธี "แล่นเรือตรง" (Plane sailing) ขึ้นได้ในตัว ในการนี้ถ้านึกถึงศัพท์เดิม "plane" แล้วจะรู้สึกว่าการแล่นเรือนี้ยุ่งมาก ฉะนั้นเท่าที่นิยมกันมักสะกดคำ "plane" เป็น "plain" เสียแล้ว ก็จะง่ายขึ้น

สำหรับเนื้อที่ผิวพื้นโลกที่มีเนื้อที่เล็กมากแล้ว อาจสมมุติให้เป็นพื้นแบนราบได้ คือตัดลักษระของทรงกลมทิ้งได้โดยไม่ทำให้เกิดความผิดมากมายแต่อย่างใด เนื้อที่ที่นำเอามาใช้ยิ่งเล็กมากเท่าใดก็ยิ่งมีความผิดน้อยลงเท่านั้น

ถ้าเอารูปสามเหลี่ยมมุมฉากเล็ก ๆ ด้านตรง ABa ในรูป 138 มาขยายให้เป็นรูป-ใหญ่ ดังในรูป 139 แล้ว จะเห็นได้ว่า A และ B เป็นจุดสองจุดในเนื้อที่นั้น Aa เป็นเมริเดียนของ A เพราะฉะนั้นมุม aAB เป็นเข็มจาก A ไป B = C ด้าน AB เป็นระยะทางตามเส้นเกลียว จาก A ไป B=d ด้าน Aa เป็นละติจูดเปลี่ยนในระหว่าง A และ B= l และด้าน aB เป็นระยะขยายเกิดจากการที่เรือแล่นจาก A ไป B=p

โดยตรีโกณมิติ

$\sin C = \frac{p}{d}$ เพราะฉะนั้น $p = d \sin C$

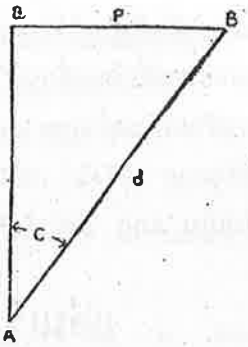
คือระยะขยาย=ระยะทาง× sin (เข็ม)

$\cos C=\frac{l}{d}$ เพราะฉะนั้น $l=d\cos C$

คือ ละติจูดเปลี่ยน = ระยะทาง × cos (เข็ม)

และ $\tan C=\frac{p}{l}$

คือ tan (เข็ม) = $\frac{\text{ระยะขยาย}}{\text{ละติจูดเปลี่ยน}}$



รูป ๑๓๙

ที่นี้ขอย้ายกลับไปดูรูป 138 ใหม่เพื่อจะแสดงให้เห็นว่าสูตรที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นได้ผลถูกต้องสำหรับระยะทางไกล

ตามในรูป 138 เมื่อเรือแล่นได้ระยะทาง AB แล้วอาจถือเอาว่าระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ไปในทิศตะวันตก-ตะวันออกนั้นเท่ากับ aB ได้ เพราะว่าระยะทาง AB สั้นมาก คือว่ารูปสามเหลี่ยม FAf, ABa, BCb ..... ยิ่งเล็กมากเท่าใด aB ก็ยิ่งเกือบเท่ากับระยะขยายในระหว่าง A และ B มากขึ้นเท่านั้น

เพราะฉะนั้นระยะขยายระหว่าง F และ T จึงเท่ากับผลบวกของขอบวงขนานละติจูดเล็ก ๆ เหล่านี้ทั้งหมด fA, aB, bC,.. .....

แต่ | $fA=FA\sin$ (เข็ม)

$aB=AB\sin$ (เข็ม)

$bC=BC\sin$ (เข็ม)

เพราะฉะนั้นเมื่อบวกกันแล้ว จะได้

$fA+aB+bC\ldots\ldots=(FA+AB+BC+\ldots\ldots)\times\sin$ (เข็ม)

คือ ระยะขยาย = ระยะทาง × sin (เข็ม)

ต่อไปนี้จะพิจารณาดูด้านของรูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ เหล่านี้ (รูป 138) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเมริเดียน คือ

$Ff=FA\cos$ (เข็ม)

$Aa=AB\cos$ (เข็ม)

$Bb=BC\cos$ (เข็ม)

แต่ว่า Ff เป็นละติจูดเปลี่ยนในระหว่าง F และ A, Aa, เป็นละติจูดเปลี่ยนในระหว่าง A และ B,..... ฉะนั้น $Ff+Aa\times Bb+\ldots\ldots$ เป็นละติจูดเปลี่ยนทั้งหมดระหว่าง F และ T

เพราะฉะนั้นเมื่อบวกกันแล้ว จะได้

$Ff+Aa+Bb+\ldots\ldots=(FA+AB+BC+\ldots\ldots)\times\cos$ (เข็ม) คือ.- ละติจูดเปลี่ยน = ระยะทาง × cos (เข็ม)

สูตรเหล่านี้ได้ผลละเอียดถูกต้องสำหรับเส้นเกลียวต่าง ๆ ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะมีระยะทางเท่าใด

แต่ทว่าพึงสังเกตไว้ว่าระยะขยายระหว่าง F และ T ตามที่คำนวณได้จากสูตรที่กล่าวแล้วนั้น เป็นระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ไปทางตะวันออกเมื่อแล่นจาก F ไป T คือเท่ากับระยะขยายในระหว่างที่สองตำบลตามที่วัดบนวงขนานละติจูดกลางในรูป 137 หาได้เท่ากับระยะขยายตามที่วัดบนวงขนานละติจูดกลางจริงไม่ แต่ดังได้กล่าวไว้แล้วเมื่อละติจูดเปลี่ยนไม่มากละติจูดไม่สูงกว่า 50° และระยะทางไม่เกิน 600 ไมล์แล้วก็นับว่าไม่ผิดมากเท่าใด

แล่นเรือตรง (Plane Sailing)

แล่นเรือตรงหรืออีกนัยหนึ่งเรียกว่าแล่นเรือระยะใกล้ (Short-distance sailing) หมายความถึงการแล่นเรือตามเส้นเกลียวในชั่วระยะทางยาวไม่เกิน 600 ไมล์หรือจะถือว่าเป็นวิธีคำนวณหาตำบลที่เรือ เข็มและระยะทางที่เรือแล่นไปโดยอาศัยหลักของสามเหลี่ยมด้านตรงก็ได้ แต่ให้พึงระลึกไว้ว่าการแล่นเรือตรงนั้นหาได้สมมุติให้ผิวพื้นโลกเป็นพื้นแบนราบไม่ และถือเสียว่าเมื่อเรือแล่นในชั่วระยะไกลไม่เกิน 600 ไมล์แล้วย่อมมีความผิดไม่มากนัก

ฉะนั้นความสัมพันธ์ในระหว่างเข็ม ระยะทาง ละติจูดเปลี่ยนและระยะขยาย จึงใช้คำนวณหาโดยสูตรของตรีโกณมิติด้านตรงทั้งสิ้น

สูตรแล่นเรือตามเส้นเกลียวที่ได้กล่าวแล้วนั้น ก็คือสูตรแล่นเรือตรง คือ

ระยะขยาย = ระยะทาง × sin (เข็ม) .... (1)

ละติจูดเปลี่ยน = ระยะทาง × cos (เข็ม) .... (2)

เมื่อเอา (2) หาร (1) จะได้

$$\tan (\text{เข็ม}) = \frac{\text{ระยะขยาย}}{\text{แลต. เปลี่ยน}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

สูตรเหล่านี้นับว่ามีความถูกต้องและอาจใช้ได้ถูกต้องในการหาละติจูดเปลี่ยน(1) และระยะขยาย (p) ในเมื่อรู้เข็มและระยะทางไม่ว่าเข็มและระยะทางจะเป็นเท่าใด แต่ทว่าเมื่อจะหาเข็ม (C) และระยะทาง (d) เมื่อรู้ละติจูดเปลี่ยนและระยะขยายแล้วย่อมไม่สู้จะได้ผลละเอียดถูกต้องดีนัก เพราะเนื่องจากว่าระยะขยายที่ใช้ในสูตรนี้ในเมื่อแล่นเรือตรงได้ ถือเอาเสมือนว่าเป็นความยาวของขอบวงขนานละติจูด ซึ่งผ่านที่ตำบลหนึ่งในระหว่างเมริเดียนซึ่งผ่านที่สองตำบล การที่สมมุติเอาเช่นนี้ไม่เป็นความจริงดังได้อธิบายมาแล้ว (คือระยะขยายจริงจะบนวงขนานละติจูดกลางจริง หรือระยะขยายใกล้เคียงต้องวัดบนวงขนานละติจูดกลาง) แต่ในลักษณะต่อไปนี้แล้วย่อมมีความผิดไม่สู้มากนัก

(1) เมื่อระยะทางสั้น

(2) เมื่อมุมที่เข็มกระทำกับเมริเดียนเล็ก

(3) เมื่ออยู่ใกล้อิเควเตอร์

1. หาละติจูดเปลี่ยนและระยะขยายเมื่อทราบเข็มและระยะทาง

2. หาเข็มและระยะทางเมื่อทราบละติจูดเปลี่ยนและระยะขยาย

โจทย์แล่นเรือตรงอาจทำได้เป็น 3 วิธี คือ 1) โดยกร๊าฟ 2) โดยการคำนวณ 3) โดยเปิดมาตราทราเวิส

ประเภทที่ 1 หาละติจูดเปลี่ยนและระยะขยายเมื่อรู้เข็ม และระยะทาง โดยการคำนวณ

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 033° จากแลต.40°00' น. ลอง.60°00' ตก. ได้ระยะทาง 119 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยน แลต.ถึงและระยะขยาย

โดยสูตร แลต.เปลี่ยน = ระยะทาง × cos เข็ม

ระยะขยาย = ระยะทาง × sin เข็ม

d	119 ไมล์	log	2.07555	log	2.07555
C	033°	L cos	9.92359	L sin	9.73611
l	99'.802 น.	log	1.99914		
l =	1°39'.8 น.				
p	64'.813 อ.			log	1.81166

l		1°39'.8 น.
L_1	(แลต. ออก)	40°00' น.
L_2	(แลต. ถึง)	41°39'.8 น.

เพราะฉะนั้น แลต.เปลี่ยน = 99'.802 น. ระยะขยาย = 64'.813 อ. และแลต. ถึง = 41°39'.8 น.

ประเภทที่ 2 หาเข็มและระยะทางเมื่อรู้ละติจูดเปลี่ยนและระยะขยาย

ตัวอย่าง ตำบลที่หนึ่ง X อยู่ทางใต้ 89 ไมล์ และอยู่ทางตะวันตก 63 ไมล์ของตำบลที่ Y จงหาเข็มและระยะทางจาก Y ไปยัง X

โดยสูตร $\tan \text{เข็ม} = \frac{\text{ระยะขยาย}}{\text{แลต.เปลี่ยน}}$

และระยะทาง = ระยะขยาย × เข็ม

63' ตก.	log	1.79934	log	1.79934	
89' ต.	log	1.94939			
ต.35°17'36" ตก.	L tan	9.84995	L coseC	0.23825	
109.04 ไมล์			log	2.03759	

เพราะฉะนั้น เข็ม = 215° 17' 36' ระยะทาง = 109 ไมล์

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 127° ระยะทาง 342 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

2. เรือลำหนึ่งแล่นเหนือ 241 ไมล์แล้วแล่นตะวันตก 135 ไมล์ หาเข็มและระยะทางที่แล่นเดียว

3. เรือลำหนึ่งออกจากแลต.40° น. แล่นเข็ม 027° ได้ระยะทาง 166 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยน ระยะขยายและแลต. ถึง

4. เรือลำหนึ่งอยู่ทางใต้ 72 ไมล์และทางตะวันออก 43.3 ไมล์ ของเมืองท่าปลายทาง จงหาเข็มและระยะทางไปยังเมืองเท่านั้น

5. เรือลำหนึ่งแล่นเข็มเรือ 120° ระยะทาง 125 ไมล์ ดิวิเอชั่น 5° ตก. วาริเอชั่น 7° อ. จงหาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

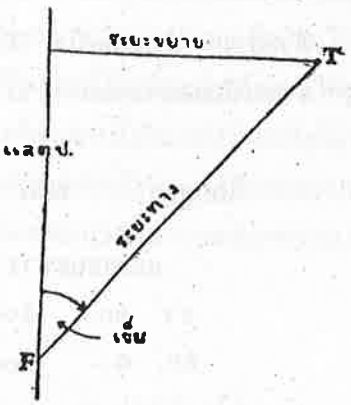
มาตราทราเวิส (The Traverse Table)

มาตราทราเวิสนี้เป็นมาตราชนิดหนึ่ง ที่ให้ความสะดวกแก่นักเดินเรือเป็นอันมากในการทำโจทย์ มาตรานี้มีอยู่ในมาตราเดินเรือต่าง ๆ เช่น มาตราเดินเรืออินแมนส์ (Inman s Nautical Tables) มาตราทราเวิสนี้ให้ละติจูดเปลี่ยนจริง และระยะขยายสำหรับระยะทางตั้งแต่ 1 ไมล์ จนถึง 600 ไมล์และสำหรับเข็มทุกองศาตั้งแต่ 1 องศาจนถึง 90 องศา

มาตรานี้ได้จัดทำขึ้นสำหรับหาแลต. เปลี่ยนและระยะขยายอันเป็นผลลัพธ์ สำหรับเข็ม และระยะทางที่กำหนดให้ และโดยกลับกันสำหรับหาเข็มและระยะทางอันเป็นผลลัพธ์สำหรับแลต.เปลี่ยน และระยะขยายที่กำหนดให้ ซึ่งใช้หาเอาได้โดยการตรวจดูในมาตราโดยไม่ต้องใช้วิธีคำนวณแต่อย่างใดเลย

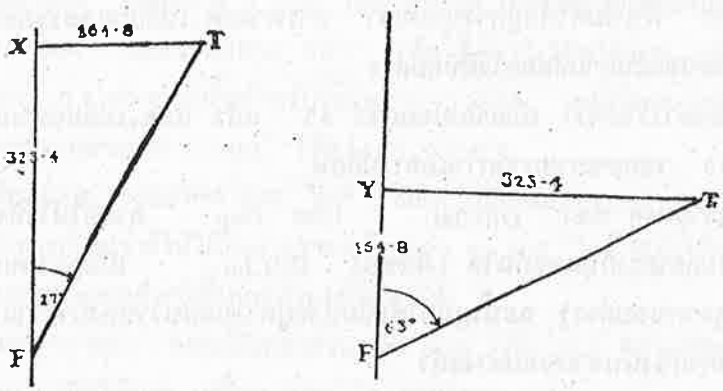
มาตราทราเวิสนี้ได้สร้างขึ้นโดยอาศัยหลักดังต่อไปนี้

คือ สมมุติเข็มและระยะทางขึ้น แล้วคำนวณหา แลต.เปลี่ยนจริงและระยะขยายสำหรับเข็มและระยะทางนั้นได้เมื่อได้คำนวณแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย



รูป ๑๔๐

ในทำนองนี้จากเข็ม 0° ถึง 45° แล้ว ก็หาค่าของแลต.เปลี่ยนและระยะขยายสำหรับเข็มซึ่งใหญ่กว่า 45° ได้โดยเปลี่ยนสลับจั่วหน้า หรือสารบัญของแถวระหว่างกันและกันเสีย ฉะนั้นแลต.เปลี่ยนและระยะขยายของเข็มใด ๆ จึงกลายเป็นระยะขยายและแลต.เปลี่ยนสำหรับคอมปลิเมนต์ของเข็ม (90°-เข็ม) นั้นตามลำดับ การที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าได้หมุนรูปสามเหลี่ยมกลับ (ดูรูป 141)



รูป 141

ตัวอย่าง ระยะทาง 363 ไมล์ เข็ม 027° เมื่อเปิดมาตราทราเวิส จะได้แลต.เปลี่ยน 323.4 ไมล์ ระยะขยาย 164.8 ไมล์

ถ้าเข็มเป็น 063° ระยะทาง 363 ไมล์ตามเดิม เมื่อเปิดมาตราทราเวิส ดูเข็มทางขอบขวามือ ดูแลต.เปลี่ยนและระยะขยายจากขอบล่างจะได้แลต.เปลี่ยน 164.8 ไมล์ ระยะขยาย 323.4 ไมล์

การที่ใช้ชื่อมาตรานี้ว่า "มาตราทราเวิส" ก็เนื่องจากการที่ใช้มาตรานี้ในการทำโจทย์หรือแก้ปัญหาในวิชาเดินเรือในเมื่อกำหนดด้านต่าง ๆ ของรูปสามเหลี่ยมให้มีชื่อดังในมาตรา แต่ก็ควรต้องทราบไว้ว่ามาตรานี้ใช้ได้ผลดีทั่วไป ในการนำเอาไปใช้ทำกับรูปสามเหลี่ยมมุมฉากใด ๆ ได้ทั้งสิ้น

อันที่จริงแล้วมาตราทราเวิสนี้ก็คือเป็นวิธีคูณจำนวนเลขเข้ากับ sine หรือ cosine ของมุมนั่นเอง เช่น

$$363 \cos 27^\circ = 323.4$$

$$363 \sin 27^\circ = 164.8$$

วิธีใช้มาตราทราเวิส

ประเภทที่ 1 หาละติจูดเปลี่ยนและระยะขยาย เมื่อรู้เข็มและระยะทาง

(1) เอาระยะทางที่ให้ไปเปิดในมาตราในช่องแนวนอนตอนบนของมาตรา ในช่องที่หมายว่า "distance" (ระยะทาง) จนได้ระยะทางที่ต้องการ

(2) ได้ระยะทางมีช่อง "Diff.lat." (แลต.เปลี่ยน) และ "Dep" (ระยะขยาย)

(3) หาเข็ม (Co.) ตามที่ให้ เข็มนี้อยู่ในบรรทัดเดียวกันกับแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย ทางขอบซ้ายของมาตรามีเข็มตั้งแต่ 1° ถึง 45° และทางขอบขวาตั้งแต่ 45° ถึง 89° ฉะนั้นแลต.เปลี่ยนและระยะขยายที่อยู่ในช่องระยะทาง และในบรรทัดเดียวกับเข็มที่ให้เป็นคำตอบที่ต้องการ ถ้าเข็มที่ให้อยู่ทางขอบขวา การหาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายต้องเอามาจากช่อง โดยเฉพาะของมันตามที่บอกไว้ที่ขอบล่าง

ต้องจำไว้ให้ดีว่า เมื่อเข็มน้อยกว่า 45° แล้ว แลต.เปลี่ยนมากกว่าระยะขยาย แต่เมื่อใหญ่กว่า 45° ระยะขยายมากกว่าแลต.เปลี่ยน

หมายเหตุ ช่อง "Diff.lat." และ "Dep" ตามที่ให้ไว้ที่ขอบบนและขอบล่างของมาตรานั้นเปลี่ยนซึ่งกันและกันได้ (คือช่อง "Diff.lat." เมื่อดูจากขอบบนกลายเป็นช่อง "Dep" เมื่อดูจากขอบล่าง) ฉะนั้นเมื่อใช้เข็มซึ่งอยู่ทางขอบขวาของมาตราแล้ว ต้องให้แน่ใจว่าเราอ่านชื่อช่องทั้งสองนั้นจากขอบล่างแล้ว

ตัวอย่าง

1. เข็ม 033° ระยะทาง 119 ไมล์ หากแลต.เปลี่ยนและระยะขยายโดยใช้ตรวจดูจากมาตราทราเวิส

ได้ แลต.เปลี่ยน 99'.8 ระยะขยาย 64'.8

2. เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 027° ได้ระยะทาง 166 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายโดยใช้มาตราทราเวิส

ได้แลต.เปลี่ยน 147'.9 ระยะขยาย 75'.4

3. เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 118° ระยะทาง 98 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายโดยใช้มาตราทราเวิส

เข็มที่ใช้เปิดในที่นี้ คือ ต.62° อ. และโดยที่เข็มมากกว่า 45° จึงต้องดูขึ้นมาจากข้างล่าง ได้แลต.เปลี่ยน 46' ระยะขยาย 86'.5

4. เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 247° ระยะทาง 29.5 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

เอาเข็ม ต.67° ตก. กับระยะทาง 295 ไมล์(คือ 29.5×10)ไปเปิด ได้แลต.เปลี่ยน 115'.3 ระยะขยาย 271'.5 ฉะนั้นสำหรับระยะทาง 29.'5 จะได้แลต.เปลี่ยน 11'.53 ต ระยะขยาย 27'.15 ตก.(โดยเลื่อนจุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

5. เข็ม 041° และระยะทาง 714" หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

ถ้าระยะทางเกินกว่าระยะทางที่ให้ไว้ในมาตราแล้ว ให้หารระยะทางนั้นด้วย 2 หรือ 3 หรือ 4....ฯลฯ เพื่อให้ได้ระยะทางอยู่ภายในเขตของมาตรา แล้วเอาไปเปิดหาแลต.เปลี่ยนและ

ระยะขยาย เมื่อได้แล้วให้คูณผลนั้นด้วยจำนวนตัวหาร

เอาเข็ม 041° และระยะทาง 357° (คือ $\frac{714}{2}$)ไปเปิดในมาตราได้ แลต.เปลี่ยน 269.'4 และระยะขยาย 234.'2 เพราะฉะนั้นสำหรับระยะทาง 714' แล้วจะได้แลต.เปลี่ยน 53.'8 น. ระยะขยาย 468.'4 อ.

6. เข็ม 044° ระยะทาง 5,830 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

เอาเข็ม 044° และระยะทาง 583' (คือ $\frac{5830}{10}$)ไปเปิดได้แลต.เปลี่ยน 419.'4 และระยะขยาย 405'.0 เพราะฉะนั้นสำหรับระยะทาง 5,830' จะได้แลต.เปลี่ยน 4,194' (คือ 419:4×10)และระยะขยาย 4,050' (คือ 405.0×10)

7. เข็ม 039° ระยะทาง 951 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

ถ้าระยะทางเกินกว่าที่ให้ไว้ในมาตราแต่น้อยกว่า 1,200 ไมล์ แล้ว ให้แบ่งระยะทางนั้นออกเป็นสองส่วนและบวกผลที่หาได้แต่ละส่วนเข้าด้วยกัน

แบ่งระยะทาง 851' ออกเป็นสองส่วน คือ 600' กับ 251' สำหรับระยะทาง 600 สำหรับระยะทาง 600' เปิดได้แลต.เปลี่ยน 466'.3 ระยะขยาย 377'.6

" " " 251' " " 195.1 " 158.0

เพราะฉะนั้นสำหรับระยะทาง 851' " 661.4 " 535.6

8. เข็ม 020° 32' ระยะทาง 30 ไมล์ หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย

ถ้าเข็มที่ให้ไม่เป็นจำนวนองศาเต็ม คือมีเศษลิบดาต้องแยกหาออกเป็นสองตอน ดังนี้

เข็ม 20° ระยะทาง 30' เปิดได้แลต.ป.28'.2 ระยะขยาย 10'.3

" 21 " 30 " " 28.0 " 10.8

" 1 " " " 0.2 " 0.5

ฉะนั้น 0°32' เทียบหาได้แลต.ป. = $\frac{0.2\times32}{60}$ ระยะขยาย = $\frac{0.2\times32}{60}$

แลต.ป. = 0.11' ระยะขยาย = 0'.3

เพราะฉะนั้นสำหรับเข็ม 020°32' ได้แลต.เปลี่ยน 28'.1 และระยะขยาย 10':6

ประเภทที่ 2 หาเข็มและระยะทางเมื่อรู้ละติจูดเปลี่ยนและระยะขยาย

เปิดหาดูในมาตราทราเวิสจนได้แลต.เปลี่ยนและระยะขยายซึ่งตรงหรือใกล้เคียงกันที่สุดกับแลต.เปลี่ยน และระยะขยายที่ให้ไว้ แล้วหาเข็ม(เป็นองศา)ทางขอบซ้ายของมาตราในบรรทัดเดียวกันกับแลต.เปลี่ยนและระยะขยายในเมื่อแลต.เปลี่ยนมากกว่าระยะขยาย แต่เมื่อระยะขยายมากกว่า แลต.เปลี่ยนแล้วให้ดูเข้าทางขอบขวาของมาตรา แล้วก็จะได้ระยะทางที่ขอบบนของมาตราในแถวเดียวกันกับแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย เข็มจะมีชื่ออย่างเดียวกัน (จากเหนือหรือใต้ไปยังตะวันออกหรือตะวันตก) กันแลต.เปลี่ยนและระยะขยาย การหาประเภทนี้โดยใช้มาตราทราเวิสย่อมลำบากอยู่สักหน่อย ซึ่งลำบากกว่าประเภทที่ 1 เพราะจะต้องเลือกหาแลต.เปลี่ยน และระยะ

ขยายตามที่ต้องการให้อยู่ในช่องเดียวกัน ถ้าหากหาไม่ได้ตรงกันเช่นนั้นแล้วจะต้องใช้เทียบเอา

ตัวอย่าง 1. เรือลำหนึ่งแล่นในระหว่างทิศเหนือและทิศตะวันออกจนได้แลต.เปลี่ยน 199'.0 และระยะขยาย 144'.6 หาเข็มและระยะทางโดยเปิดมาตราทราเวิส

ได้เข็ม 036° ระยะทาง 246 ไมล์

2. เรือลำหนึ่งแล่นไปจนได้แลต.เปลี่ยน 36 ไมล์เหนือ และระยะขยาย 58 ไมล์ตะวันตก จนหาเข็มและระยะทางโดยมาตราทราเวิส

ได้เข็ม น.58° ตก. หรือ 302° ระยะทาง 68 ไมล์

3. เรือลำหนึ่งแล่นใต้และตะวันตกจนได้แลต.เปลี่ยน 431'.2 ไมล์ และระยะขยาย 343 ไมล์ จงหาเข็มและระยะทาง

เมื่อเปิดดูในมาตราทราเวิสจะเห็นได้ว่า แลต.เปลี่ยน 431'.0 ตรงกับระยะทาง 547' และระยะขยาย 343' ตรงกับระยะทาง 557' ซึ่งต่างก็อยู่ในบรรทัดของเข็ม 38° และในหน้าเดียวกันจะได้แลต.เปลี่ยน 431'.3 ตรงกับระยะทาง 555' และระยะขยาย 342'.9 ตรงกับระยะทาง 545' ซึ่งต่างก็อยู่ในบรรทัดของเข็ม 39° แล้วเอามาเปรียบเทียบกันเข้าดังต่อไปนี้

คือ แลต.ป. 431'.0 ระยะทาง 547' เข็ม 38°

ระยะขยาย 343' ระยะทาง 557' เข็ม 38°

เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะได้

แลต.ป.431'.0 ระยะขยาย 343'.0 ระยะทาง 552' เข็ม 38°...(1) และ

แลต.ป. 431'.3 ระยะทาง 555' เข็ม 39°

เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะได้

แลต.ป. 431'.3 ระยะขยาย 342'.9 ระยะทาง 550' เข็ม 39° ...(2) แล้วเปรียบเทียบกันในระหว่าง (1)กับ(2)อีก จะได้

แลต.ป.431'.2 ระยะขยาย 343' ระยะทาง 551' เข็ม 38°.5

เพราะฉะนั้นได้เข็ม 218°.5 และระยะทาง 551 ไมล์

4. เรือลำหนึ่งแล่นได้แลต.เปลี่ยน 388.4 ไมล์เหนือ และระยะขยาย 365.4 ไมล์ตะวันตก จงหาเข็มและระยะทาง

เมื่อเปิดดูในมาตราทราเวิสจะเห็นได้ว่า เข็ม = น. 43° ตก.หรือ 317° ระยะทาง 533 ไมล์

5. ให้แลต.เปลี่ยน 863'.2 ต.และระยะขยาย 833'.6 อ. จงหาเข็มและระยะทาง

โดยที่ทั้งแลต.เปลี่ยน และระยะขยายต่างก็มากกว่าที่กำหนดให้ไว้ในมาตรา ฉะนั้นจึงเอา 2 หาร เพื่อให้อยู่ในเขตของมาตรา

แลต. เปลี่ยน	ระยะขยาย
2)863.2	2)833.6
431.6	416.8

แล้วเอาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายนี้ไปเปิด ได้เข็ม 44° ระยะทาง 600' เมื่อเอา 2 คูณแล้วจะได้ระยะ 1,200'

เพราะฉะนั้นเข็ม = ต.44° อ. หรือ 136° ระยะทาง 1.200 ไมล์

6. ให้แลต.เปลี่ยน 1'.0 และระยะขยาย 0'.1 หาเข็มและระยะทาง

แลต.เปลี่ยน 1'.0 และระยะขยาย 0'.1 อยู่ในช่องระยะทาง 1 ไมล์ สำหรับเข็มตั้งแต่ 3° ถึง 8° เป็นการยากที่จะหาคำตอบให้ถูกต้องได้ ฉะนั้นจึงเอา 10 คูณ จะได้แลต.เปลี่ยน 10' ระยะขยาย 1' แล้วเอาไปเปิดมาตรา จะได้เข็ม 6° ระยะทาง 10' เพราะฉะนั้นสำหรับแลต.เปลี่ยนและระยะขยายที่ให้ไว้จะได้ เข็ม 6° ระยะทาง 1 ไมล์

โจทย์ฝึกหัด

จงหาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายในโจทย์ต่อไปนี้ โดยใช้มาตราทราเวิส

เข็มจริง	ระยะทาง
1. ต. 80° ตก.	14.7 ไมล์
2. 190°	42.8 "
3. น. 28° อ.	896 "
4. 342°	34.9 "

จงหาเข็มและระยะทางต่อไปนี้โดยใช้มาตราทราเวิส

5. แลต.เปลี่ยน 172'.7 ต. ระยะขยาย 325'.0 อ.
6. 369.0 น. 223.0 ตก.
7. 5.4 น. 34.0 อ.
8. จงเปิดหาค่าของส่วนที่ว่างในช่องตารางต่อไปนี้ โดยใช้มาตราทราเวิส

เข็มจริง	แลต.เปลี่ยน	ระยะขยาย	ระยะทาง
?°	14'.2 น.	3'.0 อ.	?'
074.0	827.0 น.	?	?
096.5	?	298.1 อ.	?
114.0	?	?	221.0
?	175.2 ต.	45.3 ตก.	?
?	0.0	22.8 ตก.	?
290.0	?	169.1 ตก.	?
?	169.1	61.6 อ.	?

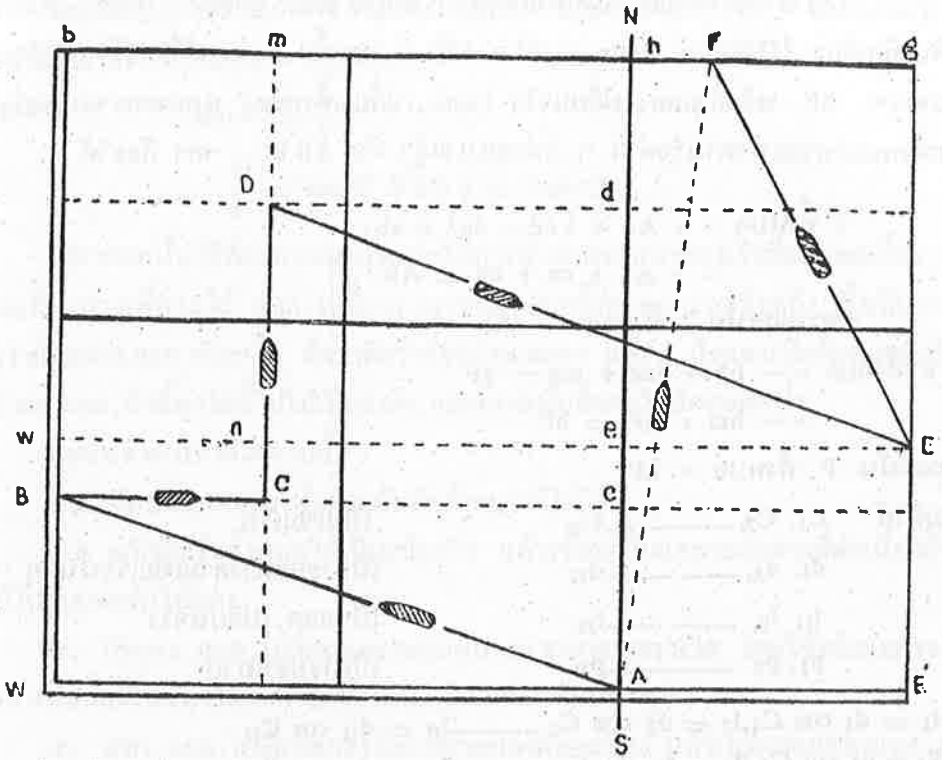
ตอบ

เข็มจริง	แลต.เปลี่ยน	ระยะขยาย	ระยะทาง
012'.0	14'.2 น.	3'.0 อ.	14'.5
074.0	827.0 น.	2884.0 อ.	3000.0
096.5	34.0 ต.	298.1 อ.	300.0
114.0	89.9 ต.	201.9 อ.	221.0
194.5	175.2 ต.	45.3 ตก.	181.0
270.0	0.0	22.8 ตก.	22.8
290.0	61.6 น.	169.1 ตก.	180.0
160.0	169.1 ต.	61.6 ต.	180.0

แล่นเรือลดเลี้ยว (Traverse Sailing)

เมื่อเรือแล่นไปโดยเปลี่ยนเข็มหลาย ๆ เข็มต่อเนื่องกันไป (คือแนวทางเรือซึ่งมีเส้นเกลียวหลายเส้น) แล้วเรียกว่า "ลดเลี้ยว" (Traverse) และการที่ดัดทอดเข็มที่แล่นเข็มต่าง ๆ และระยะทางต่าง ๆ ลงมาเป็นเข็ม ๆ เดียวและระยะทางอันเดียวโดยใช้มาตราทราเวิสแล้วเรียกว่า แล่นเรือลดเลี้ยว (Traverse Salling)

การแล่นเรือเช่นว่านี้หรือแนวทางเรือดังที่กล่าวแล้วนี้ ได้แสดงไว้ในรูป 142 ซึ่งเรือได้แล่นไปตามเส้นเกลียวต่าง ๆ ต่อเนื่องกันไป



รูป ๑๔๒

คือ AB, BC, ฯลฯ เมื่อดูตามรูปแล้วจะเห็นได้ว่าแลต.เปลี่ยนทั้งหมดที่เรือแล่นลดเลี้ยวไปตามแนวทางเรือนั้น เท่ากับผลบวกตามเครื่องหมายพิชคณิตของแลต.เปลี่ยนต่าง ๆ ในแนวทางเรือและในทำนองเดียวกันก็จะเห็นได้ว่าระยะขยายทั้งหมดเท่ากับผลบวก ตามเครื่องหมายพิชคณิตของระยะขยายต่าง ๆ อันเกิดขึ้นจากการที่เรือแล่นเป็นต่าง ๆ สำหรับแนวทางเรือ (เส้นเกลียว) AB,1 (แลต.ป.) = Ac

p (ระยะขยาย) = Bc = bh

แนวทาง BC, l = 0

p = BC = bm

แนวทาง CD, l = CD = cd

p = 0

แนวทาง DE, l = Dn = de

p = nE = mg

และแนวทาง EF, l = Eg = eh

p = gF

เพราะฉะนั้นเข็มที่เรือเดินเข็มเดียว (Course made good) =NAF และระยะทางที่เรือเดินเข็มเดียว (Distance made good) = AF ฉะนั้น แลด.เปลี่ยนจริง = Ah และระยะขยายจริง= hF หรือถ้าแลด.เปลี่ยนจริง (แลด.เปลี่ยนทั้งหมด) และระยะขยายจริง (ระยะขยายทั้งหมด)ตามแนวทางเรือต่าง ๆ แต่ละแนวแล้ว คือ AB,BC, ฯลฯ ก็จะได้

$$l \text{ ทั้งหมด} = + Ac + (cd - de) + eh$$
$$= + Ac + ce + eh = Ah$$

เพราะฉะนั้น l ทั้งหมด = Ah

และ p ทั้งหมด $= - hb + bm + mg - gF$

$$= - hm + mF = hF$$

เพราะฉะนั้น p ทั้งหมด = hF

ถ้าสมมุติให้ $C_1, C_2, \ldots\ldots C_n$ เป็นเข็มเรือ

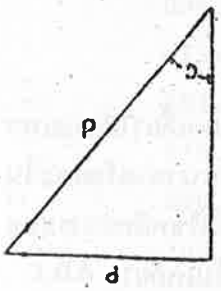
$d_1, d_2, \ldots\ldots d_n$ เป็นระยะทางตามเข็มเรือนั้น ๆ

$l_1, l_2, \ldots\ldots l_n$ เป็นแลด.เปลี่ยนจริง

$p_1, p_2 \ldots\ldots p_n$ เป็นระยะขยาย

$\therefore l_1 = d_1 \cos C_1, l_2 = d_2 \cos C_2 \ldots\ldots l_n = d_n \cos C_n$

$P_1 = d_1 \sin C_1, P_2 = d_2 \sin C_2, \ldots\ldots P_n = d_n \sin C_n$



โดยที่ l = แลด.เปลี่ยนทั้งหมด และ p =ระยะขยายทั้งหมด

เพราะฉะนั้น $l = l_1 + l_2 + l_3 + \ldots\ldots l_n$

และ $p = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots p_n$

ซึ่ง p อาจวัดได้ตามเส้นขนานละติจูดกลาง

$\frac{(L_1 + L_2)}{2}$ เช่นเดียวกับเรือเดินเข็มเดียว ในเมื่อ L_1 เป็นแลด.ออก และ L_2 เป็นแลด.ถึง

เพราะฉะนั้นจึงเห็นได้ว่า แลด.เปลี่ยนทั้งหมด = ผลบวกของแลด.เปลี่ยนต่าง ๆ ที่อยู่ในเขตทางเรือเดิน

และระยะขยายทั้งหมด = ผลบวกของระยะขยายทั้งหมด

ถ้าให้ l_N = ผลบวกของแลด.เปลี่ยนเหนือ และ l_S = ผลบวกของแลด.เปลี่ยนใต้แล้ว

เพราะฉะนั้น $l = l_N \sim l_S$

ถ้าให้ p_E = ผลบวกของระยะขยายทางตะวันออก และ p_w = ผลบวกของระยะขยายทางตะวันตกแล้ว

เพราะฉะนั้น $p = p_E \sim p_w$

โดยวิธีเดียวกันอาจหาค่าของแลต.เปลี่ยน. ระยะขยาย. เข็ม. และระยะทางที่เรือแล่นตรงไปได้โดยวิธีแล่นเรือตรง ตามสูตรต่อไปนี้

$$\tan C = \frac{p}{l}$$

$$\frac{d}{l} = \sec C \text{ หรือ } d = l \sec C$$

เพราะฉะนั้นวิธีที่สะดวกและเหมาะในการคำนวณหาแนวทางเรือที่แล่นลดเลี้ยว ควรทำเป็นแบบฟอร์มตารางเพื่อจะได้ แลต.เปลี่ยนและระยะขยายทั้งหมดและละติจูดถึง ซึ่งเป็นการเหมาะและง่ายกว่าที่จะคำนวณหาทีละขั้น คือว่าดีกว่าที่จะคำนวณหา แลต. ถึงของเข็มที่แล่นลดเลี้ยวไปทีละเข็มแล้วเอาแลต.ถึงที่หาได้นี้ไปใช้เป็นแลต.ออกของเข็มอื่นต่อไปอีกทอดหนึ่ง

ฉะนั้นจึงควรทำดังต่อไปนี้

กฎ.- 1. เขียนแบบฟอร์มให้คล้ายกันกับตัวอย่างที่ให้ไว้

2. แก้เข็มเรือทั้งหมดให้เป็นเข็มจริง แล้วเขียนเข็มและระยะทางที่ต่อเนื่องกันลงในช่องของมันในแบบฟอร์มให้ถูก

3. เปิดหา แลต.เปลี่ยนและระยะขยายจากมาตราทราเวิส โดยใช้เข็มและระยะทางเปิดหา แล้วเขียนลงในช่องโดยเฉพาะของมันให้ตรงตามเข็มนั้น ๆ

4. บวก แลต.เปลี่ยนและระยะขยายของแต่ละช่อง แล้วเอาผลลบของแลต.เปลี่ยนเหนือและใต้เป็นแลต.เปลี่ยนจริงทั้งหมด และหาผลลบของระยะขยายตะวันออกและตะวันตก จะได้เป็นระยะขยายทั้งหมด

5. ผลลบเหล่านี้เป็นแลต.เปลี่ยนและระยะขยายทั้งหมดที่เรือเดินเข็มเดียวและมีชื่อเหมือนกันกับส่วนที่มีค่ามาก

6. แล้วเอาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายที่ได้นี้เปิดหาเข็ม และระยะทางที่เรือเดินเข็มเดียวจากมาตราทราเวิส หรือจะใช้คำนวณเอาก็ได้

หมายเหตุ 1. ถ้าหากผลสุดท้ายไม่มีระยะขยายแล้ว เข็มที่เดินเข็มเดียวก็เป็นเหนือหรือใต้ตามชื่อของ แลต.เปลี่ยนที่หาได้ และระยะทางก็เท่ากับแลต.เปลี่ยน และในทำนองเดียวกันเมื่อไม่มีแลต.เปลี่ยน เข็มที่เดินเข็มเดียวก็เป็นตะวันออกหรือตะวันตกตามชื่อของระยะขยายที่หาได้และระยะทางก็เท่ากับระยะขยาย

2. ถ้าหากว่า แลต.เปลี่ยนเหนือและใต้มีค่าเท่ากันและทั้งระยะขยายตะวันออกและตะวันออก และตะวันตกก็มีค่าเท่ากันแล้วย่อมพิจารณาเอาได้ว่าเรือได้กลับมายังตำบลที่เดิมซึ่งได้แล่นออกไป

3. ขอแนะนำว่าก่อนที่จะเปิดมาตราทราเวิส ควรขีด "—" ลงในช่องแลต.เปลี่ยนและระยะขยายที่ไม่ต้องการเสียก่อน ทั้งนี้จะป้องกันมิให้กรอกผิด

ตัวอย่าง 1. เวลา 1200 ตำบลที่ของเรือธงของกองเรืออยู่ในแลต. 45° 10' น.

ลอง. 42° 45' ตก. ต่อจากเวลานี้ไปในชั่วเวลา 24 ชั่วโมงเรือได้เดินกระบวนต่าง ๆ ตามเข็ม และระยะทางดังปรากฏต่อไปข้างล่างนี้ วาริเอชั่นของตำบลที่ 28° ตก. จงหา(ก)ละติจูดถึงและ (ข) เข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว

เข็มเรือ	ดิวิเอชั่น	ระยะทาง
096°	2° อ.	100'
028	0	60
299	1 ตก.	30
359	1 ตก.	80
198	0	90

วิธีทำ แก้เข็มเรือให้เป็นเข็มจริงเสียก่อน แล้วทำดังตารางต่อไปนี้ หรือจะเอาไปแก้รวมไว้ด้วยกันในตารางก็ได้เพื่อจะได้เห็นได้ง่าย

เข็มเรือ	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่น	เข็มจริง	ระยะทาง	แลต.เปลี่ยน		ระยะขยาย	
					น.	ต.	อ.	ตก.
096°	28° ตก.	2° อ.	170°	100'	34 2	—	9.40	—
028	28 ตก.	0	000	60	60.0	—	—	—
299	28 ตก.	1 ตก.	270	30	—	—	—	30
359	28 ตก.	1 ตก.	330	80	69.3	—	—	40
198	28 ตก.	0	170	90	—	88.6	15.6	—
L_1	45° 10' น.			รวม	163.5	88.6	109.6	70
1	1 14.9 น.				88.6		70.0	
L_2	46° 24.9 น.			จริง	74.9		39.6	

การหาเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียวนั้น หาได้ 2 วิธีคือ

1. โดยเปิดมาตราทราเวิสโดยใช้ แลต.ป. และระยะขยายเปิดหาจะได้เข็ม 027°.9 หรือ 028° และระยะทาง 84.7 ไมล์

2. โดยการคำนวณ คือ $\tan C = \frac{p}{l}$, $d = l \sec C$

p	39'.6 อ.	log	1.59770		
l	74'.9 น.	log (—)	1.87448	log	1.87448
C น.	27° 51' 56" อ.	L tan	9.72322	L sec	10.05352
d	84'.7			log	1.92800

เพราะฉะนั้นเข็ม = 027° 51' 56' และระยะทาง = 84.7 ไมล์

ตัวอย่าง 2 เวลา 0800 เรือลำหนึ่งอยู่ในแลต. 50° 14' น. ลอง. 16° 11' ตก. เรือเดินเข็มจริง 132° อัตราเร็ว 15 นอต และได้เปลี่ยนเข็มต่าง ๆ ดังต่อไปข้างล่างนี้ จงหาที่เรือรายงานเวลา 1200

เวลา	เข็มจริง
0840	246°
0956	302
1032	010
1144	090

วิธีทำ หาระยะทางตามเข็มต่าง ๆ ตามเวลาที่เปลี่ยนเข็มแล้ว เขียนลงในตารางดังต่อไปนี้

เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
		น.	ต.	อ.	ตก.
132°	10'	—	6.7	7.4	—
246	19	—	7.7	—	17.4
302	9	4.8	—	—	7.6
010	18	17.7	—	3.1	—
090	4	—	—	4.0	—
	รวม	22.5	14.4	14.5	25.0
		14.4			14.5
	จริง	8.1			10.5

L_1	50° 14'	น.
1	08.1	น.
L_2	50 22.1	น.
L_1	50 14.0	น.
$L_1 + L_2$	2) 100 36.1	
L_m	50° 18'	น.

ในการหาลองติจูดเปลี่ยน ต้องเอาระยะขยายที่หาได้และแลต.กลางไปเปิดในมาตราเดินเรืออินแมนส์ที่มาตรา "Departure into diff. long" ตามโจทย์นี้เมื่อเปิดจะได้ลอง. เปลี่ยน 16".4 ตก.

λ_1	(ลอง.ออก)	16°	11".0 ตก.
DLo			16 .4 ตก.
λ_2	(ลอง.ถึง)	16°	27".4 ตก.

การหาลองติจูดเปลี่ยนนี้จะใช้วิธีคำนวณก็ได้ โดยใช้สูตร

ระยะขยาย = ลอง.ป.× cos ละติจูดกลาง

เพราะฉะนั้นที่เรือรายงานเวลา 1200 ได้แลต.50°22".1 น. ลอง.16°27".4 ตก.

ตัวอย่าง 3 เรือลำหนึ่งออกจากตำบลที่แห่งหนึ่งในแลต. 50°10" น. แล่นตามเข็มจริงและระยะทางดังต่อไปนี้

เข็ม	ระยะทาง
017°	13'
000	38
027	18
079	25
263	23
132	25.2
324	21
312	27.1

จงหา (ก) ละติจูดถึง (ข) เข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว

วิธีทำ

เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
		น.	ต.	อ.	ตก.
017°	31	12'.4	—	3'.8	—
000	38	38.0	—	—	—
027	18	16.0	—	8.2	—
079	25	4.8	—	24.5	—
263	23	—	2.8	—	22.8
132	25.2	—	16.9	18.7	—
324	21	17.0	—	—	12.3
312	27.1	18.1	—	—	20.1
L_1 50° 10' น. รวม		106.3	19.7	55.2	55.2
1 126.6 น.		19.7		55.2	0
L_2 5° 136'.6 น. จริง		88.6			

การหาเข็มและระยะทางโดยใช้มาตราทราเวิส จะได้เข็ม 000 และระยะทาง 86.6 ไมล์ หรือถ้าจะไม่เปิดมาตราทราเวิสก็ทราบได้เหมือนกันเพราะแลต.ป.เป็นเหนือตรง ฉะนั้นจึงไม่มีระยะขยายและระยะทางเท่ากับแลต.เปลี่ยน เพราะฉะนั้นระยะทางจึงเท่ากับ 86.6 ไมล์

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือลำหนึ่งแล่นตามเข็มและระยะทางต่อไปนี้

เข็มเรือ	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่น	ระยะทาง
265°	23° ตก.	2° อ.	13.0
240	23 ตก.	3 อ.	8.5
282	24 ตก.	1 ตก.	10.4
294	23 ตก.	2 ตก.	12.0
260	24 ตก.	2 อ.	19.0

จงหาเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว(ตอบเข็ม 245°.9 ระยะทาง 60.7 ไมล์)

2. เรือลำหนึ่งออกจากแลต. 34°24′ ต. แล่นตามเข็มจริงและระยะทางดังต่อไปนี้ เข็ม 030° ระยะทาง 38 ไมล์, เข็ม 199° ระยะทาง 37 ไมล์, เข็ม 121° ระยะทาง 33 ไมล์, เข็ม 185° ระยะทาง 29 ไมล์, เข็ม 048° ระยะทาง 80 ไมล์, เข็ม 352° ระยะทาง 63 ไมล์, จงหาแลต.ถึง เข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว

3. ถ้าท่านเป็นผู้บังคับการเรือตรวจฝั่งขนาดเล็กลำหนึ่ง ซึ่งรักษาการณ์อยู่ทางภาคตะวันตกของช่องอังกฤษ ขณะเมื่อท่านเห็นประภาคาร Bishop Rock อยู่ในแบริง 321° ระยะห่าง 18 ไมล์จากเรือ ท่านได้รับข่าววิทยุจากประภาคารแจ้งว่า มีเรือลำหนึ่งกำลังจะอับปางอยู่ในแบริง 243° ระยะทาง 32 ไมล์จากประภาคาร จงหาเข็มจริงที่ท่านจะต้องแล่นไปยังตำบลที่เรือที่ได้รับรายงาน และถ้าเรือของท่านแล่นได้ 19 นอต จะต้องแล่นเป็นเวลานานเท่าใดจึงจะไปถึงเรือลำนั้น (ตอบเข็ม 269°.3 เวลา 2 ชม. 05.7 นท.)

4. เรือลำหนึ่งในระหว่างแปรกระบวนได้เดินตามเข็ม และอัตราเร็วต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เวลา	เข็มเรือ	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่น	อัตราเร็ว
1700	313°	8° ตก.	4° ตก.	15
1834	342	8 ตก.	2 ตก.	12
2004	220	8 ตก.	0	15
2304	181	8 ตก.	2 อ.	15
0014	115	8 ตก.	2 ตก.	20
0126	072	8 ตก.	4 ตก.	20
0459	164	8 ตก..	3 อ.	15
0625	220	8 ตก.	0	

จงหาเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียวระหว่างเวลา 1700 และ 0625 (ตอบ เข็ม 113° 9 ระยะทาง 45.4 ไมล์)

5. เรือลำหนึ่งออกจากแลต. 0°38' น. ได้แล่นไปตามเข็มจริง และระยะทางดังต่อไปนี้

เข็ม	ระยะทาง
ต. 77° อ.	25 ไมล์
ต. 60 ตก.	28 "
น. 80 ตก.	47 "
น. 70 ตก.	55 "
ต. 27 อ.	101 "
ต. 88 ตก.	72 "

จงหา (1) ละติจูดถึง

(2) เข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว

(ตอบ ละติจูดถึง 0°46'.7ต เข็ม 236° ระยะทาง 151 ไมล์)

แล่นเรือขนาน (Parallel Sailing)

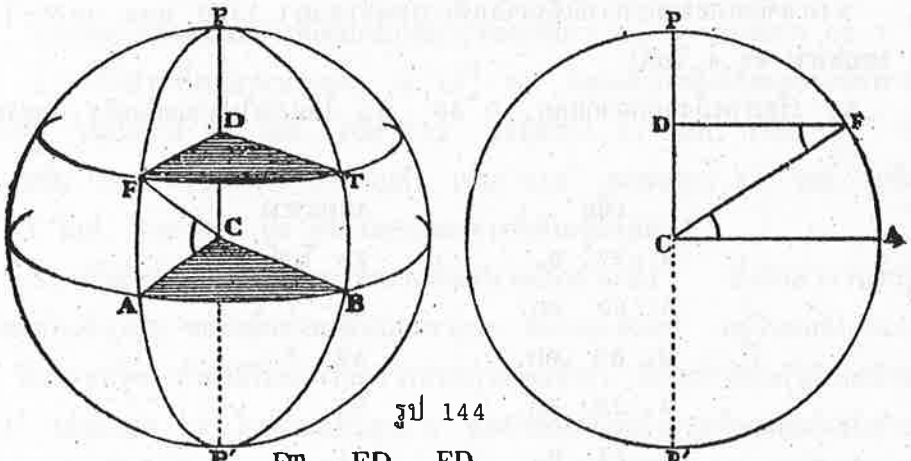
แล่นเรือขนานเป็นวิธีหาระยะขยาย หรือระยะเมริเดียนในระหว่างที่สองตำบล ซึ่งอยู่ในละติจูดเดียวกัน ในเมื่อทราบลองจิจูดเปลี่ยนของที่สองตำบลนั้น หรือเป็นวิธีหาลองจิจูดเปลี่ยนอันสัมพันธ์กับระยะเมริเดียน หรือระยะขยายเมื่อเรือแล่นตะวันออกหรือตะวันตก

เมื่อเรือแล่นอยู่บนวงขนานละติจูด จากเมริเดียนที่กำหนดให้ (คือเข็มเรือเป็นตะวันออก หรือตะวันตก) แล้วเรือนั้นจะไม่เปลี่ยนละติจูดเลยเปลี่ยนแต่ลองจิจูดอย่างเดียวเท่านั้น แต่

ระยะทางในระหว่างเมริเดียนคู่ใดคู่หนึ่งนั้น (คือระยะขยาย) ย่อมเปลี่ยนไปตามวงขนานละติจูดที่เรือนั้นแล่น

ทีนี้สมมุติว่าเรือลำหนึ่งแล่นไปตามขอบอีเควเตอร์ได้ระยะทาง 60 ไมล์ ทะเลเรือนั้นก็จะเปลี่ยนตำบลที่ไป 60 ไมล์(หรือ 1° ลองจิจูด) แต่ถ้าเรือลำนี้ไปแล่นบนวงขนานละติจูด 60° เหนือหรือใต้ก็ตามถ้าเรือนั้นแล่นไปได้ระยะทางเท่ากันกับที่อิเควเตอร์ (คือ 60 ไมล์) แล้ว เรือนั้นก็เปลี่ยนลองจิจูดไป 120 ไมล์ หรือ 2° ทั้งนี้เนื่องจากว่าละติจูดยิ่งสูงขึ้นไป คือยิ่งเข้าไปใกล้ขั้วโลกเข้า วงขนานละติจูดย่อมมีเส้นรอบวงสั้นลง ต่อเนื่องกันยิ่งขึ้นจนกระทั่งที่ขั้วโลกไม่มีเส้นรอบวงเลย หลักการของการแล่นเรือขนานนี้อาจอธิบายให้เห็นได้ดังในรูป 144

เรือลำหนึ่งแล่นบนวงขนานละติจูดจาก F ไปยัง T ละติจูดของ F และ T ใช้แทนด้วย AF และ BT ฉะนั้นขอบ FT เป็นระยะขยาย (หรือระยะเมริเดียน)ของขอบอิเควเตอร์ AB เป็นลองจิจูดเปลี่ยนในระหว่าง F และ T



รูป 144

$$\frac{FT}{AB} = \frac{FD}{AC} = \frac{FD}{CF} = \cos DFC$$

$$= \cos ACF$$

$$= \cos \text{แลต.}$$

$$\therefore FT = AB \cos \text{แลต.}$$

เพราะฉะนั้น ระยะขยาย = ลอง.เปลี่ยน × cos แลต. .....(1)

$$(p = DLo \times \cos L)$$

หรือ ลอง.เปลี่ยน = ระยะขยาย × sec แลต. .....(2)

$$(DLo = p \sec L)$$

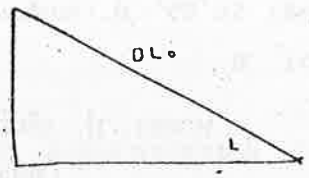
และ $\cos$ แลต. $= \dfrac{\text{ระยะขยาย}}{\text{ลอง.เปลี่ยน}}$ .....(3)

$$\left(\cos L = \frac{p}{DLo}\right)$$

ตามสูตรข้างบนนี้ เมื่อรู้ส่วนใดส่วนหนึ่งสองส่วนแล้วก็ย่อมหาส่วนที่สามได้ ทำได้เป็นสองวิธี คือ (1) โดยวิธีคำนวณ (2) โดยเป็นมาตราทราเวิส การเปิดมาตราทราเวิสนั้นให้ใช้เปิดตามกฎต่อไปนี้ คือ สมมุติให้ละติจูดเป็นเข็ม ให้ระยะขยายเป็นแลต.เปลี่ยนและลอง. เปลี่ยนเป็นระยะทาง

การที่สมมุติกฎขึ้นเช่นนี้ ได้อาศัยจากหลักที่เอามาสร้างมาตราทราเวิสขึ้น ซึ่งการสร้างมาตราทราเวิสนี้ได้มาจากสูตรแล่นเรือตรง คือ $l = d \cos C$ (คือแลต.เปลี่ยน = ระยะทาง × cos เข็ม) ซึ่งเมื่อรู้ระยะทางและเข็มแล้วก็หาแลต.เปลี่ยนได้ หรืออีกนัยหนึ่งถ้ากลับสูตรอันบนเสียจะได้ $d = l \sec C$ (คือ ระยะทาง = แลต.เปลี่ยน × sec เข็ม) ซึ่งสูตรอันหลังนี้คล้ายคลึงกับสูตรแล่นเรือขนาน คือ $DLo = p \sec L$ (คือ ลอง.เปลี่ยน = ระยะขยาย × sec แลต.) เมื่อพิจารณาดูสูตรทั้งสองแล้วก็สามารถเห็นได้ว่า DLo คือ d, p คือ l และ L คือ C เพราะฉะนั้นเมื่อใช้กฎที่ให้ไว้ข้างบนนั้นเปิดมาตราทราเวิสแล้วก็จะหาลอง.เปลี่ยน ได้เมื่อรู้ระยะขยายและละติจูด

การสัมพันธ์ของสูตรต่าง ๆ ของแล่นเรือขนานนี้อาจใช้แทนด้วยรูปสามเหลี่ยมมุมฉากดับในรูป 145 ได้ ซึ่งเมื่อรู้สองส่วนแล้วก็ย่อมหาส่วนที่สามได้ อันที่จริงแล้วนับว่ารูปสามเหลี่ยมนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใดเลยในทางทฤษฎีของแล่นเรือขนานและการที่ใช้แทนด้วยรูปสามเหลี่ยมนี้นับว่าเป็นการช่วยความทรงจำได้ดีอย่างหนึ่ง และควรจำไว้ให้ดีโดยจะได้นำเอาไปใช้ในโอกาสต่อไป โดยมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย



รูป ๑๔๕

ประเภทที่ 1 หาลองจิจูดเปลี่ยน (เมื่อรู้ระยะขยายบนวงขนานละติจูดที่กำหนดให้)

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งแล่นอยู่บนวงขนานละติจูด 50° น. ได้แล่นไปจนได้ระยะขยาย 240 ไมล์ตะวันออก จงหาลองจิจูดเปลี่ยน

โดยการคำนวณ $DLo = p \sec L$

p	240" อ.	log	2.38021
L	50°	L sec	0.19193
LDo	373."37 อ.	log	2.57214

เพราะฉะนั้น ลอง.เปลี่ยน = 373."37 อ.

โดยเปิดมาตราทราเวิส เอาแลต. 50° เป็นเข็มและเอาระยะขยาย 240' เป็นแลต.เปลี่ยนแล้วจะได้ระยะทาง 373. เป็นลอง.เปลี่ยน

ประเภทที่ 2 หาระยะขยาย (เมื่อรู้ลอง.เปลี่ยนของที่สองตำบลขนานละติจูดที่กำหนดให้)

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งแล่นอยู่บนวงขนานแลต. 55° น. จะได้ ลอง.ป. 300" ตะวันตก จงหาระยะขยาย

โดยการคำนวณ $p = DLo \times \cos L$

DLo	300' ตก.	log	2.47712
L	55°	L cos	9.75859
p	172.'1 ตก.	log	2.23571

เพราะฉะนั้น ระยะขยาย = 172.'1 ตก.

โดยเปิดมาตราทราเวิส ให้วงขนานแลต. 55° เป็นเข็มและและลอง.ป. 300' ตก. เป็นระยะทาง แล้วแต.ป. ที่ได้จะเป็นระยะขยายที่ต้องการ

ตัวอย่างโดยเปิดมาตราทราเวิส จงหาระยะทางในระหว่าง St. Abb's Head ในแลต. 55°55' น. ลอง.2° 10' ตก. กับ Uraniberg ในแลต.เดียวกันแต่อยู่ลอง. 12°51' อ.

หาลอง. ป. เสียก่อน

ลอง. ออก. 2° 10' ตก.

ลอง. ถึง. 12 52 อ.

15 02 อ.

60

900

ลอง. ป. 902' อ.

เปิดมาตราทราเวิสเอาแลต. 56° เป็นเข็ม ลอง.ป.902' เป็นระยะทางแล้วแลต.ป. 504'.4 ที่ได้เป็นระยะขยาย, และระยะขยายนี้ก็คือระยะทางที่ต้องการ

ประเภทที่ 3 หาวงขนานละติจูด (เมื่อรู้ระยะเมริเดียนหรือระยะขยายและลองติจูดเปลี่ยน)

ตัวอย่าง ถ้าเรือลำหนึ่งแล่นได้ระยะทาง 139 ไมล์แล้วทำให้ลองจิจูดเปลี่ยนไป 276 ไมล์ จงหาว่าเรือนั้นจะต้องแล่นบนวงขนานละติจูดเท่าใด

โดยการคำนวณ $\cos L = \frac{p}{DLo}$

P	139	log	2.14301
DLo	276'	log	2.44091
L	59°45'.6	L cos	9.70210

เพราะฉะนั้น ละติจูด = 59° 45'.6 น. หรือ ต.

โดยเปิดมาตราทราเวิส เอา ลอง.ป. 276' เป็นระยะทางและระยะขยาย 139" เป็น แลต.ป. จะได้เข็ม 59° 45'.6 เป็นละติจูด

ตัวอย่างโดยเปิดมาตราทราเวิส ถ้าเรือลำหนึ่งแล่นตะวันออกได้ 246 ไมล์จากตำบลที่หนึ่งในลอง. 3°12' ตก. ครั้นตรวจหาที่เรือแล้วปรากฏว่าเรืออยู่ในลองจิจูด 4°08' อ. จงหาว่าเรือนั้นแล่นอยู่บนวงขนานแลต.เท่าใด

หาลอง. ป. เสียก่อน

ลอง. ออก. 3° 12' ตก.
ลอง. ถึง. 4 08 อ.
7 20 อ.
60
420
20
ลอง.ป. 440' อ.

เปิดมาตราทราเวิส เอาลอง.ป. 440' เป็นระยะทาง และเอาระยะขยาย 246' (หรือใกล้กับจำนวนนี้ที่สุด) เป็นแลต.ป. จะได้เข็ม 56° เป็นละติจูดที่ต้องการ

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือลำหนึ่งอยู่ในละติจูด 58° น. แล่นเข็ม 270° ระยะทาง 53 ไมล์ ถ้าลองจิจูดออกเป็น 58° ตก. จงหาลองจิจูดถึง (ตอบ 59° 40' ตก.)

2. เรือสองลำอยู่ในลองจิจูด 40° ตก.ด้วยกัน แต่เรือลำที่หนึ่งอยู่ที่อิเควเตอร์ ส่วนลำที่สองอยู่ในแลต. 60° น. เรือทั้งสองลำนี้ต่างแล่นตะวันออกตรง ระยะทาง 300 ไมล์ด้วยกัน จงหาลอง. ถึงของเรือทั้งสองลำนี้ (ตอบ 35° ตก. 30° ตก.)

3. เรือลำที่หนึ่งอยู่ในแลต. 49° 24' น. แล่นตะวันออกด้วยอัตราเร็ว 12 นอต หรือลำที่สองแล่นตะวันออกอัตราเร็ว 15 นอต ถ้าหากว่าเรือลำที่สองแล่นได้ ลอง.เปลี่ยนเท่ากับลอง.เปลี่ยนของเรือลำที่หนึ่งแล้ว เรือลำที่สองจะต้องอยู่ในแลต.เท่าใด (ตอบ 36°น. หรือ ต.)

4. เรือลำหนึ่งอยู่ในแลต.40° น. ลอง.180° แล่นเหนือตรง 300 ไมล์. ตะวันออกตรง 300 ไมล์. ใต้ 300 ไมล์ แล้วแล่นตะวันตกตรง 300 ไมล์ จงทำแล่นเรือลดเลี้ยวที่ละขา(เข็ม) แยกกัน และหาลองจิจูดถึง (ตอบ 179° 27'.3 ตก.)

5. เรือสองลำออกจาก **A** ในแลต.18° 19' น.ลอง. 165°50' อ. เพื่อไปยัง **B** ในแลต. 42°40' น. ลอง.156°47' ตก. เรือลำที่หนึ่งแล่นเหนือตรงจนถึงแลต.ของ **B**

แล้วจึงแล่นตะวันออกตรงจนถึง **B** ส่วนเรือลำที่สองนั้นแล่นตะวันออกตรงก่อนจนถึงเมริเดียนของ **B** แล้วจึงแล่นเหนือตรง ถ้าเรือทั้งสองลำนั้นต่างมีอัตราเร็ว 20 นอตเท่ากันแล้ว อยากทราบว่าเรือใดจะถึงที่หมายก่อนเรืออีกลำหนึ่งกี่ชั่วโมง

6. เรือลำหนึ่งแล่นตะวันออกตรงจากแลต. 35°42' น. ด้วยอัตราเร็ว 12 นอต จงหาลองจิจูดเปลี่ยนของเรือลำนี้ในชั่วเวลาหนึ่งวัน

7. ลองจิจูดเปลี่ยนในระหว่างเรือสองลำเท่ากับ 710 ไมล์และระยะเมริเดียนเท่ากับ 417 ไมล์ เรือทั้งสองลำนั้นต่างแล่นอยู่บนวงขนานลองจิจูดเท่าใด

แล่นเรือละติจูดกลาง **(Middle Latitude Sailing)**

เมื่อเรือแล่นเฉียง(เฉียง) ทำมุมกับเมริเดียนแล้ว ระยะขยายที่ได้จากการแล่นเรือตรงจำต้องเปลี่ยนให้เป็นลองจิจูดเปลี่ยน

สูตรที่ถูกต้องของแล่นเรือตรง คือ

$$(1)\quad l = d \cos C$$

$$(2)\quad p = d \sin C$$

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในแล่นเรือตรงว่า สูตรเหล่านี้ใช้ได้ถูกต้องสำหรับเฉียงและระยะทางต่าง ๆ

แล่นเรือขนานได้แสดงให้เห็นแล้วว่า ระยะขยายที่วัดทั้งสิ้นในละติจูดใดละนั้น อาจเปลี่ยนให้เป็นลองจิจูดเปลี่ยนได้ทันทีโดยสูตร $DLo = p \sec L$

ในแล่นเรือตรงได้ชี้ให้เห็นแล้วว่า ระยะขยายในระหว่างที่สองตำบลในละติจูดต่างกันนั้น ไม่เท่ากับระยะขยายที่วัดบนวงขนานละติจูดของตำบลที่ใดตำบลที่หนึ่ง แต่เกือบเท่ากับระยะขยายที่วัดบนวงขนานละติจูดกลางของตำบลที่ทั้งสองนั้น

เมื่อพิจารณาดูตามรูป 138 แล้วจะเห็นได้ว่าระยะขยายเป็นความยาวในระหว่างความยาว $F'T$ และ FT' คือเกือบเท่ากับ **JK** และในแล่นเรือละติจูดกลางสมมุติให้ระยะขยายนี้เท่ากับความยาว **JK** อันเป็นขอบของวงขนานละติจูดซึ่งลากขึ้นกึ่งกลางระหว่างแลต. ของ **F** และ **T** ฉะนั้นวิธีแล่นเรือชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า แล่นเรือละติจูดกลาง

โดยการสมมุติเช่นนี้จึงสามารถหาวิธีใกล้เคียงที่จะหาระยะขยายและลองจิจูดเปลี่ยนได้ในเมื่อรู้ละติจูดเปลี่ยน ถ้ารู้เฉียงและระยะทางในระหว่าง **F** และ **T** แล้ว ก็จะหาระยะขยาย **JK** ได้โดยง่าย ส่วนความยาวของ $f't$ ซึ่งเป็นลองจิจูดเปลี่ยนก็จะหาได้เช่นเดียวกันกับในแล่นเรือขนาน

เพราะฉะนั้นเมื่อเอาสูตรที่ถูกต้องของแล่นเรือตรงผสมเข้ากับสูตรที่ถูกต้องของแล่นเรือขนาน และใช้ละติจูดกลาง (Lm) แทนละติจูด (L) ของแล่นเรือขนานแล้วก็จะได้สูตรของแล่นเรือละติจูดกลาง

สูตรของแล่นเรือตรง คือ

$$l = d \cos C$$

$$p = d \sin C \text{ และ } \tan = \frac{d}{l}$$

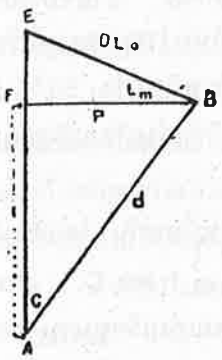
สูตรของแล่นเรือขนาน คือ

$$p = DLo \cos L$$

เมื่อเอารูปสามเหลี่ยมของแล่นเรือตรง และแล่นเรือขนานมาผสมรวมกันเข้าแล้วจะได้รูปสามเหลี่ยมแล่นเรือละติจูดกลาง ดังในรูป 146

รูปสามเหลี่ยม ABF เป็นรูปสามเหลี่ยมแล่นเรือตรง

รูปสามเหลี่ยม BEF เป็นรูปสามเหลี่ยมแล่นเรือขนาน



รูป ๑๔๖

แต่ได้ใช้ Lm (ละติจูดกลาง)แทน L (ละติจูด)ของแล่นเรือขนาน

เพราะฉะนั้นจะได้สูตรแล่นเรือละติจูดกลางดังนี้

$$DLo = p \sec Lm \quad \ldots\ldots(1)$$

แต่ $p = d \sin C$ (จากสูตรแล่นเรือตรง)เอาค่าของ d ใส่ในสมการ (1) ข้างบนจะได้

$$DLo = d \sin C \sec Lm \quad \ldots\ldots(2)$$

(คือ - ลอง. ป. = ระยะทาง × sin เข็ม × sec แลต.กลาง)

$$\tan C = \frac{p}{l} \quad \ldots\ldots(3)$$

แต่ $p = DLo \cos Lm$ (จากสูตรแล่นเรือขนาน) เอาค่าของ p ใส่ในสมการ (3) ข้างบนจะได้

$$\tan C = \frac{DLo \cos Lm}{l} \quad \ldots\ldots(4)$$

(คือ.- tan เข็ม= $\frac{\text{ลอง.ป.} \times \cos \text{ แลต. กลาง)}}{\text{แลต.ป.}}$

$$d = l \sec C \quad \ldots\ldots(5)$$

(คือ.- ระยะทาง = แลต.ป.× sec เข็ม)

$$d = p \operatorname{cosec} C \quad \ldots\ldots(6)$$

(คือ.- ระยะทาง = ระยะขยาย × cosec เข็ม)

อันที่จริงแล้วรูป 146 นั้นไม่มีความสัมพันธ์แต่อย่างใดในทางทฤษฎีของแล่นเรือละติจูดกลาง แต่ได้นำมาใช้แทนให้ส่วนในทำนองเช่นนี้ก็เพื่อจะให้หาสูตรที่ต้องการได้จากรูปนั้นเท่านั้น และทั้งเป็นการช่วยความทรงจำด้วย

หมายเหตุ ถ้าหากเอาแลต.กลางจริงไปใส่แทน แลต.กลางแล้ว สูตรเหล่านี้ก็ถูกต้องดีในทางทฤษฎี

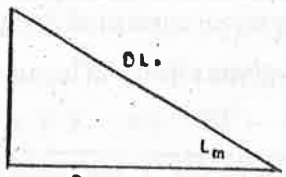
ถ้าเข็มน้อยกว่า 45° แล้วเมื่อจะหาระยะทางควรใช้สูตร (5) คือ **d=l sec C**

และถ้าเข็มโตกว่า 45° แล้ว เมื่อจะหาระยะทางควรใช้สูตร (6) คือ **d=p cosec C**

การที่ต้องทำเช่นนี้ มีเหตุผลอยู่ว่าเมื่อเข็มเล็กมากหรือโตเกินไปแล้วความผิดต่าง ๆ ที่อาจมีอยู่ในระยะขยายหรือ แลต.เปลี่ยนนั้น อาจจะถูกคูณด้วยตัวประกอบ (factor) ใหญ่ได้และจะทำให้ผลนั้นทวีมากขึ้นได้ตามส่วนกับระยะทาง

สูตรของแล่นเรือละติจูดกลางนี้ยังไม่ถูกต้องแท้ทีเดียวเนื่องจากได้สมมุติให้ระยะขยายในระหว่างที่สองตำบล เท่ากับระยะขยายในระหว่างเมริเดียน ซึ่งผ่านที่สองตำบลนั้นตามที่วัดที่ละติจูดกลาง (ครึ่งของผลบวกของละติจูดของตำบลที่ทั้งสอง) ของตำบลที่ทั้งสอง การสมมุติเช่นนี้นับว่ายังไม่ถูกต้อง โดยแท้จริงทีเดียวและทำให้ลองจิจูดเปลี่ยนมีค่าน้อยมากเสมอ แต่ความผิดที่เกิดขึ้นนี้ย่อมไม่มีมากเท่าใดนักถ้าหากว่าระยะทางที่เรือแล่นนั้น ไม่มากเกินกว่าระยะทางที่เรือจะแล่นได้ตามปรกติในวันหนึ่งแล้ว (ไม่เกิน 600 ไมล์) และทั้งละติจูดไม่สูงเกินกว่า 50° ด้วย (บางตำราใช้ระยะทางต่ำกว่า 500 ไมล์และละติจูดสูงไม่เกินกว่า 60°) วิธีแล่นเรือละติจูดกลางนี้จะเอามาใช้คำนวณเมื่อตำบลที่นั้นอยู่ต่างซีกของอิเควเตอร์ไม่ได้

สูตรของแล่นเรือละติจูดกลางนี้ อาจใช้เปิดมาตราทราเวิสทำได้เหมือนกัน โดยที่มาตราทราเวิสนั้นได้ค่าของ l(แลต.เปลี่ยน)มาจากสูตร **l= d cos C** หรือ **d = l sec C** สูตรอันหลังนี้เป็นแบบของสูตรสำหรับหาลองจิจูดเปลี่ยนคือ **DLo = p sec L** ในแล่นเรือขนาน แต่ในแล่นเรือละติจูดกลางจะต้องใช้ **Lm** (แลต.กลาง)แทน **L** (แลต.) ดังในรูป 147 เพราะฉะนั้น เมื่อรู้ **Lm** และ แล้วก็หา **DLo** ได้ในทำนองเดียวกันกับการเปิดมาตราทราเวิสทำสูตรของแล่นเรือขนาน คือ เอาแลต.กลาง เป็นเข็มและเอาระยะขยายเป็นแลต.เปลี่ยนแล้วจะได้ระยะทางเป็นลอง.เป็น



รูป ๑๔๗

แต่ผลที่ได้จากสูตรต่าง ๆ ของแล่นเรือละติจูดกลางนั้นอาจผิดมากในกรณีดังต่อไปนี้ ฉะนั้นในกรณีเช่นนั้นแล้วขอแนะนำให้งดเว้นใช้การแล่นเรือวิธีนี้เสีย และใช้วิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์หรือใช้ละติจูดกลางจริง (**True middle latitude**) แทนละติจูดกลางในสูตรแล่นเรือละติจูดกลาง

ละติจูดกลางจริงหาได้จากสูตร

$$\text{cos ละติจูดกลางจริง} = \frac{\text{ละติจูดเปลี่ยน}}{\text{แลต.ป.ส.ม.}}$$

(ดูหน้า 221)

หรือเอาอัตราแก้ละติจูดกลาง (Correction to middle latitude) ในมาตราแก้ละติจูดกลางในมาตราเดินเรืออินแมนส์ (หรือมาตราอื่น ๆ) เข้าแก้ก็ได้ เพราะว่าแลต.กลางจริงนั้น ใกล้ค่อนไปทางขั้วโลกมากกว่าแลต.กลางอยู่เล็กน้อย (แต่ถ้าคิดถึงโลกแป้วแล้วข้อความนี้ยังหาถูกต้องไม่)

(1) ในละติจูดสูง ๆ - โดย cosine และ secant ของมุมใหญ่เปลี่ยนเร็วมาก ฉะนั้นความผิดเพียงเล็กน้อยของแลตกลาง. จึงทำให้ระยะขยายหรือลอง.เปลี่ยน ผิดได้มากและทั้งทำให้เข็มผิดไปด้วยเพราะเข็มนั้นได้มาจากระยะขยายที่ผิด

(2) ระยะทางยาวแต่เข็มเล็ก-โดยที่แลต.เปลี่ยนมีมากเพราะฉะนั้นผลต่างระหว่างแลต.กลางกับแลต.กลางจริงจึงทวีมากขึ้น ทำให้ความผิดอันเกิดจากการแล่นเรือแลต.กลางทวีขึ้นเป็นอันมาก ยิ่งกว่านั้นแล้วในสูตรแล่นเรือตรง (ระยะขยาย=ระยะทาง× sec เข็ม)นั้น sine ของมุมเล็กเปลี่ยนค่าเร็วมาก เพราะฉะนั้นความผิดเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจมีอยู่กับเข็มนั้นจะทำให้ระยะขยายผิดได้มาก และทำให้ลอง.เปลี่ยน (ลอง.ป. = ระยะขยาย× sin แลต.กลาง) ผิดมากตามไปด้วย

แต่ในกรณีเมื่อเข็มโตเกือบ 90° แล้ว เพราะว่ามุมใหญ่ค่าของ sine เปลี่ยนช้ามาก ฉะนั้นแม้เมื่อเข็มผิดไป 2 หรือ 3 องศาก็ไม่ทำให้ผิดจนรู้สึกได้ เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ระยะขยายเกือบเท่ากับระยะทางและความผิดที่มีแก่ลอง.เปลี่ยน ก็ย่อมแล้วแต่ความผิดที่มีกับระยะทางอย่างเดียวเท่านั้น การแล่นเรือละติจูดกลางนี้จึงใช้ได้ดีแม้ในละติจูดสูง ๆ และสำหรับระยะทางไกล

สำหรับในละติจูดที่มีชื่อเดียวกัน(อยู่ในกึ่งทรงกลมเดียวกัน)และระยะทางยาวแล้วเมื่อเข็มโตประมาณ 030° การแล่นเรือโดยวิธีละติจูดกลางทำให้ความผิดที่กล่าวแล้วลดลงได้มากที่สุด (คือถ้าเข็มโตตั้งแต่ 030° ขึ้นไปแล้วก็ใช้แล่นเรือละติจูดกลางได้)

(3) เมื่อตำบลที่ที่ใช้คำนวณสองตำบลนั้น ต่างอยู่แห่งละกึ่งทรงกลม(ซีกอิเควเตอร์)แล้ว จะเอาหลักการแล่นเรือละติจูดกลางไปใช้ไม่ได้(คือใช้แล่นเรือละติจูดกลางไม่ได้)แต่ในชั่วระยะทางที่เรือแล่นตามปรกติในวันหนึ่งตั้งแต่ 300 ไมล์ถึง 400 ไมล์แล้วจะไม่มีความผิดเกิดขึ้นในการที่คิดให้ระยะขยายเท่ากับลองติจูดเปลี่ยน

ตามปรกติปัญหาในทางปฏิบัติ ของ แล่นเรือละติจูดกลางนี้ ย่อมอยู่ในประเภทใดประเภทหนึ่งของ 2 ประเภทต่อไปนี้ ถ้าหากว่าจะมีการผิดแผกไปจากนี้แล้วก็ให้เขียนรูปลง เพื่อจะได้เห็นการสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ และจะได้ใช้สูตรนั้น ๆ สำหรับหาส่วนที่ไม่รู้ จากส่วนที่รู้แล้ว

ประเภทที่ 1 หาละติจูดถึงและลองจิจูดถึง เมื่อรู้เข็มและระยะทางที่แล่นจากตำบลที่ที่ทราบแล้ว

ให้ L_1 และ λ_1 เป็นละติจูด และลองจิจูดของจุดที่ออกเรือ L_2 และ λ_2 เป็นละติจูดและลองจิจูดของจุดที่เรือถึง ฉะนั้น

$l = d \cos C$ จากแล่นเรือตรง

$$L_2 = L_1 \pm l$$

$$Lm = \frac{L + L_2}{2}$$

$$DLo = d \sin C \sec Lm$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 \pm DLo$$

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งออกจากจุดหนึ่งในแลต. 37° 4'0 น. ลอง.25° 40' ตก. แล่นเข็มเรือ 138° วาริเอชั่น 6° ตก ดิวิเอชั่น 4° อ. ระยะทาง 239 ไมล์ หาละติจูดและลอง จิจูดถึง

วิธีทำโดยคำนวณ

d	239'	log	2.37840	log	2.37840
C	136°	L .cos	9.85693	L sin	9.84177
l	171'.9	log	2.23533		
	2°51'.9 ต.				
L_1	37° 40'.0 น.				
L_1	34° 48'.1 น.				
$L_1 + L_2$	72° 28'.1				
Lm	36° 14'.0			L sec	1.009333
DLo	205'.8 อ.			log	2.31350
	3°25'.8 อ.				
λ_1	25°40'.0 ตก.				
λ_2	22° 14'.2 ตก.				

เพราะฉะนั้น แลต.ถึง 34°48".1 น. ลอง.ถึง 22°14".2 ตก.

วิธีทำโดยเปิดมาตราทราเวิส

1. เอาระยะทาง และเข็มที่ให้เปิดมาตราทราเวิสหาแลต.ป.และระยะขยาย
2. หาแลต.ถึงแล้วหาแลต.กลาง
3. เอาแลต.กลางเป็นเข็ม เอาระยะขยายเป็นแลต.ป. ระยะทางที่หาได้เป็นลอง. เปลี่ยน แล้วหาลอง.ถึง

ทำโดยมาตราทราเวิส เอาเข็ม 136° ระยะทาง 239" เปิดมาตราทราเวิสจะได้ l = 171'.9 ต. p = 166' อ.

L_1	37° 40'. น	λ_1	25° 40'.0 ตก.
l	2° 15'.9 ต.	DLo	3° 25'.8 อ.
L_2	34° 48'.1 น.	λ_2	22° 14'.2 ตก.
L_1	37° 40'.0 น.		
$L_1 + L_2$	72° 28'.1		
Lm	36° 14'		

สำหรับ Lm 36°, p = 166', DLo=250'.2

„ 37, p = 166, DLo=207.9

„ 36°,14' p = 166, DLo=250.8=

3° 25'.8 อ.

ประเภทที่ 2 หาเข็มและระยะทางเมื่อรู้ละติจูดและลองจิจูดของที่สองตำบล ให้ L_1, λ_1 และ L_2, λ_2 เป็นโคออดิเนตของตำบลที่ ฉะนั้น

$$l = L_1 - L_2 \text{ หรือ } L_2 - L_1$$

$$DLo = \lambda_1 \pm \lambda_2 \text{ หรือ } 2 \pm \lambda_1 \text{ หรือ } 360° - (\lambda_1 + \lambda_2)$$

$$Lm = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

$$\tan C = \frac{DLo \cos Lm}{l}$$

$$d = l \sec C$$

ตัวอย่าง จงหาเข็มจริงและระยะทางจากจุดหนึ่งใน แลต. 34°48'.1 น. ลอง.22° 14'.2 ตก. ไปยังจุดหนึ่งในแลต. 37°40' น. ลอง. 25°40' ตก.

วิธีทำโดยคำนวณ

L_1 34° 48'.1 น. L_1 34° 48'.1 น. λ_1 22° 14'.2 ตก.

L_2 37° 40'.0 น. L_2 37° 40'.0 น. λ_2 25° 40'.0 ตก.

l 2° 15'.9 น. $L_1 - L_2$ 72° 28'.1 DLo 3° 25'.8 ตก.

= 171'.9 น. Lm 36° 14' = 205'.8 ตก.

DLo 205'.8 log 2.31345

Lm 36° 14' L cos 9.90667

2.22012

l 171.9 2.23528 (−) log 2.23528

C น. 44° ตก. L tan 9.98484 Lsec 10.14307

d 239.0 ไมล์ 2.37835

เพราะฉะนั้น เข็ม= 316° และระยะทาง = 239.0 ไมล์

วิธีทำโดยเปิดมาตราทราเวิส

1. หาแลต.เปลี่ยน,แลต.กลาง และลอง.เปลี่ยนในระหว่างที่สองตำบล

2. เอาแลต.กลาง เป็นเข็ม ลอง.เปลี่ยนเป็นระยะทางเปิดมาตราทราเวิส แลต.เปลี่ยนที่ได้เป็นระยะขยายที่ต้องการ

3. เอาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายเปิดหาเข็มและระยะทางโดยวิธีธรรมดา ทำโดยมาตราทราเวิส

L_1 34° 48'.1 น. L_1 34° 48'.1 น. l 22° 14'.2 ตก.

L_2 37° 40'.0 น. L_2 37° 40'.0 น. λ_2 25° 40'.0 ตก.

l 2° 51'.9 น. $L_1 + L_2$ 72° 28'.1 DLo 3° 25'.8 ตก.

= 171'.9 น. Lm 36° 14' = 205'.8 ตก.

เทียบหา p (ระยะขยาย)

Lm (เป็นเข็ม)	DLo (ในช่องระยะทาง)	p (ในช่องแลต.ป.)
36°	205'.8	166'.5
37°	205'.8	164'.3
∴ 36°14'	205'.8	166'.0 ตก.

การหา C (เข็ม) และ d (ระยะทาง) เมื่อรู้ l (แลต.ป.) และ p (ระยะขยาย) แล้ว

l 171'.9 น. p 166'.0 ตก. ได้ C 44° = 316°. d 239'

หมายเหตุ ถ้าแลต.เปลี่ยนและระยะขยายไม่อยู่ตรงในบรรทัดเดียวกันแล้วต้องใช้เทียบหาแยกกัน ถ้าเป็นเช่นนี้แล้วการคำนวณหาค่าของแลต.ป. และระยะขยายย่อมง่ายกว่าที่จะเปิดมาตราทราเวิสหาเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกันที่สุด และเมื่อหาค่าของแลตเปลี่ยนและระยะขยายได้แล้วจึงใช้เทียบเอา

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือลำหนึ่งออกจากแลต.52°06' น. ลอง.35°06' ตก. แล่นเข็ม 236° 15' ระยะทาง 256 ไมล์ หาแลต.ถึงและลอง.ถึง
(ตอบ แลต.49°43'.8 น. ลอง.40°43'.6 ตก.)

2. เรือลำหนึ่งออกจากตำบลที่หนึ่งในแลต. 52°45' น. ลอง.95°38' อ. แล่นเข็ม 068° ระยะทาง 437 ไมล์ หาแลต. และลอง.ถึง (ตอบ แลต.54°28'.7 น. ลอง.107°08' อ.)

3. จงหาเข็มและระยะทางระหว่าง Tynemouth (แลต.55°01' น. ลอง. 1°25' ตก.) กับ Naze of Norway (แลต.57°58' น. ลอง.7°02' อ.) (ตอบ เข็ม 057°41'.5 ระยะทาง 331.1 ไมล์)

4. หาเข็มและระยะทางระหว่าง A (แลต.40°05' น. ลอง.136°02' อ.) กับ B (แลต.45°55' น. ลอง 143°04' อ.) (ตอบ เข็ม 040° ระยะทาง 458 ไมล์)

5. เรือลำหนึ่งออกจากที่แห่งหนึ่งในแลต.27°30' น. ลอง.14°20' ตก. ได้ไปถึงตำบลที่ในแลต. 29°45' น. หลังจากได้แล่นไปทางตะวันออกแล้ว 66 ไมล์ หาลองจิจูดถึง

6. ถ้าแลต.และลอง.ของ A เป็น 52°49' น. และ 13°45' ตก. และ B (ซึ่งอยู่ทางเหนือของ A) อยู่ในลอง.2°10' อ. ซึ่งระยะขยายในระหว่างที่สองตำบลนั้นเท่ากับ 410.5 ไมล์ จงหาแลต.ของ B เข็มจริงและระยะทางจาก A

แล่นเรือเมอเคเตอร์

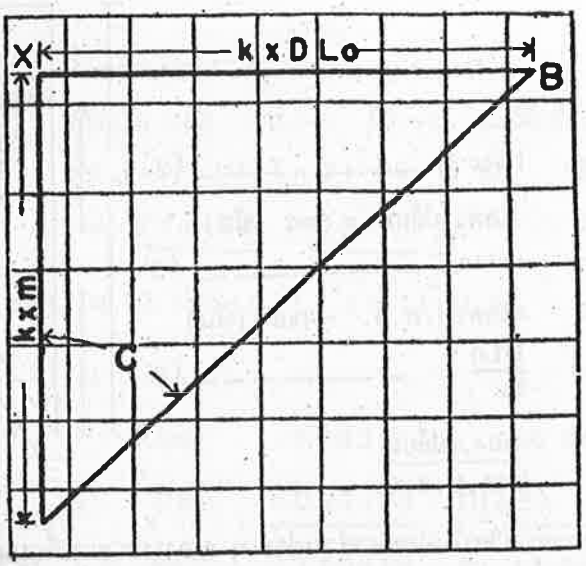
ในแล่นเรือละติจูดกลางนั้นได้สมมุติให้ระยะขยายในระหว่างที่สองตำบล เท่ากับระยะขยายในระหว่างเมริเดียนของที่สองตำบลนั้นตามที่วัดบนละติจูดกลาง ได้กล่าวมาแล้วว่าการสมมุติเช่นนี้ยังไม่ถูกต้องทีเดียวนัก แต่ถ้าในชั่วระยะทางสั้น ๆ (ต่ำกว่า 600 ไมล์) ที่เรือแล่นไปได้ตามปรกติในชั่ววันหนึ่งแล้วและสำหรับในแลต.ปรกติ (คือละติจูดไม่สูงเกินกว่า 50°) แล้วถือว่ามีความผิดนิดหน่อยเท่านั้นไม่ทำให้เสียหายอย่างใด แต่เมื่อใช้แล่นในระยะทางไกลกว่านี้แล้วก็ต้องใช้การแล่นเรือเมอเคเตอร์

ในแล่นเรือตรงนั้นได้แสดงให้เห็นแล้วว่าสูตรของแล่นเรือตรงใช้ได้ถูกต้อง สำหรับเกลียวต่าง ๆ และเมื่อรู้เข็มและระยะทางแล้ว ก็หาแลต.เปลี่ยนและระยะขยายได้ถูกต้อง แต่ถึงกระนั้นก็ตามก็ได้อธิบายไว้แล้วเหมือนกันว่าเมื่อรู้แลต.เปลี่ยนและระยะขยายแล้ว เอาไปหาค่าของเข็มและระยะทาง เข็มและระยะทางที่ได้มานี้ก็ย่อมมีความผิดอยู่บ้าง เนื่องจากในการใช้นั้นได้สมมุติให้ระยะขยายในระหว่างที่สองตำบลนั้น เท่ากันกับระยะขยายในระหว่างเมริเดียนของที่สองตำบลตามที่วัดบนละติจูดใดละติจูดหนึ่งของตำบลที่นั้น ฉะนั้นเมื่อระยะทางยิ่งไกลความผิดอันนี้ก็ยิ่งมีมากขึ้น

แล่นเรือเมอเคเตอร์นี้ ได้อาศัยหลักการเดียวกันกับหลักการที่ใช้สร้างแผนที่เมอเคเตอร์ และเป็นวิธีที่ถูกต้องในการทำโจทย์เดินเรือโดยใช้สามเหลี่ยมด้านตรง

แผนที่เมอเคเตอร์นั้นได้สร้างให้วงขนานละติจูดต่าง ๆ เป็นเส้นตรงขนานกับขอบฟ้า(หรือขนานกับอิเควเตอร์)และให้เมริเดียนต่าง ๆ เป็นเส้นตรงขนานกันหมด เพราะฉะนั้นระยะเมริเดียนหรือระยะขยายของวงขนานละติจูดทั้งหมด จึงต้องทวีขึ้นในอัตราส่วนของ secant ของละติจูดของมัน ($DLo = p \sec L$) และเท่ากับส่วนของอิเควเตอร์หรือลองจิจูดเปลี่ยน และเพื่อป้องกันมิให้เกิดการบิดตัวของตำบลที่ขึ้น จึงต้องขยายยืดเมริเดียนทุกอันในแผ่นที่เมอเคเตอร์ออก ให้ได้ส่วนกันกับที่ระยะขยายได้ขยายยืดออก

โดยอาศัยหลักการของการสร้างแผนที่เมอเคเตอร์ เราจึงสามารถหาเข็มได้เมื่อรู้ละติจูดเปลี่ยนและลองจิจูดเปลี่ยน โดยไม่ต้องใช้ระยะขยายเข้าเกี่ยวข้องด้วย เช่น ในรูป 148 ให้ A และ B เป็นที่สองตำบลบนแผนที่เมอเคเตอร์ ฉะนั้นแล้ว AB จึงเป็นเส้นเกลียวในระหว่างที่สองตำบลนั้น และ C เป็นเข็ม สมมุติให้ k เป็นความยาวของ 1′ ของลองจิจูด ให้ m เป็นแลต.เปลี่ยนส่วนเมริเดียน ฉะนั้นความยาวของ $AX = km$ และ $BX = k\ DLo$



รูป 148

เพราะเฉพาะนั้น $\tan C = \frac{k\ DLo}{km} = \frac{DLo}{m}$ และ $DLo = m \tan C$

โดยที่การคำนวณหาส่วนเมริเดียนนั้น ได้เอาความแป้วของโลก (ellipticity ของเมริเดียน) เข้าคิดด้วย ฉะนั้นผลที่ได้จากสูตรนี้จึงถูกต้องสำหรับระยะทางต่าง ๆ เมื่อหาเข็มได้แล้วอาจหาระยะทางได้อย่างถูกต้องจากสูตรแล่นเรือตรง $d = l \sec C$ หรือถ้ารู้เข็มอาจหาลองจิจูดเปลี่ยนได้จากสูตร $DLo = m \tan C$

รูปแล่นเรือเมอเคเตอร์ สำหรับเข็มที่กำหนดให้เข็มใดเข็มหนึ่ง รูปสามเหลี่ยมของแล่นเรือตรงและแล่นเรือเมอเคเตอร์เป็นรูปสามเหลี่ยมคล้ายคลึงกัน ทั้งสองรูปต่างเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากซึ่งมีเข็มเป็นมุมเดียวกัน ฉะนั้นเนื่องจากความจริงอันนี้เราจึงอาจเขียนรูปสามเหลี่ยมขึ้นรูปเดียว ซึ่งอาจให้สูตรทั้งหมดที่ใช้ในแผนที่เมอเคเตอร์มีอยู่ในรูปนั้นได้ ในรูป 149 นั้น AXB เป็นรูปสามเหลี่ยมแล่นเรือตรง ให้ยืดเมริเดียน AX ไปถึง Y และให้ AY แทนละติจูดเปลี่ยนส่วนเมริเดียนของวงขนานแลต. A และ B แล้วเขียนวงขนานละติจูดเมอเคเตอร์ YZ ยืดแนวเข็ม AB ไปให้ตัด YZ ที่ Z เพราะฉะนั้นรูปสามเหลี่ยม AYZ จึงเป็นรูปสามเหลี่ยม AXB ตามที่ปรากฏขึ้นถ้าเขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์และ YZ เป็นลองจิจูดเปลี่ยนในรูปสามเหลี่ยมที่สมบูรณ์นี้ C, d, l, p, m และ DLo ต่างก็เป็นส่วนสัมพันธ์กันที่แท้จริงในทางตรีโกณมิติทั้งสิ้น

จากรูปสามเหลี่ยมแล่นเรือเมอเคเตอร์ จะได้สูตรแล่นเรือเมอเคเตอร์ ดังต่อไปนี้

$$l = d \cos C \quad \ldots\ldots\ldots\

d = l sec C ..... (2)

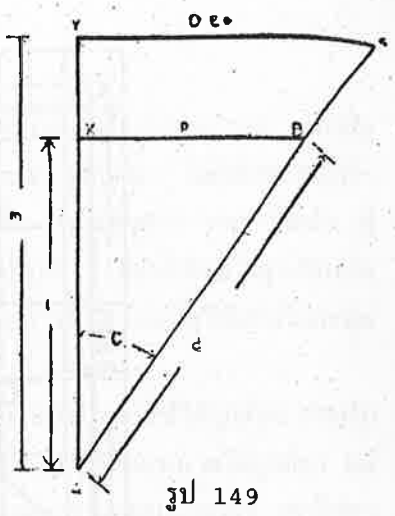
(คือ ระยะทาง = แลต.เปลี่ยน × sec เข็ม)

DLo = m tan C ..... (3

(คือ ลอง เปลี่ยน = แลต.ป.ส.ม. × tan เข็ม)

$\tan C = \frac{DLo}{m}$ ..... (4.

(คือ tan เข็ม = $\frac{\text{ลอง.เปลี่ยน}}{\text{แลต.ป.ส.ม.}}$



รูป 149

โดยที่มาตราทราเวิสนั้นย่อมหาส่วนต่าง ๆ ของรูปสามเหลี่ยมมุมฉากใด ๆ ได้ทั้งสิ้น เพราะฉะนั้นจึงใช้เปิดมาตราทราเวิสหาค่าของส่วนต่าง ๆ ของแล่นเรือเมอเคเตอร์ได้ (ดูรูป 148) โดยสมมุติให้ m (แลต.ป.ส.ม.) เป็น 1 (แลต.เปลี่ยน) และ DLo (ลอง.เปลี่ยน) เป็น n (ระยะขยาย) แต่ตามที่ใช้กันโดยมากนั้น การแล่นเรือเมอเคเตอร์นี้จะนำมาใช้ก็ต่อเมื่อเข็มและระยะทาง ในระหว่างตำบลที่อยู่ห่างไกลกันมาก และโดยที่ระยะทางในมาตราทราเวิสได้ให้ไว้จำกัด(คือให้ไว้เพียง 600 ไมล์) เพราะฉะนั้นสำหรับระยะทางไกล ๆ เช่น แล่นเรือเมอเคเตอร์แล้วการใช้มาตราทราเวิสอาจทำให้ผิดได้ การหาเข็มและระยะทางเมอเคเตอร์ในระหว่างที่สองตำบลนั้น ใช้ทำโดยวิธีคำนวณย่อมง่ายกว่าเปิดมาตราทราเวิสหาเอา ในเมื่อการเปิดมาตราทราเวิสนั้นต้องใช้การเปรียบเทียบ

เมื่อไรไม่ควรใช้แล่นเรือเมอเคเตอร์

สูตร DLo = m tan C (ลอง.เปลี่ยน = แลต.ป.ส.ม. × tan เข็ม) ไม่ควรใช้เมื่อเข็มใหญ่มากเกือบเป็น 090° หรือ 175° เพราะว่าค่าของ tangent ของมุมเกือบ 90° นั้นเปลี่ยนเร็วมาก เพราะฉะนั้นความผิดใด ๆ ที่มีอยู่กับเข็มนั้นจะทำให้ค่าของลอง.เปลี่ยนที่คำนวณได้มามีผิดมาก ฉะนั้นในกรณีเช่นนี้แล้วจึงใช้แล่นเรือละติจูดกลางแทน

ประเภทที่ 1 หาละติจูดและลองจิจูดถึง เมื่อรู้เข็มและระยะทางจากตำบลที่ออกเรือ

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งออกจากแลต.21° น. ลอง.66° ตก. แล่นเข็มเรือ 063° ระยะทาง 3.050 ไมล์ วาริเอชั่น 6° ตก. ดิวิเอชั่น 2° อ. จงหาแลต.และลอง.ถึงโดยวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์

วิธีทำโดยการคำนวณ

l = d cos C ; DLo = m tan C

เข็มเรือ 063° วาริ.-6° ดิวิ.+2° จะได้เข็มจริง = 059°

d 3050' log 3.48430 L_1 21°00' น M_1 (ส.ม.) 1280.8

C 059° L cos 9.71184 l 26°11' น.

l 1571' น. log 3.19614 L_2 47°11' น. M_2 (ส.ม.) 3201.7

= 26°11' น m 1920.9

m 1920'9 log 3.28351 λ_1 66°00'.0 ตก.

C 059° L tan 10.22123 DLo 53°17'.0 อ.

DLo 3197' 0 อ log 3.50474 2 12°43'.0 ตก.

= 53°17' อ.

เพราะฉะนั้น แลต.ถึง 47°11'.0 น. ลอง.ถึง 12°43'.0 ตก.

วิธีทำโดยเปิดมาตราทราเวิส

1. เอาเข็มและระยะทางที่ให้เปิดมาตราทราเวิสหาแลต.เปลี่ยนแล้วเอาแลต. เปลี่ยนที่ได้ไปทำกับแลต.ออกได้แลต.ถึง แล้วหาแลต.ป.ส.ม.

2. เอาเข็มที่ให้ไปเปิดในช่องเข็ม เอาแลต.ป.ส.ม.ที่หาได้ไปดูในช่องแลต. เปลี่ยน ระยะขยายที่ตรงกับส่วนทั้งสองนี้เป็นลอง.เปลี่ยนที่ต้องการแล้วเอาลอง.เปลี่ยนไปทำกับลอง. ออกจะได้ลอง. ถึง

ในโจทย์ตัวอย่างข้างบนนั้นเมื่อทำโดยมาตราทราเวิสแล้วได้ดังนี้

C (เข็ม) 059° ,d (ระยะทาง) 3,050' ได้ 1 (แลต.ป.) 1571 น. แล้วหาแลต.ถึง เมื่อรู้แลต.ออกและแลต.ถึงแล้วหา m (แลต.ป.ส.ม.) ได้ 1920.9 ในการหา DLo (ลอง.เปลี่ยน)นั้นต้องการหาร m ด้วย 10 เพื่อให้เปิดหาในมาตราทราเวิสได้เมื่อได้ DLo แล้วจึงคูณด้วย 10

C = 059°, m = 192.09 (ดูในช่องแลต.เปลี่ยน) จะได้ DLo = 316'.7 (ในช่องระยะขยาย) = 319'.7 × 10 = 3197'

ประเภทที่ 2 หาเข็มและระยะทางเมื่อรู้ละติจูดและลองจิจูดของที่สองตำบล

ตัวอย่าง จงหาเข็มและระยะทางโดยวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์จาก Cape Flattery Light, Washington ถึง Diamond Head, Oahu หมู่เกาะฮาไว

Cape Flattery Light แลต. 48°23'30' น.ลอง. 124°44'06' ตก.

Diamond Head แลต. 21°15'08' น.ลอง. 157°48'44' ตก.

วิธีทำโดยการคำนวณ ตามสูตร $\tan C = \frac{DLo}{m}$;

$d = l \sec C$

L_1	48° 23' 30" น.	M_1	3309.2	λ_1	124° 44' 06" ตก.
L_2	21° 15' 08" น.	M_2	1296.9	λ_2	157° 48' 44" ตก.
l	27° 08' 22" ต.	m	2012.3	DLo	33° 04' 38" ตก.
	= 1628'.4 ต.				= 1984'.6 ตก.
DLo	1984'.6 ตก.	log	3.29767		
m	2012.3	log	3.30369		
C	ต. 44° 36' 10" ตก.	L tan	9.99398	L sec	0.14752
l	1628'.4 ต.			log	3.21176
d	2287 ไมล์			log	3.35928

เพราะฉะนั้น เข็ม = 224°.6 และระยะทาง = 2,287 ไมล์

วิธีทำโดยเปิดมาตราทราเวิส

1. หาแลต.เปลี่ยน. แลต.ป.ส.ม. และลอง.เปลี่ยน โดยใช้แลต.และลอง. ของที่สองตำบล

2. เอาแลต.ป.ส.ม.เป็นแลต.เปลี่ยนและเอาลอง.เปลี่ยนเป็นระยะขยายเปิดมาตราทราเวิส เข็มที่ตรงกับส่วนทั้งสองนี้จะเป็นเข็มที่ต้องการ

3. แล้วเอาเข็มที่หามาได้และแลต.เปลี่ยนเปิดมาตราทราเวิสหาระยะทาง ระยะทางที่ได้นี้เป็นระยะทางที่ต้องการ

หมายเหตุ 1. ถ้าเข็มเกือบเป็น 090° และเมื่อคาดว่ามีความผิดอยู่บ้างแล้วลองเปลี่ยนซึ่งได้จากสูตร

ลอง.ป. = แลต. ป.ส.ม. × Tan เข็ม อาจผิดได้โดยที่ค่าของของมุมเกือบ 90° เปลี่ยนเร็วมาก ฉะนั้นในกรณีเช่นนี้แล้วควรใช้แล่นเรือละติจูดกลาง

2. ในละติจูดสูง ๆ นั้น ส่วนเมริเดียนเปลี่ยนเร็วมากและโดยเหตุนี้ทำให้ลอง. เปลี่ยนผิดตามไปด้วย เพราะฉะนั้นในละติจูดสูง ๆ แล้วควรต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการเปิดหาส่วนเมริเดียน

3. วิธีหาละติจูดกลางจริงจากสูตรทั้งสองนี้คือ.

$$\tan \text{เข็ม} = \frac{\text{ระยะขยาย.}}{\text{แลต.เปลี่ยน}} \qquad \tan \text{เข็ม} = \frac{\text{ลอง.เปลี่ยน}}{\text{แลต.ป.ส.ม.}}$$

เมื่อเอาสูตรทั้งสองนี้รวมกันเข้า จะได้

$$\frac{\text{ลอง.เปลี่ยน}}{\text{แลต.ป.ส.ม.}} = \frac{\text{ระยะขยาย}}{\text{แลต.ป.}}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น ลอง.เปลี่ยน} = \frac{\text{ระยะขยาย} \times \text{แลต.ป.ส.ม.}}{\text{แลต.เปลี่ยน}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

แต่ในสูตรแล่นเรือละติจูดกลาง

$$\text{ระยะขยาย} = \text{ลอง.เปลี่ยน} \times \cos \text{แลต.กลางจริง} \ldots\ldots\ldots(2)$$

เอาค่าของ (2) ใส่แทนใน (1) จะได้

$$\text{ลอง.เปลี่ยน} = \frac{\text{ลอง.เปลี่ยน} \times \cos \text{แลต.กลางจริง} \times \text{แลต. ป.ส.ม.}}{\text{แลต.เปลี่ยน}}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } \cos \text{ แลต.กลางจริง} = \frac{\text{แลต.เปลี่ยน}}{\text{แลต.ป.ส.ม.}}$$

ความแตกต่างกันในระหว่างแล่นเรือละติจูดกลางกับแล่นเรือ เมอเคเตอร์

ถ้าเอาผลที่ได้จากการทำโจทย์เดินเรือด้วยวิธีแล่นเรือ ละติจูดกลางกับวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์มาเปรียบเทียบกันแล้ว จะเห็นได้ว่า ถ้าจะใช้วิธีแล่นเรือละติจูดกลาง (ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกต้องใกล้เคียงเท่านั้น) ภายในกำหนดระยะทางที่เรือแล่นตามปรกติในชั่ววันหนึ่งซึ่งน้อยกว่า 600 ไมล์แล้ว ก็ไม่มีความผิดอย่างใดอย่างหนึ่งที่จะพึงรู้สึกได้ในเมื่อละติจูดน้อยกว่า 50°

ในละติจูดสูง ๆ แล้ววิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์เป็นวิธีที่ถูกต้อง ฉะนั้น จึงควรใช้วิธีนี้หาตำบลที่เรือเว้นเสียแต่เมื่อเข็มโตมากไป ในการคำนวณหาเข็มและระยะทางจากตำบลที่เรือออกไปยังตำบลที่เรือถึงนั้น ในเมื่อมีระยะทางไกลมากแล้วควรใช้วิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์ เว้นไว้เสียแต่ตำบลที่ทั้งสองนั้นเกือบจะอยู่ในละติจูดเดียวกันเท่านั้น ถ้าในกรณีเช่นนี้ใช้แล่นเรือละติจูดกลางจะได้ผลถูกต้องดีกว่า

โจทย์ฝึกหัด

1. จงหาเข็มเรือและระยะทางจากแหลม Finisterre (แลต.42°54' น. ลอง.9°16' ตก.)ถึง Terceira (แลต.38°39' น. ลอง.27°14' ตก.) วาริเอชั่น 20° ตก. ดิวิเอชั่น 3° อ.

2. เรือลำหนึ่งออกจาก Eddyston แลต.50°10.'9 น. ลอง.4°16' ตก. แล่นเข็ม 228° จนได้ลอง.เปลี่ยนเป็น 620 ไมล์ จงหาแลต.ถึงและระยะทางที่แล่น

3. เรือลำหนึ่งออกจากเกาะ St. Helena แลต.15°55' ต. ลอง.5°44' ตก. แล่นเข็ม 141° ระยะทาง 1,120 ไมล์ หาแลต.ถึงและลอง.ถึง

4. จงหาเข็มและระยะทางจาก Cape East, New Zealand (แลต.37° 44' ตก.ลอง.178°40' อ.) ถึง Cape Horn (แลต.55°59' ต. ลอง.67°16'ตก.)

5. จงหาเข็มและระยะทางจาก A (แลต.16°00' ต. ลอง.5°55' ตก.) ถึง B (แลต.40°28' น. ลอง.74°00' ตก.)

(ตอบ เข็ม 311°.5 ระยะทาง 5,099 ไมล์)

6. เรือลำหนึ่งออกจากตำบลที่แลต. 50° น. ลอง.17° ตก. แล่นเข็ม 260° ระยะทาง 1,200 ไมล์ หาตำบลที่เรือถึง

(ตอบ แลต.46°31'.6 น. ลอง.46°36'.3 ตก)

แล่นเรือกระแสน้ำ

ที่เรือรายงานในขณะใดขณะหนึ่งนั้น อาจไม่ตรงกันกับที่เรือแบริงซึ่งได้จากการวัดแบริงวัตถุบนพื้นโลก หรือที่เรือตรวจซึ่งได้จากการวัดแดดหรือวัตถุท้องฟ้านั้น ๆ ความผิดอันนี้เกิดจากการนับเข็มและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปหรือเกิดจากความผิดอันเล็กน้อยในการวัดแต่ความผิดที่กล่าวนี้ไม่ใช่เหตุสำคัญอย่างใด ต้นเหตุอันสำคัญที่ทำให้ที่เรือรายงานผิดกันกับที่เรือตรวจนั้น คือ กระแสน้ำ (current) กระแสน้ำนี้จำแนกออกได้ 2 ชนิด คือ กระแสน้ำ Drift หรือกระแสน้ำมหาสมุทร (Drift or Ocean Current) และกระแสน้ำขึ้นลง (Tidal Current) ซึ่งย่อมแล้วแต่ต้นกำเนิดที่ทำให้เกิดกระแสน้ำ กระแสน้ำคือการเคลื่อนตัวในทางแนวนอนของน้ำ แต่กระแสน้ำ Drift หรือกระแสน้ำมหาสมุทรนั้นเกิดขึ้นจากการที่น้ำมีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ผิดแผกกันและทั้งเกิดจากความกดของบรรยากาศและลมที่มากระทำด้วย ส่วนกระแสน้ำขึ้นลงมีกำเนิดมาจากการที่น้ำขึ้นและน้ำลง

กระแสน้ำกุโรชิโว (Kuro-Shio), กระแสน้ำโอยาชิโว (Oya Shio), กระแสน้ำอิเควเตอร์ (Equatorial Currents), กระแสน้ำอ่าวเม็กซิโก (Mexican Gulf Stream) เหล่านี้เป็นกระแสน้ำมหาสมุทรที่รู้จักกันแพร่หลาย กระแสน้ำเหล่านี้โดยมากมักไหลไปในทิศเดียวประจำเสมอและด้วยความเร็วประจำไม่เกินกว่า 3 นอต ส่วนกระแสน้ำขึ้นลงนั้นไหลไม่ประจำแน่นอนทั้งทิศและความเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเวลาน้ำขึ้นและน้ำลงและอายุดวงจันทร์ (age of the moon) กับทั้งตำบลที่ด้วยซึ่งบางตำบลกระแสน้ำมีความเร็วเกินกว่า 10 นอต

เพราะฉะนั้นในการเดินเรือเมื่อหาตำบลที่เรือ และหาเข็มสำหรับถือท้ายแล้วจึงไม่ควรละเลยอำนาจการกระทำของกระแสน้ำเสีย เป็นกิจวัตรประจำวันของต้นหน ที่จะต้องคำนวณหาทิศและความเร็วของกระแสน้ำโดยการเปรียบเทียบที่เรือตรวจกับที่เรือรายงาน วิธีการ

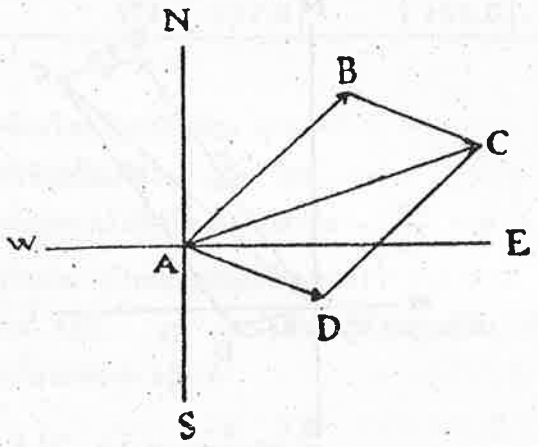
เปรียบเทียบนี้เรียกว่า "แล่นเรือกระแสน้ำ"

ทิศของกระแสน้ำคือทิศทางที่น้ำไหลไป ความเร็วของกระแสน้ำคือระยะทางที่กระแสน้ำทำให้เรือลอยตกไป เมื่อรู้ความเร็วของกระแสน้ำต่อชั่วโมงแล้ว ก็ย่อมหาระยะทางที่เรือลอยตกไปตามจำนวนชั่วโมงต่าง ๆ ได้ โดยคูณความเร็วของกระแสน้ำด้วยจำนวนชั่วโมงที่ต้องการ และในทำนองเดียวกันเมื่อรู้ระยะทางที่เรือลอยตกไปในจำนวนชั่วโมงใด ๆ แล้วก็หาความเร็วของกระแสน้ำได้โดยหาระยะทางที่เรือลอยตกไปด้วยจำนวนชั่วโมงนั้น ๆ

อำนาจของกระแสน้ำที่กระทำต่อเรือ

เมื่อถือท้ายเรือให้แล่นตรงไปยังเมืองท่าหนึ่ง และปรากฏว่ามีกระแสน้ำไหลมาในระหว่างทางนั้นแล้ว จะเห็นประจักษ์ว่าถ้ากระแสน้ำนั้นไม่ไหลมาตรงท้ายเรือ หรือตรงหัวเรือแล้วจะทำให้เรือนั้นเซตกออกไปนอกแนวทางที่ต้องการแล่น

โดยที่กระแสน้ำทำให้เรือตกไปในทิศหนึ่งและด้วยความเร็วอันหนึ่ง ซึ่งในขณะนั้นตัวเรือเองก็แล่นไป อีกทิศหนึ่งด้วยอัตราเร็วอีกอันหนึ่ง ฉะนั้นการทำโจทย์ต่าง ๆ อันเกี่ยวกับแล่นเรือกระแสน้ำจึงใช้ทำโดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานโดยใช้ทิศและอัตราเร็วของเรือและของกระแสน้ำ



รูป 150

ในรูป 150 ให้ AB แทนเข็มและอัตราเร็วของเรือ AD แทนทิศและความเร็วของกระแสน้ำ เส้นทแยงมุม AC ของรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ABCD ซึ่งเกิดขึ้นด้วยด้าน AB และ AD เป็นแรงรวมของอัตราเร็วของเรือและความเร็วของกระแสน้ำ และใช้แทนเข็มและอัตราเร็วของเรือที่แล่นไปได้จริง

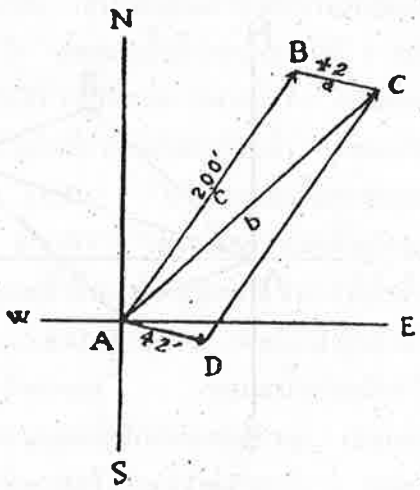
สิ่งที่จะต้องหาในตอนนี้ คือ หาที่เรือซึ่งถูกกระแสน้ำกระทำหาเข็มเรือ หาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

โดยที่การแล่นเรือกระแสน้ำนั้น ก็คือการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานของแรงนั่นเอง ฉะนั้นจึงใช้ทำโจทย์แล่นเรือกระแสน้ำโดยวิธีหนึ่งวิธีใดเหล่านี้ คือ โดยการสร้างรูป, โดยการคำนวณ (ใช้ตรีโกณมิติด้านตรง) และโดยเปิดมาตราทราเวิส วิธีเปิดมาตราทราเวิสนั้นเป็นวิธีที่มักใช้กันเป็นส่วนมากเพราะง่ายและสะดวก

อาการของลมนั้นทราบได้โดยการตรวจลีเวย์และอ่านล็อก แต่ในการตรวจอาการของกระแสน้ำนั้น ไม่สามารถที่จะตรวจให้ทราบได้ทันทีเมื่ออยู่บนเรือ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจทิศทางที่เรือแล่น, แผนที่หรือมาตราน้ำ (Tide Tables) เพื่อจะได้จะทราบลักษณะของกระแสน้ำ โจทย์แล่นเรือกระแสน้ำมีอยู่ 3 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ให้เข็มถือท้ายและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปในที่ที่มีกระแสน้ำซึ่งรู้ทิศและความเร็วแล้ว ให้หาเข็มและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง

ตัวอย่าง 1 เรือลำหนึ่งแล่นเข็ม 034° แล่นได้ระยะทาง 200 ไมล์ ในเวลา 24 ชั่วโมง และในที่ที่เรือแล่นไปนี้มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 101° ด้วยความเร็ว $1\frac{3}{4}$ ไมล์ต่อชั่วโมง จงหาเข็มและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง



รูป 151

(ก) โดยการสร้างรูป ให้ A เป็นจุดที่กำหนดให้ จาก A เขียนเข็มและระยะทางที่แล่นลงคือ AB เข็ม 034° ระยะทาง 200 ไมล์ และ AD เข็ม 101° ระยะทาง 42 ไมล์

ด้านทแยง AC ของรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ABCD เป็นแรงรวมของอัตราเร็วของเรือและความเร็วของกระแสน้ำกับทั้งใช้เข็มที่แล่นจริงและอัตราเร็วที่เรือแล่นไปจริงคือเข็ม 044° และระยะทางที่แล่นจริง 220 ไมล์ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราเร็วแล้ว = $\frac{220}{24}$ = 9.2 นอต ฉะนั้นอัตราเร็วที่เรือแล่นไปจริงเท่ากับ 9.2 นอต

(ข) โดยแล่นเรือลดเลี้ยว (โดยเปิดมาตราทราเวิส) สมมุติให้เรือแล่นจาก A ไปยัง B แล้วแล่นจาก B ไปยัง C โดยต่อเนื่องกันแล้วจะได้ AC เป็นเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียวตามแล่นเรือลดเลี้ยว

เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
		น.	ต.	อ.	ตก.
034°	200'	165.8	—	111.8	—
101	42	—	8.0	41.2	—
	รวม	165.8	8.0	153.0	—
		8.0			
	จริง	157.8		153.0	

เพราะฉะนั้นเข็มจริงที่เดินเข็มเดียว = 044°

ระยะทางที่เดินเข็มเดียว = 220 ไมล์

เพราะฉะนั้นอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง = $\frac{220}{24}$ = 9.2 นอต.

(ค) โดยการคำนวณ (โดยตรีโกณมิติด้านตรง)

ในรูปสามเหลี่ยม ABC รูป 151 นั้น รู้ด้านสองด้าน คือ a และ c และมุมในระหว่างกลางคือ B ฉะนั้นจะต้องหามุม A

ตามสูตร $\tan \frac{1}{2}(C - A) = \frac{c-a}{c+a} \cot \frac{B}{2}$

แต่ตามโจทย์นี้ $c = 200', a = 42'$

$$B = 180^\circ - (A + C) = 180^\circ - BAD$$
$$= 180^\circ - (56^\circ + 11^\circ)$$
$$= 180^\circ - 67^\circ = 113^\circ$$

$$\therefore \frac{B}{2} = 56^\circ 30^\circ$$

$$C + A = 180^\circ - B = 180^\circ - 113^\circ = 67^\circ$$

$$\therefore \frac{C+A}{2} = 33^\circ\ 30'$$

หา $\frac{1}{2}(C-A)$

$c-a$	158	log	2.19866
$\frac{B}{2}$	$56^\circ\ 30'$	L cot	9.82078
			2.01944
$c+a$	242	log	2.38382 (—)
$\frac{1}{2}(C-A)$	$23^\circ 22' 15''$	L tan	9.63562

$$\tfrac{1}{2}(C+A) = 33^\circ\ 30'\ 00''$$

$$\tfrac{1}{2}(C-A) = 23^\circ\ 22'\ 15''$$

โดยลบกัน $\therefore A = 10^\circ\ 07'\ 45''$

หรือ $= 10^\circ$

เพราะฉะนั้น $NAC = NAB + BAC = 34^\circ + 10^\circ$

$= 44^\circ$

เข็มจริง $= 044^\circ$

ต่อไปนี้คำนวณหา b ซึ่งเป็นระยะทางจริง

ในรูปสามเหลี่ยม ABC, $b = \frac{a \sin B}{\sin A}$ หรือ $= a \sin B \operatorname{cosec} A$

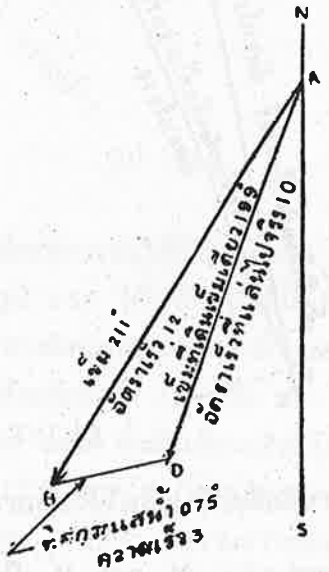
a	$42'$	log	1.62325
B	113°	L sin	9.96403
A	10°	L cosec	0.76033
b	$222'.64$	log	2.34761

เพราะฉะนั้น เข็มจริง = 044° ระยะทาง = 222.64 ไมล์

เพราะฉะนั้นอัตราเร็ว = $\frac{222.64}{24}$ = 9.3 นอต

ตัวอย่าง 2 เรือลำหนึ่งแล่นเข็มจริง 211° อัตราเร็ว 12 นอต ปรากฏว่าในบริเวณที่เรือแล่นไปนั้นมีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 075° ด้วยความเร็ว 3 นอต จงหาเข็มอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง

โดยการสร้างรูป ในรูป 152 ให้ NS เป็นเมริเดียน, A เป็นที่เรือ แล้วสร้างมุม NAB = 211° (นับตามเข็มนาฬิกา) ใช้มาตราส่วนตามแผนที่หรือเลือกเอามาตราส่วนใด ๆ ก็ได้เขียน AB = 12 นอต จาก B เขียน BD ไปตามทิศที่กระแสน้ำไหลไปและให้เท่ากับ 3 ไมล์ เพราะฉะนั้น NAD (นับตามเข็มนาฬิกา) จึงเป็นเข็มที่เรือแล่นไปได้จริง = 199° และเมื่อวัด AD ตามมาตราส่วนที่กำหนดไว้จะได้อัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง = 10 นอต

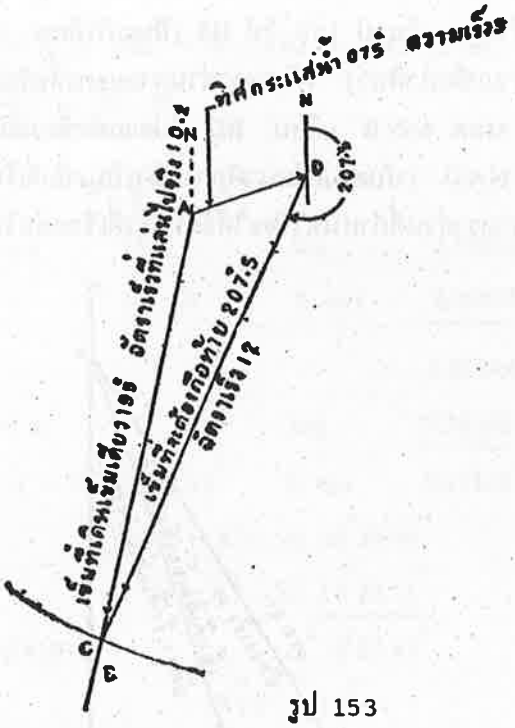


รูป 152

หาเข็มและอัตราเร็วที่แล่นไปจริง

ประเภทที่ 2 ให้แบริงของที่หมาย, ทิศ และความเร็วของกระแสน้ำและอัตราเร็วของเรือ ให้หาเข็มที่เรือจะต้องแล่นไปให้ถึงที่หมาย

ตัวอย่าง 1 เข็มเรือจาก A ไป B เท่ากับ 195° กระแสน้ำไหลไปทางทิศ 075° ความเร็ว 3 นอต อัตราเร็วเรือ 12 นอต เรือจะต้องแล่นเข็มอะไรจึงจะแล่นถึง B ได้

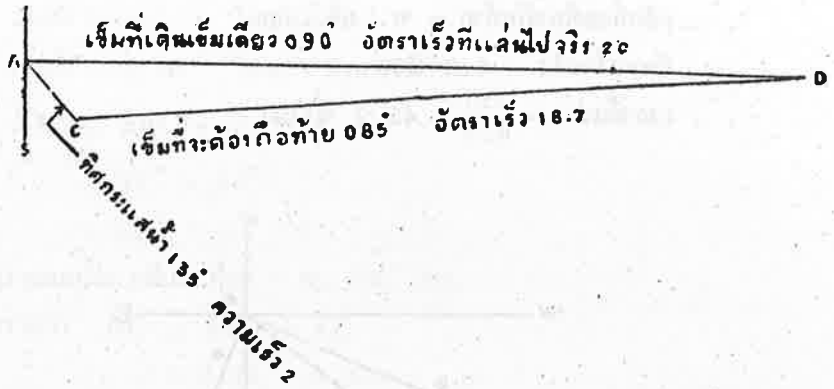


รูป 153

หาเข็มที่จะต้องแล่นให้ถึงที่หมาย

โดยการสร้างรูป ในรูป 153, N และ N' เป็นทิศเหนือจริง เรืออยู่ที่ A สร้างมุม NAB (นับตามเข็มนาฬิกา) = 195° มุมนี้เป็นเข็มจาก A ไป B เขียน AD ให้ยาวตามมาตราส่วนแทนทิศและความเร็วของกระแสน้ำ คือเขียนให้ NAD = 075° และระยะ AD = 3 นอต ให้ D เป็นศูนย์กลางเอารัศมี 12 ไมล์เขียนขอบวงกลมตัด AB ที่ C เพราะฉะนั้น N'DB ซึ่งเท่ากับ 207°.5 เป็นเข็มที่จะต้องถือท้ายและความยาว AC เป็นอัตราเร็วที่เรือแล่นไปจริง เมื่อวัดตามมาตราส่วน = 10.2 นอต

ตัวอย่าง 2 เวลา 1300 เรือลำหนึ่งอยู่ในทิศตะวันตกของเมืองท่าปลายทางของคนระยะห่าง 100 ไมล์ ถ้าเรือลำนั้นต้องการแล่นไปให้ถึงเมืองท่านั้นเวลา 1800 จะต้องแล่นเข็มอะไรและด้วยอัตราเร็วเท่าใด ในเมื่อในบริเวณที่แล่นไปนั้นมีกระแสน้ำไหลไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ด้วยความเร็ว 2 นอต



รูป 154

หาเข็มและอัตราเร็วที่จะต้องแล่นให้ถึงที่หมาย

โดยการสร้างรูป ในรูป 154 ให้ NS เป็นเมริเดียนของเรือที่ A ระยะทางจากเรือไปยังเมืองท่า = 100 ไมล์ ทางทิศตะวันออก การที่เรือจะแล่นให้ไปถึงที่หมายในเวลา 5 ชั่วโมงนั้น เรือจะต้องแล่นไปจริงด้วยอัตราเร็ว 20 นอต ลาก AD ไปในทิศ 090° แทนแนวทางเรือและกะความยาว AD = 20 นอต ซึ่งเป็นอัตราเร็วที่เรือแล่นไปจริง สร้างทิศและความเร็วของกระแสน้ำ AC ไปในทิศ 135° จาก A กะความยาว AC = 2 นอต ลาก CD ต่อกัน CD เป็นเข็มที่จะต้องถือท้าย = 085° ความยาวของ CD เป็นอัตราเร็วที่เรือจะต้องแล่น = 18.7 นอต

ตัวอย่าง 3 เมืองท่าแห่งหนึ่งอยู่ในแบริง ช.52° ตก. ห่าง 350 ไมล์ กระแสน้ำไหลไปในทิศ ช.22°30' อ. ด้วยความเร็ว 2 ไมล์ต่อชั่วโมง อัตราเร็วเรือ 8 นอต จงหาเข็มที่ต้องถือท้ายไปและจะเป็นเวลาเท่าใดจึงจะถึงเมืองท่านั้น

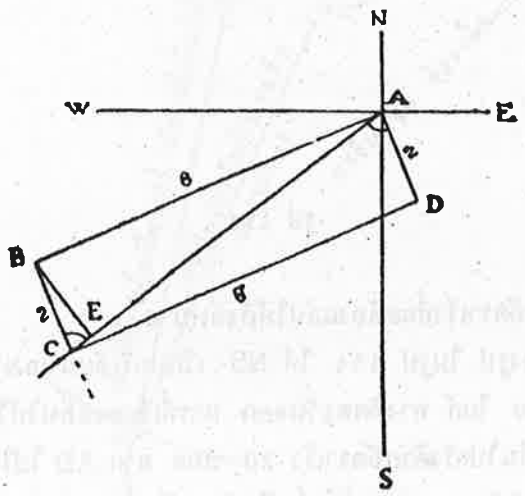
(ก) โดยการสร้างรูป

จาก A เขียน AD ไปในทิศ ช.22°30' อ. ยาว 2 ไมล์ แทนทิศและความเร็วของกระแสน้ำและเขียน AC ไปในทิศ ช.52° ตก. แทนทิศของท่าเรือ เอา D เป็นศูนย์กลางใช้รัศมียาว 8 นอต ตามมาตราส่วนเดียวกันแทนอัตราเร็วเรือ เขียนวงกลมให้ตัด AC ที่จุด C สร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ABCD ด้วยด้านสองด้าน DA และ DC ฉะนั้นจะได้ทิศของ AB แทนเข็มที่ต้องถือท้าย และความยาว AC จะเป็นอัตราเร็วจริงของเรือต่อชั่วโมง

∴ เข็มที่จะต้องถือท้าย = ซ. 66° ตก.

อัตราเร็วจริง = 8.3 นอต

∴ เวลาที่แล่น = $\frac{350}{8.3}$ = 42.2 ชั่วโมง



รูป 155

(ข) โดยเปิดมาตราทราเวิส

ในรูป 155 จาก B เขียนเส้นตั้งฉาก BE ไปยัง AC แล้วสร้างรูปสามเหลี่ยมมุมฉากขึ้นสองรูป ABE และ BCE

หาส่วนของรูปสามเหลี่ยม BCE ให้เปิดมาตราทราเวิส

โดยให้มุม BCE (74.5°) เป็นเข็ม

BC (2) เป็นระยะทาง

เพราะฉะนั้นจะได้ BE และ CE ดังต่อไปนี้.-

BE = 1.93 ในช่องระยะขยาย

CE = 0.53 ในช่อง แลต.เปลี่ยน

หาส่วนของรูปสามเหลี่ยม ABE ให้เปิดมาตราทราเวิส

โดยให้ AB (8) เป็นระยะทาง

BE (1.93) เป็นระยะขยาย

เพราะฉะนั้นจะได้มุม BAE และ AE ดังต่อไปนี้.-

$BAE = 14^\circ$ ในช่องเข็ม

$AE = 7.76$ ในช่อง แลต.เปลี่ยน

เพราะว่า $\angle SAB = SAC + \angle CAB$

$= 52^\circ + 14^\circ$

$= 66^\circ$

เพราะฉะนั้น เข็มถือท้าย = ช. 66° ตก.

เพราะว่า $AC = AE + EC$

$= 7.76 + 0.53$

$= 8.29$

เพราะฉะนั้น อัตราเร็วจริง = 8.3 นอต

เวลาที่แล่น $= \frac{350}{8.3} = 42.2$ ชั่วโมง

กล่าวโดยทั่ว ๆ ไปแล้ววิธีเปิดมาตราทราเวิสมีดังต่อไปนี้

(1) เมื่อแบริงของเมืองท่าเรือและทิศของกระแสน้ำต่างอยู่ในตรีจักรของเข็มทิศต่อเนื่องกันให้บวกทิศทั้งสองเข้าด้วยกัน (2) เมื่ออยู่ในตรีจักรเดียวกัน หรือตรีจักรตรงกันข้ามแล้วให้ลบกัน (3) เอาผลบวก(หรือสัปปลีเมนต์ของมันถ้าผลบวกเกิน 90°)หรือผลลบที่ได้นี้เป็นเข็ม (4) ให้ความเร็วของกระแสน้ำเป็นระยะทาง เปิดหาระยะขยาย (5) เอาระยะขยายที่หาได้นี้เป็นระยะขยาย อัตราเร็วเรือเป็นระยะทาง เปิดหาเข็ม (6) เมื่อได้เข็มแล้วเอาเข็มนี้ไปแก้เข้ากับแบริงของเมืองท่าเรือทำไปในทิศตรงกันข้ามกับทิศที่กระแสน้ำทำให้เรือลอยตกไป จะได้เข็มที่ต้องถือท้าย

(ค) โดยการคำนวณ

ในรูปสามเหลี่ยม ABC รูป 155 ตามสูตร $\sin A = \frac{a \sin C}{c}$ ซึ่ง $C = 74^\circ 30', a = 2, c = 8$

หามุม A

a 2		log	0.30103
C $74^\circ 30'$		L sin	9.98391
			0.28494
c 8		log	0.90309 (—)
A $13^\circ 56'.4$		L sin	9.38185

เพราะฉะนั้น SAB = SAC + CAB

= 52° + 13°56.'4

= 65°56.'4

เพราะฉะนั้น เข็มที่จะต้องถือท้าย = 245°56' หรือ ช.65°56' ตก.

ในรูปสามเหลี่ยมเดียวกันนี้

$$b = \frac{c \sin B}{\sin C} \text{ หรือ } = c \sin B \operatorname{cosec} C$$

ซึ่ง $c = 8, B = 91^\circ 33.'6$ คือ $\{ 180^\circ - (74^\circ 30' + 13^\circ 56.'4) \}$ และ C = 74°30'

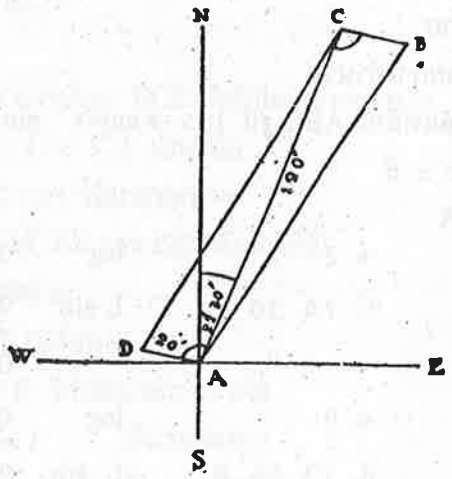
หาด้าน b

c	8	log	0.90309
B	91° 33.'6	L sin	9.99984
C	74° 30'	L cosec	0.01609
b	8.299	log	0.91902

∴ อัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริง = 8.3 นอต

เวลาที่ต้องแล่น = $\frac{350}{8.3}$ = 42.2 ชม.

ตัวอย่าง 4 เมื่อท่าหนึ่งอยู่ในทิศ 022° ระยะห่าง 120 ไมล์ มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 281° ความเร็วตั้งแต่ออกเรือจนถึงเมืองท่า = 20 ไมล์ จงหาเข็มที่ต้องถือท้ายและจะต้องแล่นเป็นเวลาเท่าใดจึงจะถึงเมืองท่านั้น สมมุติให้อัตราเร็วของเรือเป็น 12 นอต



รูป 156

(ก) โดยการสร้างรูป

ในรูป 156 จากจุด A เขียน AC ไปในทิศ 022° ยาว 120 ไมล์ แทนทิศและระยะทางของท่าเรือ และ AD ไปในทิศ 281° ยาว 20 ไมล์ แทนทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

ด้าน AB ของรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ABCD ซึ่งเกิดจากการลากเส้น DA และ DC จะเป็นเข็มถือท้ายและระยะทางที่จะต้องแล่น

∴ เข็มที่จะต้องถือท้ายได้ 031° และระยะทาง = 125.5 ไมล์

∴ เวลาที่แล่น = $\frac{125.5}{12}$ = 10.45 ชั่วโมง

(ข) โดยแล่นเรือลดเลี้ยว

สมมุติให้เรือแล่นจาก A ไป C แล้วแล่นจาก C ไปยัง B จะได้ AB เป็นเข็มถือท้าย และระยะทางที่เดินเข็มเดียวตามแล่นเรือลดเลี้ยว

เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
		น.	ต.	อ.	ตก.
022°	120'	111.3	—	45.0	—
101	20	—	3.8	19.6	—
	รวม	111.3	3.8	64.6	—
		3.8			
	จริง	107.5		64.6	

∴ เข็มที่เดินเข็มเดียวซึ่งเป็นเข็มถือท้าย = 031°

และระยะทางที่เดินเข็มเดียว = 125.5 ไมล์

∴ เวลาที่แล่น = $\frac{125.5}{12}$ = 10.45 ชั่วโมง

(ค) โดยการคำนวณ

ในรูปสามเหลี่ยม ABC รูป 156 รู้ด้านสองด้าน คือ a และ b และมุมในระหว่างกลางคือ C ต้องการหามุม A

ตามสูตร $\tan \frac{1}{2}(B-A) = \frac{b-a}{b+a} \cot \frac{C}{2}$

แต่ในโจทย์นี้ $b = 120,\ a = 20$

$$C = NAD + NAC = 79^\circ + 22^\circ = 101^\circ$$

$$\therefore \quad \frac{C}{2} = 50^\circ 30'$$

และโดยที่ $B+A = 180^\circ - C = 180^\circ - 101^\circ = 79^\circ$

$$\therefore \quad \frac{B+A}{2} = 39^\circ 30'$$

หา $\frac{B-A}{2}$

b	120		
a	20		
b—a	100	log	2.00000
$\frac{C}{2}$	$50^\circ 30'$	L cot	9.91610
			1.91610
b+a	140	log	2.14613
$\frac{B-A}{2}$	$30^\circ 29'.4$	L tan	9.76997

$\frac{1}{2}(B + A) = 39^\circ 30'$

$\frac{1}{2}(B - A) = 30^\circ 29'.4$

โดยลบกับจะได้ $A = 9^\circ 0'.6$ หรือ $= 9^\circ$

แต่ $\angle NAB = \angle NAC + \angle CAB$

$= 22^\circ + 9^\circ$

$= 31^\circ$

เพราะฉะนั้น เข็มที่ต้องถือท้าย $= 31^\circ$

และในรูปสามเหลี่ยมเดียวกันนั้นหาด้าน c ซึ่งเป็นระยะทางที่เรือแล่นไปจริง

$$c = \frac{a \sin C}{\sin A} \text{ หรือ } = a \sin C \operatorname{cosec} A$$

a	20°	log	1.30103
C	101°	L sin	9.99195
A	9°	L cosec	0.80567
c	$125'.5$	log	2.09865

ระยะทางที่เดินเป็มเดียว = 125.5 ไมล์

เพราะฉะนั้น เวลาที่ต้องแล่น = $\frac{125.5}{12}$ = 10.45 ชั่วโมง

ประเภทที่ 3 รู้ที่เรือรายงานและที่เรือตรวจ หาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

(ก) โดยแผนที่

เอาที่เรือรายงานและที่เรือตรวจในเวลาเดียวกันจดลงในแผนที่แล้วหาเป็ม และวัดระยะทางจากที่เรือรายงานไปยังที่เรือตรวจในแผนที่นั้นจะได้ทิศ และความเร็วของกระแสน้ำ

(ข) โดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง หรือแล่นเรือเมอเคเตอร์

หาละติจูดเปลี่ยนและลองจิจูดเปลี่ยน จากที่เรือรายงานไปยังที่เรือตรวจแล้วเปิดมาตราทราเวิสคำนวณ หรือหาเป็มจริงและระยะทางโดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง หรือแล่นเรือเมอเคเตอร์วิธีใดวิธีหนึ่งตามแต่กรณี จะได้ทิศและความเร็วของกระแสน้ำที่มากระทำต่อเรือ

ตัวอย่าง 1 เรือลำหนึ่งแล่นเป็มประจำตั้งแต่เวลาเที่ยงของวันที่แล้วจนถึงเที่ยงของวันรุ่งขึ้น ที่เรือรายงานอยู่ใน แลต.45°30′ น. ลอง.28°15′ ตก. แต่ที่เรือตรวจอยู่ใน แลต.46° 15′ น. ลอง.27°08′ ตก. จงหาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

โดยวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์

L_2 รายงาน 45°30′ น. M_2 รายงาน 3055.84 λ_2 รายงาน 28°15′ ตก.

L_2 โดยตรวจ 46 15 น. M_2 โดยตรวจ 3120.23 λ_2 โดยตรวจ 27 08 ตก.

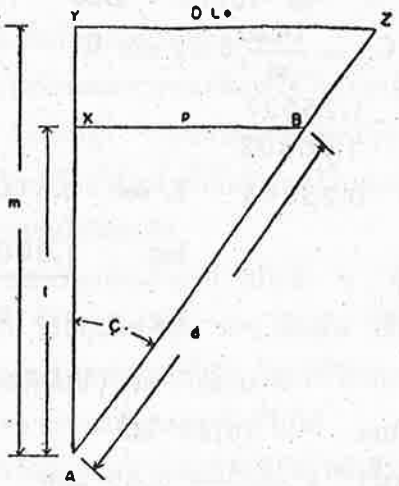
0°45′น. m 64.39 DLo 1°07′ อ.

60

60

07

67′ อ.



รูป ๑๕๗

ตามสูตร $\tan C = \frac{DLo}{m}$, $d = l \sec C$

DLo	67' อ.	log	1.82607		
m	64	log	1.80882		
C	46°08'14"	L tan	0.01725	L sec	0.15931
l	45' น.			log	1.65321
d	64'.94			log	1.81252

∴ ทิศของกระแสน้ำ = 046°08'04' หรือ 046° (ใกล้เคียง)
น้ำไหลใน 24 ชั่วโมง = 64.94 ไมล์
∴ ความเร็วของกระแสน้ำ = $\frac{64.94}{24}$ = 2.7 ไมล์
หรือ = 2.7 นอต

ตัวอย่าง 2 ที่เรือรายงานเวลาเที่ยงจากที่เรือรายงานเวลาเที่ยงของวันที่แล้วได้ แลต. 7°30' น. ลอง.98°58' อ. และที่เรือตรวจได้ แลต.7°40 น. ลอง.98°40' อ. หาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

โดยวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์

L_2 รายงาน 7°30' น. M_2 รายงาน 448.2 λ_2 รายงาน 98°58' อ.
L_2 โดยตรวจ 7 40 น. M_2 โดยตรวจ 458.3 λ_2 โดยตรวจ 9840 อ.
l 0°10' น. m 10.1 DLo 0°18' ตก.

ตามสูตร $\tan C = \frac{DLo}{m}$, $d = l \sec C$

DLo	18' ตก.	log	1.25527		
m	10.1	log	1.00432		
C	60°42'12"	L tan	0.25095	L sec	0.31040
l	10'.0 น.			log	1.00000
d	20'.43			log	1.31040

∴ ทิศกระแสน้ำ = น.61° ตก.(ใกล้เคียง)หรือ 299°
น้ำไหลใน 24 ชั่วโมง = 20.43 ไมล์
∴ ความเร็วของกระแสน้ำ = $\frac{20.43}{24}$ = 0.85 นอต

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือลำหนึ่งแล่นเข็มเรือ 056° อัตราเร็ว 12 นอต มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 022° (เข็มแม่เหล็ก) ความเร็ว 2.5 นอต จงหาเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว สมมุติว่ามีดิวิเอชั่น 3° ตก. วาริเอชั่น 5° อ.

2. เรือลำหนึ่งแล่นเข็มจริง 146° ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยอัตราเร็ว 9 นอต มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 080° ความเร็วชั่วโมงละ 2 ไมล์ จงหาเข็มที่เรือแล่นไปจริงและระยะทางที่เดินเข็มเดียว

3. เรือลำหนึ่งแล่นไปยังเมืองท่าแห่งหนึ่ง ซึ่งอยู่ในแบริงจริง 218° ระยะห่าง 180 ไมล์ ด้วยอัตราเร็ว 10 นอต มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 137° ทำให้เรือลอยตกไป 17 ไมล์ จงหาเข็มเรือที่จะต้องถือท้ายเพื่อให้ไปถึงเมืองท่าและต้องแล่นกี่ชั่วโมง ดิวิเอชั่น 2° อ. วาริเอชั่น 11° อ.

4. เมืองท่าแห่งหนึ่งอยู่ในแบริงจริง 108° ระยะห่าง 200 ไมล์ มีกระแสน้ำไหลไปในทิศ 056° (แม่เหล็ก) ความเร็วชั่วโมงละ 3 ไมล์ เรือลำหนึ่งต้องการแล่นไปยังเมืองท่านั้นด้วยอัตราเร็ว 9 นอต จงหาเข็มเรือที่จะต้องถือท้ายไป และจะสิ้นเวลากี่ชั่วโมง ดิวิเอชั่น-3° วาริเอชั่น-6° ลม น. ลีเวย์ ¼ ปอยนต์

รายงานประจำวัน (Day's Work or Dead Reckoning)

วิธีออกเรือ (Taking departure) เมื่อเรือแล่นออกจากท่าผ่านพ้นร่องน้ำไปแล้วก็จะต้องพร้อมที่จะตั้งเข็มแล่นไปในทะเลเปิดได้ เป็นสิ่งสำคัญที่นักเดินเรือจะต้องหาที่เรือของตนไว้ให้ได้ก่อนที่วัตถุที่ใช้ในการเดินเรืออยู่บนบกจะลับสายตาไป วิธีหาที่เรือนั้นหาโดยวิธีต่อไปนี้

1. แบริงเข็มไขว้ของวัตถุที่ใช้ในการเดินเรือสองแห่งหรือมากกว่าขึ้นไป เช่น ประภาคาร กระโจม ทุ่นหรือวัตถุสำคัญบนฝั่งซึ่งมีปรากฏอยู่ในแผนที่แล้วขีดเส้นแบริงที่ได้นี้ลงในแผนที่ จุดที่เส้นแบริงตัดกันเป็นที่เรือที่ต้องการ

2. แบริงกับระยะทางของวัตถุที่ใช้ในการเดินเรือแห่งเดียว ในกรณีนี้ต้องใช้แบริงกลับ (Reversed bearing) ของวัตถุจากเรือเป็นเข็ม และเอาระยะทางที่หาได้โดยกล้องวัดระยะทาง หรือโดยวิธีใดวิธีหนึ่งที่ได้อธิบายไว้ในตอนหาที่เรือขีดลงในแผนที่ หรือทำโดยคำนวณก็จะได้ที่เรือขณะเมื่อวัดแบริง

3. โดยนำเรือแล่นผ่านเข้าไปใกล้ ๆ ทุ่น หรือเครื่องหมายทางเรือที่อยู่ในน้ำแห่งใดแห่งหนึ่ง เช่น เรือทุ่นไฟ ทุ่น ฯลฯ เป็นต้น วิธีที่สามนี้ไม่ควรใช้ในเมื่อเห็นวัตถุที่ใช้ในการเดินเรือ ซึ่งอยู่บนบกเพราะตำบลที่เรือ โดยใช้วัตถุบนบกเป็นวิธีที่แน่นอนกว่าใช้เครื่องหมายทางเรือที่อยู่ในน้ำ เพราะอาจเลื่อนลอยผิดที่ไปได้

วิธีหาที่เรือนี้อาจหาได้โดยวิธีอื่น ดังได้กล่าวไว้แล้วในตอนหาที่เรือ

เมื่อหาที่เรือครั้งสุดท้ายโดยใช้วัตถุบนบกได้แล้ว และได้แล่นเรือตามเข็มไปยังที่หมายปลายทางเรียกว่า "วิธีออกเรือ" (taking departure) รายการที่ใช้ในการหาที่เรือขณะออกเรือ และเวลาที่เรือต้องจดลงในปูมเรือ

รายงานประจำวัน (Day's Work or Dead Reckoning) รายงานประวันวันนี้ เป็นวิธีหารายละเอียดต่าง ๆ ต่อไปข้างล่างนี้เมื่อเวลาเที่ยงวัน โดยหาได้จากรายการเหล่านี้ เช่น ละติจูดและลองจิจูดของเที่ยงวันที่แล้วมาหรือของดำบลที่ออกเรือเป็มเรือและระยะทางที่แล่นในระหว่างนั้น วาริเอชั่น ดิวิเอชั่น ลีเวย์ ลม แบริงกับระยะทางที่วัด ทิศและความเร็วของกระแสน้ำ และที่เรือซึ่งได้จากการคำนวณ โดยดาราศาสตร์ซึ่งรายการต่าง ๆ เหล่านี้ได้จดลงไว้ในปูมเรือ

รายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งหาได้โดยรายงานประจำวัน คือ

1. ที่เรือรายงานเวลาเที่ยงวัน หรือในขณะใดขณะหนึ่ง หาได้โดยเอาเข็มที่เรือแล่นและระยะทางที่แล่น ตั้งแต่ที่เรือที่แน่นอนครั้งสุดท้ายเข้าทำกับที่เรือนั้น

2. เข็มจริงและระยะทางในระหว่างที่เรือตรวจ หรือที่เรือรายงานเวลาเที่ยงวันของวันนั้น และของวันที่แล้วมา

3. ทิศและความเร็วของกระแสน้ำ ในชั่วระยะเวลาของวันที่แล้วมา หาได้จากผลต่างระหว่างที่เรือรายงาน และที่เรือตรวจ

4. เข็มจริงและระยะทาง ระหว่างที่เรือเวลาเที่ยงวันไปยังดำบลที่หมายใด ๆ หรือหัวแหลมใด ๆ เรือทุ่นไฟ หรือที่อันตรายใด ๆ อันอยู่ใกล้ทางเรือที่จะต้องแล่นในเวลาต่อไป

วิธีทำรายงานประจำวันนี้จะใช้ทำโดยขีดลงในแผนที่หรือขีดลงในกระดาษจดที่เรือ (plotting sheet) หรือโดยการคำนวณก็ได้

วิธีทำรายงานประจำวันโดยการคำนวณนั้นควรทำตามกฎ และตัวอย่างต่อไปนี้ โดยกฎ

1. เขียนเข็มเรือทุกเข็ม วาริเอชั่น ดิวิเอชั่น และลีเวย์(ถ้ามี) แล้วแก้เป็นเข็มจริงจัดทำเป็นแบบตารางตามตัวอย่างที่ได้ให้ไว้ บวกระยะทางตามรายชั่วโมงที่แล่น แต่ละเข็มเข้าด้วยกันแล้วเขียนลงในแบบตาราง

2. ถ้าเรือไม่ได้แล่นออกจากดำบลที่ซึ่งรู้ละติจูดและลองจิจูดแล้วจะต้องทราบแบริงเข็มเรือ และระยะทางประมาณจากวัตถุแห่งใดแห่งหนึ่งที่อยู่ใกล้ เช่น ยอดเขา ประภาคาร ฯลฯ เป็นต้นไว้แล้วหาละติจูดและลองจิจูดของวัตถุนั้นจากแผนที่ แล้วสมมุติเอาว่าเรือนั้นแล่นจากวัตถุที่ทราบนี้ ไปยังจุดที่ออกเรือ เข็มที่เรือแล่นก็คือเข็มที่ตรงกันข้ามกับแบริงของวัตถุจากเรือ เข็มนี้เรียกว่า "เข็มออกเรือ" (departure course) จะต้องแก้ด้วยวาริเอชั่นและดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือ ขณะเมื่อวัดแบริงแล้วเขียนลงในแบบตาราง โดยถือว่าเป็นเข็มจริง และใช้ระยะห่างของวัตถุเป็นระยะทางที่เรือแล่น

3. เมื่อทราบทิศและความเร็วของกระแสน้ำในระหว่างที่แล่นอยู่นั้น จะต้องเอาอำนาจการกระทำของน้ำนี้เข้าไปรวมคิดคำนวณหาที่เรือเวลาเที่ยงวัน แล้วเขียนลงในแบบ

ตารางให้ทิศของกระแสน้ำเป็นเข็มเรียกว่า "เข็มกระแสน้ำ" (current course) และความเร็วของน้ำเป็นระยะทาง

4. เปิดมาตราทราเวิสหาละติจูดเปลี่ยนและระยะขยายของแต่ละเข็มและระยะทางนั้น แล้วใส่ลงในแบบตารางให้ตรงตามช่องอักษร(ชื่อ)เดียวกันกับเข็ม แล้วหาละติจูดเปลี่ยนจริงและระยะขยายจริงที่เดินเข็มเดียวต่อไปตามวิธีที่ได้อธิบายไว้ในแล่นเรือลดเลี้ยว

5. การหาเข็มจริงและระยะทางจริงที่เดินเข็มเดียวในระหว่างที่สองตำบลนั้น ให้เอาผลรวมของละติจูดเปลี่ยนและระยะขยายไปเปิดมาตราทราเวิสหาเข็มจริง และระยะทางจริงที่เดินเข็มเดียว

ถ้าหาจุดออกเรือได้จากการแบริงเข็มเรือกับระยะทางจากวัตถุแห่งใดแห่งหนึ่งแล้ว เข็มและระยะทางที่ได้นั้นต้องนับจากวัตถุบนฝั่ง ไม่ใช่นับจากตำบลที่ออกเรือ

6. การหาละติจูดถึง เอาละติจูดเปลี่ยนจริงที่หาได้เข้าทำกับละติจูดออก หรือละติจูดของที่หมายบนบกก็จะได้ละติจูดถึง

7. การหารลองจิจูด ลองจิจูดเปลี่ยนนั้นหาได้โดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง หรือแล่นเรือเมอเคเตอร์วิธีใดวิธีหนึ่งก็ได้และเมื่อเรือแล่นเข็มตะวันออกตรง หรือเข็มตะวันตกตรงแล้วก็หาลองจิจูดเปลี่ยนได้โดยวิธีแล่นเรือขนาน แล้วเอาลองจิจูดเปลี่ยนไปทำกับลองจิจูดออกได้ลองจิจูดถึง

หมายเหตุ ถ้าเข็มเล็กกว่า 4 ปอยนต์ หรือ 45° แล้วการหาลองจิจูดเปลี่ยนจะใช้หาโดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง หรือโดยแล่นเรือเมอเคเตอร์ก็ได้ แต่โดยมากนิยมใช้หาโดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง แต่ถ้าเข็มโตกว่า 45° แล้วควรใช้หาด้วยวิธีแล่นเรือละติจูดกลางเท่าที่ใช้กันอยู่ การหาลองจิจูดเปลี่ยนใช้วิธีแล่นเรือละติจูดกลาง

ตัวอย่าง 1 วันที่ 3 กันยายน เวลาเที่ยงวันเรือลำหนึ่งแบริงแหลมแห่งหนึ่ง (แลต.37°40' ต. ลอง.178°36' อ.) ด้วยเข็มทิศเรือนเอกได้ 053° ระยะห่าง 30 ไมล์ ทิศหัวเรือ 065° แล้วแล่นตามเข็มและระยะทางต่าง ๆ ต่อไปข้างล่างนี้

จงหาเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียวจากแหลม และหาที่เรือ เรือเวลาเที่ยงวันของวันที่ 4 กันยายน

เวลา	เข็มเรือ	นอต	1/10	ลม	ลีเวย์ ปอยนต์	ดิวิ.	หมายเหตุ
1300	065°	12	5	วนว.	0	33°ตก.	วาริเอชั่น 14° อ.
1400		12	5				กระแสน้ำไหลไปทิศ
1500		12	5				216° (แม่เหล็ก)
1600		12	5				เป็นระยะทาง 17 ไมล์
1700	115	7	0	นอ/อ.	½	22°ตก.	ตั้งแต่เวลาออกเรือ
1800		7	0				จนสิ้นวัน
1900		7	0				
2000		8	0				
2100	042	8	0	อซอ.	¼	31°ตก.	
2200		8	0				
2300		8	0				
2400		8	0				
0100	093	9	5	นนอ.	¼	31°ตก.	
0200		9	5				
0300		8	5				
0400		8	5				
0500	019	6	0	นอ.	¾	17°ตก.	
0600		6	0				
0700		5	0				
0800		5	0				
0900	346	10	0	นอ/อ.	¼	18°ตก.	
1000		10	0				
1100		10	0				
1200		9	0				

วิธีทำ

เข็มเรือ	วาริ.	ดิวิ	ลีเวย์	ความผิดของเข็ม	เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
							น.	ต.	อ.	ตก.
เข็มออกเรือ					214°	30'	—	24.9'	—	16'.8
065°	14° อ.	33° ตก.	—	19° ตก.	046	50	34.7	—	36.0	—
115	14 อ.	22 ตก.	6° อ.	2 ตก.	113	29	—	11.3	26.7	—
042	14 อ.	31 ตก.	3 ตก.	20 ตก.	022	32	29.7	—	12.0	—
093	14 อ.	31 ตก.	3 อ.	14 ตก.	079	36	6.9	—	35.3	—
119	14 อ.	17 ตก.	8 อ.	5 อ.	124	22	—	12.3	18.2	—
346	14 อ.	18 ตก.	3 ตก.	7 ตก.	339	39	36.4	—	—	14.0
เข็มกระแสน้ำ					230	17	—	10.9	—	13.0
						รวม	107.7	59.4	128.2	43.8
							59.4		43.8	
						จริง	48.3		84.4	

L_1	37°40'.0 ต.	หา	DLo	โดยเปิดมาตราทราเวิส	
l	48'.3 น.		Lm	37°15'.85 ต.	
L_2	36°51'.7 ต.		p	84'.4 อ.	
L_1	37°40'.0 ต.		DLo	106'.1 อ.	
$L_1 + L_2$	74°31'.7		=	1°46'.1 อ.	
Lm	37°15'.85 ต.		λ_1	178°36'.0 อ.	
				180°22'.1 อ.	
			λ_2	360°	
				179°37'.9 ตก.	

หา C และ d โดยเปิดมาตราทราเวิส

48.3 น.. p 84.4 อ.

ได้ C = 060°.5 หรือ 060° (ใกล้เคียง). d = 97 ไมล์

ตอบ
- แลต. 36°50'.7 ต.
- ลอง. 179°37'.9 ตก.
- เข็มจริงที่เดินเข็มเดียว 060°
- ระยะทางที่เดินเข็มเดียว 97 ไมล์

ตัวอย่าง 2 วันที่ 7 กันยายน เวลาเที่ยงวันแบริง Cape Horn (แลต.55° 59' ต. ลอง.67°16' ตก.)ด้วยเข็มทิศเรือนเอกได้ 112° ระยะห่าง 17 ไมล์(ทิศหัวเรือ 303°) แล้วเรือลำนั้นได้แล่นไปตามเข็มและระยะทางต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

จงหาที่เรือรายงานเวลาเที่ยงวัน ๆ ที่ 8 กันยายนและหาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ ตำบลที่เวลาเที่ยงวันที่ 8 กันยายน โดยตรวจได้แลต.57°48' ต. ลอง.69°51' ตก.

เวลา	เข็มเรือ	นอต	1/10	ถม	ลีเวย์ ปอยนต์	ดิวิ.	หมายเหตุ
1300	303°	5	3	น/อ	¾	5° ตก.	
1400		5	5				
1500		5	7				
1600		5	0				
1700		5	8				วาริเอชั่น 23° อ.
1800	000	5	4	นอ/อ	1	4° อ.	
1900		5	0				
2000		4	7				
2100		4	5				
2200		4	7				
2300	326	5	7	นอ	¼	1° ตก.	
2400		5	0				
0100		5	5				
0200		5	9				
0300		5	3				
0400	270	6	3	อ/น	0	8° ตก.	
0500		6	3				
0600		6	7				
0700		6	7				
0800	022	6	9	อ	1	12° อ.	
0900		7	0				
1000		7	0				
1100		7	5				
1200		7	0				

วิธีทำ

เข็มเรือ	วาริ.	ดิวิ.	ลีเวย์	ความผิดของเข็ม	เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
							น.	ต.	อ.	ตก.
เข็มออกเรือ					310°	17'	10.9	—	—	13.0
303°	23° อ.	5° ตก.	8 ตก.	10° อ.	313	28.3	19.3	—	—	20.7
000	23 อ.	4 อ.	11 ตก.	16 อ.	016	24.3	23.4	—	6.7	—
326	23 อ.	1 ตก.	3 ตก.	19 อ.	345	27.4	26.5	—	—	7.1
270	23 อ.	8 ตก.	0	15 อ.	285	26.0	6.7	—	—	25.1
022	23 อ.	12 อ.	11 ตก.	24 อ.	046	35.4	24.6	—	—	—
						รวม	111.4		32.2	65.9
										32.2
						จริง	111.4			33.7

L_1	55°59'.0 ต.	หา	DLo	โดยเปิดมาตราทราเวิส
l	1°51'.4 น.		Lm	55°03'.3
L_2	54°07'.6 ต.		p	33.7 ตก.
L_1	55°59'.0 ต.		DLo	0°59' ตก.
L_1+L_2	110°06'.3		λ_1	67°16" ตก.
Lm	55°03'.3		λ_2	68°15' ตก.

หาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

L_2 รายงาน	54°07'.6 ต.	λ_2 รายงาน		68°15'	ตก.
L_2 โดยตรวจ	57°48'.0 ต.	λ_2 โดยตรวจ		69 51	ตก.
l	3 40.4 ต.	DLo		1 36	ตก.
=	220'.4 ต.	=		96'	ตก.
ผลบวก	111° 55'.6				
Lm	55° 57'.8	หรือ	56°	(ใกล้เคียง)	

โดยเปิดมาตราทราเวิส

เอาแลต.กลาง 56° เป็นเข็มและลอง.เปลี่ยน 96' เป็นระยะทางเปิดมาตราทราเวิสได้ระยะขยาย 53'.7 ในช่องแลต.เปลี่ยน แล้วเอาแลต.ป.220'.4 และระยะขยาย 53'.7 เปิดได้เข็ม 14° ระยะทาง 225' (ใกล้เคียงที่สุด) เข็มที่ได้นี้เป็นทิศของกระแสน้ำ และถ้าเอา 24 ชั่วโมงหารระยะทาง 225' จะได้ความเร็วของกระแสน้ำ = 9.4 นอต

ตอบ
- แลต.ถึง 54°07'.6 ต.
- ลอง.ถึง 68°15'.0 ตก.
- ทิศกระแสน้ำ 194°
- ความเร็ว 9.4 นอต

ตัวอย่าง 3 วันที่ 23 ธันวาคมเวลาเที่ยงแบริงเกาะ Sand (แลต.28°25' น. ลอง.178°28' ตก.) ด้วยเข็มเรือได้ 173° ระยะห่าง 23 ไมล์ (ทิศหัวเรือ 296°) ภายหลังได้แล่นตามเข็มต่าง ๆ ดังต่อไปข้างล่างนี้ จงหาที่เรือเวลาเที่ยงวันที่ 24 ธันวาคม

เวลา	เข็มเรือ	นอต	1/10	ลม	ลีเวย์ ปอยนต์	ดิวิ.	หมายเหตุ
1300	296°	5	6	ซว/ว	1 ½	20° ตก.	
1400		6	0				
1500		6	0				
1600		6	7				
1700	264	6	0	ซ/ว	1 ½	17° ตก.	วาริเอชั่น 14° อ.
1800		8	5				
1900		9	0				
2000		8	7				
2100	325	8	0	ว/ซ	1 ½	8° ตก.	กระแสน้ำไหลไปในทิศแม่เหล็ก 293° ความเร็ว 3 ½ นอต ตลอดเวลา 22 ชั่วโมง จนสุดวัน
2200		9	0				
2300		9	2				
2400	หันหัวสู้ลม	1	0	ลมเปลี่ยน	3	16° ตก.	
0100	หันหัวสู้ลม	1	0	ระหว่าง			
0200	292°	1	0	น และ			
0300	หันหัวไป	1	0	วนว.			
	ปลายลม						
0400	225	1	0				
0500	233	7	0	นว/ว	1 ½	8° ตก.	
0600		5	6				
0700		7	0				
0800		6	2				
0900	313	5	0	วชว.	2	18° ตก.	
1000		7	5				
1100		7	0				
1200		6	8				

วิธีทำ การหาเข็มเรือเข็มที่ 5 นั้น ให้เอาเข็มระหว่างกลางของเข็มทิศ 292° และ 225° จะได้เข็ม = 259°

เข็มเรือ	วาริ.	ดิวิ.	ลีเวย์	ความผิดของเข็ม	เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
							น.	ต.	อ.	ตก.
เข็มออกเรือ					349°	23' 0	22.6	—	—	4.4
296°	14° อ.	20° ตก.	44° อ.	8° อ	304	24.3	13.6	—	—	20.1
264	14 อ.	17 ตก.	14 อ.	11 อ.	275	32.2	3.4	—	—	32.0
325	14 อ.	6 ตก.	20 อ.	26 อ.	351	26.2	25.9	—	—	4.1
259	14 อ.	16 ตก.	34ตก.	36ตก.	223	5.0	—	3.7	—	3.4
233	14 อ.	8 ตก.	17ตก.	11ตก.	222	25.8	—	19.2	—	173
313	14 อ.	9 ตก.	22 อ.	27 อ.	340	26.3	24.7	—	—	9.0
เข็มกระแสน้ำ					307	71.5	43.0	—	—	57.1
						รวม	133.2	22.9		147.4
							22.9			
						จริง	11.03			147.4

L_1	28°25'.0 น.	หา	DLo	โดยเปิดมาตราทราเวิส
l	1 50. 3 น.		Lm	29°20'.1
L_2	30 15. 3 น.		p	147'.1 ตก.
L_1	28 25.0 น.		DLo	169' ตก.
L_1+L_2	58 40. 3		=	2°49' ตก.
Lm	29°20'.1		λ_1	178 28 ตก.
				181 17 ตก.
				360
			λ_2	178° 43' อ.

ตอบ { แลต.30°15'.3 น.
ลอง 173°43'.0 อ.

ตัวอย่าง 4 วันที่ 4 มกราคม ออกเรือจาก Hampton Roads ไปยัง Block Island Sound เวลา 1300 ออกเรือจากจุดหนึ่งซึ่งแบริงเรือทุ่นไฟ Cape Charles (แลต.37°05'17" น. ลอง 75°43'29" ตก.) โดยเข็มทิศเรือนเอกได้ 282' ระยะห่าง 8 ไมล์ทิศหัวเรือขณะนั้น 050° ดิวิเอชั่น 4° ตก. วาริเอชั่น 7° ตก. ได้แล่นไปจนถึงเที่ยงวันรุ่งขึ้นตามเข็มและระยะต่าง ๆ และรายละเอียดอื่น ๆ ซึ่งมีปรากฏอยู่ในตารางแล้ว

จงหาละติจูดและลองจิจูดเวลาเที่ยงของวันที่ 5 มกราคม เข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว จากเรือทุ่นไฟและเข็มและระยะทางไปยังทุ่นที่ Montauk Point ในแลต. 41° 03' น. ลอง.71°46' ตก. ให้ทำโดยคำนวณใช้วิธีแล่นเรือละติจูดกลาง

เข็มเรือ	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่น	ระยะทาง
050°	7° ตก.	4° ตก.	60.0 ไมล์
131	8 ตก.	3 ตก.	17.5 „
102	8 ตก.	4 ตก.	10.0 „
335	8 ตก.	3 อ.	3.0 „
045	8 ตก.	5 ตก.	70.0 „
048	12 ตก.	4 ตก.	70.0 „

วิธีทำ

เข็มเรือ	วาริ.	ดิวิ.	ความผิดของเข็ม	เข็มจริง	ระยะทาง	แลต. เปลี่ยน		ระยะขยาย	
						น.	ต.	อ.	ตก.
เข็มออกเรือ				091°	8'.0	—	0.1	8.0	—
050°	7° ตก.	4° ตก.	11° ตก.	039°	60.0	46.6	—	37.8	—
131	8 ตก.	3 ตก.	11 ตก.	120	17.5	—	8.8	15.2	—
102	8 ตก.	4 ตก.	12 ตก.	090	10.0	—	—	10.0	—
335	8 ตก.	3 อ.	5 ตก.	330	3.0	2.6	—	—	1.5
045	9 ตก.	5 ตก.	13 ตก.	032	70.0	59.4	—	37.1	—
048	12 ตก.	4 ตก.	16 ตก.	032	70.0	59.4	—	37.1	—
				รวม		168.0	8.9	145.2	1.5
						8.9		1.5	
				จริง		159.1		143.7	

L_1 33°05'.3 น. หา DLo โดยเปิดมาตราทราเวิส

l 2 39.1 น. Lm 38°24'.8

L_2 39 44.4 น. p 143'.7 อ.

L_1 37 05.3 น. DLo 183'.4 อ.

L_1+L_2 76 49.7 = 3°03'.4 อ.

Lm 38°24'.8 λ_1 75 43'.5 ตก.

λ^2 72°40'.1 ตก.

หาเข็มและระยะทางที่เดินเข็มเดียว

ตามสูตรแล่นเรือละติจูดกลาง , $\tan C = \frac{p}{l}$ และ $d = l \sec C$

p	143.7 อ.	log	2.15746	
l	159.1 น.	log	2.20167	log 2.20167
C	042°05'18'	L tan	9.95579	L sec 0.12953
d	214.4 ไมล์			log 2.33120

ตอบ { แลต. 39°44'.4 น.
ลอง. 72°40'.1 ตก.
เข็มจริงที่เดินเข็มเดียว 042° (ใกล้เคียง)
ระยะทางที่เดินเข็มเดียว 214.4 ไมล์

การหาเข็มและระยะทางจากเที่ยงวันที่ 5 มกราคม ไปยังทุ่นที่ Montauk Point

L_3	41°03'.0 น.		41°03'.0 น.	λ_3	71°46'.0 ตก.
L_2	39 44.4 น.		39 44.4 น.	λ_2	72 40.1 ตก.
l	1 18.6 น.	L_3+L_2	80 47.4	DLo	0 54.1 อ.
		Lm	40°23'.7		
DLo	54'.1 อ.	log	1.73320		
Lm	40°23'.7	L cos	9.88172		
			1.61492		
l	78'.6 น.	log	1.89542	log	1.89542
C	27°39'.8	L tan	9.71950	L sec	0.05272
d	88'.74 ไมล์			log	1 94814

ตอบ { เข็ม 027°39'8
ระยะทาง 88.74 ไมล์

โจทย์ฝึกหัด

1. วันที่ 15 พฤศจิกายน เวลาเที่ยงเรือลำหนึ่งอยู่ในแลต.31'37' ต. ลอง. 139°48' ตก. แล่นตามเข็มต่าง ๆ ต่อไปข้างล่างนี้ จะหาเข็มและระยะทางจริงที่เดินเข็มเดียว และที่เรือเวลาเที่ยงของวันรุ่งขึ้น

เวลา	เข็มเรือ	นอต	$\frac{1}{10}$	ลม	ลีเวย์ ปอยนต์	ดิวิ.	หมายเหตุ
1300	287°	8	5	ซ	$1\frac{1}{4}$	4° อ.	
1400		8	6				วาริเอชั่น 15° อ.
1500		8	5				กระแสน้ำไหลไปใน
1600		8	3				ทิศ 338° ความเร็ว
1700		7	8				ชั่วโมงละ $1\frac{1}{2}$ ไมล์
1800		7	8				
1900	239	7	7	ซ	$1\frac{1}{2}$	8° อ.	
2000		7	5				
2100		7	8				
2200		8	0				
2300		8	2				
2400		8	3				
0100	006	8	5	ว.	$\frac{3}{4}$	11° ตก.	
0200		8	7				
0300		9	0				
0400		9	2				
0500	068	9	2	ซซอ.	1	5° ตก.	
0600		8	8				
0700		8	8				
0800		7	5				
0900	098	7	5	ซซอ.	$\frac{1}{2}$	1° ตก.	
1000		8	0				
1100		8	2				
1200		8	3				

2. วันที่ 23 กุมภาพันธ์ เวลาเที่ยงแบริงแหลมแห่งหนึ่ง (แลต.40°45' ต. ลอง.150°40' ตก.) ด้วยเข็มเรือได้ 175° ดิวิเอชั่น 13° อ. ระยะห่าง 10 ไมล์ แล้วแล่นต่อไปตามรายการต่อไปนี้ จงหาที่เรือเวลาเที่ยงของวันรุ่งขึ้น และเข็มจริงและระยะทางที่เดินเข็มเดียวจากเวลาเที่ยงถึงเที่ยง

เวลา	เข็มเรือ	นอต	1/10	ลม	ลีเวย์ ปอยนต์	ดิวิ.	หมายเหตุ
1300	065°	12	5	วนว.	0	33° ตก.	วาริเอชั่น 14° อ.
1400		12	5				
1500		12	5				
1600		12	5				
1700	115	7	0	นอ/อ.	½	22° ตก.	กระแสน้ำไหลไปใน
1800		7	0				ทิศ 045° (แม่เหล็ก)
1900		7	0				ระยะทาง 13 ไมล์
2000		8	0				
2100	042	8	0	อ/ช.	½	31° ตก.	
2200		8	0				
2300		8	0				
2400		8	0				
0100	093	9	5	นอ/น.	½	31° ตก.	
0200		9	5				
0300		8	5				
0400		8	5				
0500	118	6	0	นอ/อ.	½	17° ตก.	
0600		6	0				
0700		5	0				
0800		5	0				
0900	309	10	0	นอ/อ.	¼	18° ตก.	
1000		10	0				
1100		10	0				
1200		9	0				

3. วันที่ 31 มกราคม เรือลำหนึ่งแบริงหินกองหนึ่งใน แลต.41°49' ต. ลอง.41°30' ตก. โดยเข็มเรือได้ 165° ระยะห่าง 16 ไมล์ (ทิศหัวเรือ 051°) แล้วแล่นตามรายการต่าง ๆ ต่อไปนี้ จงหาที่เรือเวลาเที่ยงวันรุ่งขึ้น เข็มจริง และระยะทางที่เดินเข็มเดียวจากหิน และถ้าที่เรือเวลาเที่ยงวันรุ่งขึ้น โดยตรวจอยู่ใน แลต.39°50' ต. ลอง. 10°05' ตก. จงหาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ

เวลา	เข็มเรือ	นอต	$\frac{1}{10}$	ฉม	ลีเวย์ ปอยน์ต์	ดัริ.	หมายเหตุ
1300	051	4	6	ฉนว.	$1\frac{1}{2}$	8° อ.	
1400		4	6				
1500		4	4				
1600		4	4				
1700	000	5	3	วนว.	$1\frac{1}{4}$	11° อ.	วาริเอชั่น 10° อ.
1800		5	2				
1900		5	3				
2000		5	2				
2100	323	4	3	วชว.	$1\frac{1}{2}$	3° อ.	
2200		4	3				
2300		4	3				
2400		4	1				
0100	315	3	5	ชว/ช.	$1\frac{1}{2}$	0°	
0200		3	5				
0300		3	5				
0400		3	5				
0500	270	6	4	ช.	$\frac{1}{4}$	6° ตก.	
0600		6	4				
0700		6	4				
0800		6	4				
0900		6	4				
1000		6	4				
1100		6	3				
1200		6	3				

4. เวลา 0600 เรือตรวจภาษีลำหนึ่งได้แล่นออกจากที่ทอดสมอเมืองนิวลอนดอน แลต.41°20' น. ลอง.72°05' ตก. เพื่อไปทำการตรวจตามหน้าที่ด้วยอัตราเร็ว 16 นอต จนกระทั่งเวลา 0080 ได้แล่นตามเข็มจริง และระยะทางต่าง ๆ ต่อไปนี้

เข็ม 180° ระยะทาง 4 ไมล์, เข็ม 118° ระยะทาง 16.5 ไมล์, เข็ม 185° ระยะทาง 11.5 ไมล์

ครั้นเวลา 0800 ได้แลเห็นเรือกลไฟที่น่าสงสัยลำหนึ่งจึงได้แล่นติดตามด้วยเข็ม 285° ได้แล่นไปไกลถึง 10.5 ไมล์ จึงจับได้ ครั้นแล้วจูงเรือที่น่าสงสัยลำนั้นมาแล่นตามเข็ม และระยะทางต่างๆ ต่อไปนี้แล้วทอดสมอ

เข็ม 090° ระยะทาง 11 ไมล์, เข็ม 009° ระยะทาง 9.5 ไมล์, เข็ม 294° ระยะทาง 17.1 ไมล์, เข็ม 355° ระยะทาง 4.2 ไมล์ จงหาโดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง

(ก) ละติจูดและลองจิจูดของตำบลที่เรือกลไฟถูกจับ

(ข) ละติจูดและลองจิจูดของที่ทอดสมอ

ตอบ (ก) แลด.40°59'.4 น. ลอง.72°00'.4 ตก.

(ข) แลด.41°20'.0 น. ลอง 72°05'.0 ตก.

5. เรือลำหนึ่งอยู่ในแลด.10°14' ต. ลอง.101°52' ตก. แล่นเข็มเรือ 122° ระยะทาง 230 ไมล์ วาริ. 9°อ. ดิวิ. 1°ตก. แล้วแล่นเข็มเรือ 173° วาริ.10°อ. ดิวิ.3°อ. จงหาละติจูดและลองจิจูดของจุดที่เรือถึงโดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลาง

(ตอบ แลด.17°55'.1 ต. ลอง.99°24'.3 ตก.)

6. เรือลำหนึ่งอยู่ใน แลด.49°53' น. ลอง.5°46' ตก. แล่นตามเข็มและระยะทางต่าง ๆ ต่อไปนี้

เข็มเรือ	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่น	ระยะทาง
150°	16° ตก.	2° อ.	42 ไมล์
241	16 ตก.	1 ตก.	73 ,,
333	17 ตก.	2 ตก.	119 ,,
281	17 ตก.	1 ตก.	52 ,,

จงหาเข็มจริงและระยะทางที่เดินเข็มเดียว โดยวิธีรายงานประจำวัน และละติจูดและลองจิจูดของจุดถึง

(ตอบ เข็มจริง 267°.7, ระยะทาง 158.8 ไมล์, แลด.49°46'.7 น. ลอง. 9°52'.0 ตก.)

วิธีทำรายงานประจำวันโดยการขีดลงในแผนที่

ในทางปฏิบัติในสมัยปัจจุบันนี้นักเดินเรือเป็นส่วนมากทำรายงานประจำวันโดยการขีดลงในแผนที่ในบริเวณที่เรือแล่นอยู่ หรือขีดลงในแผ่นจดที่เรือ (plotting sheet) แผ่นจดที่เรือนี้เป็นแผนที่เดินเรือที่ว่างเปล่าแต่ได้ตีเส้นละติจูด และลองจิจูดไว้ตามวิธีขยายแบบเมอเคเตอร์ และมีวงเข็มจริงเขียนกำกับไว้หนึ่งวง การทำรายงานประจำวันโดยวิธีขีดลงในแผนที่หรือแผ่นจดที่เรือนี้มีข้อดีมากกว่า วิธีทำโดยคำนวณที่ได้กล่าวมาแล้วหลายประการ ข้อสำคัญก็คือว่าความผิดอันเกิดจากการคำนวณนั้นมีน้อยมาก และทำให้นักเดินเรือสามารถเห็นผลถูกผิดของงานที่ทำไป และทราบตำบลที่เรือซึ่งเกี่ยวเนื่องอยู่กับสิ่งอันตรายในการเดินเรือและวัตถุบนบก

ในการเตรียมหารายการที่จำเป็นต่าง ๆ สำหรับทำรายงานประจำวันนั้น นักเดินเรือควรเตรียมสมุดโน๊ตไว้หนึ่งเล่มสำหรับจดเวลาและรายการอื่น ๆ ของการเปลี่ยนเข็มและ

อัตราเร็ว, แบริง, การหยั่งน้ำ, เวลาที่เรือแล่นและทอดสมอ, ความกินน้ำลึก และรายการที่จำเป็นอื่น ๆ สำหรับการทำเมื่อใช้ตรวจวัตถุท้องฟ้า

เรือในสมัยปัจจุบันนี้ บางลำได้ติดเครื่องประดิษฐ์ไฟฟ้าสำหรับทำรายงานประจำวันไว้ เครื่องประดิษฐ์นี้เหมาะสะดวกมาก แต่ถึงกระนั้นก็ตาม นักเดินเรือก็หาอาจทิ้งวิธีคำนวณรายงานประจำวันแบบเก่าเสียได้ไม่ เพื่อจะได้ตรวจสอบดูความถูกต้อง

เครื่องประดิษฐ์นี้เรียกว่า "เครื่องจดรายงานประจำวัน" (Dead reckoning tracer) ในการใช้นั้นเอาเข็มเรือที่ได้จากเข็มทิศไยโร และอัตราเร็วที่ได้จากเครื่องวัดรอบเพลาใบจักร ไปตั้งร่วมกันลงในเครื่องประดิษฐ์ เพื่อบีดหาแนวทางเรือที่แล่นไปในแผนที่เดินเรือหรือแผ่นจดที่เรือ

นอกจากนี้แล้ว เพื่อบีดทางเรือเครื่องนี้ยังมีหน้าปัดต่าง ๆ อีกหลายอัน คือ หน้าปัดบอกจำนวนไมล์ทั้งหมดที่แล่นไปได้ จำนวนไมล์ทั้งหมดที่แล่นไปทางเหนือและทางตะวันออก (ส่วนที่แล่นไปทางใต้และตะวันตกนั้นคิดหักลบไปในตัว) ทิศหัวเรือโดยเข็มเรือละติจูดและลองจิจูดของเรือที่อยู่ในขณะนั้น

ตอนที่ 8
แผนที่วงใหญ่ แล่นเรือวงใหญ่และแล่นเรือผสม

วงกลมเป็นพื้นตรงซึ่งมีเส้นรอบวงล้อมไว้รอบ แต่ตามปรกติที่ใช้กันมักเรียกเส้นรอบวงนี้ว่าวงกลม

ตามหลักของเรขาคณิตทรงกลม วงใหญ่ทุกวงต่างแบ่งวงใหญ่อื่น ๆ ทุกวงออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน เพราะฉะนั้นอิเควเตอร์จึงแบ่งวงใหญ่อื่น ๆ ของโลกทุกวงออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน และในทำนองเดียวกันถ้ายืดทางวงใหญ่ทุกทางออกไปให้รอบโลกแล้ว ครึ่งหนึ่งของทางวงใหญ่จะอยู่กึ่งทรงกลมเหนือ และอีกครึ่งหนึ่งจะอยู่ในกึ่งทรงกลมใต้ และจุดกึ่งกลางของแต่ละครึ่งวงใหญ่จะอยู่ห่างไกลที่สุดจากอิเควเตอร์ จุดกลางนี้ซึ่งวงใหญ่ขึ้นไปถึงละติจูดสูงสุดของมัน เรียกว่า "เวอร์เทกซ์" (Vertex) หรืออีกนัยหนึ่งจุดเวอร์เทกซ์นี้เป็นจุดที่วงใหญ่อยู่ใกล้ขั้วโลกที่สุด ณ จุดนี้วงใหญ่หยุดเดินเข้าหาขั้วโลกและเริ่มต้นหันออก เพราะฉะนั้นวงใหญ่จึงตัดกับเมริเดียนเป็นมุมฉากที่จุดเวอร์เทกซ์ เมริเดียนซึ่งผ่านเวอร์เท็กซ์เรียกว่า "เมริเดียนของเวอร์เทกซ์ (meridian of vertex) เมริเดียนตัดกับอิเควเตอร์เป็นมุมฉากแต่วงใหญ่อื่น ๆ (ซึ่งไม่ใช่เมริเดียน) ตัดกับอิเควเตอร์เอียงเป็นมุมมากบ้างน้อยบ้าง

การเปรียบเทียบเส้นเกลียวและวงใหญ่ เส้นตรงเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดในระหว่างจุดสองจุดและเมื่อจุดทั้งสองอยู่บนทรงกลมแล้ว ขอบของวงใหญ่ซึ่งต่อจุดทั้งสองจึงเป็นเส้นโค้งซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงเกือบเป็นเส้นตรงมากที่สุดเพราะว่ามีรัศมียาวที่สุด ฉะนั้นจึงมีความโค้งน้อยที่สุด เพราะฉะนั้นขอบวงใหญ่ขอบสั้นซึ่งต่อระหว่างที่สองตำบลบนผิวพื้นโลก จึงเป็นทางเรือที่สั้นที่สุดในระหว่างตำบลทั้งสองนั้น ความแตกต่างกันในระหว่างระยะทางตามขอบวงใหญ่และระยะทางตามเส้นเกลียวอาจแตกต่างกันได้ตั้งหลายร้อยไมล์ เช่น ระยะทางตามขอบวงใหญ่ จากเมืองชิดนีย์ในออสเตรเลียไปยังเมืองวัลปาไรโซในประเทศชิลีนั้นสั้นกว่าระยะทางตามเส้นเกลียวถึง 748 ไมล์ ฉะนั้นย่อมเห็นประจักษ์ว่าการที่แตกต่างกันมากถึงเพียงนั้นจึงเป็นการจำเป็นที่จะต้องเอามาคิดในเมื่อขีดเป็นทางเรือ เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติเมื่อต้องการประหยัดเวลาแล่นเรือ และประหยัดเชื้อเพลิงแล้วจึงต้องแล่นเรือตามเส้นทางวงใหญ่ และถึงแม้ว่าเส้นเกลียวมีความสะดวกเหมาะสม ดังได้กล่าวมาแล้วก็ตาม ก็ไม่ควรใช้เส้นเกลียวในการแล่นเรือระยะทางไกล ๆ เว้นไว้แต่ในกรณีที่กล่าวไว้ข้างล่างนี้

ในบางกรณีระยะทางตามขอบวงใหญ่ ในระหว่างที่สองตำบลไม่สั้นกว่าระยะทางตามเส้นเกลียวเท่าใดนัก กรณีเหล่านี้อาจสรุปนัยดังต่อไปนี้

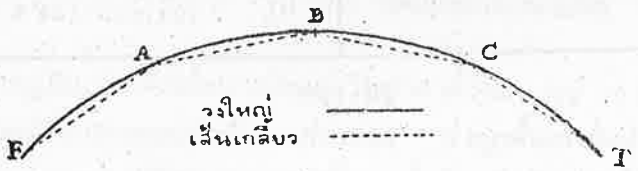
1. สำหรับระยะทางสั้น ๆ แล้วเส้นเกลียวและขอบวงใหญ่เกือบร่วมทับกันสนิท

2. เส้นเกลียวในระหว่างตำบลที่ที่เกือบอยู่บนเมริเดียนเดียวกันย่อมเกือบเป็นวงใหญ่มาก

3. อิเควเตอร์เป็นทั้งเส้นเกลียวและวงใหญ่ วงขนานละติจูดซึ่งอยู่ใกล้ ๆ อิเคว-

เตอร์ย่อมเกือบเป็นวงใหญ่มาก เพราะฉะนั้นในละติจูดต่ำ ๆ การแล่นเรือขนานซึ่งเป็นการแล่นเรือบนเส้นเกลียวิธีหนึ่งจึงมีระยะทางสั้นเกือบเท่ากับแล่นเรือวงใหญ่

ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในตอนที่ 4 วงใหญ่ใด ๆ นอกจากอิเควเตอร์แล้วย่อมตัดกับเมริเดียนทุก ๆ เมริเดียนเป็นมุมต่าง ๆ กัน เพราะฉะนั้นเข็มของเรือซึ่งแล่นไปตามทางวงใหญ่ในระหว่างตำบลที่ที่กำหนดให้จึงควรจะเปลี่ยนเข็มทุก ๆ เมริเดียนติดต่อเรื่อย ๆ ไป เพื่อให้เหมาะสมกันกับมุมนี้ คือว่าค่อย ๆ เปลี่ยนเข็มทีละน้อย แต่โดยที่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถที่จะเปลี่ยนเข็มของเรือเป็นการประจำทุก ๆ เมริเดียนเช่นว่านั้นได้ ฉะนั้นปฏิบัติจึงเลือกใช้วิธีแล่นเข็มประจำไปจนกว่าจะถึงกำหนดระยะเวลาเปลี่ยนเข็ม (หรือคือวิธีเปลี่ยนเข็มตามกำหนดระยะเวลาประจำ) กำหนดระยะเวลาเปลี่ยนเข็มนี้เป็นกำหนดระยะเวลาประจำ เพราะฉะนั้นเมื่อแล่นเรือไปตามทางวงใหญ่จึงเป็นการแล่นเรือไปตามเส้นเกลียวเป็นชุด ๆ ไปนั่นเองในระหว่างจุดที่ต่อเนื่องกันบนวงใหญ่ วิธีการนี้เรียกว่าวิธี "แล่นเรือวงใหญ่" (Great Circle Sailing)

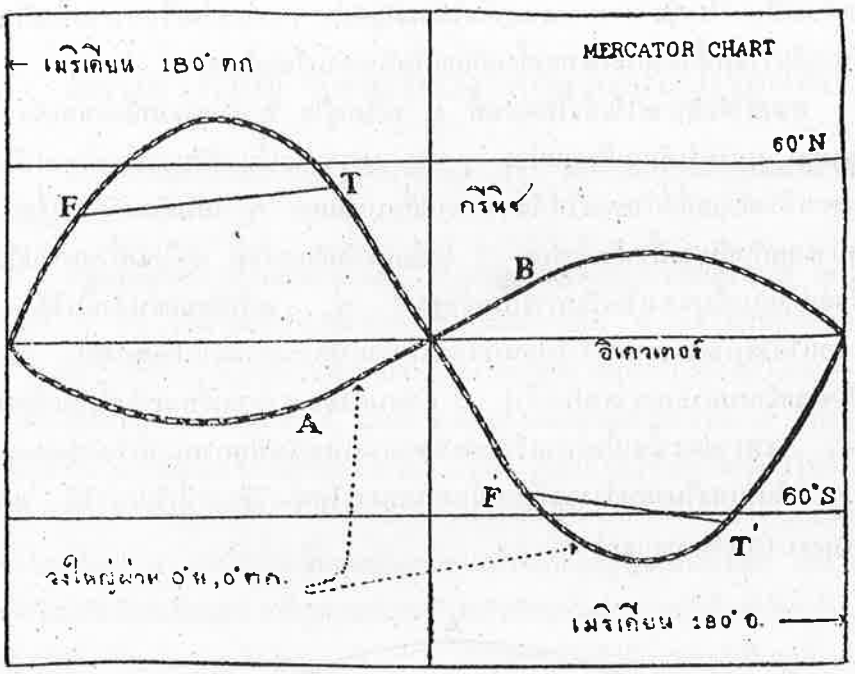


รูป 158

รูป 158 (ซึ่งเป็นการเขียนตามวิธีเมอเคเตอร์)แสดงเส้นเกลียวเป็นชุด ๆ ของวงใหญ่ซึ่งนักเดินเรือจะต้องเปลี่ยนเข็มที่ A,B และ C และต้องเลือกความยาว FA, AB ... . เอาให้เหมาะให้สะดวกเช่นความยาว FA ควรเป็นระยะเวลาที่เรือแล่นในเวลา 12 ชั่วโมง

ทางวงใหญ่ในแผนที่เมอเคเตอร์ ในแผนที่เมอเคเตอร์มีเฉพาะแต่เส้นเกลียวเท่านั้นที่ปรากฏเห็นเป็นเส้นตรง ฉะนั้นวงใหญ่จึงปรากฏเป็นเส้นโค้ง

จากสภาพของเส้นเกลียวจะเห็นได้ว่า ทางวงใหญ่ในระหว่างที่สองตำบลในกึ่งทรงกลมเดียวกัน จะอยู่ใกล้ขั้วโลกมากกว่าเส้นเกลียว ถ้าตำบลที่ทั้งสองนั้นต่างอยู่ในกึ่งทรงกลมเหนือด้วยกันทั้งคู่แล้วทางวงใหญ่ทุกแห่งจะอยู่ทางเหนือของแนวทางเมอเคเตอร์ เช่นในรูป 159 วงใหญ่ที่ต่อ F และ T จะไปอยู่ทางขั้วโลกของเส้นเกลียวซึ่งต่อจุดทั้งสองเสนอและถ้าละติจูดเปลี่ยนระหว่าง F และ T มีน้อยแต่มีลองจิจูดเปลี่ยนมากแล้ว จะเห็นได้ทันทีว่าเส้นทางทั้งสองนั้นแตกต่างกันมากและถ้าตำบลทั้งสองนั้น ต่างอยู่ในกึ่งทรงกลมใต้ด้วยกันแล้วทางวงใหญ่ทุกแห่งจะอยู่ทางใต้ของเมอเคเตอร์ เช่นวงใหญ่ที่ต่อ F' และ T' และถ้าตำบลทั้งสองต่างอยู่ในกึ่งทรงกลมต่างกันแล้วเช่นที่ A และ B แล้ว เส้นเกลียวก็เกือบทับ

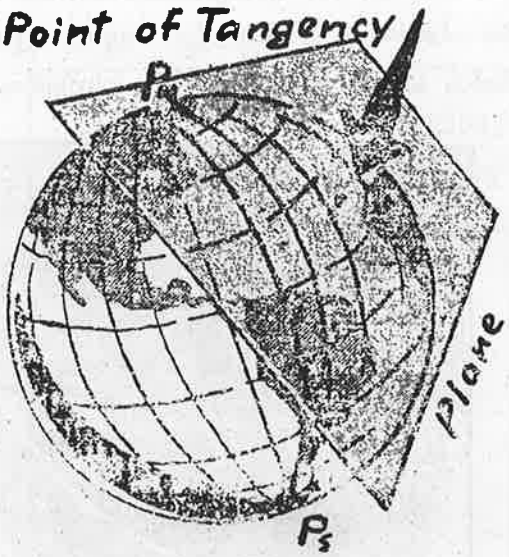


รูป 159

ร่วมกับวงใหญ่ ทางวงใหญ่จะตัดกับทางเมอเคเตอร์ โดยทางวงใหญ่บางส่วนจะอยู่ทางเหนือของทางเมอเคเตอร์ และบางส่วนอยู่ทางใต้ ถ้าละติจูดเปลี่ยนในระหว่าง A และ B มีมากแล้วจะเห็นได้ชัดเจนว่าวงใหญ่บางส่วนอยู่ทางเหนือของทางเมอเคเตอร์และบางส่วนอยู่ทางใต้ เพราะฉะนั้นเมื่อเขียนวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ จึงปรากฏเป็นเส้นโค้งอยู่ใกล้ไปทางขั้วโลกมากกว่าเส้นเกลียวที่ต่อตำบลทั้งสองนั้น

ทางวงใหญ่อาจเขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์ได้ โดยคำนวณหาจุดของเส้นทางนั้นไว้หลาย ๆ จุด แล้วเขียนเส้นโค้งให้ผ่านจุดเหล่านั้นให้ได้รูปพองาม

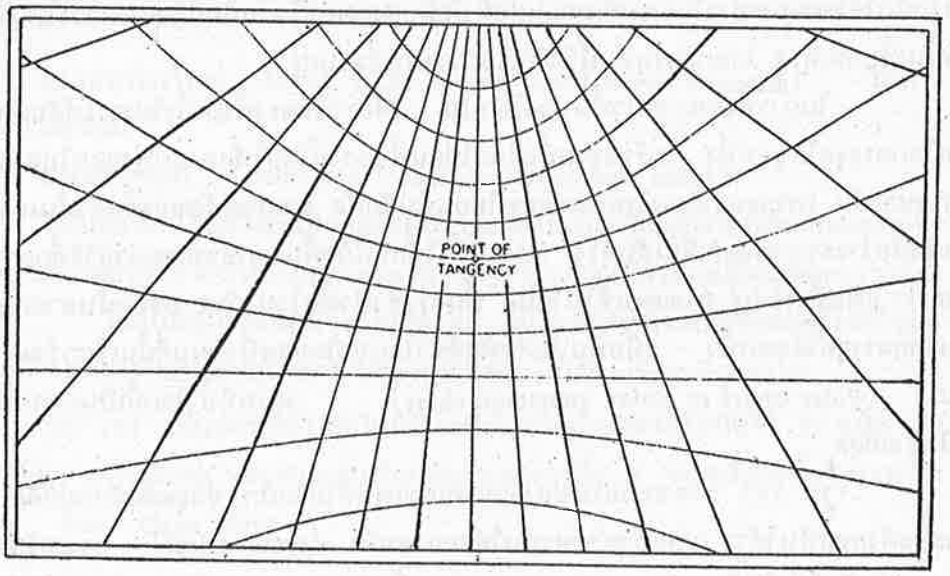
แผนที่วงใหญ่หรือแผนที่โนโมนิก (Great circle or Gnomonic Charts) เมื่อทำการเกี่ยวกับวงใหญ่แล้วควรมีแผนที่ซึ่งวงใหญ่ปรากฏเป็นเส้นตรงในแผนที่นั้นจึงจะสะดวก เช่นเดียวกับที่ได้ความสะดวกในการใช้เส้นเกลียวที่ต้องมีแผนที่เมอเคเตอร์ ซึ่งบรรดาเส้นเกลียวทั้งหลายปรากฏเป็นเส้นตรงทั้งสิ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยให้นักเดินเรือหาทางวงใหญ่ในระหว่างที่สองตำบลได้ เพราะฉะนั้นจึงต้องสร้างแผนที่ชนิดหนึ่งขึ้น ซึ่งบรรดาเส้นตรงต่าง ๆ ที่เขียนลงในแผนที่นั้นแทนวงใหญ่ แผ่นที่นี้เรียกว่า "แผนที่วงใหญ่" หรือ "แผนที่โนโมนิก" (Great circle or Gnomonic Charts) การสร้างใช้ขยายผิวพื้นโลกจากศูนย์กลางโลกไปยังพื้นโลกที่สัมผัสกับโลกที่จุดใดจุดหนึ่งที่เหมาะ (รูป 160) วิธีขยายแบบนี้เรียกว่าโนโมนิก (Gnomonic projection) เมริเดียนปรากฏเป็นเส้นตรงสอบไปรวมกันที่ขั้วโลก และวง



รูป 160 วิธีขยายแบบโนโมนิก

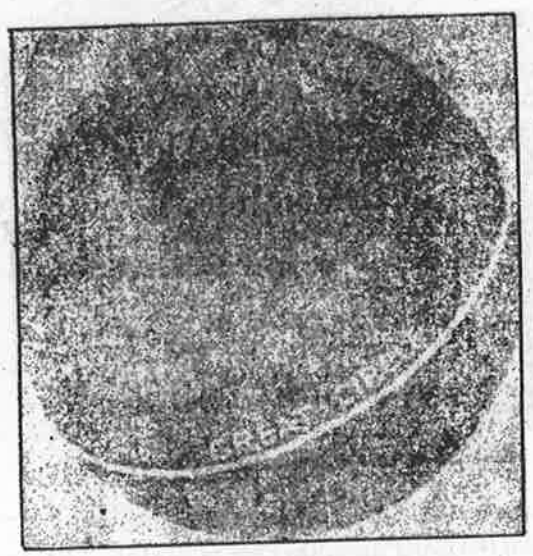
ขนานละติจูดปรากฏเป็นเส้นโค้งไม่ขนานกันแต่เว้าเข้าหาขั้วโลก (รูป 161)

วงใหญ่เป็นวงกลมบนผิวพื้นของทรงกลม ซึ่งถูกพื้นตรงตัดผ่านศูนย์กลางของวงกลมเข้าไป(ดูรูป 162) ให้พิจารณาเอาว่าพื้นตรงซึ่งตัดวงใหญ่ของโลกนั้นได้ยื่นพ้นผิวโลกออกไป โดยที่พื้นตรงตัดกับพื้นตรงเป็นเส้นตรงเสมอฉะนั้น พื้นตรงเหล่านี้จะตัดกับพื้นตรงอื่นๆ



รูป 161 แผนที่โนโมนิก

เป็นเส้นตรง ฉะนั้นวงใหญ่ทั้งหลายจะปรากฏเป็นเส้นตรงในแผนที่แต่เมริเดียนจะไม่ขนานกัน เว้นไว้แต่ว่าจุด สัมผัส (point of tangency) อยู่ที่อิเควเตอร์และเส้นเกลียวก็ไม่เป็นเส้นตรง มุมต่าง ๆ ก็บิดด้วย นอกจากที่จุดสัมผัสเท่านั้น การบิดตัวของแผนที่ทวีมากขึ้นเมื่อระยะ

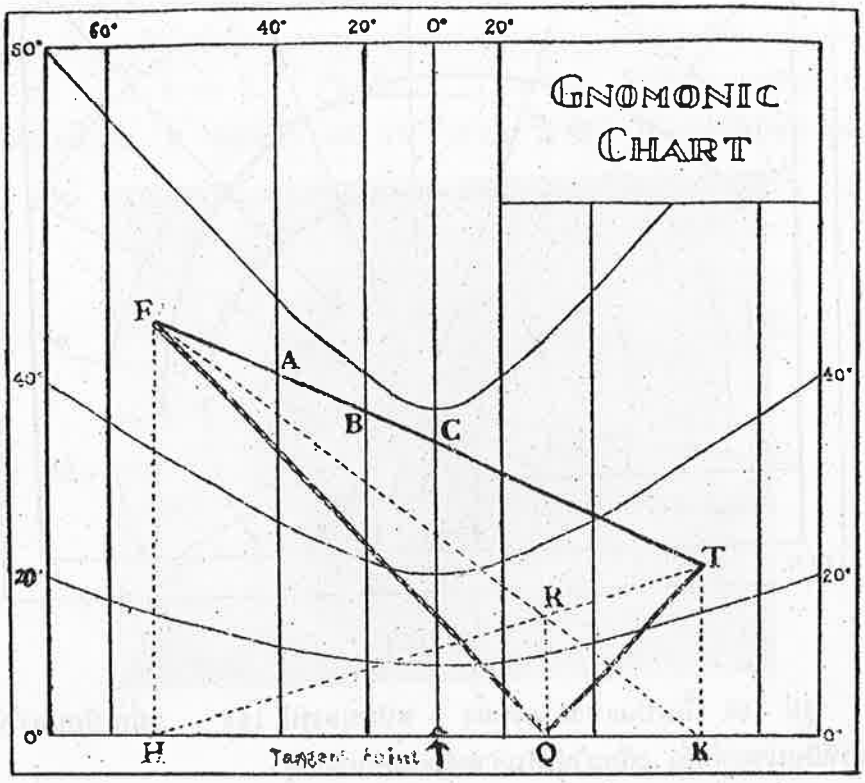


รูป 162

ทางยิ่งห่างออกไปจากจุดสัมผัส ฉะนั้นจึงไม่สามารถวัดทิศหาเข็มและระยะทางจากแผนที่โนโมนิกได้โดยตรงอย่างในแผนที่เมอเคเตอร์ ข้อดีของแผนที่โนโมนิกก็คือบรรดาวงใหญ่ที่เขียนลงนั้นเป็นเส้นตรง โดยเหตุผลอันนี้จึงมักเรียกว่าแผนที่วงใหญ่

ในการที่จะขยายผิวพื้นของโลกนั้น ให้เอาพื้นตรงพื้นหนึ่งไปวางให้สัมผัสกับผิวพื้นโลกตรงจุดใดจุดหนึ่ง แล้วขยายพื้นโลกไปบนพื้นตรงนี้โดยให้แสงแผ่พุ่งออกไปจากศูนย์กลางของมัน เพราะฉะนั้นวงใหญ่จะขยายไปบนพื้นสัมผัส ตามรอยตัดของพื้นตัวมันเองกับพื้นสัมผัสคือว่าจะขยายออกเป็นเส้นตรง แผนที่ซึ่งใช้แทนผิวพื้นโลกซึ่งขยายตามวิธีที่กล่าวแล้วนี้เรียกว่า แผนที่วงใหญ่ หรือแผนที่โนโมนิก พื้นตรงซึ่งผิวพื้นโลกได้ขยายออกนั้นอาจสัมผัสกับพื้นโลกตรงจุดใดจุดหนึ่ง เมื่อพื้นนั้นสัมผัสที่ขั้วโลกขั้วใดขั้วหนึ่งแผนที่นั้นเรียกว่าแผนที่ขั้วโลก (Polar chart or polar gnomonic chart) แผนที่ขั้วโลกนี้เป็นแผนที่วงใหญ่ชนิดง่ายที่สุด

รูป 163 แสดงการแบ่งช่องตารางของแผนที่โนโมนิก ซึ่งจุดสัมผัสอยู่ที่อิเควเตอร์ และจะสังเกตเห็นได้ว่า การแบ่งช่องตารางได้สมมาตรกัน (symmetrical) ตรงเมริเดียนซึ่งผ่านจุดสัมผัสนี้ซึ่งไม่ต้องอาศัยลองจิจูด เพราะฉะนั้นจึงเลือกมาตราส่วนลองจิจูดเอาได้ตามใจชอบเพื่อให้เหมาะสมกับความสะดวกของนักเดินเรือ ตามรูปนั้นจุดสัมผัสอยู่ที่ลองจิจูด 0°



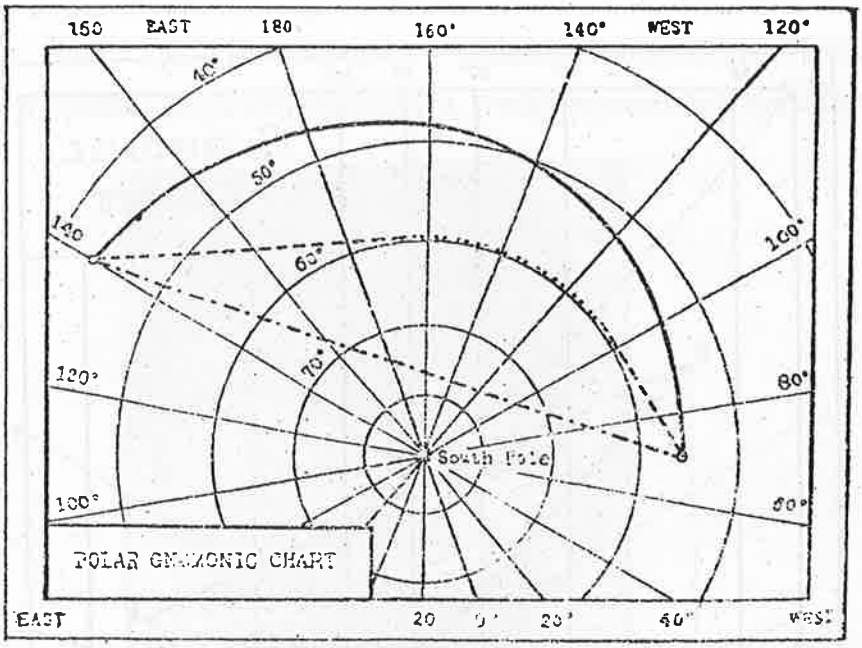
รูป 163

แผนภาพวงใหญ่ Meade (The Meade Great-Circle Diagram) ใช้การแบ่งช่องตารางชนิดนี้

แผ่นที่ขั้วโลก (Polar chart or Polar Gnomonic chart)

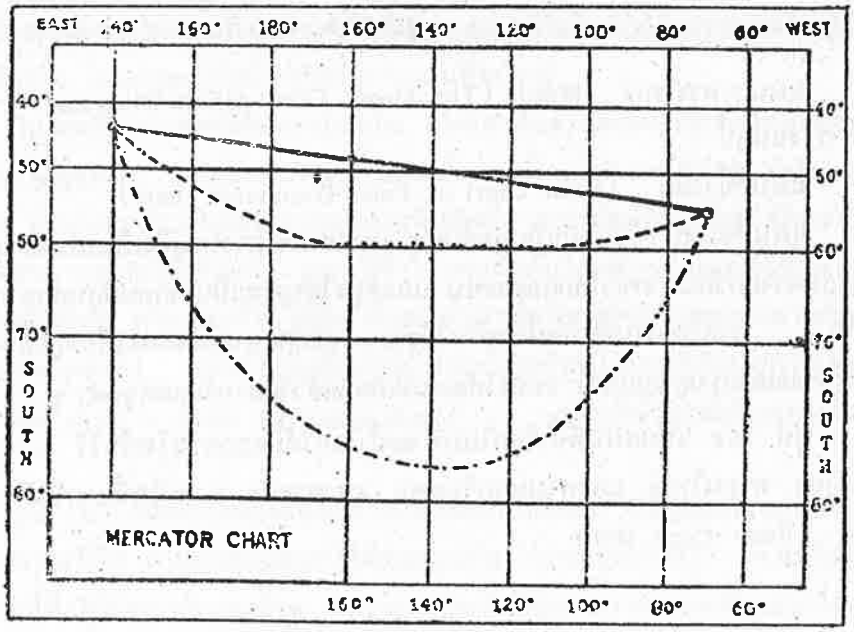
แผนที่ชนิดนี้ใช้ขั้วโลกเป็นจุดสัมผัส เพราะฉะนั้นวงใหญ่จึงเป็นเส้นตรงและเมริเดียนเป็นเส้นตรงแผ่รัศมีจากขั้วโลกและวงขนานละติจูดได้ขยายเป็นวงกลมมีศูนย์กลางร่วมกันอยู่ที่ขั้วโลก ฉะนั้นแผนที่ชนิดนี้จึงอ่านได้ง่าย แม้ว่าแผนที่นี้จะละเอียดถูกต้องดีในละละติจูดสูงก็ตามแต่การขยายแบบนี้ จะทำให้แผนที่เกิดบิดตัวได้สำหรับละติจูดต่ำ ๆ

รูป 164 เป็นแผนที่ขั้วโลกในบริเวณขั้วโลกใต้มีแนวทางเรือขีดไว้ 3 ชนิด คือ ทางเส้นเกลียว ทางวงใหญ่ และทางแล่นเรือผสม แนวทางทั้ง 3 ชนิดนี้ลากขึ้นในระหว่าง Tasmania และ Cape Horn



รูป 164

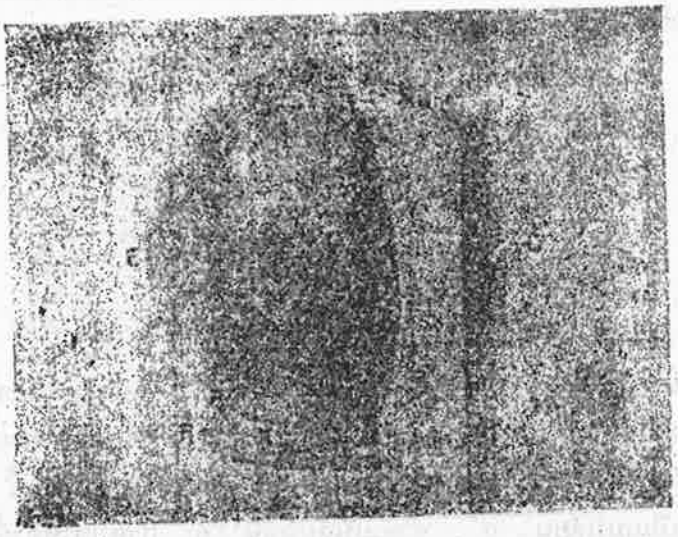
รูป 165 นั้นเป็นแนวทางเรือทั้ง 3 ชนิดของรูป 164 เมื่อเขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์ที่มีขนาดเท่ากัน เขียนให้เห็นสำหรับเปรียบเทียบดู



ทางวงใหญ่
ทางเส้นเกลียว
ทางแล่นเรือผสม

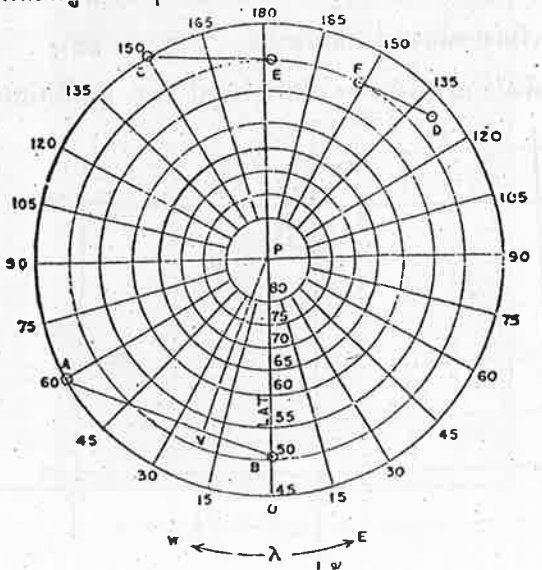
รูป 165

การสร้างแผนที่ขั้วโลก ในรูป 166 ให้ AB เป็นพื้นตรงสัมผัสกับโลกที่ขั้วโลก S ให้ PP' เป็นวงขนานละติจูดซึ่งขยายอยู่บนพื้น AB ดังที่ได้เขียนไว้เป็นวงกลมที่ P_1 P_1' ให้ R = รัศมีของโลกและ x เป็นรัศมีของวงขนานละติจูดที่ได้ขยายออก เพราะฉะนั้นจากรูป, $x = R \cot L$ (ในเมื่อ L = ละลิจูด) รัศมีของวงละติจูด 45° ภายหลังที่ขยายแล้วเท่ากับ R เพราะว่า cot 45° เท่ากับ 1 รัศมี นี้เรียกว่ารัศมีของแผนที่ การ



รูป 166

หารัศมีของวงขนานละติจูดใด ๆ ในแผนที่ใช้สูตร $x = R \cot L$ ซึ่ง R เป็นจำนวนหน่วยของมาตราส่วนของรัศมีของวงขนานละติจูด 45° ซึ่งได้ขยายแล้ว การหาความยาวของหนึ่งองศาลองจิจูด ที่วงขนานละติจูดใด ๆ ให้หาร $2\pi x$ ด้วย 360°



รูป 167 แผนที่ขั้วโลก

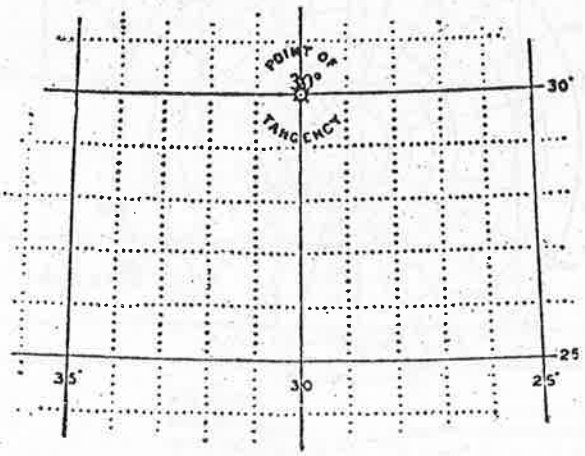
ตามรูป 167 สร้างแผนที่ขั้วโลก ให้มีอาณาเขตผิวพื้นโลกตั้งแต่แลต.45° น. ถึงขั้วโลก ให้วงขนานละดิจูดห่างกัน 5° เมริเดียน ห่างกัน 15° และให้ R =36 มม. ในการหา cotangent ของละดิจูดใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง จะได้ค่าของ x ดังต่อไปนี้

มาตราส่วน: รัศมีที่ละดิจูด 45°=36 มม.

สำหรับรัศมีของแลต. 50°, x = 36 × 0.839 = 30.204 มม.
" 55°, x = 33 × 0.700 = 25.200 "
" 60°, x = 36 × 0.577 = 20.772 "
" 65°, x = 36 × 0.466 = 16.776 "
" 70°, x = 36 × 0.364 = 13.104 "
" 75°, x = 36 × 0.268 = 9.648 "
" 80°, x = 36 × 0.176 = 6.336 "

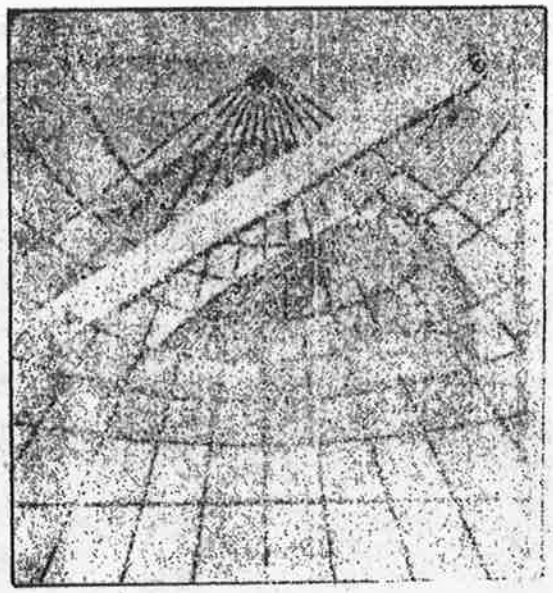
เขียนวงกลมมีจุดศูนย์กลางร่วมกันด้วยรัศมีต่าง ๆ เหล่านี้ และทั้ง R =36 มม. ด้วย ให้ใส่จำนวนเลขกำกับวงขนานละดิจูดให้ถูกต้อง และใช้โปรแตรกเตอร์แบ่งเส้นรอบวงขอบนอกออกเป็นส่วน ๆ ส่วนละ. 15° ลากรัศมีผ่านจุดต่าง ๆ เหล่านี้ ให้เส้นเมริเดียนเหล่านี้เส้นหนึ่งเป็นเมริเดียน 0° ส่วนเมริเดียนอื่น ๆ กำหนดให้ดังที่ได้ให้ไว้ในแผนที่ ให้ลองจิจูดตะวันตกอยู่ทางซ้ายลองจิจูดตะวันออกอยู่ทางขวา ในเมื่อหันหน้าไปยังขั้วเหนือดังนี้เป็นอันว่าได้เขียนแผนที่เสร็จแล้วแต่ว่าไม่มีแนวขอบฝั่ง

แผนที่วงใหญ่ กรมอุทกศาสตร์อเมริกันได้พิมพ์แผนที่ ซึ่งขยายโดยวิธีโนโมนิกออกจำหน่ายเป็นชุด ๆ สำหรับเขตที่ใช้เดินเรือกันอยู่เสมอ จุดสัมผัสของแผนที่น่านน้ำเหล่านั้นซึ่งนักเดินเรือใช้กันตามปรกติไม่ได้อยู่ที่ขั้วโลก แต่ได้เลือกเอาสำหรับแต่ละแผ่น เพื่อให้มีการบิดตัวน้อยที่สุดสำหรับเขตของแผ่นที่แผ่นนั้น ๆ เช่น แผนที่วงใหญ่ของมหาสมุทรอัตลันติกเหนือ ดังมีส่วนหนึ่งแสดงให้เห็นในรูป 168 จุดสัมผัสอยู่ในละดิจูด 30° เหนือ

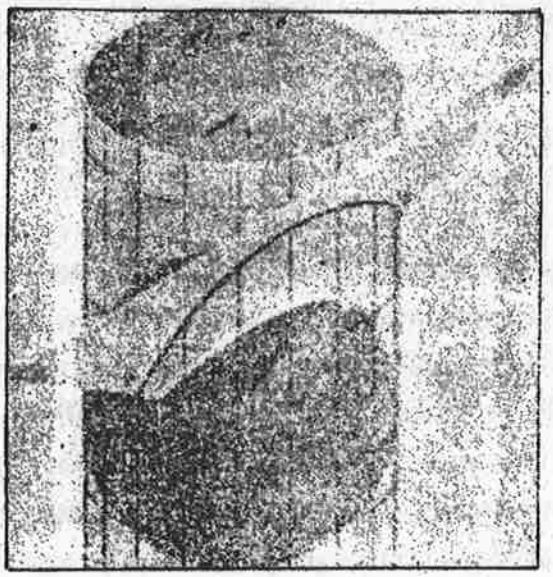


รูป 168

ในแผนที่วงใหญ่นี้ปรากฏว่า เมริเดียนเป็นเส้นตรงสอบไปรวมกันที่ขั้วโลกและวงขนานละติจูดก็เป็นเส้นโค้งไม่ขนานกัน แต่เว้าเข้าหาขั้วโลก เช่น ในรูป 169. A และ B เป็นจุดสองจุดบนพื้นผิวโลก A และ B' เป็นตำบลที่เดียวกันซึ่งปรากฏอยู่บนแผนที่วงใหญ่ ในรูปได้แสดงให้เห็นวงใหญ่ซึ่งผ่านตลอด A และ B ขอบ AB ได้ขยายลงบนแผนที่ และพื้นของวงใหญ่และพื้นของแผนที่ได้ตัดกันขึ้นให้เห็นในเส้นตรง A' B'



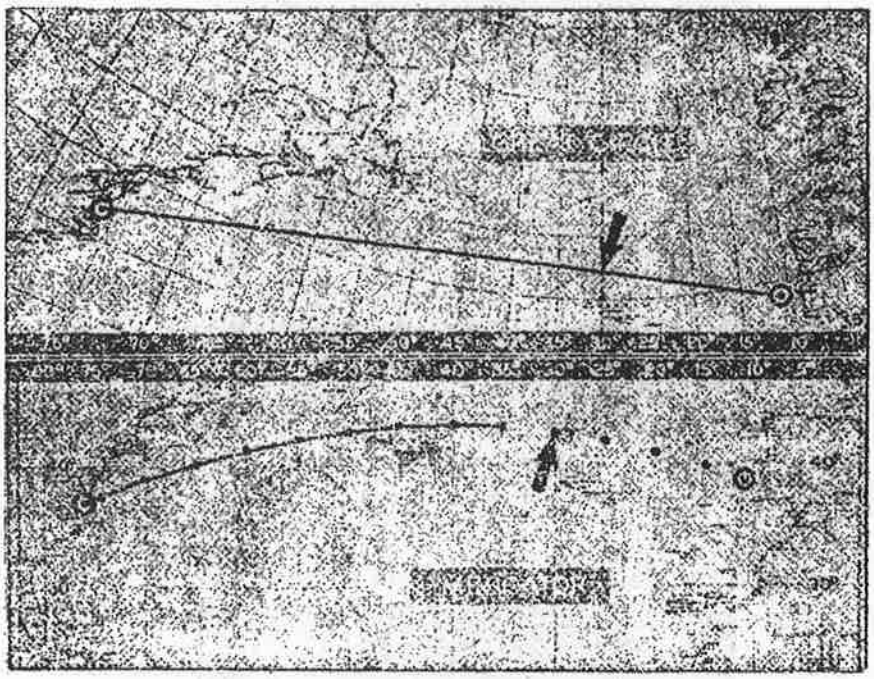
รูป 169



รูป 170

ทางวงใหญ่ AB อันเดียวกันนี้ได้ขยายลงบนแผนที่เมอเคเตอร์ ดังได้แสดงไว้ใน รูป 170 ตามรูปจะเห็นว่าทางวงใหญ่ปรากฏเป็นเส้นโค้งบนแผนที่ และอยู่ใกล้ขั้วโลกมากกว่าเส้นเกลียวอันสมกันจาก A ไป B

โดยที่เมริเดียนในแผนที่วงใหญ่ไม่ขนานกัน ฉะนั้น จึงไม่สามารถเขียนวงเข็มทิศตามที่ใช้กันอยู่สำหรับให้ใช้วัดทิศได้ทั่วแผนที่ทั้งแผ่น และโดยที่มุมมีการบิดตัวจึงใช้โปรแตรกเตอร์วัดมุมไม่ได้ ข้ออ้างนี้จะเห็นได้จริงในแผนที่วงใหญ่ ดังแสดงให้เห็นในส่วนบนของรูป 171



การเขียนวงใหญ่จากแผนที่วงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์

รูป 171

การหาละติจูดและลองจิจูดของจุดใดจุดหนึ่งโดยเฉพาะในแผนที่ต้องหาโดยใช้เมริเดียนและวงขนานละติจูดตรงบริเวณโดยเฉพาะของจุดนั้น เมื่อลองจิจูดยิ่งอยู่ห่างออกไปจากเมริเดียนของจุดสัมผัส การบิดตัวของแผนที่ก็ยิ่งมีมากขึ้น เพราะเหตุเหล่านี้เองแผนที่วงใหญ่จึงเป็นแผนที่ที่ไม่เหมาะที่จะใช้ในการเดินเรือทั่ว ๆ ไป แต่ถึงกระนั้นก็ดีก็เป็นวิธีที่ให้ความสะดวกมากที่สุดสำหรับหาทางวงใหญ่ และระยะทางระหว่างเมืองท่าและสำหรับตรวจสอบหาแนวทางเรือนั้นว่าผ่านพ้นสิ่งอันตรายในการเดินเรือหรือไม่ แผนที่แบบเฉพาะของแผนที่วงใหญ่เรียกว่าแผนที่ขั้วโลก เป็นแผนที่เดินเรือที่ดีที่สุดสำหรับละติจูดที่สูงกว่า 75° เพราะว่าในละติจูดสูงเช่นนี้

แผนที่เมอเคเตอร์มีการบิดตัวมากมาย

ดังได้แสดงมาให้เห็นแล้วนั้น เส้นตรงที่ลากขึ้นระหว่างจุดสองจุดในแผนที่วงใหญ่จะเป็นเส้นแทนทางวงใหญ่ในระหว่างจุดทั้งสองนั้น ในรูป 171 นั้น รูปส่วนบนเป็นทางวงใหญ่ระหว่างเมืองนอร์โฟล์คและลิสบอน วิธีหาความยาวของทางวงใหญ่จะศึกษาได้ดีที่สุดจากคำอธิบายที่ให้ไว้ในแผนที่ ฉะนั้น จึงไม่กล่าวไว้ในที่นี้ การหาเข็มจริงที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นทางวงใหญ่นั้น ใช้หาเอาโดยวัดมุมตรงที่ทางวงใหญ่ตัดกับเมริเดียนที่จุดนั้น โดยที่เมริเดียนสอบไปรวมกันที่ขั้วโลก ฉะนั้นทิศของทางวงใหญ่จึงเปลี่ยนคงตัว ดังปรากฏในรูป 171

วิธีเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ ให้เขียนเส้นตรงต่อตำบลที่เรือออกและตำบลที่เรือถึงลงบนแผนที่วงใหญ่ (ดูรูป 171 ส่วนบน) แล้วตรวจดูว่าวงใหญ่นั้นผ่านพ้นสิ่งอันตรายในการเดินเรือหรือไม่ ถ้าเห็นว่าผ่านพ้นสิ่งอันตรายแล้วให้เขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ โดยกำหนดจุดต่าง ๆ บนทางวงใหญ่ (จะเลือกเอากี่จุดนั้นแล้วแต่เหมาะและสะดวก) ในแผนที่วงใหญ่แล้วหาละติจูดและลองจิจูดของจุดเหล่านั้นไว้ และเอาจุดเหล่านี้ไปเขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์ แล้วเขียนเส้นโค้งต่อจุดเหล่านี้เข้าด้วยกันให้เป็นเส้นโค้งเรียบ ๆ ดังในรูปส่วนล่างของ 171 หรือใช้เขียนเส้นตรงต่อจุดเหล่านี้เข้าด้วยกันก็ได้ ซึ่งแทนเส้นเกลียวที่จะต้องถือท้ายไป และถือว่าพอแทนทางวงใหญ่ได้ ลูกศรสองอันนั้นชี้ให้เห็นตำบลที่อันสมกันในแผนที่ทั้งสองชนิด ก่อนอื่นให้จดตำบลที่เรือออกและตำบลที่เรือถึงลงในแผนที่ทั้งสองแผ่นเสียก่อน ในรูป 171 ได้เลือกจุดบนเส้นเมริเดียนที่เป็นเส้นหนาทุก ๆ เส้นทุกระยะ 5° ลองจิจูด การที่เลือกเช่นนี้เพราะสะดวกในการเลือกจุด และในการจด - ละติจูดและลองจิจูดของจุดตามทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ การที่เลือกจุดเอาทุก 5° ลองจิจูดนี้ เพราะว่าเส้นเกลียวที่ใช้แทนวงใหญ่นั้นมีผิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปในทางปฏิบัติจริง ๆ สำหรับหาและจดทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์

จะสังเกตได้ว่าเซ็กเมนต์อันเกิดโดยเส้นเกลียว (rhumb line segments) ที่หาได้ในทำนองที่กล่าวมาแล้วเป็นขอร์ด (chords) ของวงใหญ่ตามที่เขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์ หาเข็มและระยะทางสำหรับเรือแล่นของแต่ละเซ็กเมนต์(ขอร์ด)ได้ โดยการวัดในแผนที่เมอเคเตอร์ ส่วนเข็มและระยะทางของเส้นสัมผัสต่อวงใหญ่หาได้โดยตรงจากแผนที่วงใหญ่แต่วิธีหายุ่งยากอยู่บ้าง ให้ศึกษาจากคำอธิบายที่ให้ไว้ในแผนที่โนโมนิกแต่ละแผ่นนั้นแล้วจะเข้าใจได้ดี วิธีขอร์ดเป็นวิธีง่ายและใช้กันมากในทางปฏิบัติ บางทีก็ใช้หาระยะทางวงใหญ่ตลอดทางจากแผนที่โนโมนิก สำหรับเปรียบเทียบกับระยะทางตามเส้นเกลียวเพื่อพิจารณาตัดสินว่าควรจะใช้วิธีใด

หรือจะดูในรูป 163 ก็ได้ เช่น ให้เขียนทางวงใหญ่ FT จากแผนที่โนโมนิกลงในแผนที่เมอเคเตอร์ ให้หาละติจูดและลองจิจูดของจุดที่เหมาะจุดต่าง ๆ เช่น A ,B, C..... บนเส้น FT แล้วจดจุดเหล่านี้ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ และเขียนเส้นโค้งเรียบ ๆ

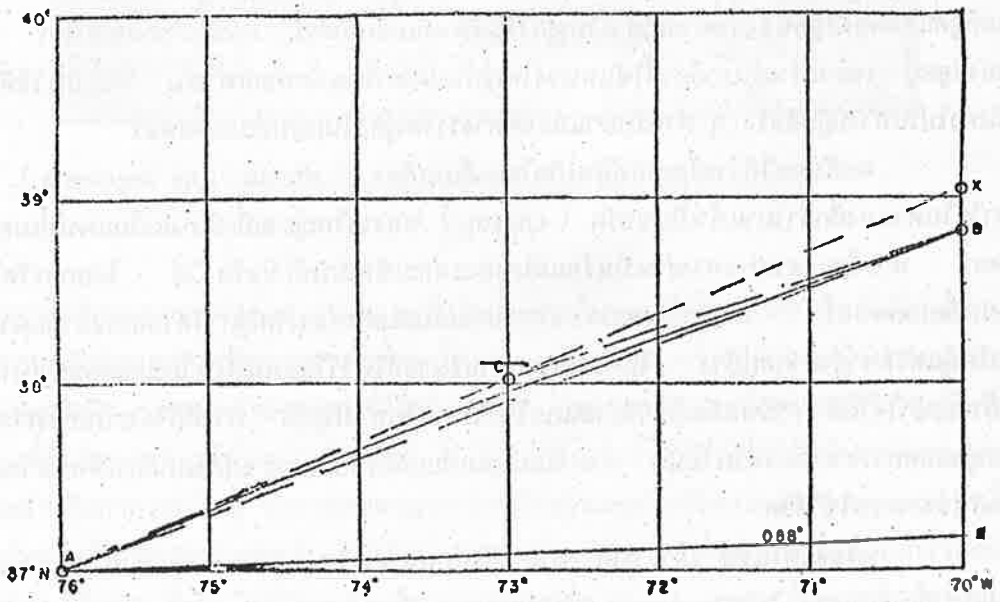
ต่อจุดเหล่านี้เข้าก็จะได้ทางวงใหญ่ที่ต้องการ การขีดทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์เมื่อ F และ T อยู่ในกึ่งทรงกลมตรงกันข้ามแล้ว คือ F อยู่กึ่งทรงกลมเหนือ และ T อยู่กึ่งทรงกลมใต้ก็ยังคงใช้แผนที่โนโมนิกแผ่นเดียวกันนี้ได้ เพราะว่าแผนที่โนโมนิกของกึ่งทรงกลมทั้งสองเมื่อจุดสัมผัสอยู่ที่อิเควเตอร์ ต้องแบ่งช่องตารางได้สมมาตรกันที่อิเควเตอร์

เพราะฉะนั้นอาจกำหนดการสร้างตามเรขาคณิตให้เหมาะสมได้ดังนี้

1. กำหนดตำบลที่ของ T ลงประหนึ่งว่าอยู่ในกึ่งทรงกลมเหนือ
2. ต่อ F ไปยัง K อันเป็นจุดที่อิเควเตอร์ซึ่งมีลองจิจูดเท่ากับลองจิจูดของ T
3. ต่อ T ไปยัง H อันเป็นจุดที่อิเควเตอร์ซึ่งมีลองจิจูดเท่ากับลองจิจูดของ F
4. ทิ้งเส้นฉาก RQ จาก R อันเป็นจุดที่ FK ตัดกับ TH ไปยังอิเควเตอร์
5. ลาก FQ และ QT เพราะฉะนั้น FQ เป็นทางวงใหญ่ในกึ่งทรงกลมเหลือ และ QT เป็นทางงอโค้งสะท้อนกลับของทางวงใหญ่ที่อยู่ต่อไปทางใต้ของอิเควเตอร์ เพราะฉะนั้นอาจถือเอาได้ว่าจุดต่าง ๆ บน QT เป็นเสมือนหนึ่งจุดที่อยู่ในกึ่งทรงกลมใต้

แต่ถ้าไม่มีแผนที่วงใหญ่แล้ว จะใช้เขียนโดยวิธีนี้ไม่ได้จะต้องใช้วิธีอื่นซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ในรูป 172 นั้น เส้นโค้งเส้นพีด AB แทนการตั้งต้นของทางวงใหญ่นอร์โฟล์คไปลิสบอนเส้นโค้งนี้ขีดลงในแผนที่เมอเคเตอร์ดังวิธีที่ได้อธิบายไว้แล้ว กล่าวคือได้ขีดทางวงใหญ่ลงในแผนที่วงใหญ่แล้วเอาละติจูดและลองจิจูดของจุดต่าง ๆ บนทางนี้จดลงใน



รูป ๑๗๒

แผนที่เมอเคเตอร์ตามรูป แล้วจึงเขียนเส้นโค้ง AB เรียบ ๆ ให้ผ่านจุดต่าง ๆ เหล่านี้ เส้นตรง AR แทนส่วนหนึ่งของเข็มเมอเคเตอร์หรือเส้นเกลียวในระหว่างจุดต่าง ๆ อันเดียวกัน

เส้นไข่ปลา AX สัมผัสกับวงใหญ่ AB ที่ A เส้น AX นี้แทนเข็มแรกที่ต้องถือท้ายในการแล่นให้ใกล้เคียงเข็มวงใหญ่ ถ้าหากแล่นไปตามเข็มนี้ได้ประมาณ 300 ไมล์ แล้วเรือจะไปอยู่ที่ตำบล X ซึ่งอยู่ทางเหนือของเข็มวงใหญ่จริงประมาณ 10 ไมล์ แต่ถ้าหากว่าแล่นไปตามเข็มแรกนี้ให้ไกลเพียงแค่จุด C เท่านั้น แล้วคือแล่นระยะทางประมาณ 150 ไมล์ และเปลี่ยนเข็มเป็น CB แล้วเรือจะแล่นเข้าใกล้เคียงกับเข็มวงใหญ่เป็นอันมาก หรืออาจถือเอาว่าเข็มแรกเป็นเส้นตรง AB ซึ่งเป็นบอร์ดของเส้นโค้ง AB ซึ่งมีข้อดีคือเรือจะแล่นไปตามทางวงใหญ่ได้หนึ่งขาสมบูรณ์เมื่อไม่คิดถึงกระแสน้ำ ในทางทฤษฎีนั้นควรแล่นเรือให้สัมผัสกับขอบวงใหญ่ ดีกว่าที่จะแล่นตามเส้นบอร์ด แต่ทว่าในทางปฏิบัตินั้นมีวิธีการแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย เมื่อแล่นเรือไปถึงจุด B โดยวิธีสัมผัสแล้วคือแล่นเข็ม CB นั้นให้แล่นตามเข็มเดิม CB ต่อไปอีกประมาณ 150 ไมล์ ก็จะไม่ทำให้ผิดแตกต่างไปจากเข็มวงใหญ่มากเท่าใดนัก ครั้นแล้วจึงหาเส้นสัมผัสกับวงใหญ่ต่อไป

วิเคราะห์ศัพท์ในแล่นเรือวงใหญ่

เข็มวงใหญ่ (Great circle course) เป็นมุมในระหว่างทางวงใหญ่กับเมริเดียนของตำบลที่ผ่านนั้น

เข็มแรก (Initial course) เป็นมุมในระหว่างทางวงใหญ่กับเมริเดียนของตำบลที่เรือออก

เข็มหลัง (Final course) เป็นมุมในระหว่างทางวงใหญ่กับเมริเดียนของตำบลที่เรือถึง

ระยะทางวงใหญ่ (Great circle distance) เป็นความยาวของขอบวงใหญ่ในระหว่างจุดสองจุดคิดเป็นไมล์ทะเล

เวอร์เทกซ์ (Vertex) เป็นจุดที่มีละติจูดสูงสุดในทางวงใหญ่

เวอร์เทกซ์ใน (Inner vertex) เป็นเวอร์เทกซ์ที่อยู่บนทางเรือเดินในระหว่างตำบลที่เรือออกกับตำบลที่เรือถึง

เวอร์เทกซ์นอก (Outer vertex) เป็นเวอร์เทกซ์ที่อยู่พ้นเลย(นอก) ทางเรือเดินระหว่างตำบลที่เรือออกและตำบลที่เรือถึง ข้อนี้จะเป็นได้ในเมื่อเข็มแรกและเข็มหลังเข็มใดเข็มหนึ่งโตกว่า 90°

จุดบนทางวงใหญ่ เป็นจุดต่าง ๆ ซึ่งมีระยะลองจิจูดห่างจากจุดเวอร์เทกซ์เท่า ๆ กัน ตามลำดับทั้งสองข้างของเวอร์เทกซ์

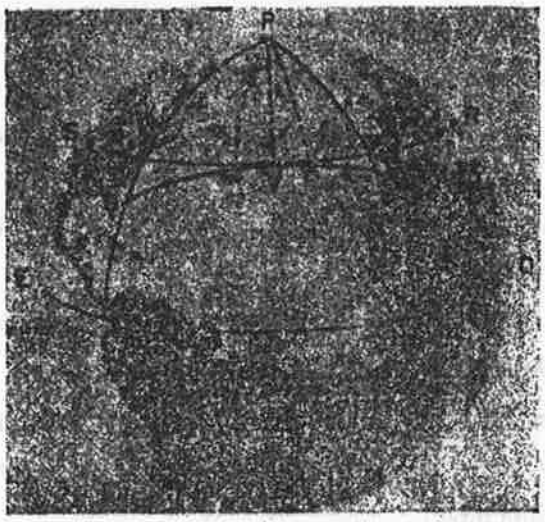
ขั้วโลกที่ใช้ในการคำนวณ (Elevated pole) ขั้วโลกเหนือเป็นขั้วที่ใช้ในการคำนวณของผู้ตรวจที่อยู่ในละติจูดเหนือ และขั้วใต้เป็นขั้วที่ใช้ในการคำนวณของผู้ตรวจที่

อยู่ในละดิจูดใด้ ขั้วที่ใช้นี้เป็นขั้วที่อยู่เหนือขอบฟ้าของผู้ตรวจ

ในรูป 173 ให้ C เป็นตำบลที่เรือออก B เป็นตำบลที่เรือถึง CVB เป็นทางวงใหญ่ผ่านตำบล C และ B SR เป็นวงขนานละดิจูดสัมผัสกับทางวงใหญ่ที่ V ฉะนั้น V เป็นเวอร์เทกซ์เพราะเป็นละดิจูดสูงสุดของทางวงใหญ่ PC และ PB เป็นเมริเดียนของ C และ B PV เป็นเมริเดียนของเวอร์เทกซ์มุม P (CPB) เป็นลองจิจูดเปลี่ยนระหว่าง C และ B มุม C (PCB) เป็นเข็มแรก มุม B (PBC) เป็นเข็มหลัง CB เป็นระยะทางบนวงใหญ่ PV เป็นโคละดิจูด (90°-แลต.)ของเวอร์เทกซ์ PC และ PB เป็นโคละดิจูดของ C และ B CPV เป็นลองจิจูดเปลี่ยนระหว่าง C กับเวอร์เทกซ์

m และ m' เป็นจุดบนทางวงใหญ่ลองจิจูดเปลี่ยนห่างจากเวอร์เทกซ์ 5°, 10°, ...หรือเท่าใดแล้วแต่จะกำหนดให้

เมื่อพิจารณาดูตามรูปแล้วจะเห็นได้ว่าทีแรกเข็มจาก C นั้นจะเป็นเข็มภาคเหนือก่อนจนกระทั่งถึงเวอร์เทกซ์ จึงเป็นเข็มภาคตะวันตกและต่อไปก็เป็นเข็มภาคใต้ไปถึง B แต่ถ้าแล่นจาก B ไป C ทิศเหล่านี้ก็กลับตรงข้าม



รูป 173

โดยที่ทิศของวงใหญ่เปลี่ยนอยู่เสมอเป็นประจำ (คือเปลี่ยนตลอดเวลา) ฉะนั้นการแล่นเรือไปตามทางวงใหญ่จะต้องเปลี่ยนเข็มต่อเนื่องกันเสมอไป แต่ในทางปฏิบัตินั้นทำเช่นว่าไม่ได้ จะต้องเปลี่ยนเข็มเป็นช่วง ๆ ไป ฉะนั้นเรือจึงแล่นไปตามเส้นเกลียวเป็นชุด ๆ ไป เพราะว่าในชั่วระยะทางสั้นนั้นเส้นเกลียวและทางวงใหญ่เกือบจะทับร่วมกัน ฉะนั้น จึงถือว่าเป็นทางวงใหญ่ได้โดยใกล้เคียงมาก ในทางปฏิบัติใช้กำหนดจุดต่าง ๆ ให้มีช่วงระยะเท่ากันลงบนทางวงใหญ่ แล้วเอาโคออร์ดิเนตของจุดเหล่านี้ใส่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์หรือแผ่นจดที่เรือ

และใช้แล่นเรือตามเส้นเกลียวไประหว่างจุดเหล่านี้ (คือ หาเข็มจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งโดยวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์หรือแล่นเรือละติจูดกลาง) จำนวนจุดที่กำหนดลงบนทางวงใหญ่นี้ ถ้ายิ่งได้มากจุดเส้นทางเรือก็ยิ่งใกล้ที่จะเห็นเป็นวงใหญ่ยิ่งขึ้น

แล่นเรือวงใหญ่

มีวิธีทำอยู่ 5 วิธี คือ

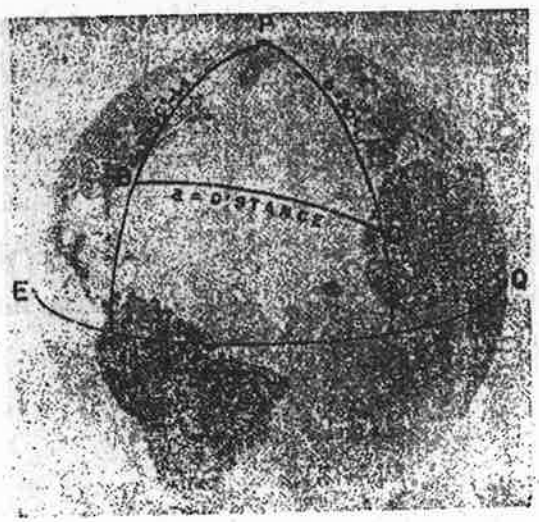
1. โดยการคำนวณ
2. โดยมาตราแอซซิมัธสูง (Altitude azimuth Tables) หรือมาตราแอซซิมัธเวลา (Time azimuth Tables)
3. โดยแผนที่วงใหญ่
4. โดยมาตรา Towson (Towson's Tables)
5. โดยมุมแปลงกลับ (Conversion angle)

1. โดยการคำนวณ การทำการแล่นเรือวงใหญ่โดยการคำนวณนั้นต้องคำนวณหา (1) ระยะทางวงใหญ่และเข็มแรก (2) ตำบลที่ของเวอร์เทกซ์ (3) โคออร์ดิเนตของจุดต่าง ๆ ตามทางวงใหญ่ การทำโดยวิธีคำนวณนี้กินเวลามากและยุ่ง แต่ทว่าได้ผลแม่นยำและบางทีก็เป็นวิธีเดียวเท่านั้นที่จะใช้ได้

ในรูป 174 P เป็นขั้วโลกที่ใช้ในการคำนวณ EQ เป็นอิเควเตอร์ ให้ PB และ PC เป็นเมริเดียนของที่สองตำบล B และ C และ BC เป็นทางวงใหญ่ระหว่างนั้น ฉะนั้นรูปสามเหลี่ยม PBC เป็นรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมีด้าน b และ c เป็นโคละติจูดของ C และ B มุม P (CPB) เท่ากับลองจิจูดเปลี่ยนระหว่าง C และ B ในรูปสามเหลี่ยมทรงกลมนี้รู้ด้านสองด้าน และมุมในระหว่างกลาง ฉะนั้น จะหาสิ่งต่อไปนี้ได้

(1) ด้าน a คือระยะทางวงใหญ่จาก C ไป B

(2) มุม C (เข็มแรก) คือมุมซึ่งทางวงใหญ่ตัดกับเมริเดียนของ



รูป ๑๗๔

หาระยะทางวงใหญ่

จากสูตร haversine คือ

$\text{hav } a = \sin b \sin c \text{ hav } P + \text{hav } (b \sim c)$

ให้ L_1 = ละติจูดของ C, L_2 = ละติจูดของ B, d = ระยะทาง และ C = เข็ม ฉะนั้น

$\text{hav } d = \sin(90^\circ - L_1) \sin(90^\circ - L_2) \text{ hav } DLo + \text{hav } \{(90^\circ - L_1) \sim (90^\circ - L_2)\}$

หรือ $\text{hav } d = \cos L_1 \cos L_2 \text{ hav } DLo + \text{hav } (L_1 \sim L_2)$

หรือ $\text{hav } d = \text{hav } DLo \cos L_1 \cos L_2 + \text{hav } (L_1 \sim L_2)$

นอกจากนี้ถ้ารู้เข็มแล้ว จะหาระยะทางโดยใช้สูตรแบบ sine ก็ได้

$$\frac{\sin a}{\sin P} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

ฉะนั้น $\sin a = \sin b \sin P \text{ cosec } B$ .....(1)

และ $\sin a = \sin c \sin P \text{ cosec } C$ .....(2)

จาก (1) จะได้ $\sin d = \cos L_1 \sin DLo \text{ cosec } C$ (เข็มหลัง)

และจาก (2) จะได้ $\sin d = \cos L_2 \sin DLo \text{ cosec } C$ (เข็มแรก)

หาเข็มแรก เมื่อใช้สูตรข้างบนคำนวณหาระยะทางได้แล้ว ก็รู้ด้านทั้งสามของรูปสามเหลี่ยม และใช้สูตร haversine คำนวณหามุมเข็ม C ต่อไปได้

$\text{hav } c = \sin a \sin b \text{ hav } C + \text{hav } (a \sim d)$

หรือ $\text{hav } (90^\circ - L_2) = \sin d \sin (90^\circ - L_1) \text{ hav} C + \text{hav } \{d \sim (90^\circ - L_1)\}$

$\text{hav co } L_2 = \sin d \cos L_1 \text{ hav } C + \text{hav } (d \sim \text{co } L_1)$

$\therefore \quad \text{hav } C = \{\text{hac co } L_2 - \text{hav } d \sim \text{co } L_1)\} \text{ cosec d sec } L_1$

หมายเหตุ co L_1 = โคละติจูดของตำบลที่เรือออก และ co L_2 = โคละติจูดของตำบลที่เรือถึง

มุมของเข็มใช้นับจากขั้วโลกที่ใช้ในการคำนวณเสมอ นับจาก 0° ถึง 180° ไปทางตะวันออกถ้าตำบลที่เรือถึงอยู่ทางตะวันออกและนับไปทางตะวันตกถ้าตำบลที่เรือถึงอยู่ทางตะวันตกของตำบลที่เรือออก

หาเข็มหลัง จากรูป 174 นี้ PBC เป็นเข็มหลังหรือใช้แทนด้วย C_2 การคำนวณหา C_2 ก็ใช้สูตร haversine เช่นเดียวกันกับหา ในเมื่อรู้ระยะทางแล้ว

$$\text{hav } b = \sin a \sin c \text{ hav } B + \text{hav } (a \sim c)$$

หรือ $$\text{hav}(90^\circ - L_1) = \sin d \sin (90^\circ - L_2) \text{ hav } B + \text{hav}\left\{ d \sim (90^\circ - L_1) \right\}$$

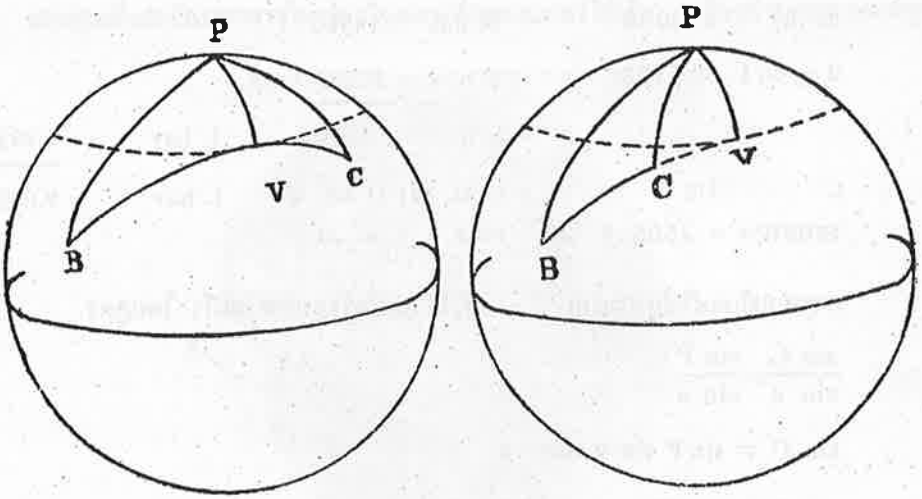
หรือ $$\text{hav co } L_1 = \sin d \cos L_2 \text{ hav } B + \text{hav } (d \sim \text{co } L_2)$$

แต่ $B = C_2$ คือเข็มหลังตามที่กำหนดให้

$$\therefore \quad \text{hav } C_2 = \left\{ \text{hav co } L_1 - \text{hav } (d \sim \text{co } L_2) \right\} \text{cosec } d \text{ sec } L_2$$

การให้ชื่อเข็มที่เรือแล่น การที่จะรู้ว่าเป็นเวอร์เทกซ์ในหรือเวอร์เทกซ์นอกนั้น จะรู้ได้เมื่อคำนวณหาเข็มแรกและเข็มหลังได้แล้วคือ ถ้าเข็มทั้งสองนั้นต่างโตกว่าหรือเล็กกว่า 90° แล้วเป็นเวอร์เทกซ์ใน แต่ถ้าเข็มหนึ่งโตกว่าและอีกเข็มหนึ่งเล็กกว่า 90° แล้วเป็นเวอรเทกซ์นอกและไม่ว่าในประเภทใดก็ตาม ตอ้งเอาขั้วโลกที่อยู่ทางซีกอิเควเตอร์ที่มีละติจูดสูงมาใช้คำนวณ ฉะนั้นเวอร์เทกซ์จึงต้องอยู่ทางซีกอิเควเตอร์ที่มีละติจูดสูง

เข็มแรกมีชื่อเหมือนกัน (คือเหนือหรือใต้) กบขั้วโลกที่ใช้ในการคำนวณเสมอไป แต่เข็มหลังมีชื่อตรงข้ามกับขั้วโลกในเมื่อเป็นเวอร์เทกซ์ในและมีชื่อเหมือนขั้วโลกเมื่อเป็นเวอร์เทกซ์นอก ทั้งสองเข็มนี้จะเป็นตะวันออกหรือตะวันตก ย่อมแล้วแต่ทิศของดำบลที่เรือถึง



เวอร์เทกซ์ใน เวอร์เทกซ์นอก

รูป 175

ตัวอย่าง 1 หาระยะทางและเข็มแรก โดยแล่นเรือวงใหญ่จากแลต.17°21'15" น. ลอง.25°31'30" ตก. ถึงแลต.44°29'30" น. ลอง.63°28'15" ตก.

วิธีทำ โดยสูตร

$$\text{hav } d = \cos L_1 \cos L_2 \text{ hav } DLo + \text{hav } (L_1 \sim L_2)$$

$$\text{hav } C = \left\{ \text{hav co } L_2 - \text{hav } (d \sim \text{co } L_1) \right\} \text{cosec } d \text{ sec } L_1$$

				co L_1	72°38'45"
λ_2	63°28'15" ตก			d	41 45 22
λ_2	25 31 30 ตก.			$d \sim \text{co } L_1$	30 53 23
DLo	37 56 45 ตก.	L hav	9 02409		
L_1	17 21 15 น.	L cos	9.97977	L sec	0.02023
L_2	44 29 30 น.	L cos	9.85331		
		L hav	8.85717		
		N hav	.07197		
$L_1 \sim L_2$	27 08 15	N hav	.05504		
d	41 45 22	N hav	.12701	L cosec	0.17655
co L_2	45 30 30	N hav	.14960		
$d \sim \text{co } L_1$	30 53 23	N hav	.07092 (—)		
		N hav	.07868	L hav	8.89584
C	318°.8	C น.	41°11'47" ว.	L hav	9.09262

∴ ระยะทาง = 2505.4 ไมล์ เข็ม = 318°.8

การหาเข็มจะใช้สูตรแบบ ก็ได้ในเมื่อรู้ระยะทางแล้ว โดยสูตร

$$\frac{\sin C}{\sin c} = \frac{\sin P}{\sin a}$$

$$\sin C = \sin P \sin c \text{ cosec } a$$

$$\sin C = \sin DLo \sin (90° - L_2) \text{ cosec } d$$

$$\therefore \sin C = \sin DLo \cos L_2 \text{ cosec } d$$

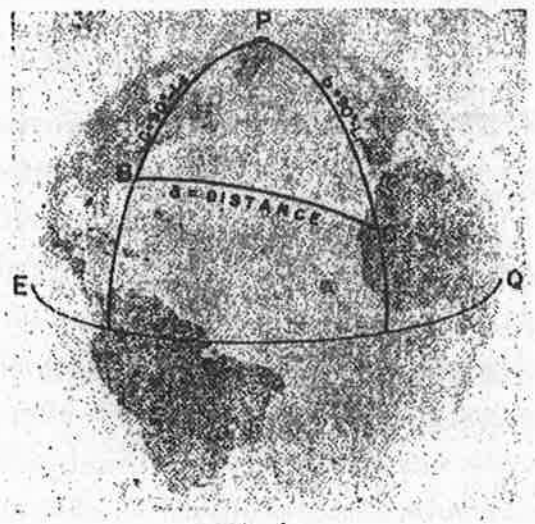
โจทย์ตัวอย่าง 1 เมื่อทำโดยสูตรแบบ sine จะได้

DLo $37^\circ 56' 45''$	L sin 9. 78881
L_2 44 29 30 น.	L cos 9. 85331
d 41 45 22	L cosec 0. 17655
C น. $41^\circ 11' 54''$ ว.	L sin 9. 81867
$= 318^\circ.8$	

เมื่อใช้สูตรแบบ sine การหามุมเข็มต้องหาจาก log sine ของมันซึ่งทำให้เป็นที่สงสัยได้ว่ามุมเข็มนั้น โตกว่าหรือเล็กกว่า 90° เพราะฉะนั้นถ้าสงสัยไม่แน่ใจว่า มุมเข็มอยู่ในตรีจักรใดแล้วอย่าใช้สูตรแบบ sine กฎต่อไปนี้จะแสดงให้ทราบได้ทันทีว่ามุมเข็มอยู่ในตรีจักรใด เนื่องจากว่าทางวงใหญ่ในระหว่างที่สองตำบลนั้นอยู่ใกล้ขั้วโลกที่ใช้คำนวณมากกว่าเส้นเกลียว ฉะนั้นจึงได้กฎ

ถ้าตำบลที่เรือถึงอยู่ในละติจูดสูงกว่าตำบลที่เรือออก แล้วเข็มแรกของทางวงใหญ่และเข็มเมอเคเตอร์อยู่ในตรีจักรเดียวกัน ฉะนั้นจึงทราบตรีจักรที่เข็มแรกของทางวงใหญ่อยู่ได้และควรใช้สูตรแบบ sine ได้ แต่ถ้านอกจากนี้แล้วก็ไม่ทราบแน่นอนว่าเข็มแรกของทางวงใหญ่อยู่ในตรีจักรใดจึงไม่ควรใช้สูตรแบบ sine

หาตำบลที่ของเวอร์เทกซ์ ตามสูตรที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงหาระยะทางและเข็มแรกได้ แต่ก่อนที่จะเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ได้นั้น ต้องคำนวณหาละติจูดและ



รูป ๑๗๖

ลองจิจูดของจุดต่าง ๆ ที่ต่อเนื่องกันตามทางวงใหญ่เสียก่อน ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องหาละติจูดและลองจิจูดของเวอร์เทกซ์ก่อนที่จะหาจุดต่าง ๆ เหล่านั้น และเมื่อเวอร์เทกซ์ตกในระหว่างที่สองตำบลก็จำต้องหาละติจูดสูงสุด ที่เรือจะต้องแล่นไปตามทางวงใหญ่ เพราะว่าการแล่นเรือไปในละติจูดสูง ๆ มากเกินไปนั้นย่อมเกิดอันตรายได้ หรือมิฉะนั้นอย่างน้อยที่สุดก็อาจเสียเวลามากกว่าการแล่นเรือตามเส้นเกลียวได้

ในรูป 176 ให้ SR เป็นวงขนานละติจูดซึ่งสัมผัสกับทางวงใหญ่ระหว่าง C และ B ที่ V ฉะนั้น V เป็นเวอร์เทกซ์เพราะเป็นละติจูดสูงสุดของทางวงใหญ่ ให้ PV เป็นเมริเดียนของ V ฉะนั้น PVR เป็นมุมฉาก โดยที่ VR และ CB ขนานกันตรง V (คือสัมผัสกันตรงจุด V) ฉะนั้น PVC จึงเป็นมุมฉากด้วย ในรูปสามเหลี่ยมทรงกลม PVC มีมุม V เป็นมุมฉาก รู้ด้าน PC = โคละติจูดของ C และมุม C = เข็มแรก จะหาละติจูดและลองจิจูดของเวอร์เทกซ์ได้โดยกฎของเนเปียร์ (Napier s rules)

หาละติจูดของเวอร์เทกซ์

ตามกฎได้ $\sin PV = \text{sine} PC \sin PCV$

ถ้าให้ L_V = ละติจูดของเวอร์เทกซ์ λ_V = ลองจิจูดของเวอร์เทกซ์ และ DLo_V = ลองจิจูดเปลี่ยนของเวอร์เทกซ์แล้ว จะได้

$$\sin (90^\circ - L_V) = \sin (90^\circ - L_V) \sin C$$

$$\cos L_V = \cos L_1 \sin C$$

หรือถ้าใช้สูตรแบบ sine ก็ได้

$$\sin PV = \frac{\sin PC \sin C}{\sin PVC}$$

หรือ $$\sin (90^\circ - L_V) = \frac{\sin (90^\circ - L_1) \sin C}{\sin 90^\circ}$$

$$\therefore \cos L_V = \cos L_1 \sin C$$

หาลองจิจูดของเวอร์เทกซ์

ตามกฎได้ : $\cos PC = \cot PCV \cot CPV$

แต่ CPV = ลองจิจูดเปลี่ยนระหว่าง C กับ V

จึงได้ $\cos (90^\circ - L_1) = \cot C \cot DLo_V$

$$\therefore \cos DLo_V = \sin L_1 \tan C$$

แล้วเอาลองจิจูดเปลี่ยนที่ได้ไปทำกับลองจิจูดของ C ก็จะได้ลองจิจูดของเวอร์เทกซ์

โดยสูตรทั้งสองที่กล่าวนี้ ก็สามารถหาตำบลที่ของเวอร์เทกซ์ได้ ให้พึงระลึกไว้ว่าเวอร์เทกซ์อาจอยู่พ้นเลยทางเรือเดินได้(เวอร์เทกซ์นอก)เช่นเรือแล่นจาก C ไป × รูป 176 โดยแล่นเรือวงใหญ่นั้นเรือจะแล่นไปตามทางเดียวกันกับที่เรือแล่นจาก C ไป B แต่ในการคำนวณหาตำบลที่ของเวอร์เทกซ์ จะปรากฏว่าเวอร์เทกซ์อยู่บนเส้นทางเรือเดินที่ยืดออกไปยัง V และเมื่อเวอร์เทกซ์อยู่พ้นเลยทางเรือ(เวอร์เทกซ์นอก) ดังกล่าวแล้วนี้วิธีคำนวณหาโคออร์ดิเนตของจุดต่าง ๆ ตามทางวงใหญ่ต่อไปนี้ก็ไม่เปลี่ยนแปลง

วงใหญ่ทุกวงมีเวอร์เทกซ์ 2 เวอร์เทกซ์ห่างกัน 180° ถ้าเข็มแรกเล็กกว่า 90° เวอร์เทกซ์ที่ใกล้ที่สุดอยู่ในทิศของตำบลที่เรือถึง ถ้า C ใหญ่กว่า 90° เวอร์เทกซ์ที่ใกล้ที่สุดอยู่ในทิศตรงกันข้าม ทั้งสองกรณีนี้ลองจิจูดเปลี่ยนระหว่างตำบลที่เรือออก และเวอร์เทกซ์น้อยกว่า 90°

ถ้าต้องการทราบระยะทางของเวอร์เทกซ์ จากตำบลที่เรือออกก็ย่อมหาได้ โดยใช้กฎของเนเปียร์ ในรูป 176 ในรูปสามเหลี่ยม CPV ให้ d_v = ระยะทางของเวอร์เทกซ์จากตำบลที่เรือออก ฉะนั้น

$$\sin VC = \cos (90^\circ - PC) \cos (90^\circ - P)$$

$$\sin VC = \sin PC \sin P$$

หรือ $\sin d_v = \sin (90^\circ - L_1) \sin DLo_v$

หรือ $\sin d_v = \cos L_1 \sin DLo_v$

$\therefore \operatorname{cosec} d_v = \sec L_1 \operatorname{cosec} DLo_v$

หาโคออร์ดิเนตของจุดต่าง ๆ ตามทางวงใหญ่

ลองจิจูดของจุดใช้นับจากเวอร์เทกซ์เสมอ เพราะว่าตามที่ได้กล่าวมาแล้วที่เวอร์เทกซ์นั้นเมริเดียนตัดกับวงใหญ่มุมฉาก และทำให้เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉากกับขั้วโลกและจุดเหล่านั้นขึ้น ฉะนั้นวิธีทำจึงง่าย

ในการนี้เลือกกำหนดจุดขึ้นโดยให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน (คือกำหนดให้มีลองจิจูดเปลี่ยนห่างเท่า ๆ กัน เช่น 5°, 10°, ... เป็นต้นจากเวอร์เทกซ์) บนแต่ละข้างของเวอร์เทกซ์ในเมื่อเวอร์เทกซ์อยู่ในระหว่างตำบลที่เรือออกและเรือถึง (เวอร์เทกซ์ใน)

เมื่อเขียนเมริเดียนให้ผ่านจุดที่เลือกแล้ว ก็จะได้รูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉากขึ้นชุดหนึ่ง ซึ่งรูปสามเหลี่ยมรูปหนึ่ง ๆ ที่อยู่ทางข้างหนึ่งของเวอร์เทกซ์จะสมมาตร(มีส่วนสัดเท่ากัน)กับรูปสามเหลี่ยมรูปหนึ่ง ๆ ที่อยู่อีกข้างหนึ่งของเวอร์เทกซ์ที่มีลองจิจูดเปลี่ยนห่างจากเวอร์เทกซ์เท่ากัน และการคำนวณสำหรับข้างหนึ่งก็ใช้สำหรับอีกข้างหนึ่งได้ ถ้าเวอร์เทกซ์ไม่อยู่ในระหว่างที่สองตำบลแล้วจะต้องเลือกกำหนดจุดเหล่านั้นให้มีลองจิจูดเปลี่ยนเท่า ๆ กันจาก C ไปยัง B

ในรูป 176 สมมุติให้ m เป็นจุดที่มีลองจิจูดห่างจากเมริเดียนของเวอร์เทกซ์เป็นมุม θ สมมุติว่า 5° ลากเส้น Pm ฉะนั้นรูปสามเหลี่ยม VPm เป็นรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉาก รู้มุม VPm ($\theta=5^\circ$) และด้าน PV เป็นโคละติจูดของเวอร์เทกซ์ ให้ Lm เป็นละติจูดของ m

หาละติจูดของ m โดยกฎของเนเปียร์

$$\cos VPm = \cot Pm \tan PV$$

หรือ $$\cos \theta = \cot (90^\circ - Lm) \tan (90^\circ - Lv)$$

หรือ $$\cos \theta = \tan Lm \cot Lv$$

$$\therefore \cot Lm = \cot Lv \sec \theta$$

ตามสูตรนี้จะได้ละติจูดของจุดสองจุดบนทางวงใหญ่ ซึ่งมีลองจิจูดต่างกันเป็นมุม θ จากลองจิจูดที่รู้แล้วของเวอร์เทกซ์ ในรูป 176 นั้นจะเห็นได้ว่าละติจูดของ m' เท่ากับของ m

โดยกำหนดค่าของมุม θ ขึ้นชุดหนึ่งสมมุติว่า $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, \ldots\ldots\ldots$ แล้วก็จะหาละติจูดและลองจิจูดของจุดบนทางวงใหญ่ได้สองชุด (คือคำนวณหาได้ชุดหนึ่งบนทางข้างหนึ่งของเวอร์เทกซ์ได้แล้ว ก็หาของอีกชุดหนึ่งบนอีกข้างหนึ่งของเวอร์เทกซ์ได้ไปในตัว ซึ่งต่างกันก็แต่เพียงลองจิจูดเท่านั้น คำนวณครั้งหนึ่งได้สองจุด ละติจูดเท่ากันทั้งสองจุด แต่อยู่ตะวันออกจุดหนึ่งตะวันตกจุดหนึ่ง แล้วเขียนจุดเหล่านี้ลงในแผนที่เมอเคเตอร์และเขียนเส้นโค้งเรียบ พองามผ่านจุดเหล่านี้ เส้นโค้งที่ได้นี้จะแทนทางวงใหญ่ ซึ่งอาจใช้ตรวจสอบดูได้ว่าทางวงใหญ่นี้ผ่านพ้นสิ่งอันตรายต่อการเดินเรือ เขตน้ำแข็ง ฯลฯ หรือไม่

ตัวอย่าง 2 หาระยะทางและเข็มแรกโดยวิธีแล่นเรือวงใหญ่ จากตำบลหนึ่งในแลต.$37^\circ 42'$ น. ลอง.$123^\circ 04'$ ตก. ใกล้กับประภาคารเกาะ Farallon ไปยังตำบลหนึ่งในแลต.$34^\circ 50'$ น. ลอง.$139^\circ 53'$ อ. ใกล้ปากอ่าวโตเกียวแล้วคำนวณหาละติจูดและลองจิจูดของเวอรเทกซ์และละติจูดของตำบลต่าง ๆ 8 จุด ซึ่งมีลองจิจูดต่างกัน 10° ทวีคูณจากเวอร์เทกซ์

วิธีทำ โดยสูตร

$$\text{hav } d = \cos L_1 \cos L_2 \text{ hav } DLo + \text{hav } (L_1 \sim L_2)$$

$$\text{hav } C = \left\{\text{hav co } L_2 - \text{hav } (d \sim \text{co } L_1)\right\} \text{cosec } d \sec L_1$$

$$\cos L_V = \cos L_1 \sin C$$

$$\cot DLo_V = \sin L_1 \tan C$$

และ $$\text{cct } Lm = \cot L_V \sec \theta$$

λ_2	139°53'00" อ.	co L_1	5218' 00"
λ_1	123 04 00 ตก.	d	74 21 40
$\lambda_2 + \lambda_1$	262 57 00 อ.	d~co L_1	22 03 40
	360		
DLo	97 03 00 ตก.	L hav	9.74925
L_1	37 42 00 น.	L cos	9.89830 L sec 0.10170
L_2	34 50 00 น.	L cos	9.91425
		L hav	9.56180
		N hav	36458
L_1~L_2	252 00	N hav	00063
d	742140	N hav	.36521 Lcosec 0.01639
co L_2	55 1000	N hav	.21440
d~co L_1	220340	N hav	.03661 (–)
		N hav	.17779 L hav 9.24991
C	302°.2	C น.	57° 46' 15" ว. 9 36800
L_1	37° 42' 00"	L cos 9.89830	L sin 9.78642
C	57 46 15	L sin 9.92733	L tan 0.20035
L_V	47 59 08 น.	L cos 9.82563	
DLo^V	45 52 22 ตก.		L cot 9.98677

λ_1 123 04 00 ตก.

λ_v 168 56 22 ตก.

L_v 47°59'08" L cot 9.95466 L cot 9.95466 L cot 9.95466 L cot 9.95466

10° L sec 0.00665

20° L sec 0.02701

30° L sec 0.06247

40° L sec 0.11575

L cot 9.96131 L cot 9.98167 L cot 0.01713 L cot 0.07041

Lm 47°32'56" Ln 46°12'30" Lo 43°52'14" Lp 40°22'33"

ตอบ ระยะทาง 4461.7 ไมล์ เข็มแรก 302°.2

เวอร์เทกซ์ แลต. 47°59'08" น.

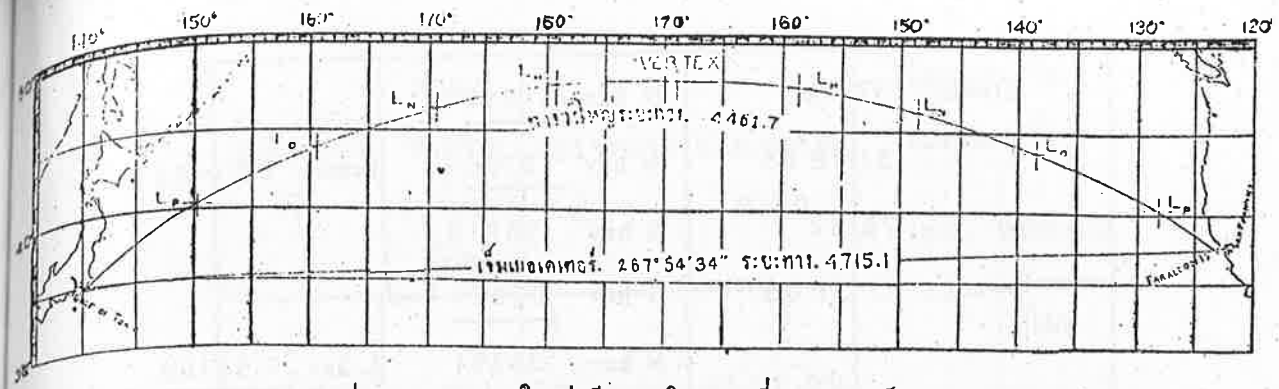
ลอง. 168°56'22" ตก.

หมายเหตุ วิธีทำตัวอย่างอันนี้ได้แสดงให้เห็นในรูป 177

ส่วนละติจูดของดำบลต่าง ๆ คำนวณเพียง 4 จุดเท่านั้น เพราะอีก 4 จุดก็มีละติจูดเท่ากัน โดยคิดระยะลองจิจูดออกไปจากเวอร์เทกซ์ แต่ว่าอยู่จุดละข้างของเวอร์เทกซ์ ละติจูดของดำบลเหล่านี้คือ 47°32'56" น. 46°12'30" น.. 43°52'14" น.. 40° 22'33" น.

เมื่อเอาละติจูดและลองจิจูดของดำบลที่เรือออกและเรือถึง และของทุกจุดที่คำนวณได้จดลงในแผนที่เมอเคเตอร์แล้วให้เขียนเส้นโค้งเรียบ ๆ พองามให้ผ่านจุดต่าง ๆ เหล่านี้ โดยใช้บรรทัดอ่อนรูปกระดูกงูและน้ำหนัก (splines and weights) ช่วยในการเขียนเส้นโค้ง ก็จะตรวจรู้ได้ว่าทางวงใหญ่นั้นผ่านพ้นสิ่งอันตรายต่อการเดินเรือหรือไม่

วิธีง่ายสำหรับเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์นั้น ให้ใช้แผนที่วงใหญ่ (แผนที่ที่ขยายโดยวิธีโนโมนิก) หาละติจูดและลองจิจูดของจุดต่าง ๆ บนทางวงใหญ่แล้วจดจุดเหล่านี้ลงในแผนที่เมอเคเตอร์เขียนเส้นโค้งให้ผ่านจุดเหล่านี้ดังได้อธิบายมาแล้ว (ดูหน้า 264)



รูป 177 ทางวงใหญ่เฉียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์

ถ้าเรือแล่นออกจากเกาะ Farallon ตามเข็มที่คำนวณได้จากตัวอย่าง 2 หน้า 459 แล้วเรือนั้นจะต้องแล่นสัมผัสกับทางวงใหญ่ที่เฉียนไว้ โดยเหตุนี้จึงคาดหมายได้ว่าเรือจะค่อย ๆ แล่นห่างขึ้นไปทางเหนือของทางวงใหญ่ขึ้นทุกที ฉะนั้นเมื่อเรือแล่นไปได้ชั่วเวลาหนึ่งก็จำเป็นที่จะต้องหาเส้นสัมผัสต่อทางวงใหญ่ใหม่อีก และต้องเปลี่ยนเข็มมาทางใต้เล็กน้อยเพื่อให้แล่นเข้าหาทางเดิม

แต่ถ้าหากว่ามีพายุหรือกระแสน้ำทำให้เรือออกห่างไปจากทางวงใหญ่มากเกินไปแล้ว ทางที่ดีควรหาเส้นทางวงใหญ่ไปยังที่หมายปลายทางเสียใหม่ ซึ่งได้ผลดีกว่าที่จะพยายามแล่นเข้าหาทางเดิม การนี้จะทำได้โดยเร็วโดยใช้แผนที่วงใหญ่

ตัวอย่าง 3 หาระยะทาง เข็มแรก ตำบลที่ของเวอร์เทกซ์และจุดต่าง ๆ ซึ่งจะต้องเปลี่ยนเข็มทุก ๆ ลองจิจูดเปลี่ยน 5° บนทางวงใหญ่ระหว่าง C (แลต. 50°13' น. ลอง.3°39' ตก.) และ B (แลต.13°03' น. ลอง.57°37' ตก.)

วิธีทำ

			co L_1	39°47'
λ_2	57°37' ตก.		d	57 18 05
λ_1	3 39 ตก.		d~coL_1	17 31 05
DLo	53 58 ตก.	L hav 9.31360		
L_1	50 13 น.	L cos 9.80610	L sec	0.19390
L_2	13 03 น.	L cos 9.98864		
		L hav 9.10834		
		N hav .12833		

$L_1 \sim L_2$	37 10	N hav	.10156		
d	57 18 05	N hav	.22989	Lcosec	0.07493
L_2	76 57	N hav	.38710		
$d \sim co L_1$	17 31 05	N hav	.02319 (—)		
		N hav	.36391	L hav	9.56100
C	249°24'45"	C น.	110°35'15"	ว.L hav	9.82983
L_1	50°13'00" น.	L cos	9.80610	L sin	9.88563
C	69 24 45	L sin	9.97134	L tan	0.42525
L_V	53 12 น.	L cos	9.77744		
DLo_V	26 02.9 อ.			L cot	10.31088
λ_1	3 39.0 ตก.				
λ_V	22 23.9 อ.				

ตอบ ระยะทาง 3.438 ไมล์ เข็มแรก 249°24'45"
เวอร์เทกซ์ แลต. 53°12' น.
ลอง. 22°23'.9 อ.

หาจุดต่อเนื่อง (ดูในตารางหน้า 281)

เมื่อหาละติจูดและลองจิจูดของจุดต่าง ๆ ที่ต่อเนื่องกันบนทางวงใหญ่ได้เช่นนี้แล้ว จึงคำนวณหาเข็มและระยะทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดที่ถัดไปโดยวิธีแล่นเรือเมอเคเตอร์หรือแล่นเรือละติจูดกลาง แล้วจะเห็นได้ว่าระยะทางทั้งหมด โดยวิธีต่างกันกับระยะทางบนวงใหญ่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในทางปฏิบัตินั้นจำเป็นเพียงแต่คำนวณหาเข็มจริงและระยะทางจากจุดที่เรืออยู่ไปยังจุดที่ถัดไปเท่านั้น ฉะนั้นถ้าเรือเซตกออกไปห่างจากทางวงใหญ่มากเกินไปแล้วย่อมต้องเสียเวลามากและเสียระยะทางมากในการพยายามแล่นเข้าหาทางเดิม ฉะนั้นเมื่อเป็นเช่นนี้ควรต้องแล่นตามทางวงใหญ่ใหม่ทันที (คือขีดทางวงใหญ่ใหม่จากจุดที่เรือในขณะนั้น)

จุดต่อเนื่องกัน	ลอง. ป. ระหว่างเวอร์เทกซ์กับจุด	ลอง.ของจุดต่าง ๆ	แลต.ของจุดต่าง ๆ	โดยแล่นเรือเมอเคเตอร์	
				เข็ม	ระยะทาง
					ไมล์
เวอร์เทกซ์	0	22°23'.9อ.	53°12'.0น.		
C	—	3 39.0ตก.	50 13.0 ,,		
จุดที่ 1	30	7 36.1 ,,	49 10.7 ,,	ซ.68 ว.	166
,, 2	35	12 36.1 ,,	47 35.7 ,,	ซ.65 ว.	221
,, 3	40	17 36.1 ,,	45 40.7 ,,	ซ.61 ว.	236
,, 4	45	22 36.1 ,,	43 23.3 ,,	ซ.57 ว.	255
,, 5	50	27 36.1 ,,	40 40.2 ,,	ซ.54 ว.	276
,, 6	55	32 36.1 ,,	37 28.7 ,,	ซ.51 ว.	302
,, 7	60	37 36.1 ,,	33 45.4 ,,	ซ.48 ว.	332
,, 8	65	42 36.1 ,,	29 27.8 ,,	ซ.45 ว.	363
,, 9	70	47 36.1 ,,	24 34.1 ,,	ซ.42 ว.	397
,, 10	75	52 36.1 ,,	19 05.0 ,,	ซ.40 ว.	423
B		57 37.0 ,,	13 03.0 ,,	ซ.39 ว.	464

ระยะทางทั้งหมด 3,435 ไมล์

ตัวอย่าง 4 หาระยะทางวงใหญ่และเข็มแรก จากตำบลหนึ่งในแลต.40° น. ลอง.70° ตก. ไปยังตำบลหนึ่งในแลต.30° ต. ลอง.10° ตก. และหาลองจิจูดตรงที่ข้ามอิเควเตอร์

				co L_1	50° 00′
λ_2	70° ตก.			d	89 24.5
λ_1	10 ตก.			d ~ co L_1	39 24.5
DLo	60 ตก.	L hav	9.39794		
L_1	40 น.	L cos	9.88425	L sec	0.11575
L_2	30 ต.	L cos	9.93753		
		L hav	9.21972		
		N hav	.16585		
$L_1 \sim L_2$	70	N hav	.32899		
d	89 24.5	N hav	.49484	L cosec	0.00002
co L_2	120	N hav	.75000		
dco ~ L_1	39 24.5	N hav	.11368 (–)		
		N hav	.63632	L hav	9.80367
C	131° 24′ 20″	C	131° 24′ 20″	L hav	9.91944
L_1	40° 00′ 00″	น. L cos	9.88425	L sin	9.80807
C	131 24 20	L sin	9.87509	L tan	0.05463
L_V	54 55.8	น. L cos	9.75934		
DLo_V	53 54.6	ตก.		L cot	9.86270
λ_1	70 00	ตก.			
λ_V	123 54.6	ตก.			

ตอบ ระยะทาง = 5364.5 ไมล์ เข็มแรก = 131° 24′ 20″
ดำบลที่ของเวอร์เทกซ์ แลต. 54° 55′ 48″ น.
ลอง. 123 54 36 ตก.

หาลองจิจูดของจุดที่ข้ามอิเควเตอร์ ให้ m เป็นจุดตรงที่ข้ามอิเควเตอร์ เพราะฉะนั้น $Lm=0^{\circ}$

โดยสูตร : $\cot Lm = \cot Lv \sec$

หรือ $\tan Lm = \tan L_v \cos$

เอาค่าของ Lm ใส่แทนจะได้

$\tan Lv \cos \theta = \tan 0^{\circ}$

$\tan L_v \cos \theta = 0$

$\cos \theta = 0$

$\therefore \quad \theta = 90^{\circ}$

คือจุดนี้มีลองจิจูดเปลี่ยนห่างจากเวอร์เทกซ์ 90° และก็เป็นความจริงตามลักษณะของวงใหญ่ ฉะนั้นลองจิจูดของจุดที่ข้ามอิเควเตอร์ = 123°54'36" ตก.-90°=33°54'36" ตก.

ตัวอย่างนี้ ถ้าหาเข็มแรกโดยใช้สูตรแบบ sine แล้วจะได้

DLo	60°	ตก.	L sin	9.93753
L_2	30	ต.	L cos	9.93753
d	89 24.5		L cosec	0.00002
C	ช. $48^{\circ}35'.6$	อ.	L sin	9.87508

$= 131^{\circ}24'.4$

โจทย์ฝึกหัด

1. หาระยะทางและเข็มแรก โดยวิธีแล่นเรือวงใหญ่จากจุดที่หนึ่งไปยังจุดที่สองต่อไปนี้

(ก) โยโกฮามา แลต.35°26'41"น. ลอง.139°39'00"อ. และ Diamond Head, Hawaii แลต. 21°15'08"น. ลอง.157°48'44"ตก.

(ตอบ ระยะทาง 3355.2 ไมล์, เข็ม 086°.8)

(ข) ไฟเกาะ Farallon คาลิฟอร์เนีย แลต.37°41'51" น. ลอง.123°00'70" ตก. และไฟ Honolulu Reef แลต.21°17'55"น. ลอง.157°51'54"ตก.

(ตอบ ระยะทาง 2052.4 ไมล์ เข็ม 251°.3)

(ค) เรือทุ่นไฟ Nantucket Shoal แลต.40°37'05"น. ลอง.69°36'33" ตก. และ Ponta Delgada, Azores แลต.37°44'16"น. ลอง.25°40'40"ตก.

(ตอบ ระยะทาง 2029.2 ไมล์ เข็ม 080°.3)

2. หาระยะทางและเข็มแรกโดยวิธีแล่นเรือวงใหญ่จากจุดหนึ่งในทิศ 050° ระยะ 65 ไมล์จากไฟ Morro, San Juan, Porto Rico ไปยังจุดหนึ่งในทิศ 215° ระยะ 45 ไมล์จากไฟ Queenstown Point, Great Britain ตำบลที่ไฟ Morro แลต.18°28'23"น. ลอง.66°07'26"ตก. และไฟ Queenstown Point แลต.51° 47'33"น. ลอง.8°15'14" ตก.

(ตอบ ระยะทาง 3254.5 ไมล์ เข็ม 040°)

3. หาเข็มแรกและระยะทางโดยวิธีแล่นเรือวงใหญ่จาก Melbourne แลต.37° 49'53"ต. ลอง.144°58'42"อ. ไปยัง Callao แลต.12°03'53"ต. ลอง.77°08' 20"ตก. แล้วหาแลต.และลอง.ของเวอร์เทกซ์ด้วย

(ตอบ เข็ม 132°.9 ระยะทาง 6984.2 ไมล์

เวอร์เทกซ์ { แลต. 54°40'09" ต.
ลอง. 158 25 52 ตก.)

4. หาเข็มแรก ระยะทางและตำบลที่เวอร์เทกซ์บนเส้นทางวงใหญ่ระหว่าง A กับ B

A แลต.43°50' น. ลอง.146°50' อ.

B แลต.51 50 น. ลอง.173 10 ตก.

5. หาเข็มแรก ระยะทาง ตำบลที่ของเวอร์เทกซ์และจุดต่อเนื่องกันที่จะต้องเปลี่ยนเข็มทุก ๆ 10° ลองจิจูดบนทางวงใหญ่ จากโกเบ แลต.34°43' น. ลอง.135°11" อ. ไปยังซานฟรานซิสโก แลต.37°40' น. ลอง.122°30' ตก.

6. ให้หาเข็มแรก และระยะทางจากแหลม Good Hope แลต.34°22'ต. ลอง.18°30' อ. ถึง Rio de Janeiro แลต.22°55' ต. ลอง.43°09' ตก. แล้วหาตำบลที่ของเวอร์เทกซ์และจุดต่อเนื่องกันทุก ๆ 10° ลองจิจูดเปลี่ยน

(ตอบ เข็มแรก ช.64°44'50" ว.เวอร์เทกซ์ แลต.34°43' ต. ลอง.9° 15' อ. ระยะทาง 3,269 ไมล์)

7. เรือลำหนึ่งออกจาก Rio de Janeiro แลต.22°54' ต. ลอง.43° 06' ตก. ถึง Madeira แลต.32°43' น. ลอง.16°40' ตก. หาลองจิจูดของจุดที่ทางเรือตัดอิเควเตอร์

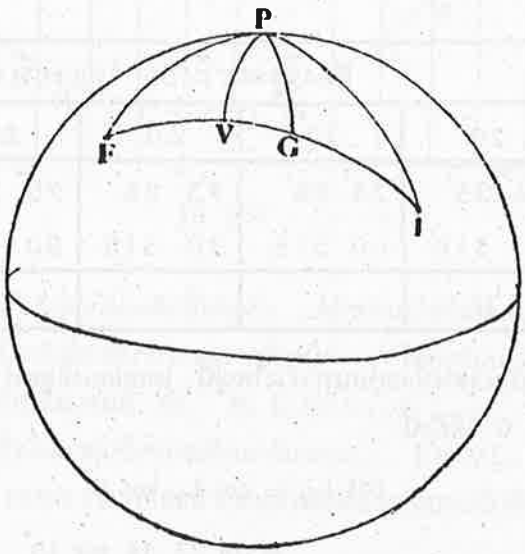
(ตอบ ลอง32°39'.5 ตก.)

วิธีเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ ในเมื่อไม่มีแผนที่วงใหญ่ วิธีนี้กำหนดจุด G ขึ้นอีกจุดหนึ่งในเส้นทางวงใหญ่ ซึ่งต่อระหว่าง F ไปยัง T จุด G นี้กำหนดขึ้นโดยใช้ลองจิจูดเปลี่ยนจาก V แล้วแต่สะดวก เช่น 10° เป็นต้น (รูป 178)

โดยที่รู้ตำบลที่ของ F และ T ก็หาแลต.ของ V ได้

โดยใช้กฎเนเปียร์ทำกับรูปสามเหลี่ยมทรงกลม PVG จะได้

$\tan PG = \tan PV \sec VPG$ หรือ $\cot L_G = \cot L_V \sec \theta$



รูป 178

ฉะนั้นก็จะทราบละติจูดของ G แล้วก็เขียนจุด G ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ได้ และถ้าหาจุดเหล่านี้ไว้หลาย ๆ จุดต่อเนื่องกันโดยกำหนดให้มีระยะห่างกัน 10° ลองจิจูดแล้วก็จะคำนวณหาละติจูดของจุดได้ทุกจุด แล้วลงตำบลที่ของจุดเหล่านี้ในแผนที่เมอเคเตอร์และเขียนเส้นโค้งเรียบต่อกันเข้า วิธีคำนวณนั้นมีปรากฏอยู่ในการคำนวณแล้ว

ตัวอย่าง ต้องการเขียนเส้นทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ ซึ่งรู้จุดเวอร์เทกซ์และจุดต่าง ๆ แล้วดังนี้

$$F \begin{cases} 39^\circ\ 20'\ \text{ต.} \\ 110^\circ\ 10'\ \text{อ.} \end{cases} \quad T \begin{cases} 44^\circ\ 30'\ \text{ต.} \\ 46^\circ\ 20'\ \text{ตก.} \end{cases} \quad V \begin{cases} 77^\circ\ 16'\ \text{ต.} \\ 30^\circ\ 51'\ \text{อ.} \end{cases}$$

	ลองจิจูดตะวันตกจากเวอร์เทกซ์						
	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
แลต.	56° 32'	65° 39'	70° 37'	73° 35'	75° 24'	76° 35'	77° 04'
ลอง.	36 09ตก.	29 09ตก.	19 09ตก.	9 09ตก.	0 51อ.	10 51อ.	20 51อ.
	M'	L'	K'	J'	I'	H'	G'

	ลองจิจูดตะวันออกจากเวอร์เทกซ์						
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
แลต.	77° 04'	76° 35'	75° 24'	73° 35'	70° 37'	65° 39'	56° 32'
ลอง.	40 51อ.	50 51อ.	60 51อ.	70 51อ.	80 51อ	90 51อ.	100 51อ.
	G	H	I	J	K	L	M

ถ้า G เป็นจุดหนึ่งอยู่บนทางวงใหญ่นี้ โดยมีลองจิจูดห่างจาก V ไป 10° ตะวันออก หาละติจูดของ G ได้ดังนี้

$$\cot L_G = \cot L_V \sec \theta$$

$$= \cot 77^\circ\ 16 \sec 10^\circ$$

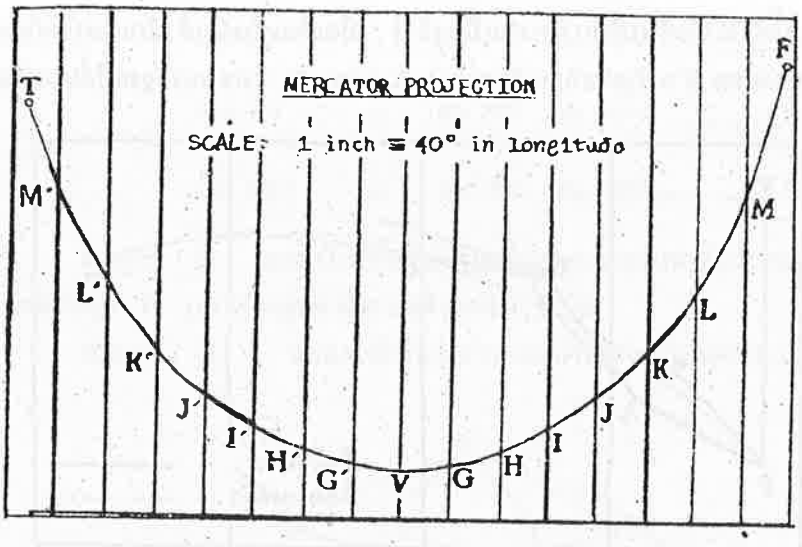
$$L \cot L_G = 9.35405 + 0.00665$$

$$= 9.36070$$

$$L_G = 78^\circ\ 04'$$

และโดยทำนองเดียวกันละติจูดของจุดต่าง ๆ ที่มีลองจิจูดห่างจาก ไป 20°, 30°, 40°..... ....ก็หาได้และได้แสดงไว้ให้เห็นดังในตารางต่อไปนี้

รูป 179 เป็นเส้นโค้งทางวงใหญ่ซึ่งได้จากการต่อจุดต่าง ๆ เหล่านี้ ในแผนที่เมอเคเตอร์



รูป 179

เมื่อเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่ได้แล้ว นักเดินเรือก็ย่อมหารายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับเข็มที่จะต้องแล่นให้ใกล้เคียงกับวงใหญ่มากที่สุดได้ โดยเขียนเส้นขอร์ดขึ้นชุดหนึ่งจากจุดที่ต่อเนื่องและติดต่อกันบนแผนที่ ถ้า M, L, K, ...เป็นจุดต่าง ๆ เหล่านี้นักเดินเรือต้องแล่นเรือไปตามเข็มของเส้นเกลียวตาม FM,ML, LK, ... จะแล่นไปตามวงใหญ่ไม่ได้ เพราะว่าการที่จะทำเช่นนั้นจะต้องเปลี่ยนเข็มติดต่อกันเรื่อยไป

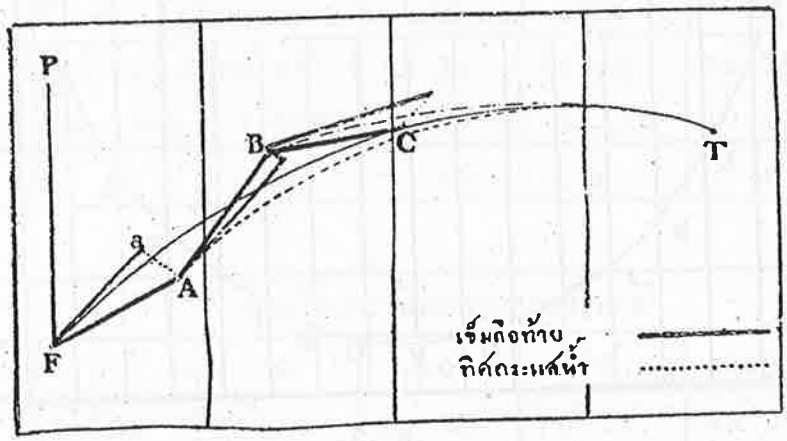
2. โดยมาตราแอซซิมัธ (**Azimuth Tables**)

วิธีที่ง่ายและสะดวกสำหรับหาเข็มแรก และระยะทางในการแล่นเรือวงใหญ่นั้นใช้ทำโดยมาตราแอซซิมัธ (Azimuth Tables) จะเป็นมาตราแอซซิมัธสูง หรือแอซซิมัธเวลาก็ได้ เพราะว่าแอซซิมัธได้ส่วนกันกับ(เท่ากับ)เข็มแรก ในการนี้ใช้เปิดมาตราแอซซิมัธเทียบหาเอาโดยให้ละติจูดของตำบลที่เรือออกเป็นละติจูดของผู้ตรวจ ละติจูดของตำบลที่เรือถึงเป็นเดคลิเนชั่น (Declination) ของวัตถุท้องฟ้า ลองจิจูดเปลี่ยนเป็นมุมเวลา (Hour angle) แล้วค่าของ (90°-สูง) และแอซซิมัธที่หาได้จากมาตรานั้นจะเป็นระยะทางและเข็มแรกของทางวงใหญ่ และถ้าเปลี่ยนสลับค่าของละติจูดออก และละติจูดถึงเสียก่อนแล้วเปิดหาแอซซิมัธ แอซซิมัธที่ได้ก็เป็นเข็มหลังโดยทำนองเดียวกัน

การที่นักเดินเรือแล่นออกจาก F ไปยัง T นั้นก็เป็นแต่เพียงใช้วิธีของสามเหลี่ยมทรงกลมเข้ากับละติจูดของ F และ T และลองจิจูดเปลี่ยนเพื่อหาเข็มแรก

เข็มนี้จะทำให้เรือแล่นออกห่างจากวงใหญ่ซึ่งต่อ F และ T มากขึ้นเรื่อยไปและทั้งอาจถูกกระแสน้ำทำให้เรือลอยตกไปด้วย เพราะฉะนั้นเมื่อหาที่เรือที่เรืออาจไปอยู่ที่ A ได้

(ดูรูป 180 รูปนี้ทำไว้ให้เห็นเกินกว่าความเป็นจริง) เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วนักเดินเรือก็ต้องใช้วิธีของสามเหลี่ยมทรงกลม สำหรับทำกับละติจูดของ A และ T และลองจิจูดเปลี่ยนเพื่อหาเข็มแรกสำหรับวงใหญ่ซึ่งต่อ A และ T ในวันรุ่งขึ้นเมื่อลงตำบลที่เรือที่ B แล้ว นักเดินเรือจะต้องหาเข็มแรกสำหรับวงใหญ่ซึ่งต่อ B และ T



รูป 180

วิธีทำเช่นนี้โดยมากมักใช้กันในเรือค้าขายซึ่งเดินทางสายประจำ ซึ่งมักจะเดินซ้ำไปตามสายทางวงใหญ่อันเดียวกันได้บ่อย ๆ การคำนวณทั้งหมดนั้นใช้ทำลงในสมุดคำนวณ ในการเดินเรือจริง ๆ นั้นใช้ขีดลงในแผนที่เป็นแต่เพียงส่วนน้อยเท่านั้น

3. โดยแผนที่วงใหญ่ (Great circle charts)

วิธีทำ ดูคำอธิบายวิธีเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ หน้า 264

4. โดยมาตรา Towson (Towson's Tables)

เพื่อให้ความสะดวก และมิให้ต้องเสียเวลาในการที่ต้องคำนวณหาเข็มต่อเนื่องกันบนทางวงใหญ่ สำหรับการแล่นเรือวงใหญ่ในทางปฏิบัติและทั้งทำให้ลดจำนวนแผนที่ที่ต้องทำไว้ทุก ๆ มหาสมุทรสำหรับใช้ในการแล่นเรือวงใหญ่ลงได้เป็นจำนวนมาก มร. J.T. Towson จึงได้คิดค้นหาวิธีขึ้นโดยใช้แผนภาพและมาตรา มาตรานี้สร้างขึ้นสำหรับหาทางวงใหญ่

มาตรานี้สร้างขึ้นตามหลักของรูปสามเหลี่ยมทรงกลม PFV (ดูรูป 181) โดยใช้กฎเนเปียร์ซึ่งได้

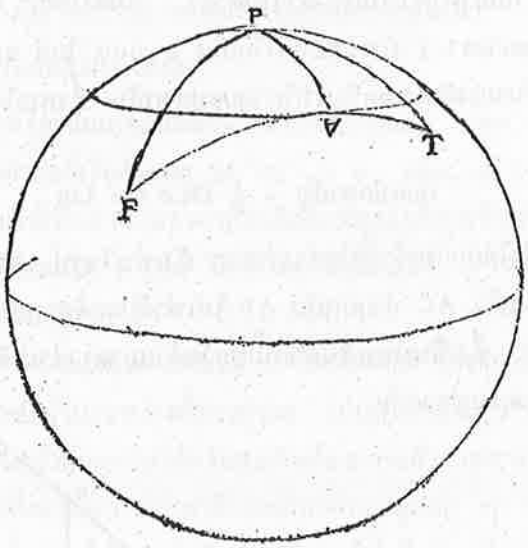
$$\cot PF = \cot PV \cos FPV \quad \ldots\ldots(1)$$

$$\tan FV = \sin PV \tan FPV \quad \ldots\ldots(2)$$

$$\cos PFV = \cos PV \sin FPV \quad \ldots\ldots(3)$$

สมการ (1) แสดงให้เห็นว่าถ้ารู้ละติจูดของเวอร์เทกซ์และลอง.เปลี่ยนระหว่างเวอร์เทกซ์กับจุด F บนวงใหญ่แล้วก็หาละติจูดของ F ได้

สมการ (2) แสดงให้เห็นว่าหาระยะทางของวงใหญ่จากเวอร์เทกซ์ไปยัง F ได้



รูป 181

สมการ (3) แสดงให้เห็นว่าหามุม PFV ซึ่งเป็นเข็มที่ F บนวงใหญ่ได้

ในมาตรา Towson นั้นได้ให้ละติจูดของ F, ระยะทางบนวงใหญ่ระหว่าง V กับ F และมุม PFV ไว้ทุก ๆ องศาของละติจูดของ F และลอง.เปลี่ยนระหว่าง V กับ F ได้ให้ไว้ทุกองศาจนถึง 90° ฉะนั้นเมื่อรู้ละติจูดของ V และ F แล้วก็หาลอง.เปลี่ยนระหว่าง V กับ F, ระยะทางวงใหญ่ FV และมุม PFV ได้

ละติจูดของ V ของวงใหญ่ซึ่งต่อระหว่างจุดสองจุด F และ T ที่รู้แล้วนั้นหาได้จากแผนภาพซึ่งมีคำอธิบายให้ไว้ในมาตรานั้นแล้ว

เมื่อหาละติจูดของ V ได้แล้วก็หาลอง.เปลี่ยนระหว่าง V กับ F ได้จากมาตรา ฉะนั้นก็หามุม FPV และ TPV ได้แล้วจึงเปิดมาตราหาระยะทางของ F และ T

จาก V และค่าของมุม PFV กับ PTV ได้

เพราะฉะนั้นมาตรานี้จึงตัดความยุ่งยาก และตัดเวลาในการคำนวณหาระยะทางวงใหญ่ในระหว่างที่สองตำบลและเข็มตามทางวงใหญ่ได้เป็นอันมาก

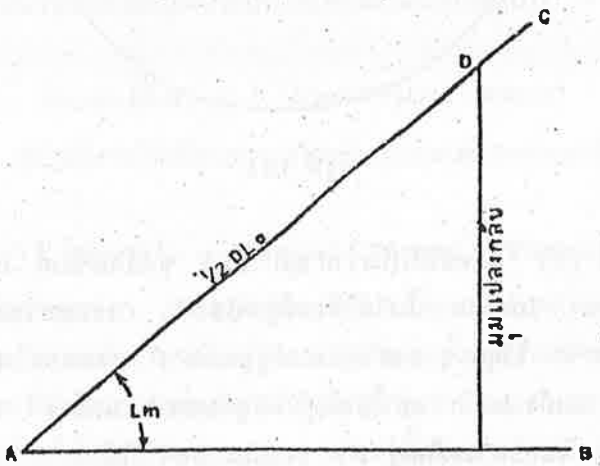
5. โดยมุมแปลงกลับ (Conversion angle)

ถ้าหากทราบผลต่างของทิศของวงใหญ่ และเส้นเกลียวแล้วให้ใช้ผลต่างเป็นอัตราแก้เข้ากับเข็มของเส้นเกลียวที่ได้จากแผนที่ เมอเคเตอร์และเข็มแรกของวงใหญ่ที่หาได้ อัตราแก้หรือผลต่างนี้เรียกว่ามุมแปลงกลับ (Conversion angle)

มุมแปลง กลับได้ให้ไว้เป็นตารางในตำรา American Practical Navigator โดย Bowditch ในมาตรา 1 ถ้าระยะทางไม่เกิน 2,000 ไมล์ และทั้งตำบลที่เรือออกและเรือถึงอยู่บนข้างเดียวกันของอิเควเตอร์แล้วก็หามุมแปลงกลับ ซึ่งพอมีความแม่นยำในทางปฏิบัติได้โดยใช้สูตร

$$\text{มุมแปลงกลับ} = \frac{1}{2}\ DLo \sin Lm$$

สูตรนี้ใช้ทำโดยการสร้างรูปอย่างง่าย ๆ ดังเช่นในรูป 182 ก็ได้ เขียนเส้น AB ขึ้นเส้นหนึ่ง แล้วเขียนเส้น AC ทำมุมกลับ AB ให้เท่ากับละติจูดกลางระหว่างตำบลที่เรือออกและเรือถึง จากจุด A ซึ่งเป็นของเส้นฉากนี้เมื่อวัดด้วยมาตราส่วนเดียวกันกับที่ใช้วัด $\frac{1}{2}$ DLo จะเป็นจำนวนองศาของมุมแปลงกลับ



รูป 182 หามุมแปลงกลับโดยเขียนรูป

เครื่องหมายของมุมแปลงกลับย่อมจะทราบได้ ไม่ว่าในกรณีใดถ้าพึงระลึกไว้ว่าทางวงใหญ่นั้นย่อมอยู่ใกล้ขั้วโลกมากกว่าเส้นเกลียวเป็นต้นว่าในละติจูดเหนือ ถ้าตำบลที่เรือถึงอยู่

ทางตะวันออกของตำบลที่เรือออกแล้วมุมแปลงกลับเป็นลบ (-) และถ้าอยู่ทางตะวันตกก็เป็นบวก (+)

ในทางปฏิบัตินั้นโดยมากมักนำเอามุมแปลงกลับมาดัดแปลงใช้หาเส้นขอร์ด การดัดแปลงนี้ให้เอาจำนวนเส้นขอร์ด (ขา) ที่จะใช้ไปหามุมแปลงกลับ แล้วเอาผลหารที่ได้ลบออก จากมุมแปลงกลับก่อนที่จะเอาไปทำกับเข็มเมอเคเตอร์ (เส้นเกลียว) เมื่อแล่นไปถึงปลายขอร์ด (ขา) เส้นแรกก็ต้องทำใหม่สำหรับเส้นขอร์ดเส้นต่อไป การทำเช่นนี้มีข้อยุ่งยากมากกว่าการใช้แผนที่วงใหญ่อยู่บ้าง แต่ท่าดัดความจำเป็น ในการที่ต้องคำนวณยืดยาวได้ในเมื่อไม่มีแผนที่วงใหญ่ใช้

การหาระยะทางใช้วัดความยาวของเส้นขอร์ดแต่ละเส้นเอา

โจทย์ฝึกหัดนำโดยมุมแปลงกลับ

เข็มเส้นเกลียวหรือเข็มเมอเคเตอร์จากตำบลที่เรือออก แลต.41°33'.5 น., ลอง.59°12'.5 ตก. ถึงตำบลที่เรือถึงแลต.58°31'.5 น. ลอง.19°25'.5 ตก. เท่ากับ 056° จงหามุมแปลงกับให้เป็นจำนวนองศาที่ใกล้เคียงที่สุดและหาเข็มสำหรับขอร์ดเส้นแรก ถ้ามีเส้นขอร์ด (ขา) ที่จะต้องแล่น 5 เส้น ให้ทำโดยวิธีสร้างรูป

(ตอบ: มุมแปลงกลับ = 15°, C = 044°)

แล่นเรือผสม (Composite Sailing or Composite Great Circle Sailing)

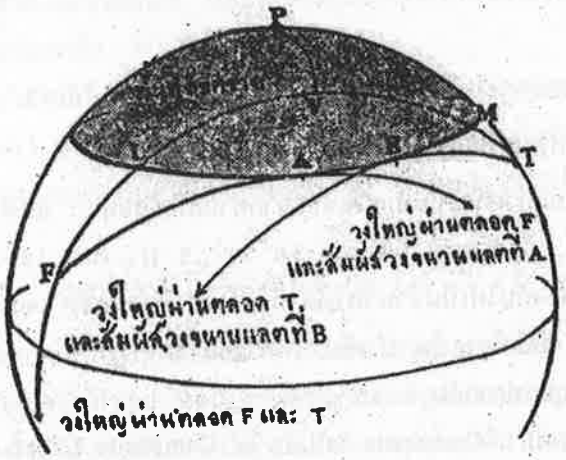
ถ้าเมื่อเวอร์เทกซ์อยู่ในระหว่างที่สองตำบล (เวอร์เทกซ์ใน) และเมื่อวงใหญ่ผ่านขึ้นไปในละติจูดสูง ๆ เกินกว่าที่จะแล่นได้หรือสูงเกินต้องการแล้ว เพราะอาจเกิดอันตรายต่อการเดินเรือ เนื่องจากน้ำแข็งหรืออากาศร้ายได้และมักปรากฏอยู่บ่อย ๆ ว่าเมื่อขีดทางวงใหญ่ลงแล้วปรากฏว่าทางวงใหญ่นั้นผ่านไปในแผ่นดินหรือผ่านเข้าไปในเขตที่หนาวจัดมาก ฉะนั้นจำต้องแก้ไขทางวงใหญ่เพื่อหลบหลีกภยันตรายนี้เสีย แต่ถึงกระนั้นก็ตามก็ยังคงประสงค์ให้ได้ระยะทางสั้นที่สุดด้วยทางแล่นเรือที่ดัดแปลงขึ้นนี้เรียกว่า "ทางแล่นเรือผสม" ซึ่งเป็นวิธีแล่นเรืออีกวิธีหนึ่งที่ มร. Towson เป็นผู้คิดขึ้นคนแรก การที่เรียกว่า "ทางแล่นเรือผสม" เพราะว่าทางนี้ประกอบด้วยขอบวงใหญ่สองขอบกันขอบวงขนานละติจูด จำกัดเขตหรือขอบวงขนานละติจูดพันอันตรายหนึ่งขอบ ในการแล่นเรือวิธีนี้ให้กำหนดดวงขนานละติจูดสูงที่สุดที่จะแล่นได้ไว้ถือว่าเป็นวงขนานละติจูดจำกัดเขต แล้วแล่นเรือไปตามขอบวงใหญ่ซึ่งผ่านตำบลที่เรือออกและมีเวอร์เทกซ์ของมันอยู่บนวงขนานละติจูดจำกัดเขตนี้แล้วแล่นต่อไป ตามขอบวงขนานละติจูดนี้จนกระทั่งถึงขอบวงใหญ่อีกขอบหนึ่งซึ่งผ่านตำบลที่เรือถึงและมีเวอร์เทกซ์ของมันอยู่บนวงขนานละติจูดจำกัดเขตนี้ด้วย แล้วจึงแล่นตามขอบวงใหญ่นี้ไปจนถึงที่หมาย วิธีแล่นเรือชนิดนี้เรียกว่า "แล่นเรือผสม" ซึ่งดัดแปลงมาจากแล่นเรือวงใหญ่

ในรูป 183 และ 184 ให้ LABM เป็นวงขนานละติจูดจำกัดเขต, FLVMT เป็นวงใหญ่ต่อระหว่าง F และ T, FABT เป็นทางแล่นเรือผสมซึ่ง FA และ BT เป็นขอบวง

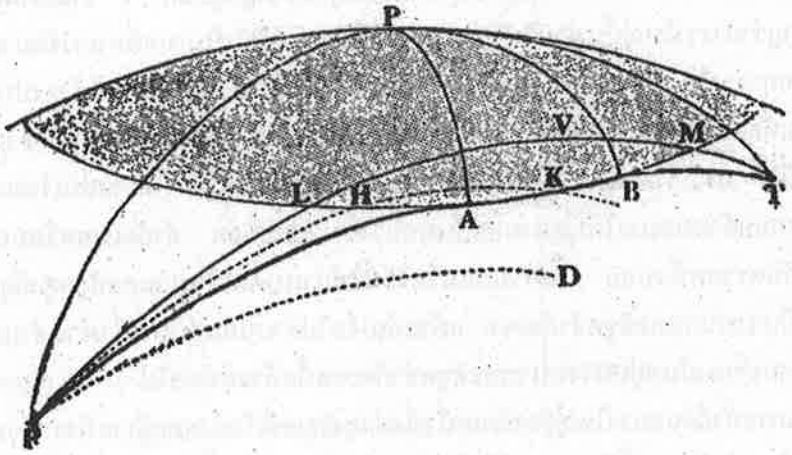
ใหญ่สัมผัสวงขนานละติจูดที่ A และ B และ AB เป็นส่วนหนึ่งของวงขนานละติจูด

ทางแล่นเรือผสม FABT (รูป 184) เป็นทางเรือที่สั้นที่สุดที่จะแล่นได้โดยมิต้องข้ามวงขนานละติจูด เนื่องจากเหตุสองประการ คือ

(1) ถ้า FH เป็นวงใหญ่วงใดวงหนึ่งจาก F ไปยังวงขนานละติจูดแล้วระยะทางบนขอบวงใหญ่ FH และขอบ HA ของวงขนานละติจูดย่อมยาวกว่าขอบวงใหญ่ FA เพราะว่าขอบ HA ยาวกว่าขอบวงใหญ่ซึ่งต่อระหว่าง H และ A และทั้งขอบวงใหญ่ FH และ HA รวมกันแล้วก็ยาวกว่าขอบวงใหญ่ FA



รูป 183



รูป 184

(2) ถ้า K เป็นจุดใดจุดหนึ่งระหว่าง A และ B แล้ว วงใหญ่ซึ่งต่อระหว่าง F และ K ต้องตัดกับวงขนานละติจูดเสียก่อนที่จะไปถึง K การที่เป็นดังนี้เพราะว่าในรูปสามเหลี่ยมทรงกลม PFA ซึ่งมีมุม A เป็นมุมฉากนั้น

$$\sin PA = \sin FP \sin PFA$$

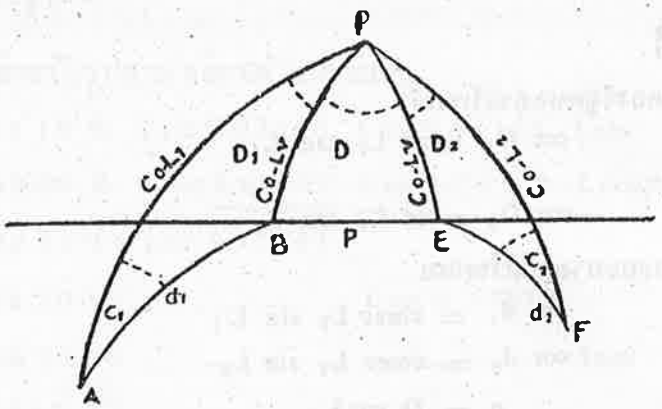
เพราะฉะนั้นถ้ามุม PFA โตมากขึ้น PA ก็ทวีมากขึ้นด้วย F เป็นจุดประจำที่ คือว่าละติจูดของเวอร์เทกซ์ของวงใหญ่ใหม่ FD น้อยกว่าละติจูดของ A และ K โดยเหตุนี้ K ต้องอยู่บนวงใหญ่ ฉะนั้นมุม PFK จึงน้อยกว่ามุม PFA เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถเขียนวงใหญ่ต่อ F ไปยังจุดใด ๆ ระหว่าง A และ B โดยมิให้ข้ามวงขนานละติจูดได้

แล่นเรือผสมมีวิธีทำอยู่ 3 วิธีคือ

1. โดยการคำนวณ
2. โดยแผนที่วงใหญ่
3. โดยการสร้างรูป (Graphic Method)

1. โดยการคำนวณ

ในรูป 185 ให้ A เป็นตำบลที่เรือออก, F เป็นตำบลที่เรือถึง BE เป็นวงขนานละติจูดจำกัดเขต, AB และ EF เป็นวงใหญ่ซึ่งผ่าน A และ F ตามลำดับและสัมผัสกับวงขนานละติจูดจำกัดเขตที่ B และ F คือวงใหญ่ทั้งสองมีเวอร์เทกซ์อยู่บนวงขนานละติจูด)



รูป 185

ฉะนั้น ABEF เป็นทางแล่นเรือผสม และโดยที่เวอร์เทกซ์ของวงใหญ่ทั้งสองต่างอยู่บนวงขนานละติจูดจำกัดเขต ฉะนั้น $PB = PE = co\ L_v$ ให้ D_1 เป็นลอง.เปลี่ยน

ระหว่าง A และ B, D_2 เป็นลอง.เปลี่ยนระหว่าง F กับ E, และ D เป็นลอง.เปลี่ยนระหว่างเวอร์เทกซ์ทั้งสอง

ให้อักษรย่อตามรูปแทนส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการทราบ วิธีทำอาศัยสูตรของรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉากและแล่นเรือขนาน

ในรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉาก ABP:

$$\sin C_1 = \cos L_V \sec L_1$$

$$\cos D_1 = \cot L_V \tan L_1$$

$$\cos d_1 = \operatorname{cosec} L_V \sin L_1$$

ในรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉาก FEP:

$$\sin C_2 = \cos L_V \sec L_2$$

$$\cos D_2 = \cot L_2 \tan L_2$$

$$\cos d_2 = \operatorname{cosec} L_V \sin L_2$$

ในรูปสามเหลี่ยมทรงกลมมุมฉาก BEP:

$$D = (\lambda_2 \sim \lambda_1) - (D_1 + D_2)$$

โดยแล่นเรือขนาน : $p = DLo \cos L$

$$\therefore p = D \cos L$$

แล้วจะได้สูตรต่อไปนี้

1. หาลองจิจูดของเวอร์เทกซ์

$$\cos D_1 = \cot L_V \tan L_1$$

$$\cos D_2 = \cot L_V \tan L_2$$

2. หาระยะทางแล่นเรือผสม

$$\cos d_1 = \operatorname{cosec} L_V \sin L_1$$

$$\cos d_2 = \operatorname{cosec} L_V \sin L_2$$

$$p = D \cos L_V$$

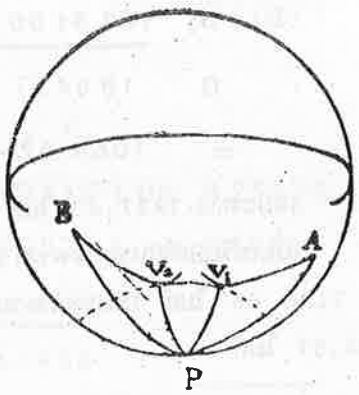
ให้ เป็นระยะทางแล่นเรือผสม

$$\therefore d = d_1 + p + d_2$$

3. หาเข็มแรกและเข็มหลัง

$$\sin C_1 = \cos L_v \sec L_1$$

$$\sin C_2 = \cos L_v \sec L_2$$



รูป 186

ตัวอย่าง 1. ให้ตำบลที่เรือออก แลต. 35° 40' ต. ลอง.118°06'07" อ. ตำบลที่เรือถึง แลต. 22°15' ต. ลอง.41°30' ตก. ต้องการหาทางเดินเรือที่ใกล้ที่สุด โดยวิธีแล่นเรือผสมในเมื่อแลต.60° ต. เป็นวงขนานแลต. จำกัดเขต

วิธีทำ

หาระยะทางเข็มแรกและเข็มหลัง สำหรับรูปสามเหลี่ยมด้านตะวันออก

L_1	35°40' ต.	L sec	0.09022	L tan	9.85594	L sin	9.76572
L_v	60 00 ต.	L cos	9.69897	L cot	9.75144	L cosec	0.06247
C_1ซ.	37 59 03 ว.	L sin	9.78919				
D_1	65 31 15	L cos	9.61738				
d_1	47 40 48	L cos	9.82819				

$= 2860'.8$

สำหรับรูปสามเหลี่ยมด้านตะวันตก

L_2	22°15' ต.	L sec	0.03360	L tan	9.61184	L sin	9.57824
L_v	60 00 ต.	L cos	9.69897	L cot	9.76144	L cosec	0.06247
C_2น.	32 41.9 ว.	L sin	9.73257				
D_2	76 20 15	L cos	9.37328				
d_2	64 04 20	Lcos	9.64071				

$= 3844'.33$

D	$= (\lambda_2 \sim \lambda_1) - (D_1 + D_2)$.	D	1064.62	log	3.02719
λ_2	41°30'00" ตก.	L_v	60°	L cos	6.69897
λ_1	118 06 07 อ.	p	532.3	log	2.72616

$\lambda_2 + \lambda_1$ 159 36 07 d_1 2860.8

$D_1 + D_2$ 141 51 30 d_2 3844.33

D 18 44 37 $d = p + d_1 + d_2 = 7237.43$ ไมล์

= 1064'.62

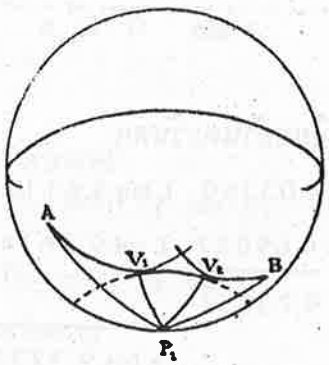
ระยะทาง 7237.43 ไมล์ เข็มแรก ช.37°59'33" ว.เข็มหลัง น.32°41'54"ว.

เมื่อเปรียบเทียบระยะทางตามทางวงใหญ่ และทางผสมในตัวอย่างนี้แล้ว ระยะทางวงใหญ่ได้ 7136 86 ไมล์ ระยะทางตามทางแล่นเรือผสมได้ 7237.43 ไมล์ หรือทางวงใหญ่สั้นกว่า 100.57 ไมล์

ตัวอย่าง 2 เนื่องจากอากาศร้ายตามฤดูกาล จึงกำหนดเอาแลต.55°ต. เป็นแลต.จำกัดเขต ออกเรือจาก Rio แลต.23°04'ต. ลอง.43°08'ตก. ไปยัง Cape Leeuwin แลต.34°19'ต. ลอง.115°06'อ. ต้องการทราบระยะทางตามทางแล่นเรือผสม เข็มแรก เข็มหลังและตำบลที่ของเวอร์เทกซ์

วิธีทำ

หาระยะทาง เข็มแรก เข็มหลัง และตำบลที่ของเวอร์เทกซ์



รูป 187

สำหรับรูปสามเหลี่ยมด้านตะวันตก

L_1 23°04'ต. L sec 0.03619 L tan 9.62926 L sin 9.59307

L_v 55 00 ต. L cos 9.75859 L cot 9.84523 L cosec 0.08664

C_1 ช. 38 34 อ. L sin 9.79478

D_1 72 39 ..... L cos 9.47449

d_1 61 25.5 ..... L cos 9.67971

$= 3685'.5$

สำหรับรูปสามเหลี่ยมด้านตะวันออก

L_2 34°19' ต. L sec 0.08305 L tan 9.83415 L sin 9.75110

L_v 55 00 ต. L cos 9.75859 L cot 9.84523 L cosec 0.08664

C_2 น. 43 59 อ. L sin 9.84164

D_2 61 27 ..... L cos 9.67938

d_2 46 30.5 ..... L cos 9 83774

$= 2790'.5$

$D = (\lambda_2 \sim \lambda_1) - (D_1 + D_2)$ D 1448' log 3.16077

λ_2 115°06' อ. L_v 50 00 L cos 9.75859

λ_1 43 08 ตก. p 830.5 log 2.91936

$\lambda_2 + \lambda_1$ 158 14 ตก. d_1 3685.5

$D_1 + D_2$ 134 06 d_2 2790.5

D 24°08' $d = p + d_1 + d_2 = 7306'.5$

$= 1448'$

ให้ λ_{v1} และ λ_{v2} เป็นลองจิจูดของเวอร์เทกซ์ V_1 และ V_2

λ_1 43°08' ตก. λ_2 115°06' อ.

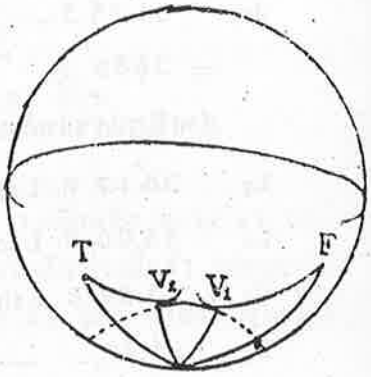
D_1 72 39 อ. D_2 61 27 ตก.

λ_{v1} 29 31 อ. λ_{v2} 53 39 อ.

ระยะทาง 7306.5 ไมล์ เข็มแรก ช.38°34' อ. เข็มหลัง น.43°59' อ. ลอง. จิจูดของเวอร์เทกซ์ 29°31' อ. และ 53°39' อ.

ส่วนจุดต่าง ๆ ต่อเนื่องกันบนขอบ AV_1 และ BV_2 จะหาได้ดังในวิธีแล่นเรือวงใหญ่โดยสมมุติให้มีลองจิจูดเปลี่ยนจาก V_1 ไปยัง A หรือจาก V_2 ไปยัง B ก็ได้

ตัวอย่าง 3 จงหาระยะทางตามทางแล่นเรือผสมจาก F แลต.39°20′ ต. ลอง.10°10′ อ. ไปยัง T แลต.44°30′ ต.. ลอง.46°20′ ตก. ละติจูดจำกัดเขต 62° ต.



รูป 188

วิธีทำ

L_1	39°20′ ต.	L tan	9.91353	L sin	9.80197
L_V	62 00 ต.	L cot	9.72567	L cosec	0.05407
D_1	64 0.2	L cos	9.63920		
d_1	44 07.3			L cos	9.85604
	= 2647′.3				
L_2	44 30 ต.	L tan	9.99242	L sin	9.84566
L_V	62 00 ต.	L cot	9.72567	L cosec	0.05407
D_2	58 30	L cos	9.71809		
d_2	37 27.3			L cos	9.89973
	= 2247′.3				
$D = (\lambda_2 \sim \lambda_1) - (D_1 + D_2)$		D	2029.8	log	3.30745
λ_2	46°20′ ตก.	L_V	62	L cos	9.67161
λ_1	110 10 อ.	p	952.9	log	2.97906
$\lambda_2 + \lambda_1$	156 30 อ.	d_1	2647.3		
$D_1 + D_2$	122 40.2	d_2	2247.3		
D	33 49.8	$d = p + d_1 + d_2 =$		5847.5	
	= 2029′.8				

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือลำหนึ่งอยู่ในแลต.30° ต. ลอง.18° ตก. แล่นไปยังจุดหนึ่งในแลต.39° ต. ลอง.145° อ. และตั้งใจไว้ว่าจะไม่แล่นไปทางใต้ของวงขนานแลต.55° ต. จงหาลองจิจูดที่เรือแล่นไปถึงวงขนานแลต.นั้น และลองจิจูดที่ออกจากแลต.นั้นด้วย (ตอบ ลองจิจูดถึง 48° 09' อ., ลองจิจูดออก89°33' อ.)

2. จงหาระยะทางโดยแล่นเรือผสมจาก Port Elizabeth ในอัฟริกาใต้แลต. 33°10 ต., ลอง.25°40' อ. และ King s Island ในออสเตรเลีย แลต.40° ต., ลอง.144°10' อ. ให้วงขนานแลต.43° ต. เป็นแลต.จำกัดเขต

3. หาเข็มแรก เข็มหลัง และระยะทางจาก Bahia Blanca แลต.38°59' ต., ลอง.61°39' ตก. ถึง Cape Leeuwin แลต.34°31' ต. ลอง.115°06' อ. เมื่อถึงแลต.45° ต. ต้องแล่นตรงตะวันออกหาลองจิจูดของจุดที่เรือถึงและออกจากเส้นขนานละติจูดนั้นด้วย

(ตอบ เข็มแรก ต.65°27'.5 อ., เข็มหลัง น.95°06'.5 อ., ระยะทาง 7832.4 ไมล์. ลอง.ถึง 25°40'.5 ตก., ลอง.ออก.68°32'.5 ตก.)

4. หาเข็มแรก เข็มหลัง ระยะทางทั้งหมด ลองจิจูดที่เรือถึงและที่ออกจากวงขนานแลต.ที่กำหนดให้ เรือแล่นจาก Cape Mary แลต 16°40'ต.ลอง 50°04'อ.ถึง Monte Video แลต 34° 43'ต., ลอง 56° 16' ตก. ให้วงขนานแลต.40° ต. เป็นแลต.จำกัดเขต

(ตอบ เข็มแรก ช. 53°05'.5 ว., เข็มหลัง น.68°44'.5 ว. ระยะทาง 5600.6 ไมล์. ลอง.ถึง19°01'.5 ตก., ลอง.ออก 21°55'.5 ตก.)

5. หาเข็มแรก เข็มหลัง และระยะทางโดยแล่นเรือผสมจาก Valparaiso แลต. 33°02' ต., ลอง. 71°28' ตก. ถึง Port Lyttelton แลต.43°36' ต. ลอง.172° 50' อ. ให้ละติจูดของ Port Lyttelton เป็นแลต.จำกัดเขต และหาจุดต่อเนื่องกันทุก ๆ 5° ลองจิจูดเปลี่ยนจากลอง.73° ตก. ไปถึงวงขนานแลต.ของ Port Lyttelton และหาลองจิจูดที่เรือถึงวงขนานแลต.จำกัดเขต

(ตอบ ระยะทาง 5254.2 ไมล์ เข็มแรก ช.59°45' ว. เข็มหลัง ตะวันตกตรง (270°) ลองจิจูดถึง 118°24' ตก. ส่วนตำบลที่ของจุดต่อเนื่องนั้นมีดังนี้

จุดที่	1	แลต.	33°46'	ต.	ลอง.	73°	ตก.
"	2	"	35 57	"	"	78	"
"	3	"	37 49	"	"	83	"
"	4	"	39 24	"	"	88	"
"	5	"	40 42	"	"	93	"

จุดที่	6	แลต.	41°	45'	ต.	ลอง.	98°	ตก.
"	7	"	42	33	"	"	103	"
"	8	"	43	07.5	"	"	108	"
"	9	"	43	28.5	"	"	118	"
"	10	"	43	36	"	"	118	"

2. โดยแผนที่วงใหญ่

เขียนเส้นตรงจากจุดที่เรือออกและจุดที่เรือถึงให้สัมผัสกับวงขนานละติจูดจำกัดเขต ลงในแผนที่วงใหญ่แล้วหาเข็มวงใหญ่และระยะทางวงใหญ่จากจุดที่เรือออกไปยังจุดสัมผัสจุดแรก (คือแล่นตามขอบวงใหญ่วงแรก) และจากจุดสัมผัสจุดที่สองไปยังจุดที่เรือถึง (คือแล่นตามขอบวงใหญ่วงที่สอง) ตามคำอธิบายที่ได้ให้ไว้ในแผนที่วงใหญ่นั้น ส่วนระยะทางตามวงขนานละติจูดนั้นหาโดยวิธีแล่นเรือขนานหรือหาจากแผนที่เมอเคเตอร์

หรือจะใช้เขียนทางแล่นเรือผสมที่ได้จากแผนที่วงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ก็ได้โดยใช้ลงด้วยโคออร์ดิเนตของจุดต่อเนื่องต่าง ๆ รวมทั้งจุดสัมผัสด้วย (ดังได้อธิบายไว้แล้วในการเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ในวิธีแล่นเรือวงใหญ่)

สำหรับแผนที่ขั้วโลก (ดูรูป 167) นั้นการเขียนเส้นสัมผัสไปยังวงขนานแลต.จำกัดเขตใช้เขียนโดยวิธีเดียวกัน

สมมุติว่าต้องการหาทางแล่นเรือผสม จากแลต.45° น., ลอง.150° อ., ไปยังแลต.47°.5 น., ลอง.130° ตก. ให้แลต.50° น.เป็นแลต.จำกัดเขต

วิธีทำ จากตำบลแรกเขียน CE (รูป 167) สัมผัสกับวงขนานแลต.50° และเขียน DF สัมผัสกับวงขนานแลต.เดียวกัน C และ D เป็นตำบลที่เรือออกและถึงตามลำดับแล้ว เอาจุดต่อเนื่องกันมากน้อยตามต้องการและรวมทั้งจุดสัมผัสด้วย จากแผนที่วงใหญ่ไปเขียนลงในแผนที่เมอเคเตอร์ โดยลงด้วยโคออร์ดิเนตของจุดแล้วแล่นเรือตามขอบวงใหญ่ขอบแรกจากจุดถึงจุดจนถึงวงขนานละติจูดแล้ว แล่นต่อไปตามวงขนานละติจูดนั้นและแล่นต่อไปจากจุดถึงจุดของวงใหญ่ที่สองจนถึงตำบลที่เรือถึง

3. โดยการสร้างรูป

การหาทางแล่นเรือผสมนี้อาจใช้หาด้วยลูกโลก (Terrestrial globe) ก็ได้ หรือใช้เขียนทางแล่นเรือผสมโดยใกล้เคียงลงในแผนที่เมอเคเตอร์ได้ดังต่อไปนี้

ให้กำหนดละติจูดจำกัดเขตขึ้นแล้วเขียนเส้นตรงต่อระหว่างที่สองตำบลในแผนที่เมอเคเตอร์แล้วตั้งเส้นฉากขึ้นเส้นหนึ่ง จากจุดกึ่งกลางของเส้นตรงนี้และยึดเส้นฉากไป จนกระทั่ง

...งขนานละติจูดจำกัดเขต แล้วเขียนขอบวงกลมให้ผ่านจุดตัดกันนี้กับที่สองตำบลนั้น ขอบวงกลมนี้เป็นทางเรือที่ใกล้เคียงต่อระยะทางที่สั้นที่สุดภายในละติจูดจำกัดเขต แล้วแล่นเรือจากจุดถึงจุดตามขอบวงกลมนี้โดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลางหรือแล่นเรือเมอเคเตอร์จนถึงจุดตัดกับวงขนานละติจูดจำกัดเขต แล้วแล่นไปตามวงขนานละติจูดจำกัดเขตโดยวิธีแล่นเรือขนานจนถึงจุดที่ตัดกับวงกลม แล้วแล่นต่อไปจากจุดถึงจุดตามขอบวงกลมที่เหลือจนกระทั่งถึงตำบลที่เรือถึง โดยวิธีแล่นเรือละติจูดกลางหรือแล่นเรือเมอเคเตอร์

แบริงวิทยุ (Radio bearings) เป็นวงใหญ่ คลื่นวิทยุวิ่งในทางที่สั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง คือ วิ่งไปตามทางวงใหญ่ระหว่างที่สองแห่งนั้น (ดูรูป 172) ถ้าเรือที่ B ส่งสัญญาณวิทยุไปยังสถานีวิทยุหาทิศ (radio direction finder) ที่ A หางสถานีวิทยุหาทิศจะหาทิศที่ A ของวงใหญ่ระหว่าง A และ B แล้วส่งสัญญาณบอกทิศนี้ไปให้เรือ ทิศที่หาได้และส่งสัญญาณไปให้เป็นทิศของเส้นสัมผัสต่อขอบวงใหญ่ AB ที่ A หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือทิศของ ACX ในรูปนั้นเอง ถ้าเรือที่ B ขีดแบริงที่ได้รับจาก A ให้เป็นเส้นเกลียวแล้วเส้นแบริงนี้จะปรากฏเป็นเส้น ACX และแสดงให้เห็นว่าเรืออยู่เลยขึ้นไปทางเหนือของตำบลที่แท้จริงของเรือ ฉะนั้นจึงเห็นประจักษ์ได้ว่าจะขีดแบริงวิทยุให้เป็นเส้นเกลียวไม่ได้เว้นแต่ระยะทางสั้น ๆ เพราะว่าในทางปฏิบัตินั้น ถือว่าเส้นเกลียวและวงใหญ่เท่ากันสำหรับระยะทางสั้น ๆ ระยะทางอย่างไกลที่สุดที่ถือว่าวงใหญ่และเส้นเกลียวเท่ากันนั้นยังแปรตามละติจูดอยู่บ้าง ฉะนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงกำหนดเอาระยะทาง 50 ไมล์เป็นระยะทางที่ไกลที่สุด เมื่อเกินระยะนี้ไปแล้วถือว่าเส้นเกลียวและวงใหญ่ไม่เท่ากัน

สำหรับท้องที่บางแห่งได้ทำแผนที่วิทยุหาทิศให้ไว้ แผนที่เหล่านี้ใช้วิธีขยายแบบโนโมนิก แผนที่นี้มีวงเข็มทิศขนาดใหญ่มาก 1 วง (เรียกว่า "วงแอซซิมัธ" ในแผนที่) มีศูนย์กลางอยู่ที่แต่ละสถานีวิทยุ ในแผนที่แต่ละแผ่นนั้นอาจขีดแบริงวิทยุจากสถานีเฉพาะแห่งลงเป็นเส้นตรงได้ โดยใช้วงเข็มทิศที่มีศูนย์กลางอยู่ที่สถานีนั้นเพื่อลงทิศ

จะขีดแบริงวิทยุเป็นเส้นตรงลงในแผนที่เมอเคเตอร์ไม่ได้ แต่ถ้ารู้ละติจูดและลองติจูดใกล้เคียงของเรือแล้ว ให้ใช้วิธีต่อไปนี้คำนวณหาได้ เอาละติจูดและลองจิจูดใกล้เคียงของเรือและละติจูดและลองจิจูดของสถานีวิทยุหาทิศคำนวณหาเข็มเมอเคเตอร์ และเข็มแรกของวงใหญ่จากสถานีไปยังเรือได้ ผลต่างระหว่างเข็มทั้งสองนี้เป็นอัตราแก้ที่ต้องใช้ทำกับแบริงวิทยุ เพื่อหาเส้นเกลียวซึ่งจะผ่านตำบลที่เรือแบริงวิทยุที่แท้ที่รับจากสถานีวิทยุ หาทิศนั้นอาจไม่ตรงกับที่คำนวณหาได้ เพราะว่าในการคำนวณนั้นเอาตำบลที่แต่เพียงใกล้เคียงเท่านั้นมาใช้ แต่อัตราแก้นี้ใช้ได้ทั่วเขตอันกว้างโดยมิทำให้มีความผิดมากนัก

ในทางปฏิบัตินั้น ไม่จำเป็นต้องคำนวณตามวิธีดังกล่าวแล้ว เพราะได้ทำเป็นมาตราให้ไว้แล้ว การเปิดมาตราหาอัตราแก้นั้นใช้ละติจูดกลางและลองจิจูดเปลี่ยนเปิดหาเอา

ตอนที่ 9

เข็มทิศแม่เหล็ก (Magnetic compass)

เข็มทิศแม่เหล็ก แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. เข็มแห้ง (Dry compass)
2. เข็มน้ำ (Liquid compass)

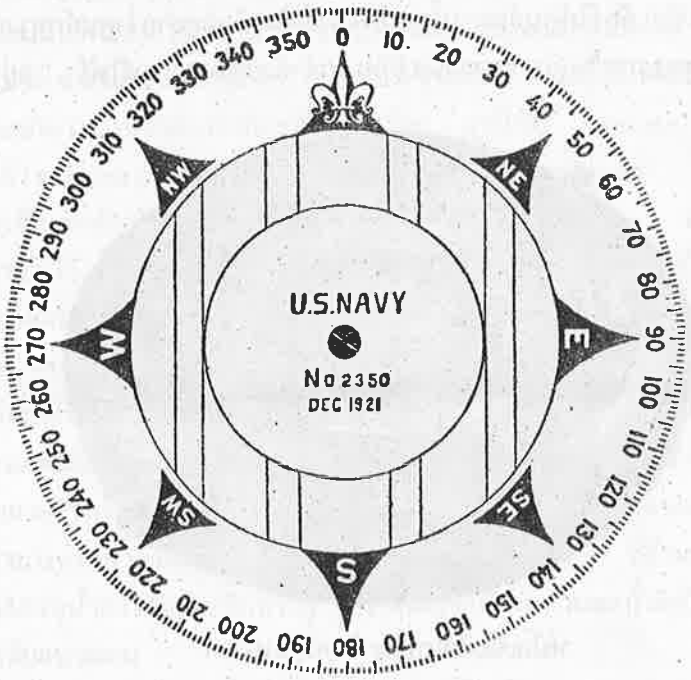
เข็มทิศแม่เหล็กชนิดเข็มแห้ง เข็มทิศชนิดนี้แผ่นเข็มทำด้วยกระดาษ มีขนาดต่าง ๆ แผ่นเข็มต้องมีน้ำหนักเบามาก เพราะถ้าหนักมากเกินไปก็มีความฝืดทำให้มีความผิดมาก แผ่นเข็มชนิดนี้ของลอร์ดเคลวิน (Lord Kelvin) ซึ่งนับได้ว่าเป็นเข็มแห้งที่ดีมาก ใช้วัตถุเบา ๆ หลายอย่างประกอบกันเข้าทำแผ่นเข็มโดยใช้กระดาษข้าว (rice paper) เชือกไหม และแร่อาลูมิเนียมซึ่งแผ่นเข็มชนิดนี้ขนาด 10 นิ้วนี้มีน้ำหนักเพียง 190 เกรนเท่านั้น จึงหมุนได้คล่อง

ขอบแผ่นเข็มทำด้วยอาลูมิเนียมเป็นวงกลม จากจุดศูนย์กลางของแผ่นเข็ม มีเชือกไหมหลายเส้นโยงไปยังขอบแผ่นเข็ม กระดาษแผ่นเข็มทำด้วยกระดาษข้าว ปิดทับลงบนเชือกไหม และขอบแผ่นเข็มแผ่นเข็มนี้ได้แบ่งขีดไว้ให้อ่านได้ทุกองศาและทุก $\frac{1}{4}$ ปอยนต์ หรือทุก 4 ปอยนต์ บางชนิดมีกระดาษปิดไว้เต็มแผ่นเข็มและบางชนิดมีเฉพาะที่ขอบแผ่นเข็ม เท่านั้น ที่ตรงกลางแผ่นเข็มปล่อยให้ว่างไว้ให้แลเห็นแท่งแม่เหล็กที่ติดอยู่ข้างใต้แผ่นเข็ม ภายใต้แผ่นเข็มมีแท่งแม่เหล็กขนาดเล็กผูกติดอยู่กับเชือกไหมหลายแท่ง จำนวนแท่งแม่เหล็กที่ใช้นั้น มีตั้งแต่ 2, 4, 6 ถึง 8 แท่งแขวนไว้ทั้งสองข้างของศูนย์กลางของแผ่นเข็มให้ขนานกัน กับเส้นซึ่งลากผ่านทิศเหนือและทิศใต้ของแผ่นเข็ม แบ่งให้มีจำนวนเท่ากันทั้งสองข้าง ที่ศูนย์กลางของแผ่นเข็มมีรูสำหรับสวมหมวกของแผ่นเข็ม ภายในหมวกของแผ่นเข็มมีพลอยเจียระไนแล้วอย่างดีประกอบติดอยู่ เพื่อให้แผ่นเข็มหมุนได้คล่อง โดยมากใช้พลอยแซฟไฟร์ หมวกนี้สวมอยู่บนเดือยที่กลางหม้อเข็มอีกทีหนึ่ง เดือยที่กลางหม้อเข็มต้องแหลมและปลายทำด้วยอิริเดียม (Iridium) เพื่อกันความสึกหรอ โดยที่ต้องการให้แผ่นเข็มอยู่ในระดับแนวนอนทุก ๆ ละติจูด ฉะนั้นจึงสร้างให้ศูนย์กลางน้ำหนักของแผ่นเข็มอยู่ต่ำกว่าจุดที่ปลายเดือยรองรับแผ่นเข็ม (คือว่าให้จุดที่ปลายเดือยกลางหม้อเข็มซึ่งรองรับแผ่นเข็มนั้น อยู่สูงกว่าศูนย์กลางน้ำหนักของแผ่นเข็ม)

หม้อเข็ม (Compass bowl) ทำด้วยทองแดงหรือทองเหลืองหรือบรอนซ์ วางอยู่บนวงรักษาระดับ (gimbals) และมีน้ำหนักถ่วงที่ก้นหม้อเข็มเพื่อให้หม้อเข็ม อยู่ในระดับแนวนอนเมื่อมีคลื่นจัด ภายในหม้อเข็มด้านหน้ามีเส้นดิ่งเขียนไว้หนึ่งเส้น เส้นนี้อยู่ในแนวหรือขนานกับแนวกระดูกงูเรือเรียกว่าเส้นหัวเรือ เส้นหัวเรือเป็นเครื่องหมายแสดงตำบลที่ ของหัวเรือซึ่งเกี่ยวพันอยู่กับแผ่นเข็มและใช้เป็นเครื่องหมายสำหรับอ่านเข็มทิศของคนถือท้าย เมื่อเปลี่ยนเข็มไปเส้นหัวเรือนี้ก็หันไปโดยรอบแผ่นเข็ม ส่วนแผ่นเข็มนั้นคงอยู่กับที่โดยอำนาจของ แม่เหล็กโลก เส้นหัวเรือนี้บางทีก็ทำด้วยลวดทองเหลืองทาสีดำติดไว้ภายในหม้อเข็มด้านหน้า วงรักษาระดับที่รองรับหม้อเข็มนี้มี 2 วง คือวงนอกและวงใน วงนอกได้จัดสร้างให้แกนเพลาของมันอยู่

ในแนวตามยาวของเรือ การที่ต้องสร้างเช่นนี้เพราะประสงค์มิให้เส้นหัวเรือเคลื่อนที่ไป ถ้าสร้างวิธีอื่นแล้วเมื่อเรือถูกคลื่นจัดทำให้เรือแคลงและโคลงไปมา จะทำให้เส้นหัวเรือเคลื่อนที่ไปเล็กน้อย ตามส่วนสัมพันธ์กับแนวตามยาวของเรือ ฉะนั้นจึงทำให้ความละเอียดถูกต้องของ เข็มทิศลดไปบ้างเล็กน้อย จุดแขวนของแผ่นเข็ม วงรักษาระดับรับหม้อเข็ม และศูนย์กลางของลูกกลมเหล็กอ่อน จะต้องอยู่ในพื้นระดับเดียวกัน

เข็มทิศแม่เหล็กชนิดแข็มแห้งนี้ย่อมแกว่ง หรือกระเทือนได้ง่าย ในเมื่อหม้อเข็มเอียงไปแต่เพียงเล็กน้อยเมื่อคลื่นจัด ยิงปืนใหญ่ ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งทำให้อ่านเข็มได้ลำบากเพราะแผ่นเข็มแกว่ง ฉะนั้นในปัจจุบันนี้บรรดาเรือของนาวีต่าง ๆ ได้ใช้เข็มทิศแม่เหล็ก ชนิดเข็มน้ำกันหมดเพราะในเรือรบย่อมมีการสั่นสะเทือนมาก ยังคงมีใช้อยู่เฉพาะแต่ในเรือค้าขาย เท่านั้น แต่นับวันก็เลิกไปทุกทีและใช้เข็มน้ำแทน ฉะนั้นที่ใดมีการสั่นสะเทือนมาก จึงใช้เข็มทิศแม่เหล็กชนิดเข็มน้ำ

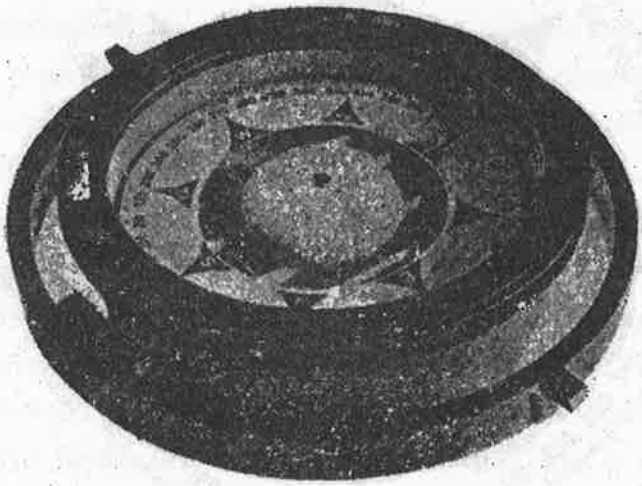


แผ่นเข็มทิศของนาวีสหรัฐอเมริกา
รูป 189

เข็มทิศแม่เหล็กชนิดเข็มน้ำ เข็มทิศชนิดนี้แผ่นเข็มทำด้วยไมก้า (Mica) หรือทองเหลืองทำเป็นแผ่นกลมมีขนาดต่าง ๆ กันแช่อยู่ในน้ำ (ราชนาวีอังกฤษใช้ทำด้วยไมก้า ส่วนนาวีสหรัฐอเมริกาใช้ทองเหลืองหรืออาลูมิเนียม) แผ่นเข็มนี้ได้แบ่งขีดไว้ให้อ่านได้ ทุกองศา ตั้งแต่ 0° ถึง 360° เวียนตามเข็มนาฬิกาหมุนและยังแบ่งให้อ่านได้ทุก $\frac{1}{4}$ ปอยนต์ หรือทุก 4

ปอยนต์ (ตามแบบเก่ามักแบ่งออกทุก $\frac{1}{4}$ ปอยนต์ แต่ในปัจจุบันนี้แบ่งออกทุก 4 ปอยนต์ โดยมาก แต่ที่แบ่งออกทุก 1 ปอยนต์ก็มีเหมือนกันและบางชาตินิยมให้อ่านได้ทุกองศาตั้งแต่ 0° ถึง 90° ทั้ง 4 ตรีจักรของแผ่นเข็มโดยให้ทิศเหนือและใต้เป็น 0° ทิศตะวันออกและตะวันตกเป็น 90°) ขีด 0° เป็นขีดทิศเหนือของแผ่นเข็ม ฉะนั้นลักษณะการแบ่งวงเข็ม จึงได้ส่วนสัมพันธ์กันกับลักษณะการวัดทิศบนผิวพื้นโลก

เส้นที่ต่อขีด 0° และ 180° ของแผ่นเข็มเป็นเส้นเหนือใต้ เรียกว่าแกนของแผ่นเข็มทิศ ข้างใต้แผ่นเข็มมีแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งกับลูกลอยทองแดง 1 ลูกยึดติดอยู่กับแผ่นเข็ม(ใช้แท่งแม่เหล็กตั้งแต่ 4 ถึง 6 แท่งก็มี นาวีสหรัฐอเมริกาใช้ 4 แท่ง) แท่งแม่เหล็กนี้ติดไว้ขนานกับแกนของแผ่นเข็มทิศ โดยใช้ปลายชี้เหนือหันไปทางขีดเหนือของแผ่นเข็มทิศ ติดไว้ให้ระยะห่างเท่า ๆ กัน แท่งแม่เหล็กเหล่านี้สวมอยู่ในกระบอกทองเหลืองปิดตาย เพื่อมิให้เป็นสนิม และทั้งป้องกันไม่ให้อำนาจแม่เหล็กสูญหายไป แผ่นเข็มน้ำนี้วางอยู่บนเดือย ซึ่งติดอยู่บนสะพานในหม้อเข็ม ต้องให้ศูนย์กลางน้ำหนักของแผ่นเข็มอยู่ต่ำกว่าศูนย์กลางกำลังลอย (center of flotation) ภายในลูกลอยทองแดงมีหมวกทำด้วยพลอยแซฟไฟร์ อยู่ตรงศูนย์กลางของ



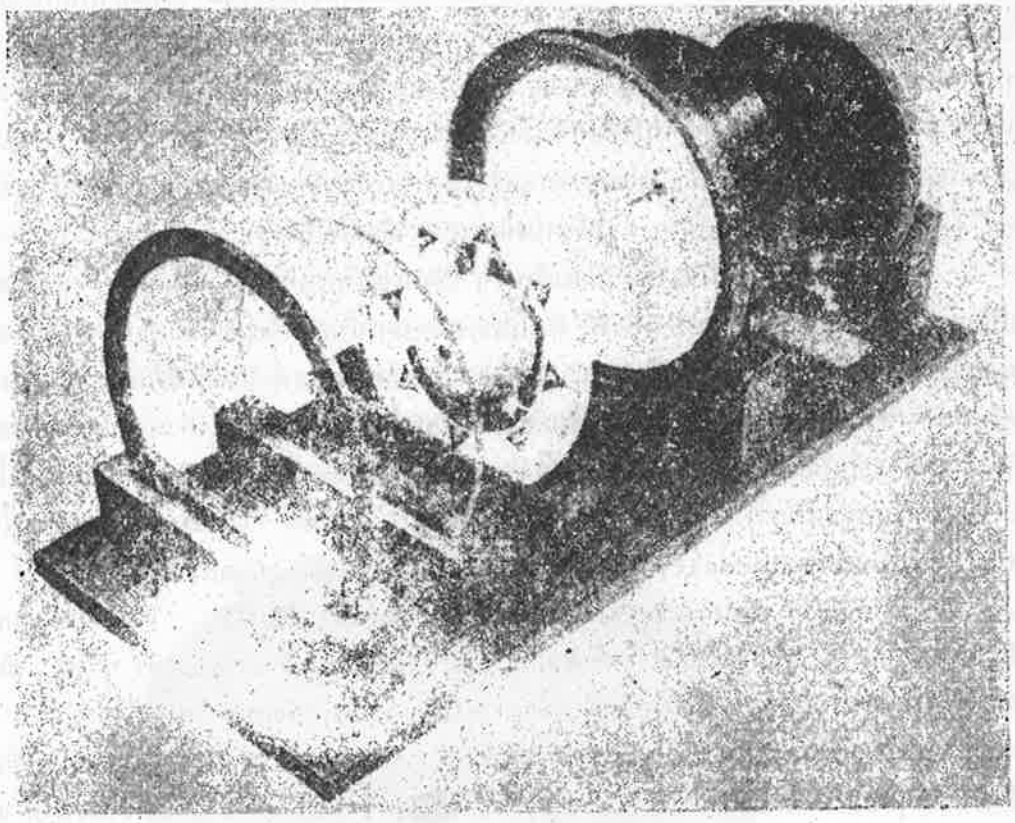
หม้อเข็มทิศแบบนาวีสหรัฐอเมริกา
หม้อเข็มทิศและวงรักษาระดับ
แสดงให้เห็นแผ่นเข็มทิศที่ติดเข้าที่
รูป 190

ลูกลอย หมวกนี้วางอยู่บนปลายเดือยซึ่งติดอยู่ตรงศูนย์กลางหม้อเข็ม เช่นเดียวกับเข็มแห้ง ตัวเดือยทำด้วยทองเหลือง และปลายเดือยทำด้วยอิริเดียมเช่นเดียวกับเข็มแห้งเหมือนกัน แผ่นเข็มทิศหันได้โดยอิสระบนปลายเดือยนี้

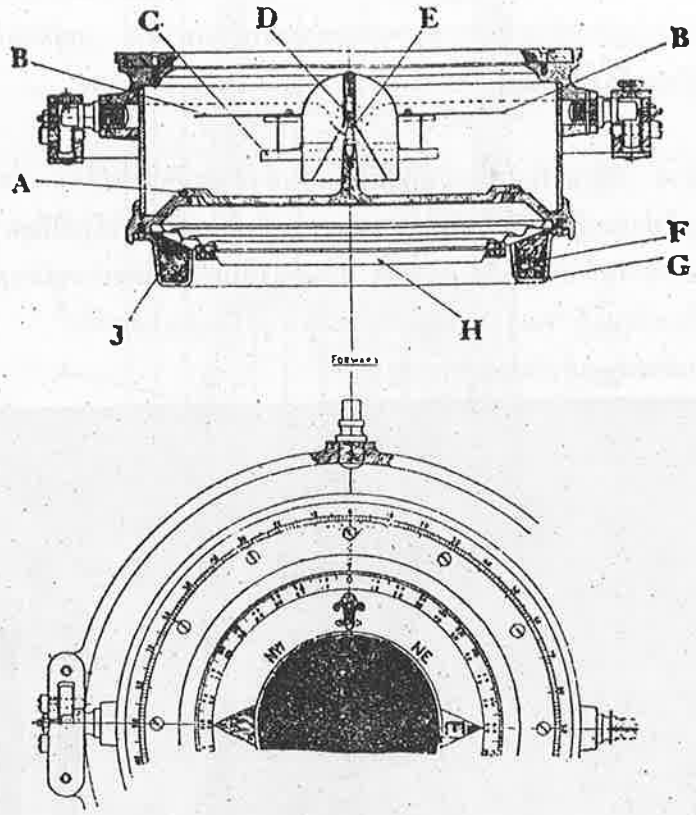
ของเหลวหรือของไหล (Liquid or fluid) ซึ่งบรรจุไว้ในหม้อเข็มทิศ ชนิดเข็มน้ำนั้น มีประโยชน์สำหรับทำให้แผ่นเข็มลอยตัวอยู่ได้เนื่องจากลูกลอย ที่ติดอยู่ตรงศูนย์กลางของแผ่นเข็ม และช่วยลดน้ำหนักของแผ่นเข็มที่ปลายเดือยรองรับอยู่ด้วย เมื่อมีน้ำหนักน้อยการเสียดทานที่ปลายเดือยหม้อเข็มก็มีน้อย น้ำหนักที่ปลายเดือยรองรับแผ่นเข็มมีประมาณ 100 เกรน เป็นอย่างสูง เช่นแผ่นเข็มทิศชนิดน้ำขนาด 7.5 นิ้วของนาวีสหรัฐอเมริกานั้น หนักทั้งหมดประมาณ 3,000 เกรน แต่น้ำหนักที่ปลายเดือยรองรับอยู่นั้นมีประมาณระหว่าง 60 และ 90 เกรนเท่านั้น นอกจากนี้แล้วน้ำยังช่วยลดความเร็วในการแกว่งกวัดของแผ่นเข็ม (oscillations of the card) ให้น้อยลงด้วย ทำให้อ่านเข็มในเวลามีคลื่นจัดได้ง่าย

สำหรับราชนาวีไทยใช้น้ำกลั่นล้วน ๆ เป็นของเหลวบรรจุไว้ในหม้อเข็ม เพราะเป็นประเทศร้อนน้ำกลั่นไม่หดตัวหรือแข็งได้ ส่วนประเทศหนาวนั้นสำหรับเข็มทิศแบบเก่า ใช้น้ำกลั่นผสมกับแอลกอฮอลบริสุทธิ์บรรจุไว้ภายใน การใช้แอลกอฮอลผสมเพื่อป้องกันมิให้น้ำ ภายในหม้อเข็มหดตัว ส่วนผสมนั้นโดยมากใช้น้ำกลั่นสองส่วนผสมกับแอลกอฮอลหนึ่งส่วน แต่บางประเทศใช้น้ำกลั่น 55 เปอร์เซนต์และแอลกอฮอล 45 เปอร์เซนต์ก็มี แต่เข็มทิศสมัยใหม่ที่สุดนี้บางประเทศ (สหรัฐอเมริกา) ใช้น้ำมันพิเศษชนิดหนึ่งเรียก "วาร์โซล" (varsol) เพราะน้ำมันชนิดนี้มีความหนืด (viscosity) คงตัว ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิลดลง

หม้อเข็ม ทำด้วยโลหะเช่นเดียวกับหม้อเข็มทิศชนิดเข็มแห้ง ฝาหม้อข้างบนทำด้วยกระจกใสเรียบปิดไว้ ก้นหม้อเข็มทำด้วยกระจกฝ้าเพื่อให้แสงสว่างกระจายทั่ว ๆ ไป มียางอัดอยู่ในระหว่างกระจกฝ้าหม้อเข็มกับด้านข้างภายใน และมิให้ของเหลวภายในรั่วออกมา ได้ภายในหม้อเข็มบรรจุของเหลวที่กล่าวแล้วข้างบนไว้เต็ม ในระหว่างกระจกฝ้า ที่ก้นหม้อเข็มกับด้านข้าง ๆ ของหม้อเข็มมีแผ่นไดอะแฟรม (diaphragm) ลูกฟูก หรือเรียกว่าแผ่นขยายตัว (expansion chamber) ทำด้วยทองแดงเคลือบดีบุกหรือทองเหลือง ติดไว้สำหรับให้ของเหลวภายในหม้อเข็มขยายตัวหรือหดตัวได้ ในเมื่ออุณภูมิเปลี่ยน โดยมิให้กระจกฝาครอบหม้อเข็มแตก และทั้งยังสามารถรักษาให้หม้อเข็มปราศจากฟองอากาศอีกด้วย ที่ด้านข้างของหม้อเข็มตอนบนมีรูสำหรับบรรจุน้ำลงในหม้อเข็มหนึ่งรู ที่ก้นหม้อเข็มมีวงแหวนตะกั่วติดไว้ เพื่อถ่วงให้หม้อเข็มอยู่ในระดับแนวนอน



หม้อเซ็มแบบนาวีสหรัฐอเมริกา
หม้อเซ็มทิศ. แผ่นเซ็มและกระจกฝาหม้อเซ็มถอดแบบออก
แสดงให้เห็นเดือยรับแผ่นเซ็ม
รูป 191



แผนเข็มและหม้อเข็มแบบราชนาวีอังกฤษ

A สะพาน, B แผ่นเข็ม, C แท่งแม่เหล็ก, D พลอย, E เดือยรับแผ่นเข็ม,
F ตะกั่วใช้เป็นน้ำหนักถ่วง, G น้ำหนักถ่วง
H กระจกกันหม้อเข็ม, J แผ่นไดอะแฟรม

รูป 192

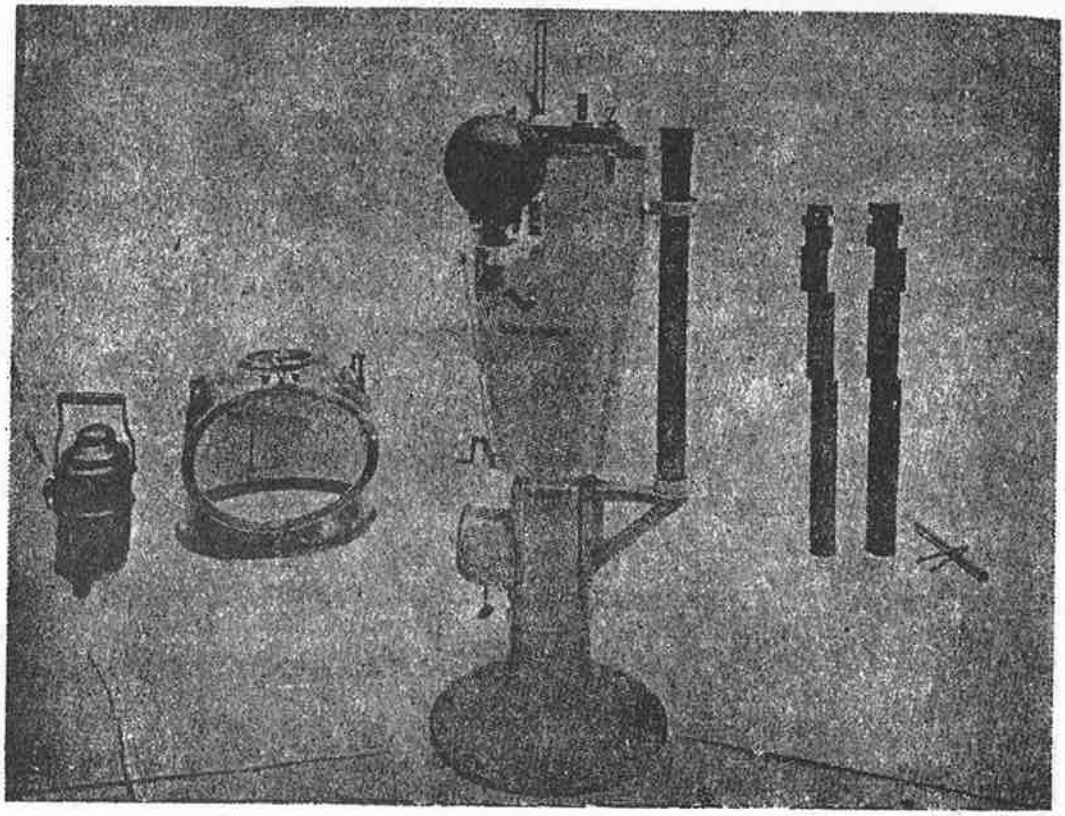
เรือนเข็มทิศ (Binnacle) ทำด้วยไม้หรือทองเหลือง ตัวเรือนเข็มเอกของราชนาวีเรากับราชนาวีอังกฤษทำด้วยไม้ (ของนาวีสหรัฐอเมริกาทำด้วยทองเหลือง) ตัวเรือนเข็มนี้มีหลายชนิดต่าง ๆ กัน แต่เรือนเข็มเอกชนิดที่ใช้อยู่ทุกวันนี้ ส่วนมากได้ออกแบบการสร้างสำหรับใช้แก้เข็มโดยวิธีวางแท่งแม่เหล็กเป็นมุมฉากต่อกัน **(rectangular mathod)** และเรือนเข็มนี้ยังทำเป็นแบบต่าง ๆ กันอีกแล้ว แต่ความมุ่งหมายที่ใช้ในเรือชนิดใด และแล้วแต่ผู้ออกแบบสร้าง แต่ความมุ่งหมายส่วนใหญ่นั้นเหมือนกัน

ตัวเรือนเข็มทิศเรือนเอกนั้นแบ่งออกเป็น 3 ตอนคือ

ตอนบน เป็นที่สำหรับติดเข็มทิศ และมีที่รองรับเดือยของวงรักษาระดับวงนอกด้วย

ตอนกลาง มีหลอดไฟฟ้าอยู่หนึ่งหลอดสำหรับทำให้หม้อเข็มมีแสงสว่าง มีรูตรงศูนย์กลางเรือนเข็มหนึ่งรูสำหรับสวมสาแหรกของแท่งแม่เหล็กแนวยืน จะมีตะเกียงน้ำมันเก็บไว้ 1 ดวง หรือถ้าไม่มีตะเกียงน้ำมันก็มีหลอดไฟฟ้าขนาดเล็กติดไว้ 1 หลอด สำหรับใช้จุดด้วยแบตเตอรี่

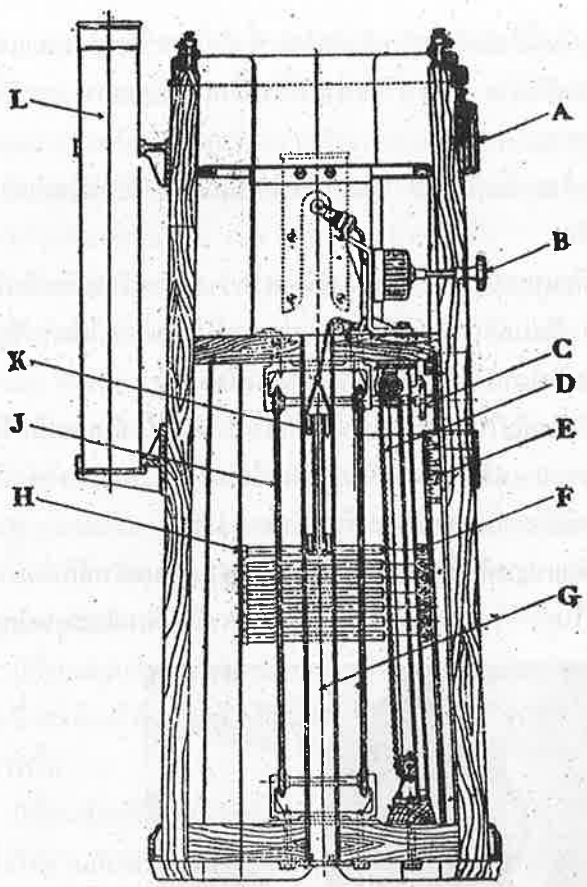
ตอนล่าง มีที่รองรับแท่งแม่เหล็กแนวนอนซึ่งทำด้วยทองเหลือง ที่รองรับนี้เลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลงได้โดยโซ่และเฟือง ซึ่งใช้กุญแจหมุน (โซ่นี้เลื่อนขึ้นลงได้ไม่มีที่สุด) กุญแจที่ใช้หมุนนี้เก็บไว้ในซอกข้างหน้าประตูเรือนเข็มทิศ ที่ประตูเรือนเข็มแต่ละประตูมีหมุดห้าม สำหรับดึงสลักห้ามมิให้เฟืองหมุนได้ ในเรือนเข็มแบบเก่านั้นทำรูไว้ในตัวเรือนเข็ม สำหรับสอดแท่งแม่เหล็ก แนวนอนที่จะต้องเลือกสอดเอาตามรู



เรือนเข็มของนาวีสหรัฐอเมริกาแบบ 7

จากซ้ายไปขวา ตะเกียงสำหรับให้แสงสว่างแก่แผ่นเข็ม, ฝาครอบเรือนเข็ม, เรือนเข็มพร้อมด้วยกระบอกใส่ฟลินเดอร์สบาร์ข้างขวามือ, ไม้ตัดเป็นท่อนสำหรับใส่แทน ฟลินเดอร์สบาร์, ฟลินเดอร์สบาร์, แท่งแม่เหล็กแก้ผิดเรือเอียงกับแท่งแม่เหล็ก สำหรับแก้เข็มวางทับไว้ข้างบน

รูป 193



เรือนเข็มแบบ 194 ของราชนาวีอังกฤษ

รูป 194

คำอธิบายรูป 194

A เครื่องวัดมุมเรือเอียง

B ปุ่มหรี่ไฟ

C แป้นเฟืองสำหรับเลื่อนแท่งแม่เหล็กวางในทางยาวของเรือ

D โซ่สำหรับเลื่อนแท่งแม่เหล็กตามขวาง

E มาตราส่วนสำหรับใส่แท่งแม่เหล็กวางในทางยาวของเรือ

F กระบอกสำหรับใส่แท่งแม่เหล็กตามขวาง

G กระบอกสำหรับใส่สาแหรกรับแท่งแม่เหล็กแนวยืน

H กระบอกสำหรับใส่สาแหรกรับแท่งแม่เหล็กแนวยืน

J โซ่สำหรับเลื่อนแท่งแม่เหล็กวางในทางยาวของเรือ

K สาแหรกสำหรับใส่แท่งแม่เหล็กแนวยืน

L กระบอกสำหรับใส่ฟลินเดอร์สบาร์

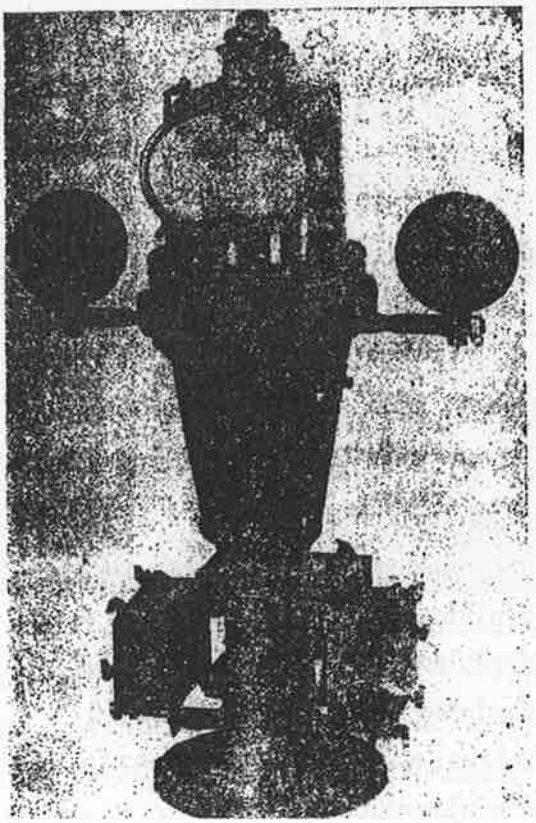
ที่ประตูเรือนเข็มนี้ยังมีเดือยสำหรับยึดโซ่ ซึ่งใช้ดึงหรือหย่อนสาแหรก ใส่แท่งแม่เหล็กแนวยืนแก้ผิดเรือเอียงอีกด้วย โซ่นี้ได้แบ่งไว้เป็นนิ้วสำหรับบอกระยะ ที่ปลายบนของแท่งแม่เหล็กอยู่ห่างจากเข็มทิศ

ที่ตัวเรือนเข็มตอนล่างนี้มีมาตราส่วนบอกไว้เป็นนิ้ว สำหรับบอกระยะที่แท่งแม่เหล็กแนวนอนอยู่ห่างจากเข็มทิศ

ในเรือนเข็มทิศแบบหลังที่สุดการแต่งไฟแสงสว่าง สำหรับหม้อเข็มทิศ ใช้แต่งด้วยปุ่มสวิทช์หรี่ไฟ ส่วนในเรือนเข็มแบบเก่าใช้แต่งด้วยม่านทองเหลืองเลื่อนไปมา ซึ่งมีปุ่มติดไว้ภายนอกเรือนเข็มติดอยู่ในระหว่างตัวเรือนเข็มตอนบนและตอนกลาง

ภายนอกตัวเรือนเข็มในทางเป็นมุมฉากกับเส้นหัวเรือมีเท้าแขนติดไว้ทั้งสองข้าง ของเรือนเข็มสำหรับรองรับลูกกลม เหล็กอ่อนแก้ดิวิเอชั่นตรีจักร และทางข้างหน้าของเรือนเข็มในแนวเดียวกับเส้นหัวเรือมีเท้าแขนสำหรับรองรับฟลินเดอร์สบาร์

ในเรือนเข็มทิศแบบหลังที่สุดที่เท้าแขนสำหรับรับลูกกลมเหล็กอ่อน มีขีดแบ่งไว้เป็นนิ้วสำหรับบอกระยะห่าง ในระหว่างศูนย์กลางของลูกกลมเหล็กอ่อนและศูนย์กลางของแผ่นเข็มทิศ



เรือนเข็มภายในของนาวีสหรัฐอเมริกาแบบ 7
รูป 195

(คำอธิบายรูป 195 แสดงให้เห็นกระบอกสำหรับใส่แท่งแม่เหล็กแก้เข็ม ตอนบนสำหรับใส่แท่งแม่เหล็กแนวนอนวางในทางยาวของเรือ ตอนล่างสำหรับใส่แท่งแม่เหล็ก แนวนอนวางในทางตามขวางของเรือพร้อมด้วยเครื่องสำหรับเลื่อนกระบอกขึ้นลง)

เรือนเข็มทิศนี้มีแบบและขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งแล้วแต่การใช้เช่นใช้เป็นเข็มทิศเรือนเอก เข็มทิศถือท้ายหรือเข็มทิศอะไหล่ ฯลฯ และนอกจากนี้แล้ว ยังแบ่งใช้ตามชนิดของเรืออีก ซึ่งย่อมแล้วแต่ว่ามีความมุ่งหมายอย่างใด ต้องการความละเอียดถูกต้องเพียงใดด้วย เช่นว่าเรือนเข็มทิศบางแบบใช้สอดแท่งแม่เหล็ก แนวนอนเข้าไปในรูเรือนเข็ม ซึ่งมีหมายเลขกำกับรูไว้ไม่ใช้วางบนที่รองรับ ซึ่งเลื่อนขึ้นลงซึ่งมีขีดมาตราส่วนแบ่งไว้ และมีตะเกียงน้ำมันใส่ไว้ในฝาครอบเรือนเข็ม หรือบางแบบไม่มีที่ใส่ฟลินเดอร์สบาร์ติดไว้ และไม่มีสาแหรกสำหรับสวมแท่งแม่เหล็กแนวยืนแก้ผิดเรือเอียง แต่ใช้แก้ผิดเรือเอียงโดยทวีหรือลดจำนวนแท่งแม่เหล็ก หรือบางแบบมีที่สำหรับใส่เฉพาะแต่แท่งแม่เหล็กแนวนอนอย่างเดียวเท่านั้น เป็นต้น

สรุปความว่าด้วยเรือนเข็มทิศที่ต้องการ ให้แก้เข็มทิศแม่เหล็ก ได้ละเอียดถูกต้องสมบูรณ์ดีแล้วต้องประกอบไปด้วยสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้

(1) มีที่รองรับหรือช่องสำหรับวาง หรือสอดแท่งแม่เหล็กแนวนอน ซึ่งวางในทางตามยาวของเรือซึ่งจะต้องให้แท่งแม่เหล็กนั้น อยู่ในที่ที่ต้องการ อันสัมพันธ์กับเข็มทิศและให้คงอยู่ ณ ที่ที่ต้องการนั้น

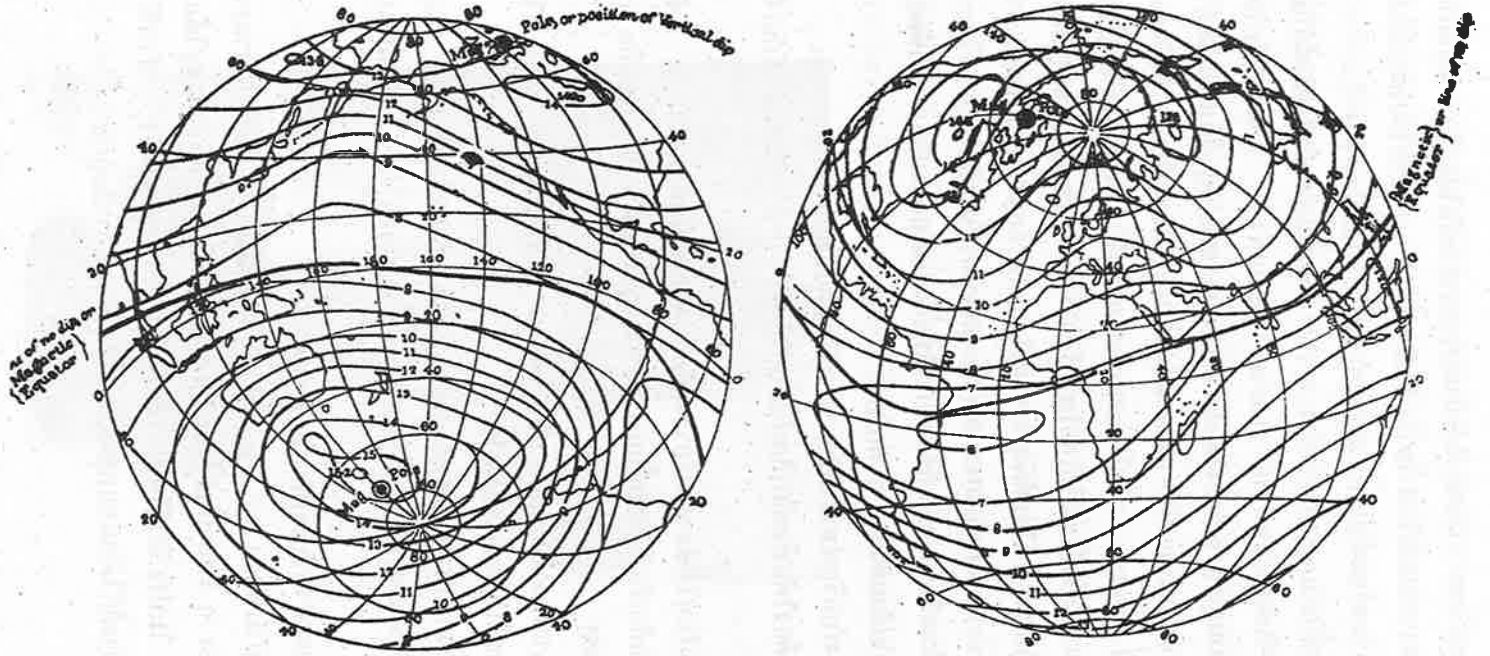
(2) มีที่รองรับหรือช่องสำหรับวางหรือสอดแท่งแม่เหล็กแนวนอน ซึ่งวางในทางตามขวางของเรือซึ่งได้ส่วนสัมพันธ์กันกับพื้นแนวยืนทางขวางของเรือที่ผ่านเข็มทิศ และให้คงอยู่ในระยะที่ต้องการจากเข็มทิศ

(3) มีเท้าแขนรองรับลูกกลมเหล็กอ่อนกลวง อยู่ทั้งสองข้าง ของเรือนเข็มซึ่งมีระยะสำหรับให้เลื่อนลูกกลมไปมาจากเข็มทิศได้

(4) มีสาแหรกสำหรับใส่แท่งแม่เหล็กแนวยืน แก้ผิดเรือเอียง อยู่ตรงภายใต้ศูนย์กลางของแผ่นเข็มทิศ ซึ่งสามารถให้แท่งแม่เหล็กนี้เลื่อนขึ้นลงได้ ตามระยะที่ต้องการภายใต้เข็มทิศ

(5) มีกระบอกสำหรับใส่ฟลินเดอร์สบาร์

(6) ที่รองรับในข้อ 1, 2, 3 และ 4 ข้างบนนั้น ต้องมีขีดมาตราส่วนแบ่งไว้เพื่อว่าเมื่อมีการเปลี่ยนที่ของ ๆ เหล่านั้นแล้วจะได้กระทำได้โดยง่าย และแล้วจะได้ลงตำแหน่งที่ของเครื่องแก้เข็มเหล่านั้น ในประวัติได้ในเมื่อได้แก้เข็มเสร็จเรียบร้อยแล้ว สำหรับที่รองรับในข้อ 1, 2 และ 4 นั้น บางทีก็ให้หมายเลขกำกับไว้ตามช่องก็มีเหมือนกัน



แม่เหล็กโลก

ตามที่ปรากฏโดยการแบ่งของเส้นแรงรวมเท่า คิดเป็นหน่วยวัดสัมบูรณ์ของบริติช ตำบลที่ของขั้วแม่เหล็กโลกและอิเควเตอรแม่เหล็กกับเขตแม่เหล็กเขียวและแม่เหล็กแดง (โดยใกล้เคียงสำหรับ ค.ศ.1875)

รูป 196

การระวังรักษา

การซ่อม การทดลองและการซ่อมเข็มทิศเป็นหน้าที่ของกรมอุทกศาสตร์ เข็มทิศที่เสื่อมคุณสมบัติต้องส่งคืนกรมอุทกศาสตร์ และรับเข็มใหม่แทน

การซ่อมแซมเรือนเข็มทิศเล็กๆ น้อย ๆ ให้กรมอู่ทหารเรือทำได้ ในความควบคุมของเจ้าหน้าที่กรมอุทกศาสตร์

กุญแจเรือนเข็มทิศ ต้นหนเป็นผู้รักษากุญแจเรือนเข็ม เรือนเข็มทิศต้องใส่กุญแจไว้เสมอไป

การพัสดุ เข็มทิศ เรือนเข็ม ฟลินเดอร์สบาร์และลูกกลมเหล็กอ่อนต้องมีประจำเรือ แท่งแม่เหล็กแก้เข็มต้องมีสำรองไว้ในเรือ

การเปลี่ยนที่ตั้งเรือเข็มทิศ การเปลี่ยนที่ตั้งเรือนเข็มทิศ ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมอุทกศาสตร์

การเอาฟองอากาศออกจากหม้อเข็มทิศ บางทีมีฟองอากาศเกิดขึ้น ในหม้อเข้มทิศ (คือมีน้ำไม่เต็มหม้อเข็มทิศ กรณีนี้เฉพาะเข็มน้ำเท่านั้น) ทำให้อ่านเข็มได้ยากและทำให้แผ่นเข็มมีความไว (ความรู้สึกตัว) น้อยลง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องเอาฟองอากาศออกเสีย ดังวิธีต่อไปนี้

(1) สำหรับเข็มทิศที่มีแผ่นไดอะแฟรมลูกฟูกสำหรับขยายตัว ยกเอาหม้อเข็มทิศออกจากวงรักษาระดับแล้ววางหม้อเข็มให้นอนคะแคงลงให้รูบรรจุน้ำขึ้นข้างบน แล้วถอดปลั๊ก **(plug)** สำหรับบรรจุน้ำออกจากรูบรรจุน้ำ แล้วดันกระจกฝ้าที่ก้นหม้อเข็มเข้าไปเบา ๆ เพื่อดันให้แผ่นไดอะแฟรมลูกฟูกแอ่นเข้าไปภายใน และในขณะเดียวกันนี้ บรรจุน้ำกลั่นลงในหม้อเข็ม ในระหว่างนี้ให้โคลงหม้อเข็มไปมาด้วยเพื่อช่วยให้อากาศหนีออกจากหม้อเข็ม แล้วปล่อยกระจกฝ้าที่ดันไว้นั้นจะทำให้ไดอะแฟรมลูกฟูกคืนตัว กลับมาอยู่ในลักษณะดิมก่อน ที่ได้ดันไว้แล้ว กระทำซ้ำดังข้างต้นต่อไปจนอากาศออกหมด จึงสวมปลั๊กเข้าที่

(2) สำหรับเข็มทิศที่มีแผ่นไดอะแฟรม สำหรับขยายตัว ประกอบกับนอต **(nut)** และเกลียว เอานอตออกจากที่เก็บ วางหม้อเข็มให้นอนตะแคงลง หมุนให้รูบรรจุน้ำขึ้นข้างบนเหมือนวิธีที่ 1 ถอดปลั๊กสำหรับบรรจุน้ำออก สวมนอตเข้ากับก้านเกลียวขยายตัว ที่ก้นหม้อเข็มและกวดนอตเข้าเต็มที่ บรรจุน้ำกลั่นเข้าในหม้อเข็มโคลงหม้อเข็มไปมา เพื่อช่วยให้อากาศหนีออก เมื่อน้ำล้นออกจากรูให้คลายนอตเสียประมาณ 2 รอบ การนี้จะทำให้ น้ำล้นมากขึ้นอีก สวมปลั๊กสำหรับบรรจุน้ำเข้าที่และคลายนอตออกจนหลุด การนี้จะทำให้มีกำลังดันเล็กน้อยอยู่ภายในหม้อเข็ม (สำหรับเข็มทิศแบบนี้มีก้านเกลียวขยายตัวติดอยู่กับแผ่นไดอะแฟรม ด้านล่างก้านเกลียวนี้ยื่นออกมาเกือบถึงก้นหม้อเข็มตรงศูนย์กลางของก้นหม้อเข็ม ฉะนั้น เมื่อสวมนอตเข้ากับก้านเกลียวนี้ และเมื่อกวดนอตเข้าไปจะทำให้ก้านเกลียวเดินออกมาทางก้นหม้อเข็ม

เพราะนอตยันติดกับกันหม้ออยู่ นอตจึงเดินเข้าไปไม่ได้ เมื่อก้านเกลียวเดินออกมา ทำให้แผ่นไดอะแฟรมถูกดึงแอ่นออกตามมาด้วย ทำให้เนื้อที่ภายในหม้อเข็มมีมากขึ้น ครั้งเมื่อคลายนอตที่สวมไว้ก็ทำให้ก้านเกลียวเดินเข้าไปข้างในและดันให้แผ่นไดอะแฟรมเข้าไปภายใน ทำให้เนื้อที่ภายในหม้อเข็มน้อยลงเลยดันให้น้ำล้นออกมา ครั้งเมื่อปิดปลั๊กสำหรับบรรจุน้ำแล้ว และคลายนอดออกจนหลุด แผ่นไดอะแฟรมก็ไปดันน้ำไว้ ทำให้เกิดมีกำลังดันอยู่ภายในหม้อเข็ม)

หมายเหตุ นอตที่ใช้ประกอบกับแผ่นไดอะแฟรมขยายตัวนั้น สำหรับเข็มทิศบางแบบมีที่เก็บนอดไว้ที่ฝาปิดหม้อเข็ม และบางแบบมีที่เก็บอยู่ในหีบหม้อเข็มทิศ

โดยมากแล้วการที่มีฟองอากาศปรากฏอยู่ในหม้อเข็ม ย่อมแสดงให้เห็นว่าหม้อเข็มรั่ว ฉะนั้นเข็มทิศที่เสื่อมคุณสมบัติเช่นนี้ควรส่งคืนเสียในโอกาสแรกและรับเข็มใหม่ไปแทน

เข็มทิศที่จ่ายให้นั้นต้องมีน้ำบรรจุไว้เต็มหม้อ เฉพาะประเทศร้อน ใช้น้ำกลั่นล้วน ส่วนประเทศหนาวใช้น้ำกลั่นกับแอลกอฮอลผสมกับ การที่ต้องเติมแอลกอฮอล ก็เพื่อกันมิให้น้ำแข็ง (คือทำให้ลดจุดน้ำแข็งของส่วนผสมของน้ำในหม้อเข็มลง)

เข็มทิศแม่เหล็กเป็นอุปกรณ์ที่ทำง่าย และไว้ใจได้แม้ว่าจะมีสรรพสิ่งใด บังเกิดขึ้นแก่เรือ เช่น เครื่องจักรชำรุดหรือขัดข้อง ไฟไหม้ เรือชนกัน การยุทธ์ ฯลฯ ก็ตามที เข็มทิศแม่แม่เหล็กก็ยังคงใช้การได้เป็นส่วนมากเว้นเสียแต่ตัวเข็มทิศเองถูกทำลาย หรือได้รับความเสียหายอย่างหนักเท่านั้น

กฎข้อบังคับ

ที่จะต้องพิจารณาในการจัดวางโครงเรือและติดตั้งส่วนประกอบในบริเวณเข็มทิศ และโครโนเมตร

1. ในการออกแบบขั้นแรกในการต่อเรือจะต้องแสดงที่ตั้งเข็มทิศไว้ ให้ปรากฏในแปลนสร้างเรือ และเมื่อกรมอุทกศาสตร์เห็นชอบด้วยแล้วจึงให้เสนอต่อไปยังกองทัพเรือ

2. เข็มทิศเรือนเอก (หรือเรียกสั้น ๆ ว่าเข็มเอก) จะต้องติดตั้งอยู่ ณ ที่ที่ใช้ทำการเดินเรือ และแปรกระบวนและทั้งต้องเป็นที่ที่มีสิ่งกีดขวางในการเห็นวิวน้อยที่สุดที่จะทำได้

3. ห้ามมีเหล็กธรรมดาหรือเหล็กกล้า นอกจากสิ่งที่ไม่เป็นธาตุแม่เหล็ก ติดตั้งอยู่ภายในระยะ 10 ฟุต จากเข็มทิศเรือนเอกเว้นเสียแต่เรือลำนั้น ๆ มีเข็มทิศไยโรสองเรือน ในเรือนเหล็กเหล่านี้ยอมให้สร้างดาดฟ้าเหล็กกล้าและแผ่นเหล็กเบื้องบนเหนือศีรษะ มีความหนาถึง 1 นิ้วได้ด้วยวัตถุซึ่งมีโคเอฟฟิเซียนต์ μ ไม่มากเกิน 100 (ดูตำราดิวิเอชั่นของเข็มทิศว่าด้วยโคเอฟฟิเซียนต์ μ)

4. บรรดาปลายสุดของมวลเหล็กธรรมดา หรือเหล็กกล้าที่ยึดได้ จะต้องให้อยู่ห่างจากเข็มทิศให้มากที่สุดที่จะทำได้ ปล่องอันใกล้ที่สุดไม่ควรอยู่ใกล้กว่า 32 ฟุต บรรดามวลเหล็ก

ธรรมดาหรือเหล็กกล้าอื่น ๆ เช่น หอบังคับการ (conning towers) ป้อมปืน (turrets) ต้องไม่อยู่ใกล้เข็มทิศเรือนเอกเกินกว่า 20 ฟุต

5. ห้ามมีสิ่งที่ทำด้วยเหล็กธรรมดา หรือเหล็กกล้าซึ่งมีการหัน หรือเคลื่อนที่เป็นครั้งคราววางอยู่ภายในระยะ 12 ฟุตจากเข็มทิศเรือนเอก

6. ถ้าหากว่าจะปฏิบัติตามกฎข้อบังคับที่กล่าวมาแล้ว มีความยุ่งยากมาก และต้องสิ้นเปลืองเงินมากแล้ว ให้ประชุมหารือกันในระหว่างกรมอุทกศาสตร์ และกรมอื่น ๆ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในเรื่องนี้เพื่อปรึกษาและทำความตกลงกัน

7. ปรากฏว่าแรงตรงของเข็มทิศ (directive force) ในหอบังคับการ ชั้นล่างมีน้อยกว่าแรงตรง ณ ที่ตั้งเข็มทิศเรือนเอกมาก ฉะนั้นเพื่อที่จะให้มีความละเอียดถูกต้อง พอควรจึงจำเป็นต้องให้วัตถุธาตุที่ทำการรบกวนต่อเข็มทิศอยู่ในระยะห่างเท่า ๆ กัน หรือให้อยู่ห่างมากกว่า

ฉะนั้น ในการติดตั้งเข็มทิศในหอบังคับการชั้นล่าง จึงต้องยึดถือเอาระยะห่าง ดังต่อไปนี้

บรรดาเหล็กธรรมดาหรือเหล็กกล้าที่เคลื่อนตัวได้---------- 12 ฟุต

บรรดาเหล็กธรรมดาหรือเหล็กกล้าที่ติดตายตัว (นอกจากดาดฟ้าหรือผนังเรือ)---10 ฟุต

บรรดาผนังเรือซึ่งอยู่ภายในระยะ 4 ฟุตจากเข็มทิศ จะต้องทำด้วยวัตถุที่ไม่เป็นแม่เหล็กคือสำหรับผนังที่มีระยะห่าง 10 ฟุต ในทางแนวนอนและระยะห่าง 4 ฟุต ในทางแนวยืนจากศูนย์กลางของเข็มทิศและประตู ฝาจมโผล้ ฯลฯ ซึ่งอยู่ภายในระยะ 12 ฟุต ต้องทำด้วยวัตถุที่ไม่เป็นแม่เหล็ก

ไม่ควรทำที่สำหรับเก็บวัตถุที่ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ เช่น ลูกปืน ฯลฯ ไว้ในบริเวณหอบังคับการชั้นล่าง การนี้ไม่พึงประสงค์อย่างยิ่ง

8. กฎข้อบังคับเหล่านี้ ต้องนำไปใช้กับเข็มทิศแม่เหล็กอื่น ๆ ที่ติดตั้งไว้ด้วยให้มากเท่าที่จะทำได้ และห้ามนำเข็มทิศแม่เหล็กเข้าไปใกล้เหล็กแนวยืนภายในระยะ 6 ฟุต

9. ในการเลือกหาที่ติดตั้งเครื่องจักรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้า ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ ที่เครื่องนั้น ๆ ต้องมีรายการแสดงระยะห่างอย่างต่ำที่สุดจากเครื่อง ไปยังเข็มทิศเรือนเอก และเข็มทิศที่หอบังคับการชั้นล่างติดกำกับไว้

10. ระยะห่าง อย่างต่ำที่สุดในระหว่าง โครโนเมตร กับเครื่องประกอบไฟฟ้าให้ใช้ครึ่งหนึ่งของระยะห่างที่ได้กำหนดให้ไว้สำหรับเข็มทิศเรือนเอก

รายการละเอียดว่าด้วยกฎข้อบังคับที่กำหนดไว้ว่า เครื่องไฟฟ้าชนิดใด ควรอยู่ห่างอย่างต่ำที่สุด จากเข็มทิศเรือนเอกและเข็มทิศในหอบังคับการชั้นล่างในระยะเท่าใดนั้น ไม่ได้ให้ไว้ในที่นี้เพราะเกินความจำเป็นสำหรับนักเดินเรือ แต่เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้แล้ว อาจค้นหาได้ เช่นในหนังสือ **Admiralty Manual of Navigation,1955,Vol.I.** หน้า 389-392

ถึงแม้ว่าจะให้รายละเอียดไว้เป็นส่วนมากแล้วก็ตาม การทดลองตรวจหาระยะสำหรับเครื่องจักรทุกชนิดนั้น เป็นสิ่งที่ไม่สามารถจะทำได้ ฉะนั้น ถ้าหากว่าในรายการละเอียดนั้นไม่ได้กล่าวเฉพาะเครื่องใดไว้ หรือกล่าวไว้แต่ไม่ได้กำหนดระยะปลอดอันตรายให้ไว้แล้ว ให้ถือเอาระยะหยาบ ๆ ต่อไปนี้ไปใช้

รายการเครื่องไฟฟ้า	ระยะห่างอย่างต่ำที่สุดจาก	
	เข็มทิศเรือนเอก	เข็มทิศในหอบังคับการชั้นล่าง
	ฟุต	ฟุต
เครื่องยนต์ขนาดเล็กต่ำกว่า 5 แรงม้า	12	15
เครื่องยนต์จ่ายกระแสไฟ, เครื่องเปลี่ยนกระแสไฟ, เครื่องแปลงไฟชนิดหมุน (Motor generators. alternators, rotary converters)	15	20
ไดนะโม	40	50

ตอนที่ 10

การหมุนเรือหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศ

เนื่องจากว่าเรือเหล็กมีคุณสมบัติของแม่เหล็ก อยู่ทั่วไปในตัวเรือ ฉะนั้น อำนาจแม่เหล็กของเรือจึงรบกวนต่อเข็มทิศที่ติดตั้งไว้ในเรือ ทำให้แกน (แนวเหนือใต้) ของแผ่นเข็มทิศนั้น ๆ ไม่ชี้ร่วมกันกับเมริเดียนแม่เหล็กจึงเกิดมีดิวิเอชั่นขึ้น ตามที่ได้กล่าวมาแล้วดิวิเอชั่นคือมุมในระหว่างแกนของแผ่นเข็มและเมริเดียนแม่เหล็ก ฉะนั้นนักเดินเรือทั้งหลายจักต้องทราบดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอกของตน และทำเป็นบัญชีไว้เพื่อนำไปใช้ต่อไป การหาดิวิเอชั่นใช้ทำโดยการหมุนเรือ

การหมุนเรือหาดิวิเอชั่น และการสอดแท่งแม่เหล็กแก้เข็มทิศ (รวมทั้งแก้ด้วยลูกกลมเหล็กอ่อนและฟลินเดอร์สบาร์ด้วย) นั้น จะกระทำต่อเมื่อ

1. ก่อนทำการทดลองแล่นเรือครั้งแรกเมื่อต่อเสร็จใหม่ ๆ

2. ภายหลังเมื่อมีการดัดแปลงตัวเรือเป็นการใหญ่ บนเรือใกล้สะพานเดินเรือหรือเปลี่ยนแปลงที่ตั้งเข็มทิศ

นอกจากนี้แล้วแต่จะเห็นควร

ส่วนการหมุนเรือหาดิวิเอชั่น โดยเฉพาะแต่อย่างเดียวโดยไม่ต้องสอดแท่งแม่เหล็กแก้เข็มนั้นให้กระทำในโอกาสต่อไปนี้

(ก) ตามหัวข้อที่กล่าวแล้วข้างต้น

(ข) อย่างน้อยที่สุดปีละครั้ง

(ค) ภายหลังที่ได้เปลี่ยนแปลง เครื่องแก้เข็มอย่างหนึ่งอย่างใด (เครื่องแก้เข็มนี้ได้แก่ แท่งแม่เหล็กถาวร ลูกกลมเหล็กอ่อน และฟลินเดอร์สบาร์)

(ง) เมื่อเปลี่ยนละติจูดแม่เหล็ก

การหมุนเรือนี้ ถ้ามีเวลาพอควรหมุนทั้งสองกราบ คือ หมุนขวา (ตามเข็มนาฬิกา) และหมุนซ้าย (ตรงข้ามกับเข็มนาฬิกา) เพื่อเฉลี่ยหาค่าของดิวิเอชั่น นอกจากนี้แล้วถ้าเป็นเรือที่มิได้ใช้ไฟฟ้าในเวลาเรือเดินกลางวัน คงใช้เฉพาะแต่กลางคืนแล้ว ก็จำต้องหมุนหาดิวิเอชั่นเมื่อเวลาปิดไฟไว้เพื่อใช้เวลากลางวัน และเมื่อเปิดไฟเพื่อใช้กลางคืนไว้ด้วยทั้งสองอย่าง ทั้งนี้เพราะว่า ดิวิเอชั่นย่อมผิดไปบ้างไม่มากก็น้อยอันเนื่องจากกำลังไฟฟ้ารบกวน แต่ในปัจจุบันนี้บรรดาเรือเป็นส่วนมากใช้ไฟฟ้าทั้งกลางวันและกลางคืน ถ้าเช่นนี้ก็หาดิวิเอชั่น เฉพาะเวลาเปิดไฟฟ้าไว้แต่อย่างเดียว

ถ้าได้หมุนเรือหาดิวิเอชั่นไว้ทั้งเวลาปิดไฟ และเปิดไฟแล้วก็ต้องทำบัญชี ดิวิเอชั่นไว้ทั้งสองอย่าง และการหมุนทั้งสองอย่างนี้ก็ควรหมุนอย่างละ 2 ครั้งเหมือนกัน คือหมุนทั้งขวาและซ้าย

เมื่อหาดิวิเอชั่นได้แล้วต้องเขียนลงในสมุดตรวจดิวิเอชั่น และต้องเขียนบัญชีดิวิเอชั่นที่ได้จากการหมุนเรือทุกครั้ง ลงไว้ในสมุดประวัติเข็มทิศ นอกจากนี้แล้วควรติดบัญชีดิวิเอชั่นไว้ใกล้ ๆ เรือนเข็ม และที่โต๊ะแผนที่และในห้องแผนที่ด้วย

ข้อเตือนใจที่ต้องปฏิบัติก่อนหมุนเรือ ให้ระลึกถึงหัวข้อต่อไปนี้ไว้เสมอ

1. อุณหภูมิของปล่อง จะต้องอยู่ในลักษณะเมื่อเรือออกทะเลตามปรกติ
2. ตัวเรือจะต้องอยู่ในลักษณะตรงไม่เอียงเพื่อมิให้เกิดผิดเรือเอียง
3. ควรทดลองหาความผิดของแผ่นเข็ม
4. ต้องตรวจเส้นหัวเรือเภพื่อให้รู้แน่ว่า เส้นหัวเรืออยู่ในแนว หรือขนานกับแนวกระดูกงูเรือหรือไม่

การตรวจเส้นหัวเรือนั้นให้วัดแบริงของกระดูกงูเรือตอนหัวเรือสุด หรือเสาชักธงหัวเรือด้วยกระจกแอซซิมัธ(Azimuth mirror)ถ้าเส้นหัวเรือนั้นถูกก็จะแลเห็นอยู่ ในแนวเดียวกัน หรืออีกวิธีหนึ่งให้ทิ้งเส้นดิ่งลงข้างหน้าและข้างหลังของเข็มทิศ

5. ตรวจหาความถูกต้องของกระจกแอซซิมัธ คือให้วัดแบริงของวัตถุด้วยลูกศร ขึ้นทีหนึ่งและด้วยลูกศรลงทีหนึ่ง แบริงทั้งสองครั้งนั้นจะต้องเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันต้องแต่งเกลียวยึดที่ติดอยู่ข้างกระจก **priam** จนได้แบริงเท่ากัน
6. บรรดาเหล็กทั้งหลายที่เคลื่อนที่ได้ เช่น หลักเดวิท เครื่องยงส่งเครื่องบิน และปืนควรให้หันอยู่ในลักษณะที่เรือออกทะเล ตามปรกติ
7. ไม่ควรมีเรือลำอื่นอยู่ใกล้ภายในระยะ 3 เคเบิลเพราะเรือนั้น อาจทำให้เกิดแม่เหล็กรบกวนได้
8. ตรวจสอบตำแหน่งที่ของเครื่องแก้เข็มว่า อยู่ถูกตามที่ซึ่งได้บันทึกไว้ ครั้งหลังที่สุดในสมุดประวัติเข็มทิศหรือไม่

วิธีหมุนเรือหาดิวิเอชั่น

การหมุนเรือหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศทำได้ 5 วิธี คือ

1. โดยแบริงวัตถุสิ่งเดียวอยู่ไกล **(By bearing of a distant object)**
2. โดยแบริงวัตถุซึ่งรู้แบริงจริงแล้ว **(By transits or ranges)**
3. โดยแบริงกลับกับเข็มทิศบนบก **(By reciprocal bearings)**
4. โดยเปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโร**(By comparison with a gyro compass)**
5. โดยแบริงดวงอาทิตย์ **(By bearings of the sun)**

1. โดยแบริงวัตถุสิ่งเดียวอยู่ไกล

วิธีนี้ถ้ารู้ตำบลที่เรือแน่นอนหรือเรืออยู่ประจำที่แล้วก็หาแบริงจริงของวัตถุ จากที่ทอดสมอได้จากแผนที่ เมื่อเอาวาริเอชั่นเข้าแก้ก็จะได้แบริงแม่เหล็กแผนที่บางแผ่นได้ให้แนวแบริงของวัตถุที่อยู่ไกลไว้

การหมุนเรือต้องพยายามหมุนให้วงเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ และควรนึกถึงกฎต่อไปนี้อันเกี่ยวกับระยะทางที่ได้ผลดีไว้ คือ

(1) ถ้าเรือผูกทุ่น - ระยะทาง ระหว่างเรือกับวัตถุไม่ควรน้อยกว่า 4 ไมล์

(2) ถ้าเรือทอดสมอตัวเดียว - ระยะทางไม่ควรน้อยกว่า 6 ไมล์

ถ้าเรือทอดสมอเช่นกล่าวแล้วนี้ เวลาหมุนเรือไปแบริงของวัตถุที่อยู่ประจำที่ จะไม่เปลี่ยนแปลงไปเท่าใดนัก

(3) ถ้าเรือแล่น - ระยะทางไม่ควร น้อยกว่า 10 ไมล์และเรือ ต้องไม่เปลี่ยนที่เกินกว่า 146 เมตรหรือ 160 หลา (ระยะ 160 หลา ในระยะทาง 10 ไมล์) ทำให้เกิดเป็นมุมโตประมาณครึ่งองศา) ในกรณีเช่นนี้ต้องใช้ระยะทางไกล ๆ ไว้เสมอเป็นดี เพราะจะไม่รู้สึกว่าแบริงแม่เหล็กเปลี่ยน

ในกรณีทั้งสามข้อที่กล่าวแล้วนี้ แบริงแม่เหล็ก แบริงเดียวกันใช้ได้ทุกทิศหัวเรือ

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมากเพราะสะดวกดี และทั้งไม่ต้องคำนึงถึงว่า วัตถุที่ใช้แบริงนั้นจะมีอยู่ในแผนที่หรือไม่ก็ตาม ข้อสำคัญขอให้เห็นวัตถุได้ชัดเจนและเป็นจุดคมมาก (sharp point) เราย่อมหาแบริงแม่เหล็กของวัตถุได้เสมอ โดยถือเอาผลเฉลี่ยของแบริงเข็มเรือ ของวัตถุที่ได้วัดไว้เมื่อหัวเรือหันไปในทิศใหญ่ทั้งแปด เมื่อเรือหมุนไปได้หนึ่งรอบเป็นแบริงแม่เหล็กของวัตถุ

ในการหมุนเรือนั้น ถ้าเป็นการหมุนเวลาเรือจอดขณะที่ผูกทุ่น หรือทอดสมออยู่แล้วต้องพยายามหมุนให้เรืออยู่ชิดทุ่น หรือใหล้สมอให้มากที่สุดที่จะทำได้ และถ้าหากหมุนขณะเรือแล่นแล้ว ควรใช้เครื่องจักรเดินหน้าหนึ่งเครื่องและถอยหลังหนึ่งเครื่องช่วยด้วย เพื่อให้วงหันแคบที่สุด ทางที่ดีแล้วถ้าหมุนเวลาเรือเดินควรทอดทุ่นไว้หนึ่งทุ่นแล้วหมุนเรือรอบทุ่นนี้ ให้ชิดที่สุด

ตามกรณีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ถ้าทัศนวิสัยไม่ดีก็จำเป็นต้องใช้ ระยะทางใกล้กว่าที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้น การเปลี่ยนของแบริงแม่เหล็ก อันเกิดจากเข็มทิศ วางอยู่ในที่ต่าง ๆ กันนั้นก็ต้องแก้ไว้ด้วย

การหมุนเรือโดยวิธีที่ 1 นี้ต้องใช้คนอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 2 คน คือ สำหรับดูทิศหัวเรือคนหนึ่งและวัดแบริงวัตถุอีกคนหนึ่ง เมื่อพร้อมให้เริ่มหมุนเรือได้ ส่วนจะเดินเบาหรือแรงนั้นก็แล้วแต่ ข้อสำคัญอย่าให้เข็มทิศกระเทือนได้หรือให้กระเทือนน้อยที่สุด พอหัวเรือหันตรงทิศที่ต้องการเริ่มหมุนก็ให้วัดแบริงของวัตถุ โดยเข็มทิศเรือนเอกไว้ เมื่อหัวเรือหันไปตรงทิศแรกที่ต้องการแล้วควรปล่อยให้หัวเรือตรงอยู่ในทิศนั้น ประมาณ 3นาทีแล้ว จึงวัดแบริงของวัตถุไว้ แล้วเริ่มหมุน

เรือทันที ทิศหัวเรือทิศแรกที่จะเริ่มหมุนนี้ควรใช้ทิศเหนือก่อน เพราะเป็นการสะดวกที่จะหมุนไปทางขวาหรือทางซ้าย

เมื่อวัดแบริงตรงทิศหัวเรือแรก (เหนือ) ได้แล้วก็ให้หมุนเรือไปอีกทีละ 15°, 20° หรือเท่าใดก็ได้โดยมากมักใช้ทีละ 45° (4 ปอยนต์) เพราะสะดวกดี ถ้าทีละน้อย ๆ องศาอาจวัดแบริงไม่ทัน แต่อย่างไรก็ดีไม่ควรให้มีทิศหัวเรือน้อยกว่า 8 ทิศเป็นอันขาด แล้ววัดแบริงไว้ทุกครั้งที่หัวเรือหันไปตรงทิศที่ต้องการ ทำเช่นนี้จนบรรจบครบรอบ (360°) ภายหลังจึงเอาแบริงทั้งหมดมารวมกันเข้าแล้วหารด้วยจำนวนทิศหัวเรือที่วัดแบริงไว้ ผลลัพธ์ที่ได้เป็นแบริงแม่เหล็กของวัตถุนั้น

อนึ่ง ถ้าหมุนเรือ ทั้งหมุนขวาและหมุนซ้าย แล้วต้องเอาแบริงเข็มเรือ ของแต่ละทิศของการหมุน ทั้งสองข้างมาเฉลี่ยกันเสียก่อนแล้ว จึงเอามารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนครั้งที่วัดแบริงไว้ หรือด้วยจำนวนทิศหัวเรือที่วัดแบริงจึงจะได้แบริงแม่เหล็กของวัตถุ ต่อไปจึงคำนวณหาดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือนั้น ๆ

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งได้ทอดทุ่นไว้แล้วหมุนเรือรอบ ๆ ทุ่นนี้ วัดแบริงของหน้าผาที่เห็นเด่นชัดของเขาลูกหนึ่งที่อยู่ไกล จงหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนอก แบริงที่หาได้มีดังในตารางข้างล่างนี้วัตถุที่ใช้วัดหาตำบลที่ในแผนที่ไม่ได้

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนอก	แบริงของหน้าผาโดยเข็มทิศเรือนอก	แบริงแม่เหล็ก	ดิวิเอชั่น
000°	347° 00	330° 45	16° 15 ตก.
045	342 00	330 45	11 15 ตก.
090	340 00	330 45	9 15 ตก.
135	337 30	330 45	6 45 ตก.
180	311 30	330 45	19 15 อ.
225	306 00	330 45	24 45 อ.
270	321 00	330 45	9 45 อ.
315	341 00	330 45	10 15 ตก.
ผลบวก	2646 00		
เฉลี่ย	330 45		

ตามตัวอย่างที่กล่าวนี้หมุนทุกทิศหัวเรือ 45° (4 ปอยนต์) เพื่อมิให้เสียเวลา แต่สำหรับนาวีสหรัฐอเมริกาแล้วการหมุนเรือในทางปฏิบัติกำหนดให้ใช้หัวเรือไม่ให้ต่างกัน มากกว่า 30° เว้นเสียแต่เพื่อหมุนหาดิวิเอชั่น สำหรับตรวจสอบกับดิวิเอชั่นที่ได้หาไว้ ครั้งหลังที่สุดเท่านั้น และถ้าหากว่าดิวิเอชั่นที่หาได้มีมากถึง 40° แล้วทิศหัวเรือที่หมุนไม่ควรให้ต่างกันมากกว่า 15°

การหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศที่อยู่ใต้ดาดฟ้า หรือเข็มทิศเรือนอื่น นอกจากเข็มทิศเรือนเอก ในการหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศที่กล่าวนี้ ย่อมกระทำได้พร้อมกันกับ เมื่อหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอกโดยใช้สัญญาณทางท่อพูด ระฆังหรือหวูดไซเร็น แล้วแต่จะตกลงกัน เพื่อให้ตรวจทิศหัวเรือของเข็มทิศนี้ ได้พร้อมในขณะเดียวกันกับที่วัดแบริงด้วยเข็มทิศเรือนเอก และโดยที่เมื่อวัดแบริงด้วยเข็มทิศเรือนเอกก็ต้องจดทิศหัวเรือโดยเข็มเรือนเอกไว้ด้วย เพราะฉะนั้นเมื่อหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอกได้แล้วก็หาทิศหัวเรือ โดยเข็มแม่เหล็ก (ทิศแม่เหล็กของหัวเรือ) ได้ โดยเอาดิวิเอชั่นเข้าแก้กับทิศหัวเรือ โดยเข็มทิศเรือนเอก และเอาทิศหัวเรือโดยเข็มแม่เหล็กทิศต่าง ๆ ที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับทิศหัวเรือของเข็มทิศเรือนที่ต้องการหา ก็จะได้ดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือต่าง ๆ ตามต้องการ

ตัวอย่างหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศถือท้าย

สมมุติว่าในตัวอย่างที่แล้วมานั้น ได้ตรวจทิศหัวเรือโดยเข็มทิศถือท้าย ในระหว่างหมุนเรือหาดิวิเอชั่นได้ดังต่อไปนี้

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศถือท้าย
000°	359°
045	047
090	092
135	129
180	179
225	223
270	265
315	316

หาดิวิเอชั่น

ก	ข	ค	ง	จ
ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศแม่เหล็ก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศถือท้าย	ดิวิเอชั่นของเข็มทิศถือท้าย
000°	1° 15' ตก.	343° 45'	359°	1° 15' ตก.
045	11 15 ตก.	033 45	047	13 15 ตก.
090	9 15 ตก.	080 45	092	11 15 ตก.
135	6 45 ตก.	128 15	129	0 45 ตก.
180	19 15 อ.	199 15	179	20 15 อ.
225	24 45 อ.	249 45	223	26 45 อ.
270	9 45 อ.	279 45	265	14 45 อ.
315	10 15 ตก.	304 45	316	11 15 ตก.

หมายเหตุ. ช่อง ค หาได้โดยเอาช่อง ข เข้าทำกับช่อง ก

2. โดยแบริงวัตถุซึ่งรู้แบริงจริงแล้ว

วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดีที่สุด แต่จำเป็นต้องรู้แนวแบริงจริงของวัตถุเสียก่อน วัตถุเหล่านี้ได้แก่ ที่หมายนำ(leading marks)ต่าง ๆ เช่น กระโจม, ทุ่น หรือ หลัก ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งจัดให้วัตถุสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกัน แนวนี้เรียกว่า แนวนำ(leading line) ให้เรือพ้นจากที่อันตราย หรือเป็นแนวบอกร่องน้ำที่ดีที่สุดที่เรือควรแล่น ในแผนที่ได้เขียนเส้นแนวนำให้ผ่านวัตถุทั้งสอง ไว้ และเขียนแบริงจริงของแนวนำ ซึ่งนับจากทะเลเข้าหาฝั่งกำกับไว้ในแนวเส้นนั้น

สำหรับประเทศไทยเราในเวลานี้มีแนวนำอยู่ 5 แนว เช่น แนวไฟนำคู่นอกและแนวไฟนำคู่ในที่สันดอนปากน้ำเจ้าพระยา ฯลฯ เป็นต้น บางประเทศเช่นอังกฤษ และสหรัฐอเมริกาได้รวบรวมแนวนำซึ่งรู้แบริงจริงไว้พิมพ์ขึ้นเป็นเล่มเล็ก ๆ พร้อมด้วยแผนที่ โดยมากแนวนำเหล่านี้มักมีอยู่ตามเมืองท่าซึ่งใช้เป็นแนวสำหรับเรือแล่นเข้าท่า นอกจากนี้แล้ว บางประเทศได้จัดทำให้การหาดิวิเอชั่นหรือการแก้เข็มทิศได้รับความสะดวกมากเช่นเมืองลิเวอร์พูล ในประเทศอังกฤษนั้นได้เขียนตัวเลขไว้หลายจำนวนด้วยสีที่หน้ากำแพงอู่เรือในที่ที่เหมาะ ตัวเลขแต่ละจำนวนเหล่านี้เมื่อเห็นอยู่ในแนวเดียวกันกับยอดโบสถ์ที่สำคัญแล้วก็เป็นแบริงจริงของแนวนั้น ตามตัวเลขที่เขียนไว้หรือตามเขื่อนในแม่น้ำในประเทศอังกฤษเช่นระหว่างอู่วอเตอร์ลูและท่าคานาดานั้น มีตัวเลขเขียนไว้ที่เขื่อนทุก ๆ 5 องศา ซึ่งบอกแบริงจริงของแนวตัวเลขกับยอดโบสถ์เซนต์มาร์ติน (ถนนโวกซ์ฮอล)

เมื่อรู้แนวแบริงจริงของวัตถุแล้ว ก็หาแบริงแม่เหล็กได้ โดยเอาวาริเอชั่นของตำบลที่จากแผนที่เข้าแก้ ฉะนั้นก็เป็นการง่ายที่จะสอบว่าเข็มทิศที่ใช้นั้นมีดิวิเอชั่นหรือไม่ คือแล่นเรือให้ตรงตามแนวนำนั้น ถ้าเข็มทิศไม่มีดิวิเอชั่นแล้วทิศหัวเรือโดยเข็มเรือก็จะเท่ากับแบริงแม่เหล็ก ถ้าไม่เท่ากันก็มีดิวิเอชั่น

การหมุนเรือหาดิวิเอชั่น โดยวิธีนี้ให้แล่นเรือด้วยทิศหัวเรือต่าง ๆ เช่น ทุก 10°, 15° ฯลฯ เป็นต้น (ดังได้กล่าวไว้ในวิธีที่ 1) โดยให้แนวทางเรือนั้นผ่านแนวนำของวัตถุเสมอ และทุกครั้งที่เรือผ่านแนวนำให้วัดแบริงของวัตถุไว้แล้วจดแบริงที่วัดได้ไว้ ทำดังนี้จนครบทุกทิศหัวเรือที่ต้องการแล้วเอาแบริงเข็มเรือของทุกทิศหัวเรือนั้นมาเปรียบเทียบกับแบริงแม่เหล็กของแนวนำ (ซึ่งได้จากการเอาวาริเอชั่นแก้กับแบริงจริงของแนวนำ) ก็จะได้ดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือนั้น ๆ ตามต้องการ

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งต้องการหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก จึงได้แล่นเรือผ่านวัตถุ (แนวนำ) ซึ่งรู้แบริงจริงแล้วตามทิศหัวเรือต่าง ๆ และทุกครั้งที่เรือผ่านแนวนำได้วัดแบริง ของวัตถุไว้ดังในตารางข้างล่าง วาริเอชั่นของตำบลที่ 7° อ. แบริงจริงของแนวนำ 302°

(ตัวอย่างนี้ แสดงการหมุนเรือทุกทิศหัวเรือ 15°)

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงจริงของวัตถุ	วาริเอชั่น	แบริงแม่เหล็กของวัตถุ	แบริงของวัตถุโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น
000°	302°	7° อ.	295°	310° 30'	15° 30' ตก.
015	302	7	295	310 00	15 00 ตก.
030	302	7	295	308 15	13 15 ตก.
045	302	7	295	306 15	11 15 ตก.
060	302	7	295	305 00	10 00 ตก.
075	302	7	295	304 45	9 45 ตก.
090	302	7	295	304 00	9 00 ตก.
105	302	7	295	304 00	9 00 ตก.
120	302	7	295	303 00	8 00 ตก.
135	302	7	295	301 00	6 00 ตก.
150	302	7	295	297 15	2 15 ตก.
165	302	7	295	286 30	8 30 อ.
180	302	7	295	277 00	18 00 อ.
195	302	7	295	271 15	23 45 อ.
210	302	7	295	268 00	27 00 อ.
225	302	7	295	269 30	25 30 อ.
240	302	7	295	273 00	22 00 อ.
255	302	7	295	279 00	16 00 อ.
270	302	7	295	285 00	10 00 อ.
285	302	7	295	293 00	2 00 อ.
300	302	7	295	299 00	4 00 ตก.
315	302	7	295	305 20	10 20 ตก.
330	302	7	295	308 30	13 30 ตก.
345	302	7	295	311 00	16 00 ตก.

หมายเหตุ นอกจากนี้แล้วแนวนำมักมีปรากฏตามแผนที่แสดงจุดเลี้ยวเรือ บริเวณสำหรับหมุนเรือหาดิวิเอชั่นและหลักไมล์สำหรับวัดอัตราเร็วของเรือ

ตัวอย่าง การหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศอะไหล่ที่อยู่ทางท้ายเรือ

เรือพิฆาตฯ ลำหนึ่งได้หาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอกและเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ โดยวิธีแบริงวัตถุ ซึ่งรู้แบริงจริงแล้วดังต่อไปข้างล่างนี้แบริงแม่เหล็กของวัตถุ ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกัน 10° (ได้เอาวาริเอชั่นเข้าแก้กับแบริงจริงแล้ว) จงหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก และเข็มทิศอะไหล่

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงของวัตถุโดยเข็มทิศเรือนเอก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ
000°	111°	358°
030	112	028
060	113	057
090	116	082
120	116	111
150	112	145
180	105	182
210	098	218
240	097	249
270	100	276
300	107	298
330	111	324

หาดิวิเอชั่น

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอกุ	แบริงแม่เหล็กของวัตถุ	แบริงของวัตถุโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก	ทิศหัวเรือโดยเข็มแม่เหล็ก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ	ดิวิเอชั่นของเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ
000°	108°	111°	3° ตก.	357°	358°	1° ตก.
030	108	112	4 ตก.	026	028	2 ตก.
060	108	113	5 ตก.	055	057	2 ตก.
090	108	116	8 ตก.	082	082	0
120	108	116	8 ตก.	112	111	1 อ.
150	108	112	4 ตก.	146	145	1 อ.
180	108	105	3 อ.	183	182	1 อ.
210	108	098	10 อ.	220	218	2 อ.
240	108	097	11 อ.	251	249	2 อ.
270	108	100	8 อ.	278	276	2 อ.
300	108	107	1 อ.	301	298	3 อ.
330	108	111	3 ตก.	527	324	3 อ.

3. โดยแบริงกลับเข็มทิศบนบก

ปรากฏว่าตามดำบลที่ต่างๆ (ในจักรภพอังกฤษ)มีสถานีตรวจแม่เหล็ก (magnetic hut) อยู่ด้วย สถานีตรวจแม่เหล็กนี้มีวงเข็มใบ้(verge plate)ตั้งไว้ในแนวเมริเดียนแม่เหล็ก ฉะนั้น เมื่อใช้เข็มใบ้นี้วัดแบริงเรือก็จะได้แบริงแม่เหล็กของเรือ จากสถานีตรวจแม่เหล็ก และเมื่อกลับแบริงนี้เสียแล้วก็จะเป็นแบริงแม่เหล็กของสถานีตรวจแม่เหล็กจากเรือ และในขณะเดียวกันกับที่สถานีตรวจแม่เหล็กบนบกวัดแบริงเรือไว้นั้น ก็ให้ทางเรือใหญ่วัดแบริงของสถานีตรวจแม่เหล็กไว้ด้วย ผลต่างระหว่างแบริงนี้ที่วัดจากเรือและแบริงกลับของสถานีตรวจแม่เหล็กบนบก เป็นดิวิเอชั่นของเข็มทิศในเรือตามทิศหัวเรือในขณะที่วัดแบริง

เมื่อจะหาดิวิเอชั่นโดยวิธีนี้ ต้องจัดเตรียมคนสำหรับขึ้นไปวัดแบริงบนบก พร้อมด้วยธงสัญญาณและทั้งฝ่ายบนบก และในเรือต้องตั้งนาฬิกาเทียบให้ตรงกัน และตกลงการใช้สัญญาณระหว่างกันไว้ให้เรียบร้อย เช่นว่า

ชักธงขึ้นเต็มพรวน - หมายความว่า ให้ระวังตัวเตรียมวัดแบริง

ลดธงลง - หมายความว่า ให้วัดแบริง

การหมุนเรือวิธีนี้ ให้เรืออยู่ห่างพอที่จะเห็นสถานีตรวจแม่เหล็กบนบกได้ ด้วยตาเปล่า เมื่อได้เตรียมทุกสิ่งเรียบร้อยแล้วให้ผู้ที่ได้จัดไว้สำหรับขึ้นวัดบนบกขึ้นไปได้ และเมื่อเข้าประจำที่เรียบร้อยพร้อมที่จะวัดแบริงได้แล้วให้ส่งสัญญาณพร้อมไปให้เรือใหญ่ทราบ

ทางเรือใหญ่เมื่อเห็นสัญญาณบอกพร้อมจากบนบกแล้วก็ให้เริ่มหมุนเรือหาดิวิเอชั่นได้จะหมุนทางใดก่อนและทิศใดก่อนก็ได้แล้วแต่สะดวก การหมุนเรือควรพยายามให้เข็มกระเทือน น้อยที่สุด เมื่อหัวเรือหันไปจวนตรงกับทิศที่ต้องการแล้ว ให้ชักธงสัญญาณบอกไปยังผู้วัดบนบก เมื่อหัวเรือตรงทิศที่ต้องการก็ให้วัดแบริงสถานีตรวจแม่เหล็กทันทีแล้วจดแบริงและเวลาวัดไว้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการสับสนในการตรวจสอบแบริง และในขณะเดียวกันให้ลดธงลงด้วย ทำดังนี้ต่อ ๆ ไปจนครบทิศหัวเรือต้องการ

ส่วนทางบนบกนั้น เมื่อเห็นทางเรือใหญ่ชักธงขึ้นเต็มพรวน ก็ให้เล็งตรงไปยังที่ตั้งเข็มทิศเรือนเอกในเรือ และขณะที่ธงสัญญาณลดลงให้อ่านแบริงแล้วจดแบริงและเวลาวัดไว้ ทุกครั้ง ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนกว่าจะได้รับสัญญาณเลิกจากเรือใหญ่ (หรือแล้วแต่ตกลงกันไว้) แล้วส่งแบริงที่วัดได้ไปให้เรือใหญ่ทราบโดยธงสัญญาณ ในเมื่อเลิกหมุนเรือแล้วทันที ทั้งนี้เพื่อให้ทางเรือใหญ่หาดิวิเอชั่นได้ทันทีโดยมิต้องรอให้พวกบนบกกลับไปถึงเรือเสียก่อนเลย

ในการวัดแบริงสถานีตรวจแม่เหล็กโดยเข็มทิศเรือนเอกในเรือ ตามทิศหัวเรือต่าง ๆ นั้น ทางเรือควรปล่อยให้หัวเรือตรงอยู่ตามทิศนั้น ๆ ประมาณ 3 นาที เป็นอย่างน้อยจนครบทิศหัวเรือที่ต้องการ

วิธีนี้นับว่าสะดวกถ้ามีสถานีตรวจแม่เหล็ก แต่ถึงแม้ว่าไม่มีสถานีตรวจแม่เหล็ก เช่นว่านี้แล้วก็ตาม ก็หาดิวิเอชั่นได้เหมือนกันคือ

ให้พวกที่ขึ้นไปวัดบนบกนั้นเอาเข็มทิศขึ้นบกไปด้วยหนึ่งเรือน เอาไปตั้งลงในที่ที่ไม่มีอำนาจแม่เหล็กของดำบลที่มารบกวน และทั้งต้องเป็นที่ที่เห็นได้ชัดเจน และแลเห็นจากเรือได้โดยง่าย ฉะนั้นแล้วแบริงต่าง ๆ ซึ่งวัดโดยเข็มทิศเรือนนี้จึงเป็นแบริงแม่เหล็ก ฉะนั้นถ้าใช้เข็มทิศเรือนนี้วัดแบริงเรือแล้วและกลับแบริงอันนี้เสียก็จะเป็นแบริงแม่เหล็กของเข็มทิศบนบกจากเรือ และในขณะเดียวกันกับที่บนบกวัดแบริงเรือไว้นั้น ก็ให้ทางเรือใหญ่วัดแบริงของเข็มทิศบนบกไว้ด้วย ผลต่างระหว่างแบริงนี้ที่วัดจากเรือและแบริงกลับของเข็มทิศบนบกเป็นดิวิเอชั่นของเข็มทิศในเรือ ตามทิศหัวเรือในขณะที่วัดแบริง ส่วนการหมุนเรือหาดิวิเอชั่นตลอดจนการใช้สัญญาณในขั้นต่อไป นั้นทำโดยทำนองเดียวกับที่ได้กล่าวแล้ว สำหรับวัดแบริงกับสถานีตรวจแม่เหล็ก

ตัวอย่าง

เวลา	ทิศหัวเรือ โดย เข็มทิศเรือนเอก	แบริงของเรือ โดย เข็มทิศบนบก	แบริงกลับของ เข็มทิศบนบก (แบริงแม่เหล็ก)	แบริงเข็มทิศ บนบกโดย เข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น
1422	000	031	211	217	6 ตก.
1425	030	024	204	200	4 อ.
1427	060	019	199	189	10 อ.
1432	090	018	198	186	12 อ.
1437	120	017	197	187	10 อ.
1441	150	019	199	191	8 อ.
1445	180	020	200	196	4 อ.
1448	210	023	203	203	0
1453	240	026	206	213	7 ตก.
1502	270	030	210	222	12 ตก.
1507	300	033	213	229	16 ตก.
1510	330	034	214	228	14 ตก.

4. โดยเปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโร

วิธีนี้จะใช้ได้ต่อเมื่อมีเข็มทิศโยโร ให้เอาเข็มเรือโดยเข็มทิศไยโร เปรียบเทียบกับเข็มเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก (หรือเข็มทิศเรือนอื่นที่ต้องการหาดิวิเอชั่น) แล้วจะได้ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (วาริเอชั่น + ดิวิเอชั่น) ในเมื่อเข็มทิศโยโรไม่มีความเคลื่อนคลาด แต่ถ้าเข็มทิศไยโรมีความเคลื่อนคลาดอยู่แล้ว จะต้องแก้อัตราเคลื่อนคลาดเสียก่อน และเมื่อรู้วาริเอชั่นของตำบลที่แล้วให้เอาวาริเอชั่นไปแก้กับความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ ผลต่างตามวิธีพีชคณิตระหว่าง ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศกับวาริเอชั่นจะเป็นค่าของดิวิเอชั่น

ตัวอย่าง 1 เข็มเรือโดยเข็มทิศไยโรได้ 214° และโดยเข็มทิศเรือนเอกได้ 201° ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร 1° ตก. วาริเอชั่น 5° 30′ อ. หาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก

วิธีทำ

เข็มเรือโดยเข็มทิศไยโร	214° 00′
อัตราเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร	1 00 ตก.
เข็มทิศไยโรที่แก้แล้ว (เข็มจริง)	213 00
เข็มเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	201 00
ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (วาริ. + ดิวิ.)	12 00 อ.
วาริเอชั่น	5 30 อ.
ดิวิเอชั่น	6 03 อ.

หรือทำอีกอย่างหนึ่ง คือ

เข็มเรือโดยเข็มทิศไยโร	214° 00′
อัตราเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร	100 ตก.
เข็มจริง	213 00
วาริเอชั่น	530 อ.
เข็มแม่เหล็ก	207 30
เข็มเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	201 00
ดิวิเอชั่น	630 อ.

ตัวอย่าง 2 จากรายการต่อไปนี้จงหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก และเข็มทิศท้ายเรือ วาริเอชั่น 1î ตก. อัตราเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร î อ.

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศไยโร	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศท้ายเรือ
000	014	019
030	044	048
060	073	079
090	101	106
120	130	134
150	160	159
180	190	185
210	220	215
240	250	246
270	281	279
300	311	312
330	343	346

วิธีทำ เข็มทิศเรือนเอก

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศไยโร	อัตราผิดเข็มทิศไยโร	ทิศหัวเรือจริง	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (วาริ. + ดิวิ.)	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก
000°	1° อ.	001°	014°	13° ตก.	11° ตก.	2° ตก.
030	1	031	044	13 ตก.	11	2 ตก.
060	1	061	073	12 ตก.	11	1 ตก.
090	1	091	101	10 ตก.	11	1 อ.
120	1	121	130	9 ตก.	11	2 อ.
150	1	151	160	9 ตก.	11	2 อ.
180	1	181	190	9 ตก.	11	2 อ.
210	1	211	220	9 ตก.	11	2 อ.
240	1	241	250	9 ตก.	11	2 อ.
270	1	271	281	10 ตก.	11	1 อ.
300	1	301	311	10 ตก.	11	1 อ.
330	1	331	343	12 ตก.	11	1 ตก.

เข็มทิศท้ายเรือ

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศไยโร	อัตราผิดเข็มทิศไยโร	ทิศหัวเรือจริง	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศท้ายเรือ	ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (วาริ. + ดีวิ.)	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่นของเข็มทิศท้ายเรือ
000°	1 อ.	001°	019°	18° ตก.	11° ตก.	7° ตก.
030	1	031	048	17 ตก.	11	6 ตก.
060	1	061	079	18 ตก.	11	7 ตก.
090	1	091	106	15 ตก.	11	4 ตก.
120	1	121	134	13 ตก.	11	2 ตก.
150	1	151	159	8 ตก.	11	3 อ.
180	1	181	185	4 ตก.	11	7 อ.
210	1	211	215	4 ตก.	11	7 อ.
240	1	241	246	5 ตก.	11	6 อ.
270	1	271	279	8 ตก.	11	3 อ.
300	1	301	313	11 ตก.	11	0
330	1	331	346	15 ตก.	11	4 ตก.

วิธีหาดิวิเอชั่นโดยเปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโรนี้ เป็นวิธีที่มีประโยชน์มากสำหรับแก้เข็มโดยการสอดแท่งแม่เหล็ก แต่บัญชีดิวิเอชั่นที่ได้โดยวิธีนี้จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดนั้นย่อมแล้วแต่ความถูกต้องของเข็มทิศไยโร เพราะฉะนั้นเมื่อหาดิวิเอชั่นโดยวิธีนี้แล้ว ควรต้องหมุนเรือหาดิวิเอชั่น โดยวิธีใดวิธีหนึ่งใน 4 วิธีอื่น ไว้ในโอกาสแรกเพื่อเป็นการตรวจสอบ

5. โดยแบริงดวงอาทิตย์

การหาแบริงจริงหรือแอซซิมัธของดวงอาทิตย์นั้น ย่อมคำนวณหาได้ทุกเวลา ในเมื่อสามารถวัดแบริงดวงอาทิตย์ได้ ในการหาแบริงจริงของดวงอาทิตย์นี้นอกจากทำโดยวิธีคำนวณแล้วยังใช้เปิดหาได้จาก **Weir's diagram** หรือมาตราแอซซิมัธ **(Azimuth tables)** อีกด้วย เมื่อได้แบริงจริงของดวงอาทิตย์แล้ว ให้เอาไปเปรียบเทียบกับแบริงของดวงอาทิตย์ที่วัดได้โดยเข็มทิศเรือนเอก จะได้ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (วาริเอชั่น + ดิวิเอชั่น) แล้วเอาวาริเอชั่นของตำบลที่เข้าแก้กับความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ ผลต่างตามวิธีพีชคณิตระหว่างความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ กับวาริเอชั่นจะเป็นค่าของดิวิเอชั่นตามทิศหัวเรือนั้น หรือจะทำอีกอย่างหนึ่งคือ เมื่อหาแบริงจริงดวงอาทิตย์ได้แล้วเอาวาริเอชั่นเข้าแก้จะได้แบริงแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ แล้วเอาแบริงแม่เหล็กนี้ ไปเปรียบเทียบกับแบริงเข็มเรือจะได้ดิวิเอชั่น

ดวงอาทิตย์ขณะเมื่ออยู่ที่ขอบฟ้า (คือเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นและตก) เป็นวัตถุที่เหมาะมากเพราะวัดแบริงได้ง่ายนอกจากดวงอาทิตย์แล้วจะใช้วัดแบริงดาวอื่น ๆ ก็ได้ ซึ่งนับรวมเข้าอยู่ในวิธีนี้ด้วยเหมือนกันวิธีที่ 5 นี้จะใช้เรียกว่า "โดยแบริงวัตถุท้องฟ้า"**(By azimuths of a heavenly body)** ก็ได้

ส่วนวิธีคำนวณหรือเปิดมาตราหาแบริงจริงของดวงอาทิตย์นั้น ได้มีกล่าวไว้ในวิชาดาราศาสตร์เดินเรือซึ่งนักศึกษาจะศึกษาได้จากตำรานั้น

ตัวอย่าง 1

เวลา	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงจริงของดวงอาทิตย์	แบริงของดวงอาทิตย์โดยเข็มทิศเรือนเอก	ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (วาริ. + ดิวิ.)	วาริเอชั่น	ดิวิเอชั่น
0800	000°	095°	105°	10° ตก.	8° ตก.	2° ตก.

ตัวอย่าง 2 เรือลำหนึ่งได้หมุนเรือหาดิวิเอชั่นโดยวิธีแบริงดวงอาทิตย์ดังรายการต่อไปนี้

เวลา	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงจริงของดวงอาทิตย์	แบริงของดวงอาทิตย์โดยเข็มเรือ
0800	000°	085°	082°
0802	045	085	084
0805	090	086	084
0808	135	086	082
0811	180	087	082
0814	225	087	081
0817	270	088	081
0820	315	088	083

วาริเอชั่นตามแผนที่มี 4° อ.

วิธีทำ ตัวอย่างนี้ใช้วิธีทำผิดกับตัวอย่าง 1 ซึ่งแล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกทำ

เวลา	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงจริงของดวงอาทิตย์	วาริเอชั่น	แบริงแม่เหล็ก	แบริงเข็มเรือ	ดิวิเอชั่น
0800	000°	085°	4° อ.	081°	082°	1° ตก.
0802	045	085	4	081	084	3 ตก.
0805	090	086	4	082	084	2 ตก.
0808	135	086	4	082	082	0
0811	180	087	4	083	082	1 อ.
0814	225	087	4	083	081	2 อ.
0817	270	088	4	084	081	3 อ.
0820	315	088	4	084	083	1 อ.

โจทย์ฝึกหัด

1. เรือพิฆาตฯ ลำหนึ่งได้หมุนเรือหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก และเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือโดยวิธีแบริงยอดเขาที่อยู่ไกลไว้ดังรายการต่อไปนี้

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงโดยเข็มทิศเรือนเอก	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ
000°	024° 30′	347° 30′
030	029	007
060	026	039
090	017	084
120	011	123
150	013	159
180	019 30	192 30
210	028	222
240	031	251
270	027	277
300	019	306
330	019	328

จงหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอกและเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ

ตอบ แบริงแม่เหล็กของยอดเขาได้ 022°

สำหรับเข็มทิศเรือนเอก

ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น
000°	2° 30' ตก.
030	7 ตก.
060	4 ตก.
090	5 อ.
120	11 อ.
150	9 อ.
180	2 30 อ.
210	6 ตก.
240	9 ตก.
270	5 ตก.
300	3 อ.
330	3 อ.

สำหรับเข็มทิศอะไหล่ท้ายเรือ

ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น
347° 30'	10° 00' อ.
007	16 อ.
039	17 อ.
084	11 อ.
123	8 อ.
159	0
192 30	10 00 ตก.
222	18 ตก.
251	20 ตก.
277	12 ตก.
306	3 ตก.
328	5 อ.

2. ให้หาดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก โดยวิธีแบริงกลับ กับเข็มทิศบนบกดังรายการต่อไปนี้

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	แบริงของเรือโดยเข็มทิศบนบก	แบริงเข็มทิศบนบกโดยเข็มทิศเรือนเอก
000°	082°	260°
045	079	255
090	086	263
135	087	261
180	082	258
225	077	259
270	078	264
315	080	265

ตอบ

ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น	ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น
000°	2° อ.	180°	4° อ.
045	4 อ.	225	2 ตก.
090	3 อ.	270	6 ตก.
135	6 อ.	315	5 ตก.

บัญชีดิวิเอชั่น

เมื่อคำนวณหาดิวิเอชั่นได้แล้ว ทุกทิศหัวเรือตามที่ได้หมุนเรือไว้ โดยวิธีใดวิธีหนึ่งใน 5 วิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว ให้เขียนบัญชีดิวิเอชั่นไว้เพื่อนำไปใช้ต่อไป

ในการเขียนบัญชีดิวิเอชั่นนี้ ถ้าหากว่าหมุนเรือหาดิวิเอชั่นไว้ทั้งเวลาปิดไฟ และเปิดไฟ (คำว่าปิดไฟและเปิดไฟ หมายความถึงการเดินเครื่องไฟฟ้าต่าง ๆ ตลอดจนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเปิดไฟตามที่ต่าง ๆ ตามที่ใช้ในลักษณะปกติ) ด้วยแล้วจะต้องทำบัญชีดิวิเอชั่น ไว้ทั้งเวลาปิดไฟและเปิดไฟ และถ้าหากว่าการหมุนเรือนั้นหมุนเพียงทิศใหญ่ 8 ทิศ (ทุก 45°) หรือมากทิศกว่านี้แต่ไม่ใช่หมุนทุกทิศหัวเรือ 10° หรือ 15° แล้ว ย่อมจะไม่ใคร่สะดวกในการหาดิวิเอชั่นของทิศอื่น ๆ นอกจากทิศที่ได้หมุนไว้ในเมื่อเปิดหาจากบัญชีดิวิเอชั่น เพราะจะต้องคิดเทียบดิวิเอชั่นที่ได้ทำไว้แล้ว และถ้าดิวิเอชั่นนั้นยิ่งมีค่ามากการเทียบหาดิวิเอชั่นก็ยิ่งลำบากมากขึ้น

ฉะนั้น ถ้าจะต้องทำบัญชีดิวิเอชั่น ซึ่งได้จากการหมุนเรือเพียงทิศใหญ่ 8 ทิศ หรือมากทิศกว่านี้แต่มิใช่ทุกทิศหัวเรือ 10° หรือ 15° แล้วต้องไปหาดิวิเอชั่นของทิศที่ต้องการ จากเส้นโค้งดิวิเอชั่นมากรอกลงในบัญชี (วิธีหาดิวิเอชั่นจากเส้นโค้งได้กล่าวไว้ในหน้า 608 และ 612) การทำบัญชีดิวิเอชั่นนั้นยิ่งได้ทิศหัวเรือมากเพียงใด การหาดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือต่าง ๆ ก็ยิ่งสะดวกมากขึ้นเพียงนั้น ทิศหัวเรือที่ใช้นั้นใช้อย่างมากเพียงทุกทิศ 10° (คือ 36 ทิศ) ก็พอแล้ว ที่นิยมกันนั้นมีทั้งทุกทิศ 10° และ 15° แต่บัญชีดิวิเอชั่นที่ทำไว้ทุกทิศหัวเรือ 10° เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด

ตัวอย่างบัญชีดิวิเอชั่น

บัญชีดิวิเอชั่นข้างล่างนี้เป็นดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอก สำหรับทุกทิศหัวเรือ 1° ซึ่งได้จากการหมุนเรือทั้งเวลาปิดไฟและเปิดไฟ

ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น		ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น	
	ปิดไฟ	เปิดไฟ		ปิดไฟ	เปิดไฟ
000°	1.4 อ.	1.2 อ.	180°	1.7 ตก.	1.4 ตก.
010	2.0 อ.	1.5 อ.	190	2.1 ตก.	1.8 ตก.
020	2.5 อ.	2.5 อ.	200	2.5 ตก.	2.1 ตก.
030	2.9 อ.	2.2 อ.	210	2.7 ตก.	2.4 ตก.
040	3.1 อ.	2.5 อ.	220	2.8 ตก.	2.6 ตก.
050	3.2 อ.	2.6 อ.	230	2.7 ตก.	2.5 ตก.
060	3.1 อ.	2.7 อ.	240	2.6 ตก.	2.4 ตก.
070	3.0 อ.	26 อ.	250	2.5 ตก.	2.2 ตก.
080	2.6 อ.	2.4 อ.	260	2.4 ตก.	2.1 ตก.
090	2.4 อ.	2.1 อ.	270	2.2 ตก.	2.0 ตก.
100	2.2 อ.	1.8 อ.	280	2.0 ตก.	1.8 ตก.
110	1.7 อ.	1.4 อ.	290	1.8 ตก.	1.5 ตก.
120	1.2 อ.	1.1 อ.	300	1.6 ตก.	1.0 ตก.
130	0.7 อ.	0.8 อ.	310	1.0 ตก.	0.6 ตก.
140	0.2 อ.	0.3 อ.	320	0.6 ตก.	0.2 ตก.
150	0.2 ตก.	0	330	0.2 ตก.	0.3 อ.
160	0.7 ตก.	0.5 ตก.	340	0.4 อ.	0.6 อ.
170	1.3 ตก.	0.9 ตก.	350	1.0 อ.	1.0 อ.

ตัวอย่างบัญชีดิวิเอชั่นสำหรับทุกทิศหัวเรือ 1°

ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น	ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น
000°	1° 30' ตก.	180°	18° 00 อ.
015	15 00 ตก.	195	23 45 อ.
030	13 15 ตก.	210	27 00 อ.
045	11 15 ตก.	225	25 30 อ.
060	10 00 ตก.	240	22 00 อ.
075	9 45 ตก.	255	16 00 อ.
090	9 00 ตก.	270	10 00 อ.
105	9 00 ตก.	285	2 00 อ.
120	8 00 ตก.	300	4 00 ตก.
135	6 00 ตก.	315	10 20 ตก.
150	2 00 ตก.	330	13 30 ตก.
165	8 30 ตก.	345	16 00 ตก.

บัญชีดิวิเอชั่นนี้เป็นดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนเอกทุกทิศหัวเรือ 1° ของโจทก์ตัวอย่าง หน้า 323

เมื่อมีบัญชีดิวิเอชั่นแล้ว เวลาต้องการหาดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือใด ๆ ก็เปิดหาได้จากบัญชีนั้น แต่ถ้าทิศหัวเรือที่ต้องการดิวิเอชั่นไม่มีปรากฏในบัญชีแล้วให้ใช้เทียบหาดิวิเอชั่น เอาจากบัญชีนั้น

เส้นโค้งดิวิเอชั่น (Deviation Curve)

ถ้าเอาบัญชีดิวิเอชั่นที่ได้มาจากการหมุนเรือ โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง มาจัดเขียนตามกราฟแล้ว (โดยจดดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือลงกำกับตามทิศหัวเรือนั้น ๆ แล้วเขียนเส้นโค้งให้ผ่านจุดของดิวิเอชั่นที่ได้จดลงไว้ตามทิศหัวเรือเหล่านั้น) ก็จะได้เส้นโค้งดิวิเอชั่น ฉะนั้น เส้นโค้งดิวิเอชั่นก็คือเส้นโค้ง ที่ลากผ่านจำนวนดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือต่าง ๆ และถ้าการหมุนเรือนั้นหมุนเพียง 8 ทิศใหญ่หรือมิได้หมุนทุกทิศหัวเรือ 10° แล้ว เราอาจหาดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือทุก 10° หรือทิศใดทิศหนึ่งได้โดยหาจากเส้นโค้งดิวิเอชั่น

เส้นโค้งดิวิเอชั่นที่นิยมใช้เขียนกันโดยมากมีอยู่ 2 แบบ คือ (ก) แบบตรง (ข) แผนภาพเนเปียร์ (Napier diagram)

วิธีเขียนเส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรง

(1) เขียนเส้นแนวยืนลงตรงกลางกระดาษ 1 เส้นยาวพอควร ทางขวาของเส้นแนวยืนที่ตอนบนเขียน " ตะวันออก " (+) ทางซ้ายเขียน "ตะวันตก" (-)

(2) แบ่งเส้นแนวยืนออกนี้เป็น 36 ส่วนเท่า ๆ กัน (ในเมื่อต้องการให้หาดิวิเอชั่นได้ทุกทิศหัวเรือ 10̊) หรือกี่ส่วนแล้วแต่ความประสงค์ แต่ถ้าแบ่งออก 36 ส่วน ก็จะสะดวกมาก แล้วเขียนเส้นขนานแนวนอนผ่านจุดที่แบ่งเหล่านี้ (แต่จะไม่เขียนก็ได้) แล้วเขียนจำนวนองศาของทิศหัวเรือลงกำกับตามจุดที่ได้แบ่งไว้โดยให้ทิศเหนือ (น.) หรือ 000̊ อยู่ปลายเส้นแนวยืนข้างบน

(3) กำหนดมาตราส่วน i̊ ของดิวิเอชั่นขึ้นตามต้องการ (เช่น ให้ i̊ = 0.5 ซม. หรือ 1 ซม. เป็นต้น) หรือใช้ขีดเส้นขนานกับเส้นแนวยืนออกไปทั้งสองข้าง ของเส้นแนวยืนให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันช่องละ i̊ ก็ได้

(4) เอาเส้นแนวยืนเป็นศูนย์กลาง วัดค่าของดิวิเอชั่นที่ได้ จากการหมุนเรือตามมาตราส่วนที่กำหนดไว้ แล้วจุดลงตามทิศหัวเรือจุดไว้ทางขวาของเส้นแนวยืน เมื่อดิวิเอชั่นเป็นตะวันออกและจุดลงทางซ้ายเมื่อดิวิเอชั่นเป็นตะวันตก

(5) เขียนเส้นโค้งเรียบ ๆ ผ่านจุดดิวิเอชั่นต่าง ๆ ที่จุดไว้ จะได้เส้นโค้งดิวิเอชั่นตามต้องการ

(6) ถ้าจุดใดห่างมาก และเมื่อเขียนเส้นโค้งผ่านจุดนั้นแล้ว จะทำให้เส้นโค้งนั้นเป็นรูปไม่เรียบร้อย ก็ไม่ต้องเขียนเส้นโค้งผ่านจุดนั้นทีเดียว ให้เขียนผ่านไปใกล้ ๆ พอควรพอให้เข้ารูปโค้งกับจุดอื่น ๆ ได้

ตัวอย่าง ให้เขียนเส้นโค้งดิวิเอชั่นตามรายการดิวิเอชั่นที่หมุนเรือหาได้ต่อไปนี้

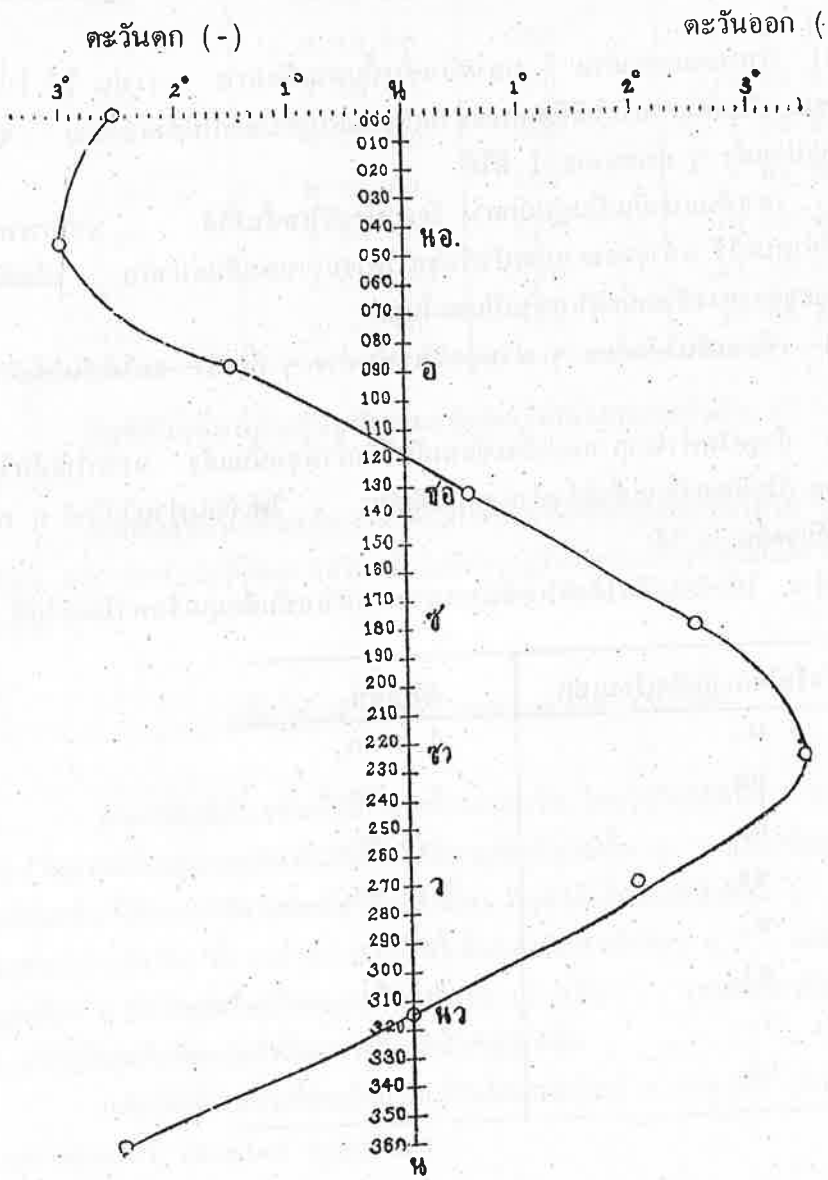
ทิศหัวเรือโดยเข็มทิศเรือนเอก	ดิวิเอชั่น
น.	2.5 ตก.
นอ.	3 ตก.
อ.	1.5 ตก.
ชอ.	0.5 ตก.
ช.	2.5 อ.
ชว.	3.5 อ.
ว.	2 อ.
นว.	0

วิธีหาดิวิเอชั่นจากเส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรง เมื่อต้องการดิวิเอชั่น ของทิศหัวเรืออื่นๆ นอกจากทิศที่ได้หมุนเรือไว้ ให้ทำดังต่อไปนี้

(1) เอาปลายขาปากคีบข้างหนึ่ง จดลงตรงจุดองศาของทิศหัวเรือในเส้นแนวยืน แล้ว อ้าปลายขาอีกข้างหนึ่งออกไปข้าง ๆ ในแนวนอนเดียวกันจนปจดกับเส้นโค้ง

(2) ถ้าเส้นโค้งนั้นได้เขียนตารางองศาไว้ด้วยก็จะอ่านดิวิเอชั่น ตรงที่เส้นโค้งตัดกับตารางได้เลยทีเดียว ถ้าไม่ได้เขียนตารางไว้แล้วให้เอาระยะที่วัดได้ โดยปากคีบไป กะลงในมาตราส่วนที่กำหนดไว้ก็จะได้ดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือที่ต้องการ

เส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรง



รูป 197

เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์

เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์นี้มีประโยชน์มากกว่าเส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรงเพราะว่านอกจากจะหาดิวิเอชั่นได้แล้วก็ยังหาเข็มแม่เหล็กได้เมื่อรู้เข็มเรือและหาเข็มเรือ เมื่อรู้เข็มแม่เหล็กได้อีกด้วย แต่ทว่าการสร้างยากกว่าเส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรง

วิธีเขียนเส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ ในทำดังต่อไปนี้

(1) เขียนเส้นแนวยืนลงกลางกระดาษ 1 เส้นให้ยาวพอ ที่จะแบ่งองศาได้สะดวก ถ้าให้ยาว 36 ซม. จะสะดวกที่สุด (คือ 1 มม. = 1°) และถ้าแบ่งเส้นนี้ ออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กันแล้วเขียนไว้ข้าง ๆ กันดังในรูป 198 แล้วย่อมจะสะดวกมากยิ่งขึ้นอีก เพราะไม่ต้องใช้กระดาษยาวมากเกินควร

(2) แบ่งเส้นแนวยืนออกให้อ่านได้ทุก 1°

(3) เขียนเส้นพืดผ่านจุดที่แบ่งไว้ทุก ๆ 15° ให้เขียนเฉียงขึ้น จากทางซ้ายไปทางขวาและทำมุม 60° กับเส้นแนวยืน

(4) เขียนเส้นจุดผ่านจุดที่แบ่งไว้ทุก ๆ 15° (ผ่านจุดที่เส้นพืด ตัดกับเส้นแนวยืน) ให้เฉียงลงจากทางซ้ายไปทางขวาและทำมุม 60° กับเส้นแนวยืนเช่นเดียวกัน

เส้นเฉียงทั้งสองชนิดนี้ทำกับเส้นแนวยืนเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าขึ้น เป็นชุด ๆ และถ้าสามารถทำได้แล้วให้แบ่งเส้นจุดออกโดยให้จุดในเส้นจุดแต่ละจุดห่างกัน เท่ากับมาตราส่วน 1° ของเส้นแนวยืนเพื่อจะได้อ่านค่าของดิวิเอชั่นได้ทีเดียว มิฉะนั้นจะต้องอ่านค่าของดิวิเอชั่นจากเส้นแนวยืน

(5) ถ้าจะจดดิวิเอชั่นลงตามทิศหัวเรือโดยเข็มเรือ แล้วต้องจดค่าของดิวิเอชั่น ลงบนเส้นจุดตามมาตราส่วนของเส้นโค้งโดยเอาเส้นแนวยืนเป็นศูนย์กลางจดลงทางขวา ถ้าดิวิเอชั่นเป็นตะวันออกและทางซ้ายถ้าดิวิเอชั่นเป็นตะวันตก

(6) เมื่อจดดิวิเอชั่นลงหมดทุกทิศหัวเรือที่หมุนมาแล้ว ให้เขียนเส้นโค้งเรียบ ๆ ผ่านจุดดิวิเอชั่นที่ได้จดไว้นั้นจะได้เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ที่ต้องการ

(7) ถ้าดิวิเอชั่นที่หาได้นั้นเป็นดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือ โดยเข็มแม่เหล็กแล้วการจดดิวิเอชั่นให้จดลงบนเส้นพืดตามมาตราส่วนแล้วเขียนเส้นโค้งให้ผ่านจุดเหล่านั้น โดยทำนองเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตัวอย่าง ให้เขียนเส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ตามบัญชีดิวิเอชั่น หน้า 605 (ดูรูป 198)

วิธีหาดิวิเอชั่นจากเส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ เมื่อต้องการหาดิวิเอชั่นของทิศหัวเรืออื่น ๆ นอกจากทิศที่ได้หมุนเรือไว้ให้ทำดังต่อไปนี้

(1) เอาขีดแบ่งองศาที่เท่ากับทิศหัวเรือในเส้นแนวยืนเป็นทิศหัวเรือ แล้วลากเส้นจากจุดนี้ให้ขนานกับเส้นจุดไปจนตัดกับเส้นโค้ง

(2) เอาปากคีบวัดระยะของเส้นขนานใน (1) (คือเส้นซึ่งลากจากจุดทิศหัวเรือในเส้นแนวยืนขนานกับเส้นจุดไปจนบรรจบกับเส้นโค้ง) ไปกะลงในเส้นแนวยืนจะได้ดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือนั้น ๆ

เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์นี้เมื่อเขียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ใช้เป็นเส้นโค้งแบบสำเร็จสำหรับเปลี่ยนหาเข็มแม่เหล็ก และเข็มเรือระหว่างกันและกันได้ดังต่อไปนี้

หาเข็มแม่เหล็กเมื่อรู้เข็มเรือ ทำดังต่อไปนี้

(1) เอาขีดองศาที่เท่ากับเข็มเรือ ในเส้นแนวยืนเป็นเข็มเรือ จากจุดนี้เขียนเส้นให้ขนานกับเส้นจุดไปจนตัดกันเส้นโค้งดิวิเอชั่น

(2) จากจุดที่เส้นขนานตัดกับเส้นโค้งนี้ เขียนเส้นให้ขนานกับเส้นพืด ไปจนติดกับเส้นแนวยืน จุดที่เส้นขนานตัดกับกับเส้นแนวยืนเป็นจำนวนองศาของเข็มแม่เหล็กที่ต้องการ

ตัวอย่าง เช่นในรูป 198 หน้า 372) ให้หาเข็มแม่เหล็กในเมื่อเข็มเรือเป็น 20$\frac{1}{2}$

วิธีทำ เขียนเส้น **AB** ให้ผ่านขีด 20$\frac{1}{2}$ ให้ขนานไปกับเส้นจุดจากจุด **B** ซึ่งเส้นขนานนี้ตัดกับเส้นโค้งดิวิเอชั่นเขียน **BC** ให้ขนานกับเส้นพืดแล้วอ่านจำนวนองศาของเข็มแม่เหล็กที่ **C** ได้ 23$\frac{1}{2}$ 30$\frac{1}{2}$

หาเข็มเรือเมื่อรู้เข็มแม่เหล็ก ทำดังต่อไปนี้

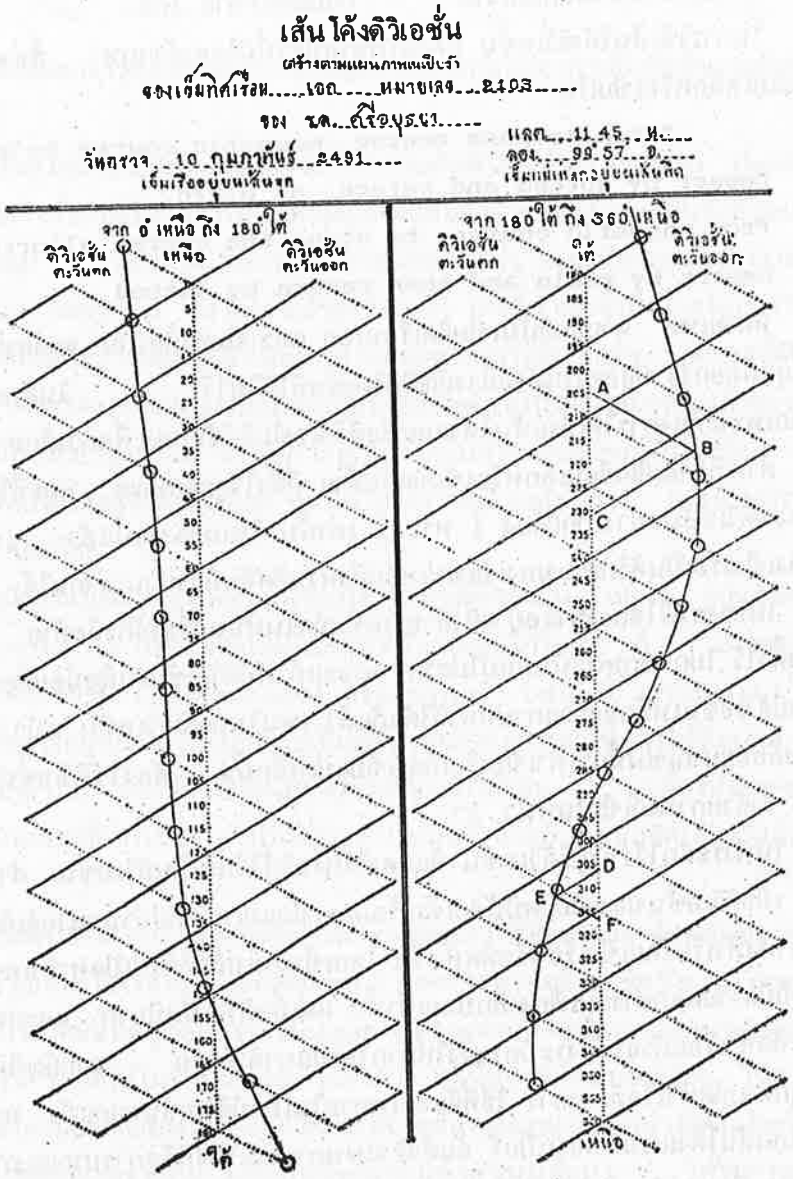
(1) เอาจุดองศาในเส้นแนวยืน ที่เท่ากับเข็มแม่เหล็กเป็นเข็มแม่เหล็ก แล้วเขียนเส้นขนานกับเส้นพืดจากจุดนี้ไปจนตัดกับเส้นโค้งดิวิเอชั่น

(2) จากจุดที่เส้นขนานตัดกับเส้นโค้งดิวิเอชั่น เขียนเส้นให้ขนานกับเส้นจุด ไปจนตัดกับเส้นแนวยืน จุดที่เส้นขนานตัดกับเส้นแนวยืนเป็นจำนวนองศาของเข็มเรือ

ตัวอย่าง เช่นในรูป 198 ให้หาเข็มเรือในเมื่อเข็มแม่เหล็กเป็น 30$\frac{1}{2}$

วิธีทำ เขียน **DE** ให้ผ่านขีด 30$\frac{1}{2}$ ให้ขนานกับเส้นพืดและเขียน **EF** จากจุด **E** ซึ่งเส้นขนานตัดกับเส้นโค้งดิวิเอชั่นให้ขนานกับเส้นจุด แล้วอ่านจำนวนองศาของเข็มเรือที่ **F** ได้ 31$\frac{1}{2}$

เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์นี้ มีประโยชน์มากในเมื่อทำการแก้เข็มทิศ ในระหว่างที่ทำการแก้เข็มทิศอยู่นั้นเรือจะต้องหันหัวเรือไปในทิศแม่เหล็กทิศใดทิศหนึ่ง โดยเฉพาะสมมุติว่าในรูป 198 นั้น เป็นเส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ ซึ่งได้จัดทำไว้ สำหรับเข็มทิศถือท้ายของเรือลำหนึ่ง เมื่อจะทำการแก้เข็มทิศเรือนเอกนั้นจำเป็นต้องให้เรือแล่นตรงไป ในทิศแม่เหล็กทิศใต้, ตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ต่อเนื่องกันไปโดยเข็มทิศเรือนอื่น (คือเข็มทิศถือท้าย) จะใช้เข็มทิศเรือนเอกไม่ได้เพราะจะแก้เข็มทิศเรือนเอก ถ้าใช้เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์รูป 198 สำหรับหาเข็มเรือที่ต้องถือท้ายตามทิศแม่เหล็กที่กล่าวแล้วนั้นจะได้ดังนี้


เส้นโค้งดิวิเอชั่น
เสร้างตามแผนภาพเปรียบ
ของเข็มทิศเรือน เอก หมายเลข 2103
ของ รล. ศรีอยุธยา
วันตรวจ 10 กุมภาพันธ์ 2491
เข็มเรืออยู่บนเส้นจุด
แลต 11.45 น.
ลอง 99.57 ต.
เข็มแม่เหล็กอยู่บนเส้นสีดำ
จาก 0° เหนือ ถึง 180° ใต้
จาก 180° ใต้ ถึง 360° เหนือ
ดิวิเอชั่น ตะวันตก
เหนือ
ดิวิเอชั่น ตะวันออก
ใต้
A
B
C
D
E
F

รูป 198

ทิศแม่เหล็กใต้ = เข็มถือทิศท้าย 169°

ทิศแม่เหล็กตะวันตก = เข็มทิศถือท้าย 254°

ทิศแม่เหล็กตะวันตกเฉียงใต้ = เข็มทิศถือท้าย 200°

ในการใช้เส้นโค้งดิวิเอชั่น แผนภาพเนเปียร์นี้มีโคลงอังกฤษ ที่ช่วยความทรงจำในการหาเข็มแม่เหล็กหรือเข็มเรือ

"From compass course, magnetic course to gain,
Depart by dotted and return by plain.
From magnetic course, to steer the course allotted,
Depart by plain and then return by dotted.

หมายเหตุ ตามปกตินั้นเข็มทิศเรือนเอก และเข็มทิศถือท้าย จะต้องแก้ให้มีดิวิเอชั่นอย่างมากที่สุดน้อยกว่า ที่แสดงในตัวอย่างบัญชีดิวิเอชั่นที่ได้ให้ไว้ ในตัวอย่างที่แสดงไว้มีดิวิเอชั่นมากเพราะต้องการให้เห็นเส้นโค้งและบัญชีดิวิเอชั่นได้ชัดเจนเพื่อการศึกษา

สำหรับเข็มทิศเรือนเอกหรือเข็มทิศถือท้าย ที่ตั้งไว้ถูกลักษณะ และที่ได้แก้ไว้แล้วเป็นอย่างดีนั้นจะมีดิวิเอชั่นอย่างมากเพียง 1° หรือ 2° เท่านั้น ในกรณีเช่นนี้แล้ว เราอาจสมมุติให้ดิวิเอชั่นของเข็มเรือเป็นดิวิเอชั่นของเข็มแม่เหล็กสำหรับทิศอันมีจำนวนเท่ากันได้

ในบางกรณีโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเข็มทิศในห้องเครื่องจักรถือท้าย หรือเข็มทิศในเรือดำน้ำซึ่งตั้งไว้ ไม่ถูกลักษณะนั้นย่อมไม่สามา รถจะแก้ให้มีดิวิเอชั่นเหลือน้อยที่สุดได้ ในกรณีเช่นนั้นแล้วมีดิวิเอชั่นเหลืออยู่มากภายหลังที่ได้แก้แล้ว เช่นในบัญชีดิวิเอชั่น หน้า 338 เมื่อมีดิวิเอชั่นเหลืออยู่มากเช่นนี้การหาเข็มเรือเมื่อรู้เข็มแม่เหล็กนั้น ต้องใช้ดิวิเอชั่นให้ถูกตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ว่าด้วยการแก้เข็มในหน้า 37

ให้พึงระลึกไว้ว่าบัญชีดิวิเอชั่น ที่แสดงไว้หรือให้ไว้นั้นเป็นดิวิเอชั่น สำหรับทิศหัวเรือโดยเข็มเรือ เมื่อดิวิเอชั่นของเข็มทิศมีน้อยเข็มเรือและเข็มแม่เหล็กก็มีจำนวนใกล้เคียงกันมาก - ฉะนั้นเมื่อเอาทิศหัวเรือโดยเข็มเรือหรือทิศหัวเรือ โดยเข็มแม่เหล็กก็ดีไปเปิดหาดิวิเอชั่น จากบัญชีดิวิเอชั่นแล้วก็มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อดิวิเอชั่นมีมาก และแตกต่างกันมากสำหรับแต่ละทิศหัวเรือแล้วจะต้องระมัดระวังให้มากในเมื่อหาดิวิเอชั่น จากบัญชีดิวิเอชั่นต้องดูดิวิเอชั่นให้ถูกตามทิศหัวเรือที่ต้องการ วิธีที่ดีและเหมาะในเมื่อมีดิวิเอชั่นมากแล้ว ควรหาดิวิเอชั่นโดยวิธีจดลงบนเส้นโค้งแผนภาพเนเปียร์ อันที่จริงแผนภาพเนเปียร์ก็คือการบวกและการลบ โดยวิธีกร๊าฟนั่นเอง ซึ่งเอาดิวิเอชั่นไปแก้เข้ากับเข็มแม่เหล็กหรือเข็มเรือไว้เสร็จแล้ว แต่ถ้าดิวิเอชั่นมีน้อยแล้วแผนภาพเนเปียร์ก็ไม่ใคร่ได้ประโยชน์เท่าใดนัก

ตอนที่ 11
เข็มทิศไยโร (Gyro Compass)

ก่อนที่จะกล่าวถึงเข็มทิศไยโรจะขอกล่าวถึงที่มาและอาการสัมพันธ์ของเข็มทิศไยโรเสียก่อน

ไยโรสโคป(Gyro scope) เป็นที่ทราบกันทั่วไปแล้วว่า เทหวัตถุ (body) ที่ปั่น (หมุน) ไปโดยเร็วนั้นมีอิสระในการหมุนตัวโดยรอบแกนตั้งฉาก ซึ่งกันและกันทั้งสามแกน ทำให้เกิดเป็นไยโรสโคป (คำว่า gyros ในภาษากรีก หมายความว่า หมุนหรือหมุนรอบ (turn or revolution) และ skopein หมายความว่าดูหรือมอง) การที่นำเอาชื่อไยโรสโคปมาใช้ เพราะว่าไยโรสโคปมีคุณสมบัติในการอยู่ยงคงที่ในอวกาศ(space)อาการนี้เรียกว่า ความเฉื่อยไยโรสโคป (gyroscopic enertia)เช่นขณะเมื่อโลกหมุนรอบแกนตัวเองนั้นแกนการหมุนตัวของ ไยโรสโคปชี้ไปในทิศเดียวกันเสมอในอวกาศ ทำให้ปรากฏเห็นว่าแกนการหมุนตัวของไยโรสโคป เปลี่ยนทิศของมันติดต่อเรื่อยไปโดยสัมพันธ์กับโลก ฉะนั้นไยโรสโคปนี้เองทำให้เรา "แลเห็นการหมุนรอบตัว (การหมุนตัว) ของโลก"

ถึงมีแรงหนึ่งมากระทำต่อแกนของไยโรสโคปที่กำลังปั่น (หมุน) อยู่แล้วจะทำให้แกนนั้นไม่หมุนตัว (rotate) ไปในทิศที่แรงนั้นมากระทำแต่หมุนไปในทิศ 90° จากแรงที่มากระทำ อาการนี้เรียกว่าพรีเซ็ชชั่น (precession) หรืออาการเซ โฟโคลต์ (Focault) ชาวฝรั่งเศสเป็นบุคคลแรกที่ตรวจกฎของไยโรสโคปและเป็นผู้ค้นพบปรากฏการณ์นี้ขึ้นจึงให้ชื่อกฎขึ้น กฎตามชื่อของท่านผู้นี้กล่าวว่า "เทหวัตถุที่หมุนพยายามเหวี่ยงตัวไปรอบ ๆ เพื่อให้แกนของมันไปอยู่ขนานกับแกนของแรงที่มากระทำ ฉะนั้นทิศของการหมุนตัวของมันจึงเป็นทิศเดียวกันกับทิศ ของแรงที่มากระทำ"

เข็มทิศไยโรสโคป (gyroscopic compass) ทำขึ้นโดยอาศัยหลักของคุณสมบัติ 2 ประการนี้คือความเฉื่อยไยโรสโคป(gyroscopic enertia)และพรีเซ็ชชั่น (precession)

ไยโรสโคปชนิดลูกตุ้ม (Pendulous gyroscope) เนื่องจากแกนของไยโรสโคป ที่หมุนตัวโดยอิสระ ชี้คงที่ไปในทิศเดียวเสมอในอวกาศ ฉะนั้นจึงมีประโยชน์น้อย ในการที่จะนำมาใช้เป็นเข็มทิศสำหรับบอกทิศบนโลก แต่ถ้าเอาน้ำหนักอันหนึ่งมาแขวนไว้ข้างใต้ไยโรสโคป ให้แขวนติดกับปลายทั้งสองของแกน แล้วแกนนั้นจะหันเข้าหาเมริเดียน ให้พิจารณาดูในกรณีที่ไยโรสโคปอยู่ที่อิเควเตอร์ซึ่งมีแกนอยู่ในแนวนอนหันอยู่ในทิศตะวันออก-ตะวันตก โดยที่โลกหมุนจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ฉะนั้นแกนของไยโรสโคปพยายามที่จะอยู่นิ่งคงที่ในอวกาศหรือพยายามกระดกให้สัมพันธ์อยู่กับโลก แต่ขณะเมื่อมันกระดกไปนั้นน้ำหนักก็ถูกยกขึ้น อาการของความถ่วง(gravity) บนน้ำหนักนี้พยายามดึงให้แกนกลับไปยังตำแหน่งที่ต่ำที่สุด ฉะนั้นจึงเกิดแรงกระทำขึ้นที่แกนทำให้พรีเซ็ชชั่น (หัน) เข้าหาเมริเดียน แรงนี้กระทำที่ปลายทั้งสองของแกน

เรียกว่า แรงคู่ควบคุมมุมฉาก (righting couple)

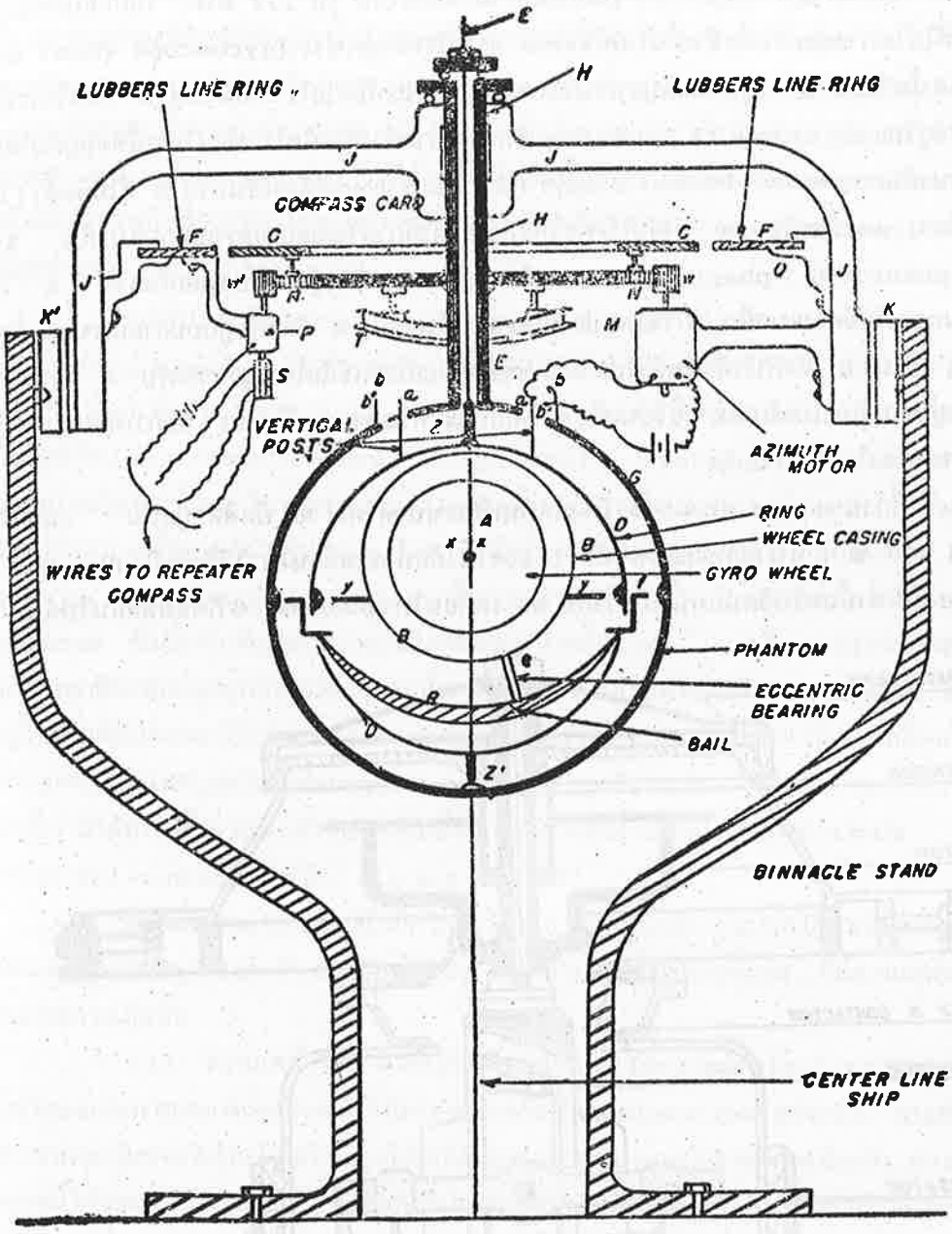
แรงของน้ำหนักทำให้เกิดพรีเซ็ชชั่นแต่ไม่ทำให้แกนกลับคืนเข้าในแนวนอน เนื่องจากเป็นไปตามกฎของพรีเซ็ชชั่น ฉะนั้นการหมุนตัวต่อเนื่องกันของโลก ทำให้แกนข้างสูงกระดกขึ้นต่อเนื่องกันไป จึงทำให้แรงคู่ควบมุมฉากทวีขึ้น ฉะนั้น เมื่อแกนหันไปถึงเมริเดียน แรงควบมุมฉากก็มีกำลังสูงสุด ฉะนั้นการเคลื่อนที่ก็หมุนตัวต่อเนื่องต่อไป แต่เมื่อข้ามเลยเมริเดียนไปแล้ว การหมุนตัวของโลกกระทำให้แกนได้ระดับ โดยที่ปลายแกนข้างสูงและข้างต่ำ ได้เปลี่ยนตำแหน่งที่ไป ฉะนั้นแรงจึงจะค่อย ๆ ลดลงพร้อมทั้งอัตราของพรีเซ็ชชั่นก็ค่อย ๆ ลดลงด้วย แรงจะเป็นศูนย์เมื่อมุมที่หมุนเลยเมริเดียนไปแล้วเท่ากับมุมที่หมุนจากตำแหน่งเดิมเข้าไปถึงเมริเดียน ฉะนั้น ถ้าทิศเดิมของแกนเป็น 050 แล้วมันจะหันเข้าหาเมริเดียน 50 และหันเลยไปอีก 50 คือถึง 310 ครั้นแล้วจะตั้งต้นพรีเซ็ชชั่นไปในทิศตรงข้ามและทำให้แกนหันกลับเข้าหาตำแหน่งที่เดิม

การลดการแกว่งกวัด(Damping the oscillations)เมื่อไยโรสโคปแกว่งกวัดข้ามเมริเดียนติดต่อเนื่องตลอดไปแล้ว จะใช้เป็นเข็มทิศไม่ได้เว้นไว้แต่จะได้ให้ไยโรสโคปปั่น (หมุน) เมื่ออยู่ตรงเมริเดียนจริง ๆ โดยที่ไม่สามารถที่จะให้ไยโรสโคปอยู่ตรงเมริเดียนได้จริง ๆ เสียก่อนแล้วจึงปั่นให้หมุนได้เสมอไปจึงจำเป็นต้องหา วิธีทำที่มิให้แกนของไยโรสโคปเกิด พรีเซ็ชชั่นหรือเซเมื่ออยู่ตรงเมริเดียน

วิธีที่แก้ได้สำเร็จนั้นใช้ลูกเบี้ยว(eccentric bail) ดังแสดงไว้ในรูป 199 หรือโดยใช้ปรอทถ่วง(mercury ballistic)ดังแสดงไว้ในรูป 200 หรือโดยใช้วิธีคล้ายคลึงกัน ในรูป 199 นั้นเดือย e ต่อให้ลูกเบี้ยว R อันมีน้ำหนักติดกับห้องลูกข่าง(Rotor casing)B เดือย e นี้ติดไว้ให้เบี้ยว (ไม่ตรงศูนย์กลาง) เล็กน้อยอยู่ห่างจากศูนย์กลางแกนแนวยืนของลูกข่าง (rotor) ในระยะประมาณเศษหนึ่งส่วนแปดนิ้ว ลูกเบี้ยวมีอาการห้อยลงในแนวยืนเพราะว่า มีเดือยติดอยู่ที่แบริง ff ซึ่งอยู่เหนือศูนย์กลางความถ่วง(centre of gravity)ลูกข่างหรือล้อไยโร (Rotor or gyro wheel)A พยายามรักษาตำแหน่งหน้าที่ของมันในอวกาศไว้ในเมื่อโลกหมุนตัวไป จึงทำให้แกน xx กระดก และทำให้ลูกเบี้ยว R ยกขึ้นจากตำแหน่งที่ปกติของมัน เมื่อลูกเบี้ยวยกขึ้นเดือย e ก็จะทำให้ความถ่วงคู่ควบที่ห้องลูกข่าง (wheel casing)B แยกออกเป็นส่วนประกอบ (component) แนวนอน ส่วนประกอบแนวนอนนี้ทำให้เกิดอาการเซในแนวยืน เท่าที่ทำได้ทำให้แกนเคลื่อนที่ไปเป็นรูปก้นหอยจนกระทั่งเคลื่อนไปถึงจุดหยุดจุดหนึ่ง จุดนี้อยู่ทางตะวัน ออกของทิศเหนือเล็กน้อยเสมอ ซึ่งแปรระยะตามการสัมผัสของละติจูดของตำบล ที่ภูมิศาสตร์และอยู่เหนือขอบฟ้าเล็กน้อย เว้นเสียแต่ว่าเมื่อเข็มทิศไยโรไปอยู่ที่อิเควเตอร์

เข็มทิศไยโรแบบหลัง ๆ ได้ใช้ปรอทถ่วงแทนลูกเบี้ยว R มีเดือยติดอยู่ที่แบริง ff อันเดียวกันนั้นเองปรอทที่ใช้ถ่วงนี้บรรจุไว้ในกระปุกเหล็กคู่หนึ่งมีท่อเหล็กติดต่อถึงกัน (รูป 200) ปรอทถ่วงนี้มีแขนและลูกกลิ้งติดต่อกับห้องไยโรในทำนองเดียวกับส่วนบนของเดือย e

ปรอทในกระปุกนั้นได้บรรจุไว้เต็มเสมอกับระดับของพื้นแนวนอนเดียวกันของศูนย์กลาง

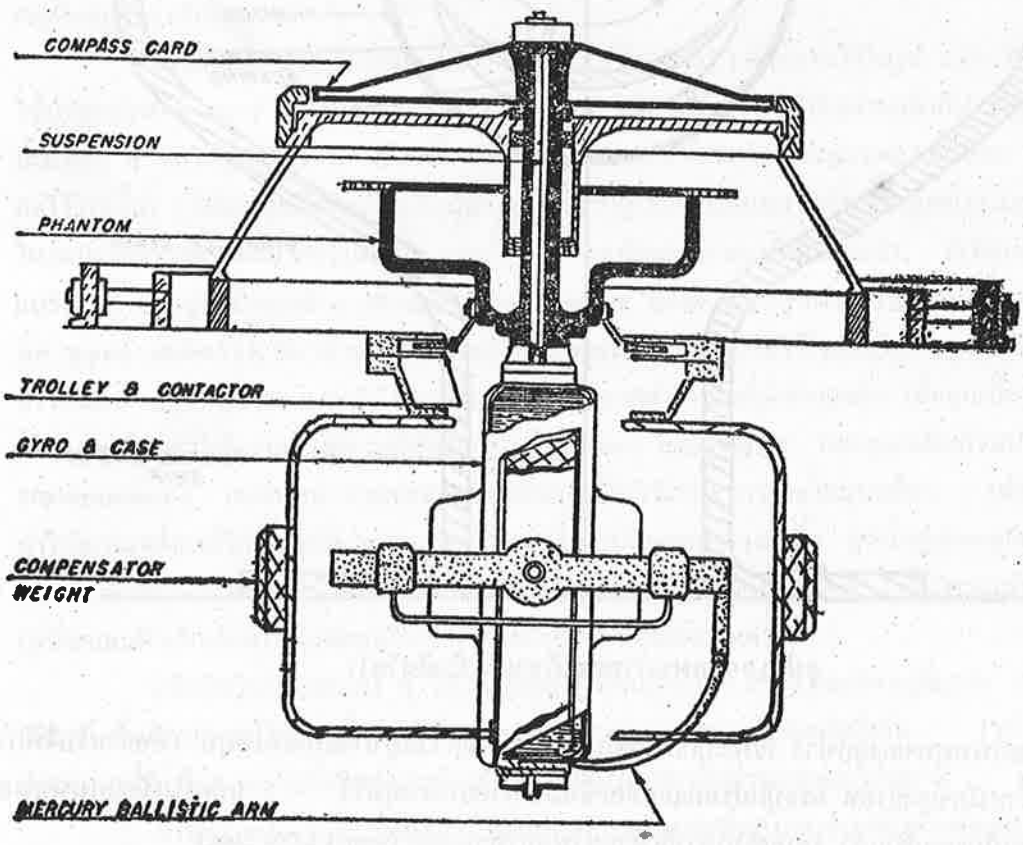


รูป 199 แผนภาพสะเก็ชของเข็มทิศไยโร

ของแกนหมุนของลูกข่าง ที่กระปุกปรอทมีน้ำหนักถ่วงติดไว้อยู่ข้างบนแกนหมุน เพื่อสำหรับให้ถ่วงกับน้ำหนักของปรอท กระปุกปรอทและท่อเชื่อมข้างใต้แกนหมุนไว้ แต่ครั้นเมื่อแกนหมุนอยู่ขนานกับขอบฟ้าแล้ว ระบบดังกล่าวก็เข้าอยู่ในสภาพสมดุลย์ (equilibrium)

เข็มทิศไยโร ในรูป 201 เป็นเข็มทิศไยโรสมัยใหม่ รูป 199 นั้น เป็นเข็มทิศไยโรรุ่นหนึ่งที่ใช้ในการเดินเรือที่สร้างขึ้นในสมัยก่อน ตัวไยโรหรือลูกข่าง (gyroscope wheel or rotor)A นั้นได้ติดไว้ให้หมุนในแกนแนวนอน xx อยู่ภายในห้องไยโร (casing)B ห้องไยโรนี้มีเดือยติดอยู่ในแกนแนวนอน YY ผ่านตลอดศูนย์กลางความถ่วงของไยโร ห้องไยโรนี้ติดอยู่กับโครงหรือวงแนวยืน(frame or vertical ring)D วงแนวยืน D ห้อยอยู่ด้วยเส้นลวด E ที่ไม่บิดตัว (ไม่ขวั้นเกลียว) และมีแบริง ZZ บังคับไว้เพื่อให้แกว่งกวัดได้ภายในขอบเขตรอบแกนแนวยืน ZZ ภายใน phantom G ที่ phantom G ตอนบนมีก้านกลวง H ติดอยู่สำหรับสอดเส้นลวด E ให้ผ่านก้านกลวงไปยึดวงแนวยืน D ไว้และปลายบนของเส้นลวด E ยึดติดอยู่กับปลายบนของ ก้านกลวง H ก้าน H ทำหน้าที่หมุนตัวไปตามแอซซิมัธโดยสัมพันธ์กับโครงฐานรองรับ J โครงฐาน J ติดอยู่บนวงรักษาระดับ KK' ที่เรือนเข็มทิศในลักษณะหรือทำนองเดียวกัน กับการติดเข็มทิศแม่เหล็กธรรมดาลงในเรือนเข็มทิศ

ที่ก้าน H ของ phantom มีวงล้อฟันเฟืองขนาดใหญ่ NN ยึดติดอยู่แน่น วงล้อนี้มีฟันเฟือง 360 ซี่ ๆ หนึ่งสำหรับแอซซิมัธ 1 องศา วงล้อนี้จะเคลื่อนไหวได้ก็ต่อเมื่อ Phantom G เคลื่อนไหวไปเท่านั้นหรืออีกนัยหนึ่งเมื่อวงล้อ NN เคลื่อนไหว phantom G ก็ต้องเคลื่อนไปด้วย



รูป 200 ปรอทถ่วงที่ติดไว้กับเข็มทิศไยโร

ที่โครงฐาน J มีแอซซิมัธมอเตอร์(azimuth motor)M ติดอยู่แน่น ฉะนั้นมอเตอร์นี้จึงติดประจำคงที่สัมพันธ์อยู่กับตัวเรือแอซซิมัธมอเตอร์มีฟันเฟืองขนาดเล็ก WW' ขบอยู่กับ วงล้อฟันเฟือง NN บนวงล้อฟันเฟือง NN มีแผ่นเข็มทิศ CC ติดอยู่แน่น แผ่นเข็มทิศแบ่งออก 360 เสมอหน้ากับผิวพื้นของแผ่นเข็มทิศ CC มีวงเส้นหัวเรือแบน FF ซึ่งบีดเส้นหัวเรือ FF' ไว้ติดอยู่บนเท้าแขน QQ บนโครงฐาน J ข้างใต้วงเส้นหัวเรือนั้นมีทรานสมิตเตอร์(transmitter)P ติดอยู่หนึ่งตัวทำหน้าที่สำหรับส่งอาการสัมพันธ์ไปยังเข็มทิศไยโรย่อย (repeater compasses)ในเมื่อแผ่นเข็ม CC เคลื่อนไหวไป

ลูกข่าง A ห้องลูกข่าง B และวงแนวยืน D สามสิ่งนี้รวมกัน เรียกว่าหน่วยชี้ทิศ (sensitive element) อันที่จริงแล้วหน่วยชี้ทิศเป็นตัวเข็มทิศไยโรที่แท้จริง ส่วนกลไกอื่น ๆ ที่ติดตั้งขึ้นนั้นก็เพื่อถ่าย (แสดงอาการ) การเคลื่อนไหว, ทิศหัวเรือหรือการอ่านทิศในแนวนอนของหน่วยชี้ทิศ (sensiteve element) ให้ได้ถูกต้องจริง ๆ ตามหน่วยชี้ทิศหรือเพื่อแก้ความเคลื่อนคลาดบางประการที่มีอยู่ ในเข็มทิศมีtrolley contactไฟฟ้า 2 ตัวติดอยู่บนหลักแนวยืนa,aซึ่งติดอยู่กับหน่วยชี้ทิศ (ดังในรูป) contact ไฟฟ้าทั้งสองนี้สัมผัสเบา ๆ กับ contact ประจำที่ bb, 'bb' สองตัวที่ติดอยู่กับ phantom เพื่อส่งอาการไฟฟ้า กลไกนี้มีหน้าที่สำหรับทำให้ phantom ซึ่งมีแผ่นเข็มติดอยู่ข้างบนไล่ติดตามการเคลื่อนไหว ในแนวนอนของแกนของลูกข่างทุกอิริยาบถโดยถูกต้องจริง ๆ ฉะนั้น จึงแสดงทิศหัวเรือหรือทิศที่แกนลูกข่าง XX ชี้สัมพันธ์อยู่กับเมริเดียนออกมาให้เห็นเป็นองศา ทรานสมิตเตอร์(transmitter)P ส่งการเคลื่อนไหวของแกนลูกข่างไปยังเข็มทิศไยโรย่อย(gyro repeater)ทุกตัวในเรือ การติดตามการเคลื่อนไหวของลูกข่าง มิได้ทำให้อาการกระทำของหน่วยชี้ทิศเสียไป แต่อย่างใดนอกไปกว่าการสัมผัส แต่เพียงเบา ๆ ของ contact ไฟฟ้า a,a และ bb,'bb'

ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรในเรือ เข็มทิศไยโร (ไยโรสโคปชนิดลูกตุ้ม) ที่ได้แต่งและแก้ไว้จนถูกต้องดีแล้วเมื่ออยู่บนบกนั้น เมื่อเอาไปติดตั้งในเรือที่แล่น ก็มีความเคลื่อนคลาดบางประการเกิดขึ้น

(1) ความเคลื่อนคลาดเรือโคลงในทิศเฉียง (Inrercardinal rolling error) การโคลงและการแคลงของเรือทำให้เกิดแรงความเร่ง (acceleration force) กระทำต่อมวลสารของลูกตุ้มของไยโรสโคปเป็นเหตุให้แกนของลูกข่างเบี่ยงเบนไปจากทิศเหนือจริง ความเคลื่อนคลาดนี้ได้ชื่อมาจากความจริง ในการที่มีความเคลื่อนคลาดมากที่สุดในเมื่อหัวเรือหันไปในทิศเฉียง เข็มทิศไยโรแบบ Sperry ใช้แก้ความเคลื่อนคลาดนี้ด้วยการเพิ่มไยโรช่วย (auxiliary gyro) เล็ก ๆ เรียกว่า floating ballistic สำหรับทำให้จุดเชื่อมระหว่างตัวไยโรจริงและลูกตุ้ม (pemdulum) มีความมั่นคง ส่วนเข็มทิศไยโรแบบ Auma ใช้ตัวไยโรจริง 2 ตัว อยู่นอกเมริเดียนในทิศตรงกันข้าม ฉะนั้นตัวไยโรพยายาม precess ในทิศตรงข้ามจึงทำให้สะเทิน(neutralizing)ซึ่งกันและกัน

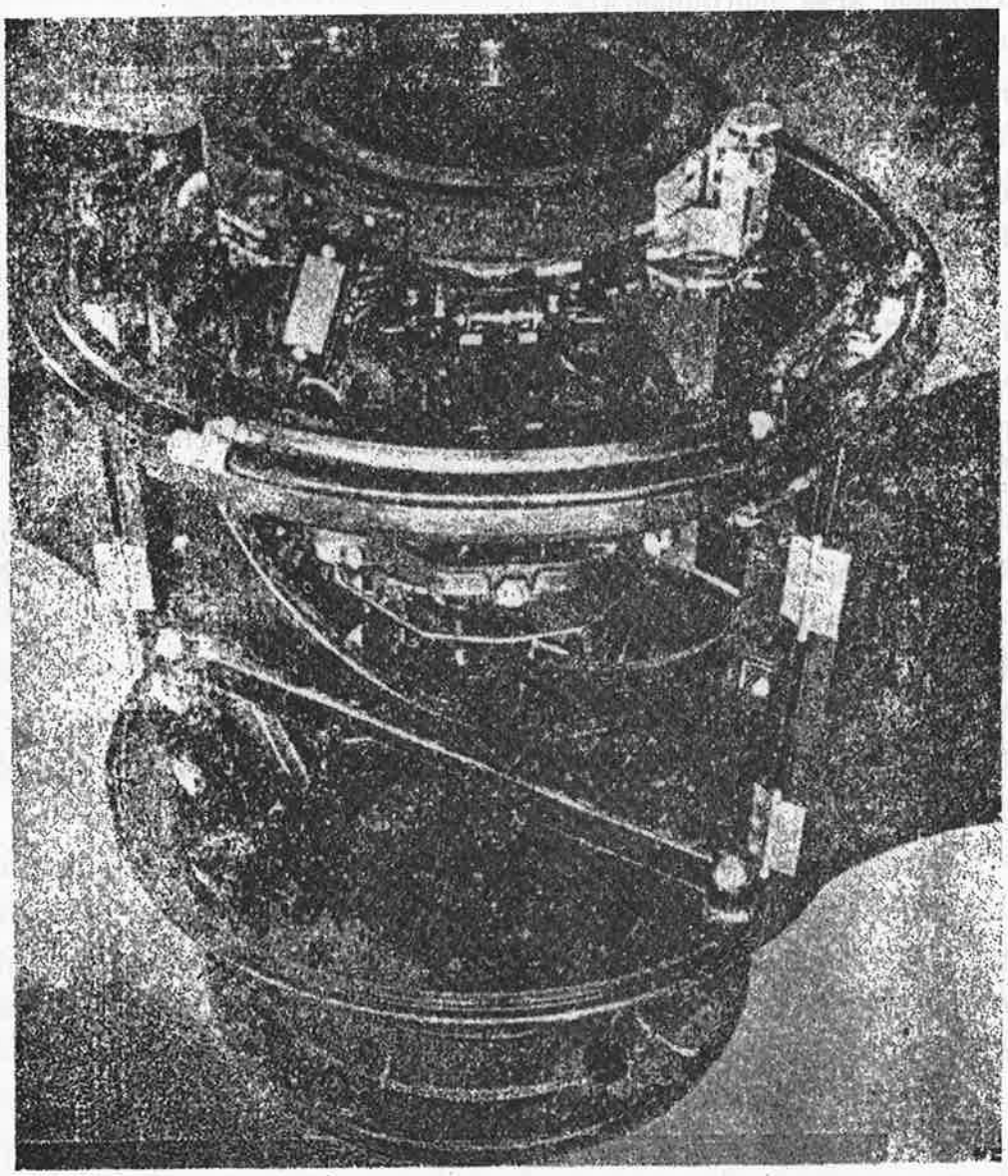
(2) ความเคลื่อนคลาดอัตราเร็ว (Speed error) เมื่อเรือแล่นด้วยอัตราเร็วคงตัวในทิศประจำก็คือการแล่นตามทางโค้งในอากาศ เพราะว่าแล่นไปตามผิวพื้นโลกซึ่งเป็นพื้นโค้ง อาการนี้ทำให้เกิด vector (เส้นสมมติระยะและทิศทาง) ที่จะต้องเพิ่มเข้ากับการหมุนตัวของโลก การแก้นี้พึ่งพิงอยู่กับเข็มที่เรือแล่น, อัตราเร็วของเรือและละติจูด อัตราเร็วใช้ตั้งด้วยมือหรือแก้ไว้ในเครื่องโดยอัตโนมัติจากล็อกได้น้ำ ละติจูดใช้ตั้งเอาด้วยมือและตัวเข็มทิศนั้นเอง ก็บอกเข็มที่แล่น การแก้เหล่านี้ทำให้เส้นหัวเรือเลื่อนไป ฉะนั้น เส้นหัวเรือจะชี้ทิศที่ถูก จะหันแผ่นเข็มทิศนั้นให้ไปชี้ตรงที่ไหนก็ได้ตามต้องการ

(3) ความเคลื่อนคลาดละติจูด(Latitude error)โดยที่วิธีใช้ลดการแกว่งกวัด ของเข็มทิศไยโรแบบ Sperry ทำให้เกิดความเคลื่อนคลาดของละติจูดขึ้น ฉะนั้น จึงต้องแก้ละติจูดช่วยโดยแก้ด้วยมือ ความเคลื่อนคลาดอันนี้ ไม่มีในเข็มทิศไยโรแบบ Arma เพราะใช้วิธีอื่นในการลดการแกว่งกวัด

(4) ความเคลื่อนคลาด damping (Damping error) เมื่อเรือเปลี่ยนเข็มหรืออัตราเร็วก็เกิดแรงความเร่ง หรือแรงความหน่วง (accelerating force or decelerating force) ขึ้นทำให้การสมดุลย์ของปรอท (damping fluid) เปลี่ยนไปทำให้เกิด precession โดยรอบแกนแนวยืนขึ้นหรือทำให้เข็มทิศเบี่ยงเบนไปจากทิศเหนือจริง ดิวิเอชั่นที่มากที่สุดนี้ จากเข็มนี้จะเกิดขึ้นประมาณ 20 นาที ภายหลังที่เปลี่ยนเข็มหรืออัตราเร็วภายหลังที่เข็มทิศได้แกว่งกวัดข้ามศูนย์ และได้ลดความเคลื่อนคลาดลงสิ้นแล้ว เข็มทิศไยโรแบบ Arma ใช้แก้ความเคลื่อนคลาดอันนี้ โดยตัดการติดต่อระหว่างกระปุกปรอท (damping fluid) เมื่อแรงความเร่งมีถึงขีดที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ ส่วนเข็มทิศไยโรแบบ Sperry ใช้แก้โดยเลื่อนการต่อของลูกเบี้ยวระหว่าง ballistic และห้องไยโรไปยังจุดหนึ่งในแนวกับแกนยืนของเข็มทิศ เข็มทิศทั้งสองแบบนี้มี Solenoid เป็นเครื่องแก้โดยอัตโนมัติระหว่างคาบของความเร่งและความหน่วง

(5) ความเคลื่อนคลาดการของปรอท (Ballistic deflection error) ความเร่งอันเกิดจากการเปลี่ยนเข็มหรืออัตราเร็วของเรือได้ส่งอาการไปยังมวลสารชนิดลูกตุ้ม (pendulous mass) ของหน่วยชี้ทิศ (aensitive dliment) ด้วย เช่นเดียวกับที่กระทำต่อปรอท (damping fluid) สำหรับเข็มทิศแบบ Sperry นั้น กระปุกปรอททั้ง 3 กระปุกนั้นแต่ละกระปุกมีลิ้นเชื่อมไปยังท่อเหล็ก ติดต่อถึงกันได้ ดังนั้นปรอทเพียง 1 กระปุก หรือ 2 หรือ 3 กระปุก อาจจะทำหน้าที่ของมันแล้วแต่ความต้องการที่เกิดจากการเปลี่ยนละติจูดได้

การแก้โดยวิธีนี้ด้วยการถ่ายเทของน้ำหนักปรอทในกระปุกต่าง ๆ และท่อที่ต่อกระปุกจึงทำให้แก้การเหของปรอทได้ทุกละติจูดแทนที่จะให้มีน้อยเกินไปหรือมากเกินไปทุก ๆ ละติจูดนอกไปกว่าที่ได้ออกแบบให้ไว้แต่เดิม เข็มทิศแบบหลัง ๆ นี้ ไม่ได้แยกกระปุกปรอทไว้แต่ได้ติดไว้ให้ปรอทเคลื่อนเข้าหรือออกได้จึงทำให้บังคับได้ถูกต้อง โดยที่ความเคลื่อนคลาดนี้ ทำไปในทิศตรงข้ามกับการเปลี่ยนของความเคลื่อนคลาดอัตราเร็วเมื่อเปลี่ยนเข็มหรือเปลี่ยนอัตราเร็ว ฉะนั้น จึงแต่ง



รูป 201 เข็มทิศไยโร Sperry Mark XIV

อัตราเร็วของไยโรสโคป (ลูกข่าง) และโมเมนตัมเชิงมุมของมันให้สมดุลย์ได้ โดยถูกต้องกับอัตราเร็ว เข็มทิศแบบ **Arma** ใช้การแก้วิธีนี้ อัตราเร็วที่ถูกต้องนี้พึ่งพิงอยู่กับละติจูด ฉะนั้นการแก้ละติจูดของเข็มทิศแบบ **Arma** เป็นการแก้อัตราเร็ว

(6) ความเคลื่อนคลาดวงรักษาระดับ **(Gimballing error)** ความเร่งแนวนอนอันเกิดจากเรือโคลงทำให้วงรักษาระดับ ซึ่งรองรับเข็มทิศไว้เกิดการกระดก **(tilting)** จึงเป็นเหตุให้เข็มทิศมีความเคลื่อนคลาดไปเล็กน้อย เข็มทิศแบบ **Arma** ใช้แก้ความเคลื่อนคลาดนี้ โดยทำให้วงรักษาระดับวงนอก มีความเที่ยงสัมพันธ์อยู่กับหน่วยชี้ทิศ **(sensitive element)** ส่วนเข็มทิศแบบ **Sperry** ได้ติดตั้งไว้ในลักษณะที่ให้ความเคลื่อนคลาดนี้มีน้อยที่สุดจึงไม่แก้ไว้

การใช้เข็มทิศไยโร เรือที่มีเข็มทิศไยโรใช้ต้องมีหนังสือ คู่มือคำแนะนำในการใช้เข็มทิศไยโรให้ไว้ หนังสือคู่มือเหล่านี้กล่าวถึงทฤษฎีของเข็มทิศไยโร ซึ่งไม่เกี่ยวกับคณิตศาสตร์เป็นคำแนะนำในทางปฏิบัติว่าด้วยการระวังรักษาและการใช้เช่นเดียวกับคู่มือ คำแนะนำ สำหรับเครื่องจักรประกอบอื่น ๆ ฉะนั้นถ้าผู้ใช้มีความรู้เบื้องต้นในทางทฤษฎีของเข็มทิศดีแล้ว ก็จะเข้าใจได้ดี ถ้ามิฉะนั้นแล้วอาจจะใช้ผิดพลาดได้

ตามปกติแล้วควรเดินเข็มทิศไยโรไว้ ก่อนออกเรือประมาณ 4 ชั่วโมง แต่ถ้าทราบว่าเข็มทิศไยโรนั้นไม่อยู่ในสภาพที่เรียบร้อยแล้ว ควรเดินไว้ให้นานกว่านี้ เพื่อว่าจะได้มีเวลาแต่งแก้ไขเล็ก ๆ น้อย ๆ สำหรับเข็มทิศแบบ **Arma** และเข็มทิศแบบ **Sperry** ชนิดที่ใช้กับเรือพิฆาตฯ นั้น ถ้าผู้ใช้มีความชำนาญในการตั้งเข็มทิศไยโรให้อยู่เกือบตรงเมริเดียน และได้ระดับจริงแล้ว เมื่อเริ่มเดินก็ไม่จำเป็นต้องเดินไว้ล่วงหน้าถึง 4 ชั่วโมงก็พอเพราะเกินความจำเป็นไป กำหนดเวลาที่จะให้เข็มทิศไยโรชี้ตรงเมริเดียนนั้นจะลดลงได้มาก ถ้าตั้งต้นให้เข็มทิศไยโรเดิน เมื่อเข็มทิศไยโรหันอยู่ตรงเมริเดียนจริง ตามที่หาได้จากเข็มทิศแม่เหล็กเรือนเอก

ในทางปฏิบัติเท่าที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปเมื่อเรือทอดสมอแล้ว และคาดว่าเรือจะออกแล่นต่อไปอีกภายใน 24 ชั่วโมงแล้ว ก็ควรปล่อยให้เข็มทิศไยโรเดินต่อไป แต่ถ้ามีการฝึกใช้เครื่องควบคุมการยิงปืน เมื่อเรือจอดแล้วอาจจะต้องใช้เข็มทิศไยโรด้วย เมื่อเรือทอดสมอในอ่าวเปิดหรือทอดสมอในภาวะที่เรืออาจออกเดินทางต่อไป ในชั่วเวลาอันรวดเร็วแล้ว ควรปล่อยให้เข็มทิศไยโรเดินไว้ 1 เรือนเป็นอย่างน้อย

การแก้ต่อไปนี้เป็นสิ่งจำเป็นและควรรู้สำหรับต้นหน

(ก) ละติจูดและอัตราเร็ว **(Latitude and speed)** ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ "ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรในเรือ" ในหน้า 624 นั้นส่วนมากได้แก้ไว้โดยอัตโนมัติภายในเข็มทิศ ถึงกระนั้นก็ดีจำเป็นต้องตั้งละติจูดเอาด้วยมือ ถ้าละติจูดเปลี่ยนเพียงเล็กน้อยก็ไม่ต้องตั้ง แต่การแก้ละติจูดที่ตั้งไว้นั้นใช้ได้ภายในเขตละติจูดของเรือ ๑ เข็มทิศบางแบบแก้อัตราเร็วโดยอัตโนมัติโดยใช้ล็อกใต้น้ำ **(underwater log)** แต่ถ้าต้องใช้ตั้งอัตราเร็วด้วยมือแล้ว จะต้องตั้งให้ได้ใกล้เคียงกับมาตราส่วนให้มากที่สุด และจะต้องเปลี่ยนการตั้งทุก

(จ) แรงตรงของเข็มทิศไยโรลดลงตามละติจูดและสูญหายหมดไป เมื่ออยู่ที่ขั้วโลกภูมิศาสตร์ แต่โดยที่ไม่ได้เอาเข็มทิศไยโรไปใช้ในเครื่องบินและทั้งเรือ ก็ไม่สามารถที่จะไปถึงขั้วโลกได้ ฉะนั้นในทางปฏิบัติไม่ต้องคำนึงถึงข้อเสียประการนี้

(ฉ) เข็มทิศไยโร มีความเคลื่อนคลาดบางประการดังกล่าว ไว้ในหัวข้อความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรในเรือ

สำหรับเข็มทิศไยโรสมัยใหม่นี้ ถึงแม้ว่าจะมีข้อเสียดังกล่าวแล้วก็ตาม แต่ถ้าได้เอาใจใส่เป็นอย่างดีแล้วย่อมใช้ได้ผลเป็นที่พอใจและเชื่อถือได้ดี ฉะนั้นเมื่อต้นหนทราบทั้งข้อดีและข้อเสียของเข็มทิศไยโรดังกล่าวแล้วนี้จงอย่าได้ทอดทิ้งเข็มแม่เหล็กเป็นอันขาด ต้นหนที่มีความรอบคอบซึ่งได้แก่เข็มทิศแม่เหล็กของตนไว้ให้เรียบร้อยดีและทำบัญชีดิวิเอชั่นไว้ให้ถูกต้องแล้ว ย่อมจะสบายใจในเมื่อเข็มทิศไยโรเกิดขัดข้องขึ้น เข็มทิศไยโรอาจเกิดการขัดข้องได้ เพราะเข็มทิศไยโรประกอบด้วยกลไกอันประณีตยุ่งยาก

ความถูกต้องของเข็มทิศไยโร ถึงว่าได้แก้ความเคลื่อนคลาดต่าง ๆ หมดทุกอย่างแล้วก็ตาม เข็มทิศไยโรก็ยังไม่ถูกต้องสมบูรณ์แท้ทีเดียว อย่างไรก็ดีเข็มทิศไยโรสมัยปัจจุบันนี้ เมื่อได้แก้ถูกต้องแล้วมักมีความเคลื่อนคลาดไม่ใคร่เกิน 1 ตามปกติในทางปฏิบัตินั้นถือว่า ความเคลื่อนคลาดอันเล็กน้อยนี้เป็นศูนย์ (0) ได้ แต่ทั้งนี้มิได้หมายความว่า จะไม่ต้องตรวจสอบหาความเคลื่อนคลาดไว้เสมอ ๆ ก็หามิได้ ความเคลื่อนคลาดจำนวนน้อยนี้ถ้าหากเรือต้องแล่นไปเป็นเวลานาน ๆ แล้วจะทำให้เรือแล่นผิดเชห่างออกไปจากด้านหนึ่งของที่หมายได้ ถ้าหากมีความเคลื่อนคลาดจำนวนมากเกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องกลไกขัดข้องชั่วคราว ถ้าตรวจไม่พบหรือไม่ทราบแล้ว จะทำให้เรือประสบอันตรายได้

วิธีหาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร วิธีหนึ่งวิธีใด ในบรรดาวิธีต่าง ๆ ที่ใช้หาดิวิเอชั่น (ความเคลื่อนคลาด) ของเข็มทิศแม่เหล็กกันเป็นส่วนมาก ย่อมใช้หาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรได้

ยังมีวิธีหาอีกวิธีหนึ่งโดยใช้เครื่องวัดแดดและเครื่องตั้งมุม (สะเตชั่นปอยน์เตอร์) คือใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมสองมุม (มุมขวาและมุมซ้าย) ของวัตถุ 3 แห่ง ที่เหมาะจากที่ตั้งเข็มทิศไยโรย่อยเรือนที่จะใช้ตรวจสอบ และในขณะที่ใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมของวัตถุไว้นั้น ให้ใช้เข็มทิศไยโรย่อยเรือนนั้น วัดแบริงของวัตถุทั้งสามแห่งไปด้วยพร้อมกันแล้วเอามุมที่วัดได้นั้น ตั้งลงในเครื่องตั้งมุมแล้วทาบหาที่เรือในแผนที่ ตำบลที่เรือที่หาได้นั้นเป็นตำบลที่อันถูกต้องของเข็มทิศไยโร ย่อยเรือนนั้นขณะเมื่อวัดมุม แล้วขีดหาแบริงของวัตถุทั้งสามแห่งในแผนที่ เมื่อเอาแบริงของวัตถุทั้งสามแห่งซึ่งใช้เข็มทิศไยโรย่อยแบริงได้ไปเปรียบเทียบกับแบริง ซึ่งขีดได้จากแผนที่ ก็จะได้ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรจะต้องตรวจสอบเข็มทิศไยโรย่อยกับเข็มทิศไยโรเรือนเอก (master gyro compass) ไว้ทุกครั้งที่ใช้เข็มทิศไยโรย่อยวัดแบริงตรวจสอบทุก ๆ แบริงไป

อีกวิธีหนึ่งที่คล้ายคลึงกันคือใช้เข็มทิศไยโรย่อย วัดแบริงวัตถุ 3 แห่งไว้ แล้วขีดแบริงทั้งสามลงในแผนที่ ถ้าแบริงทั้งสามตัดกันเป็นจุดเดียวกันแล้วเข็มทิศไยโรนั้นก็ถูกต้อง ถ้าไม่ตัดเป็นจุดเดียวกันแต่ตัดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมแล้ว ก็สามารถจะแก้ให้มันไปตัดกันที่จุดเดียวได้ โดยการทดลองและโดยการใช้ความเคลื่อนคลาดคือเอา i บวกเข้าหรือลบออกจากแบริง แต่ละแบริงแล้วเอาแบริงที่แก้แล้วนี้ขีดลงในแผนที่อีก ถ้ารูปสามเหลี่ยมที่แบริงทั้งสามตัดกันใหม่นี้มีขนาดลดลง (เล็ก) และเมื่อได้กะประมาณว่าความเคลื่อนคลาดมีอยู่ในทิศใดถูกต้องแล้ว และเมื่อได้เอาอัตราแก้ที่เหมาะไปแก้แล้ว เส้นแบริงก็ควรต้องตัดเป็นจุดเดียวกัน ถ้าเส้นแบริงตัดกันเป็นจุดเดียวเมื่อใดอัตราแก้รวมทั้งหมดที่เอาไปแก้กับแบริงอันใดอันหนึ่งนั้นก็จะเป็นความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร

เมื่อเข้าท่าหรือออกจากท่า ควรต้องตรวจสอบเข็มทิศไยโรไว้เสมอ โดยวิธีตรวจสอบกับวัตถุสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกัน ถึงแม้นว่าจะได้ตั้งอัตราแก้อัตราเร็วไว้ให้เหมาะแล้ว ก็ตามแต่โดยที่อัตราเร็วของเรือแปรเปลี่ยนไปจึงทำให้เข็มทิศไยโรแกว่งกวัดบ้ามเมริเดียนไปได้ระยะหนึ่ง อันนี้เองทำให้ต้นหนจำเป็นต้องระมัดระวังอยู่ตลอดเวลา คอยสังเกตว่าเข็มทิศไยโรของตน แกว่งกวัดไปทางไหนเพื่อจะได้แก้แบริงให้ถูกต้อง

เมื่อเรืออยู่ในทะเลมีวิธีเดียวเท่านั้นที่ใช้ได้และหาได้ทุกเวลา คือตรวจหาแอซซิมัธของวัตถุท้องฟ้าแล้วขีดหาเส้นหาตำบลที่ และขณะเมื่อตรวจวัตถุท้องฟ้า ก็ให้วัดแบริงของวัตถุนั้นไว้ด้วย ถ้าจะหาแอซซิมัธของดวงอาทิตย์ ในการหาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรให้ได้ผลถูกต้องดีแล้วควรวัดเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ต่ำ (มีสูงน้อย) ในเวลาเช้าตรู่และเวลาเย็นใกล้ค่ำ แล้วเอาแอซซิมัธที่หาได้โดยการคำนวณไปเปรียบเทียบกับแบริงที่วัดโดยเข็มทิศไยโร ก็จะได้ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรซึ่งทำให้ทราบได้ว่าเข็มทิศไยโรถูกต้องเพียงใด ดาวเหนือเป็นดาวที่เหมาะดีมากในการวัดหาแอซซิมัธ ในเวลากลางคืนในละติจูดเหนือต่ำ ๆ

การเปรียบเทียบเข็มทิศไยโรกับเข็มทิศแม่เหล็ก เมื่อตั้งเข็ม (เปลี่ยนเข็ม) ใหม่แล้วทุกครั้ง และเมื่อได้ปล่อยให้เข็มทิศไยโรเดินได้เวลาสม่ำเสมอกันแล้ว ให้เปรียบเทียบเข็มทิศไยโรเรือนเอกกับเข็มทิศแม่เหล็กไว้และบันทึกผลการเปรียบเทียบไว้ในสมุดเทียบเข็มทิศ(compass comparison book) เมื่อได้เปรียบเทียบเช่นนี้แล้ว ถ้าเข็มทิศไยโรเรือนเอกเรือนหนึ่ง เรือนใดมีความผิดใด ๆ ขึ้นหรือเข็มทิศไยโรย่อยเรือนใดไม่เป็นปกติก็จะปรากฏให้เห็นได้ทันที

อัตราเคลื่อนคลาดที่ได้นี้อาจใช้สำหรับตรวจสอบดิวิเอชั่นของเข็มทิศแม่เหล็ก ได้ด้วยเรื่อย ๆ ไป อัตราเคลื่อนคลาดเหล่านี้จะมีขึ้นในเมื่อดิวิเอชั่นจริง ๆ ผิดไปจากดิวิเอชั่น ที่มีอยู่ในบัญชีดิวิเอชั่นของเข็มทิศแม่เหล็ก และจะเป็นสิ่งเตือนใจให้ต้นหนเห็นควรจำเป็น ที่จะต้องหมุนเรือหาดิวิเอชั่นที่มีตกค้างอยู่ หรือเพื่อแก้เข็มทิศเสียใหม่ นาวีสหรัฐอเมริกานิยมวิธีใช้เข็มทิศไยโร ในการหมุนเวียนหาดิวิเอชั่นและในการแก้เข็มทิศแม่เหล็กมาก

เครื่องประกอบเข็มทิศไยโร มีหลายอย่างซึ่งใช้กับเข็มทิศไยโรเรือนเอก สำหรับเรือขนาดใหญ่นั้นในปัจจุบันวางมาตรฐานไว้ให้มีเข็มทิศไยโรเรือนเอกสองเรือน พร้อมด้วยเครื่อง

คราวที่อัตราเร็วเปลี่ยนไป 2 นอตหรือมากกว่า ถ้าเปลี่ยนอัตราเร็วบล่อย ๆ แล้ว จะต้องตั้งเข็มทิศตามอัตราเร็วเฉลี่ย

(ข) การเลื่อนเส้นหัวเรือ (Shift of lubbers line) ความเคลื่อนคลาดปรากฏ (apparent error) ที่มีอยู่ในเข็มทิศอาจเกิดขึ้นได้จากการที่เรือนเข็มทิศไม่อยู่ในแนวเดียวกับแนวกระดูกงูเรือ สำหรับเข็มทิศไยโรแบบ Sperry นั้นใช้แก้ความเคลื่อนคลาดถาวรปรากฏ (apparent permanenterror) เช่นนั้นหรือความเคลื่อนคลาดถาวรแท้ (real permanent error) ใด ๆ โดยเลื่อนวงเส้นหัวเรือ (lubbers ring) ส่วนเข็มทิศไยโรแบบ Arma ใช้เลื่อนตัวเรือนเข็มทิศไป การที่จะเลื่อนวงเส้นหัวเรือนั้นควรจะกระทำในเมื่อต้นหนแน่ใจแล้วเท่านั้นว่า เข็มทิศไยโรนั้นมีความเคลื่อนคลาดถาวร จะต้องระมัดระวังให้แน่ใจว่าความเคลื่อนคลาดถาวรปรากฏนั้น เกิดในเข็มทิศจริงไม่ใช่ว่าเกิดจากการที่เข็มใบย่อย (pelorus repeater) ไม่อยู่ในแนวกับแนวกระดูกงูเรือ (ใช้เข็มใบย่อยหาแอซซิมัธ สำหรับหาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ)

ข้อดีของเข็มทิศไยโร เข็มทิศไยโรมีข้อดีกว่าเข็มทิศแม่เหล็ก ดังต่อไปนี้

(ก) ชี้เมริเดียนจริงแทนที่จะชี้เมริเดียนแม่เหล็ก

(ข) ใช้ไกล้ขั้วแม่เหล็กโลกได้ ส่วนเข็มทิศแม่เหล็กใช้ไม่ได้

(ค) ติดตั้งไว้ในห้องที่มีผนังล้อมรอบตัวใต้ดาดฟ้าได้ ส่วนเข็มทิศแม่เหล็กนั้นมวลสารของวัสดุแม่เหล็กที่ล้อมรอบอยู่นั้นจะทำให้แรงตรงของเข็มทิศลดลงเป็นอันมาก การแสดงทิศของเข็มทิศไยโรที่ติดตั้งไว้ใต้ดาดฟ้านั้น ใช้กระแสไฟฟ้าส่งอาการไปยังเข็มทิศไยโรย่อย ซึ่งจะติดตั้งไว้ในที่ที่เหมาะที่ใดในเรือก็ได้ ถึงแม้ว่าเข็มทิศแม่เหล็กที่ได้แก้ไขครั้งหลัง ๆ นี้ จะสามารถบังคับเข็มทิศแม่เหล็กย่อยที่ห่างไกลได้ก็ตามก็สู้เข็มทิศไยโรไม่ได้

(ง) ใช้ไฟฟ้าส่งทิศจากเข็มทิศไยโรไปใช้ที่เครื่องควบคุมการยิงสมัยใหม่ในเรือรบ ได้และยังใช้ส่งทิศไปยังเครื่องจดที่เรือรายงาน (deae reckoning tracer) เครื่องบันทึกเข็ม ที่เรือแล่นไป (course recorders) และเครื่องถือท้ายอัตโนมัติได้

ข้อเสียของเข็มทิศไยโร ถึงแม้ว่าเข็มทิศไยโรสมัยใหม่จะมีข้อดีหลายประการ และไว้ใจได้ก็ตามก็ยังมีข้อเสียบางประการอันเนื่องจากการออกแบบ คือ

(ก) เป็นกลไกที่ประณีตยุ่งยากย่อมจะชำรุด หรือขัดข้องได้ เมื่อถูกกระทบกระเทือนแรง ๆ

(ข) ต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่มีกำลังคงตัว

(ค) ถ้าผู้ใช้ไม่ชำนาญแล้วจะต้องฉลาดเฉลียว ระมัดระวัง และเอาใจใส่เป็นอย่างดี จึงจะได้ผลสมตามความมุ่งหมายของการใช้เข็มทิศไยโร

(ง) เข็มทิศไยโรทำงานไม่ได้สมตามความประสงค์ในเมื่อมีอัตราเร็ว และความเร่งมาก เช่นในเครื่องบิน

กำเนิดไฟฟ้าตามสมควร เครื่องบังคับ ฯลฯ สำหรับเรือขนาดเล็ก (ของนาวีสหรัฐอเมริกา) โดยมากมีเข็มทิศไยโรเรือนเอกเพียงเรือนเดียวเท่านั้น ส่วนเข็มทิศไยโรย่อย ให้มีจำนวนพอเหมาะสำหรับใช้ในการเดินเรือและสำหรับเครื่องควบคุมการยิงปืน ที่ห้องถือท้ายจัดให้มีเข็มทิศไยโรย่อยไว้สองเรือนเพื่อแสดงทิศของเข็มทิศไยโรเรือนเอกไว้ทั้งสองเรือน สำหรับเปรียบเทียบและตรวจสอบกันได้เป็นประจำที่ห้องถือท้ายเหล่านั้น

บรรดาเรือในนาวีสหรัฐอเมริกาส่วนมากมีเครื่องจดที่เรือรายงานโดยอัตโนมัติ (dead reckoning tracer) ประจำกับเรือ เครื่องนี้จดแนวทางเรือระหว่างการยุทธ์ และการประลองยุทธ์ได้ตามมาตราส่วนของแผนที่ต่าง ๆ และจดลงได้เองโดยอัตโนมัติ เครื่องจดที่เรือนี้ประกอบด้วยหน้าปัดบอกละติจูด หน้าปัดบอกลองจิจูดและเครื่องบันทึกเข็ม นอกจากนี้แล้วเครื่องแบริง self-synchronous alidades (เครื่องแบริงมีกล้องตาเดียวซึ่งหันตรงไปทิศใดทิศหนึ่งประจำจะหันเปลี่ยนทิศไปได้ก็ต่อเมื่อผู้วัดหันเครื่องแบริงไปเท่านั้น) ก็เป็นเครื่องประกอบสมัยใหม่ของเข็มทิศไยโรด้วย

เข็มทิศไยโรเป็นเครื่องที่บังคับเครื่องถือท้ายด้วยไยโร (gyro pilot) ให้ตรง ในเมื่อหางเสือทำให้หัวเรือหันออกไปนอกเข็มที่กำหนดตั้งไว้แม้แต่เพียงเล็กน้อยโดยทันที และทั้งบังคับเครื่องกลไกสำหรับบันทึกเข็มที่เรือแล่นไปด้วย

เข็มทิศไยโรย่อยที่ติดไว้บนสะพานเดินเรือที่ปีกทั้งสองกราบ ใช้เป็นเข็มใบนั้นใช้วัดเป็นแบริงจริงได้ self-synchronous alidades นั้นมีเข็มทิศไยโรย่อยประกอบอยู่ด้วยเหมือนกัน และเมื่อเข็มทิศไยโรเรือนเอกเกิดขัดข้องขึ้น ก็ใช้เข็มทิศไยโรย่อยหรือเข็มทิศไยโรย่อย ที่ติดอยู่กับ self-synchronous alidades เป็นเข็มใบธรรมดาได้ในเมื่อได้ตั้งให้ตรงเข็มจริง

เข็มทิศไยโรย่อย (Gyro compass repeater) ข้อหนึ่งของระบบเข็มทิศไยโร คือทำให้เข็มทิศไยโรเรือนเอกสามารถเดินเข็มทิศไยโรย่อยให้ได้มากเรือน เข็มทิศไยโรย่อยนี้ใช้ติดตั้งอยู่ตามที่ต่าง ๆ ทั่วไปในเรือสำหรับแสดงทิศหัวเรือจริง เข็มทิศไยโรย่อยเหล่านี้ใช้เดินด้วยไฟฟ้า

เข็มทิศไยโรย่อยประกอบด้วยสิ่งสำคัญคือ แผ่นเข็มทิศซึ่งติดอยู่ที่ปลายข้างหนึ่ง ของเพลาของมอเตอร์ที่ทำงานตามกัน (synchromotor) rotor ของมอเตอร์นี้ หมุนพร้อมกันกับ transmitter ของเข็มทิศไยโรเรือนเอก เข็มทิศไยโรย่อยนี้มีรูปลักษณะคล้ายคลึง ใกล้เคียงกับเข็มทิศแม่เหล็กมากแต่ทว่า อาจเอาเข็มทิศไยโรย่อยไปติดตั้งที่ใดก็ได้ ใช้ติดเข้ากับผนังเรือก็ได้ เช่นเดียวกันกับที่ติดในแนวนอนในที่ติดเข็มใบ้หรือในเรือนเข็มเหมือนกัน เข็มทิศไยโรย่อยมีอยู่หลายแบบด้วยกันแต่ละแบบก็เหมาะสำหรับประโยชน์ที่มุ่งหมายใช้

เข็มทิศไยโรย่อยโดยมากเป็นเข็ม ที่ทำงานตามกันโดยลำพัง (self-synchronous) ฉะนั้น เมื่อเข็มทิศไยโรย่อยเดินผิดไปจากเข็มทิศไยโรเรือนเอกเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขัดข้องชั่วคราวหรือเรือแกว่งหรือหมุนไปรอบ ๆ เมื่อเรือทอดสมอในเมื่อเข็มทิศไยโรเรือนเอกหยุดแล้ว เข็มทิศไยโรย่อยเหล่านี้จะชี้ตรงทิศเดียวกับ กับ transmiter เองโดยอัตโนมัติในเมื่อใช้ไฟฟ้า

ได้ตามปกติ ที่เข็มทิศไยโรย่อยส่วนมากมักติดเครื่องลดการแกว่งกวัด(damping device)ไว้เพื่อกันมิให้เข็มแกว่งกวัดเมื่อหัวเรือเปลี่ยนรวดเร็วเกินไป

เข็มทิศไยโรย่อยใช้เป็นเข็มทิศได้ ตราบเท่าที่ผู้ใช้พึงปรารถนา หน้าปัดของเข็มทิศไยโรย่อยทำด้วยวัสดุโปร่งแสง และขีดที่แบ่งไว้นั้นทาด้วยสีดำหรือสีอื่น หรือมิฉะนั้นก็ทำหน้าปัดด้วยวัสดุอับแสง(opague)แต่ขีดที่แบ่งไว้นั้นทำให้โปร่งแสงแล้วติดไฟฟ้าไว้ข้างใต้หน้าปัด

ในทางปฏิบัติไม่มีกฎเกณฑ์วางไว้ว่า เข็มทิศไยโรเรือนเอกหนึ่งเรือน ควรจะเดินเข็มทิศไยโรย่อยสักกี่เรือน

ตอนที่ 12

เดินเรืออีเล็กตรอนิก (Electronic Navigation)

กล่าวทั่วไป

การแจ้งข่าวสารทางวิทยุ วิทยุ นอกจากเป็นวิธีการสื่อสารทั่ว ๆ ไปแล้ว ยังจัดเป็นวิธีการที่ให้ได้รับข่าวสารจำเพาะอันเป็นประโยชน์ต่อชาวเรือ สิ่งสำคัญที่สุดจากทัศนะของการเดินเรืออันได้จากวิทยุน่าจะเป็นสัญญาณเทียบเวลาทางวิทยุ การรวบรวมและการกระจาย ข่าวอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งพายุหมุนในโซนร้อนแล้ว ก็ต้องอาศัยวิทยุเป็นเครื่องสื่อสารจึงจะสำเร็จ คำเตือนด่วนอันเกี่ยวกับการเดินเรือนั้น กรมอุทกศาสตร์อเมริกันได้กระจ่ายข่าวประจำทุกวัน ข่าวการแพทย์ก็ใช้รับส่งทางวิทยุเหมือนกัน ข่าวละเอียด คำแนะนำและกฎข้อบังคับ เกี่ยวกับการใช้เครื่องช่วยเหลือในการเดินเรือทางวิทยุได้ให้ไว้ใน **Radio Navigational Aids (H.O. 205** ของนาวีสหรัฐอเมริกา) และ **Radio Weather Aids (H.O. 206** ของนาวีสหรัฐอเมริกา) ซึ่งนักเดินเรือทุกคนควรจะได้พิจารณาไว้ให้ละเอียด ตำบลที่ของกระโจมวิทยุ **(Radio beacon)** ได้ให้ไว้ในทำเนียบไฟ **Lists of Lights (H.O.30** ถึง 35 ของนาวีสหรัฐอเมริกา)

แบริงวิทยุ (Radio Bearings)

เครื่องวิทยุหาทิศ(Radio direction finder) ใช้ติดตั้งได้ทั้งบนบก และในเรือ สถานีวิทยุหาทิศ**(Radio direction finder stations)**เป็นสถานีบนบกมีเครื่องสำเร็จ **(apparatus)**พิเศษสำหรับหาทิศของคลื่น (สัญญาณ) วิทยุที่ทางเรือส่งออกแล้วเข้ามายังสถานีบก สถานีบกเหล่านี้ใช้เรียกว่า สถานีวิทยุเข็มทิศ**(Radio Compass Stations)**ด้วยเหมือนกัน และใช้อักษรย่อในแผนที่เดินเรือด้วยอักษร **R.C.** หรือ **N.R.C. (Naval Radio Compass)** สถานีบกอาจวัดแบริงของคลื่นวิทยุใด ๆ ที่ส่งออกมาได้เท่าที่เครื่องของสถานีนั้นจะสามารถวัดได้ ทางเรืออาจใช้วิทยุเรียกสถานีบกสถานีเดียว (หรือหลายสถานี) ได้ และขอร้องให้สถานีนั้น วัดแบริงไว้แล้วรายงานให้ทางเรือทราบ

แบริงที่สถานีบก รายงานให้ทางเรือทราบนั้นเป็นแบริงจริงของเรือ จากสถานีใช้วัดเป็นองศาเวียนตามเข็มนาฬิกาหมุนจาก 000° (ทิศเหนือจริง) ถึง 360° และใช้นับจากฝั่งออกสู่ทะเล

สถานีวิทยุหาทิศบนบกต้องตรวจสอบ **(calibrate)** เครื่อง เพื่อแก้หาดิวิเอชั่นของสัญญาณที่ได้รับจากเรือ เสี้ยวของการตรวจสอบของสถานีวิทยุหาทิศเป็นขอบ **(arc)** โดยรอบสถานีซึ่งรู้ดิวิเอชั่นของแบริงวิทยุ เสี้ยวของการตรวจสอบใช้นับเวียนตามเข็มนาฬิกา หมุนจาก 000° (ทิศเหนือจริง) ถึง 360° ใช้นับจากฝั่งออกสู่ทะเล ให้พึงสังเกตว่า วิธีนับโดยหันหน้าออกทะเลนี้ เป็นวิธีตรงข้ามกับการนับเสี้ยวไฟในทำเนียบไฟ บรรดาแบริงซึ่งไม่เข้ามาอยู่ภายในเสี้ยวของ

การตรวจสอบ(sector of calibration)ของสถานีบกแล้วให้พึงพิจารณาว่ายังเชื่อไม่ได้

ก่อนที่สถานีบกจะรายงานแบริงไปยังเรือนั้น ทางสถานีบกจะต้องแก้แบริงเหล่านั้น ด้วยอัตราเคลื่อนคลาดทั้งหมดที่มีเสียก่อน เว้นแต่ผลต่างระหว่างทางวงใหญ่และเส้นเกลียว (การแปลงแบริงวงใหญ่กลับเป็นแบริงเมอเคเตอร์) (ดูหัวข้อ "แบริงวิทยุเป็นวงใหญ่" หน้า 547) เท่านั้นไม่ต้องแก้ แบริงเหล่านี้นับว่ามีความแม่นยำภายใน ± 2̊ สำหรับระยะทางต่ำกว่า 150 ไมล์ เว้นไว้แต่ว่ามีความเคลื่อนคลาดมากเหลือเกินซึ่งบอกไว้ด้วยคำต่อไปนี้ เช่น "สงสัย" (doubtful), "ใกล้เคียง"(approximate),"ชั้นที่สอง"(second class),ฯลฯ หรือคำหมายอันเหมือนกันซึ่งเป็นภาษาต่างประเทศ แบริงดังกล่าวแล้วนั้นตัดทิ้งได้เว้นไว้แต่จะได้เตือนถึงอันตราย ที่อาจมีขึ้นได้ และในกรณีที่ใช้แบริงนั้นแล้วควรจะต้องสงสัยไว้

เมื่อทางเรือได้รับแบริง ซึ่งคาดว่าจะเป็นแบริงกลับโดยใกล้เคียงของแบริง ที่แก้แล้วอย่าพยายามแก้แบริงเหล่านี้โดยใช้ 180 เข้าแก้เพราะการแก้ดังกล่าวนั้น ไม่เป็นการแก้ดิวิเอชั่นที่ถูกของสถานีวิทยุหาทิศ เมื่อความเคลื่อนคลาดมีมากถึง 30̊ ควรเอา 180̊ (กำหนดเอาเอง) เข้าแก้กับแบริงเหล่านั้น เมื่อทางเรือได้รับแบริงซึ่งสงสัยว่าจะต้องแก้โดยใกล้เคียงด้วย 180̊ แล้วควรถามแบริงกลับจากสถานีบกหรือถามแบริงอื่นอีก โดยมากสถานีบนบก มักทำงานเป็นหมู่ละ 3 สถานี แต่ละสถานีต่างวัดแบริงของเรือไว้แล้วส่งแบริงที่แต่ละสถานีวัดได้ให้ แต่ถ้าหากทางเรือขอร้องให้หาตำบบที่เป็นละติจูดและลองจิจูดให้แล้ว ทางสถานีหัวหน้าหมู่อาจบีดแบริง ที่แต่ละสถานีวัดได้ลงในแผนที่แล้วส่งที่เรือที่หาได้ไปให้เรือ สถานีวิทยุหาทิศไม่ใช่กระโจมวิทยุ

เครื่องวิทยุหาทิศในเรือ ตามปกติการรับวิทยุในทะเลรับได้ดีกว่าบนบก ฉะนั้น เมื่ออยู่ในทะเลจึงฟังสัญญาณได้ง่ายกว่าและได้ยินในระยะทางไกลกว่าบนบก หรือส่วนมากมีเครื่องวิทยุหาทิศติดไว้ในเรือมีประโยชน์สำหรับหาแบริงของเครื่องส่ง (ของเรือลำอื่น, ของสถานีบก, ของกระโจมและของเครื่องบิน) ตามที่เครื่องนั้น ๆ จะสามารถรับได้ (ต้องแล้วแต่ระยะทางและความถี่ของเครื่องรับ) แบริงที่ทางเรือวัดได้มานั้น ใช้ในทำนองเดียวกันกับการใช้เส้นตำบลที่อื่น ๆ เมื่อรู้ตำบลที่ของสายอากาศของสถานีส่ง เครื่องวิทยุหาทิศในเรือนั้นจะต้องตรวจสอบ(calibrate) แก้และระวังรักษาเช่นเดียวกับเครื่องวัดแดดและเข็มทิศ เครื่องวิทยุหาทิศ มีลักษณะซึ่งเหมือนกันกับเครื่องวัดแดดและเข็มทิศ คือ การอ่านทิศของแบริงมีความเคลื่อนคลาดบางประการ อันตรายอันเกิดจากการใช้แบริงที่อ่านผิดอาจมีน้อย ถ้าต้นหนใช้สติปัญญาและพิจารณาให้ดี

เครื่องวิทยุหาทิศนำเอาคุณสมบัติว่าด้วยทิศทางของสายอากาศรูปห่วง(loop antenna) มาใช้ ถ้าสายอากาศรูปห่วงดังกล่าวหันขนานกับทิศทางที่คลื่นวิทยุวิ่งไปแล้ว เสียงสัญญาณที่ได้รับจะดังที่สุด แต่ถ้าห่วงสายอากาศหันตั้งฉากกับทิศที่คลื่นวิทยุวิ่งแล้ว เสียงสัญญาณที่ได้รับจะเบาที่สุดหรือเบาจนหายหมดไป เมื่อเอาหน้าปัดซึ่งมีแผ่นเข็มทิศติดไว้ข้างใต้หน้าปัด ติดเข้ากับสายอากาศรูปห่วงที่กล่าวแล้วนั้นก็จะหาทิศของสายอากาศและทิศของเครื่องส่ง(transmitter)ได้ เข็มชี้จะบอกทิศของเครื่องส่งจากเครื่องรับ (receiver) เมื่อห่วงหันไปตั้งฉากกับทิศนี้ในเมื่อได้ยินเสียง

สัญญาณเบาที่สุด หรือไม่ได้ยินเสียงเลย การฟังเสียงโดยมากใช้สัญญาณเสียงเบา ดีกว่าสัญญาณเสียงดัง เพราะว่าเสียงเบาฟังสัญญาณได้ชัดเจนกว่ากัน

แผ่นเข็มทิศที่ติดไว้ข้างใต้หน้าปัดที่ติดเข้ากับสายอากาศรูปห่วงนั้น สำหรับบอกทิศ แผ่นเข็มทิศนี้แบ่งขีดจาก 000° ถึง 360° ขีด 000° ของแผ่นเข็มทิศอยู่ในแนวเดียวกัน กับทิศหัวเรือ ฉะนั้น แบริงที่อ่านโดยแผ่นเข็มทิศนี้ จึงเป็นแบริงสัมพัธคือแบริงที่เรือวัดได้เป็น แบริงสัมพัธ (สัมพัธกับทิศหัวเรือ) จากเรือไปยังสถานีส่งและเมื่อเอาทิศหัวเรือจริงบวกเข้ากับแบริงสัมพัธ ของเครื่องวิทยุหาทิศ (แบริงที่วัดได้) ก็จะได้ทิศจริงของแบริงวิทยุ (คือแบริงจริง) ทิศหัวเรือจริงที่จะเอาไปแก้นั้นจะต้องเป็นทิศหัวเรือขณะที่วัดแบริง ถ้ามิฉะนั้นแล้วจะมีความเคลื่อนคลาด เท่ากับจำนวนองศาที่เรือส่ายไปในคาบเวลาระหว่างที่วัดแบริงและอ่านเข็มทิศ ฉะนั้น ขณะที่วัดแบริงนั้นจะต้องอ่านทิศหัวเรือไว้ด้วย ในสมัยปัจจุบันนี้การติดตั้งเครื่องวิทยุหาทิศโดยมากใช้ติดตั้ง เครื่องวิทยุหาทิศไว้ข้างบนเข็มทิศไยโรย่อย เพื่อให้อ่านแบริงจริงได้ทันทีโดยตรงจากเข็มทิศไยโรย่อย เครื่องนี้จะติดตั้งไว้ในห้องวิทยุประจำเรือก็ได้ หรือวิธีดีที่สุดแล้วควรติดไว้บนสะพานเดินเรือ เพื่อต้นหนจะได้วัดแบริงได้เอง

การที่เรือจะวัดแบริงวิทยุได้แม่นยำเพียงใดนั้น ย่อมพึ่งพิงอยู่กับความสามารถ ของผู้ใช้เครื่อง ภาวะของเครื่องประจำเรือและความแม่นยำของเส้นโค้งการตรวจสอบของเรือ (ship's calibration curve) เป็นส่วนใหญ่ ต้นหนจะหารายละเอียดเหล่านี้ได้ด้วยการวัดแบริง วิทยุไว้บ่อย ๆ ในเมื่อรู้ตำบลที่อันถูกต้องของเรือหรือเมื่อเห็นสถานีส่งแล้ว ในกรณีเช่นนี้จะเปรียบเทียบหาผลของแบริงวิทยุและทัศนแบริง (visual bearings) ได้ทันที ควรจะได้พิจารณารายละเอียดของการตรวจสอบซึ่งได้อธิบายไว้ใน Radio Navigational Aids (H.O. 205 ของนาวีสหรัฐอเมริกา) ไว้ให้ละเอียด

ความแตกต่างในทางปฏิบัติระหว่างเครื่องวิทยุหาทิศบนบกและในเรือ ได้ทำไว้เป็นตารางดังต่อไปนี้

	บนฝั่ง	ในเรือ
แบริงที่วัดโดย	สถานีบก	เรือ
แบริงเป็น	จากฝั่งไปเรือ	จากเรือไปฝั่ง
แบริงบอกเป็นองศา	จริง	สัมพัธกับทิศหัวเรือในขณะที่วัดแบริง
การตรวจสอบและการแก้ดิวิเอชั่นภายหลังต่อมาโดย	สถานีบก	เรือ
ดิวิเอชั่นเกิดเนื่องจาก	เหตุหลายประการ	แบริงสัมพัธและความถี่วิทยุ (radio frequency (ความยาวของคลื่น))ของเครื่องส่ง
ความเคลื่อนคลาดที่อาจมีขึ้นหาได้โดย	สถานีบกและใช้กำกับด้วยคำเตือนที่เหมาะ	เจ้าหน้าที่ใช้เครื่องทางเรือจะต้องได้รับคำแนะนำให้รายงานเช่นเดียวกัน
การแก้การบิดตัวของแผนที่เมอเคเตอร์แก้โดย	เรือ	เรือ

กระโจมวิทยุ (Radio beacons) เป็นสถานีวิทยุที่ตั้งอยู่ที่ประภาคารหรือเรือทุ่นไฟหรือที่หนึ่งที่ใดที่รู้ตำบลที่สำหรับส่งสัญญาณวิทยุออกไปรอบทิศเพื่อเป็นเครื่องนำทางของชาวเรือ กระโจมวิทยุไม่ได้ส่งตำบลที่ให้ ต้นหนต้องคำนวณหาที่เรือของตนเอง จากสัญญาณที่กระโจมวิทยุส่งออกไป กระโจมวิทยุในแผนที่มีเครื่องหมายกำกับด้วยอักษร R Bn.

(ก) กระโจมวิทยุจำกัดทิศ (Directional radio beacons) เป็นกระโจมซึ่งส่งคลื่นวิทยุออกเป็น beams ในแบริงประจำบางทีก็เรียกว่า radio ranges กระโจมเหล่านี้ใช้สำหรับเป็นเครื่องนำทางให้แก่เครื่องบิน แต่ในสมัยปัจจุบันนี้ (พ.ศ. 2486) ไม่เหมาะสำหรับเรือบนผิวน้ำใช้ เนื่องจากใช้ beam ยื่นกว้างไป วิวัฒนาการของเครื่องวิทยุคลื่นสั้นส่งทิศ จะสามารถลดหรือแก้ข้อเสียอันนี้ได้ในอนาคตอันใกล้และเมื่อแก้สำเร็จแล้ว กระโจมวิทยุจำกัดทิศจะเป็นเครื่องช่วยเหลือในการเดินเรืออันใหญ่ยิ่งและใช้กันทั่วไปในเรือบนผิวน้ำ

(ข) กระโจมวิทยุหมุน (Rotating radio beacons) เป็นกระโจมซึ่ง beam (ลำ) ของคลื่นวิทยุหมุนรอบในแนวนอนในทำนองคล้ายคลึงกันกับลำ (beam) ของแสงไฟ ที่พุ่งแสงออกไปจากบางประภาคาร กระโจมวิทยุแบบนี้ขณะนี้ (พ.ศ. 2486) ยังอยู่ในขั้นทดลอง

(ค) กระโจมวิทยุรอบทิศ{Circular (non-directional) radio beacon} เป็นกระโจมที่ส่งคลื่นออกไปใช้แรงเอกรูป(uniform)โดยใกล้เคียงทั่วทุกทิศ ฉะนั้น เรือจึงวัดแบริง

ของกระโจมแบบนี้ได้โดยใช้เครื่องวิทยุหาทิศของเรือ กระโจมแบบนี้เป็นกระโจมแบบเดียว เท่านั้นที่เรือบนผิวน้ำใช้อยู่ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2486) กระโจมนี้แต่ละกระโจม มีสัญญาณลักษณะง่าย ๆ เป็นจุดและขีด สัญญาณชื่อกระโจมเหล่านี้ และความถี่ของสถานีได้ทำเป็นตารางให้ไว้ใน **Radio Aids** และ **Light Lists**

กระโจมวิทยุในสหรัฐอเมริกาปฏิบัติงาน ในเมื่อมีหมอกหรือทัศนวิสัยต่ำ และทั้งในเวลาอากาศโปร่งระหว่างเวลาที่ได้กำหนดเป็นตารางให้ไว้ใน **Light Lists** ด้วย กระโจมบางแห่งจะทำงานในเวลาอื่นในอากาศโปร่งด้วย เมื่อทางเรือขอร้องในการที่เรือนั้นจะตรวจสอบเครื่องวิทยุ หาทิศของตน การส่งคลื่นวิทยุเพื่อการตรวจสอบนั้นเป็นการส่งติดต่อเนื่อง นอกจากเงียบเพียงเวลา 2 นาที เว้นไว้แต่ว่าสถานีอื่นที่อยู่ในหมู่ความถี่อันเดียวกันกำลังทำงานในขณะนั้น ในระหว่างคาบพิกัดที่ได้กำหนดไว้สม่ำเสมอสำหรับส่งแล้วไม่มีการส่งติดต่อเนื่องเพื่อทำการตรวจสอบเลย

กระโจมวิทยุ ได้จัดตั้งไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของโลกหลายแห่งด้วยกัน รายการละเอียดเกี่ยวกับตำบลที่, ความถี่, สัญญาณ ชื่อกระโจม(**identifying signals**), เวลาส่ง ฯลฯ จะหาได้จาก **Radio Navigational Aids** (**H.O. 205** ของนาวีสหรัฐอเมริกา) นอกจากกระโจมวิทยุแล้ว สถานีวิทยุกระจายเสียง(**Redio broadcasting station**)ใด ๆ ก็ใช้ได้เหมือนกัน ถ้าสามารถได้ยินเสียงสัญญาณของสถานีนั้น ๆ ข้อสำคัญจำต้องรู้ชื่อสถานีให้ถูกต้อง และรู้ตำบลที่ตั้งอันถูกต้องของสายอากาศของสถานีนั้น จะต้องระมัดระวังให้มากถ้าใช้สถานีวิทยุกระจายเสียง - พาณิชย์มิใช่แต่เพียงให้รู้แน่ว่าตำบลที่ที่บอกไว้นั้น เป็นตำบลที่ของสายอากาศ (เครื่องส่ง) มิใช่เป็นห้องส่ง(**studio**)เท่านั้นแต่ให้รู้แน่ด้วยว่าสัญญาณที่ได้รับนั้น ไม่ใช่เป็นสัญญาณที่ถ่ายทอดเสียง(**rebroadcast**)จากสถานีอื่นอีกต่อหนึ่ง อนึ่งในการวัดแบริงวิทยุของกระโจมวิทยุนั้น ต้นหนหรือพนักงานวิทยุก็ดีอย่าพยายาม กะระยะทางที่เรืออยู่ห่างจากกระโจม โดยอาศัยความแรงหรือความเบาของเสียงสัญญาณที่ได้รับแต่ลำพังเท่านั้นเป็นเกณฑ์ เพราะเสียงที่ได้ยินดังหรือเบาก็ตามบางขณะอาจอยู่ไกลหรืออยู่ใกล้ก็ได้ วิธี "นำเรือตาม **beam** ของคลื่นวิทยุที่ส่งออกไป" - (**following the beam**) หรือใช้กระโจมวิทยุเป็นแนวดังเช่นที่ใช้อยู่ในการบินนั้น อาจเกิดอันตรายร้ายแรงได้เพราะเรืออาจแล่นชนกระโจมวิทยุทำให้เรืออับปางได้

สถานีวิทยุหาระยะทาง(Destance finding stations) กระโจมวิทยุบางแห่งส่งสัญญาณเสียง(**sound signal**) จะเป็นสัญญาณเสียงใต้น้ำหรือในอากาศหรือทั้งสองอย่าง ทำงานตามกัน (**synchronized**) กับสัญญาณวิทยุที่กระโจมวิทยุส่งออกไป เพื่อให้เรือหาระยะห่างจากกระโจมวิทยุได้ไปพร้อมกับหาแบริง คลื่นวิทยุ (**radio wave**) และคลื่นเสียง(**sound wave**) ไม่ได้วิ่งไปในอัตราเดียวกัน ถึงแม้ว่าสัญญาณวิทยุและสัญญาณเสียง(**radio and sound signal**) ที่ส่งออกไปพร้อมกันจะไม่ได้รับพร้อมกันก็ตามระยะทางของผู้ตรวจจากสถานีส่ง จะได้สัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลา ในระหว่างขณะที่ได้ยินเสียงชัดเจนหรือส่วนของลักษณะชื่อของสัญญาณวิทยุและที่ได้ยินส่วนของสัญญาณเสียงตามต่อมา สัญญาณที่ได้ยินชัดเจนใช้สำหรับบอกจุดที่ทำงาน พร้อมกัน

เช่นตัวอย่าง ถ้าส่งสัญญาณเสียงใต้น้ำไปพร้อมกันกับสัญญาณวิทยุจากกระโจมวิทยุ แล้วให้ผู้ตรวจคอยนับจำนวนวินาทีที่คั่นอยู่ในระหว่างเวลาที่ได้ยินเสียงชัดเจนของสัญญาณวิทยุ และสัญญาณเสียงที่ติดตามมา และใช้ตัวประกอบสำหรับคิดหาระยะทางเป็นไมล์ เครื่องรับวิทยุของเรือซึ่งต่อหูฟังขึ้นไปยังสะพานเดินเรือนั้นอาจใช้สำหรับสัญญาณวิทยุได้

ในการที่จะคำนวณหาระยะทางเป็นไมล์ทะเล ในกรณีที่ใช้สัญญาณเสียงใต้น้ำนั้น ให้คูณจำนวนวินาทีที่ตรวจได้ด้วย 0.8 หรือหารด้วย 1.25

และในกรณีที่ใช้สัญญาณเสียงในอากาศ ให้คูณจำนวนวินาทีด้วย 0.18 หรือหารด้วย 5.5

ผลที่ได้นี้จะถูกต้องภายในเขตบวกหรือลบ 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราเร็วของเสียงในอากาศหรือในน้ำก็ดีอยู่ภายใต้อิทธิพลของตัวประกอบที่แปรไปได้หลายประการ (อุณหภูมิ, ความกดดันของอากาศ, ความชื้น, **salinity** ฯลฯ) ไม่มีตัวประกอบใดจะให้ผลได้ถี่ถ้วน ไว้ได้ทุกภาวะ ตัวประกอบที่กำหนดให้ไว้ได้คิดคำนวณสำหรับภาวะเฉลี่ย

ต้นกำเนิดของทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณวิทยุนั้นตามปกติแล้วเหมือนกัน แต่การนี้หาได้เป็นเช่นว่าเสมอไปไม่ เมื่อสัญญาณทั้งสองอย่างต่างกัน (ดังกล่าวไว้ในหนังสือ **H.O. 205**) แล้วให้ขีดกะลงจากแหล่งกำเนิดของเสียง

ตัวอย่าง พนักงานวิทยุประจำเรือลำหนึ่งได้รับสัญญาณวิทยุจากเรือทุ่นไฟ **Boston** ครั้งต่อมาอีก 4.2 วินาที เขาได้ยินเสียงสัญญาณใต้น้ำบางส่วนที่ส่งพร้อมกับสัญญาณวิทยุ เรือลำนั้นอยู่ห่างจากเรือทุ่นไฟเท่าใด

วิธีทำ ระยะทาง = (4.2) × (0.8) = 3.36 ไมล์ คือเรือลำนั้นอยู่ห่างจากเรือทุ่นไฟ **Boston** ประมาณ 3.36 ไมล์

การตรวจสอบว่าระยะทางที่หาได้นี้จะถูกต้อง หรือไม่ สำหรับในกรณีเรือทุ่นไฟ **Boston** ก็ย่อมทำได้โดยให้คอยฟังเสียงสัญญาณในอากาศ (ถ้าสถานีนั้นไม่ส่งสัญญาณในอากาศก็ตรวจไม่ได้) ถ้าพนักงานวิทยุได้ยินเสียงสัญญาณในอากาศในเวลา 18.7 วินาที ต่อมาจากรับสัญญาณวิทยุแล้วเรือจะอยู่ห่างจากเรือทุ่นไฟ = (18.7) × (0.18) = 3.36 ไมล์ เมื่อขีดแบริงของทุ่นไฟที่หาได้ลงแล้วให้เอาระยะ 3.36 ไมล์ ไปกะลงบนเส้นแบริงโดยให้เรือทุ่นไฟเป็นศูนย์กลาง ก็จะได้ที่เรือ

ความเคลื่อนคลาด **(Errors)** การใช้เครื่องวิทยุหาทิศแบริงนั้น มีความเคลื่อนคลาดเกิดขึ้น จากแหล่งกำเนิดหลายประการพอจะสรุปได้คือ

ความเคลื่อนคลาดองค์บุคคล**(Personal error)**ความสามารถของเจ้าหน้าที่ ผู้ใช้เครื่องน่าจะเป็นตัวประกอบที่สำคัญที่สุด ในการที่จะอ่านทิศให้ได้แม่นยำ การฝึกไว้เสมอ ๆ เป็นสิ่งสำคัญที่จะลดความเคลื่อนคลาดอันเกิดจากแหล่งกำเนิดนี้ให้มีน้อยที่สุด

ความเคลื่อนคลาดการตรวจสอบ **(Calibration error)** เครื่องวิทยุหาทิศย่อมมี

ความเคลื่อนคลาดการตรวจสอบบางประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องวิทยุหาทิศ ที่ติดตั้งในเรือเหล็ก ซึ่งมีสายอากาศสำหรับใช้ในการอื่นและมีกระแสไฟฟ้า การตรวจสอบเครื่องวิทยุหาทิศ ทำได้โดยง่าย ในเมื่ออยู่ใกล้กระโจมวิทยุ คือให้วัดแบริงวิทยุและทัศนแบริงไปพร้อม ๆ กัน ในทิศหัวเรือต่าง ๆ ความเคลื่อนคลาดการตรวจสอบนี้แปรตามทิศหัวเรือ การตรวจสอบต้องคอยตรวจเสมอ ๆ ถ้าหากมีแบริงที่พอเชื่อถือสำหรับวัดได้ การตรวจสอบนี้เป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีการดัดแปลงตัวเรือหรือขนวัสดุแม่เหล็กขึ้นเรือ การวัดแบริงต้องกระทำในเมื่อสายอากาศสำหรับการอื่น ๆ และสิ่งประกอบตัวเรือที่เคลื่อนตัวได้ (หลักเดวิท, ปั้นจั่น ฯลฯ) อยู่ในภาวะเดียวกันกับเมื่อสิ่งเหล่านั้นหันอยู่ขณะเมื่อทำการตรวจสอบ

แบริงกลับ(**Reciprocal bearings**)เครื่องวิทยุหาทิศบางแบบ ไม่สามารถที่จะหาได้ว่าแบริงที่เข้ามานั้นเข้ามาทางด้านใด หลักฐานที่ดีที่สุดที่รู้กันแพร่หลายในประวัติศาสตร์ ของสหรัฐอเมริกาได้เกิดขึ้นใน ค.ศ. 1923 เมื่อเรือพิฆาตฯ เจ็ดลำอับปางลง เพราะเรือเหล่านั้นใช้แบริงกลับที่สถานีวิทยุเข็มทิศซึ่งอยู่ที่ **Point Conception** ที่ **California** ในครั้งกระโน้นวัดได้ ตามปกตินั้นสามารถบอกได้ว่าตำบลที่เรือรายงานจะใช้แบริงอันใด แต่ถ้าหากมีการสงสัยอย่างใดแล้วให้วัดแบริงหลาย ๆ อัน และพิจารณาดูทิศทางที่แบริงเปลี่ยนไป ควรเขียนสถานีไปทางท้ายเรือ ถ้าได้แบริงกลับจงอย่าพยายามแก้แบริงนั้นให้ถูก โดยการบวกหรือลบด้วย 180° อัตราแก้การตรวจสอบอาจจะไม่เท่ากัน ความเคลื่อนคลาดจากแหล่งกำเนิดนี้ อาจมีมากถึง 30°

ผลอันเกิดจากกลางคืน(**Night effect**)ในระหว่างกลางคืนและโดยเฉพาะอย่างยิ่งใกล้เวลา ดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตกนั้น บางทีจะไว้ใจ (เชื่อ) แบริงวิทยุได้น้อยกว่าระหว่างเวลากลางวัน ทั้งนี้จับเค้าได้โดยการแผ่ขยายและเลื่อนแบริ่งอันน้อย เมื่อความเคลื่อนคลาดนี้มีไม่มากนักก็ตัดทิ้งได้ แต่ถ้าวัดแบริงในเมื่อมีความเคลื่อนคลาดอันนี้อยู่ และจะให้ได้ผลแม่นยำที่สุด แล้วให้วัดแบริงไว้หลาย ๆ แบริงแล้วหาผลเฉลี่ย

ผลอันเกิดจากแผ่นดิน(**Land effect**)เมื่อสัญญาณวิทยุตัดข้ามแนวฝั่ง เป็นมุมเฉียง หรือถ้าผ่านข้ามเกาะ หรือแหลมที่เป็นภูเขาสูงแล้ว ทิศทางที่สัญญาณวิทยุวิ่งไป อาจโน้มงอไปเล็กน้อยในอาการคล้ายคลึงกับการหักเหของแสง (**refraction of light**) เมื่อวัดแบริงในภาวะเหล่านี้ให้พึงพิจารณาสงสัยในความแม่นยำไว้ก่อน

ความเคลื่อนคลาดในการขีดแบริง (**plotting errors**) นอกไปกว่าความเคลื่อนคลาดตามปกติอันเกี่ยวกับการขีดแบริงแล้วยังต้องระมัดระวังความเคลื่อนคลาดอันเกิดขึ้น จากแหล่งกำเนิดอีก 2 ประการ

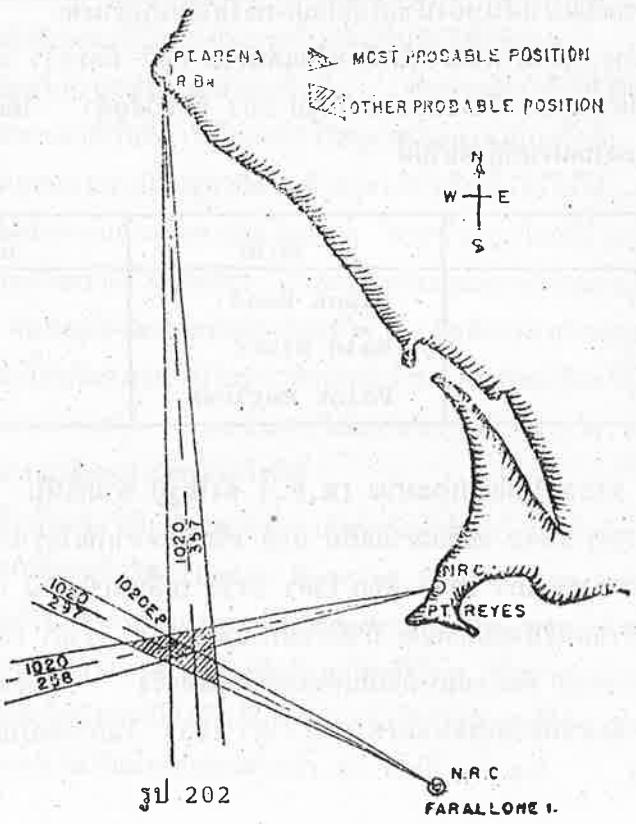
ประการแรก ให้ขีดแบริงจากตำบลที่ที่ถูกต้อง ถ้าทางเรือเป็นผู้วัดแบริงแล้ว ต้องขีดแบริงจากตำบลที่ของสายอากาศของเครื่องส่ง (**broadcasting antenna**) คือขีดแบริงจากตำบลที่ของเครื่องส่ง ถ้าสถานีวิทยุเข็มทิศเป็นผู้วัดแบริง ให้ขีดแบริงจากตำบลที่ของสายอากาศของเครื่องรับ (**receiving antenna**) ตำบลที่ดังได้กล่าวมานี้ไม่เหมือนกันเสมอไป หรือไม่เป็นตำบลที่เดียวกันกับกระโจมไฟที่มีชื่อเหมือนกันกับกระโจมวิทยุเสมอไป

ประการที่สอง คลื่นวิทยุวิ่งไปเป็นวงใหญ่และถ้าจะขีดแบริงวิทยุลงในแผนที่เมอเคเตอร์ แล้วต้องเอาอัตราแก้เข้ากระทำ เพื่อแปลงให้วงใหญ่กลับเป็นเส้นเกลียว ในระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับเสียก่อน

แบริงวิทยุ ใช้ขีดในทำนองเดียวกับเส้นตำบลที่อื่น ๆ แต่ต้องรู้รายการเกี่ยวกับภาวะของแบริงที่วัด และขอบเขตของความแม่นยำไว้เสมอ แบริงที่สถานีวิทยุหาทิศบนบก รายงานให้ทราบจะต้องขีดลงจากตำบลที่ภูมิศาสตร์ของสายอากาศสำหรับรับ (เครื่องรับ) ของสถานีบก ส่วนแบริงที่เรือวัดจากสถานีบกจะต้องขีดลงจากตำบลที่ภูมิศาสตร์ของสายอากาศสำหรับส่ง (เครื่องส่ง) ของสถานีบกตำบลที่ทั้งสองนี้ไม่เป็นตำบลเดียวกันเสมอไป

โดยที่แบริงวิทยุไม่แม่นยำสัมบูรณ์ทีเดียวนัก ฉะนั้น ในทางปฏิบัติจึงนิยมลากเส้นลงทั้งสองข้างของเส้นแบริงวิทยุ แต่ละแบริงคิดเป็นระยะทางเชิงมุมจากแบริงให้เท่ากับความเคลื่อนคลาดที่อาจมีได้ โดยประมาณโดยมากคิดให้ 2° ในกรณีที่ใช้แบริงวิทยุตัดกันหาที่เรือนั้น ตำบลที่เรือที่อาจเป็นได้มากที่สุดอยู่ในพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยเส้นนอกแบริงเหล่านี้

รูป 202 แสดงการขีดเส้นแบริงโดยวิธีนี้ เวลา 1020 เรือลำหนึ่ง ได้ถามแบริงวิทยุจากสถานีวิทยุเข็มทิศ ที่ **Pt. Reyes** และเกาะ **Farallone** และในขณะเดียวกันนั้นทางเรือนั้นได้ใช้เครื่องวิทยุหาทิศในเรือวัดแบริงกระโจมวิทยุ **Pt. Arena** ด้วย แบริงที่แก้แล้วที่ต้นหนใช้หาที่เรือคือ **Pt. Arena** -375° **Pr. Reyes** -258° เกาะ **Farallone** -297°



รูป 202

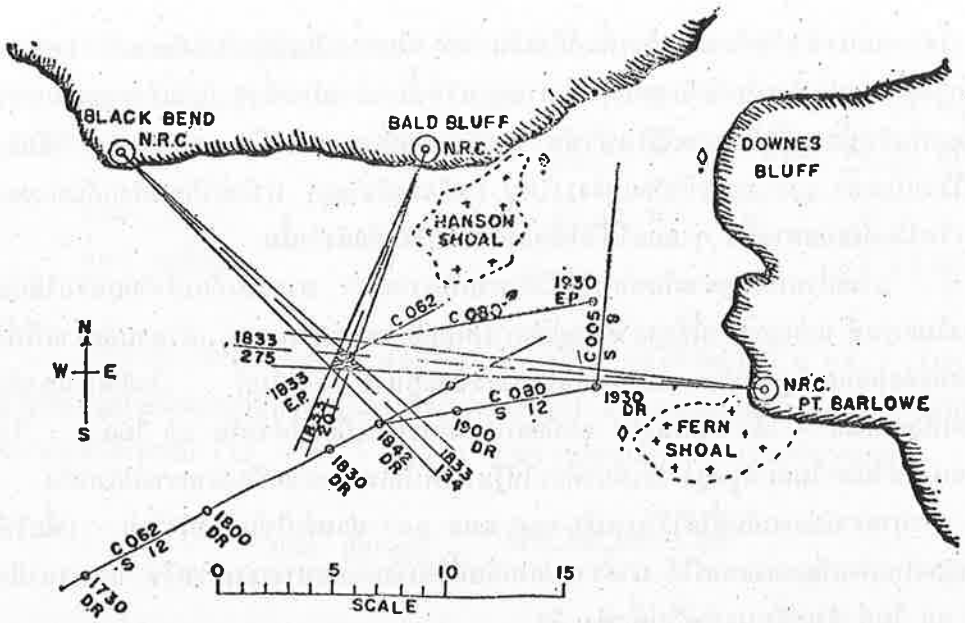
ได้สมมุติให้แบริงทุกแบริงมีความแม่นยำภายใน ± ฉะนั้น เมื่อขีดแบริงลงแล้วให้ลากเส้นมี ระยะทางเชิงมุม ± จากทั้งสองข้างของแต่ละเส้นแบริงทั้ง 3 แบริงลง พื้นที่รูปสามเหลี่ยมเล็ก (พื้นที่แรเงาหนา) เป็นตำบลที่เรือที่อาจเป็นได้มากที่สุดเมื่อเวลา 1020 โดยที่อาจเป็นไปได้ว่า แบริงหนึ่งแบริงใดอาจเคลื่อนคลาดได้มากกว่า ± ฉะนั้น พื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (พื้นที่แรเงาเบา ๆ) จะเป็นตำบลที่เรือที่อาจเป็นได้อีกตำบลหนึ่ง ถ้ารู้ว่าแบริงหนึ่งแบริงใดมีความแม่นยำน้อยที่สุดที่เป็นได้แล้ว ให้เอาเส้นข้างนอกทั้งสองเส้นของแบริงนี้ออกเสียให้เท่ากับจำนวนองศาของความเคลื่อนคลาดโดยประมาณ และพื้นที่อันเดียวหรือหลายพื้นที่ที่บางส่วนคลุมด้วยเส้นเหล่านี้จะเชื่อถือได้น้อยกว่าพื้นที่อื่น ๆ ถ้าวัดแบริงไว้เพียง 2 แบริงเท่านั้นที่เรือจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ศูนย์กลางของรูปจะเป็นที่เรือประมาณ

ถ้าแม้ว่าจะขีดแบริงวิทยุเป็นแบริงเข็มไขว้และขีดเป็นแบริง สถานีเดียวสองครั้งในเวลาต่างกันได้ ในทำนองเดียวกับเส้นตำบลที่อื่น ๆ ก็ตามตำบลที่เรือที่ได้ โดยแบริงวิทยุก็ถือว่าเป็นที่เรือประมาณ (estimated positions) และใช้กำกับด้วยอักษร "E.P." โดยที่ที่เรือประมาณ (E.P.) ไม่เป็นที่เรือที่หาได้ดีที่สุด ฉะนั้นจึงไม่ใช้ขีดเข็มแนวทางเรือรายงาน(D.R. courseline) จากตำบลที่เรือแบริงวิทยุ(radio bearing position)ในทางปฏิบัติเมื่อขีดแบริงวิทยุ และหาที่เรือประมาณได้แล้ว ให้เอาตำบลที่นี้ไปจดลงในแผนที่เช่นเดียวกับที่เรือรายงาน เพื่อพิจารณาว่าเข็มที่เรือแล่นไปนั้นปลอดอันตรายทั้งปวงแล้ว ถ้าใช้ที่เรือประมาณ (E.P.) โดยแบริงวิทยุหลาย ๆ แห่งเป็นอนุกรมควบกับแนวเส้นหยั่งน้ำแล้วก็ย่อมลงที่เรือได้แม่นยำมาก

ตัวอย่าง เรือลำหนึ่งเข้าใกล้ท่าเรือแล่นเข็ม 062° อัตราเร็ว 12 นอต ได้จดที่เรือรายงานลงตั้งแต่เวลา 1730 ถึง 1900 ดังในรูป 203 ทัศนวิสัยต่ำ ได้ถามแบริงวิทยุหาทิศและได้รับรายงานและลงในแผนที่ดังต่อไปนี้

เวลา	สถานี	แบริงที่แก้แล้ว
1833	Black Bend	134°
1833	Bald Bluff	201
1833	Point Barlows	275

เวลา 1833 ได้ที่เรือประมาณ (E.P.) ดังในรูป ตามที่เห็น จะต้องเปลี่ยนเข็มหลีก Hanson Shoal เวลา 1842 เปลี่ยนเข็มเป็น 080° เข็มนี้ขีดจากที่เรือรายงาน (D.R.) เวลา 842 แล้วลบที่เรือรายงานเวลา 1900 ออก เวลา 1930 เปลี่ยนเข็มเป็น 005° ตามในรูปนั้น จะเห็นได้ว่าการกระทำของเรือจะปลอดภัย ถ้าที่เรือประมาณ (E.P.) เวลา 1833 หรือที่เรือรายงาน (D.R.) เวลา 1833 อันใดอันหนึ่งเป็นตำบลที่เรือที่แท้จริง พึงสังเกตดูด้วยว่าแนวทางเรือรายงานนั้นไม่ได้ ขีดจากที่เรือประมาณ (E.P.) เวลา 1833 ในกาลต่อไปถ้าความเชื่อถือในแบริง



รูป 203

วิทยุได้ทวีขึ้นแล้ว วิธีปฏิบัติดังปรากฏในรูป คงจะได้เปลี่ยนไปตามควร และเมื่อเป็นเช่นนั้นแล้ว ที่เรือที่ได้โดยแบริงวิทยุก็จะมีค่าเท่ากันกับที่เรือที่หาได้โดยทัศนแบริง อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันนี้ (พ.ศ. 2486) วิธีกระทำดังแสดงไว้ในรูปข้างบนนั้นเป็นวิธีปฏิบัติที่ดีที่สุด

การใช้แบริงวิทยุในการแล่นเรือเข้าหาฝั่งนั้น ต้นหนต้องใช้แบริงวิทยุควบกับแนวเส้นหยั่งน้ำไปด้วย (คือให้พิจารณาที่เรือที่หาได้โดยแบริงวิทยุควบกับแนวเส้นหยั่งน้ำ เพราะว่าความเคลื่อนคลาดในการตรวจสอบของสถานีวิทยุหาทิศ ซึ่งอยู่ตรงหัวเรือนั้นใช้ไม่ได้ ต้นหนหลายคนมีความเห็นว่า ทางปฏิบัติที่ดีนั้นควรแล่นเข้าหาประโจมวิทยุ วิทยุเช่นกระโจมที่ตั้งอยู่บนเรือทุ่นไฟด้วยแบริง สัมพัธ 000° หรือแล่นตรงเข้าหาทีเดียว และตรวจสอบแนวทางที่เรือแล่นไปด้วยการหยั่งน้ำจากเครื่องจักรหยั่งน้ำ ต้นหนต้องวิเคราะห์แบริงวิทยุที่ได้ เพื่อพิจารณากับระยะทางที่เรือแล่นในระหว่างแบริงที่ได้รับติดต่อเนื่องกันจากสถานีวิทยุหาทิศบนบกว่าจะเหมาะสมกันหรือไม่ โดยที่ตามปกตินั้นแบริงวิทยุใช้ในเวลาอากาศทึบ ฉะนั้นการใช้แบริงวิทยุจึงจำต้องทวีความระมัดระวังยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามควรจะได้พิจารณาถึงแบริงวิทยุของไฟได้

ในการหาที่เรือนั้นอาจใช้แบริงวิทยุหนึ่งแบริงตัดกับทัศนแบริงของไฟได้

มาตราแปลงกลับแบริงวิทยุ (Radio Bearing Conversion Table)

การแก้การบิดตัวของแผนที่เมอเคเตอร์ (Correction for Mercator distortion) เนื่องจากว่าคลื่นวิทยุวิ่งไปตามทางวงใหญ่ ฉะนั้นจึงต้องแก้แบริงวิทยุ เพื่อหาผลต่างระหว่างเข็มแรกของเข็มทางวงใหญ่ จากผู้รับไปยังสถานีส่งกับเส้นเกลียวจากผู้รับไปยังสถานีส่ง ก่อนที่จะขีดแบริงวิทยุลงในแผนที่ เมอเคเตอร์เว้นไว้แต่ระยะทางต่ำกว่า 50 ไมล์ก็ไม่ต้องแก้ การแก้การบิดตัว

ดังกล่าวนี้ต้นหนประจำเรือต้องเป็นฝ่ายที่แก้ถึงแม้นว่าสถานีบกจะเป็นผู้วัดแบริงก็ตามที เพราะทางสถานีบกไม่รู้ระยะทางโดยใกล้เคียงของเรือ ส่วนทางเรือนั้นอย่างน้อยที่สุด ก็รู้ที่เรือรายงานของตน การที่เกี่ยวพันอันนี้ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ "ทิศในแผนที่เมอเคเตอร์" หน้า ได้อธิบายให้เห็นไว้ว่าเมื่อเอา 180° บวกเข้ากับแบริงวงใหญ่ (หรือแบริงวิทยุ) หาใช่เป็นแบริงกลับของแบริงนั้นไม่ เว้นไว้แต่ระยะทางสั้น ๆ และไม่ให้ขีดลงเป็นแบริงกลับดังว่านั้น

บางทีกำหนดกฎตามใจชอบให้ไว้สำหรับพิจารณาว่า ควรจะแก้แบริงวิทยุหรือไม่ก่อนที่จะขีดลงในแผนที่ แต่กฎเหล่านี้ต้องอาศัยอยู่กับการสมมุติบางประการเสมอ จำนวนอัตราแก้พึ่งพิงอยู่กับละติจูดและลองจิจูดเปลี่ยน แบริงจากเครื่องส่งซึ่งอยู่ห่าง 200 ไมล์ ใกล้อิเควเตอร์หรืออยู่ในทิศเกือบเหนือ - ใต้จากเครื่องรับ จะมีอัตราแก้น้อยกว่าเมื่ออยู่ห่างกัน 25 ไมล์ ในทิศตะวันออก-ตะวันตกในละติจูดสูง วิธีเดียวที่จะให้รู้แน่ให้เปิดหาอัตราแก้ในมาตราแปลงกลับ

มาตราแปลงกลับที่ให้ไว้ในหน้า 666 และ 667 สำหรับใช้แก้แบริงวิทยุ เพื่อให้ขีดแบริงวิทยุลงในแผนที่เมอเคเตอร์ได้ มาตราแปลงกลับนี้ใช้เมื่อระยะทางระหว่างเรือ และสถานีห่างกันเกิน 50 ไมล์ ตัวเปลี่ยนแปรที่ไม่พึ่งพิง คือ

(ก) ละติจูดกลาง **(Lm)** ระหว่างตำบลที่ของสถานีบกและที่เรือประมาณ (หรือที่เรือรายงาน) ของเรือ

(ข) ลองจิจูดเปลี่ยน **(DLo)** ระหว่างสถานีบกและที่เรือประมาณ (หรือที่เรือรายงาน) ของเรือ

ถ้าตำบลที่ที่ใช้เปิดมาตรานั้น แตกต่างกับตำบลที่ที่หาได้โดยการขีดแบริงครั้งแรก มากแล้ว ให้ใช้ตำบลที่ใหม่เปิดมาตราอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้อัตราแก้ที่ถูกที่เหมาะ

ถ้าสถานีบกเป็นผู้วัดแบริงวิทยุแล้วรายงานไปให้เรือ (คือทางเรือส่งสัญญาณวิทยุออกไปแล้วให้สถานีบกเป็นผู้วัดแบริง) เครื่องหมายของอัตราแก้ที่เรือใช้มีดังนี้

ในละติจูดเหนือเมื่อเรืออยู่ $\frac{\text{ทางตะวันออก}}{\text{ทางตะวันตก}}$ ของสถานี อัตราแก้เป็น $\frac{\text{บวก}}{\text{ลบ}}$

ในละติจูดใต้เมื่อเรืออยู่ $\frac{\text{ทางตะวันออก}}{\text{ทางตะวันตก}}$ ของสถานี อัตราแก้เป็น $\frac{\text{บวก}}{\text{ลบ}}$

ถ้าฝ่ายเรือเป็นผู้วัดแบริง (คือสถานีบกส่งสัญญาณวิทยุออกไปแล้ว ให้เรือวัดแบริงเอา) แล้วเครื่องหมายของอัตราแก้ที่ให้ไว้ข้างบนนั้นก็กลับตรงกันข้าม มาตราแปลงกลับใช้แก้แบริงสำหรับหาผลต่างระหว่างทางวงใหญ่และทางเส้นเกลียวเท่านั้น และหาได้มีความสัมพันธ์ใด ๆ ต่อความเคลื่อนคลาด อันเกี่ยวกับดิวิเอชั่นดังที่ให้ไว้ในเส้นโค้งหรือมาตราการตรวจสอบ **(calibration curve or table)** ไม่

ตัวอย่าง 1. เรือลำหนึ่งที่เรือรายงานละติจูด 38° 03′ น. ลองจิจูด 56° 00′ ตก. ได้รับแบริงวิทยุที่สถานี **Bar Harbor** (แลต. 44° 19′ น. ลอง. 68° 11′ ตก.) รายงานให้ 118° (คือทางเรือเป็นผู้ส่งสัญญาณวิทยุออกไปแล้วสถานีบกวัดได้และรายงานให้ทราบ)

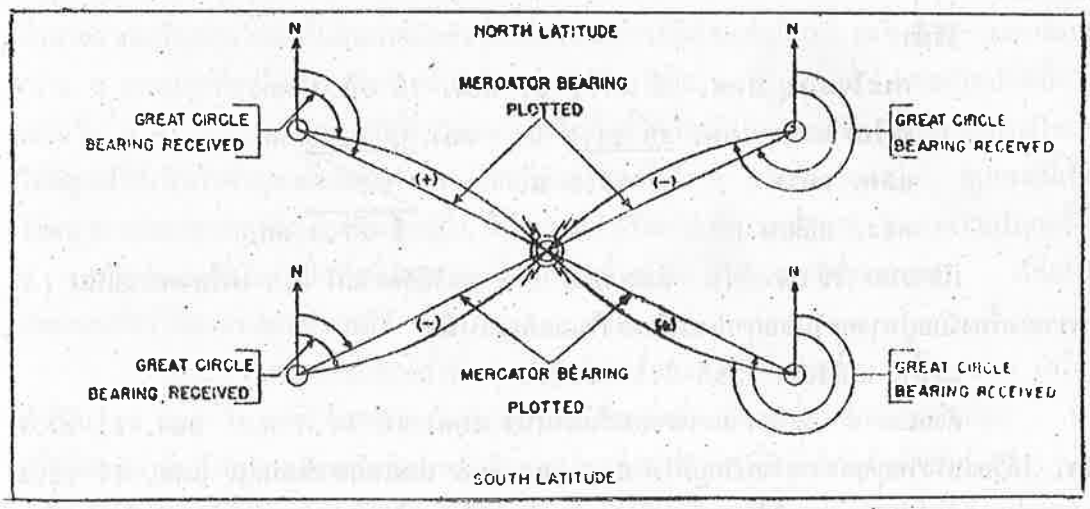
วิธีหาแบริงเมอเคเตอร์

Bar Harbor	แลต. 44̊ 19̍ น.	ลอง. 68̊ 11̍ ตก.
ที่เรือรายงาน	แลต. 38̊ 03̍ น.	ลอง. 56 00 ตก.
แลต. กลาง	41̊ 11̍ น.	
ลอง. เปลี่ยน		12̊ 11̍ ตก.

เปิดมาตราโดยใช้ **Lm** 41̊ และ **DLo** 12̊.2 จะได้อัตราแก้ = +4̊.1 (เพราะว่าเรืออยู่ในละติจูดเหนือและอยู่ทางตะวันออกของสถานีบก) แบริงเมอเคเตอร์ เท่ากับแบริงวิทยุบวกอัตราแก้หรือเท่ากับ 118̊ + 41 = 122̊.1 มาตราแปลงกลับใช้คำนวณมาจากสูตร

$$\tan \text{อัตราแก้} = \frac{\tan DL \cdot \sin Lm}{2}$$

กฎที่ให้ไว้ข้างต้นสำหรับใช้หาเครื่องหมายของอัตราแก้ (เรียกกันว่ามุมแปลงกลับ **(conversion angle)** ด้วยเหมือนกัน) นั้นอาจจำได้ยากจึงไม่ควรจำกฎไว้ การหาเครื่องหมายไม่ยากอย่างใดถ้าหากจะระลึกไว้ว่าทิศของวงใหญ่อยู่ใกล้ขั้วโลก มากกว่าทิศเมอเคเตอร์เสมอ ฉะนั้นเพื่อทำให้ได้โดยเร็วควรใช้แผนภาพง่าย ๆ ดังในรูป 204 การนี้ไม่จำเป็นที่จะต้อง เขียนแผนภาพลงจริง ๆ ใช้คิดเอาในใจก็พอแล้ว รูป 204 นั้นแสดงให้เห็นฐานะที่อาจเป็นได้ 4 ประการ สิ่งสำคัญที่ควรจำคือ เครื่องหมายต้องพึ่งพิงอยู่กับตำบลที่สัมพัธของเครื่องรับ **(receiver)** และเครื่องส่ง**(transmitter)** โดยไม่ต้องคำนึงถึงว่าเครื่องใดเป็นเรือเลย



รูป 204

แผนภาพสำหรับหาเครื่องหมายของมุมแปลงกลับ

จงจำไว้ว่าในแผนที่เมอเคเตอร์นั้นขอบวงใหญ่ (แบริงวิทยุ) ระหว่างที่สองแห่งโค้งเข้าหาขั้วโลกที่อยู่ใกล้ ส่วนแบริงเมอเคเตอร์เป็นเส้นตรง ฉะนั้น จึงจำเป็นเพียงแต่ดูให้แน่ตามรูปดังที่แสดงให้เห็นเท่านั้นและเอาอัตราแก้ทำกับแบริงวิทยุที่ให้ไว้ไปในทิศ (+ หรือ -) ที่กำหนดไว้ การเกี่ยวเนื่องนี้ได้อ้างไว้ในหัวข้อ "ทางวงใหญ่ในแผนที่เมอเคเตอร์" หน้า 468

ตัวอย่าง 2 เรือลำหนึ่งที่เรือประมาณอยู่ใน แลต. 33° 30′ น. ลอง. 65° 00′ ตก. วัดแบริงวิทยุของสถานีวิทยุหาทิศ **Bethany Beach** ในแลต. 38° 32′ น. ลอง. 75° 03′ ตก. ได้ 305° (คือสถานีบกเป็นผู้ส่งสัญญาณวิทยุออกไปแล้วทางเรือวัดแบริงเอาเอง) ให้หาแบริงเมอเคเตอร์ของสถานี

คำตอบ (ดูรูป 204) หาอัตราแก้ที่จะเอาไปทำกับแบริงวิทยุ เอา **Lm** = 31° น.และ **CL o** = 10° ไปเปิดในมาตราจะได้อัตราแก้ = 2°.9 แล้วเอาไปแก้กับแบริงวิทยุที่วัดได้ โดยที่แบริงวงใหญ่อยู่ทางเหนือของแบริงเมอเคเตอร์ ฉะนั้น แบริงวิทยุจึงใหญ่กว่า (มากกว่า) แบริงเมอเคเตอร์ เพราะฉะนั้นอัตราแก้เป็น (-) และแบริงเมอเคเตอร์=305°-2°.9=302°.1

ในตัวอย่าง 2 นี้ ถ้ากลับกันเสียคือให้ทางสถานีบก วัดแบริงวิทยุของเรือ ที่เรือส่งออกไปแล้วทางสถานี จะส่งแบริงที่วัดแต่ไม่ได้แก้ไว้ของเรือจากสถานีให้ ให้ต้นหนหาอัตราแก้จากมาตราแล้วเอาแก้เข้ากับแบริงวิทยุจึงจะได้แบริงเมอเคเตอร์ ตามรูป 204 สำหรับกรณีนี้ อัตราแก้เป็นบวก (+) กับแบริงวิทยุเพราะมันน้อยกว่า (เล็กกว่า) แบริงเมอเคเตอร์

ตัวอย่าง 3 ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่ง แลต. 38° 14′.7 น. ลอง. 73° 32′.8 ตก. ได้วัดแบริงวิทยุของกระโจมวิทยุบนเรือทุ่นไฟ **Overfalls** แลต. 38° 47′.1 น. ลอง. 75° 00′.7 ตก. ได้ 295° (คือกระโจมบนเรือส่งสัญญาณวิทยุออกไปแล้ว ทางเรือวัดแบริงเอาเอง) หาแบริงจริง

วิธีทำ

กระโจมวิทยุ แลต. 38° 47′.1 น. ลอง. 75° 00′.7 ตก.

ที่เรือรายงาน แลต. 38 14.7 น. ลอง. 73 32.8 ตก.

แลต. กลาง 38° 30′.9 น.

ลอง. เปลี่ยน 1° 27′.9 ตก.

เปิดมาตราใช้ **Lm** 38°.5 และ **DLo** 1°.5 จะได้อัตราแก้ 0°.5 เครื่องหมายเป็น (-) เพราะเครื่องรับอยู่ทางตะวันออกของเครื่องส่งในละติจูดเหนือ

ฉะนั้น แบริงจริง =295°-0°.5 =294°.5

ตัวอย่าง 4 ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่ง แลต. 46° 47′.7 ต. ลอง. 61° 27′.7 ตก. ได้วัดแบริงวิทยุของกระโจมวิทยุที่ไฟ **Cape Blanco** ประเทศอาร์เจนตินา แลต. 47° 12′.2 ต. ลอง. 65° 44′.6 ตก. ได้ 262° (คือกระโจมวิทยุที่ไฟ **Cape Blanco** ส่งสัญญาณวิทยุออกไปแล้วทางเรือวัดแบริงเอาเอง) หาแบริงจริง

วิธีทำ

กระโจมวิทยุ แลต. 4° 12'.2 ต. ลอง 65° 44'.6 ตก.

ที่เรือรายงาน แลต. 49 47.7 ต. ลอง. 61 27.7 ตก.

แลต. กลาง 47° 00'.0 ต.

ลอง. เปลี่ยน 4° 16'.9 ตก.

เปิดมาตราใช้ Lm 47°.0 และ DLo 4°.3 จะได้อัตราแก้ 1°.6 เครื่องหมายเป็น (+) เพราะเครื่องรับอยู่ทางตะวันออกของเครื่องส่งในละติจูดใต้ ฉะนั้น แบริงจริง =262°+1°.6 = 263°.6

สรุป วงใหญ่โค้งออกทางเมอเคเตอร์เข้าหาขั้วโลก อัตราแก้แบริงวิทยุที่หาได้ให้ทำกับแบริงที่ทางเรือวัดได้

อัตราแก้ดังให้ไว้ในมาตรานั้นจะใช้คำนวณจากสูตร : มุม แปลงกลับ $=\frac{1}{2}$ DLo sin Lm ก็ได้ หรือจะใช้เขียนรูปหาโดยมุมแปลงกลับอังอธิบายไว้ในหัวข้อ "มุมแปลงกลับ" หน้า 528 ก็ได้

เรดาร์ (Radar)

วิวัฒนาการ หลักมูลฐานของเรดาร์ (radar ได้ชื่อมาจากอักษรตัวแรกของ radio detection and ranging = การจับเค้าวิทยุและกะระยะทาง) มิใช่เป็นของใหม่ ในราว ค.ศ. 1886 ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าคลื่นวิทยุนั้นสะท้อนจากผิวพื้นแข็ง ครั้น ค.ศ. 1922 การวิจัยจริงจังในวิวัฒนาการของเรดาร์ ในสหรัฐอเมริกาจึงได้เริ่มขึ้นเมื่อได้ค้นพบว่า สัญญาณที่ทดสอบใช้สื่อสารจากเครื่องบินไปยังพื้นดินเกิดบิดตัวขึ้นเนื่องจากการที่มีเรือแล่นในบริเวณใกล้ ๆ เรดาร์แบบคร่าว ๆ แบบแรกที่สุดได้ทำเสร็จสำหรับใช้ทดสอบได้ในเรือใน ค.ศ. 1937 และทำแบบดีขึ้นได้เสร็จใน ค.ศ. 1939 ต่อจากปีนี้ไปวิวัฒนาการในสิ่งนี้ได้เป็นไปโดยรวดเร็ว และอุปกรณ์ใหม่นี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าตัวของมันมีคุณค่ามาก โดยที่พิจารณากันทั่ว ๆ ไปแล้ว ถือว่า อุปกรณ์นี้เป็นวิวัฒนาการวิทยาศาสตร์สิ่งเดียวอันใหญ่ยิ่ง ที่นำความสำเร็จมาสู่สหประชาชาติ ในสงครามโลกครั้งที่ 2 ระเบิดปรมาณูที่นับว่าเป็นสิ่งที่น่าดูมากกว่านั้นเกิดขึ้นช้าไป ในสงครามที่จะนับว่า เป็นส่วนประกอบที่ทำให้สงครามเด็ดขาดได้

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้ผลิตเครื่องเรดาร์ได้มากกว่า 50,000 เครื่อง ทำเป็น 64 แบบ ในระหว่างสงครามถือว่าเรดาร์เป็นสิ่งหนึ่งที่จะต้องรักษาเป็นความลับที่สุด แต่เมื่อมีสันติภาพแล้วก็ปลดปล่อยสิ่งช่วยเหลือในการเดินเรืออันสำคัญนี้ไปให้แก่เรือค้าขาย และเครื่องบินใช้เรดาร์มีหลายแบบด้วยกัน มีลักษณะแตกต่างกันตามความมุ่งหมายที่จะใช้ อันมีอยู่หลายประการสำหรับอุปกรณ์นี้ ครั้นเมื่อสงครามได้สิ้นสุดลงแล้ว วิวัฒนาการของเรดาร์ ก็ได้หันมารวมโฉมหน้า ในอันที่จะทำให้เรดาร์มีคุณค่าในการช่วยเหลือให้ความปลอดภัยในเวลาสันติภาพต่อไป

อัตราแก้ที่ใช้ทำกับแบริงวิทยุ

Difference of longitude

Mid. lat.	1°	1.5°	2°	2.5°	3°	3.5°	4°	4.5°	5°	5.5°	6°	6.5°	7°	7.5°	Mid. lat.
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
4				0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	4
5	0.1	0.1	0.1	.1	.1	.2	.2	.2	.2	.2	.3	.3	.3	.3	5
6	.1	.1	.1	.1	.2	.2	.2	.2	.3	.3	.3	.3	.4	.4	6
7	.1	.1	.1	.2	.2	.2	.3	.3	.3	.3	.4	.4	.4	.5	7
8	.1	.1	.1	.2	.2	.2	.3	.3	.4	.4	.4	.5	.5	.5	8
9	.1	.1	.1	.2	.2	.2	.3	.3	.4	.4	.5	.5	.6	.6	9
10	.1	.1	.1	.2	.2	.3	.4	.4	4	.5	.5	.6	.6	.6	10
11	.1	.1	.2	.2	.3	.3	.4	.4	.5	.5	.6	.6	.7	.7	11
12	.1	.1	.2	.3	.3	.4	.4	.5	.5	.6	.6	.7	.7	.8	12
13	.1	.2	.2	.3	.3	.4	.4	.5	.6	.6	.7	.7	.8	.8	13
14	.1	.2	.2	.3	.4	.4	.5	.6	.6	.7	.7	.8	.8	.9	14
15	.1	.2	.3	.3	.4	.4	.5	.6	.6	.7	.8	.8	.9	1.0	15
16	.1	.2	.3	.4	.4	.5	.6	.6	.7	.8	.8	.9	1.0	1.0	16
17	.2	.2	.3	.4	.4	.5	.6	.6	.7	.8	.9	1.0	1.0	1.1	17
18	.2	.2	.3	.4	.5	.5	.6	.7	.8	.8	.9	1.0	1.1	1.2	18
19	.2	.2	.3	.4	.5	.6	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.1	1.2	19
20	.2	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.3	20
21	.2	.3	.4	.5	.5	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.4	21
22	.2	.3	.4	.5	.6	.6	.8	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	22
23	.2	.3	.4	.6	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	23
24	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	24
25	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	25
26	.2	.3	.4	.6	.6	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	26
27	.2	.3	.4	.6	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	27
28	.2	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	28
29	.2	.4	.5	.6	.7	.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	29
30	.2	.4	.5	.6	.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	30
31	.2	.4	.5	.6	.8	.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	31
32	.3	.4	.5	.7	.8	.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	32
33	.3	.4	.6	.7	.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	33
34	.3	.4	.6	.7	.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1	34
35	.3	.4	.6	.7	.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	35
36	.3	.4	.6	.7	.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	36
37	.3	.4	.6	.8	.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	37
38	.3	.5	.6	.8	.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.3	38
39	.3	.5	.6	.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	39
40	.3	.5	.6	.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	40
41	.3	.5	.6	.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	2.5	41
42	.3	.5	.7	.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	42
43	.3	.5	.7	.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	43
44	.4	.5	.7	.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	44
45	.4	.5	.7	.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	45
46	.4	.5	.7	.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	46
47	.4	.6	.7	.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	47
48	.4	.6	.8	.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	48
49	.4	.6	.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.6	2.8	49
50	.4	.6	.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	50
51	.4	.6	.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	51
52	.4	.6	.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	52
53	.4	.6	.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	53
54	.4	.6	.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	54
55	.4	.6	.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1	55
56	.4	.6	.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	56
57	.4	.6	.8	1.1	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	57
58	.4	.6	.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	3.0	3.2	58
59	.4	.6	.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	59
60	.4	.6	.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	60
61	.4	.7	.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	61
62	.4	.7	.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	62

อย่าเอามาตรานี้ปะปนกับมาตรา calibration

เพื่อแปลงกลับเป็นแรงเมอเคเตอร์

Difference of longitude

Mid. lat.	8°	8.5°	9°	9.5°	10°	10.5°	11°	11.5°	12°	12.5°	13°	13.5°	14°	14.5°	Mid. lat.
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	
4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4
5	.4	.4	.4	.4	.4	.5	.5	.5	.6	.6	.6	.6	.6	.6	5
6	.4	.5	.5	.5	.5	.6	.6	.6	.6	.7	.7	.7	.7	.8	6
7	.5	.5	.6	.6	.6	.6	.7	.7	.8	.8	.8	.8	.9	.9	7
8	.6	.6	.6	.7	.7	.7	.8	.8	.8	.9	.9	1.0	1.0	1.0	8
9	.6	.7	.7	.8	.8	.8	.9	.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	9
10	.7	.7	.8	.8	.9	.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	10
11	.8	.8	.8	.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	11
12	.8	.9	.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	12
13	.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	13
14	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	14
15	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	15
16	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	16
17	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	17
18	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	18
19	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	19
20	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	20
21	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	21
22	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	22
23	1.6	1.7	1.8	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	23
24	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	24
25	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	25
26	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.1	26
27	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	27
28	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	28
29	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	29
30	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	30
31	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	3.4	3.5	3.7	3.8	31
32	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4	3.6	3.6	3.8	3.9	32
33	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.6	3.8	3.9	4.0	33
34	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	34
35	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	35
36	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1	4.2	4.3	36
37	2.4	2.6	2.7	2.9	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5	37
38	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	38
39	2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	39
40	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	40
41	2.6	2.8	3.0	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.7	4.8	41
42	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	42
43	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	43
44	2.8	3.0	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.1	44
45	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5.1	5.2	45
46	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	5.1	5.3	46
47	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	47
48	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	48
49	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	49
50	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.2	4.5	4.6	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7	50
51	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.8	51
52	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	52
53	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3	5.4	5.7	5.9	53
54	3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.6	5.8	6.0	54
55	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.1	55
56	3.3	3.5	3.7	3.9	4.2	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	56
57	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.8	6.0	6.2	57
58	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.6	5.8	6.0	6.3	58
59	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.9	6.1	6.3	59
60	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	60
61	3.5	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.9	5.1	5.3	5.5	5.8	6.0	6.2	6.5	61
62	3.6	3.8	4.0	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.6	5.8	6.1	6.3	6.6	62

อย่าเอามาตรานี้ปะปนกับมาตรา calibartion

เครื่องเรดาร์(Radar equipment) ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 5 สิ่ง คือ

(1) เครื่องส่ง(transmitter)เป็นตัวแกว่งกวัด(oscillator) ซึ่งทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพลังงาน (energy) ความถี่สูง(higy frequencies)อย่างสูงสุดทั่ว ๆ ไปมีระหว่าง 3,000 ถึง 10,000 เมกาไซเกิล (megacycles) แต่บางทีก็ใช้ถึง 30,000

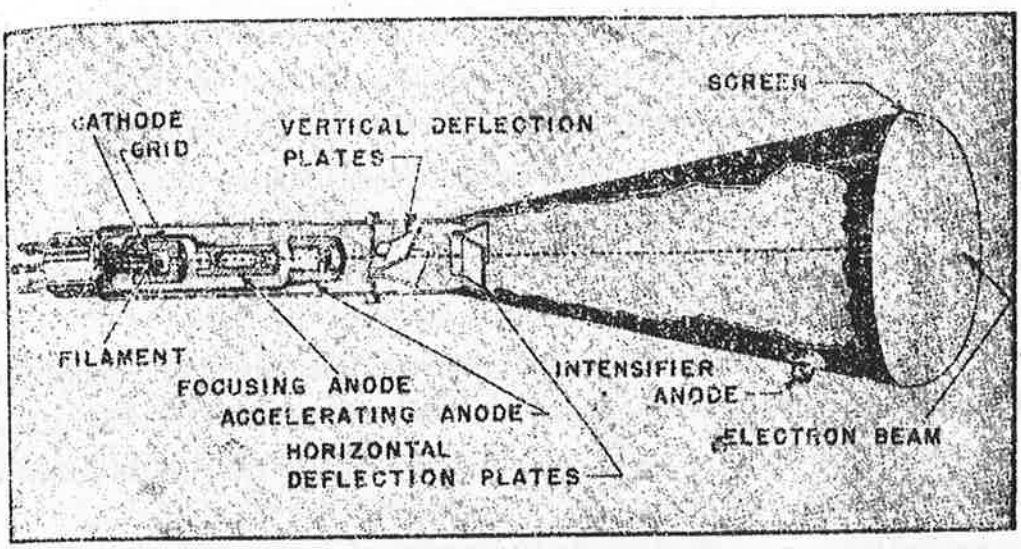
(2) Modulator (เครื่องทำให้เกิดห้วง) หันให้เครื่องส่งเปิดและปิด เพื่อให้ส่งพลังงานออกไปเป็นห้วง ๆ (pulses) ประมาณหนึ่ง microsecond (เศษหนึ่งส่วนล้าน วินาที) หรือน้อยกว่านี้ในหนึ่งวินาทีส่งออกไปได้หนึ่งพันห้วงหรือมากกว่านั้น

(3) สายอากาศ(antenna)ใช้ทั้งสำหรับส่งสัญญาณและรับสัญญาณ ที่สะท้อนกลับหรือ เสียงก้อง (echo) สายอากาศที่เหมาะต้องหันไปในทิศประจำ (จำกัดทิศ) และต้องติดตั้งให้หมุนตัวได้

(4) เครื่องรับ (receiver) ใช้สำหรับขยายหรือทวี (amplifies) เสียงก้อง (echo) และส่งเสียงก้องนั้นไปยังเครื่องแปลภาพ (indicator) มีสวิทช์อีเล็กตรอน ติดอยู่ระหว่างเครื่องรับ และสายอากาศสำหรับตัดทางไฟเข้าเครื่องรับ ฉะนั้น จึงป้องกันมิให้เครื่องรับชำรุดในระหว่างที่ส่งห้วงพลังงานออกไป

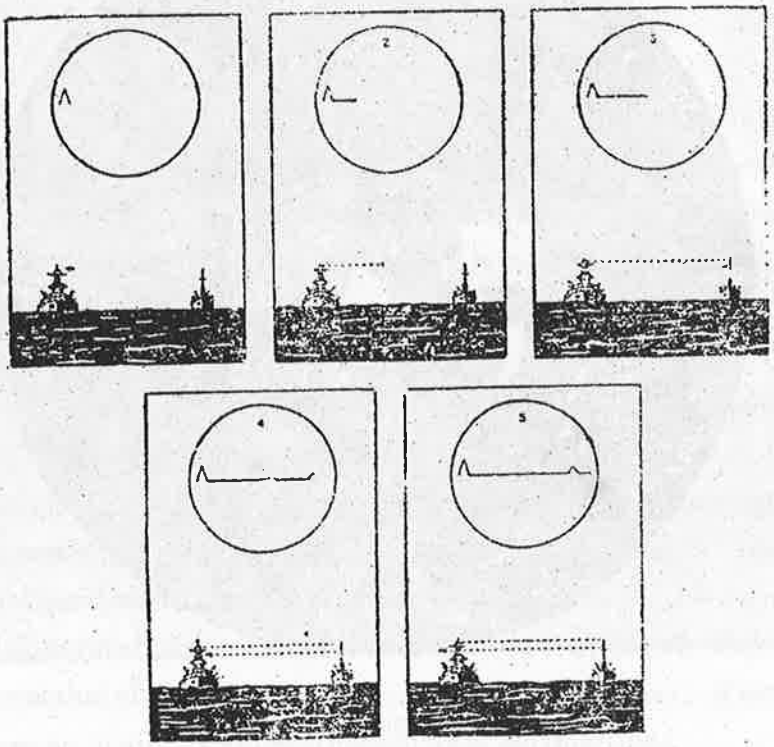
(5) เครื่องแปลภาพ (indicator) เป็นเครื่องแสดงให้เห็นรายละเอียด ในทำนองการทำนายภาพ เครื่องแปลภาพประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ หลอดรังสีคะโทด(cathode ray tuble) ซึ่งผิวหน้า หรือ จอ(face or screen)ของมันใช้เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า scope (ดูรูป 205) และวงจรเวลาและเครื่องบังคับเวลา(timing circuits andcontrols)ต่าง ๆ ใน scope นั้น กระแสของอีเล็กตรอน(fluorescent screen)พุ่งตรงไปยังจอวาว (stream of electron) ทำให้ปรากฏเป็นจุดแสงสว่าง(dot of light)ขึ้นที่จอ มีเครื่องทำให้เกิดศักยะไฟฟ้า(voltage) สำหรับเห(deflect) กระแสของอีเล็กตรอนทำให้จุดแสงสว่างปรากฏเห็นเคลื่อนตัวไปบนจอ

Scope ที่ใช้มีอยู่หลายแบบด้วยกันแต่ที่ใช้กันมากที่สุดมีสองแบบคือแบบ A scope และแบบ PPI scope แบบ A scope นั้นจุด (dot) เริ่มต้นปรากฏขึ้นทางด้านซ้ายของ scope ในขณะเดียวกับที่ส่งสัญญาณออกไปและเดินไปทางขวา ครั้นเมื่อได้รับเสียงก้องจุดนั้นก็จะสะท้อนขึ้นบ้างบน เนื่องจากความดื้อ(persistence)ของscopeและความถี่ของสัญญาณ (คลื่น)จึงทำให้ทางเดินของจุด(path of dot)ปรากฏเป็นเส้นติดต่อเนื่องกัน เรียกว่าtrace (ทางเดิน) สิบร(peak)หรือการเหตามทางเดิน (trace) เรียกว่า pip ในรูป 206 นั้น pip ทางซ้ายเกิดขึ้นจากสัญญาณที่ส่งออกไป การหาระยะทางนั้นหาได้โดยวัดระยะระหว่าง pips เพราะว่าคลื่นวิทยุเดินในอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วของแสง (186,280 ไมล์ ต่อวินาที) ฉะนั้นคลื่นวิทยุ (สัญญาณ) เดินในอัตราเร็ว $\frac{186,280\times5280}{1,000,000}$ หรือเท่ากับ 984 ฟุตต่อเศษหนึ่งส่วนล้านวินาที(microsecond)โดยที่อัตราเร็วนี้เป็นอัตราคงตัวที่สำคัญ จึงแบ่งบีดของเครื่องวัดออกเป็นหน่วยระยะทางได้โดยตรง หน่วยระยะทางตามปกติใช้เป็นหลาหรือไมล์



แผนภาพสะเก็ชของหลอดรังสีคะโทด

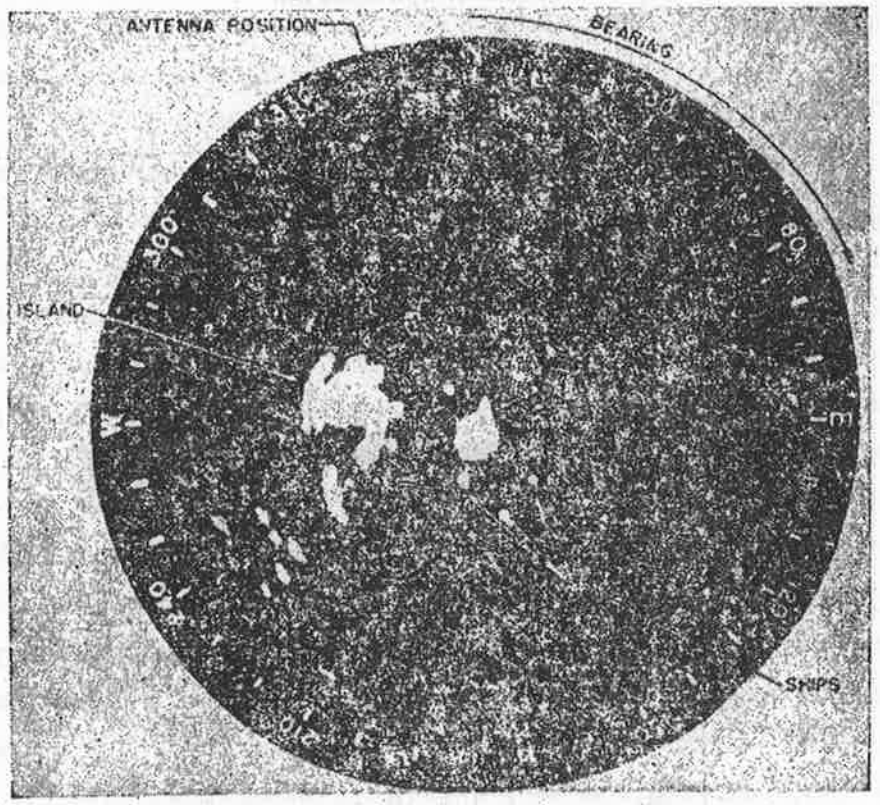
รูป 205



รูป 206 หลักของเรดาร์ (A scope)

แบบ PPI (position Plan Indicator) scope นั้นจุด (dot) ได้ตั้งต้นขึ้น ตรงศูนย์กลางและเคลื่อนแผ่ออกเป็นรังสี (ray) เสียงก้องที่เดินกลับมานั้นทำให้จอบางส่วน มีแสงลุกวามเป็นส่วนเล็ก ๆ ขึ้น เส้นรังสีของการเดินของคลื่นวิทยุหมุนตัวได้ และถ้ามันทำงานตามกัน (synchronized) กับสายอากาศแล้วก็จะได้แบริงของวัตถุที่ทำให้เสียงก้องนั้นเดินกลับ วงเข็มทิศที่อยู่รอบขอบนอกของ PPI scope ทำให้สามารถอ่านทิศได้และมีเครื่องประกอบ ที่เหมาะไว้สำหรับให้หาระยะทางได้ เนื่องจากความตื้อของจอทำให้เห็นภาพคล้ายแผนที่ของพื้นที่ ที่ล้อมรอบปรากฏขึ้นติดต่อเนื่องกัน ดูรูป 207

ถึงแม้ว่าระยะทางที่วัดบน A scope ส่วนมากจะได้ระยะทางแม่นยำ มากกว่าระยะทางวัดบน PPI scope ก็ตามแต่ PPI scope นั้น มีข้อดีหลายประการสำหรับใช้ในการเดินเรือ เรดาร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นแต่เดิมนั้นสำหรับใช้ในการเดินเรือเป็นเรดาร์แบบ PPI scope เรดาร์บางเครื่องมี scope ทั้งสองแบบ



รูป 207 PPI scope ของเรดาร์

ข้อดีของเรดาร์ สำหรับการเดินเรือแล้วเรดาร์มีข้อดีหลายประการ เหนือเครื่องช่วยในการเดินเรืออื่น ๆ

1. เรดาร์ใช้ได้ทั้งในเวลาค่ำคืนและในเวลาที่ทัศนวิสัยต่ำส่วนวิธีอื่นส่วนมากแล้ว ใช้ไม่ได้
2. หาที่เรือโดยใช้วัตถุสิ่งเดียวได้ เพราะว่าเรดาร์หาได้ทั้งระยะทางและแบริง
3. เรดาร์หาที่เรือได้รวดเร็วและถ้าใช้ **PPI scope** ก็หาตำบลที่ได้ต่อเนื่องกัน
4. การเดินเรือโดยใช้เรดาร์ มักได้ผลแม่นยำมากกว่าการเดินเรือโดยใช้วิธีอื่น ๆ
5. เรดาร์ใช้หาที่เรือในระยะทางห่างไกลจากฝั่งได้ไกลกว่าวิธีอื่น ๆ โดยมาก
6. เรดาร์เป็นเครื่องช่วยป้องกันเหตุ เรือโดนกันที่เชื่อถือได้ จึงทำให้แล่นเรือในอัตราเร็วได้ในระหว่างคาบเวลาที่ทัศนวิสัยต่ำ
7. เรดาร์ใช้หาตำบลที่และหาแนวทางเดินของพายุหมุนในโซนร้อนได้

ข้อเสียของเรดาร์ โดยที่เป็นเครื่องช่วยในการเดินเรือ เรดาร์จึงมีขอบเขตและข้อเสียบางประการ

1. เรดาร์อาจขัดข้องอันเนื่องจากเครื่องกลไกได้
2. มีเขตจำกัดทั้งระยะทางไกลที่สุด และใกล้ที่สุดทั้งสองอย่าง
3. การทำนายภาพที่ปรากฏใน **scope** ทำไม่ได้ง่ายเสมอไป ถึงแม้ว่าจะได้หัดไว้มากเท่าใดก็ตาม
4. เรดาร์อาจมีความแม่นยำน้อยกว่าการหาที่เรือโดยวิธีอื่น เป็นต้นว่าทัศนแบริงนั้นปกติย่อมได้ผลแม่นยำกว่าแบริงโดยเรดาร์
5. เรดาร์นั้นอาจเชื่อไม่ได้หรือใช้ไม่ได้ในระหว่างที่ภาวะการรับส่งวิทยุไม่ดี
6. การใช้เรดาร์ต้องใช้ส่งคลื่นวิทยุออกไปจากเรือ
7. แผนที่เดินเรือไม่มีรายละเอียดที่จำเป็นพอเสมอไปสำหรับทำนายภาพเสียงก้อง **(echo)** ของเรด้าร์ได้
8. อาจจับเค้า (เห็น) เรือเล็ก, ทุ่น ฯลฯ ไม่ได้เช่นในเมื่อมีคลื่นแรง, ลมจัด หรือวัตถุนั้นอยู่ใกล้ฝั่ง

ความแม่นยำของเรดาร์ ความแม่นยำของตำบลที่ที่หาได้ โดยเครื่องเรดาร์แปรเปลี่ยนไปมากมาย ตามชนิดของเรดาร์และความชำนาญของผู้ใช้ โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ความแม่นยำของที่เรือแบริงที่หาได้โดยวิธีใช้เรดาร์แล้วได้ผลดีกว่าที่เรือที่หาได้โดยวิธีอื่น เจ้าหน้าที่ผู้ใช้หรือพึ่งพิงเครื่องเรดาร์ ต้องทราบให้ละเอียดว่าจะเชื่อถือเครื่องเรดาร์ของตนได้เพียงไร ตัวประกอบบางประการที่กระทำต่อความแม่นยำนั้นได้แก่ **beam width** (ความกว้างของ **beam**), ส่วนยาวของห้วงคลื่น **(pulse length)** การปรุงปรับเครื่องกลไกและการทำนายภาพเสียงก้อง

ความกว้างของ **beam (Beam width)** สัญญาณเรดาร์เมื่อส่งจำกัดทิศส่ง ออกเป็น **beam** รูปพัด(**fan-shaped beams**) แคบ ๆ ขณะที่ **beam** กวาดไปพบวัตถุที่หมาย หรือผิว (**surface**) สะท้อนแล้วก็จะได้รับเสียงก้องติดต่อเนื่องกันไป จุดกึ่งกลางของขอบ **beam** รูปพัดที่กวาดพบเป้าหมายนั้นเป็นแบริงที่ต้องการ เรดาร์ที่ใช้ **PPI scope** ทำให้เห็นเป้าที่หมายปรากฏกว้างกว่าตามที่เป็นจริง ความกว้างของมันแต่ละข้างทวีขึ้นประมาณครึ่งความกว้างของ **beam** หรือน้อยกว่านั้นเล็กน้อย

ส่วนยาวห้วงคลื่น(**Pulse length**)กระทำต่อส่วนลึกของสัญญาณที่สะท้อน ในทำนองคล้ายคลึงกับที่ความกว้างของ **beam** ทำให้เป้าที่หมายกว้างออกไป เช่นสัญญาณที่ส่งออกไปมีความนานหนึ่งไมโครเซกันด์ (เศษหนึ่งส่วนล้านของหนึ่งวินาที) เมื่อไปกระทบผิวตั้งฉาก แบนเข้าจะสะท้อนกลับทำให้ได้รับ สัญญาณติดต่อเนื่องกันไปนานหนึ่งไมโครเซกันด์ ส่วนลึกของ **pip** เช่นว่านั้นเท่ากับครึ่งของระยะทางที่สัญญาณเดินไปในหนึ่งไมโครเซกันด์หรือ 492 ฟุต สัญญาณยิ่งสั้นส่วนลึกของ **pip** ก็ยิ่งแม่นยำมากขึ้น

การปรุงปรับเครื่องกลไก(**Mechanical adjustment**)เครื่องเรดาร์ เป็นอุปกรณ์ที่ไวความรู้สึกที่จักต้องปรุงปรับให้แม่นยำ ถ้าการปรุงปรับมีความเคลื่อนคลาดอย่างหนึ่งอย่างใดแล้ว จะทำให้ผลที่ได้รับเคลื่อนคลาดได้

การทำนายภาพ(**Interpretation**) ถึงแม้นว่าจะได้ฝึกไว้มากมายเพียงใด ก็ตามพนักงานผู้มีหน้าที่ใช้เครื่องหาอาจทำนายภาพเสียงก้องให้ถูกต้องได้ง่ายเสมอไปไม่ ตัวประกอบบางประการต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ทำให้ทำนายภาพได้ยากมาก

การแยกแบริง(**Resolution in bearing**) ได้เป็นที่ปรากฏแล้วว่า ความกว้างของ **beam** ทำให้เป้าที่หมายปรากฏกว้างกว่าตามที่เป็นจริง ถ้าเป้าที่หมายสองเป้า หรือมากกว่าอยู่สัมพัธใกล้เคียงกันประมาณในระยะเท่ากันแล้ว **pips** ที่ถูกทำให้กว้างของมันอาจปนเปกัน ปรากฏเห็นเป็น **pip** เดี่ยวของเป้าใหญ่กว่าได้ ผลต่างที่น้อยที่สุดของแบริง ระหว่างวัตถุสองสิ่งที่อยู่ในระยะทางเท่ากันที่ใช้เครื่องเรดาร์แยกออกได้เรียกว่า การแยกแบริง(**resolutions in bearing**) ความสามารถที่จะแยกนี้ พึ่งพิงอยู่โดยตรงกับความกว้างของ **beam** หลักหรือเสาที่ปักอยู่ ในน้ำจำนวนมาก หรือเรือเล็กหลาย ๆ ลำที่อยู่ใกล้ฝั่งอาจปรากฏเห็นเส้นพืดลวงให้เห็น เป็นตำบลที่ของแนวฝั่ง

การแยกระยะทาง(**Resolution in range**)เป็นผลต่างที่น้อยที่สุด ของระยะทางในระหว่างวัตถุสองสิ่ง ซึ่งอยู่ในแบริงเดียวกันที่ใช้เครื่องเรดาร์แยกได้ ความสามารถในการแยกนี้ขั้นแรกต้องพึ่งพิงส่วนยาวของห้วงคลื่น แต่ในขั้นต่อไปต้องพึ่งพิงสัณฐานของห้วงคลื่น และความละเอียดถี่ถ้วนของเครื่องรับ การทำนายภาพผิดอาจเกิดขึ้นได้ ในเมื่อเป้าที่หมายสองสิ่งหรือมากกว่า ปรากฏเห็นเป็นเป้าที่หมายยาวเดี่ยวหนึ่งเป้า หรือเมื่อเรือ, ทุ่นหรือหินอยู่ใกล้ฝั่ง และไม่ได้แยกกันไว้



รูป 208 แบบ PPI scope

แนวขอบฝั่งลวง(**False shore line**)อาจปรากฏเห็นบน **PPI scope** เนื่องด้วยเหตุผลอันหนึ่งอันใด ในจำนวนเหตุผลหลายประการในรูป 208 แนวฝั่งลวงปรากฏขึ้นที่ **B** เพราะท่าเรือ(**pier**),ที่ **C** เพราะเรือเล็กหลายลำและที่ **D** เพราะคลื่นใหญ่ชัดขึ้นไปบนที่ตื้นรูป 209 เป็นแผนที่เดินเรือของพื้นที่ที่แสดงไว้ในรูป 208 แนวฝั่งอาจปรากฏอยู่ลึกเข้าไป ในแผ่นดินในเมื่อมีตลิ่งสูงหรือหน้าผาอยู่ข้างหลังของชายหาดที่ราบต่ำหรือชายหาดที่ลาด

เงาเรดาร์ (**Redar shades**) บังเกิดขึ้นข้างหลังวัตถุที่สูงเด่น กล่าวคือ ไม่มีเสียงก้องสะท้อนกลับจากผิวที่ถูกเป้าที่หมายอันสูงกว่าที่อยู่ใกล้สายอากาศกั้นห้วงคลื่นเรดาร์(**radar pulses**)



รูป 209 แผนที่ของพื้นที่ที่แสดงไว้ในรูป 208

ไว้โดยบริบูรณ์ ฉะนั้น จะเห็นภูเขาสูง, หอคอย ฯลฯ ที่อยู่ลึกไปในฝั่งได้ต่อเมื่อ วัตถุเหล่านั้นสูงพ้นวัตถุที่อยู่ใกล้กว่าในเส้นเล็งตรงที่สำคัญ (essential direct line of sight) เท่านั้น เช่นหุบเขาที่อยู่ขนานกับแนวฝั่งสูง ๆ จะไม่ส่งเสียงก้องกลับ ถึงแม้ว่าจะเห็นฝั่งสูงข้างใดข้างหนึ่งของหุบเขาได้ก็ตาม และในทำนองเดียวกันหินหรือเรือเล็กซึ่งอยู่ไกลเลยขอบฟ้าไปมาก ๆ จนแลไม่เห็นจะไม่ส่งเสียงก้องกลับ แม้นว่าจะเห็นภาพภูเขาสูงที่อยู่ไกลกว่าหินหรือเรือเล็กนั้นได้ก็ตาม ดูรูป 210 และ 211

เขตจำกัดของระยะ(Range limitations) ระยะที่ใช้เครื่องเรดาร์วัดได้นั้น มีเขตจำกัดทั้งระยะไกลที่สุดและใกล้ที่สุด ระยะใกล้ที่สุดนั้นพึ่งพิงอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง ตามที่ได้กล่าวแล้ว (ในหัวข้อเรื่องเครื่องเรดาร์หน้า 672)ว่าเครื่องรับ(receiver)ถูกตัดทางไฟขาด จากสายอากาศในระหว่างที่ส่งห้วงคลื่นออกไป ฉะนั้นเสียงก้องใด ๆ ที่สะท้อนกลับ ในระหว่างที่ส่งห้วงคลื่นออกไป จะไม่แสดงให้ปรากฏ เสียงสะท้อนของคลื่นที่ดังมากเหลือเกิน หรือเสียงก้องของน้ำในบริเวณใกล้ ๆ และสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ใกล้ ๆ จะแสดงผลต่อระยะใกล้ที่สุดอันมีผลด้วย เสียงสะท้อนของคลื่นจะน้อยลงในเมื่อระยะทวีขึ้นเพราะการเปลี่ยนแปลงของมุมตกกระทบ(angle of incidence)ส่วนมากของสัญญาณ (คลื่นวิทยุ) จะสะท้อนออกไปจากเรือและกลับเข้ามาหาเรือในแบบเสียงก้องเป็นส่วนน้อย ในทางปฏิบัติถือเอาว่าระยะที่ใกล้ที่สุดประมาณ 80 หลา เป็นดีที่สุด

ส่วนระยะไกลที่สุดตามธรรมดา ถูกจำกัดไว้ด้วยความโค้งของโลก(curvature of the earth)ต่อเส้นเล็งหรือไกลกว่าเล็กน้อย เพราะว่าคลื่นวิทยุความถี่สูงเดินไปเป็นเส้นตรง ไม่เดินไปตามความโค้งของโลกเว้นไว้แต่ในภาวะบรรยากาศอปกติ(abnormal atmospheric conditions)

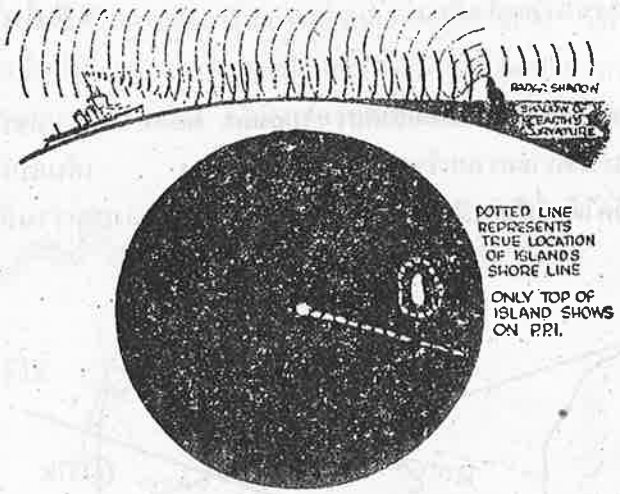


รูป 210 เงาเรดาร์

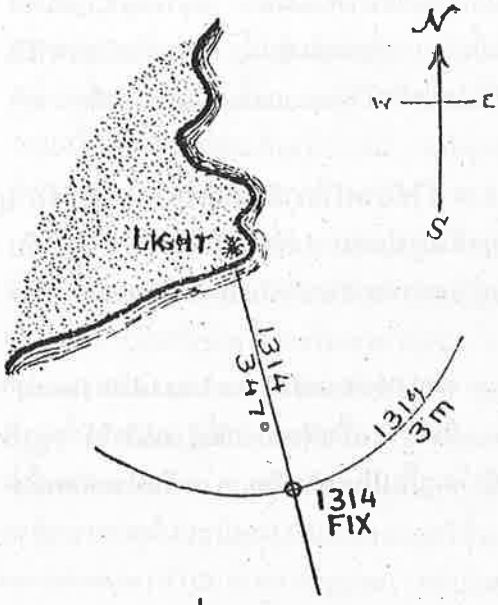
การหาระยะทางประมาณที่ใกลที่สุดเป้าที่หมายใด ๆ จะส่งเสียงก้องกลับนั้นใช้เปิดหา ในมาตรา 8 ของตำรา **Bowditch** ซึ่งใช้ในทำนองเดียวกับการใช้เปิดหาระยะทางของไฟ ที่อาจจะแลเห็นได้ในทะเล (ดู "โดยใช้ระยะขอบฟ้า" หน้า 246) อันที่จริงการที่สมมุติเช่นนี้ เพราะว่าเรดาร์มีกำลังพอที่จะส่งออกไปถึงระยะเช่นว่านั้นและ **scope** ก็ได้แบ่งขีดไว้ถึงระยะนั้น และเป้าที่หมายก็มีสภาพที่จะส่งเสียงก้องกลับได้ดี

ที่เรือแบริงเรดาร์(Radar fixes) เครื่องเรดาร์ใช้สำหรับหาตำบลที่เรือได้หลายวิธีตำบลที่เรือที่หาได้แน่นอนใช้กำกับด้วยอักษร **Fix** และตำบลที่ไม่แน่นอน (เชื่อถือได้น้อย) ใช้กำกับด้วยอักษร **E.P.** (ที่เรือประมาณ) ทั้งนี้ต้องพึ่งพิงอยู่กับการพิจารณาตัดสินใจของต้นหน เมื่อได้ใช้เครื่องเรดาร์ของตนจนชำนาญแล้ว

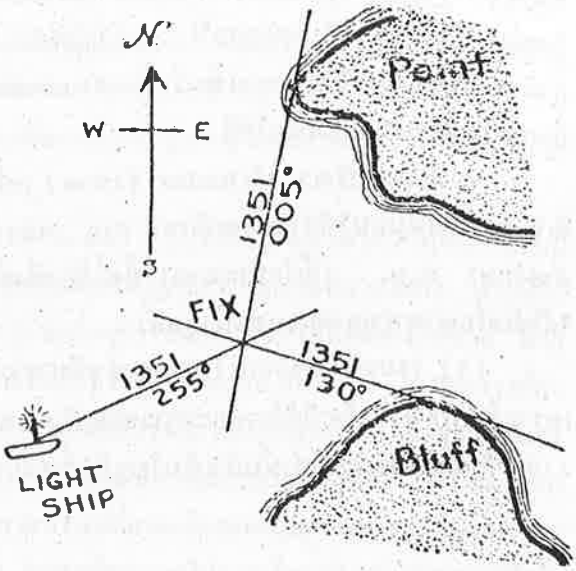
(1) **ระยะทางและแบริงของวัตถุสิ่งเดียว(Range and bearing of a single object)** เพราะว่าเครื่องเรดาร์หาได้ทั้งระยะทางและแบริง ฉะนั้น เมื่อตรวจครั้งเดียวก็หาที่เรือแบริงได้ (ดูรูป 119) วิธีนี้เป็นวิธีเดียวเท่านั้นถ้าเห็นวัตถุเล็กสิ่งเดียว ถ้าวัตถุนั้นเป็นเกาะเล็ก ๆ หรือหัวแหลมซึ่ง



รูป 211 เป้าที่หมายเรดาร์ซึ่งอยู่เลยขอบฟ้า

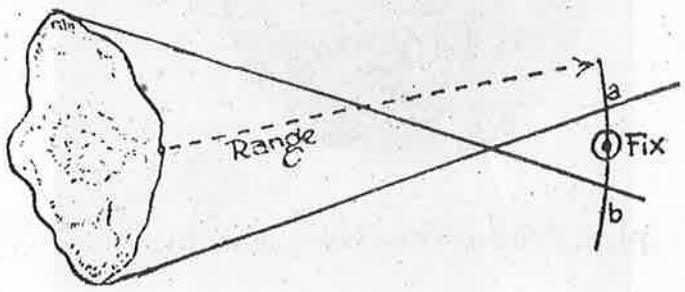


รูป 212 ที่เรือแบริงเรดาร์โดยใช้ระยะทางและแบริงของวัตถุสิ่งเดียว



รูป 214 ที่เรือแบริงเรดาร์โดยแบริงเพียงไขว้สามแบริง

มีความกว้างพอเหมาะแล้วให้ใช้บีดแบริงสัมผัส(tangent bearing) และระยะทางก็จะได้ที่ เรือแบริงซึ่งแม่นยำมากขึ้น เพราะความกว้างของ beam นั่นเอง เส้นแบริงส่วนมากจึงตัดกันในระยะที่สั้นกว่าระยะที่วัดได้ ที่เรือแบริงอยู่บนระยะที่วัดได้อยู่กึ่งกลางระหว่างเส้นแบริงสัมผัส ทั้งสอง (ดูรูป 213)

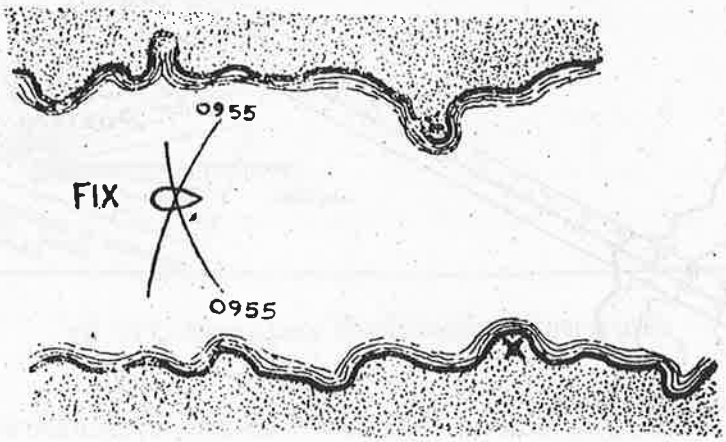


รูป 213
ที่เรือแบริงเรดาร์โดยใช้แบริงสัมผัสสองแบริงและระยะทาง

(2) แบริงเข็มไขว้ 2 แบริง (two bearings) หรือมากกว่าแบริงเข็มไขว้ สองแบริงหรือมากกว่า ใช้วัดและขีดเช่นเดียวกับทัศนแบริง (ดูรูป 214) เพราะความกว้างของ beam ฉะนั้นตามปกติแบริงเรดาร์จึงมีความแม่นยำน้อยกว่าทัศนแบริง ถ้าหาวัตถุที่เด่นชัดไม่ได้แล้วให้ใช้วัดแบริงสัมผัสไว้ แต่แบริงเหล่านี้มีความแม่นยำน้อยกว่า เพราะวัตถุที่หมายมีความกว้าง ปรากฏเป็นพิเศษ และมีความยุ่งยากในการที่จะรู้ให้แน่ชัดถึงขอบเขตของพื้นดินที่ถูกต้อง ในการส่งเสียงก้องกลับในเมื่อไม่มีหน้าผาที่เด่นชัด แบริงสัมผัสทางขวาควรจะต้องลดลงครึ่งหนึ่งของความกว้าง และแบริงสัมผัสทางซ้ายควรจะทวีขึ้นครึ่งหนึ่งของความกว้าง

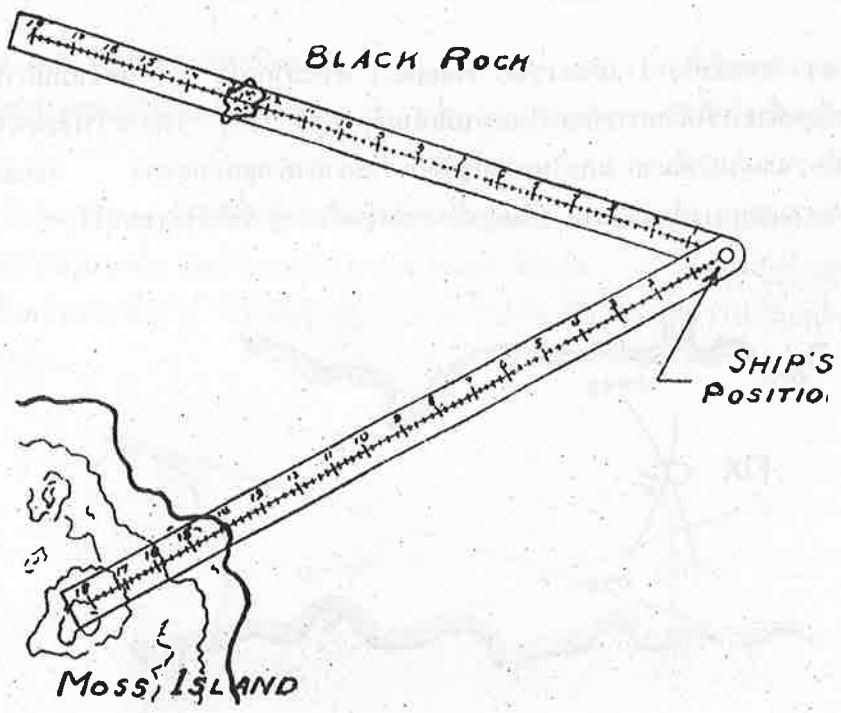
(3) โดยวิธีใช้เครื่องตั้งมุม (Three-arm protractor or station pointer method) ผลต่างระหว่างแบริงใช้ตั้งลงในเครื่องตั้งมุมหรือกระดาษโปร่งใส (กระดาษแก้ว) หรือปลาสติก (plastic) ได้แล้วหาที่เรือในทำนองเดียวกับการใช้เครื่องตั้งมุมหาที่เรือ โดยวัดมุมแนวนอน 2 มุม (ดูหัวข้อเครื่องตั้งมุมและวิธีใช้หน้า 164) วิธีนี้มีประโยชน์โดยเฉพาะเมื่อ PPI มีแอซซิมัธไม่เสถียร (ซึ่งไป ประมาณทางตะวันออกของทิศเหนือจริง เนื่องจากการติดต่อทางไฟฟ้ากับเข็มทิศไยโร) หรือเมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับความแม่นยำของไยโร หรือของการทำงาน พร้อมกันของ PPI

(4) ระยะทาง 2 ระยะ (Two ranges) หรือมากกว่า จัดว่าเป็นการหาที่เรือแบริงที่แม่นยำที่สุดที่จะหาได้ในการขีดลงในแผนที่เดินเรือ (รูป 215) เพราะว่าระยะทางที่ใช้วัดโดยเรดาร์นั้นมีความแม่นยำดีมาก และในทางปฏิบัติถือว่ามีค่าคงตัวทุกระยะทาง ระยะทางอันที่สามใช้สำหรับตรวจสอบการทำนายภาพ ที่ไม่ถูกต้องของจุดต่าง ๆ ซึ่งได้วัดระยะไว้



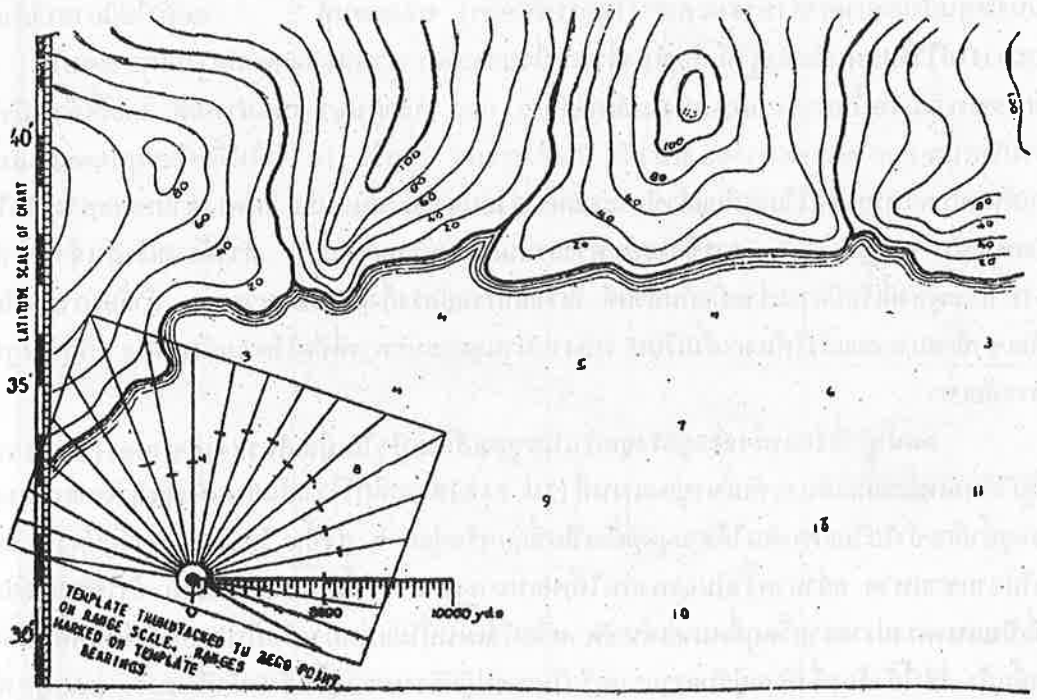
รูป 215 ที่เรือแบริงเรดาร์โดยใช้ระยะทาง 2 ระยะ

การลงที่เรือในแผนที่โดยใช้แต่ระยะทางเท่านั้น ใช้ทำโดยวิธีแกว่งขอบของวงกลมโดยให้จุดของวัตถุที่หมายเป็นศูนย์กลาง แต่อาจประดิษฐ์เครื่องมือขึ้นใช้ในเรือได้โดยง่าย สำหรับจดระยะทางลงในแผนที่ให้ได้โดยเร็ว คือเอาแผ่นปลาสติกโปร่งใส 2 หรือ 3 อัน (ดังในรูป 216) ซ้อนกันเข้าแล้วเจาะรูใส่เดือยไว้ที่ปลายข้างหนึ่งแล้วเจาะรูเล็ก ๆ หนึ่งรูที่เดือยนั้น พอให้สอดปลายดินสอเข้าไปได้และแบ่งขีดระยะทางลงบนแขนปลาสติกให้ตรงกับมาตราส่วนระยะทาง ของแผนที่ที่ใช้ให้ระยะทางศูนย์อยู่ตรงเดือย วิธีลงที่เรือแบริงนั้นให้วางเครื่องจดที่เรือปลาสติกลงบนแผนที่ ให้ขีดระยะทางของแขนปลาสติกซึ่งตรงกับระยะทางที่วัดได้ของแต่ละวัตถุที่หมายทับอยู่บนวัตถุนั้น ๆ เมื่อขีดของระยะทางของแต่ละแขนทับอยู่บนวัตถุที่หมายดีแล้ว ให้เอาปลายดินสอจุดลงในรูเดือยของแขนปลาสติกบนแผนที่จุดนี้เป็นตำบลที่เรือแบริงขณะที่วัดระยะทาง



รูป 216
เครื่องจดที่เรือทำด้วยปลาสติกสำหรับหาตำบลที่โดยใช้ระยะทางเท่านั้น

วิธีใช้วัตถุที่หมายเด่นชัดในการหาที่เรือ เมื่อแปลภาพวัตถุเด่นชัดในเรดาร์ scope ได้เป็นระยะทางไกล ๆ ตามฝั่งหรือจากบริเวณส่วนต่าง ๆ ของอ่าวได้เป็นส่วนมากแล้ว ก็ย่อมหาที่เรือได้จากศูนย์กลางของแผ่นจดที่เรือขั้วโลก(polar plot)กระดานหนขนาดใหญ่ใช้ได้เหมาะดีสำหรับการนี้ บรรดาทุ่น ประภาคาร ที่ทอดสมอ ร่องทางเรือเดิน เขื่อนกั้นคลื่นที่ตื้น และสิ่งอุปกรณ์การเดินเรืออื่น ๆ ที่ต้องการใช้ก็จดตำบลที่ลงบนแผ่นจดที่เรือขั้วโลก(polar plot) นี้ได้ โดยลงด้วยแบริงและระยะทางของวัตถุนั้น ๆ จากจุดที่กำหนดให้เลือกใช้มาตราส่วนเอา ตามสะดวก ฉะนั้น แล้วก็จะหาที่เรือได้เสมอเกือบตลอดเวลาโดยวัดระยะทางและแบริง ของวัตถุที่เด่นชัด วิธีนี้นอกจากจะช่วยให้หาที่เรือแบริงได้เกือบติดต่อเนื่องกัน แล้วยังช่วยเหลือในการหาทุ่น และบอกลักษณะทุ่นได้ด้วยเป็นอย่างมาก



รูป 217 Template สำหรับจดเส้นระดับเขาตามฝั่ง

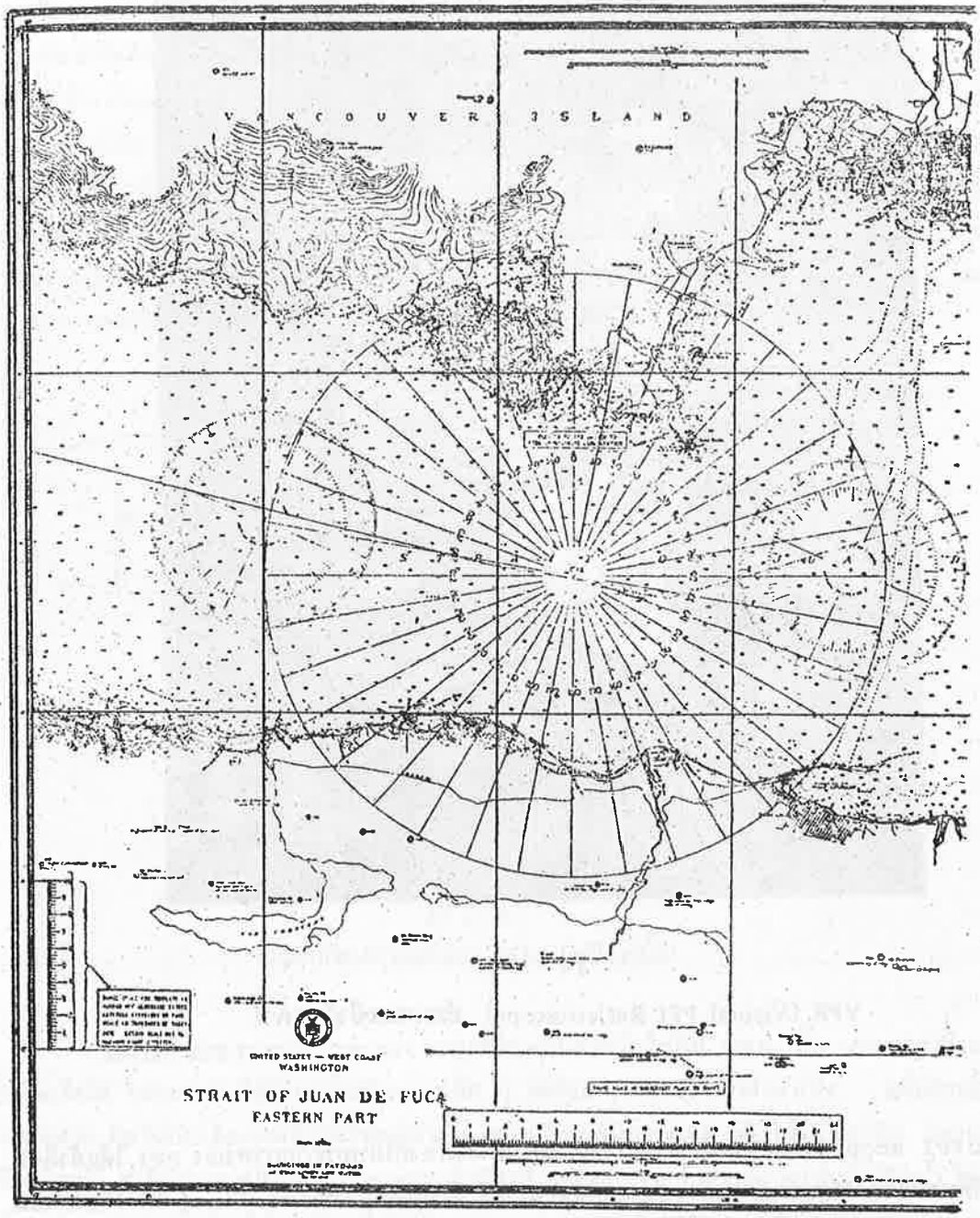
วิธีหาที่เรือโดยใช้เส้นระดับเขา(Contour method of piloting)ตำบลที่เรือที่หาได้โดยใช้ระยะทางเรดาร์ และแบริงเรดาร์อาจเคลื่อนคลาดได้เนื่องจากการแปลภาพเคลื่อนคลาดไป ไม่ว่าจะเกิดจากการแปลภาพผิดหรือเครื่องกลไกมีความเคลื่อนคลาด หรือเครื่องกลไกไม่อยู่ร่วมแนว หรือเพราะแปลภาพของจุดอันถูกต้องที่ส่งสัญญาณสะท้อนกลับไม่แม่นยำ ในทางปฏิบัติทำให้ความเคลื่อนคลาดเหล่านี้หมดไปได้โดยใช้เส้นระดับเขาหาที่เรือ ซึ่งทำได้รวดเร็วและแม่นยำ วิธีนี้ส่วน

สำคัญประกอบด้วยการสร้างเส้นระดับเขาบนฝั่งลงบน**template**(คือแผ่นวัตถุโปร่งใส ซึ่งมีเส้นตรงลากแผ่ออกเป็นรังสี จากจุดศูนย์กลางของแผ่นนั้นเป็นอนุกรมแผ่ออกเป็นมุมเท่า ๆ กัน) โปร่งใส โดยใช้ระยะทางเรดาร์และแบริงเรดาร์แล้วทาบ **template** ลงบนแผนที่

วิธีสร้าง **template** ให้ลากเส้นตรงเป็นอนุกรมแผ่ออกเป็นรังสี โดยรอบจากศูนย์กลางของกระดาษโปร่งใส (กระดาษแก้ว) หรือปลาสติก หรือถ้าแบริงทั้งหมดของวัตถุที่หมาย มีความสำคัญยิ่งอยู่เพียงทางด้าน (กราบ) หนึ่งของเรือเช่นในเมื่อแล่นตามชายฝั่ง (แล่นเลียบฝั่ง) แล้วอาจกำหนดให้จุดตั้งต้น (จุดกำเนิด) ของเส้นตรงเหล่านั้นอยู่ใกล้ทางด้านหนึ่งของ **template** ก็ได้ (ดู **template** ในรูป 217) ให้เขียนเส้นแผ่ห่างกันเป็นมุม 5̊ หรือ 10̊ สุดแต่จะต้องการ แต่ถ้าใช้เส้นห่างกัน 5̊ แล้วควรลากเส้นจุด หรือเส้นสีสลับกันทุกเส้น เขียนตัวเลขกำกับทุกเส้นที่ห่างกัน 10̊ ในการใช้ **template** นั้นให้ใช้นิ้วหัวแม่มือกดศูนย์กลางหรือจุดตั้งต้นของ **template** ลงบนขีดศูนย์ของมาตราส่วนระยะทาง (เมตรหรือหลา) ของแผนที่ แต่ถ้าไม่มีมาตราส่วนระยะทางให้ไว้ในแผนที่แล้วก็ให้เลือกเอาส่วนหนึ่งของมาตราส่วนละดิจูดตามความเหมาะสมได้ สำหรับการเดินเรือนั้นกำหนดเอาหนึ่งไมล์เท่ากับ 2.000 หลาก็นับว่าแม่นยำพอดี โดยที่เจ้าหน้าที่เรดาร์กำหนดเลือกใช้ระยะทางของแนวฝั่ง ในช่วงระยะ 5̊ หรือ 10̊ จึงให้ตั้งต้นหมุน**template** จากเส้นแบริงที่เตรียมจัดไว้แต่เดิมแล้วขีดระยะทางลงบนแต่ละเส้นแบริง ให้ตรงตามระยะทางที่วัดได้ตามแบริงนั้น ๆ ดูรูป 217 การขีดระยะทางลงบนเส้นแบริงทุกเส้น ทำได้รวดเร็วถ้าเจ้าหน้าที่เรดาร์ และผู้ลงที่เรือมีความร่วมมือกันด้วยดี ที่เรือแบริงอยู่ตรงกึ่งกลางช่วงเวลา ถ้าต้องการดูเส้นระดับเขาที่เหมาะสมแล้วให้ลากเส้นเรียบ พองามผ่านจุดระยะทางที่ขีดไว้ตามเส้นแบริง ก็จะได้รูปเส้นระดับเขา

ฉะนั้น ที่เรือแบริงจะอยู่ตรงจุดกำเนิดของเส้นแบริงในเมื่อเส้นระดับเขาของ**template** ลงกันได้พอเหมาะกับเส้นระดับเขาของแผนที่ (รูป 218) จงระลึกไว้ว่าเส้นแนวฝั่งของ **template** อาจอยู่ล้ำลึกเข้าไปในแผ่นดินได้ตามจุดที่ฝั่งเป็นที่ลุ่มหรือค่อย ๆ สูงขึ้น โดยมีตลิ่งสูงอยู่ห่าง ลึกเข้าไปจากชายหาด อย่าคาดว่ามันจะลงกันได้พอเหมาะเจาะ วิธีนี้มีประโยชน์น้อย ถ้าใช้ตามขอบฝั่งที่เป็นแนวตรงปราศจากวัตถุที่หมายเด่นชัด หรือถ้าแผนที่ไม่แม่นยำหรือมีรูปขอบฝั่งไม่ดีพอ นอกจากนี้แล้ว วิธีนี้ยังต้องพึ่งพิงอยู่กับความรวดเร็วในการปฏิบัติงานของทั้งเจ้าหน้าที่เรดาร์ และผู้ลงที่เรืออีกด้วย เพราะว่าถ้าปฏิบัติงานล่าช้าเกิดเสียเวลาขึ้นเล็กน้อย ในระหว่างที่ลงเรือแล้ว ที่เรือที่หาได้ก็ไม่แม่นยำ

หาที่เรือโดย VPR (VPR Piloting) วิวัฒนาการของ **VPR (Virtual PPI Reflectoscope** = ริเฟล็กโตสโกปของเครื่องแปลภาพที่แลเห็น) ทำให้การหาที่เรือโดยใช้เส้นระดับเขาง่ายขึ้น ในรูป 219 นั้นเป็น **VPR** ชนิดหนึ่งใช้ติดเข้ากับเรดาร์ **VPR** นี้ อาศัยระบบทัศนศาสตร์ง่าย ๆ ทำให้เกิดภาพแลเห็นของแผนที่ขึ้นบนจอของ **scope** ทำให้เจ้าหน้าที่เรดาร์มองเห็น **PPI scope** และแผนที่ของพื้นที่ไปพร้อมกัน เมื่อได้เขียนแผนที่ตามมาตราส่วนเดียวกัน



รูป 218 Template เส้นระดับเขาที่ทาบเข้ากับแผนที่

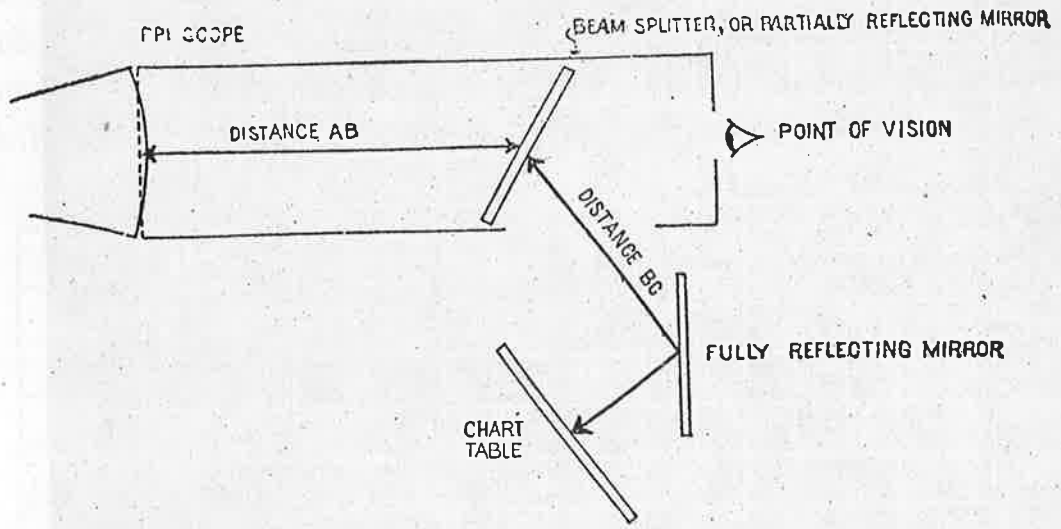


รูป 219

VPR (Virtual PPI Reflectoscope) ประกอบเข้ากับเรดาร์

กับ PPI scope แล้ว เจ้าหน้าที่เรดาร์จึงเอาแผนที่ใส่ให้ลงกันเหมาะกับภาพของ PPI ได้แล้วก็จะได้ตำบลที่เรือตรงศูนย์กลางของ PPI scope ฉะนั้น จึงขีดเข็ม(course line) ได้ โดยตรงบนแผนที่ VPR พิเศษหรืออ่านที่เรือแบริงได้เป็นระยะ ๆ - ได้ละเอียดทุกระยะครึ่งนาที หรือละเอียดกว่านี้ก็ได้ถ้าต้องการ - แล้วเอาไปขีดลงบนแผนที่เดินเรือ

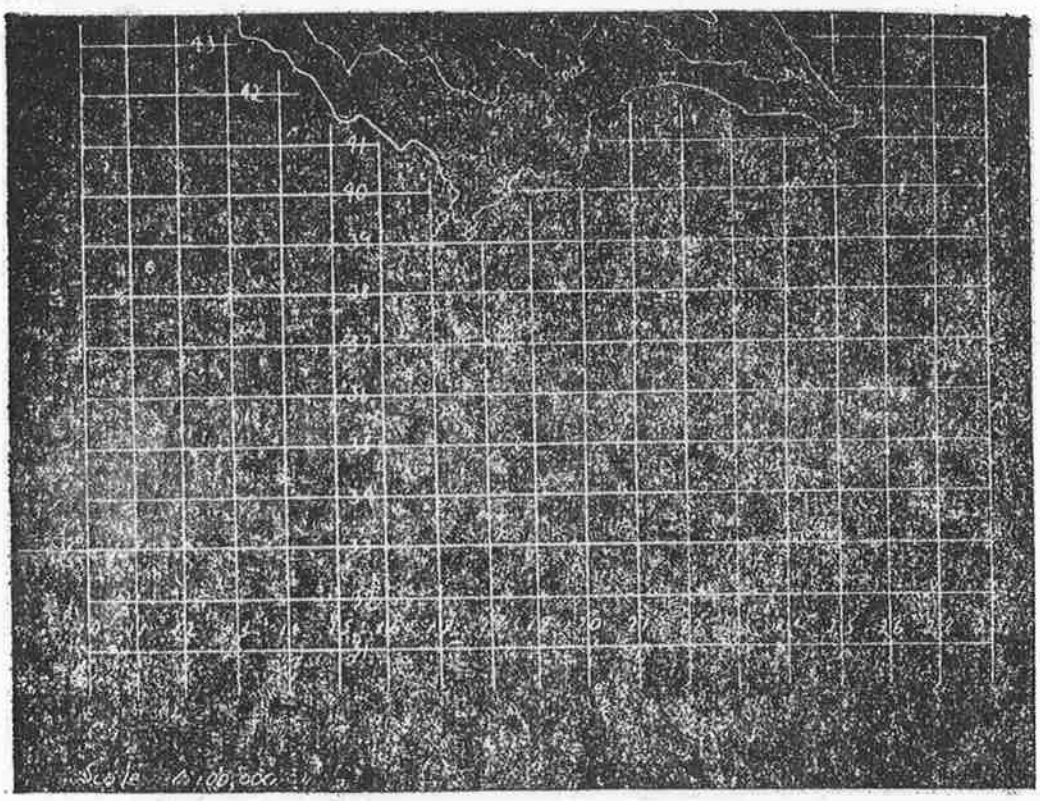
หลักการปฏิบัติของ VPR VPR มีอยู่หลายแบบด้วยกัน และแต่ละแบบประกอบด้วยโต๊ะแผนที่ 1 ตัว กระจกฉาย 1 อัน หรือกว่า 1 อัน กระจกฉายครึ่งซีก (คือ กระจกฉายและกระจกใสติดอยู่ในแผ่นเดียวกัน) หรือ beam splitter (เครื่องแบ่งลำ) 1 อัน และฝาครอบช่องวิวเข้า (viewing hood) 1 อันกระจกฉายครึ่งซีกหรือ beam splitter นี้ ทำหน้าที่ให้วิวที่แลเห็นขณะเดียวกันที่ PPI scope กับวิวที่ปรากฏเห็นของแผนที่ VPR เป็นวิว มีระยะทางเท่ากัน วิธีที่จะทำให้สำเร็จเช่นนี้ ต้องติดbeam splitter ไว้ในตำแหน่งที่ให้ระยะจากตา ของผู้ตรวจไปยัง PPI scope เท่ากับระยะทางเส้นเล็งไปยังแผนที่ ถ้าทำไม่ได้ดังกล่าวนี้แล้ว จะทำให้ภาพปรากฏเห็นในระยะต่าง ๆ กัน และทำให้เกิดความเคลื่อนคลาดปารัลลักซ์ (parallax) ในรูป 220 แสดงให้เห็นระบบทัศนศาสตร์ของ VPR ชนิดหนึ่ง



รูป 220
ระบบทัศนศาสตร์ของ VPR ชนิดหนึ่ง

แผนที่ VPR (VPR charts) แผนที่ที่จำเป็นสำหรับใช้กับ VPR นั้น สามารถสร้างขึ้นในเรือได้ โดยมากมักใช้วัสดุปลาสติกแผ่นเล็ก ๆ เคลือบ (ทา) สีดำไว้ด้านหนึ่ง เพื่อการนี้โดยเฉพาะ คือใช้กับโต๊ะแผนที่ซึ่งมีไฟอยู่ข้างใต้ การเขียนเส้นลงบนแผนที่นี้ให้ใช้ขีดรอย ลงบนสีที่เคลือบไว้ ทำให้ปรากฏเห็นเป็นเส้นขาวบนพื้นดำคล้ายคลึงกับเรดาร์ scope บนพื้นที่ที่เป็นน้ำ ให้เขียนตาตารางลงเพื่อช่วยให้หาตำบลที่เรือได้ จะต้องเขียนแผนที่ VPR ตามมาตราส่วนเดียวกัน กับ PPI scope ซึ่งจะต้องใช้แผนที่กับ scope นั้น และแผนที่ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะขีดเขียนได้ง่ายบนโต๊ะแผนที่ VPR ซึ่งเป็นโต๊ะเล็ก

กรมอุทกศาสตร์อเมริกันได้พิมพ์แผนที่ VPR ขึ้นจำนวนหนึ่ง มีมาตราส่วน 1: 200,000 และ 1: 600,000 ถ้าจะใช้แผนที่เหล่านี้แล้วจะต้องปรุงปรับเรดาร์ scope เข้าหามาตราส่วนเหล่านี้อันใดอันหนึ่ง แผนที่เหล่านี้ตัดขนาดให้เหมาะ สะดวกตามต้องการได้ แผนที่นี้ได้ทำตาตาราง (grid) ละติจูดและลองจิจูดให้ไว้ทุกครึ่งลิบดา(minutes) ในรูป 221 เป็นส่วนหนึ่งของแผนที่ VPR ชนิดหนึ่งที่สร้างขึ้นในเรือในรูป 210 นั้น แสดงให้เห็นแผนที่ VPR ซึ่งลงกันได้เหมาะเจาะกับ PII scope

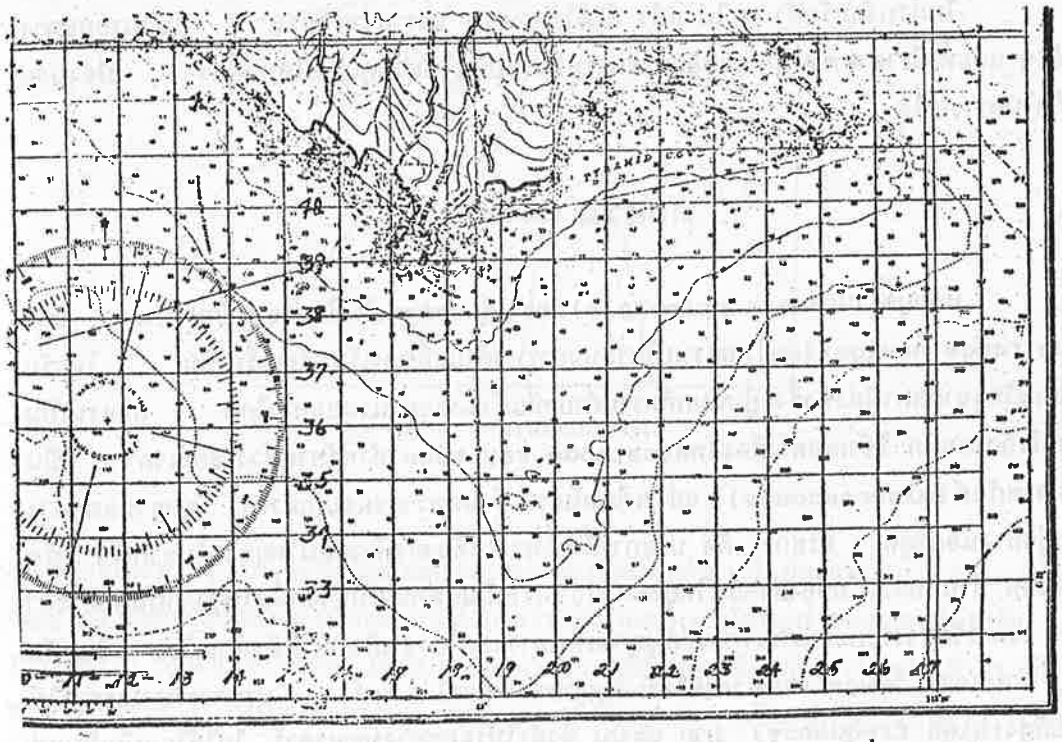


รูป 221 ส่วนหนึ่งของแผนที่ VPR สร้างขึ้นในเรือ

ใช้ VPR หาที่เรือกับแผนที่เดินเรือ ถ้าจะไม่ใช้ VPR ลงที่เรือบนแผนที่ VPR โดยตรงแล้วจะใช้จดลงบนแผนที่เดินเรือแทนก็ได้ แต่เมื่อจะใช้แผนที่เดินเรือให้จัดขีดเส้น ตาตาราง ขวางแผนที่ไว้เพื่อแทนตาตาราง(grid) VPR ดูรูป 222 ถ้าได้ให้หมายเลขกำกับ เส้นตาตาราง (grid lines)บนแผนที่เดินเรือตรงกันกับหมายเลขบนแผนที่ VPR แล้ว เจ้าหน้าที่เรดาร์ก็ขานบอกเลข 3 ตำแหน่ง สองจำนวน (ตามปกติโคออร์ดิเนตให้ไว้ถึงเศษสิบที่ใกล้ที่สุด) ในช่วงเวลา

อันสม่ำเสมอกัน แล้วต้นหนก็ใช้นัยน์ตามองหาที่เรือเอาบนแผนที่ได้ โดยไม่ต้องจดลงบนแผนที่ ถ้าต้นหนต้องการทราบตำบลที่เรือเป็นละติจูดและลองจิจูดในขณะหนึ่งขณะใดแล้วก็ย่อมทำได้ โดยตรวจหาดูจากมาตราส่วนที่พิมพ์ไว้ในแผนที่

เรคอน (Recons) หรือกระโจมเรดาร์ ได้ตั้งขึ้นไว้ตามที่ต่าง ๆ ทั่วโลก เดิมทีนั้นมุ่งหมายสำหรับช่วยเหลือเครื่องบิน เรคอนประกอบด้วย **transponder** (เครื่องรับและเครื่องส่ง ที่ถูกกดไกให้ทำงานโดยสัญญาณที่วิ่งเข้าหากระโจม) เป็นส่วนสำคัญ เมื่อเครื่องบินจะใช้เรคอนนั้น เครื่องบินก็ส่งสัญญาณเรดาร์ออกไป สัญญาณที่ส่งออกนี้จะเข้าไปกดไกของเครื่องส่งของเรคอน ทำให้เครื่องส่งนั้นส่งสัญญาณรหัสออกไป เมื่อฝ่ายเครื่องบินได้รับสัญญาณที่เรคอนส่งออกไปแล้ว เจ้าหน้าที่เรดาร์ก็จะหาแบริง และระยะทางได้อย่างเดียวกับที่ได้จากเสียงก้องที่สะท้อน เรคอนมีข้อดีเพราะรู้ตำบลที่ตั้งแน่นอน สำหรับจดลงบนแผนที่และใช้ได้ในระยะทางไกลกว่าเมื่อไม่ใช้เรคอน เพราะว่าเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว กำลังที่ส่งสัญญาณของเรคอนมีมากกว่ากำลังของเสียงก้อง ที่สะท้อนจากผิว กองตรวจฝั่งอเมริกันกำลังวิจัยและคาดว่าคงจะได้ผลจากวิวัฒนาการของกระโจมเรดาร์ สำหรับนำมาใช้กับเรือ และทั้งกำลังวิจัยที่จะใช้**reflector**ธรรมดาติดไว้กับทุ่นเพื่อให้ส่งเสียงกลับให้แรงด้วย



รูป 222 แผนที่เดินเรือซึ่งเปียนเส้นตาตารางไว้สำหรับใช้กับแผนที่ VPR ที่แสดงไว้ในรูป 221

ชอแรน (Shoran)

จากข้อเท็จจริงที่ปรากฏว่าระยะทางที่หาได้โดยเรดาร์นั้น มีความแม่นยำมากกว่าแบริงที่หาได้โดยเครื่องเรดาร์ ฉะนั้น จึงได้นำเอาระบบเรดาร์มาใช้ในการเดินเรือเรียกว่า ชอแรน {(Shoran) ได้ชื่อมาจากอักษรตัวแรกของshort range navigation} เมื่อฝ่ายเรือ หรือเครื่องบินส่งสัญญาณเรดาร์ออกไป สัญญาณที่ส่งออกนี้จะไปกดไกของเครื่องส่งสองเครื่อง ของสถานีที่ตั้งประจำที่สองแห่ง ซึ่งรู้ตำบลที่แน่นอนแล้วทำให้เครื่องส่งทั้งสองนั้น ส่งสัญญาณออกไปซึ่งไปปรากฏพร้อมกันบน scope เดี่ยว(single scope)จุดตัดกันของวงกลมตำบลที่(circle of position)สองวงซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ ณ จุดตำบลที่ประจำของเครื่องส่งทั้งสองจะเป็นตำบลที่เรือ

ข้อดียิ่งของชอแรน คือ มีความแม่นยำมาก ตำบลที่ซึ่งหาได้ โดยระบบชอแรนนี้มีความแม่นยำถึงประมาณ 50 ฟุต ระหว่างตอนปลายของสงครามโลกครั้งที่สอง สัมพันธมิตรได้ใช้ระบบชอแรนสำหรับทิ้งระเบิดให้ถูกที่หมายในเวลาทัศนวิสัยต่ำ ซึ่งได้ผลมีความแม่นยำประมาณอย่างเดียวกับการทิ้งระเบิดด้วยจักษุ เมื่อนำเอาระบบนี้ไปใช้ในการทำแผนที่ ซึ่งเมื่อได้แก้อัตราผิดต่าง ๆ แล้ว จะมีความแม่นยำถึงประมาณ 25 ฟุต

ในการเดินเรือทั่ว ๆ ไป แล้ว มิได้ใช้ชอแรน เพราะว่าชอแรน ใช้ในระยะทางใกล้ ๆ และทั้งมีราคาแพงมาก และอีกประการหนึ่งระบบนี้ใช้ควบคุมเรือได้น้อยลำ มีจำนวนจำกัดในคราวหนึ่ง

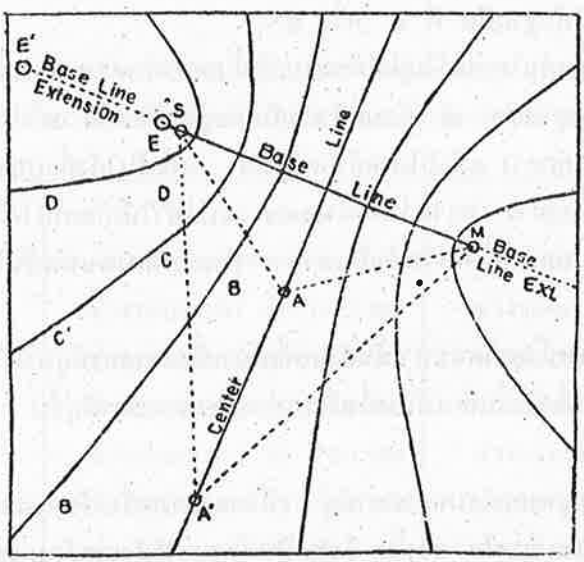
ลอแรน (Loran)

หลักมูลฐาน(Basic principle)ลอแรน{(Loran)ได้ชื่อมาจากอักษรตัวแรก ของ long range navigation}ลอแรนเป็นระบบการหาตำบลที่ของเรือหรือเครื่องบิน โดยรับสัญญาณวิทยุจากสถานีส่งซึ่งตั้งอยู่บนบกที่ทราบตำบลที่แล้วและอยู่ในระยะทางไกล ลอแรนเป็นระบบอีเล็กตรอนิก ใช้หลอดรังสีคะไทด(cathode ray tube)สำหรับวัดช่วงระยะเวลา เป็นไมโครเซกันด์(microseconds) อย่างเดียวกับเรดาร์ แต่ทว่าลอแรนกับเรดาร์ มีมูลฐานแตกต่างกันอยู่อย่างน้อยที่สุด 3 ประการ คือ ประการที่หนึ่งเรดาร์ต้องส่งห้วงคลื่นวิทยุออกไปจากเรือ หรือเครื่องบิน ส่วนลอแรนไม่ต้องส่งคลื่นวิทยุออกไปจากเรือเป็นแต่คอยรับห้วงคลื่นวิทยุจากบนบกประการที่สอง เรดาร์วัดช่วงระยะเวลาระหว่างที่สัญญาณเดินทางออกไป จนถึงเวลาที่สัญญาณก้อง เดินกลับมาถึง ส่วนลอแรนวัดผลต่างของเวลาที่ได้รับสัญญาณจากสถานี 2 แห่ง ประการที่สามเรดาร์ใช้ความถี่สูง(high frequency) มาก ฉะนั้น จึงทำให้ระยะทางของเรดาร์ ไม่ได้ไกลนักเป็นแต่เพียงเลยขอบฟ้าไปเล็กน้อย ส่วนลอแรนใช้ความถี่ต่ำกว่าเรดาร์มาก เมื่อเปรียบเทียบกันจึงทำให้ลอแรนใช้ได้ในระยะทางไกลนับเป็นร้อย ๆ ไมล์ (เรดาร์ใช้ความถี่สูงตั้งแต่ 3,000 ถึง 10,000

ล้านวัฒจักร(megacycles)ส่วนลอแรนใช้ความถี่ต่ำประมาณไม่เกิน 2,000 กิโลวัฒจักร (kilocycles))

ลอแรนต้องมีสถานีส่งตั้งประจำที่อยู่บนบก สำหรับส่งสัญญาณออกไปพร้อม ๆ กัน เนื่องจากว่าคลื่นวิทยุเดินเท่ากับอัตราเร็วของแสง (คือประมาณ 186,280 ไมล์ต่อวินาที) เพราะฉะนั้น สัญญาณวิทยุเดินได้ระยะทางหนึ่งไมล์ทะเลในชั่วเวลา 6.18 ไมโครเซกันด์ (ms.)

ทฤษฎีของการปฏิบัติงาน ช่วงระยะเวลาระหว่างการส่งสัญญาณออกไป จากสถานีลอแรนคู่หนึ่งนั้น ควบคุมให้มีความแม่นยำได้ประมาณ 2 ไมโครเซกันด์ (ms.) เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงหลักการปฏิบัติงานจึงขอสมมุติให้ผลต่างของเวลานี้เป็นศูนย์ และให้สถานีสองสถานี คือ M และ S (รูป 223) ส่งสัญญาณออกไปพร้อมกัน เรือลำหนึ่งอยู่ที่ A ซึ่งอยู่ห่างจากสถานีทั้ง



รูป 223 หลักของลอแรน

สองในระยะเท่า ๆ กัน ได้รับสัญญาณของทั้งสองสถานีพร้อมกัน เรืออีกลำหนึ่งที่ A' ก็ได้รับสัญญาณจากสถานีทั้งสองในขณะเดียวกันด้วยเพราะว่าตำบลที่ A' นั้นอยู่ห่างจากสถานีทั้งสอง ในระยะเท่า ๆ กันด้วยเหมือนกัน โลกัส (locus) ของจุดทั้งหลายซึ่งอยู่ในระยะห่างเท่า ๆ กันจากสองสถานี เรียกว่า เส้นศูนย์กลาง(center line) เส้นศูนย์กลางเป็นเส้นที่แบ่งเส้นฐาน (base line)ออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน และเป็นเส้นที่ตั้งได้ฉากกับเส้นฐาน เส้นฐานนี้เป็นวงใหญ่ซึ่งต่อสองสถานีเข้าด้วยกัน

ที่นี้สมมุติว่าเรือที่ B ซึ่งอยู่ใกล้สถานี S มากกว่าสถานี M ฉะนั้น เรือลำนี้จะได้รับ

สัญญาณจากสถานี S ก่อน และถ้าสมมุติให้เป็นที่อื่นบ้างเช่นที่ B' ซึ่งมีผลต่าง ของระยะทางระหว่างสถานี M และสถานี S เท่ากับผลต่างของระยะทางเมื่อเรืออยู่ที่ B แล้ว ผลต่างของเวลาก็จะได้เท่ากัน โลกัสของจุดทั้งหลายซึ่งมีผลต่างของเวลาอันเท่ากันนี้ เป็นเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่า (hyperbola) เพราะว่าเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่านี้ ทำให้จุดทั้งหลายที่อยู่บนเส้นโค้ง มีผลต่างของระยะทางคงตัวจากสถานีซึ่งอยู่ประจำที่สองสถานี (จุดทุกจุดบนเส้นนี้จะมีผลต่าง ระยะทางระหว่างสองสถานีเท่ากัน) เส้นโค้งเหล่านี้เมื่อเขียนลงบนแผนที่จะไม่ปรากฏเป็น เส้นไฮเปอร์โบล่า เพราะแผนที่มีการบิดตัว

ถ้าผลต่างของเวลามากขึ้นแล้ว เรือจะอยู่บนเส้นไฮเปอร์โบล่าเส้นอื่นคือที่ C หรือ C' ซึ่งใกล้สถานี S เข้าไปทุกขณะ และเมื่อผลต่างของเวลานี้ยังคงมากขึ้นอยู่อีกแล้ว เรือจะอยู่ที่ D หรือ D' ถ้าผลต่างของเวลาเท่ากันถี่ถ้วนกับเวลาที่สัญญาณเดินจาก M ไป S แล้ว เรือจะอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งบนเส้นฐานยืด ที่ E หรือ E'

ฉะนั้น จึงเขียนเส้นไฮเปอร์โบล่าได้หลายเส้น แสดงผลต่างของเวลาต่าง ๆ

ถ้าหากได้รับสัญญาณจาก M ก่อนแล้วเรือก็จะอยู่ใกล้ไปทาง M สำหรับเส้นโค้ง ทุกเส้นที่อยู่ทางซ้ายของเส้นศูนย์กลาง แล้วก็โค้งคล้ายคลึงกัน แต่เส้นโค้งที่อยู่ทางขวานั้นก็โค้งกลับตรงกันข้ามกับเส้นโค้งที่อยู่ทางซ้าย เพราะว่าผลต่างของเวลาได้ทำให้เกิดเส้นโค้งประจำ จำกัดขึ้น ฉะนั้น จึงเขียนเส้นโค้งลงบนแผนที่ได้หรือทำเป็นตาตารางโคออร์ดิเนตของเส้นโค้งก็ได้ ในทางปฏิบัติใช้ทั้งสองวิธี

ฉะนั้น ณ ที่จุดหนึ่งจุดใดจะหาเส้นตำบลที่เส้นหนึ่งจากสถานีคู่หนึ่งได้ ในการหาที่เรือแบริงจะต้องหาเส้นตำบลที่เพิ่มขึ้นอีกเส้นหนึ่งเป็นอย่างน้อยจากสถานีคู่อื่น หรือหาโดยวิธีอื่น เช่นโดยการตรวจวัดฤทัองฟ้า

การพิจารณาสัญญาณลอแรนของสถานีคู่ เนื่องจากว่าเครื่องรับลอแรน อาจรับสัญญาณจากสถานีส่งได้หลายคู่ในขณะเดียวกัน ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องหาวิธีสังเกตลักษณะ ของสัญญาณของสถานีแต่ละสถานีคู่ไว้ ลักษณะสัญญาณของสถานีส่งคู่ใช้สังเกตพิจารณาด้วยความถี่ (frequency) ของการส่งสัญญาณและอัตราเร็วในการส่งคลื่นสัญญาณ อัตราเร็วในการส่งคลื่นสัญญาณ แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ basic pulse recurrence rate (อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐาน) และ specific pulse recurrenec rate (อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นจำเพาะ) อัตราเร็วทั้งสองพวกเป็นตัวเปลี่ยนแปร (Variables) ที่ใช้สำหรับสังเกตลักษณะสัญญาณของสถานีส่งคู่ ฉะนั้นในทางปฏิบัติใช้ตัวเปลี่ยนแปรสามตัวสำหรับสังเกตลักษณะสัญญาณของสถานีคู่

1. ความถี่ (frequency)
2. Basic pulse (signal) recurrence rate (อัตราเร็วจังหวะ การส่งห้วงคลื่นมูลฐาน)
3. Specific pulse recurrence rate (อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นจำเพาะ)

ความถี่(frequency) ใช้ 4 ขนาด (frequency channels)

Channel 1 : 1950 kc. (กิโลวัฒจักร)

Channel 2 : 1850 kc. (กิโลวัฒจักร)

Channel 3 : 1900 kc. (กิโลวัฒจักร)

Channel 4 : 1750 kc. (กิโลวัฒจักร)

อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐาน(basic pulse recurrence rate) ใช้ 2 อัตรามูลฐาน (basic rate)

L= ต่ำ (low) = 25 ห้วงคลื่นต่อวินาที ช่วงระยะเวลาระหว่างห้วงคลื่น 40,000 ms. (microseconds)

H= สูง (high) = $33\frac{1}{3}$ ห้วงคลื่นต่อวินาที ช่วงระยะเวลาระหว่างห้วงคลื่น 30,000 ms.

อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นจำเพาะ (specific pulse recurrence rate) สถานี 8 แห่ง อาจใช้ความถี่ขนาดเดียวกันโดยเปลี่ยนแปรอัตราเร็วจังหวะการส่งมูลฐานเล็กน้อย

หมายเลขสถานี	L basic rate	H basic rate
0	ช่วงระยะเวลา 40,000 ms	ช่วงระยะเวลา 30,000ms
1	ช่วงระยะเวลา 39,900 ms	ช่วงระยะเวลา 29,900 ms
2	ช่วงระยะเวลา 39,800 ms	ช่วงระยะเวลา 29,800 ms
3	ช่วงระยะเวลา 39,700 ms	ช่วงระยะเวลา 29,700 ms
4	ช่วงระยะเวลา 39,600 ms	ช่วงระยะเวลา 29,600 ms
5	ช่วงระยะเวลา 39,500 ms	ช่วงระยะเวลา 29,500 ms
6	ช่วงระยะเวลา 39,400 ms	ช่วงระยะเวลา 29,400 ms
7	ช่วงระยะเวลา 39,300 ms	ช่วงระยะเวลา 29,300 ms

คือว่าช่วงระยะเวลาอัตราเร็ว จังหวะการส่งห้วงคลื่นจำเพาะต่างกันแต่ละคู่ 100 ms จำนวนห้วงคลื่นสัญญาณต่อวินาทีสำหรับ low basic rate ต่างกันแต่ละคู่ประมาณ 1/16 และสำหรับ high basic rate ต่างกันแต่ละคู่ประมาณ 1/9

สถานีส่งคู่หนึ่ง หรือสัญญาณของสถานีส่งคู่หนึ่งใช้สังเกตลักษณะ ด้วยตัวเปลี่ยนแปรทั้งสาม เช่น สถานีหรืออัตรา 1 L O หมายความว่าทำงานด้วยขนาดความถี่ 1950 kc อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น 25 ห้วงต่อวินาที สถานีหรืออัตรา 2 H 5 หมายความว่า ทำงานด้วยขนาดความถี่ 1850 kc อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น $33\frac{8}{9}$ ห้วงต่อวินาที ไม่จำเป็นต้องจำ

ตัวเลขไว้เลยในการที่จะรับสัญญาณเพียงแต่ให้รู้ไว้ว่าสถานีหรืออัตรา 1 L 0 นั้น หมายความว่า channel 1, อัตราเร็ว จังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐานต่ำ (low basic pulse recurrene rate) เป็นสถานีคู่ 0 และสถานีหรืออัตรา 2H5 หมายความว่า channel 2, high basic pulse recurrence rate เป็นสถานีคู่ 5 เท่านั้นก็พอแล้ว เครื่องรับใช้สังเกตลักษณะของสถานีส่งในทำนองนี้

เครื่องรับและ Indicator ลอแรน (Loran receivers and indicators) การรับสัญญาณลอแรนใช้เครื่องรับวิทยุ superheterodyne ธรรมดา แต่เพื่อที่จะให้เห็นสัญญาณที่รับนั้น ปรากฏเป็นรูปร่างขึ้นจะต้องป้อนให้สัญญาณที่รับเข้าไปในเครื่อง indicator พิเศษ ซึ่งประกอบด้วยวงจรเวลาอีเล็กตรอนิก (electronic timing circuits) และหลอดรังสีคะโทด (cathode ray tube) เพื่อให้สัญญาณปรากฏเห็นเป็นรูปร่างขึ้น ความยาวของรอยขีด (trace) สัญญาณนั้น ปรุงปรับให้เท่ากันกับเวลาระหว่างสัญญาณได้ บอยกเอาสถานีหรืออัตรา (rate)1L0 ขึ้นพิจารณา ถ้ามีห้วงคลื่น 25 ห้วง ต่อวินาที หรือต่อ 1,000,000 ms. แล้วจะมีระยะเวลา 40,000 ms. ระหว่างห้วงสัญญาณที่ต่อเนื่องกัน ฉะนั้น ความยาวของรอยขีด (trace) จะยาว 40,000 ms. และสัญญาจะปรากฏขึ้นตรงจุดเส้นเดียวกันบนรอยขีดแต่ละครั้งที่ได้รับห้วงคลื่น ส่วนสัญญาอื่นที่มีความถี่ขนาดเดียวกัน และมี basic rate เดียวกันแต่ต่าง Specifec rate กันแล้ว จะปรากฏเห็นความเคลื่อนไหวไปทางขวาหรือซ้าย สัญญาณปรากฏขึ้นเป็นเส้นแนวยืนและรอยขีด (trace) ปรากฏเป็นเส้นฐานคล้ายคลึงกับเรดาร์ pip เมื่อวัดระยะทางแนวนอนระหว่างสัญญาณก็จะได้ผลต่างของเวลา

เพื่อช่วยในการวัดระยะทางจึงจัดแบ่งรอยขีด (trace) ออกเป็นสองตอน ตอนครึ่งหลังเรียกว่า B trace ตอนครึ่งแรกเรียกว่าA trace B trace ปรากฏอยู่ข้างใต้ A trace วิธีการเช่นนี้ทำให้อ่านการวัดระยะทางได้แม่นยำ และขยายรูปให้ได้โตมาก ดูรูป 233 แท่น (pedestal บนแต่ละ trace ใช้สำหรับวัดผลต่างของเวลา

การหน่วงเวลาการส่งสัญญาณ (Transmission delays) เพื่อที่จะให้วัดผลต่าง ของเวลาได้ง่าย จึงต้องทำให้สัญญาณของแต่ละสถานีปรากฏอยู่บนแต่ละ trace คือ หมายความว่าแทนที่จะให้ทั้งสองสถานีส่งสัญญาณออกไปพร้อมกันให้หน่วงสถานีหนึ่งไว้ ให้ส่งสัญญาณช้าไปชั่วคาบเวลาหนึ่ง เท่ากับครึ่ง pulse recurrence rate หรือ 20,000 ms.สำหรับ rate 1 L 0 ถ้าสถานีทั้งสองอยู่ห่างเท่ากันแล้วสัญญาณของสถานีหนึ่ง จะปรากฏอยู่บางบนสัญญาณของ อีกสถานีหนึ่งโดยตรง ในกรณีนี้ผลต่างของเวลาเป็น 0 (ไม่มีผลต่าง) เพราะว่า การหน่วงเวลาการส่งนี้อ่านไม่ได้

ถ้าสถานีทั้งสองอยู่ห่างไม่เท่ากันแล้ว สัญญาณของสถานีหนึ่งจะปรากฏอยู่ทางขวา ของสัญญาณของอีกสถานีหนึ่ง แต่เพราะว่าไม่มีวิธีใดที่จะทำให้รู้แน่ได้ว่าสัญญาณใดส่งมาจากสถานี M และจากสถานี S ฉะนั้นอาจมีปัญหาเกิดขึ้นได้ว่าเส้นโค้งเส้นใดในจำนวนสองเส้นนั้น จะเป็นเส้น

ตำบลที่อันแท้จริงของเรือ (รูป 223) เป็นต้นว่า ถ้าเมื่อเรืออยู่ใกล้เส้นศูนย์กลาง ฉะนั้นที่เรือรายงาน(D.R.position)ไม่อาจจะแก้ให้สิ้นสงสัยได้ เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้วิธีหน่วงเวลา การส่งของสถานีที่สองไว้

กำหนดให้สถานี M เป็นสถานีmaster(สถานีเอก) และสถานี S เป็นสถานีslave (สถานีรอง) ให้เป็นสถานี M ส่งสัญญาณก่อน การหน่วงเวลาครึ่งอัตราเร็วจังหวะการส่ง ห้วงคลื่น (half pulse recurrence rate delay) ให้เริ่มต้นขึ้นเมื่อสถานี S ได้รับสัญญาณที่ส่งจากสถานี M หรือ = 6.18 ms.x ความยาวของเส้นฐานภายหลังจากสถานี M ได้ส่งสัญญาณแล้ว ไม่ใช่เริ่มต้นในขณะที่สถานี M ส่งสัญญาณ โดยเหตุนี้สัญญาณจากสถานี S จะปรากฏอยู่ทางขวาของสัญญาณจากสถานี M เสมอ (เพราะว่าการวัดเวลา ใช้วัดจากซ้ายไปขวา) เมื่อสัญญาณของสถานี M ปรากฏอยู่บน A trace และสัญญาณของสถานี S อยู่บน B trace

การหน่วงเวลาที่สามตามปกติใช้ 950 หรือ 1,000 ms. เรียกว่า coding delay ได้นำเอามาใช้ด้วย เพื่อป้องกันมิให้การอ่านผลต่างของเวลาใด ๆ เป็น 0 (ซึ่งจะเป็นได้เมื่ออยู่บนหรือใกล้เส้นฐานยืดจากสถานี S รูป 223) ฉะนั้นก็จะไม่เกิดปัญหาว่า สัญญาณจากสถานีใดอยู่ทางขวาและสัญญาณจากสถานีใดอยู่ทางซ้ายขึ้นได้ การหน่วงเวลาที่สามนี้ อาจเปลี่ยนได้ตามใจชอบ และทำให้ปลอดภัยได้ในเวลาสงคราม

อาจสรุปอัตราหน่วงเวลาได้ ดังต่อไปนี้

1. อัตราหน่วงเวลาครึ่งอัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น(half pulse recurrence rate delay) เพื่อทำให้สัญญาณของแต่ละสถานีอยู่บนแต่ละ trace

2. อัตราหน่วงเวลาเส้นฐาน base line delay(6.18× ความยาวของเส้นฐานเป็นไมล์) - เพื่อเป็นประกันว่าให้ได้รับสัญญาณของสถานี M ก่อน

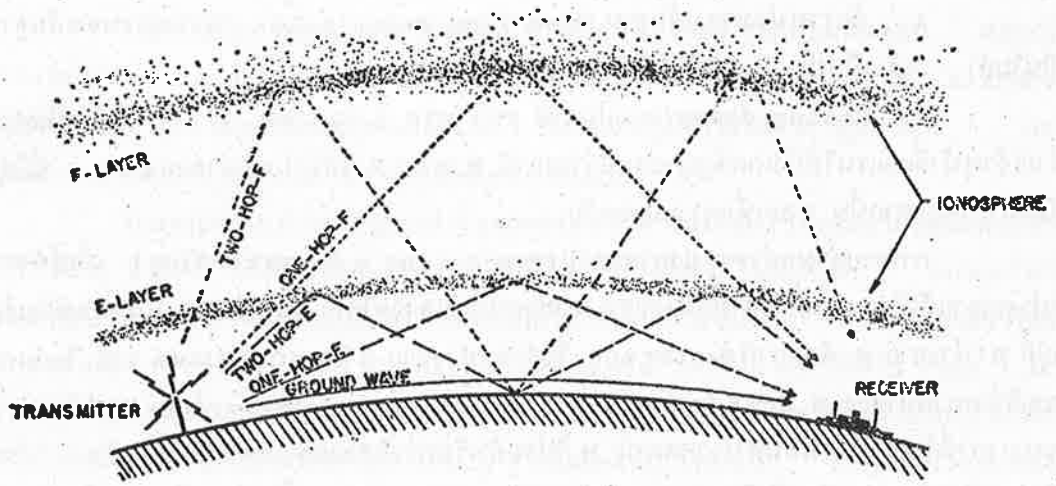
3. Coding delay(ตามปกติใช้ 950 หรือ 1,000 ms.) - เพื่อเป็นการช่วยเจ้าหน้าที่ลอแรนให้สังเกตสัญญาณระหว่างสถานี M และ S ให้อ่านผลต่างของเวลา ที่มีค่าน้อยมากได้สะดวกขึ้น และเพื่อความปลอดภัย

การทายค่าผลต่างของเวลาลอแรน(Predicting a loran reading) เมื่อรู้อัตราหน่วงเวลาแล้วก็สามารถทายค่าผลต่างของเวลาที่จุดหนึ่งของจุดใดได้ ตามรูป 223 นั้น สมมุติว่าเรืออยู่ที่ B' ห่างจาก M คือสถานีMaster 400 ไมล์และห่างจาก S คือ สถานีSlave 300 ไมล์และสมมติว่าสถานีทั้งสอง M และ S อยู่ห่างกัน 350 ไมล์และ coding delay เท่ากับ 1,000 ms. ระยะเวลาที่สัญญาณต้องเดินทางจากสถานี M ไปจนถึงเรือเท่ากับระยะทางคูณด้วยอัตราเร็ว การเดินทางของสัญญาณหรือเท่ากับ 400×6.18=2472 ms. ระยะเวลาตั้งแต่สถานี S ส่งสัญญาณออกไปจนกระทั่งเมื่อเรือได้รับสัญญาณเท่ากับ 300×6.18=1854 ms. อัตราหน่วงเวลาครึ่งอัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นนั้นตัดทิ้งเสียได้ เพราะว่าการหน่วงเวลานี้เป็นแต่เพียง ทำให้สัญญาณของสถานี S อยู่บน trace อันล่างและในการอ่านก็ไม่ได้อ่านค่านี้รวมเข้าด้วย อัตราหน่วงเวลาเส้นฐาน

เท่ากับ 350×6.18=2163 ms. ฉะนั้นระยะเวลาของการรับสัญญาณจากสถานี S เท่ากับ 1854+ 2163 + 1000 = 5017 ms. (บวกด้วยครึ่งอัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น) ภายหลังเมื่อสถานี M ได้ส่งสัญญาณแล้ว เพราะฉะนั้นค่าผลต่างของเวลา เท่ากับผลต่างของเวลา ของการรับสัญญาณของสองสถานี (ลบด้วยครึ่งอัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น) เท่ากับ 5017-2472=2545 ms. วิธีที่สั้นสำหรับหาค่าผลต่างนี้คือหาอัตราหน่วงเวลา (2163+1000=3163) แล้วหาผลต่างของเวลาเดินทางของสัญญาณของสองสถานี (100×6.18=6.18) ให้เอาค่านี้บวกถ้าเรืออยู่ใกล้สถานี M และเอาไปลบถ้าเรืออยู่ใกล้สถานี S ในตัวอย่างนี้เรืออยู่ใกล้สถานี S ฉะนั้น ค่าผลต่างของเวลาเท่ากับ 3163-618=2545 ms. ดังข้างต้น

ค่าผลต่างของเวลาที่น้อยที่สุดของสถานีคู่หนึ่งเท่ากับ coding delay ที่ได้รับตามเส้นฐานยืดจากสถานี slave ค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดเท่ากับ coding delay บวกด้วยสองเท่าอัตราหน่วงเส้นฐานที่ได้รับตามเส้นฐานยืดจากสถานี master

คลื่นพื้นดินและคลื่นท้องฟ้า (Ground waves and sky waves) สัญญาณลอแรนอาจเดินไปถึงเรือได้หลายทางด้วยกัน ทางตรงซึ่งเป็นทางที่คลื่นลอแรนเดินไปตามผิวพื้นโลก เป็นทางที่มีระยะสั้นที่สุด สัญญาณที่เดินไปตามทางผิวพื้นโลกนี้เรียกว่า คลื่นพื้นดิน (ground ware) (รูป 224) จะไปถึงเรือก่อน ฉะนั้น คลื่นพื้นดินจะปรากฏเห็นอยู่บน trace ทางซ้ายของสัญญาณ ที่เดินมาตามท้องฟ้า



รูป 224
ทางเดินของคลื่นพื้นดินและคลื่นท้องฟ้า

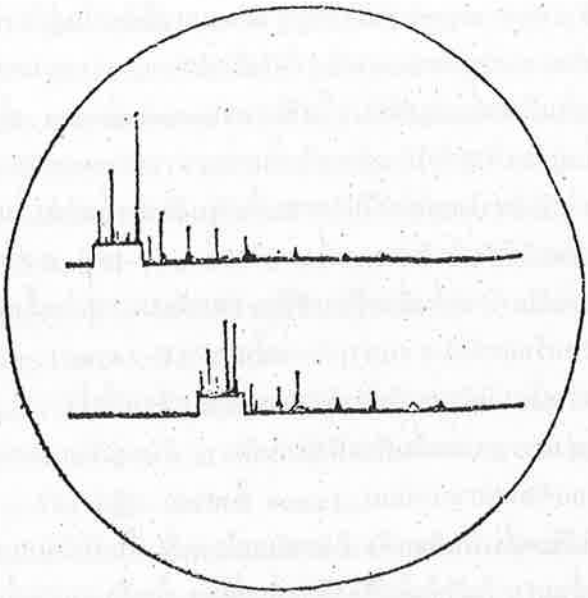
คลื่นท้องฟ้า (Sky waves) เป็นสัญญาณลอแรนที่เดินขึ้นสู่ท้องฟ้า แล้วไปกระทบกับชั้นบรรยากาศionosphereแล้วก็สะท้อนกลับ (ที่จริงคือหักเห(refracted))ไปยังเรือ คลื่นท้องฟ้าคลื่นแรกที่ทางเรือได้รับนั้นเป็นคลื่นที่สะท้อนครั้งเดียวจาก ionosphere ชั้นล่าง (คือว่าเมื่อคลื่นออกจากสถานีส่งเดินขึ้นสู่ท้องฟ้าแล้วไปกระทบกับชั้นบรรยากาศionosphereชั้น E-layer แล้วก็สะท้อนกลับตรงไปยังเรือทีเดียวโดยมิต้องไปกระทบพื้นดินเสียทีหนึ่งก่อน แล้วสะท้อนกลับไปสู่ชั้นบรรยากาศแล้วจึงจะสะท้อนไปยังเรืออีกทอดหนึ่ง) เรียกว่า one-hop-E ส่วนคลื่นท้องฟ้า คลื่นต่อ ๆ ไป ที่ได้รับนั้นอาจเป็นห้วงคลื่นที่สะท้อนทวีคูณ (สะท้อนมากกว่าครั้งเดียว) จากบรรยากาศชั้นล่าง(คือ E-layer)หรือสะท้อนจากบรรยากาศชั้นบน (F-layer) การที่ห้วงคลื่นสะท้อนขึ้นลงจนกว่าจะเดินไปถึงเรือนั้น มีจำนวนไม่จำกัดว่าจะต้องสะท้อนกี่ครั้ง ฉะนั้นเมื่อได้รับคลื่นท้องฟ้าแล้วมักจะปรากฏว่ามีกระบวนคลื่นท้องฟ้ามาถึงติด ๆ กันอยู่เต็มบนรอยขีด (trace) แต่ละรอบ (คือปรากฏว่ามีรอยขีดอยู่มากมายบน trace ทั้งสอง) ดูรูป 225

ถ้าทางเรือได้รับคลื่นพื้นดินแล้ว ก็จะเทียบห้วงคลื่นพื้นดินได้เสมอ แต่ถ้าไม่มีคลื่นพื้นดินแล้วให้ใช้คลื่นท้องฟ้าคลื่นแรก ไม่ใช้คลื่นท้องฟ้าคลื่นที่สอง ถือเป็นกฎว่าคลื่นท้องฟ้าเทียบห้วงคลื่นกันกับคลื่นพื้นดินไม่ได้ แต่จะหาเส้นตำบลที่อันแม่นยำได้ได้โดยวิธีนี้ ถ้าหากว่ามีมาตราแก้พิเศษสำหรับการนี้ไว้

คลื่นพื้นดินเดินไปได้ไกลประมาณ 600 ไมล์จากสถานีส่ง (ถ้าทำให้เครื่องมีกำลังสูงมากขึ้นแล้ว คาดว่าจะเดินไปได้ถึง 1,000 หรือ 1,200 ไมล์) ตามปกตินั้นคลื่นท้องฟ้าใช้ได้เฉพาะในเวลากลางคืนเท่านั้น คลื่นท้องฟ้าเดินไปได้ไกลประมาณ 1,400 ไมล์ ระยะทางที่คลื่นพื้นดินและคลื่นท้องฟ้าเดินไปได้นี้จะลดลงไปมาก ถ้าห้วงคลื่นเหล่านี้เดินผ่านไปเหนือพื้นดิน แต่เมื่อเดินผ่านไปแถบขั้วโลกระยะนี้กลับขยายไกลออกขึ้นบ้าง จะต้องใช้ความระมัดระวังให้มาก ในการรับสัญญาณเพื่อที่จะให้จำสัญญาณได้ไม่ผิด สำหรับระยะทางไกล 500 ไมล์ เหนือพื้นทะเลนั้นห้วงคลื่นสัญญาณห้วงแรก โดยมากเป็นห้วงคลื่นพื้นดินเสมอ ส่วนระยะทางไกลกว่า 700 ไมล์ นั้นตามปกติแล้ว คลื่นสัญญาณห้วงแรกเป็นคลื่นท้องฟ้า (ถึงแม้ว่าจะได้ตรวจพบว่า คลื่นพื้นดินไปไกลถึง 950 ไมล์ก็ตาม) แต่ในระหว่างระยะทาง 500 และ 700 ไมล์เรียกว่าระยะวิกฤติ(critical range) ในระยะนี้คลื่นห้วงแรกอาจเป็นคลื่นพื้นดินหรือคลื่นท้องฟ้าก็ได้ ฉะนั้น ในระยะทางระหว่างนี้ให้ใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการจำสัญญาณ

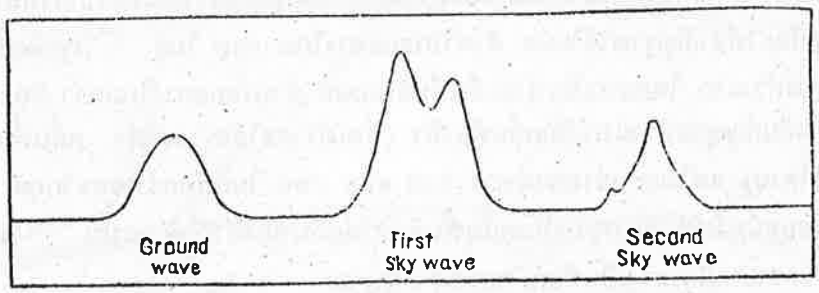
การจำสัญญาณ การจำสัญญาณคลื่นท้องฟ้าตามปกตินั้น ให้คอยเฝ้าดูสัญญาณหรือ pips โดยที่ผิวพื้นซึ่งทำให้สัญญาณสะท้อนกลับนั้นมีผิวไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ฉะนั้นคลื่นสัญญาณจึงไม่สม่ำเสมอด้วย ให้พึงสังเกตผลสำคัญสองประการ

Fading(การจางหายไป) โดยที่ชั้นบรรยากาศ ionosphere ประกอบด้วย กลุ่ม ionized air ที่เลื่อนลอยไปมาไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันในชั้นบรรยากาศเดียวกัน จึงทำให้กำลังการส่งสะท้อนคลื่นสัญญาณแปรไปด้วย ทำให้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับแปรความเข้ม(intensity)ไป



รูป 225 คลื่นท้องฟ้าที่มาถึงติด ๆ กัน (A train of sky waves)

คือว่าเมื่อมองดูที่ scope แล้วปรากฏว่าความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป สัญญาณอาจหายหมดไปในชั่วระยะเวลาสั้น ๆ เพราะฉะนั้นในการรับสัญญาณจงอย่ารีบร้อนเกินไปเพื่อให้จำสัญญาณได้ ให้ใช้เวลาให้มากในการหาสัญญาณที่มีกำลังอ่อน ถ้าเรือโคลงมากแล้ว คลื่นพื้นดินอาจจางหายไป แต่ทั้งนี้จะเป็นไปโดยสม่ำเสมอและได้เวลากับคาบการโคลง(period of roll)ของเรือ



รูป 226 คลื่นพื้นดินและคลื่นท้องฟ้าสองแบบปรากฏอยู่บน scope

Splitting (การแบ่งยอด) โดยที่กลุ่ม ionized air เลื่อนลอยไปมา คล้ายกับเมฆ ฉะนั้น บางส่วนของสัญญาณเท่านั้นอาจจะสะท้อนที่ผิวพื้นแรกที่มันไปกระทบเข้า และบางส่วนของสัญญาณก็จะผ่านทะลุเข้าไปสะท้อนที่กลุ่มionized airซึ่งอยู่สูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศเดียวกัน ถ้าเป็นเช่นนี้แล้วสัญญาณจะแบ่งยอดออก(splitting)หรือปรากฏว่ามียอดสองยอดหรือมากกว่าการ

แบ่งยอดออกเช่นนี้ตามปกติเกิดขึ้นชั่วคราวเท่านั้น รูป 226 แสดงให้เห็นการปรากฏของ คลื่นสัญญาณพื้นดินแบบหนึ่ง (ขยายให้เห็นใหญ่ที่สุด) และการแบ่งยอดของคลื่นสัญญาณท้องฟ้า สองรูปขนาดสัมพัธของ **pips** และของยอดคลื่นสัญญาณท้องฟ้าที่แบ่งยอดนั้นไม่มีความสำคัญ เพราะว่ามันแปรเปลี่ยนมาก

ถ้าอ่านสัญญาณตามช่วงเวลาสม่ำเสมอเช่นว่าทุกชั่วโมงแล้ว การจำสัญญาณก็จะทำได้โดยง่าย โดยสังเกตแบบสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป

ข่ายลอแรน(**Loran coverage**)ลอแรนเป็นวิธีเดินเรือที่ใหม่ที่สุดวิธีหนึ่งได้ถูกค้นคว้าขึ้นครั้งแรกใน ค.ศ. 1941 ใน ค.ศ. 1942 ได้ตั้งสถานีส่งลอแรนขึ้นเป็นครั้งแรก ตามฝั่งในแถบมหาสมุทรอัตลันติกเหนือและได้จัดติดตั้งเครื่องรับไว้ในเรือเป็นจำนวน 50 ลำในเดือนเมษายน ค.ศ. 1948 ได้ขยายข่ายลอแรน(**Loran coverage**)ออกไปดังแสดงไว้ในรูป 227 และก็ไม่ได้คิดขยายข่ายลอแรนต่อออกไปอีก ทั้ง ๆ ที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของโลกมิได้ใช้ระบบลอแรนกันเลยก็ตาม คลื่นท้องฟ้าก็เดินไปได้ตลอดเส้นทางเรือเดินที่สำคัญ และคลื่นพื้นดินก็เดินไปได้ไกลกว่า ระยะทางของมันมาก ถึงกระนั้นก็ตามภายในพื้นที่ของข่ายลอแรนเองยังมีอีกหลายแห่ง ที่หาที่เรือแบริงลอแรนไม่ได้หรือหาได้แต่ไม่แม่นยำเพราะว่าเส้นตำบลที่ลอแรนตัดกันเป็นมุมไม่ดี เป็นพื้นที่ที่เชื่อการอ่านผลต่างของเวลาไม่ได้ หรือเพราะว่ามีเส้นตำบลที่ลอแรนเพียงเส้นเดียวกัน

ตามปกติจัดตั้งให้สถานีซึ่งใช้จังหวะการส่งห้วงคลื่นเดียวกันสองสถานีอยู่ห่างกันประมาณ 200 ถึง 400 ไมล์ โดยมากให้สถานี **master** เดี่ยวหนึ่งสถานีควบคุมสถานี**slave** 2 สถานี โดยให้สถานี **master** อยู่หว่างกลาง วิธีการปฏิบัติเช่นนี้เรียกว่า **double pulsing**

ความแม่นยำของระบบลอแรน ความแม่นยำของเส้นตำบลที่ลอแรน แปรเปลี่ยนไปตามพื้นที่ที่ครอบคลุมของสถานีส่งคู่หนึ่ง ตามรูป 228 นั้น จะเห็นได้ว่า เส้นตำบลที่อยู่ใกล้ชิดกันที่สุดที่เส้นฐานและเมื่อเส้นตำบลที่ยิ่งขยายห่างไกลออกไปจากเส้นฐานแล้ว เส้นตำบลที่ห่างกันมากออกไปทุกที

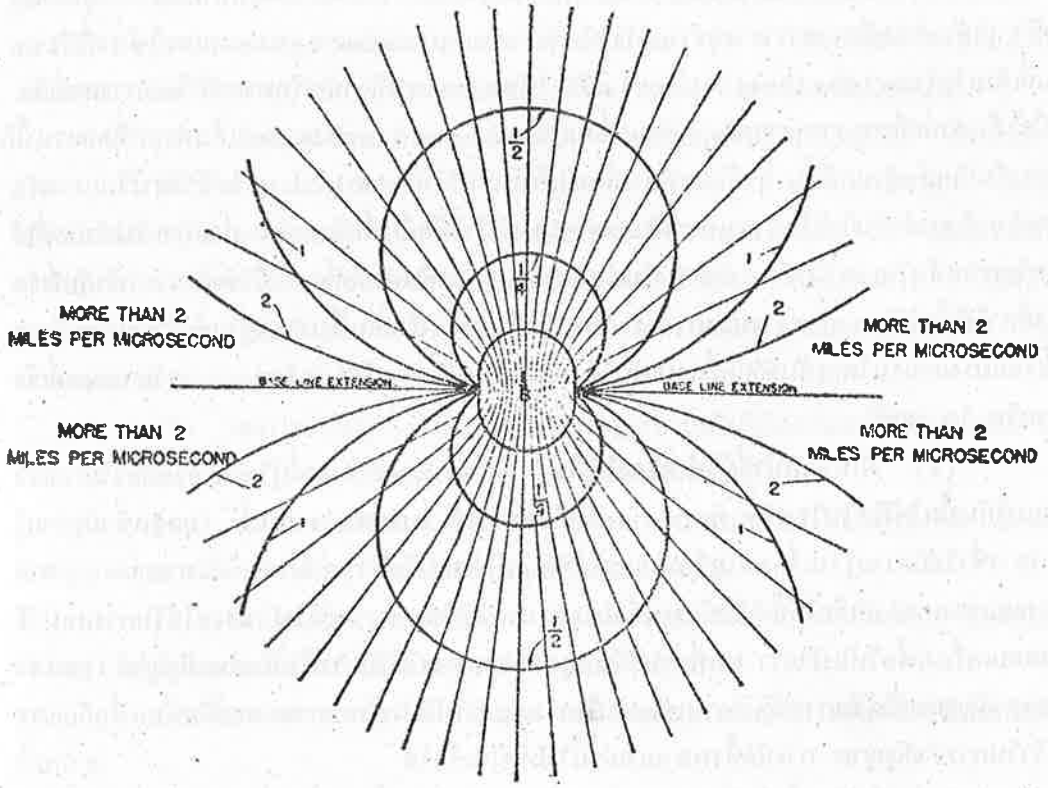
เส้นตำบลที่ยิ่งอยู่ใกล้เส้นฐานมากเพียงไร ก็ยิ่งมีความแม่นยำมากที่สุด เพราะค่าผลต่างของเวลา **1 ms.** นั้น จะแทนระยะทางสั้นกว่า 0.1 ไมล์ แต่เมื่อเส้นตำบลที่อยู่ไกลออกไปจากเส้นฐานดังในรูป 228 นั้นค่าผลต่างของเวลา 1 **ms.** จะแทนระยะทางยาวกว่า 10 ไมล์

โดยทั่วไปเมื่อใช้คลื่นพื้นดิน(**ground waves**)จะหาเส้นตำบลที่ได้ถูกต้อง แม่นยำผิดไม่เกิน 1.5 ไมล์หรือผิดน้อยกว่านี้ในระยะทาง 80% ของบริเวณครอบคลุมของสถานีส่ง คู่นั้น ส่วนเมื่อใช้คลื่นท้องฟ้า(**sky waves**)จะทำให้เส้นตำบลที่มีความเคลื่อนคลาดสูงสุด 5 ถึง 7 ไมล์ สำหรับระยะทาง 80% ของบริเวณครอบคลุมของสถานีคู่หนึ่งความถูกต้องของตำบลที่ จะทวีมากขึ้นในเมื่อใช้เส้นตำบลที่ตั้งแต่สามเส้นขึ้นไปและความถูกต้องแม่นยำของเส้นตำบลที่เหล่านั้น แต่ละเส้นย่อมแล้วแต่ตำบลที่ของเรืออันสัมพันธ์อยู่กับสถานีส่ง ชนิดของคลื่นที่ใช้ และมุมตัดกันของเส้นตำบลที่เหล่านั้น ฯลฯ



รูป 227 ข่ายลอมรามเดือนเมษายน ค.ศ.1948

ถ้าใช้คลื่นพื้นดิน (ground waves) แล้วค่าผลต่างของเวลาที่แท้จริง อันได้จากการอ่านสัญญาณจะถูกต้องแม่นยำผิดไม่เกิน ± 2 ms. สำหรับ 90% ของเวลา แต่ถ้าใช้คลื่นท้องฟ้า (sky waves) ผลต่างของเวลาจะมีความเคลื่อนคลาดไม่เกิน ± 5 ms. สำหรับ 90% ของเวลาในเมื่ออยู่ห่างจากสถานีส่งมากกว่า 800 ไมล์ แต่เมื่อเข้าใกล้สถานีส่งแล้ว ความถูกต้องแม่นยำอันเกิดจากการใช้คลื่นท้องฟ้า (sky waves) ก็จะมีน้อยลง (คือถ้าเข้าใกล้สถานีส่ง ก็มีความเคลื่อนคลาดมากขึ้น) ถ้าเรืออยู่ห่างจากสถานีส่ง 250 ไมล์จะมีความเคลื่อนคลาดถึง ± 20 ms.



รูป 228

ความแม่นยำของเส้นตำบลทิลอแรน ตัวเลขที่ให้ไว้
ตามเส้นโค้งบอกเป็นจำนวนไมล์ต่อผลต่างของเวลาหนึ่งไมโครเซกันด์ (MS)

ฉะนั้นถ้าเรืออยู่ห่างจากสถานีส่งใกล้กว่า 250 ไมล์แล้ว อย่าใช้คลื่นท้องฟ้า

แหล่งกำเนิดอันยิ่งใหญ่ของความเคลื่อนคลาดในการหาที่เรือแบริงลอแรน **(loran fixes)** นั้นก็คือมุมตัดกันของเส้นตำบลที่ลอแรนเป็นมุมเล็ก

ข้อดีของระบบลอแรน ระบบลอแรนมีลักษณะที่ดีเหนือกว่า การเดินเรือวิธีอื่น ๆ อยู่หลายประการ

(1) หาตำบลที่เรือได้เร็ว - เจ้าหน้าที่ผู้ใช้เครื่องที่ชำนาญแล้ว สามารถหาเส้นตำบลที่ลอแรนหนึ่งเส้นได้ ในเวลาไม่ถึงหนึ่งนาทีในเมื่อได้รับคลื่นพื้นดิน **(ground waves)** ที่ดี แต่ถ้าใช้คลื่นท้องฟ้าแล้วจะต้องกินเวลามากขึ้นอีกเล็กน้อย และถ้าอยู่ภายในระยะวิกฤติ **(critical range)** คือระหว่าง 500 และ 700 ไมล์) แล้วจะต้องใช้เวลาหลายนาที การลงที่เรือโดยใช้ลงในแผนที่ลอแรน**(loran chart)**ทำได้เร็วกว่าการใช้ลงด้วยเส้นตำบลที่ ของวัตถุท้องฟ้า (เส้นตำบลที่ทางดาราศาสตร์)แต่ถ้าใช้มาตราลอแรน**(loran tables)**และใช้ลงที่เรือบนแผนที่เดินเรือ**(navigational chart)** แล้วจะต้องเสียเวลาเท่ากันหรือมากกว่าโดยการลงที่เรือโดยใช้เส้นตำบลที่ทางอาราศาสตร์จากตำบลที่สมมุติ **(assumed position)**เส้นตำบลที่ลอแรนนี้ก็เหมือนกันกับเส้นตำบลที่อื่น ๆ คือจะต้องเลื่อนให้เส้นที่หาได้ในเวลาต่าง ๆ ไปข้างหน้า หรือถอยหลังกลับมาตัดกันให้เป็นเวลาเดียวกัน แต่ตามปกติถ้าใช้คลื่นพื้นดินแล้ว ย่อมหาเส้นตำบลที่ได้สองหรือสามเส้นในเวลาใกล้ ๆ กัน จึงไม่จำเป็นต้องเลื่อนเส้นตำบลที่เวลาที่ใช้จด กำกับที่เรือแบริงที่หาได้นั้นใช้เวลากึ่งกลางของการตรวจหาเส้นตำบลที่ ถ้าคลื่นพื้นดินอยู่ในสภาวะปกติแล้วจะหาที่เรือแบริงลอแรนโดยเส้นตำบลที่สามเส้นได้และด้นหนที่มีความรู้ปานกลาง สามารถลงที่เรือได้ภายใน 10 นาที

(2) ฝึกเจ้าหน้าที่ผู้ใช้เครื่องได้เร็ว - การฝึกเจ้าหน้าที่ผู้ใช้เครื่องลอแรน ของนาวีอเมริกันนั้นใช้ฝึกในโรงเรียนพิเศษ 4 วันก็ใช้การได้ ในระยะ 4 วันนี้ บุคคลซึ่งมีความรู้ปานกลางซึ่งไม่มีความรู้ในเรื่องเดินเรือเลยจะได้รับการฝึกสอนให้อ่านค่าผลต่างของเวลา จากเครื่องลอแรนและลงที่เรือได้ทั้งวิธีใช้แผนที่ลอแรน และวิธีใช้มาตราลอแรน ทั้งจะได้รับการสอนวิธีตรวจสอบเครื่องเพื่อให้แน่ใจว่า ผลที่อ่านได้นั้นถูกต้องและจะได้รับการฝึกหัดอ่านสัญญาณ และจำชนิดของสัญญาณที่ได้รับการปฏิบัติงานเพิ่มเติมในเรือจะทำให้มีประสิทธิภาพ และมีความเชื่อถือและรวดเร็วในการจำสัญญาณ การหัดทั้งหลายเหล่านี้ใช้หัดในเรือได้

(3) ไม่ต้องพึ่งพิงลักษณะอากาศ - ระบบลอแรนนี้ใช้ได้เกือบทุกลักษณะอากาศ ถึงแม้ว่าจะมีพายุฝนฟ้าคะนองและมีสภาพอากาศอย่างอื่น ๆ ซึ่งรับวิทยุไม่ได้ก็ตามก็ใช้ระบบลอแรนได้แต่ต้องเสียเวลาบ้างในการจำสัญญาณ นอกจากเสียแต่ว่า เมื่อสภาพของอากาศเลวร้ายแรงที่สุดเท่านั้นเช่นเมื่อมีฟ้าแลบติดต่อกันเกือบตลอดเวลาก็ไม่สามารถที่จะหาผลต่างของเวลาได้

(4) ใช้ได้ทุกเวลา - สถานีส่งลอแรนจะส่งสัญญาณออกอากาศ ติดต่อเนื่องกันตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน ฉะนั้น จึงอ่านสัญญาณลอแรน ได้ทุกเวลาเว้นเสียแต่เมื่อเครื่องกลไกขัดข้องเท่านั้น

(5) ใช้ได้ในระยะไกล - การเดินเรือโดยใช้วิทยุแบบอื่น ๆ มักจะใช้ได้ในระยะจำกัดไม่ห่างจากฝั่งมากเท่าระบบลอแรน เรือเดินสมุทร จะใช้ลอแรนได้ตลอดเส้นทางเรือเดิน ตามสายทางเรือเดินตามปกติ

(6) พื้นแผ่นดินไม่ลดความแม่นยำ - ถึงแม้ว่าระยะทางที่จะรับสัญญาณ ได้ลดลงไปบ้างก็ตาม ในเมื่อห้วงคลื่นสัญญาณเดินผ่านพื้นแผ่นดินไปแต่หาได้ทำให้ความแม่นยำ ลดลงไปไม่ ถ้าได้รับสัญญาณอยู่ตราบใดสัญญาณนั้นจะถูกต้องแม่นยำเสมอ ระยะทางที่คลื่นเดินไปเหนือพื้นแผ่นดินจะทวีมากขึ้น ถ้าเครื่องรับยิ่งอยู่สูงจากพื้นดินมากขึ้น

(7) หาที่เรือแบริงโดยไม่ต้องพึ่งพิงเวลา - การเดินเรือโดยใช้วิธีดาราศาสตร์ นั้น ถ้ามีความเคลื่อนคลาดใด ๆ อันเกิดจากเวลาขึ้นแล้วจะทำให้ที่เรือ ซึ่งหาได้จากการตรวจวัตถุท้องฟ้าเคลื่อนคลาดไปด้วย เพราะว่าวัตถุท้องฟ้าเหล่านี้ต่างเปลี่ยนตำบลที่ในท้องฟ้าเป็นประจำ ค่าผลต่างของเวลาลอแรนของสถานีส่งคู่หนึ่งที่หาได้จะเป็นค่าประจำ เว้นเสียแต่เรือเปลี่ยนตำบลที่ ระบบลอแรนจะใช้เวลาเข้าเกี่ยวข้องเฉพาะแต่เมื่อเรือหรือเครื่องบินเคลื่อนที่ไปเท่านั้น

(8) เดินทางเข้าหาที่หมายได้สะดวก - เมื่อเส้นทางเรือเดินอยู่ใกล้ กับเส้นตำบลที่ลอแรนแล้ว วิธีใช้ระบบลอแรนที่เหมาะให้แล่นเรือ หรือบินไปยังจุดที่หมายปลายทาง แล้วคอยรักษาให้ค่าผลต่างของเวลาคงตัวอยู่เสมอ โดยเปลี่ยนเข็มนิดหน่อยตลอดเวลา ถ้ามีความจำเป็น การปฏิบัติทำนองนี้สถานีส่งคู่หนึ่งจะทำให้ตำบลที่มีความแม่นยำทุกประการที่ต้องการ ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองสัมพันธมิตรได้ใช้วิธีนี้ให้เครื่องบินไปทิ้งระเบิดยังดินแดนของข้าศึก ในที่ซึ่งข่ายลอแรนยังครอบคลุมไปไม่ถึง

(9) งดการส่งวิทยุ - เนื่องจากเรือหรือเครื่องบินไม่ได้ส่งห้วงคลื่นวิทยุออกไป ฉะนั้นในระหว่างสงครามจึงหาค่าผลต่างของเวลาได้ โดยไม่ละเมิดการงดส่งวิทยุ

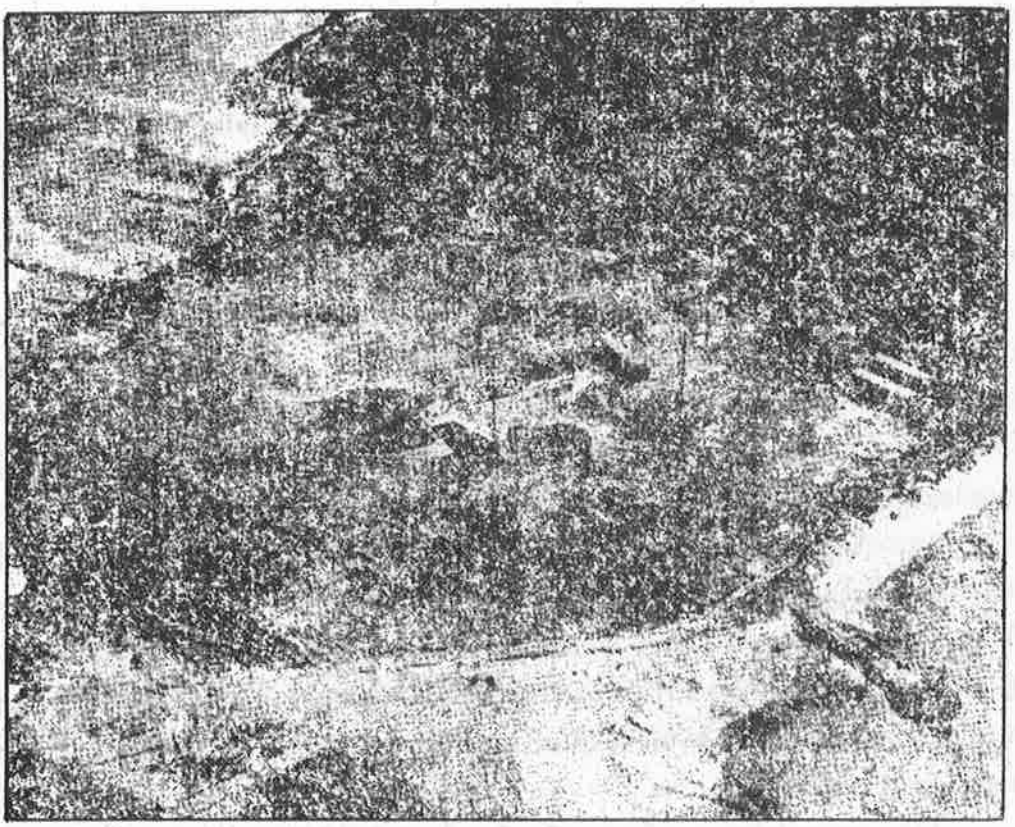
(10) รบกวน(jamming)ได้ยาก - วิธีรบกวนธรรมดาทำให้รับวิทยุไม่ได้ แต่ทว่ายังรับสัญญาณลอแรนได้, จำสัญญาณได้และหาค่าผลต่างของเวลาได้

(11) ปกปิดได้ในเวลาสงคราม - เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการหน่วงเวลา (coding delay) ก็ทำให้ลอแรนใช้ได้จำกัดเฉพาะชาติที่เป็นสัมพันธมิตรกัน

ข้อเสียของลอแรน - ระบบลอแรนก็มีข้อเสียบางประการ เช่นเดียวกับระบบเดินเรือทั้งหลาย

(1) เครื่องกลไกขัดข้อง - ถึงแม้ว่าเครื่องลอแรนจะได้พิสูจน์ให้เห็นว่า มันมีความถูกต้องมั่นใจได้มากก็ตามที เครื่องกลไกก็ยังอาจขัดข้องได้เสมอไม่ว่าจะเป็นเครื่องรับ หรือเครื่องส่งก็ตาม

(2) ข่ายลอแรนมีจำกัด - มีอีกหลายส่วนใหญ่ ๆ ของโลก ที่ข่ายลอแรนยังคลุมไปไม่ถึง และยังมีพื้นที่อีกหลายแห่งที่มีเส้นตำบลที่ลอแรนเพียงเส้นเดียว ในบริเวณอีกหลายแห่งของข่ายลอแรนก็ได้รับเฉพาะแต่คลื่นท้องฟ้า (sky waves) เท่านั้น ภายในข่ายลอแรนเมื่อเรือ



รูป 229 สถานีส่งลอแรนซชนิดหนึ่ง

อยู่ตามแนวเส้นฐานยืดนั้น ค่าผลต่างของเวลาที่ได้ไม่แม่นยำและในที่บางแห่ง จะทำให้เส้นตำบลที่ลอแรนตัดกันเป็นมุมดีไม่ได้

(3) การจำสัญญาณเชื่อไม่ได้เสมอไป - โดยเฉพาะแล้วในระยะวิกฤติ (ระยะระหว่าง 500 และ 700 ไมล์) มักจะจำสัญญาณผิดเสมอ การอ่านค่าผลต่างของเวลา จะผิดไป ถ้าใช้คลื่นพื้นดินจากสถานีหนึ่งกับใช้คลื่นท้องฟ้าจากอีกสถานีหนึ่ง หรือถ้าใช้คลื่นท้องฟ้าทั้งสองคลื่น (คลื่นท้องฟ้าห้วงแรกและห้วงที่สอง) ในเมื่อไม่มีเครื่องหมายพิเศษให้จำได้โดยเฉพาะ - และไม่มีอัตราแก้ให้ไว้ในแผนที่หรือในมาตรา

(4) ต้องมีสถานีส่ง - โดยที่มีข้อดีในการที่ให้มีสัญญาณส่งมายังเรือ หรือเครื่องบินตลอดเวลา โดยที่ทางเรือหรือเครื่องบินไม่ต้องส่งวิทยุเลยนั้นก็มีข้อเสียในเรื่องจัดตั้งสถานีส่ง บนฝั่ง และการระวังรักษาสถานีส่งซึ่งทำให้รัฐบาลต้องใช้เงินมาก นอกจากนี้แล้ว สถานีส่งนี้อาจชำรุดเสียหายเนื่องจากลมฟ้าอากาศได้ หรืออาจถูกข้าศึกยึดคร่าห์หรือทำลายในระหว่างสงครามได้

การรบกวน(Interference) สัญญาณลอแรนได้รับการรบกวน เช่นเดียวกับสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ แต่สัญญาณวิทยุแบบส่วนมากนั้นปรากฏในลักษณะการได้ยินเสียง ส่วนสัญญาณลอแรนปรากฏในลักษณะการให้เห็นภาพ การรบกวนมีดังต่อไปนี้

สถิต(static)ปกติปรากฏให้เห็นเป็นด้นหญ้า(grass)อยู่บนรอยขีด ถ้าสัญญาณมีแรงพอที่จะปรากฏให้เห็นอยู่เหนือด้นหญ้าแล้วก็จะอ่านค่าผลต่างของเวลาได้ ฟ้าแลบและการส่งคลื่นต่อเนื่อง (CW) โดยวิทยุทำให้บังเกิดการรบกวนขึ้น ทำให้ไม่เห็นสัญญาณลอแรน ไปชั่วขณะหนึ่ง แต่ถ้าใช้ความพยายามและอดทนแล้วก็จะเห็นสัญญาณได้ในระหว่างที่มีการรบกวน

เรดาร์ทำให้เกิดสัญญาณตามกันมาเป็นอนุกรมมีลักษณะคล้ายคลึงกับ สัญญาณลอแรน แต่สัญญาณ เร ดาร์นั้นสังเกตได้ง่ายโดยที่มีช่องว่างสม่ำเสมอข้ามรอยขีด(traces)และไม่รบกวนในการอ่านค่าผลต่างของเวลา

นอกจากนี้การรบกวนยังมีอีก 2 แบบซึ่งเกิดขึ้นจากคลื่นลอแรนเอง แบบสองแบบนี้เรียกว่า **spillover** และ **ghost pulses**.

Spillover -เมื่อเรืออยู่ใกล้สถานีลอแรนแห่งหนึ่งและเทียบเสียง (tune) เครื่องเพื่อรับสัญญาณจากสถานีอื่นซึ่งมี **channel** (ความยาวคลื่น) ต่างกันอาจจะมีสัญญาณเบา ๆ ของสถานีที่อยู่ใกล้ปรากฏขึ้นเช่นเดียวกับเมื่อฟังวิทยุกระจายเสียงบางคราว จะได้ยินเสียงของสถานีที่อยู่ใกล้ที่มีกำลังแรงแทรกเข้ามาเบา ๆ ขณะที่กำลังเทียบเสียงหาสถานีที่อยู่ไกล ซึ่งใช้ความยาวคลื่น (wave length)ต่างกับสถานีที่อยู่ใกล้เพียงเล็กน้อย ถ้าหากได้ขยายความถี่ (frequency) ของหน้าปัดเครื่องรับวิทยุกระจายเสียงออกไปอีกสักเล็กน้อยแล้ว สัญญาณลอแรนที่ใช้ ช่วงความถี่ (frequency channel) 1 (1950 kc) จะปรากฏเป็นเสียงพึมต่ำ ๆ ขึ้นที่ขีดความถี่ 195 ของหน้าปัดเครื่องรับวิทยุสัญญาณลอแรนที่ใช้**frequency channel 2** จะเข้าไปได้ยินในเครื่องรับตรงขีดความถี่ 185 ส่วน**frequency channel 3** จะเข้าที่ขีดความถี่ 190 และ**channel 4** ที่ขีด 175 ตามนี้จะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ไม่สู้ต่างกันมากนัก ฉะนั้น เมื่อเทียบสัญญาณลอแรนดังกล่าวแล้วจึงอาจผิดได้ง่าย เจ้าหน้าที่ประจำเครื่องลอแรนจะต้องคอยระมัดระวังการรบกวน ที่กล่าวแล้วนี้ให้มากในเมื่อเรือเข้าไปอยู่ในบริเวณซึ่งคาดว่าจะมีการรบกวนชนิด**spillover** เกิดขึ้นถ้าสงสัยว่าสัญญาณที่ได้รับจะมี**spillover**แล้วให้เลื่อน (เปลี่ยน) ความถี่ไปหาความถี่ของสถานี ที่อยู่ใกล้ ถ้าสัญญาณที่ได้รับเป็น **spillover** ก็จะปรากฏเห็นภาพชัดขึ้นและสัญญาณที่ถูกต้อง (ความถี่ถูกต้อง) ก็จะหายไป

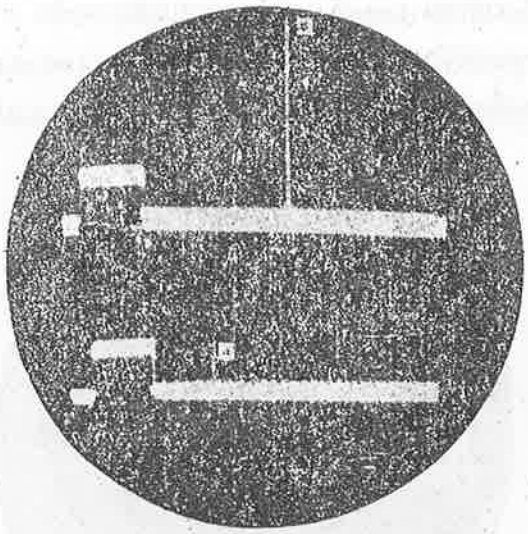
การรบกวนชนิด **ghost pulses** จะปรากฏขึ้นเมื่อเทียบเสียงเครื่องรับลอแรน เข้าหาจังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐานที่ผิด สัญญาณจะปรากฏขึ้นเหมือนสัญญาณลอแรนธรรมดา แต่จะไม่อยู่นิ่ง (คือปรากฏแวบ ๆ วับ ๆ ขึ้น) และอาจสังเกตเห็นได้ว่ารอยขีด(trace)ของสัญญาณที่หน้าปัดนั้นไม่ขาดตอนกันตรงที่ **pip.** คือมันต่อเป็นเส้นเดียวกัน แต่ถ้าเทียบเสียงเข้ากับจังหวะ

การส่งห้วงคลื่นที่ถูกต้องแล้วรอยขีดของสัญญาณจะปรากฏขาดตอนที่ฐานของ **pip. ghost pulses** ใช้เทียบกันได้แต่ผลต่างของเวลาที่หาได้ไม่มีประโยชน์อย่างใด

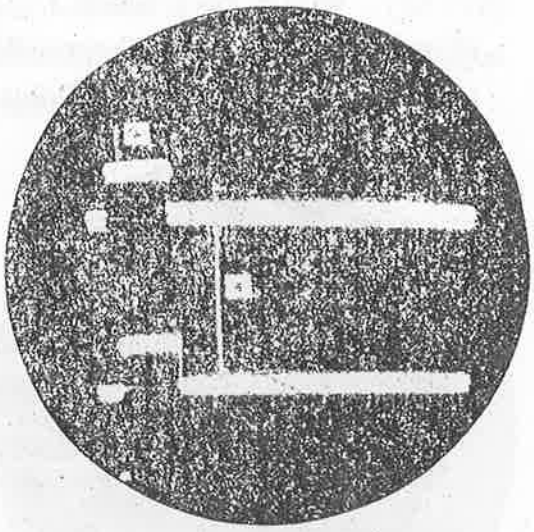
Blinking การส่งสัญญาณลอแรนนั้นต้องทำให้สถานีส่งทั้งคู่ทำงานตามกัน **(synchronization)** ทั้งนี้ต้องคอยเตือนไว้เป็นการประจำ และถ้าการส่งห้วงคลื่นสัญญาณ ไม่ถูกต้องตามกำหนดเวลาเช่นผิดไปสองไมโครเซกันด์แล้วจะทำให้สัญญาณเกิดอาการ **blinking** ขึ้น เพื่อเป็นการเตือนเจ้าหน้าที่เครื่องรับสัญญาณลอแรน ทั้งนี้จะเป็นเฉพาะแต่สัญญาณของสถานีส่งสถานีเดียว หรือทั้งสองสถานีก็ได้อาการ **blinking** ที่ใช้กันอยู่นั้นมีสองแบบด้วยกันคือ แบบที่หนึ่งทำให้สัญญาณปรากฏเห็นเป็นรูปขึ้นแล้วหายไป **(on and off)** ในชั่วระยะเวลาอันสั้นอีกแบบหนึ่งทำให้สัญญาณเคลื่อนไปทางขวาและซ้ายอาการ **blinking** ทั้งสองแบบนี้ต้องทำให้ได้เวลาสม่ำเสมอกัน ในเมื่อมีอาการ **blinking** นั้นไม่ต้องหาค่าผลต่างของเวลา ตามปกตินั้นแก้ให้สถานีส่ง ๆ สัญญาณให้ทำงานตามกันได้ภายในสองสามนาทีแล้ว ก็จะหาค่าผลต่างของเวลาได้ต่อไป

การเทียบสัญญาณลอแรน(Matching loran signals) เมื่อจะหาค่าผลต่าง ของเวลาต้องเทียบสัญญาณเสียก่อน ขั้นแรกต้องทำให้สัญญาณที่จะหาค่าผลต่างนั้น อยู่นิ่งกับที่บนรอยขีด **(trace)** โดยแต่งเครื่อง **indicator** ของเครื่องรับให้ถูกต้องกับจังหวะการส่งห้วงคลื่น เมื่อแต่งให้สัญญาณอยู่นิ่งกับที่บนรอยขีดแล้วสัญญาณจากสถานีลอแรนสองสถานี ซึ่งมีจังหวะการส่งห้วงคลื่นเท่ากันจะปรากฏอยู่นิ่ง หรือเกือบ ๆ อยู่นิ่งกับที่ และในขณะเดียวกันนั้น สัญญาณของสถานีอื่น ๆ ซึ่งมีจังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐานเท่ากัน จะปรากฏเคลื่อนไปทางขวาหรือทางซ้าย **ghost oulses** จะปรากฏขึ้นจากสัญญาณที่มีอัตราจังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐานต่างกัน ไม่ต้องคำนึงถึงการรบกวนแบบนี้และการเคลื่อนตัวของสัญญาณที่มีอัตราจังหวะการส่งห้วงคลื่นมูลฐาน อันเดียวกัน ถ้าสงสัยว่าสัญญาณที่รับนั้นมี **spillover** ก็ให้เทียบความถี่เสียใหม่และคอยดูว่า สัญญาณทวีความเข้มขึ้นหรือไม่

เมื่อได้แต่งให้สัญญาณหยุดนิ่งอยู่กับที่แล้ว จงสังเกตดูตำแหน่งที่ของสัญญาณซึ่งสัมพันธ์กันอยู่บนรอยขีด ถ้าสัญญาณบนรอยขีด **(trace) B** อยู่ทางซ้ายของสัญญาณ บนรอยขีด **A** (รูป 230) แล้วให้เลื่อนสัญญาณไปทางขวาหรือซ้ายโดยใช้สวิทช์ ซึ่งจัดไว้เฉพาะสำหรับการนี้ จนกระทั่งสัญญาณได้เปลี่ยนที่กันและสัญญาณ **A** หรือสัญญาณของสถานี **master** ขึ้นไปอยู่ บนแท่นใกล้ขอบซ้ายของรอยขีด **A** (รูป 231)

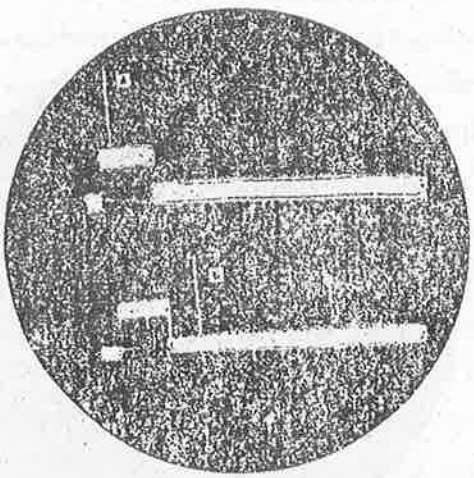


รูป 230 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 1

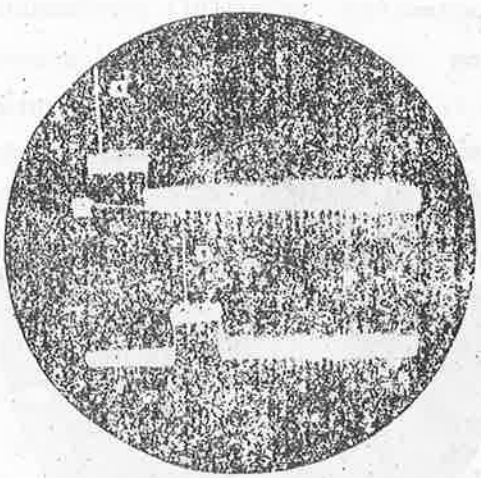


รูป 231 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 2

ถ้าจำเป็นต้องปรุงปรับ **amplitude balance** จนกระทั่งให้สัญญาณทั้งสองปรากฏมีความสูงประมาณเท่ากัน (รูป 232) แล้วหมุนหน้าปัด **coarse delay** เลื่อนแท่น **B trace** ให้ไปอยู่ใต้สัญญาณของสถานี **slave** หรือสัญญาณ **B** ให้สัญญาณ **B** ปรากฏอยู่บนแท่นประมาณในตำแหน่งที่สัมพันธ์อันเดียวกันกับที่สัญญาณ **A** อยู่บนแท่นของ **A** (รูป 233)

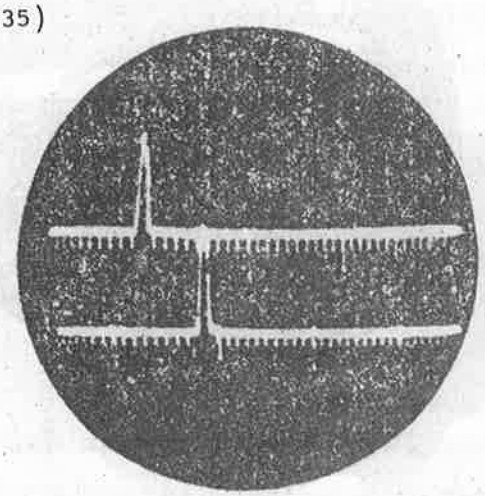


รูป 232 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 3

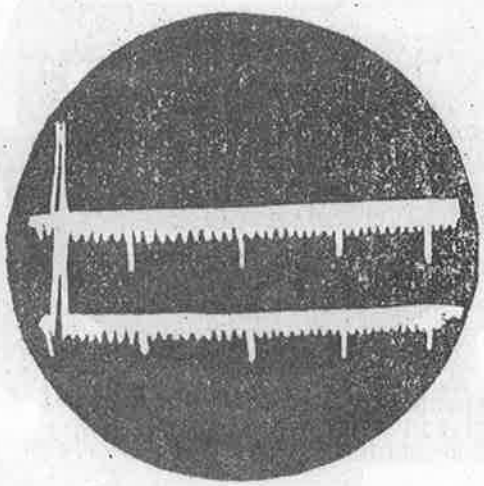


รูป 233 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 4

ต่อไปใช้ **fast sweep 3** แล้วแท่นบน **trace** ทั้งสองจะขยายออกเต็ม ความกว้างของจอ **(screen)** และสัญญาณจะมีลักษณะดังในรูป 234 แล้วหมุนหน้าปัด **fine delay** เลื่อนสัญญาณอันล่างไปอยู่ใต้สัญญาณอันบนและเลื่อนสัญญาณทั้งสองนั้นไปอยู่ทางด้านซ้าย (รูป 235)

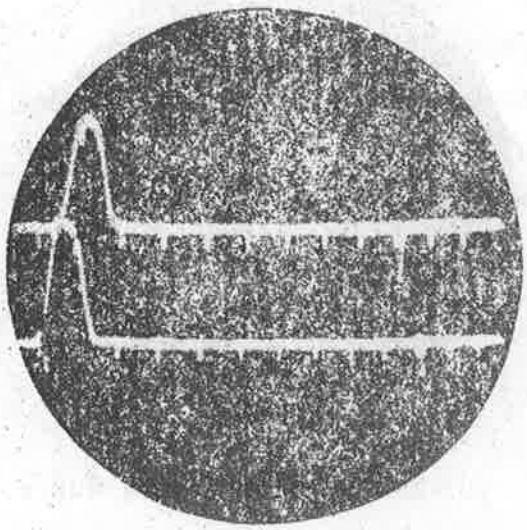


รูป 234 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 5

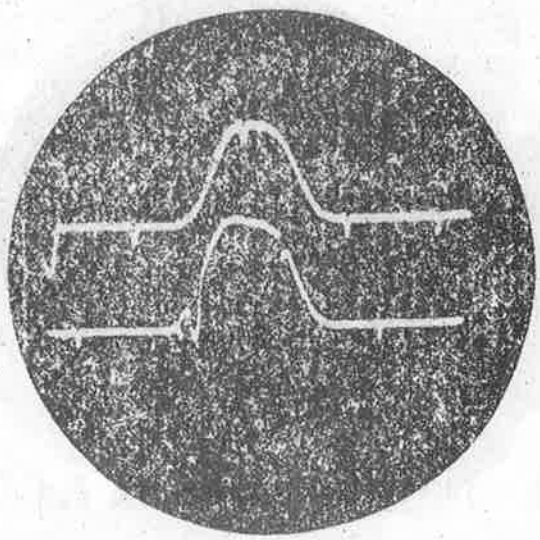


รูป 235 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 6

ใช้ **fast sweep 2** แล้วส่วนทางซ้ายของแท่นจะขยายโตเต็มความกว้างของจอ แล้วเลื่อนสัญญาณไปทางด้านซ้าย (รูป 236) อีกใช้ **fast sweep 1** แล้วจะทำให้ตอนซ้ายของ **trace** ขยายขึ้นอีก และถ้าจำเป็นให้เลื่อนสัญญาณอันล่างไปอยู่ใต้สัญญาณอันบน (รูป 237)

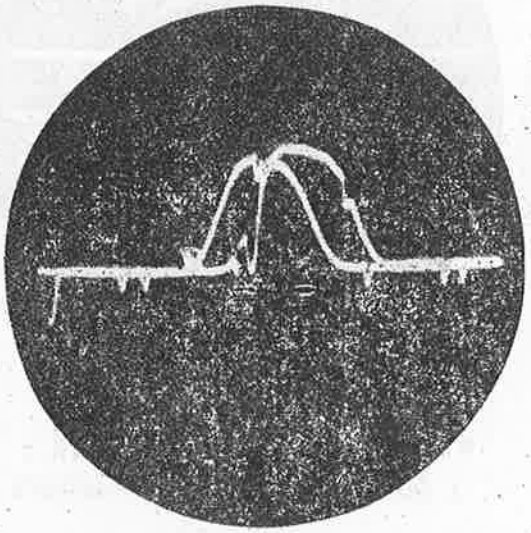


รูป 236 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 7

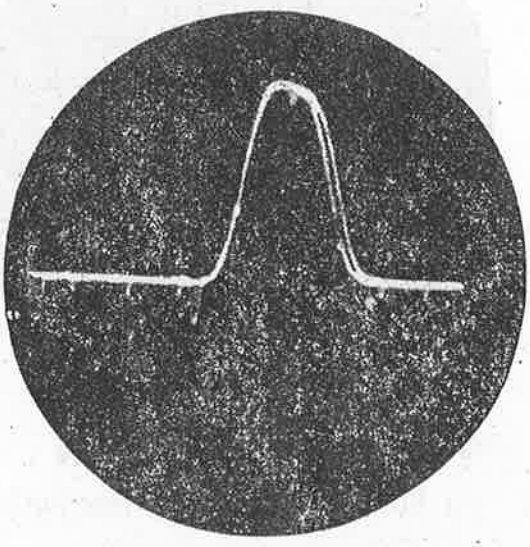


รูป 237 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 8

เลื่อนให้ trace ทั้งสองมาทับกันโดยใช้สวิทช์ซึ่งจัดไว้สำหรับการนี้ (รูป 238) ปรุงปรับ amplitude balance จนกระทั่งสัญญาณทั้งสองสูงเท่ากันและแต่ง gain จนสัญญาณทั้งสองสูงประมาณ $1\frac{1}{2}$ นิ้ว เลื่อนด้านซ้ายของสัญญาณทั้งสองให้มาทับกัน (รูป 239)



รูป 238 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 9



รูป 239 เทียบสัญญาณลอแรน ขั้นที่ 10

การเทียบสัญญาณเพื่อที่จะทำให้สัญญาณมาอยู่ในตำแหน่งอันสัมพันธ์ บนแท่นทั้งสองเหมือนกันแล้วจึงวัดระยะห่างระหว่างแท่นทั้งสอง

วิธีอ่านค่าผลต่างของเวลา ให้จดเวลาและปิดเครื่องรับ (ไม่ใช่เครื่อง indicator) trace จะปรากฏดังในรูป 240 ซึ่งจะปรากฏเห็นขีดหมาย 10 ms, 50 ms, และ 500 ms จากขีดหมาย 50 ms ที่ยื่นลงข้างล่างขีดใดขีดหนึ่งบน trace เส้นล่างให้นับขีดหมาย 10 ms ที่ยื่นขึ้นข้างบน ๆ trace เส้นล่างไปทางขวาจนถึงจุดที่อยู่ตรงกับขีดหมาย 50 ms ขีดที่ถัดไปบน trace เส้นบน การอ่านค่านี้ให้อ่านเป็นไมโครเซกันด์ที่ใกล้ที่สุด ในกรณีที่แสดงไว้ในรูป 240 นั้นอ่านค่าผลต่างของเวลาในขั้นนี้ได้ 24 ms (2.4 ช่อง ๆ ละ 10 ms) ถ้ามีขีดหมาย 500 ms อยู่บน trace เส้นล่างดังแสดงไว้ในรูป 240 ด้วยแล้ว ก็ให้ใช้ขีดหมาย 50 ms ขีดอื่นเป็นจุดเริ่มต้น การนับจะเริ่มต้นนับจากขีดหมาย 50 ms ขีดใดก็ได้นอกจากขีดหมาย 50 ms อันที่มีขีดหมาย 500 ms ร่วมอยู่ด้วย เปลี่ยนใช้ fast sweep (รูป 241) แล้วนับจำนวนขีดของขีดหมาย 50 ms ในระหว่างขีดหมาย 500 ms บน trace เส้นล่างและขีดหมาย 500 ms

ขีดที่ถัดไปทางขวาบน trace เส้นบน เศษส่วนสุดท้ายยังไม่ต้องนับ เพราะว่าได้นับไว้ในการอ่านค่าผลต่างของเวลาขั้นที่ 1 แล้ว ในรูป 241 นั้นจะอ่านค่าผลต่างของเวลาได้ 8 ช่องกว่า คือได้ 8×50 ms=400 ms +, เครื่องหมาย + คือบวกด้วย 24 ms ของการอ่านขั้นที่ 1

เพราะนอตยันติดกับก้นหม้ออยู่ นอตจึงเดินเข้าไปไม่ได้ เมื่อก้านเกลียวเดินออกมา ทำให้แผ่นไดอะแฟรมถูกดึงแอ่นออกตามมาด้วย ทำให้เนื้อที่ภายในหม้อเข็มมีมากขึ้น ครั้งเมื่อคลายนอตที่สวมไว้ก็ทำให้ก้านเกลียวเดินเข้าไปข้างในและดันให้แผ่นไดอะแฟรมเข้าไปภายใน ทำให้เนื้อที่ภายในหม้อเข็มน้อยลงเลยดันให้น้ำล้นออกมา ครั้งเมื่อปิดปลั๊กสำหรับบรรจุน้ำแล้ว และคลายนอตออกจนหลุด แผ่นไดอะแฟรมก็ไปดันน้ำไว้ ทำให้เกิดมีกำลังดันอยู่ภายในหม้อเข็ม)

หมายเหตุ นอตที่ใช้ประกอบกับแผ่นไดอะแฟรมขยายตัวนั้น สำหรับเข็มทิศบางแบบมีที่เก็บนอตไว้ที่ฝาปิดหม้อเข็ม และบางแบบมีที่เก็บอยู่ในหีบหม้อเข็มทิศ

โดยมากแล้วการที่มีฟองอากาศปรากฏอยู่ในหม้อเข็ม ย่อมแสดงให้เห็นว่าหม้อเข็มรั่ว ฉะนั้นเข็มทิศที่เสื่อมคุณสมบัติเช่นนี้ควรส่งคืนเสียในโอกาสแรกและรับเข็มใหม่ไปแทน

เข็มทิศที่จ่ายให้นั้นต้องมีน้ำบรรจุไว้เต็มหม้อ เฉพาะประเทศร้อน ใช้น้ำกลั่นล้วน ส่วนประเทศหนาวใช้น้ำกลั่นกับแอลกอฮอลผสมกับ การที่ต้องเติมแอลกอฮอล ก็เพื่อกันมิให้น้ำแข็ง (คือทำให้ลดจุดน้ำแข็งของส่วนผสมของน้ำในหม้อเข็มลง)

เข็มทิศแม่เหล็กเป็นอุปกรณ์ที่ทำง่าย และไว้ใจได้แม้ว่าจะมีสรรพสิ่งใด บังเกิดขึ้นแก่เรือ เช่น เครื่องจักรชำรุดหรือขัดข้อง ไฟไหม้ เรือชนกัน การยุทธ์ ฯลฯ ก็ตามที เข็มทิศแม่แม่เหล็กก็ยังคงใช้การได้เป็นส่วนมากเว้นเสียแต่ตัวเข็มทิศเองถูกทำลาย หรือได้รับความเสียหายอย่างหนักเท่านั้น

กฎข้อบังคับ

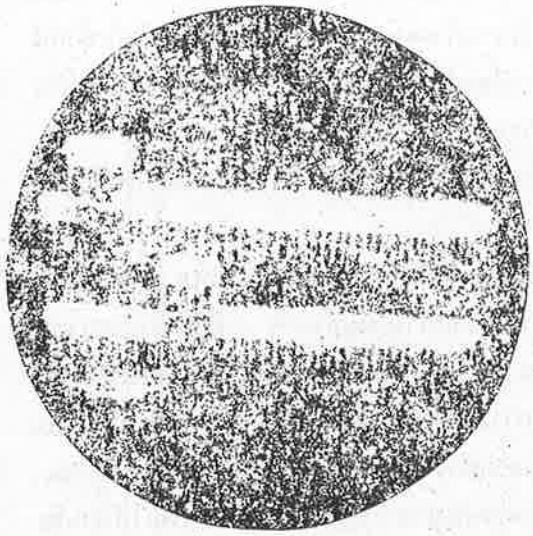
ที่จะต้องพิจารณาในการจัดวางโครงเรือและติดตั้งส่วนประกอบในบริเวณเข็มทิศ และโครโนเมตร

1. ในการออกแบบขั้นแรกในการต่อเรือจะต้องแสดงที่ตั้งเข็มทิศไว้ ให้ปรากฏในแปลนสร้างเรือ และเมื่อกรมอุทกศาสตร์เห็นชอบด้วยแล้วจึงให้เสนอต่อไปยังกองทัพเรือ

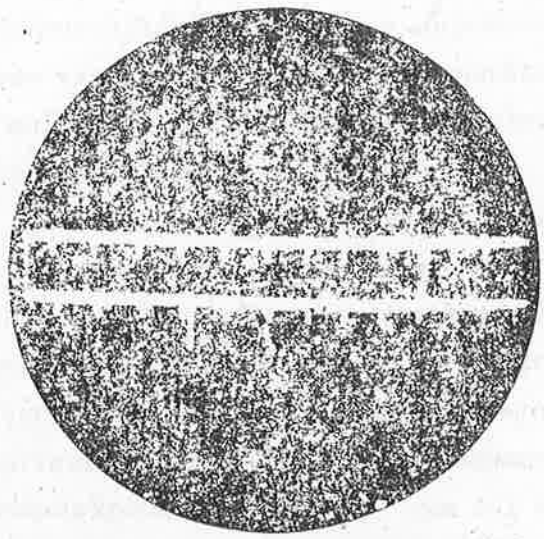
2. เข็มทิศเรือนเอก (หรือเรียกสั้น ๆ ว่าเข็มเอก) จะต้องติดตั้งอยู่ ณ ที่ที่ใช้ทำการเดินเรือ และแปรกระบวนและทั้งต้องเป็นที่ที่มีสิ่งกีดขวางในการเห็นวิวน้อยที่สุดที่จะทำได้

3. ห้ามมีเหล็กธรรมดาหรือเหล็กกล้า นอกจากสิ่งที่ไม่เป็นธาตุแม่เหล็ก ติดตั้งอยู่ภายในระยะ 10 ฟุต จากเข็มทิศเรือนเอกเว้นเสียแต่เรือลำนั้น ๆ มีเข็มทิศไยโรสองเรือน ในเรือนเหล็กเหล่านี้ยอมให้สร้างดาดฟ้าเหล็กกล้าและแผ่นเหล็กเบื้องบนเหนือศีรษะ มีความหนาถึง 1 นิ้วได้ด้วยวัตถุซึ่งมีโคเอฟฟิเซียนต์ μ ไม่มากเกิน 100 (ดูตำราดิวิเอชั่นของเข็มทิศว่าด้วยโคเอฟฟิเซียนต์ μ)

4. บรรดาปลายสุดของมวลเหล็กธรรมดา หรือเหล็กกล้าที่ยืดได้ จะต้องให้อยู่ห่างจากเข็มทิศให้มากที่สุดที่จะทำได้ ปล่องอันใกล้ที่สุดไม่ควรอยู่ใกล้กว่า 32 ฟุต บรรดามวลเหล็ก



รูป 242
อ่านค่าผลต่างของเวลาลอแรน ขั้นที่ 3



รูป 243
อ่านค่าผลต่างของเวลาลอแรน ขั้นที่ 4

ให้พึงสังเกตว่ากระบวนการเทียบสัญญาณและการอ่านค่าผลต่างของเวลานั้น ก็คือการแต่งให้สัญญาณอยู่ในตำแหน่งที่อันสัมพันธ์เท่า ๆ กันบนแท่นทั้งสอง คือถ้าสัญญาณ **A** อยู่บนแท่น **A trace** ห่างจากริมด้านซ้ายของแท่นเท่าใด ก็ต้องแต่งให้สัญญาณ **B** อยู่บนแท่น **B trace**ห่างจากริมด้านซ้ายของแท่นเป็นระยะเท่ากัน แล้วจึงอ่านวัดระยะระหว่างแท่น ทั้งสองนั้นเพื่อหาผลต่างของเวลา

เครื่อง **indicator** ลอแรนแบบใหม่ที่สุดนั้นใช้อ่านผลต่างของเวลาบนหน้าปัด จึงไม่ต้องอ่านตามลำดับขั้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

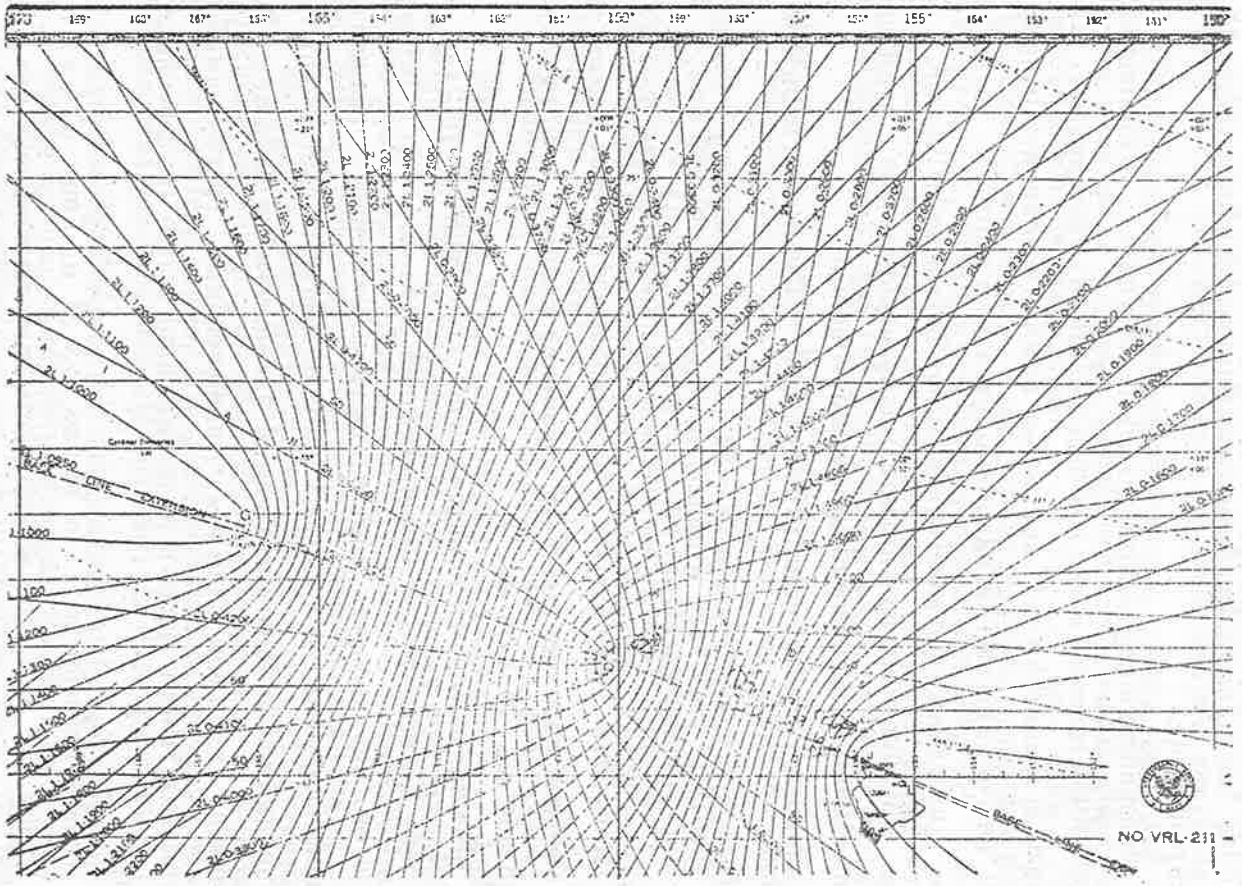
มาตราลอแรน(Loran tables) กรมอุทกศาสตร์อเมริกัน ได้จัดทำมาตราลอแรนขึ้นสำหรับขีดเส้นตำบลที่ลอแรนลงบนแผนที่เดินเรือหรือแผ่นจดที่เรือ **(plotting sheet)** โดยตรง มาตราลอแรนเหล่านี้ได้แก่ **H.O. 221 Vols. I** และ **II** สำหรับมหาสมุทรปาซิฟิก และ **H.O. 221-A 221-B 221-C 221-D** และ **221-E** สำหรับน่านน้ำปาซิฟิกและอาเซียติก ตัวเปลี่ยนแปรที่ไม่พึ่งพิงสำหรับใช้เปิดมาตราลอแรนนี้ได้แก่ ค่าผลต่างของเวลาลอแรน (ถ้าจำเป็นก็ต้องแก้อัตรา **sky wave** เสียก่อน) ได้ให้ไว้ละเอียดถึง 20 **ms.** หรือ 50 **ms.** และละติจูดหรือลองจิจูดซึ่งพึ่งพิงอยู่กับทิศของเส้นตำบลที่ค่าที่ให้ไว้ในมาตราลอแรน ได้ให้ไว้ทุก
หรือ 1 ของละติจูดและลองจิจูดซึ่งพึ่งพิงอยู่กับจำนวนความโค้งของเส้นตำบลที่

ถึงแม้ว่าจะให้รายละเอียดไว้เป็นส่วนมากแล้วก็ตาม การทดลองตรวจหาระยะสำหรับเครื่องจักรทุกชนิดนั้น เป็นสิ่งที่ไม่สามารถจะทำได้ ฉะนั้น ถ้าหากว่าในรายการละเอียดนั้นไม่ได้กล่าวเฉพาะเครื่องใดไว้ หรือกล่าวไว้แต่ไม่ได้กำหนดระยะปลอดอันตรายให้ไว้แล้ว ให้ถือเอาระยะหยาบ ๆ ต่อไปนี้ไปใช้

รายการเครื่องไฟฟ้า	ระยะห่างอย่างต่ำที่สุดจาก	
	เข็มทิศเรือนเอก	เข็มทิศในหอบังคับการชั้นล่าง
	ฟุต	ฟุต
เครื่องยนต์ขนาดเล็กต่ำกว่า 5 แรงม้า	12	15
เครื่องยนต์จ่ายกระแสไฟ, เครื่องเปลี่ยนกระแสไฟ, เครื่องแปลงไฟชนิดหมุน (Motor generators. alternators, rotary converters)	15	20
ไดนะโม	40	50

แผนที่เดินอากาศลอแรนมหาสมุทรปาซิฟิก

LORAN PACIFIC AIRWAYS PLOTTING CHART



รูป 244 ส่วนหนึ่งของแผนที่ลอแรน

วิธีขีดเส้นตำบลที่ลอแรนโดยใช้แผนที่ การเขียนเส้นตำบลที่ลอแรนนั้น ให้เพียงแต่เขียนส่วนหนึ่งของเส้นตำบลที่ลงใกล้ ๆ กับที่เรือรายงาน (D.R.) โดยเทียบหาค่าละเอียด เอาระหว่างเส้นตามความจำเป็น ถ้าหากว่าจะต้องเลื่อนเส้นตำบลที่ไปข้างหน้า ก็ให้ทำไปอย่างปกติเหมือนที่ใช้กันอยู่ ในการเลื่อนเส้นตำบลที่ตามธรรมดาเขียนเวลากำกับเส้นตำบลที่ทั้งสองไว้ เช่นเดียวกับเส้นตำบลที่อื่น ๆ

เส้นตำบลที่ที่ปรากฏอยู่บนแผนที่ลอแรนนั้นเป็นเส้นตำบลที่ ซึ่งเกิดโดยผลต่างของเวลาสำหรับคลื่นพื้นดิน (ground waves) ถ้าหากใช้คลื่นท้องฟ้า (sky waves) เทียบแล้วจะได้ค่าการอ่านเวลาผิดแผกไปเพราะว่า sky waves ต้องเดินมาตามระยะทางที่ไกลกว่า ground waves เดิน ขอบเขตของความยาวได้สัดส่วนผกผันกับระยะทางจากสถานีส่ง ฉะนั้นถ้าหากใช้ sky waves แล้วจะต้องเอาอัตราแก้เข้าแก้เสียก่อนที่จะขีดเส้นตำบลที่ลงในแผนที่ อัตราแก้ sky waves มีให้ไว้ในแผนที่ตรงจุดตัดกันของเส้นละติจูดและเส้นลองติจูด การเทียบหาอัตราแก้ใช้เทียบหาเอาด้วยนัยน์ตา สำหรับพื้นที่ซึ่งจะเขียนเส้นตำบลที่นั้น

นักเดินเรืออากาศส่วนมากนิยมใช้ขีดเส้นตำบลที่ ลงในแผนที่เพราะเป็นวิธีที่ทำได้เร็วและใช้ง่าย

ตัวอย่าง 1 เวลา 1130 ตำบลที่รายงานของเครื่องบินลำหนึ่งอยู่ที่ แลต. 23° 26′ น., ลอง. 159° 46′ ตก. ได้รับสัญญาณลอแรนติดต่อเนื่องกันดังต่อไปนี้ 2LO T_G 3773, 2L1 T_G 4735 { 2LO T_G 3773 หมายความว่า "อ่านค่าผลต่างของเวลามาถึงของ ground waves ของสถานีซึ่งใช้อัตราจังหวะการส่ง 2LO ซึ่งใช้ grequency channel 2 และช่วงระยะเวลาในการส่ง 40,000 ms. ได้ 3773 ms."}

ให้ขีดเส้นตำบลที่และหาตำบลที่เครื่องบินเวลา 1300 ใช้แผนที่ในรูป 244

วิธีทำ ลงตำบลที่รายงาน เทียบหาเส้นตำบลที่ 3773 ms. เอา ในระหว่างเส้นตำบลที่ 3700 ms. และ 3800 ms. แล้วขีดส่วนหนึ่งของเส้นตำบลที่นี้ลง เขียนเวลา 1130 ลงกำกับไว้บนเส้นนี้และเขียน 2LO T_G 3773 ไว้ได้เส้น และเขียนเส้นตำบลที่ของ 2L1 T_G 4735 และเขียนกำกับเส้นตำบลที่โดยวิธีเดียวกันลงในแผนที่ จุดตัดกันของเส้นตำบลที่ทั้งสอง เป็นตำบลที่ของเครื่องบินเวลา 1130 เขียน "1130 Fix." กำกับที่จุดตัดกันนั้น (การขีดในแผนที่ตัวอย่างนั้นให้ใช้ความระมัดระวังให้มาก และอย่าคาดว่าจะมีความแม่นยำมากนัก เพราะแผนที่นั้นมีมาตราส่วนเล็กมาก)

ตำบลที่ของเครื่องบินเวลา 1130 ได้ แลต. 23° 22′ น., ลอง. 159° 45′ ตก.

ตัวอย่าง 2 เวลา 2100 ตำบลที่รายงานของเครื่องบินลำหนึ่งอยู่ที่ แลต. 29° 38′ น., ลอง. 157° 05′ ตก. เครื่องบินแล่นเข็ม 138° อัตราเร็วเหนือพื้นดิน (ground speed) 240 นอต ได้รับสัญญาณลอแรน ดังต่อไปนี้

2112 : 2LO T_S 2861

2120 : 3LO T_S 4086

ให้ขีดเส้นตำบลที่และหาตำบลที่ของเครื่องบินเวลา 2120 ใช้แผนที่รูป 244

วิธีทำ ลงตำบลที่รายงานเวลา 2100 แล้วขีดเข็ม 318° ลงหาตำบลที่รายงาน เวลา 2112 และเวลา 2120 ใช้ตำบลที่รายงานเวลา 2112 เทียบหาอัตราแก้ **sky wave** เอาด้วย นัยน์ตาให้เทียบหาอัตราแก้เอาจากจุดตัดกันที่ใกล้ที่สุดที่ แลต. 30° น.. ลอง. 155° ตก. จะได้ อัตราแก้ **sky wave** เท่ากับ + 1 **ms.** อัตราแก้สำหรับผลต่างของลองจิจูดได้เท่ากับ $\frac{1}{4}$ (9-1) =+ 2 **ms.** และสำหรับผลต่างของละติจูดได้ $\frac{1}{6}$(-18-1) = -3 **ms.** ฉะนั้น อัตราแก้รวม ทั้งหมดได้ +1 **ms.** +2 **ms.** -3 **ms.** =0 **ms.** ฉะนั้นค่าผลต่างของเวลาที่ถูกต้อง สำหรับขีดเส้น ตำบลที่เป็น 2861 **ms.** เขียนเส้นตำบลที่นี้ลงในแผนที่โดยวิธีเดียวกับที่กล่าวไว้ ในตัวอย่าง 1 เขียนเวลากำกับไว้บนเส้นและเขียน **2LO T_S 2861(±0)** ไว้ใต้เส้น เลื่อนเส้นตำบลที่นี้ไปใน ทิศ 138° ให้ได้ระยะทาง 32 ไมล์ (8×4) แล้วเขียนเวลาและตัวเลขกำกับไว้ เช่นที่ได้กล่าว มาแล้ว

ใช้ตำบลที่รายงานเวลา 2120 หาอัตราแก้ **sky wave** และขีดเส้นตำบลที่ ตามวิธีที่ ได้กล่าวมาแล้ว อัตราแก้รวมทั้งหมดของ **sky wave** ของค่าผลต่างของเวลาอันที่สองนี้ได้ +5 **ms.** -1 **ms.** +7 **ms.** =+11 **ms.** เขียนเส้นตำบลเส้นนี้ลงแล้วจะตัดกับเส้นตำบลที่ เลื่อนเวลา 2112 เขียนเวลากำกับไว้บนเส้นและเขียน **2L1 T_S 4086(±11)** ไว้ใต้เส้น และตรงจุดตัดกัน ของเส้นตำบลที่เขียน **"2120 Fix"**

ตำบลที่ของเครื่องบินเวลา 2120 ได้ แลต. 28°47′ น.. ลอง. 155° 47′ ตก.

หมายเหตุ คำว่า **"fix"** นั้นใช้ได้ทั่วไปแม้ว่าระยะเวลาระหว่าง การอ่านสัญญาณ สองครั้งจะต่างกันหลายนาทีก็ตาม ระบบลอแรนนี้ใช้ศัพท์ **"running fix"** (แบริงวัตถุ สิ่งเดียว สองครั้งในเวลาต่างกัน) หมายความในทำนองเดียวกับการเดินเรือ โดยใช้เส้นตำบลที่ของวัตถุ ท้องฟ้าคือ ใช้เรียกเมื่อระยะเวลาระหว่างการตรวจครั้งที่หนึ่งและที่สองต่างกันมาก ๆ

วิธีเขียนเส้นตำบลที่ลอแรนโดยใช้มาตรา เปิดมาตราลอแรน เลือกหาช่องที่มีค่าผลต่าง ของเวลาให้ใกล้เคียงที่สุดกับจำนวนที่อ่านได้แล้วใช้ละติจูดหรือลองจิจูด ซึ่งมีจำนวน ขนาบ อยู่สองข้างของตำบลที่เรือรายงานเปิดหาค่าของลองจิจูดหรือละติจูดอันสมกันของจุดทั้งสองนี้ แล้ว เทียบหาให้ตรงถูกต้อง ตามค่าลอแรนที่อ่านได้โดยวิธีใช้ค่า Δ ซึ่งแทนการเปลี่ยน (ละเอียดถึง 0.01) ลองจิจูดหรือละติจูดเมื่อค่าผลต่างของเวลาลอแรนเปลี่ยนไป 1 **ms.** อัตราแก้ เท่ากับ ค่าของ Δ นี้คูณด้วยจำนวนไมโครเซกันด์ที่ค่าผลต่างของเวลาที่วัดได้ แตกต่างกับค่าของเวลาที่ เปิดได้จากมาตรา ถึงแม้ว่าจะได้จัดทำมาตราคูณไว้ให้สำหรับทำขั้นนี้แล้วก็ตาม ก็ยังใช้คูณเอาในใจ ได้ตามปกติ อัตราแก้นี้ละเอียดถึง 0.1 ใช้แก้เข้ากับลองจิจูดหรือละติจูดที่มาตรา โดยทำตาม เครื่องหมายของค่า Δ ในเมื่อค่าผลต่างของเวลาลอแรนที่อ่านได้มากกว่าค่าของเวลาในมาตรา แต่

ถ้าค่าที่อ่านได้น้อยกว่าจากมาตราแล้วก็ต้องแก้ โดยทำกลับตรงข้ามกับเครื่องหมาย

ที่เขียนจุดทั้งสองที่หาได้ดังกล่าวแล้วลงในแผนที่ และเขียนเส้นตรงต่อจุดทั้งสอง เข้าด้วยกัน เขียนเวลาและชื่อกำกับเส้นตำบลที่ทั้งสองด้วยวิธีดังได้กล่าวแล้วข้างต้น

นักเดินเรือบนพื้นน้ำส่วนมากนิยมใช้ขีดเส้นตำบลที่ลอแรน โดยวิธีใช้มาตราเพราะวิธีนี้การขีดการเดินเรือต่าง ๆ ใช้ทำลงในแผนที่เดินเรือแผ่นเดียวหรือในแผ่นจดที่เรือ(plotting sheet) แผ่นเดียวและการขีดที่เรือแบริงลอแรน (loran fix) ก็ทำได้ โดยมีความแม่นยำเท่า ๆ กันกับการขีดที่เรือวิธีอื่น ๆ การขีดที่เรือแบริงลอแรนโดยวิธีใช้แผนที่เดินเรือ มีความแม่นยำดีกว่าการขีดลงในแผนที่ลอแรน

ตัวอย่าง 1 เวลา 1400 ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่งในทะเลจีนภาคใต้อยู่ใน แลต. 1°07'.0 น.. ลอง. 113° 39'.7 อ. ได้อ่านสัญญาณลอแรนในเวลาติด ๆ กันดังต่อไปนี้

1 L 6 T_G 2922

1 L 7 T_G 1974

ให้ทำแผ่นจดที่เรือ (plotting sheet) สำหรับละติจูดกลาง 1° น. และให้เขียนเลข 114° อ. กำกับเมริเดียนเส้นกลางใช้ส่วนหนึ่งของมาตรา H.O. 211-D ที่ให้ไว้ ข้างท้ายเล่ม ให้ขีดหาที่เรือแบริงลอแรนเวลา 1400 เขียนเวลาและชื่อกำกับเส้นตำบลที่

วิธีทำ เปิดมาตราลอแรนดูที่ช่อง 1 L 6-2920 ms. ซึ่งเป็นค่าผลต่างของเวลา ในมาตราซึ่งใกล้เคียงที่สุดกับ 2922 ms. ที่อ่านได้จะเห็นได้จากมาตราว่าตัวเปลี่ยนแปร ที่ไม่พึ่งพิงอีกตัวหนึ่งที่ใช้เปิดคือลองจิจูด แต่ลองจิจูดของที่เรือรายงานเท่ากับ 113° 39'.7 อ. และตัวเปลี่ยนแปรของมาตราในบริเวณนี้ให้ลองจิจูดไว้เป็นองศาเต็ม ฉะนั้น จึงต้องหาค่าสำหรับลองจิจูด 113°อ. และ 114°อ. ดูตามบรรทัดของ ลอง. 113°อ. ในช่อง 2920 ms. จะได้ค่าในมาตรา เท่ากับ L 1° 24'.5 น. และ Δ เท่ากับ +0'.43 (ในมาตราไม่ได้ใส่จุดทศนิยมไว้) เนื่องจากค่าผลต่างของเวลาที่อ่านได้เท่ากับ 2922 ms. จึงมากกว่า 2920 ms. ในมาตราอยู่ 2 ms ฉะนั้นอัตราแก้เท่ากับ 2×(+) 0'.43 = (+) 0'.9 ซึ่งใกล้เคียงจุดทศนิยมหนึ่งตำแหน่งที่สุด เพราะฉะนั้นละติจูดที่ถูกต้องเท่ากับ 1° 24'.5 น. + 0'.9 = 1° 25'.4 น. ดูต่ำลงไปอีกหนึ่งบรรทัดคือที่ลองจิจูด 114°อ. จะได้ละติจูดเท่ากับ 1°57'.0 น.+{2×(+)03'.7} = 1° 57'.7 น. จดจุดทั้งสองนี้ แลต. 1° 25'.4 น., ลอง. 113° 00'.0 อ. และ แลต. 1° 57'.7 น. ลอง 114° 00'.0 อ. ลงบนแผนที่แล้วลากเส้นตรงต่อจุดทั้งสองเข้าด้วยกัน เขียนเวลา 1400 กำกับไว้บนเส้นในที่ที่เหมาะและเขียนค่าผลต่างของเวลาที่อ่านได้ 1 L 6 T_G 2922 กำกับไว้ได้เส้น

ต่อไปให้ขีดและเขียนตัวอักษร กำกับเส้นตำบลที่ 1 L 7 โดยทำนองเดียวกัน

ต่อไปลงเส้นตำบลที่ 1 L 7 และเขียนชื่อกำกับเช่นเดียวกัน สำหรับเส้นตำบลที่เส้นหลังนี้จะเห็นได้ว่า เราใช้ละติจูดเปิดหาค่าของลองจิจูดและให้พึงสังเกตด้วยว่าเราใช้ 1980 ms. เปิดมาตราและโดยค่าที่อ่านได้เท่ากับ 1974 ms. ฉะนั้นจึงน้อยกว่าค่าในมาตราอยู่ 6 ms. และ

เครื่องหมายของ △ จึงเปลี่ยนกลับตรงข้าม ค่าที่อ่านให้สำหรับค่านี้ที่ แลต. 18̊ น. ได้ ลอง. 112̊ 52̇.1 อ. - $\{6\times(-1)\ 0̇.58\}$ = ลอง. 112̊ 55̇.6 อ. และที่ แลต. 17̊ น. ได้ ลอง. 113̊ 42̇.7 อ. - $\{6\times(-)\ 04̇.9\}$ = ลอง. 113̊ 45̇.6 อ. เขียนจุดทั้งสองนี้ลง แล้วต่อเส้นระหว่างจุดเขียนเวลา 1400 กำกับไว้บนเส้นและเขียน 1 L 7 T_G 1974 ไว้ใต้เส้น

เขียนวงกลมรอบจุดตัดของเส้นตำบลที่ทั้งสองและเขียน "1400 Fix" กำกับวงกลมนี้ แล้วหาละติจูดและลองจิจูดของจุดนี้จะได้คำตอบ แลต. 17̊ 06̇.9 น., ลอง. 113̊ 39̇.6 อ.

ตัวอย่าง 2 เวลา 2100 ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่งได้ แลต. 16̊ 42̇.8 น., ลอง. 114̊ 18̇.4 อ. เรือแล่นเข็ม 070̊ อัตราเร็ว 20 นอต อ่านสัญญาณลอแรนได้ดังต่อไปนี้

2110 1 L 6 T_S 2890

2118 1 L 7 T_S 1927

ใช้แผ่นจดที่เรือขนาดเล็กของตัวอย่าง 1 และใช้ส่วนหนึ่งของมาตราข้างท้ายเล่ม ให้ขีดเส้นตำบลที่และหาที่เรือแบริงเวลา 2118

วิธีทำ ขั้นแรกให้หาอัตราแก้ **sky wave** ของค่าที่อ่านได้ 1 L 6 ลงที่เรือรายงานเวลา 2110 จากที่เรือรายงานเวลา 2100 จะได้ที่เรือรายงานเวลา 2110 แลต. 16̊ 44̇.0 น., ลอง. 114̊ 21̇.4 อ. เอาละติจูด 17̊ น. และลองจิจูด 114̊ อ. ซึ่งเป็นจำนวนใกล้เคียงที่สุดกับองศาเต็ม ๆ ไปเปิดหาอัตราแก้ **sky wave** จะได้อัตราแก้เท่ากับ +18 ละติจูด รายงานเวลา 2100 นั้นน้อยกว่า 17̊ น. จะสังเกตได้ว่าที่ละติจูด 16̊ น. นั้นอัตราแก้เท่ากับ +15 หรือน้อยกว่าที่ แลต. 17̊ อยู่ 3 ทั้งนี้หมายความว่าในระหว่าง แลต. 16̊ และแลต. 17̊ อัตราแก้เปลี่ยนไป 1 **ms** ทุก $\frac{1}{3}$ องศาหรือ 20̇ เนื่องจากที่เรือรายงานเมื่อคิดให้ใกล้เคียงกับ $\frac{111}{3}$ องศา ให้มากที่สุดแล้วต่างจาก แลต. 17̊ น. + อยู่ $\frac{1}{3}$ ฉะนั้น อัตราเปลี่ยนของอัตราแก้ สำหรับละติจูดเท่ากับ -1 **ms** โดยทำนองเดียวกันในระหว่างลองจิจูด 114̊ อ. และ 115̊ อ. อัตราแก้เพิ่มขึ้น 11 **ms** หรือเพิ่มขึ้น 1 **ms** สำหรับทุก 5̇.5 ฉะนั้น ที่ลอง. 114̊ 21̇.4 อ. อัตราเปลี่ยนของอัตราแก้เป็น +4 **ms** เพราะฉะนั้นอัตราแก้ **sky wave** เท่ากับ +18-1+4=21 **ms** เอาอัตราแก้นี้ไปแก้กับค่า **sky wave** ที่อ่านได้ จะได้ 2890+21=2911

ต่อไปเปิดมาตราเช่นเดียวกับตัวอย่าง 1 จะได้จุดทั้งสองบนเส้นตำบลที่คือที่ แลต. 16̊ 53̇.7 น., ลอง. 114̊ 00̇.0 อ. และ แลต. 16̊26̇.7 น., ลอง. 115̊00̇.0 อ. โดยทำนองเดียวกันอีก 2 จุดของ 1 L 7 ได้แลต. 17̊ 00̇.0 น., ลอง. 114̊08̇.3 อ. และ แลต. 16̊ 00̇.0 น., ลอง. 114̊ 54̇.4 อ. และโดยที่อัตราอ่านครั้งหลังนี้ใช้**ground waves** จึงไม่ต้องใช้อัตราแก้ **sky wave**

ขีดเส้นตำบลที่ 1 L 6 แล้วเลื่อนไปในทิศ 070̊ เป็นระยะทาง $2\frac{2}{3}$ ไมล์ สำหรับระยะทางที่เรือแล่น 8 นาทีระหว่างการอ่านสัญญาณ 2 ครั้ง ขีดเส้นตำบลที่ 1 L 7 แล้วเขียน

อักษรกำกับเส้นตำบลที่ทั้งสามเส้นและที่เรือแบริงตรงจุดที่เส้นตำบลที่ตัดกัน ที่เรือเวลา 2118 อยู่ที่ แลต. 16̊ 48̍.0 น., ลอง. 114̊ 17̍.3 อ.

วิธีหาเส้นตำบลที่ลอแรนโดยการคำนวณ ถ้าไม่มีแผนที่ลอแรน หรือมาตราลอแรนแล้ว ก็ใช้คำนวณหาเส้นตำบลที่ลอแรนได้ ถ้าหากรู้ตำบลที่ตั้งของสถานีลอแรน และ coding delay ทางปฏิบัตินั้นไม่ใช้ทำโดยวิธีคำนวณ

การใช้ระบบลอแรนควบกับวิธีอื่น การที่จะหาที่เรือแบริงได้นั้น ต้องมีเส้นตำบลที่อย่างน้อยที่สุดสองเส้น และถ้าจะให้ดียิ่งขึ้นแล้วควรมีสามเส้นหรือมากเส้นขึ้นไปอีก เส้นตำบลที่ลอแรนใช้ตัดกับเส้นตำบลที่ลอแรนด้วยกันหรือเส้นตำบลที่ซึ่งหามาได้ โดยวิธีอื่นเช่น หาได้จากการตรวจวัดฤทัองฟ้า แบริงวิทยุ (RDF) ฯลฯ ความแม่นของที่เรือแบริงที่หามาได้โดยวิธีดังกล่าว พึ่งพิงอยู่กับความแม่นของเส้นตำบลที่แต่ละเส้นและมุมตัดกันของเส้นตำบลที่เหล่านั้น

เครื่องช่วยในการเดินเรืออีเล็กตรอนิกอย่างอื่น

กี (Gee) ขณะที่ระบบลอแรนกำลังวิวัฒนาการอยู่ในสหรัฐอเมริกานั้น ชนชาวบริทิชก็กำลังทำให้ระบบอันคล้ายกันเรียกว่า กี (gee) วิวัฒนาการขึ้นในอังกฤษว่ากันตามมูลฐานแล้ว ระบบลอแรนและ Gee ทั้งสองระบบนี้เป็นเอกลักษณ์ความแตกต่างที่สำคัญคือ

1. ความถี่วิทยุ (Radio frequency) ตามหัวข้อ "การพิจารณาสัญญาณลอแรนของสถานีคู่" หน้า 708 นั้น ปรากฏว่าระบบลอแรนใช้ความถี่วิทยุ (radio frequency) น้อยกว่า 2 เมกาไซเกิล ส่วน กี (gee) ใช้ความถี่ตั้งแต่ 20 ถึง 85 เมกาไซเกิล

2. ระยะ (Range) ระบบกีมีความสำคัญตรงที่เป็นระบบที่ใช้ระยะทางสั้น เพราะว่ากีใช้ความถี่วิทยุสูงกว่าระบบลอแรน ฉะนั้น จึงไม่มีคลื่นท้องฟ้า (sky waves) คงมีแต่คลื่นพื้นดิน (groud waves) สำหรับเศษส่วนของระยะทางที่คาดไว้ของคลื่นพื้นดินของลอแรนเท่านั้น เส้นฐานของระบบกีสั้นกว่าเส้นฐานของระบบลอแรนมากสำหรับระยะทางอันจำกัดแล้ว เส้นฐานสั้นย่อมมีข้อดีกว่า

3. อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น (Pulse recurrence rate) อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นของระบบกีมีประมาณ 10 เท่าของระบบลอแรน

4. การพิจารณาอัตราเร็ว (Identification of rate) การพิจารณาอัตราเร็วในระบบลอแรนนั้นพึ่งพิงอยู่กับความถี่วิทยุและอัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่น ส่วนการพิจารณาอัตราเร็วในระบบกีนั้นพึ่งพิงอยู่กับความถี่วิทยุเท่านั้น สถานีส่งทุกสถานีใช้อัตราเร็วจังหวะการส่งห้วงคลื่นประจำ

5. การรับสัญญาณ ในระบบลอแรนนั้นจะหาค่าผลต่างของเวลาได้เพียงหนึ่งค่าเท่านั้นในขณะหนึ่งสำหรับเส้นตำบลที่เดียวหนึ่งเส้น ทำให้จำเป็นต้องเลื่อนเส้นตำบลที่เรือ ซึ่งมีอัตราเร็วสูงหรือเครื่องบิน ส่วนระบบกีนั้นหาค่าผลต่างของเวลาได้สองอัตราในเวลาเดียวกัน จึงทำให้ไม่ต้องเลื่อนเส้นตำบลที่ในการหาที่เรือแบริง

เด็กก้า(Dacca)เป็นระบบไฮเปอร์โบลิกชนิดหนึ่งมีลักษณะบางประการ คล้ายคลึงกับระบบลอแรน และระบบกีได้เจริญก้าวหน้าขึ้นในประเทศอังกฤษ ระบบเด็กก้านี้สถานี **master** แต่ละสถานีทำงานกับสถานี**slave**สองหรือสามสถานีซึ่งสถานี **slave** แต่ละสถานีทำงานด้วยความยาวคลื่น **(wave length)** ต่าง ๆ กัน ผลต่างของระยะทางหาได้โดยการวัดผลต่างของวัดภาค **(phase)** ของสถานี **master** และสถานี **slave** หนึ่งสถานี สัญญาณถูกส่งออกติดต่อเนื่องไปกับ คลื่นติดต่อเนื่องวัตภาคที่ทำงานตามกัน**(synchronized phase Cw)**

ข้อดีที่สำคัญของระบบเด็กก้านั้น คือ ได้รับค่าผลต่างของเวลาจากสอง หรือสามสถานีได้พร้อมกันและติดต่อเนื่องกันไป ค่าผลต่างของเวลาปรากฏอยู่บนหน้าปัดสองหรือสามอัน และค่าผลต่างเหล่านี้เปลี่ยนเองโดยอัตโนมัติ ในเมื่อเรือหรือเครื่องบินเปลี่ยนตำบลที่ไป ฉะนั้น การหาตำบลที่ก็จำเป็นแต่เพียง อ่านหน้าปัดเท่านั้นและจดจุดตัดกันของเส้นตำบลที่ ลงบนแผนที่เด็กก้า **(Decca chart)** พิเศษ ระบบเด็กก้านี้อ้างว่าแม่นมากโดยผิดแต่เพียงสองสามหลา ถึงแม้จะอ้างว่าใช้ได้ไกลถึง 1,500 ไมล์ก็ตาม ความถี่วิทยุที่ใช้ (85 ถึง 130 **mc**) และเส้นฐาน "อุดมคติ" ยาว 70 ไมล์ แสดงให้เห็นว่าคาดหมายไม่ได้ว่าจะได้ตำบลที่แม่นยำเมื่อเลยจากสถานีไป สองสามร้อยไมล์

ระบบเด็กก้ามีข้อเสียขนาดใหญ่อยู่หนึ่งประการคือจะต้อง "ตั้ง" **(set)** เครื่อง หรือให้เครื่องทำงานตามกัน **(synchronized)** เสียก่อนที่จะได้ตำบลที่อันเชื่อถือได้ เส้นตำบลที่ของสถานีแต่ละคู่ต้องแบ่งออกเป็นจำนวนชอย **(lanes)** และต้องตั้งหมายเลขของชอย **(lane)** ลงในเครื่องด้วยมือก่อนที่เครื่องจะชี้อัตราอ่านที่ถูกต้อง เมื่อได้ตั้งให้เครื่องทำงานตามกันได้แล้วครั้งหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงชอย**(lane)**ก็จะแสดงได้เองโดยอัตโนมัติ ถ้าเรือหรือเครื่องบิน แล่นออกจากตำบลที่ที่ทราบแล้วก็จะหาหมายเลขของชอย**(lane)**ของตำบลที่นั้นได้จากแผนที่แล้ว เอาไปตั้งลงในเครื่องก่อนออกเรือ อย่างไรก็ดี ในการตั้งตามแบบหรือภายหลัง เมื่อกำลังไฟเกิดขัดข้องขึ้นชั่วคราวแล้วการหาชอยให้ได้ถูกต้องนั้นเป็นการยากหรือไม่สามารถหาให้แม่นยำได้ เว้นไว้แต่จะได้ที่เรือแบริงที่แม่นยำมาก ๆ วิธีที่จะหาชอยให้ถูกต้องกำลังดำเนินกันอยู่

การที่ระบบเด็กก้า **(Decca)** จำเป็นต้องมีชอย **(lanes)** นั้น เพราะเนื่องมาจากวิธีการวัดผลต่างของเวลา เครื่องส่งสองเครื่องของ "อัตราเร็ว" **(rate)** หนึ่งแผ่รังสีคลื่นวิทยุชนิดคลื่นติดต่อเนื่องไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ **(unmodulated Cw)** ออกไปตามแนวเส้นศูนย์กลาง (รูป 223) นั้น คลื่นจากสองสถานีวิ่งมาถึงร่วมวัตภาค **(phase)** ส่วนตามเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่า ซึ่งอยู่ใกล้ไปทางสถานีใดสถานีหนึ่งเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น **(wave-length)** แล้วจะมีความยาวคลื่นต่างกันครึ่งหนึ่ง เพราะฉะนั้นคลื่นทั้งสองวิ่งมาถึงเป็นวัตภาคตรงกันข้าม **(opposite phase)** แต่ถ้าเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่านั้นขยับเข้าใกล้สถานีเดียวกันข้างต้นเข้าไปอีกหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแล้ว คลื่นสัญญาณทั้งสองจะวิ่งมาถึงร่วมวัตภาคอีก ทำให้คลื่นต่างกันหนึ่งวัตจักร **(cycle)** พอดี ชอย **(lane)** เป็นพื้นที่ในระหว่างเส้นตำบลที่วัตภาคต่อเนื่องกันสองเส้น **(two consecutive in-phase lines of position)**

ฉะนั้น ความกว้างของแต่ละซอย (lane) และจำนวนซอยจึงพึ่งพิงอยู่กับความยาวคลื่น (wave-length) ที่ใช้เช่นว่า ถ้าความยาวคลื่นใช้ 2,000 หลาแล้วแต่ละซอยจะกว้าง 1,000 หลา หรือประมาณครึ่งไมล์ทะเลตามแนวเส้นฐานการตรวจสอบ (calibrate) หน้าปัดใช้เป็นหน่วยของ 1/100 ของความกว้างของซอย

ระบบเด็กก้าจะใช้งานได้ผลดี ถ้าทุกสถานีใช้ความยาวคลื่นเท่ากัน แต่อย่างไรก็ดีคงไม่มีวิธีที่จะหาความยาวคลื่นในระหว่างสถานีคู่ได้ ฉะนั้นความยาวคลื่นจึงคงเป็นสัมพันธภาพเลขจำนวนง่าย (simpe numerical rela tionship) การหาความกว้างของซอย (lanewidth) ใช้หาโดยวิธี ค.ร.น. (lowest common multiple) ของความถี่สองความถี่ที่ใช้วิธีหานี้เรียกว่า การหาเปรียบเทียบความถี่ (comparison frequency)

คอนโซล (Concol) ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง เยอรมันได้คันคว้าเครื่องช่วยในการเดินเรือโดยอีเล็กตรอนิกขึ้นเรียกว่า sonne อังกฤษได้นำมาคิดแก้ไขให้ดีขึ้นเรียกว่า คอนโซล

ระบบนี้เป็นวิธีหาแบริงวงใหญ่ของสถานีส่งโดยใช้นับอนุกรมของจุดและขีด (a series of dots and dashes) และใช้ร่วมกับแผนที่พิเศษมาตราส่วนหรือมาตราพิเศษ ระบบนี้ต้องซ้ำวัตจักร (cycle) ทุก 60 วินาที

ข้อดีที่สำคัญของระบบคอนโซล คือไม่ต้องมีเครื่องรับพิเศษ ใช้เครื่องรับชึ่งใช้ความถี่ (frequency) ปานกลางตามปกติก็พอแล้ว อย่างไรก็ดีแบบ (pattern) ของจุดและขีดเป็นเอกลักษณ์(เหมือนกัน)ในแต่ละ 6 ซอย (lanes) และถ้าเกิดสงสัยตำบลที่ของเรือและเครื่องบินว่าจะผิดมากแล้ว ให้ใช้เครื่องวิทยุหาทิศตรวจสอบหาที่เรือ

ระบบนี้มีความแม่นยำซึ่งจะผิดแปรไปตั้งแต่ 0.2 เมื่ออยู่ใกล้วงใหญ่ ชึ่งต่อระหว่างเครื่องส่ง 3 เครื่องดันเกิดเป็นสถานีขึ้นถึง 1.0 ที่ 60 จากวงใหญ่นี้ ทำนายได้ว่าความแม่นยำนี้เป็นภาวะดีและทำนายว่าระบบนี้ใช้ได้ไกล 1,500 ไมล์เหนือพื้นทะเลและไกล 1,000 ไมล์เหนือพื้นดิน

ถึงแม้ว่าจะได้ตั้งสถานีไว้หลายแห่งตามชายฝั่งมหาสมุทรอัตลันติกเหนือแล้วก็ตามระบบนี้นับว่ายังใหม่มากเกินไปที่จะประเมินคุณค่าให้ถูกต้องตามควรได้ อย่างไรก็ตามเป็นที่ประจักษ์ว่าความแม่นยำและระยะไกลที่ทำนายไว้นั้นอาศัยจากรากฐานภาวะอุดมคติ (ideal conditions) ซึ่งจะหวังไม่ใคร่ได้เต็มที่นักในทางปฏิบัติ นอกจากนั้นแล้วสถิติ (static) และการคลุกเคล้าของคลื่นท้องฟ้าและคลื่นพื้นดินจะรบกวนขัดขวางมิให้นับจุดและขีดได้แม่นยำ โดยมิต้องสงสัยเลยในภาวะบางประการ

ถึงแม้ว่าจะมีความยุ่งยากมากมายหลายประการที่จะต้องเผชิญก็ตาม ระบบนี้ก็อาจสามารถก้าวหน้าที่จะเป็นวิธีที่ได้ประโยชน์สำหรับหาเส้นตำบลที่ อันมีความแม่นยำ เป็นที่รับใช้ได้ทั้งชาวเรือและนักบิน

โซฟาร์ (Sofar) โซฟาร์ (Sofar) ได้ชื่อมาจากอักษรตัวแรกของ (sound fixing and ranging) เป็นระบบเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่าอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งนาวีสหรัฐอเมริกาได้ค้นคว้าให้ก้าวหน้าขึ้น สถาบันสมุทรศาสตร์ที่ Woods Hole (Woods Hole Oceanographic Inattution) ได้ค้นพบจาก channel เสียงใต้น้ำซึ่งกระทำหน้าที่เป็นท่อพูด (speaking tube) ในการนำเสียงส่งไปเป็นระยะทางไกล

อุณหภูมิลดลงจากผิวมหาสมุทรลงไป และความดัน (pressure) เพิ่มขึ้นจากผิวมหาสมุทรลงไป เมื่ออุณภูมิลดลงทำให้อัตราเร็วของเสียงช้าลงแต่เมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น จะทำให้อัตราเร็วของเสียงทวีขึ้น ผลอันปรากฏขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิลดลงจะมีมาก ในบริเวณใกล้ ๆ กับผิวมหาสมุทรทำให้อัตราเร็วของเสียงช้ามาก แต่เมื่อความลึกของน้ำค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (คือยิ่งลึกลงไป) แล้วอุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงช้า ๆ ในขณะเดียวกันนั้นความดันทวีขึ้นคงตัวเรียบ ๆ ณ ความลึกอันหนึ่งผลทั้งสองนี้ได้สมดุลย์กันพอดี และถ้าความลึกยังคงเพิ่มเลยจุดนี้ต่อไปแล้ว จะทำให้อัตราเร็วของเสียงเพิ่มขึ้น ผลอันเกิดจากการที่เพิ่มความดันนั้นนับว่าเป็นตัวประกอบที่สำคัญ ฉะนี้ ณ ความลึกอันหนึ่งอัตราเร็วของเสียง จะต้องพึ่งพิงอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวเป็นส่วนใหญ่ แต่พึ่งพิงอยู่กับองค์ประกอบ (composition) ของน้ำและตัวประกอบอื่น ๆ เป็นส่วนน้อย มี channel ของอัตราเร็วที่ต่ำที่สุดของเสียงอัตราเร็วของเสียงทวีขึ้นทั้งข้างบนและข้างใต้ความลึกนี้

เสียง ณ ความลึกที่กล่าวนี้ไม่แผ่กระจายเป็นทรงกลม แต่อยู่รวมกันเป็นส่วนใหญ่ภายใน channel คลื่นเสียงที่เดินขึ้นข้างบนหรือลงข้างล่างหักงอเข้าไปใน channel ในทำนองคล้ายคลึงกับการหักงอของแสงโดยการหักเห (refraction) ส่วนของคลื่นเสียง ที่อยู่ห่างไกลที่สุดจากความลึกที่มีอัตราเร็วน้อยที่สุด จะเดินได้เร็วกว่าส่วนของคลื่นเสียงที่อยู่ ณ ความลึกนี้ ผลที่บังเกิดขึ้นนั้นคือคลื่นเสียงเดินมาและไปภายใน channel และเดินไปได้เป็นระยะทางไกลในการทดสอบคราวหนึ่งสัญญาณที่ส่งไปจากเมืองดาการ์ (Dakar) ในอัฟริกาตะวันตกของฝรั่งเศสได้ยินไปถึงหมู่เกาะบาฮากา (Bahama Ialands) ซึ่งอยู่ห่าง 1,300 ไมล์ ความลึกของ channel แปรจากประมาณ 6,000 ฟุตในเขตโซนร้อนถึงประมาณ 2,000 ฟุตในเขตละติจูดสูง ระหว่างฤดูหนาวเขตอยู่ใกล้ผิว ในทางปฏิบัติอยู่ที่ผิวในแถบขั้วโลก ส่วนใหญ่ของมหาสมุทร มีความลึกตั้งแต่ 3,000 ถึง 4,000 ฟุต

ระบบเดินเรืออันนี้ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยอาศัยรากฐานจากข้อเท็จจริงเหล่านี้ สหรัฐอเมริกาได้จัดตั้งระบบเดินเรือ (ระบบโซฟาร์) นี้ขึ้นในแถบมหาสมุทรแปซิฟิก ระหว่างหมู่เกาะฮาวายและฝั่งคาลิฟอร์เนีย การที่จะขยายระบบนี้ให้กว้างขวางไกลออกไปในพื้นที่อื่น ๆ นั้น ต้องพึ่งพิงอยู่กับความสำเร็จและประโยชน์ของการตั้งระบบ ณ บริเวณที่แห่งนี้ ระบบนี้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยมุ่งหมายสำหรับใช้ในการช่วยชีวิตแต่ก็สามารถใช้สำหรับการเดินเรืออื่น ๆ ได้ด้วย

ระบบโซฟาร์นี้ปฏิบัติงานผันกลับ(reverse)กับระบบลอแรน เครื่องบิน เรือช่วยชีวิตและแพช่วยชีวิต มีลูกระเบิด ใต้น้ำขนาดเล็กหรือลูกระเบิดลึกติดเตรียมไว้ด้วย ถ้าปล่อยให้ลูกระเบิดตกลงไปในน้ำหรือลูกระเบิดจมน้ำไปพร้อมกับเครื่องบินมันก็จะระเบิดขึ้น เนื่องจากความดัน

ของน้ำที่ความลึก 3,000 ถึง 4,000 ฟุต ที่สถานีชายฝั่งมีเครื่องฟังเสียงใต้น้ำ(hydrophones) ติดไว้ในน้ำตามความลึกที่เหมาะแล้วก็จะดักเสียงได้ และเจ้าหน้าที่ทางสถานี จะตรวจเวลาของการรับเสียงได้ละเอียดถึง 0.1 วินาที เวลาของการรับเสียงนั้น ใช้ตรวจจากสถานีหลายแห่งแล้วจะหาผลต่างของเวลาได้และเมื่อเอาลงในแผนที่พิเศษแล้วก็จะหาเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่า ของตำบลที่ได้เช่นเดียวกับในระบบลอแรน เมื่อได้เส้นตำบลที่ดังกล่าวแล้วสองเส้นขึ้นไป ก็จะหาตำบลที่ของต้นกำเนิดของเสียงได้ สถานีรับ 4 แห่งในพื้นที่คาลิฟอร์เนีย-ฮาวาย หาตำบลที่ของเรือได้แม่นยำอยู่ภายในรูปอิลลิปซ์ซึ่งยาวประมาณ 4 ไมล์และกว้าง $1\frac{1}{2}$ ไมล์

เขตอันเชื่อถือได้ในทางปฏิบัติของระบบนี้ใช้ได้ไกลประมาณ 2,000 ไมล์ จากสถานีรับ ในระยะนี้เสียงจะต้องเดินทางกว่าครึ่งชั่วโมงจะไปถึงสถานีรับ และเสียงจะสิ้นสุดลงในเวลาประมาณ 24 วินาที เสียงที่เคลื่อนมาและไปข้าม channel จะไปถึงก่อน เพราะแม้ว่ามันจะต้องเดินไปในระยะทางไกลก็ตาม แต่อัตราเร็วของมันมีมาก ที่เครื่องรับนั้นเสียงค่อย ๆ เริ่มต้นขึ้น ในลักษณะเสียงของ กลองหน้าเดียวกันกลม {(kettle-drum) โดยมากมักใช้ตีสลับเสียง ตั้งแต่สองใบขึ้นไป} และหยุดลงด้วยเสียงขาดตอนเสียงแหลม (sharp cut-off) เช่นกับเสียงที่เดินมาถึงโดยทางตรง เสียงขาดตอนเสียงแหลม (sharp cut-off) นี้ เป็นสัญญาณสำหรับตรวจเวลาแบบอย่างลักษณะของเสียงเป็นสิ่งสำหรับพิจารณาลักษณะของสัญญาณเสียงของลูกระเบิดนั้น ๆ

ความสำเร็จของระบบโซฟาร์นี้พึ่งพิงอยู่กับเครื่องรับเสียงที่เหมาะและเครื่องสำหรับขยายเสียง (amplifying equipment) เช่นเดียวกับการมี channel เสียง (sound channel)

วิวัฒนาการของอีเล็กตรอนิก ในวงการเดินเรือเป็นที่คาดหมายว่า จะได้ก้าวหน้าต่อไป การวิจัยหลาย ๆ วิธีให้ความหวังว่า วิธีปัจจุบันและวิวัฒนาการของเครื่องช่วยในการเดินเรือจะดีขึ้น มีคนส่วนมากเชื่อว่าการเดินเรืออีเล็กตรอนิก กำลังเป็นวิธีเบื้องต้น สำหรับการนำร่องและการเดินเรือระยะไกลทั้งสองประการ ในระหว่างที่สิ่งนี้อาจเป็นจริงได้นั้นควรจะต้องระลึกไว้ว่า ไม่มีวิธีใดที่จะใช้ได้ทั่วไปเสมอทุก ๆ วิธี มีขอบเขตการใช้และต้นหนจะต้องเข้าใจไว้ และเลือกใช้ให้เหมาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแล้วระบบอีเล็กตรอนิกเสียได้เพราะอาจพังหรือชำรุด ถูกรบกวนหรืออาจถูกข้าศึกยึกคร่าห์เครื่องติดตั้งบนบกได้ ชาติใดก็ตามซึ่งพึ่งพิงวิธีใดวิธีหนึ่งดังกล่าวแล้ว แต่จำเพาะอย่างเดียวนับว่าอยู่ในห้วงความพินาศในโลกซึ่งสงครามอาจมีขึ้นได้ ต้นหนที่มีสติปัญญาควรต้องทำวิธีเดินเรือทุกวิธีให้ชำนาญไว้

โจทย์ฝึกหัด

1. ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่งอยู่ใน แลต. 34° 29'.0 น.. ลอง. 72° 06'.0 ตก. วัดแบริงวิทยุ ของกระโจมวิทยุที่ **Cape Hatteras** แลต. 35° 14'.7 น.. ลอง. 75° 35'.0 ตก. ได้ 285° หาแบริงจริง (แบริงเมอเคเตอร์) (ตอบ 284'.0)

2. ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่งอยู่ในแลต. 47° 48'.0 ต.. ลอง. 76° 46'.0 ตก. วัดแบริงวิทยุของกระโจมวิทยุที่ **San Pedro** ประเทศ **Chile** แลต. 47° 30'.5 ต.. ลอง. 74° 53'.3 ตก. ได้ 007° หาแบริงจริง (แบริงเมอเคเตอร์) (ตอบ 076°.3)

3. ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่งอยู่ในแลต. 60°10'.5 น.. ลอง. 22° 20'.4 อ. วัดแบริงวิทยุของกระโจมวิทยุที่เรือทุ่นไฟ **Tallinn** ประเทศ **Estonia** แลต. 59° 43'.3 น..ลอง. 24° 43'.5 อ. ได้ 111° หาแบริงจริง (แบริงเมอเคเตอร์) (ตอบ 112°.1)

4. ที่เรือรายงานของเรือลำหนึ่งอยู่ในแลต. 34° 16'.7 ต.. ลอง. 26° 39'.4 อ. วัดแบริงวิทยุของกระโจมวิทยุที่ประภาคาร **Cape Recife** แลต.) 34° 01'.7 ต.. ลอง. 25° 42'.0 อ. ได้ 286° หาแบริงจริง (ตอบ 286°.2)

5. สายอากาศของเครื่องเรดาร์(**radar antenna**)สูงจากแนวน้ำ(**water line**) 85 ฟุต จะกวาดเห็นภูเขาสูง 8.000 ฟุต ได้ในระยะเท่าใด(คิดเป็นไมล์ที่ใกล้เคียงที่สุด)สมมุติว่าเครื่องเรดาร์มีกำลังพอและภูเขานั้นเป็นผิวสะท้อนที่ดี (ตอบ 113 ไมล์)

6. ใช้กระดานหนปิดตำบลที่เลห่านี้ ลงจากศูนย์กลางของกระดานหน ใช้มาตราส่วน 1 ช่อง = 1,000 หลา

วัตถุ	แบริง	ระยะทาง (หลา)
ทุ่นทางเข้าท่าเรือ 1	170°	9000
ทุ่น 2	190°	6500
หิน	199°	5700
ทุ่น 3	200°	5000
ทุ่น 4	215°	2800
ทุ่น 5 (ทุ่นหมายที่ตื้น)	245°	5500
ทุ่น 6 (ทุ่นหมายที่ตื้น)	250°	5000
ทุ่น 7	255°	7000
ทุ่น 8	285°	7000
ทุ่น 10 (ทุ่นหมายที่ตื้น)	295°	6000
ทุ่น 9 (ทุ่นหมายที่ตื้น)	320°	6000
ทุ่น 12 (ทุ่นหมายที่ตื้น)	320°	5000
ที่ทอดสมอ	330	55000

จากทุ่นทางเข้าท่าเรือ 1 ขีดเข็ม 327 ไปจนกระทั่งทุ่น 4 อยู่ตั้งฉาก (abeam) ทางกราบขวาแล้วขีดเข็ม 287 ไปจนกระทั่งทุ่น 7 อยู่ตั้งฉาก (abeam) ทางกราบซ้าย แล้วขีดเข็ม 346 ไปจนกระทั่งทุ่น 8 อยู่ตั้งฉากทางกราบขวาแล้วขีดเข็มตรงไปยังที่ทอดสมอ

ให้ภูเขาไฟสูง ซึ่งเป็นเป้าอันดีของเครื่องเรดาร์อยู่ที่ศูนย์กลางกระดานหน เวลา 0700 เรือลำหนึ่งได้แล่นมาถึงทุ่นทางเข้าท่าเรือจะต้องแล่นตามเข็มต่าง ๆ ที่ได้ขีดไว้แล้ว ด้วยอัตราเร็ว 10 นอต ทัศนวิสัยประมาณ 1 ไมล์ได้ใช้เครื่องเรดาร์หาแบริงและหาระยะทางของภูเขาไว้ทุก 2 นาที ดังต่อไปนี้

เวลา	แบริง	ระยะทาง	เวลา	แบริง	ระยะทาง
0700	350	9000	0706	359	7050
0702	353	8250	0708	003	6450
0704	356.5	7675	0710	008	5900

ให้หา (1) เข็มที่เดินเข็มเดียว (2) ทิศและความเร็วของกระแสน้ำ (3) มีกระแสน้ำขึ้นหรือกระแสน้ำลง (Flood or ebb current) (4) เข็มที่จะต้องถือท้ายเพื่อให้ได้แนวทางเรือที่เดินเข็มเดียว 327 (5) เวลาประมาณที่ไปถึงจุดเลี้ยวเรือจุดแรก

เวลา 0710 ผู้บังคับการเรือสั่งเปลี่ยนเข็มไปทางขวา 5 เพราะมีทุ่นอยู่ตรงหัวเรือพอดี แล้วใช้เครื่องเรดาร์หาแบริงและระยะทางดังต่อไปนี้

เวลา	แบริง	ระยะทาง	เวลา	แบริง	ระยะทาง
0712	014	5350	0716	028.5	4475
0714	020.5	4850	0718	038.5	4150

เมื่อได้ตรวจการขีดเข็มแล้ว ผู้บังคับการเรือจึงตัดสินใจเปลี่ยนเข็ม เอาเมื่อเวลา 0720 ผู้บังคับการสั่งเปลี่ยนเข็มเป็น 287 เมื่อเวลา 0720 ใช้เครื่องเรดาร์หาแบริง และระยทางต่อไปดังนี้

เวลา	แบริง	ระยะทาง	เวลา	แบริง	ระยะทาง
0720	049	4000	0726	071	5650
0722	058	4375	0728	075	6325
0724	065	5050			

เวลา 0729 เปลี่ยนเข็มเป็น 346 ใช้เครื่องเรดาร์หาแบริงและระยะทางต่อไป

เวลา	แบริง	ระยะทาง	เวลา	แบริง	ระยะทาง
0730	081.5	6775	0734	093	7200
0732	087.5	6950	0736	098	7475

เวลา 0737 เปลี่ยนเข็มเป็น 056 ใช้เดาร์หาแบริงและระยะทางต่อไป

เวลา	แบริง	ระยะทาง	เวลา	แบริง	ระยะทาง
0738	103	7450	0742	112	6750
0740	107	7100	0744	117	6475

ให้หา (6) ทิศและความเร็วของกระแสน้ำตั้งแต่เวลา 0738 (7) ท่านควรจะต้องเปลี่ยนเข็มหรือไม่ ทำไม (8) อัตราเร็วที่เดินเข็ม เดียวตั้งแต่เวลา 0738

เปลี่ยนเข็มไปทางขวา 10 ใช้เราดาร์หาแบริงและระยะทางต่อไป

เวลา	แบริง	ระยะทาง	เวลา	แบริง	ระยะทาง
0746	123	6075	0750	136	5500
0748	129	5750			

ให้หา (9) ระยะทางจากที่ทอดสมอเมื่อเวลา 0750 (10) ทิศของที่ทอดสมอเมื่อเวลา 0750

{ตอบ (1) เข็ม 322 (2) กระแสน้ำทิศ 290, ความเร็วของกระแสน้ำ 1.8 นอต (3) กระแสน้ำขึ้น (flood current) (4) เข็ม 333 (5) เวลาประมาณที่ไปถึง 0719 (6) กระแสน้ำทิศ 310 ความเร็วของกระแสน้ำ 1.1 นอต (7) จะเปลี่ยนเข็มเพราะ เรือแล่นตรงเข้าหาที่ตื้นซึ่งมีทุ่น 9 เป็นเครื่องหมายและเข็มเดิมที่กำลังแล่นอยู่นั้น จะไม่นำเรือไปยังที่ทอดสมอได้ (8) อัตราเร็ว 9.7 นอต (9) ระยะทาง 1.350 หลา (10) ทิศของที่ทอดสมอ 053}

7. เส้นฐานของสถานีส่งลอแรนยาว 380 ไมล์ และอัตราหน่วงเวลา (coding - delay) เท่ากับ 950 ms. เรือลำหนึ่งอยู่ห่างจากสถานี master 200 ไมล์ และห่างจากสถานี slave 500 ไมล์

ให้หา (1) อัตราอ่านลอแรนที่เรือ ให้เอาถึงไมโครเซกันด์ที่ใกล้ที่สุด (2) อัตราอ่านน้อยที่สุดของอัตราเร็วนี้ (3) อัตราอ่านมากที่สุดของอัตราเร็วนี้ เอาถึงไมโครเซกันด์ที่ใกล้ที่สุด (ตอบ (1) 5152 ms. (2) 950 ms. (3) 5647 ms.)

8. เวลา 1500 ตำบลที่รายงานของเครื่องบินเครื่องหนึ่งอยู่ใน แลต. 19° 48′ น., ลอง. 161° 12′ ตก. ณ เวลานี้ได้อ่านสัญญาณลอแรน ติดต่อเนื่องกันดังต่อไปนี้ **2L1 T_G 4525, 2L0 T_G 3642** ใช้รูป 244

ให้ขีดเส้นตำบลที่เขียนอักษร และเลขกำกับและหาที่เรือแบริง เวลา 1500 (ตอบ เวลา 1500 ที่เรือแลต. 19° 40′ น., ลอง. 161° 18′ ตก.)

9. เวลา 0320 ตำบลที่รายงานของเครื่องบินเครื่องหนึ่งอยู่ใน แลต. 25° 15′ น. ลอง. 153° 03′ ตก. เครื่องบิน ๆ เป็น 290° อัตราเร็วพื้นดิน (ground speed) 300 นอต ต่อจากเวลานี้เล็กน้อยอ่านสัญญาณลอเรนได้ดังต่อไปนี้

0330 **2L1 T_S 4766**

0334 **2L0 T_S 2285**

ให้ขีดเส้นตำบลที่เขียนอักษรและเลขกำกับและหาที่เรือแบริง เวลา 0337 (ตอบ เวลา 0337 ที่เรือ แลต. 25° 35′ น., ลอง. 154° 40′ ตก.)

10. เวลา 0940 ตำบลที่รายงานของเรือลำหนึ่งอยู่ใน แลต. 16° 49′.4 น., ลอง. 113° 51′.1 อ. ณ เวลานี้ได้อ่านสัญญาณลอแรนติดต่อเนื่องกันโดยเร็ว ดังต่อไปนี้ **1L6 T_G 2903, 1L7 T_G 1966** สร้างแผ่นจดที่เรือขนาดเล็ก สำหรับละติจูดกลาง 17° น. และใช้ส่วนหนึ่งของมาตราบ้างท้ายเล่ม

ให้ขีดเส้นตำบลที่ เขียนอักษรและเลขกำกับและหาที่เรือแบริง เวลา 0940 (ตอบ เวลา 0940 ที่เรือ แลต. 16° 52′.7 น., ลอง. 113° 55′.4 อ.)

11. เวลา 2110 ตำบลที่รายงานของเรือลำหนึ่งอยู่ใน แลต. 17° 04′.0 น.,ลอง. 144° 14′.4 อ. เรือแล่นเป็น 050° อัตราเร็ว 30 นอตอ่านสัญญาณลอแรนได้ดังต่อไปนี้

2110 **1L7 T_G 1902**

2120 **1LG T_G 2953**

ให้ขีดเส้นตำบลที่เขียนอักษรและเลขกำกับและหาที่เรือแบริง เวลา 2120 (ตอบ เวลา 2120 ที่เรือ แลต. 17° 07′.0 น., ลอง. 114° 12′.0 อ.)

SLY WAVE CORRECTION

LB

LATITUDE	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	LATITUDE
	LONGITUDE EAST															
21	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+9	+10	+11	+11	+10	+9	+8	+7	24
23	+2	3	4	5	7	+9	11	13	14	15	+16	15	14	12	10	23
22	+2	4	5	7	9	+12	15	18	21	23	+23	22	20	17	14	22
21	+3	4	6	9	12	+16	20	26	31	34	+35	34	30	25	20	21
20	+3	5	7	10	14	+20	28	36	+44	+50	+53	+51	+43	34	26	20
19	+3	+5	+8	+11	+16	+25	+36	+50						+47	+33	19
18	+3	5	8	12	18	+28	+43								+40	18
17	+3	5	7	11	18	+29			DO NOT USE						+44	17
16	+2	4	6	9	15	+25										16
15	+1	+2	+3	+5	9	+14										15
14	0	0	0	0	+1	+1			SKY WAVES						+4	14
13	-1	-2	-3	-4	-8	-13									-18	13
12	-2	3	-5	-8	14	-23			IN THIS REGION						-33	12
11	-3	4	7	11	17	-28									-39	11
10	-3	5	7	11	18	-28	-44								-37	10
9	-3	-5	-7	-11	-16	-25	-36	-52						-46	-32	9
8	-3	4	7	10	14	-20	28	38	-48	-55	-57	-53	-44	34	25	8
7	-3	4	6	8	12	-16	21	27	33	36	-38	36	31	25	19	7
6	-2	3	5	7	9	-12	16	19	22	24	-25	24	21	18	14	6
5	-2	3	4	5	7	-9	11	13	15	16	-17	16	15	13	10	5
	SUBTRACT											SUBTRACT				
4	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-11	-11	-11	-10	-9	-7	4
3	-1	1	2	3	3	-4	5	6	7	7	-7	7	7	6	5	3
2	0	-1	1	2	2	-3	4	4	5	5	-5	5	5	4	3	2
1	0	0	-1	1	2	-2	2	3	3	3	-3	3	3	3	2	1
0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	0
	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	
	LONGITUDE EAST															

EXTRACTS FROM H.O. 221-D

LB

T	1L 6-2900		1L 6-2920		1L 6-2940		1L 6-2960		1L 6-2980		T
Lat	° L	Δ	° L	Δ	° L	Δ	° L	Δ	° L	Δ	Long °
	18 33.3 N	+50	18 45.2 N	+00	18 57.4 N	+62	19 09.9 N	+64	19 22.8 N	+65	110 E
	18 07.8	53	18 18.6	55	18 29.7	56	18 41.0	57	18 52.6	58	111
	17 42.0	48	17 51.7	49	18 01.6	50	18 11.7	51	18 22.1	53	112
	17 16.0	42	17 24.5	43	17 33.2	44	17 42.1	45	17 51.3	47	113
	16 49.6	37	16 57.0	37	17 04.5	38	17 12.2	39	17 20.2	40	114
	16 23.3 N	+31	16 29.5 N	+31	16 35.8 N	+32	16 42.3 N	+33	16 49.0 N	+34	115 E
	15 57.1	25	16 02.1	26	16 07.3	26	16 12.6	27	16 18.0	27	116
	15 31.6	20	15 35.5	20	15 39.4	20	15 43.5	21	15 47.7	21	117
	15 10.4	17	15 22.7	17	15 26.1	17	15 29.6	18	15 33.2	18	117 30
	15 07.9 N	+14	15 10.7 N	+14	15 13.6 N	+15	15 16.6 N	+15	15 19.6 N	+15	118 E
	14 57.7	12	15 00.0	12	15 02.4	12	15 04.8	12	15 07.3	13	118 30
	14 53.2	11	14 55.3	11	14 57.5	11	14 59.7	11	15 01.9	11	118 45
	14 49.3 N	+10	14 51.3 N	+10	14 53.2 N	+10	14 55.2 N	+10	14 57.2 N	+10	119 E
	14 46.1	9	14 48.0	9	14 49.8	9	14 51.6	9	14 53.4	9	119 15
	14 43.9	9	14 45.6	9	14 47.3	9	14 49.0	9	14 50.7	9	119 30
	14 42.6	8	14 44.2	8	14 45.8	8	14 47.5	8	14 49.1	8	119 45
	14 42.3 N	+ 8	14 44.0 N	+ 8	14 45.6 N	+ 8	14 47.2 N	+ 8	14 48.9 N	+ 8	120 E
	14 43.1	9	14 44.8	9	14 46.5	9	14 48.2	9	14 49.9	9	120 15
	14 45.0	9	14 46.7	9	14 48.5	9	14 50.3	9	14 52.1	9	120 30
	14 47.6	10	14 49.5	10	14 51.5	10	14 53.4	10	14 55.4	10	120 45
	14 51.0 N	+11	14 53.1 N	+11	14 55.2 N	+11	14 57.4 N	+11	14 59.5 N	+11	121 E
	14 59.4	13	15 01.9	13	15 04.5	13	15 07.1	13	15 09.8	13	121 30
	15 09.3	15	15 12.3	15	15 15.4	16	15 18.6	16	15 21.8	16	122
	15 20.1	18	15 23.7	18	15 27.3	18	15 31.0	19	15 34.8	19	122 30
	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	
T	1L 6-2900		1L 6-2920		1L 6-2940		1L 6-2960		1L 6-2980		T

RB

T	1L 7-1900		1L 7-1920		1L 7-1940		1L 7-1960		1L 7-1980		T
Lat	Lo	Δ	Lo	Δ	Lo	Δ	Lo	Δ	Lo	Δ	Long
19 N	112 51.4 E	−61	112 39.1 E	−62	112 26.6 E	−63	112 13.9 E	−64	112 00.9 E	−66	
18	113 36.3	53	113 25.6	54	113 14.6	55	113 03.5	56	112 52.1	58	
17	114 20.9	46	114 11.6	47	114 02.1	48	113 52.5	49	113 42.7	49	
16	115 05.1	39	114 57.2	40	114 49.3	40	114 41.2	41	114 32.9	42	
15	115 49.3	32	115 42.8	33	115 36.2	33	115 29.6	34	115 22.8	34	
14 N	116 33.8 E	−25	116 28.7 E	−26	116 23.5 E	−26	116 18.2 E	−27	116 12.8 E	−27	
13 30	116 56.4	22	116 51.9	23	116 47.4	23	116 42.8	23	116 38.1	24	
13	117 19.6	19	117 15.7	20	117 11.8	20	117 07.9	20	117 03.8	21	
12 30 N	117 43.8 E	−16	117 40.5 E	−17	117 37.2 E	−17	117 33.8 E	−17	117 30.3 E	−18	
12	118 09.9	14	118 07.1	14	118 04.2	15	118 01.3	15	117 58.4	15	
11 45	118 24.3	14	118 21.6	14	118 18.9	14	118 16.2	14	118 13.4	14	
11 30 N	118 40.2 E	−13	118 37.6 E	−13	118 35.0 E	−13	118 32.3 E	−13	118 29.7 E	−13	
	Lo	Δ	Lo	Δ	Lo	Δ	Lo	Δ	Lo	Δ	
	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	
	11 39.4 N	−13	11 36.9 N	−12	11 34.5 N	−12	11 32.1 N	−12	11 29.7 N	−12	118 30 E
	11 25.8	11	11 23.6	11	11 21.4	11	11 19.2	11	11 17.1	11	118 45
	11 13.8 N	−10	11 11.7 N	−10	11 09.7 N	−10	11 07.7 N	−10	11 05.6 N	−10	119 E
	11 03.2	10	11 01.3	10	10 59.3	10	10 57.3	10	10 55.4	10	119 15
	10 54.0	10	10 52.0	10	10 50.1	10	10 48.1	10	10 46.1	10	119 30
	10 45.8	10	10 43.8	10	10 41.8	10	10 39.8	10	10 37.8	10	119 45
	10 38.5 N	−11	10 36.4 N	−11	10 34.3 N	−11	10 32.2 N	−11	10 30.1 N	−11	120 E
	10 31.9	11	10 29.7	11	10 27.4	11	10 25.2	11	10 22.9	12	120 15
	10 25.7	12	10 23.4	12	10 21.0	12	10 18.5	12	10 16.1	12	120 30
	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	
T	1L 7-1900		1L 7-1920		1L 7-1940		1L 7-1960		1L 7-1980		T

ตอนที่ 13
เดินเรือช่วยชีวิต (Lifedoat Navigation)

การเดินเรือในทะเลก็ดี การบินก็ดี ถ้าเป็นเรือที่มีเครื่องมือเดินเรือพร้อมบริบูรณ์แล้ว ก็ย่อมไม่มีอะไรเป็นปัญหา และไม่จำเป็นต้องทราบรายการอะไรในหัวข้อนี้ แต่ทราบเท่าที่เรือก็ดี เครื่องบินก็ดี ยังมีการอับปางสูญหายไปในทะเลได้แล้ว ก็ย่อมเป็นไปได้ว่าสักวันหนึ่ง ท่านอาจต้องสละเรือใหญ่ เมื่อถึงเวลานั้นแล้วย่อมจะสายไปไม่ทันการ ในการที่จะมาเปิดและอ่านดูรายการในหัวข้อนี้ ท่านรู้หรือว่าท่านควรจะเอาสิ่ง ใดไปบ้างถ้าต้องสละเรือ ท่านจะเดินเรืออย่างไรถ้าท่านไม่มีเครื่องวัดแดด ไม่มีมาตราเดินเรือ ไม่มีปฏิทินเดินเรือ ท่านรู้หรือว่าท่านจะทำอย่างไร ถ้านาฬิกาที่มีเหลืออยู่ในเรือช่วยชีวิตเพียงเรือนเดียวตกน้ำไปหรือหยุดเดิน

ชีวิตของผู้ที่อยู่ในเรือช่วยชีวิตยังไม่หมดหวังเสียทีเดียว เพราะได้ปรากฏมามากแล้วว่าได้ไปถึงฝั่งโดยปลอดภัยเช่น **Captain Bligh** แห่งเรือ **Bounty** ซึ่งต้องแล่นเรือไปถึง 3,000 ไมล์ ในมหาสมุทรโดยถูกปล่อยให้ลอยไปในเรือโบตดาดฟ้าเปิด **Magellan** ก็ตาม ไม่มีเครื่องวัดแดดไม่มีนาฬิกาที่แม่นยำ ไม่มีวิทยุหรือเครื่อง **Electronic** อื่น ๆ ไม่มีปฏิทินเดินเรือที่แม่นยำ ไม่มีเครื่องหยั่งน้ำด้วยเสียง แต่รู้เรื่องวาริเอชั่นนิดหน่อย หรือไม่รู้เลย ไม่มีมาตรา **Logarithms** สำหรับคำนวณ แม้กระทั่งแผนที่เดินทางก็ไม่มี แต่ถึงกระนั้น **Magellan** ก็ยังเดินเรือรอบโลกได้โดยปลอดภัย เรือช่วยชีวิตในยุคปัจจุบันนี้ ส่วนมากมีเครื่องมือสำหรับเดินเรือดีกว่าเรือของ **Magellan** มาก แต่ต้องรู้จักใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ท่านมี ชีวิตของท่านและเพื่อนประจำเรือของท่าน ต้องพึ่งพิงอยู่กับความรู้นั้น

การเตรียมการเพื่อภาวะฉุกเฉิน

การที่จะลดภาวะฉุกเฉินให้น้อยลงนั้น วิธีที่ดีที่สุดคือ ต้องเตรียมไว้ให้พร้อมเสมอเพราะเมื่อเกิดภาวะฉุกเฉินแล้วย่อมจะสายไป ถ้าไม่เตรียมไว้ก่อน การเตรียมพร้อมสำหรับภาวะฉุกเฉินเพื่อสละเรือใหญ่มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ดีที่สุดต้องเตรียมกระเป๋าหรือถุงเครื่องมือเดินเรือ สำหรับภาวะฉุกเฉินไว้ให้พร้อม สำหรับเรือช่วยชีวิตและแพช่วยชีวิตแต่ละลำแต่ละแพไว้

ในถุงเครื่องมือเดินเรือสำหรับภาวะฉุกเฉินนั้นควรมีสิ่งต่อไปนี้ คือ

1. แผนที่เดินเรือ ควรใช้ **Pilot chart** สำหรับพื้นที่ที่จะเดินทาง ควรมีทั้งสำหรับฤดูหนาวและฤดูร้อน ถ้าได้ชนิดไม่เปียกน้ำยิ่งดี

2. เครื่องวัดแดด ใช้เครื่องวัดแดดราคาถูก ๆ เช่น ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เครื่องบินโดยมากใช้เครื่องวัดแดดที่มีวงเล็ก (**disc**) ทำด้วยปลาสติก และมีรูกลมสำหรับมองและมีฟองน้ำเล็ก ๆ โดยการวัดหาผลเฉลี่ยหลาย ๆ ครั้ง บนบกอาจมีความแม่นยำได้ถึง 5 ไมล์ หรือ

น้อยกว่านี้ แต่ในทะเลย่อมผิดไปกว่านี้มาก แต่จงจำไว้ว่าเราไม่ต้องการให้ถูกต้องละเอียด จนถึงปลายเข็มหมุดในการนี้ถ้ามีกระดาษแข็งหรือไม้ กระจกเล็ก ๆ 2 แผ่นและเดือย (pivot) แล้วก็อาจทำเครื่องวัดแดดใช้ได้พอควร

3. ปฏิทินเดินเรือและแผนที่ดาว ถ้าไม่มีปฏิทินตามปีที่ต้องการ สำหรับใช้ในการนี้ให้ลอกรายการที่สำคัญ ๆ ลงในสมุดโน๊ตเล็ก ๆ ไม่หนักหนาอะไรในการนี้ รายการที่ต้องลอกใส่สมุดคือ ⊙'s dec.,equn of T. ทุกช่วง 10 วัน, dec. และ SHA or RA ของดาวที่สำคัญสัก 20 หรือ 25 ดวง และ GHA ♈ หรือ RAMS+12 at 0^h GCT. ทุก 10 วัน ให้ลอกลงอย่างใกล้เคียงเพียง 0.1

4. มาตรา ควรมีมาตราคำนวณของอเมริกัน H.O.208 หรือ H.O.211 ด้วย และคัดลอกมาตรา Computed altitude and azimuth table (H.O.214) ไว้สำหรับทุก 1° ของ t,d และ L ของ 15 หน้า ถ้า d มีเขตถึง 30° (เป็นการพอเพียงแล้วสำหรับวัดฤทัยงฟ้าทุกดวง สุริยะจักรวาลและดาวฤกษ์อื่น ๆ อีกหลายดวง) และ L ถึง 70° ควรจะเอาค่าถึง 0.1 ของสูงและทุกองศาของเอซิมัธ

5. สมุดโน๊ต ใช้จดหัวข้อรายงานทั่ว ๆ ไป ในเรื่องเดินเรือนี้ หรือรายการอื่น ๆ ที่ต้องการก็ให้จดไว้ อย่าใช้จำเอา และให้มีหน้าว่างสำหรับคำนวณและจดปูมไว้ด้วย

6. เครื่องเขียน มีดินสอ ยางลบ โปรแตรกเตอร์ (สำคัญมาก) ไม้บรรทัดขอบตรงชนิดใดชนิดหนึ่ง ควรใช้แบ่งขอบเป็นนิ้ว ปากคีบ และวงเวียน อาจเป็นประโยชน์มากแต่ไม่สู้สำคัญนัก แผ่นกระดาษลงที่เรือขนาดเล็กหลาย ๆ แผ่น หรือกระดาษตารางก็ได้

7. กระดาษกร๊าฟ ชนิดแบ่ง 10 ช่อง ต่อ 1 นิ้ว

8. เบ็ดเตล็ด สิ่งที่มีประโยชน์อะไรก็ได้ตามต้องการ เช่น แว่นตากันแดด ยาแก้เมาคลื่น กระดานหน หนังสือธรรมะ เข็มทิศไฟฉาย

บัญชีสำหรับตรวจเครื่องมือต่าง ๆ ที่กล่าวแล้ว

ถุงเครื่องมือเดินเรือนี้ ต้องเตรียมไว้ให้พร้อมในเรือช่วยชีวิตเสมอ ถ้าไม่เก็บไว้ในเรืออาจหยิบไม่ทันหรือหาไม่พบ ไม่มีเวลาค้นหา

ความรู้ในหัวข้อต่อไปนี้เป็นประโยชน์มาก และมีค่ามากในภาวะบางประการ

ตำบลที่ ควรรู้ แลต. ลอง. โดยใกล้เคียงของเมืองท่าต่าง ๆ เกาะ ฯลฯ ในบริเวณที่เรือ หรือเครื่องบินปฏิบัติการ ต้องรู้ที่เรือหรือตำบลที่เครื่องบินโดยใกล้เคียงไว้ตลอดเวลา การที่รู้รายละเอียดในแผนที่ของบริเวณที่เรือหรือเครื่องบินปฏิบัติการ ย่อมมีประโยชน์ได้ผลเสมอ

กระแสน้ำ

อุตุ

ดาว

จะกำหนดแผนการเตรียมพร้อม สำหรับภาวะฉุกเฉินอย่างไร ต้องเตรียมไว้ให้พร้อม เพราะมีเวลาจำกัด จะไปเตรียมเมื่อสั่งสละเรือใหญ่แล้วย่อมไม่ทันการ

การสั่งสละเรือใหญ่ เมื่อได้เตรียมถุงเครื่องมือเดินเรือไว้พร้อมแล้ว ต้องมีบัญชีตรวจสอบให้พร้อมโดยมิต้องค้นหา ถ้าสิ่งใดขาดจำนวนให้พิจารณาเอาเมื่อตรวจสอบ ก่อนลงจากเรือให้ตรวจสอบ

อัตราผิดนาฬิกา หาและจดไว้ ต้องรู้ว่าใช้เวลาอะไร ไม่ต้องตั้งเวลาแต่ไขให้เดินไว้ ถ้าสามารถเอาโครโนมิเตอร์ไปได้ให้เอาไปด้วย

วันที่ ตรวจจดไว้

ตำบลที่ ที่เรือเขียนไว้ ทิศทางกระแสน้ำ แลต. ลฮง.ของฝั่งที่ใกล้ที่สุด เขียนไว้หลาย ๆ ทิศ ถ้าเอาแผนที่ไปได้เป็นดีที่สุดสำหรับรายการนี้

เครื่องมือเดินเรือ ตรวจเครื่องมือเดินเรือในเรือโบตว่ามีเข็มทิศ แผนที่ นาฬิกา ถ้าสิ่งใดไม่มีหายไปให้คิดว่าจะเอาจากเรือใหญ่ได้ไหม อย่าลืมเอาเครื่องวัดแดดในเรือใหญ่ไป ถ้ามีวิทยุหิ้วให้เอาไปด้วย

ตรวจว่าทุกสิ่งทุกอย่างผูกมัดติดกับเรือโบตดีแล้วจึงหย่อนเรือ

อย่าทิ้งเสื้อผ้าอย่างใดเลย ไม่ว่าจะหนาวหรือร้อนเพราะเอาไว้ใช้ป้องกันแดดได้

การจัดระเบียบ หรือสถานีในเรือช่วยชีวิต

ชีวิตในเรือช่วยชีวิต 2-3 ชั่วโมง อาจเป็นความสำคัญที่สุด ถ้ามียาแก้เมาคลื่นให้แจกกินเสียทันที ถ้าทำได้ควรให้กินก่อนลงจากเรือใหญ่

ต้องทำความเข้าใจให้ชัดเจนว่าใครเป็นผู้ควบคุมเรือ อย่าใช้ลัทธิเผด็จการ จงบรรเทาชีวิตอันแร้นแค้นและหลีกเลี่ยง การวุ่นวายความยุติธรรมอย่างดียิ่ง และความแสมอภาค เป็นสิ่งสำคัญที่จะให้ทำงานประสานร่วมมือกันและมีขวัญดี

ถ้ามีเรือโบตอยู่ในน้ำหลายลำด้วยกันจงพยายามอยู่รวมกัน อย่าแยกกันถ้าทำได้ เพราะได้ผลดี

ก่อนจะออกเดินทางไปทิศใด สิ่งที่สำคัญต้องคาดสถานการณ์เสียก่อน จงอย่าได้ออกเรือจนกว่าจะรู้ว่าจะไปทางไหน พิจารณาให้ดีให้สุขุมรอบคอบ เพราะอาจเป็นการตัดสินใจ ที่สำคัญที่สุดตลอดการเดินทาง

ก่อนอื่นตรวจว่ามีนาฬิกากี่เรือนในเรือ หาอัตราผิดไว้ให้ละเอียดที่สุดทุกเรือน สอบถามเจ้าของนาฬิกาถึงอัตราเปลี่ยนและความเที่ยงตรงของนาฬิกา บันทึกรายการเหล่านี้ไว้ และกำหนดเวลาไขนาฬิกา และการตรวจสอบไว้เป็นประจำ

บันทึก แลต. ลอง. ที่ดีที่สุดของจุดออกเรือ และเวลาไว้ ใช้จุดนี้ เป็นจุดตั้งต้นที่จุดปูมต่อไป

ในการเลือกแล่นเรือเข็มแรก จงศึกษาพิจารณาสิ่งประกอบต่าง ๆ โดยรอบคอบ อย่าตั้งเข็มแล่นไปจนกว่าจะได้ตัดสินใจดีที่สุดเด็ดขาดแล้ว

ถ้ามีรายการประกอบมากก็จะทำให้ตัดสินใจได้ดี ถ้ามี **Pilot Chart** จงศึกษาดูบ่อย ๆ เสมอ และให้รู้ชี้งตลอดถึงกระแสน้ำเฉลี่ยที่คาดว่าจะมีและลมที่มีอยู่ตามปกติ

ดูทิศทางสายการเดินเรือตามปกติ ซึ่งจะหาได้จาก **Pilot Chart** ถ้าหากจะเลือก เข็มเดินทางที่เหมาะได้หลายเข็ม ควรเลือกเข็มที่จะแล่นไปยังสายการเดินเรือที่ใกล้ที่สุด

พิจารณาขนาดและความสูงของฝั่งใกล้ ๆ และพิจารณาเครื่องมือเดินเรือที่มีอยู่ พึงระลึกไว้ว่าเมื่อผู้ตรวจยืนอยู่ในเรือช่วยชีวิตนั้นเห็นขอบฟ้าไม่ไกล จงพิจารณาดูว่าเพื่อจะให้ได้ความแม่นยำที่ดีจะต้องใช้ตำบลที่อันไหน เกาะเล็กต่ำ ๆ ที่อยู่ไม่สู้ไกลเกินไปนัก อาจเป็นการยากมากที่จะหาได้ด้วยการใช้วิธีการเดินเรือหยาบ ๆ

จะหาเวลาที่ถูกต้องแม่นยำได้ไหม ให้พึงระลึกว่าอาจหาแลต. โดยแม่นยำได้โดยไม่ต้องใช้เวลา แต่ลองจิ้วดจะหาได้ไม่แม่นยำกว่าเวลา ถ้ามีปัญหาเกิดขึ้น เกี่ยวกับความสามารถที่จะรักษาให้ได้เวลาอันแม่นยำพอควร (พึงระลึกไว้ว่าอัตราเคลื่อนคลาดของเวลา 4 วินาที ทำให้เกิดความเคลื่อนคลาด 1 ของลองจิจูด) แล้วอย่าตั้งทิศหัวเรือปักตรงไปยังที่หมายปลายทาง ทีเดียว แต่จงแก้ไว้ราว 1 ปอยนต์ เพื่อตั้งให้เรือโบตไปทางตะวันออกของที่หมาย และเมื่อได้แล่นไปถึงละติจูดของที่หมายแล้วจึงแล่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก โดยรักษาแลต. ของที่หมายไว้ วิธีการนี้ได้ใช้สำเร็จได้ผลดีมาเป็นเวลาหลายศตวรรษ ก่อนที่จะได้ประดิษฐ์โครโนมิเตอร์ อันแม่นยำขึ้นประมาณ 200 ปีมาแล้ว

ถ้าได้ส่งสัญญาณอับจนไว้เป็นเวลานานพอควร แล้วก่อนหน้าที่จะสละเรือใหญ่ และเมื่อคาดว่าจะมีเรือหรือเครื่องบินมาค้นหาเรืออับปางแล้ว ควรจะได้รออยู่ใกล้ ๆ กับที่เรือที่รายงานไปครั้งสุดท้าย สิ่งนี้จะได้ผลถ้าหากมี**Sofar bombs**(ดูข้อ 751 ของ**Navigation and Nautical Astronomy,1948,by Dutton**)อยู่ในเรือและเมื่อเรือช่วยชีวิตอยู่ในพื้นที่ซึ่งเขต**Sofar bombs** นี้ปกคลุมไปถึง

เมื่อได้ตกลงใจที่จะแล่นเข็มใดแล้ว และทราบอัตราเร็วเฉลี่ยที่คาดไว้ รวมทั้งอัตราเร็วที่กระแสน้ำและลมช่วยด้วย ก็ให้กะประมาณเวลาถึงที่หมายและจัดการปันส่วนอาหารต่อไป

ให้พิจารณาความรู้ ความสามารถ และความเหมาะสมของทุกคนในเรือ แล้วมอบหมายความรับผิดชอบอันมีขอบเขตให้ทุกคนกำหนดตารางจำกัดประจำวันขึ้น

ขวัญ สิ่งสำคัญที่จะทำให้เดินทางกลับไปได้โดยปลอดภัยนั้น ต้องมีขวัญดี ด้วยความพิจารณารอบคอบและความสุขุมเยือกเย็น ย่อมเอาชัยชนะต่อสิ่งยากทั้งปวงได้เกือบทั้งสิ้น ทั้งนี้พิสูจน์ให้เห็นได้จากนิยายอันมีชื่อเสียงทางทะเลหลายเรื่อง เรื่องราวของ **Captain Bligh** ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นเรื่องหนึ่งของบรรดาเรื่องที่มีชื่อเสียงแห่งการมานะอดทนและการพิจารณาตัดสินใจ

หน้าที่ที่มอบหมายให้ทำ ประจำวันของแต่ละคนมีคุณค่ามากเกี่ยวกับขวัญ ให้กำหนดเวลาอ่านหนังสือธรรมะดัง ๆ ไว้เป็นตารางประจำวัน การนี้มิใช่แต่มิให้มีเวลาว่างเท่านั้น แต่ยังทำให้มีกำลังใจและเพิ่มความเชื่อมั่นและการตัดสินใจให้แก่ลูกเรือด้วย

ที่เรือรายงาน ที่เรือรายงานในเรือช่วยชีวิตเป็นสิ่งสำคัญเสมอ จงหาจุดออกเรือให้ได้แม่นยำเท่าที่จะหาได้และบันทึกเข็ม อัตราเร็วกระแสน้ำประมาณและลีเลย์ไว้ อย่าด่วนทิ้งที่เรือประมาณ (EP) ที่หาได้โดยรอบคอบไปใช้ที่เรือแบริงอันไม่แน่นอนซึ่งหาได้โดยวิธีหยาบ เว้นเสียแต่ว่าจะได้ใช้วิธีการเดินเรืออันแม่นยำจริง ๆ พิจารณาที่เรือประมาณให้ดีทุกแห่ง แล้วตรวจหารายละเอียดต่าง ๆ ที่มี

จงพยายามให้ได้ประโยชน์ในทุกภาวะการณ์ เมื่อลมดีพยายามแล่นให้ได้ระยะทางให้มากที่สุดในทิศที่ต้องการ บางทีอาจจะได้ผลดีที่จะเปลี่ยนเข็มไปเล็กน้อย เพื่อให้ได้อัตราเร็วมากขึ้นในทิศที่แตกต่างไปจากทิศที่จะไป แต่ถ้าลมไม่ดีหรือไม่ถูกในทิศทางที่จะไปแล้ว ก็ให้ทิ้งสมอทะเลและลดลีเวย์

จงพยายามขีดหาที่เรือของเรือโบตไว้ การขีดหาที่เรือในเรือดาดฟ้าเปิดอาจยาก จึงควรคำนวณการแล่นเรือโดยมาตราทราเวิสอย่างง่าย ๆ จะง่ายกว่า

ทิศทาง เมื่อเริ่มต้นเดินทางเป็นการดีที่จะสอบหาความแม่นยำของเข็มทิศ ตามเข็มที่ถือท้าย วาริเอชั่นหาได้จาก **Pilot Chart** แต่การหาดิวิเอชั่นถ้าหากว่าไม่ทราบไว้ อย่างแม่นยำแล้วก็ให้ทิ้งเศษไม้หรือเศษของอับปางลงในน้ำหรือโยนพวงชูชีพ หรือวัตถุสิ่งอื่นซึ่งจะไม่ลอยตามลมไปไกลนัก แล้วให้แล่นเรือไปในทิศแม่เหล็กกลับตรงข้ามกับเข็มที่จะแล่นไปจากวัตถุนั้น เมื่อได้แล่นเรือไปในทิศทางนี้ชั่วระยะหนึ่ง (ครึ่งไมล์ถึง 1 ไมล์) แล้ว ก็ให้เลี้ยวกลับแล่นเข้าหาวัตถุนั้น ถ้าไม่มีดิวิเอชั่น เข็มเรือ (**Comp. Co.**) จะเป็นเข็มกลับของเข็มแรกที่ถือท้ายไป ถ้าไม่ใช้เข็มนั้นแล้ว เข็มเรือที่ต้องการจะเป็นครึ่งหนึ่งระหว่างเข็มกลับของเข็มแรกและเข็มที่แล่นกลับมาหาวัตถุ

ในระหว่างที่เรือแล่น จะต้องสอบดิวิเอชั่นตามช่วงเวลาประจำในกึ่งทรงกลมเหนือ ให้ถือเอาได้ว่าดาวเหนือ (**Polaris**) อยู่ตรงทิศเหนือแว้นเสียแต่ใน เลต. สูงมาก ๆ (ในเลต. ที่สูงกว่า 60 น. อัตราเคลื่อนคลาดมากที่สุดมีเกินกว่า 2) เมื่อดาวเหนืออยู่เบื้องบน (**above**) หรือเบื้องล่าง (**below**) ขั้วโลกโดยตรงแล้ว แอซิมัธของดาวเหนือเป็น 000 ทุกแลต. เมื่อดวงอาทิตย์หรือวัตถุท้องฟ้าอื่น ๆ มีสูงเต็มที่ (ขึ้นสูงสุด) แล้วให้ถือได้ว่าดาวนั้น ๆ อยู่บนเมริเดียนท้องฟ้า (**celestial meridian**) ฉะนั้น แบริงเป็น 180 หรือ 000 ทิศเหล่านี้เป็นทิศจริง จึงหาอัตราเคลื่อนคลาดเข็มทิศ (วาริ.+ดิวิ.) ได้โดยตรงไม่ใช้ดิวิเอชั่น

ถ้ามีปฏิทินเดินเรือและมาตราคำนวณแล้ว การหาทิศจริงของวัตถุท้องฟ้า ในขณะใดก็ทำได้ โดยวิธีปกติสำหรับคำนวณหาแอซิมัธ

ถ้าหากไม่มีเข็มทิศในเรือ ให้ผูกเชือกเข้ากับกึ่งกลางของราโท (**gunwhale**) ทางท้ายเรือ แล้วปล่อยปลายอีกข้างหนึ่งให้ลากน้ำ (คล้ายกับเป็นว่าเรือลากเชือก) ถ้าเรือโบตแล่น

เบี่ยงเบนไปจากแนวทางตรงแล้วเส้นเชือกจะเคลื่อนออกไปจากตำบลที่ สเทิน ของมัน โดยขนานใกล้เคียงกับข้างของเรือโบต แต่ถ้าคลื่นตีข้างเรือแล้ววิธีนี้ก็จะมีความแม่นยำน้อยที่สุด (ไม่แม่นยำ) แต่ทว่าอาจจะดีกว่าไม่มีอะไรเสียเลย

ในเวลากลางคืน อาจให้เรือโบตแล่นได้ตรงเข็ม **(straight course)** เหนือหรือตะวันออกหรือตะวันตกได้พอควรโดยถือท้ายให้ตรงดาวเหนือหรือดาวที่ใกล้ไพรม์เวอร์ติเกิล

อัตราเร็ว ตลอดการเดินทางควรหาอัตราเร็วให้ได้แม่นยำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ความสามารถในการที่จะกะประมาณอัตราเร็วนั้นจะกะได้โดยการปฏิบัติ วิธีหยาบ ๆ วิธีหนึ่ง สำหรับวัดอัตราเร็วที่ปรากฏว่าได้ผลอยู่บ่อย ๆ นั้น คือให้โยนหีบหรือวัตถุลอยน้ำอย่างอื่นลงในน้ำ ทางหัวเรือแล้วจดเวลาที่เรือผ่านวัตถุนั้นไว้ ในการนี้ให้ขีดกะระยะจำกัดไว้ตามราโท ระยะนี้ให้กะความยาวเอาตามที่เหมาะ แต่ให้ง่ายแล้วควรใช้ระยะยาว 25. 16.7. 20. 10 ฯลฯ - จะยาวเท่าไรก็ได้ แต่นิยมใช้แบ่งเป็น 100 ฟุตต่อเวลาทั้งหมด

ถ้าเรือโบตแล่นได้ระยะทาง 100 ฟุตต่อนาที แสดงว่าเรือแล่นได้ในอัตรา 1 นอต ถ้าเครื่องหมายความยาวกำหนดไว้ 25 ฟุต และถ้าโยนวัตถุลงทางหัวเรือ แล้วมันจะต้องผ่านตรงเครื่องหมายขีดอันที่ 2 ในเวลา 15 วินาที ถ้าเรือโบตแล่นในอัตราเร็ว 1 นอต กินเวลา 7.5 วินาที ถ้าแล่น 2 นอต.. 5 วินาที สำหรับ 3 นอต ฯลฯ ถ้าใช้ระยะ 16.7 ฟุต จะต้องใช้เวลา 10 วินาที สำหรับ 1 นอต.. 5 วินาที สำหรับ 2 นอต ฯลฯ เราย่อมทำมาตรา หรือเส้นโค้งอัตราเร็วเวลาได้โดยง่าย อัตราเร็วที่หาได้ในวิธีนี้เป็นอัตราเร็วที่สัมพัทธกับน้ำ ไม่ใช่อัตราเร็วบนพื้นน้ำนิ่ง **(speed over the ground)**

โดยที่วัตถุสำหรับโยนลงในน้ำอาจหาได้ยากหรือไม่มี วิธีการที่ดี จึงใช้สายเชือกเบาๆ เล็ก ๆ ผูกติดเข้ากับวัตถุนั้น และเอาปลายอีกข้างหนึ่งผูกติดไว้กับเรือโบต ฉะนั้น จึงเก็บเอาวัตถุนั้นมาใช้ได้อีกหลาย ๆ ครั้ง

ถ้าหากในเรือโบตไม่มีนาฬิกา ก็ยังใช้วิธีหาอัตราเร็วดังกล่าวได้ คือพวกลูกเรือที่มีหน้าที่เกี่ยวกับดูแลโครโนมิเตอร์ เช่น จ่าเรือ (สำหรับนาวีสหรัฐอเมริกา) อาจมีความสามารถนับเวลาทุกวินาทีหรือทุกครึ่งวินาทีได้ การนับเวลาทุกครึ่งวินาทีย่อมดัดแปลงได้ โดยทำลูกตุ้มนาฬิกา **(pendulum)** อย่างง่าย ๆ ขึ้น คือผูกตุ้มน้ำหนักขนาดเล็กที่หนักมาก เข้ากับเชือกเส้นเล็ก ๆ เบา ๆ ถ้าสายเชือก (ลูกตุ้ม) ยาว 9.8 นิ้ว (ถึงศูนย์กลางของน้ำหนัก) แล้วคาบเวลา (ตั้งแต่แกว่งไปแล้วกลับ) จะเป็น 1 วินาที ถ้าสายยาว 39.1 นิ้ว คาบเวลาจะเป็น 2 วินาที

มาตราทราเวิส มาตราทราเวิสอย่างง่าย ๆ อาจมีประโยชน์หลายอย่าง ในมาตราต่อไปนี้ได้ให้เข็มไว้ใน 4 ช่องแรก **.d.lat.** เป็น **minute** ต่อระยะทาง 1 ไมล์ ตามเข็มให้ไว้ในช่อง 5 และระยะขยายหรือไมล์ทางตะวันออกหรือตะวันตกต่อระยะทาง 1 ไมล์ ให้ไว้ในช่อง 6 ในการหา l และ **p** ให้คูณค่าในมาตราด้วยระยะทาง

Co.				l	p
000°	180°	180°	360°	1.00	0.00
005	175	185	355	1.00	0.09
010	170	190	350	0.98	0.17
015	165	195	345	0.97	0.26
020	160	200	340	0.94	0.34
025	155	205	335	0.91	0.42
030	150	210	330	0.87	0.50
035	145	215	325	0.82	0.57
040	140	220	320	0.77	0.64
045	135	225	315	0.71	0.71
050	130	230	310	0.64	0.77
055	125	235	305	0.57	0.82
060	120	240	300	0.50	0.87
065	115	245	295	0.42	0.91
070	110	250	290	0.34	0.94
075	105	255	285	0.26	0.97
080	100	260	280	0.17	0.98
085	095	265	275	0.09	1.00
090	090	270	270	0.00	1.00

มาตรานี้อาจใช้ได้สำหรับทำกับรูปสามเหลี่ยมมุมฉากใด ๆ ได้ สำหรับระยะทางที่เรือช่วยชีวิตสามารถแล่นไปได้ในหนึ่งวัน ให้ถือเอาได้ว่าโลกเป็นพื้นแบนราบ โดยไม่มีความเคลื่อนคลาดมากนัก ให้เอา 1 ไปกระทำกับ แลต. ของจุดเริ่มต้นออกเรือ การแปลง p เป็น DLo ให้คูณ p ด้วยตัวประกอบจากมาตราต่อไปข้างล่างโดยใช้ Lm เปิดหาทั้ง 1 และ DLo เป็น minutes เป็มจะแสดงทิศทางที่จะต้องเอาไปแก้

Lm	p to DLo	Lm	pto DLo	Lm	pto DLo
0°	1.00	30°	1.15	60°	2.00
5	1.00	35	1.22	65	2.37
10	1.02	40	1.30	70	2.92
15	1.04	45	1.41	75	3.86
20	1.06	50	1.56	80	5.76
25	1.10	55	1.74	85	11.47

ตัวอย่าง เรือช่วยชีวิตออกจากแลต. 38° 37'.4 ต., ลอง. 160° 12'.0 อ. แล่นเข็ม 240° เป็นระยะทาง 80 ไมล์ หา แดล. และ ลอง. เมื่อสิ้นระยะทาง

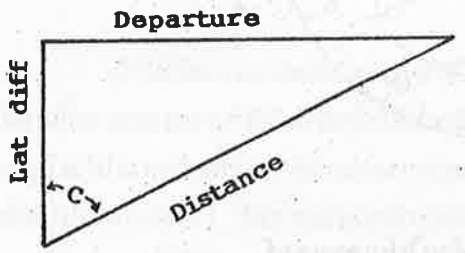
วิธีทำ เปิดมาตราแรกด้วยเข็ม 240° ได้ l = 0.50 และ p =0.87 โดยที่ d=80 ไมล์ ฉะนั้น l=80×0.50=4.00 เพราะว่าเข็มเป็น 240° จึงมีส่วนประกอบ แยกไปทางใต้ ฉะนั้น L ภายหลังที่แล่นแล้ว = 28° 37'.4 ต. + 4°0'.0 = 29° 17'.4 ต.

เปิดมาตราสองด้วย Lm 29.0 ต. หา "p to DLo" ได้ 1.14 ฉะนั้น DLo = 80×0.87×1.14 = 79'.3 ฉะนั้น ลอง. ภายหลังการแล่น = 160° 12'.6 อ.-79'.2 ตก. =158° 53'.3 อ. เพราะว่าเข็มมีส่วนประกอบไปทางตะวันตก

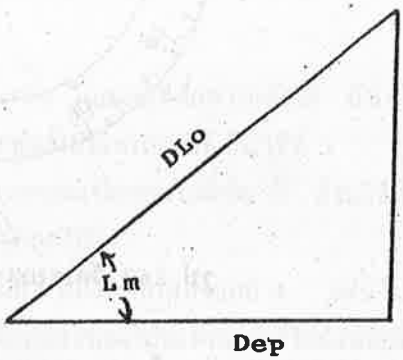
ตอบ แลต. 29° 17'.4 ต.

ลอง. 158° 53'.3 อ.

ค่าของ l และ p นั้น หาโดยการสร้างรูปสามเหลี่ยมก็ได้ ในการนี้ใช้กระดานหนก็ได้แต่ไม่สู้จำเป็นนัก การแปลงจาก p เป็น DLo ก็ทำโดยการสร้างรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ก็ได้ แต่อย่างไรก็ดีการบีดลงในแผนที่หรือในแผ่นหาที่เรือโดยตรงแล้ว ย่อมง่ายกว่าการสร้างรูปดังกล่าว



รูป 245
รูปแล่นเรือลดเลี้ยว



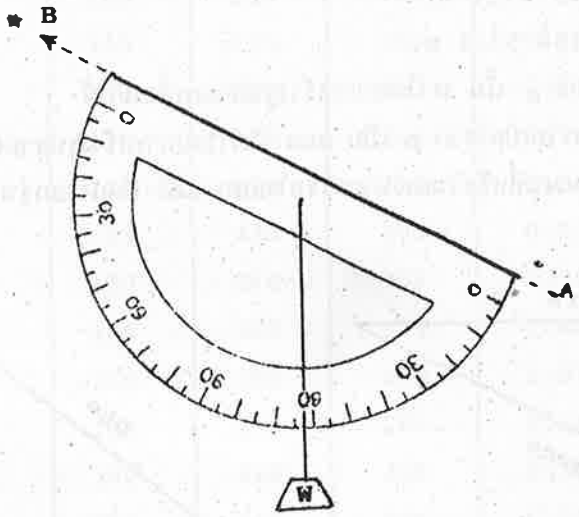
รูป 246
แปลง p เป็น DLo โดยรูป

การวัดสูง ถ้ามีเครื่องวัดแดด การวัดหาสูงของวัตถุท้องฟ้า ก็ย่อมหาได้โดยวิธีที่ใช้กันอยู่แล้วตามที่ได้เรียนมา แต่อย่าลืมหาอัตราแก้อินเด็กซ์ ถ้าไม่มีเครื่องวัดแดด ก็หาสูงได้หลายวิธีเหมือนกันรวมทั้ง วิธีต่อไปนี้ด้วย

โปรแตรกเตอร์ โปรแตรกเตอร์ กระดานหนยึดติดแน่นกับกระดาษแข็ง หรือวงกลมหรือครึ่งวงกลมใด ๆ ที่แบ่งเป็นองศาไว้ ย่อมหาสูงได้ในวิธีใดวิธีหนึ่งของวิธีต่าง ๆ ต่อไปนี้

วิธีที่ 1

การวัดระยะเชนิธด้วยโปร แตรกเตอร์ ให้เอาน้ำหนักถ่วงผูกติดเข้าที่ ศูนย์กลางของส่วนโค้งด้วยเส้นเชือก ให้สายเชือกผ่านขอบนอกของมาตราส่วน ที่ศูนย์กลางของส่วนโค้งให้เจาะรูสำหรับติดเชือกให้ผู้ตรวจเล็งไปตามขอบตรงของโปรแตรกเตอร์ **AB** ไปยังวัตถุ ให้ผู้ช่วยอ่านขีดมาตราส่วนตรงที่เส้นเชือกพาด มุมนี้เป็นระยะเชนิธ ฉะนั้น สูงของวัตถุ = 90̊ - ขีดมาตราส่วนที่อ่านได้ สูงตามในรูปได้ 28 การวัดสูงโดยวิธีนี้ให้วัดหาหลาย ๆ หน แล้วให้กลับ

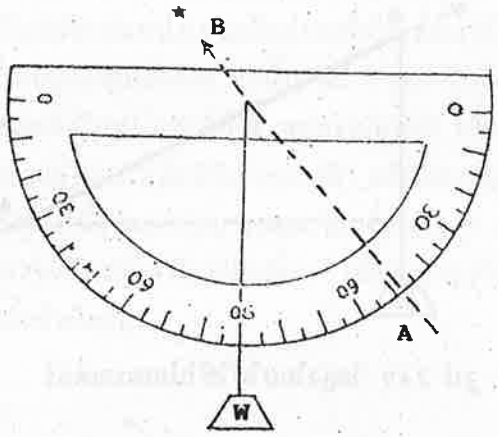


รูป 247 วัดระยะเชนิธด้วยโปรแตรกเตอร์

โปรแตรกเตอร์วัดอีกหลาย ๆ ครั้งเช่นเดียวกัน แล้วหาผลเฉลี่ยของมุมที่วัดได้เพื่อเอามาใช้ วิธีนี้ใช้วัดดวงอาทิตย์ไม่ได้ เว้นแต่จะได้มีกระจกสีป้องกันตาดีพอแล้ว

วิธีที่ 2

การวัดสูงด้วยโปรแตรกเตอร์ ให้เอาน้ำหนักถ่วงผูกติดกับเข็มหมุด ตรงศูนย์กลางของความโค้งและถือโปรแตรกเตอร์ไว้ในแนวนอน โดยให้สายเชือกผูกน้ำหนักผ่านตรงขีด 90̊ ให้ผู้ช่วยถือโปรแตรกเตอร์ไว้และให้เส้นเชือกห้อยอยู่ตรง 90̊ ส่วนผู้ตรวจเคลื่อนเข็มหมุดหรือปลายดินสอหรือวัตถุบาง ๆ อย่างอื่นไปตามขีดมาตราส่วน จนกระทั่งเข็มหมุดอันนี้ และอันที่ศูนย์กลางอยู่ในแนวเดียวกันกับวัตถุที่วัด ฉะนั้น วัตถุก็จะอยู่ในทิศทาง **AB** เมื่อใช้โปรแตรกเตอร์ ในทำนองนี้แล้วก็จะวัดสูงได้ทีเดียว ในรูปนี้จะวัดได้ 48 วิธีนี้ไม่ใช้กับดวงอาทิตย์เว้นแต่จะได้ป้องกันตา ไว้ดีแล้ว



รูป 248 วัดสูงด้วยโปรแตรกเตอร์

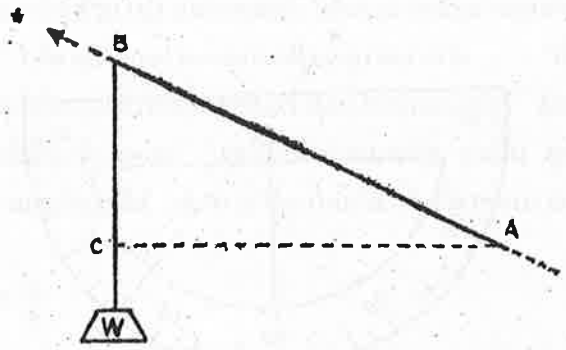
ถ้าใช้วัดดวงอาทิตย์แล้วจะใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง ในสองวิธีที่กล่าวแล้วได้ ถ้าเอาเข็มหมุนใส่ไว้ที่ศูนย์กลางของความโค้งให้เข็มตั้งได้ฉากกับพื้นของโปรแตรกเตอร์ ในวิธีที่ 1 (การวัดระยะเชนิธด้วยโปรแตรกเตอร์) ให้อ่านมาตราส่วนเมื่อเงาของเข็มทอดไปที่ขีด 0° ส่วนวิธีที่ 2 (การวัดสูงด้วยโปรแตรกเตอร์) ให้อ่านมาตราส่วนตรงที่เงาทอดไป

การใช้โปรแตรกเตอร์นั้น ยังมีวิธีใช้พลิกแพลงได้อีกหลายอย่าง เช่นในวิธีที่ 2 นั้น จะงดไม่ใช้น้ำหนักแขวนไว้ก็ได้ให้ผู้ช่วยเล็งขอบด้านตรงของโปรแตรกเตอร์ไปยังขอบฟ้า การวัดนี้จะไม่ใช้ผู้ช่วยก็ได้ถ้าติดน้ำหนักไว้ที่มาตราส่วนที่ 90° แล้วเอาห่วงเชือกคล้องเข็มหมุดที่ศูนย์กลางของความโค้งไว้สำหรับยึดโปรแตรกเตอร์ ตามตัวอย่างนี้ใช้วัดโดยวิธีที่สอง หรือถ้าสมัครจะทำอีกอย่างก็ได้ คือให้ติดด้ามถือเข้าที่ขีดมาตราส่วน 90° และติดน้ำหนักเข้าที่ศูนย์กลางของความโค้ง แล้วหงายโปรแตรอกเตอร์เอาส่วนโค้งลง วิธีที่หนึ่งนั้นก็ใช้วัดได้โดยไม่ต้องมีผู้ช่วย ถ้าหากว่าเมื่อวัดได้ที่แล้วให้เอานิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้จับเส้นเชือกไว้ให้แน่น

เครื่อง **astrolabe** ที่ใช้กันก่อนสมัยมีเครื่องวัดแตดนั้น ได้ใช้หลักการของวิธี ที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น

การวัดสูงโดยไม่ใช้โปรแตรกเตอร์ ถ้าหากว่าไม่มีมาตราส่วนแบ่งไว้เป็นองศาแล้ว ให้ปักเข็มหมุด 2 ตัวหรือตะปู 2 ตัวลงในกระดาษแข็งและเอาด้ายแขวนน้ำหนักไว้ที่ **B** แล้ว เล็งไปตาม **AB** และให้เข็มหมุดทั้งสองอันนั้นอยู่ในแนวเดียวกันกับวัตถุท้องฟ้า ถ้าหากวัดดวงอาทิตย์ให้ถือกระดาษแข็งให้เงาของ **B** ทับมาที่ **A** เมื่อ **A** และ **B** อยู่ในแนวเดียวกับวัตถุท้องฟ้า แล้วให้

เอานิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ยึดเส้นด้ายให้ติดไว้กับที่ จากจุด A ลาก AC ให้ตั้งฉาก กับเส้นด้าย ต่อไปก็ใช้เปิดมาตราทราเวิสหามุม ใช้ความยาว BC เปิดในช่อง แลต. เปลี่ยนหรือใช้ AC เปิดใน



รูป 249 วัดสูงโดยไม่ใช้โปรแตรกเตอร์

ช่องระยะขยาย ในกรณีใดกรณีหนึ่งที่กล่าวนี้ ความยาวให้เป็นหน่วยของ AB คือว่าถ้า ABยาว 10 นิ้วแล้วความยาว BC หรือ AC ก็เป็นนิ้วหารด้วย 10 ก่อนที่จะเอาไปเปิดในมาตรา วิธีที่ง่ายคือให้หาร AC ด้วย BC และใช้มาตราต่อไปข้างล่างนี้เอา AC/BC ไปเปิดในช่อง L/H

ความยาวของเงา ถ้าหากมีถังน้ำหรือภาชนะอย่างอื่นแล้ว ก็หาสูงของดวงอาทิตย์ได้โดยการวัดความยาวของเงา ให้ตอกตะปูหรือวัตถุแหลมอย่างอื่นเข้ากับไม้กระดาน แล้วเอาลอยน้ำไว้ในภาชนะนั้นเพื่อให้ได้ผลแม่นยำแล้วยอดของวัตถุนั้นต้องทำให้แหลม ถ้าหากใช้ตะปูให้ตอกตะปูให้ทะลุกระดานแล้วกลับข้างเสีย ให้วัดส่วนยาวของเงาให้ถูกต้อง เมื่อวัดได้แล้วให้หมุนไม้กระดานไปในแนวนอน (ในแนวแอซิมัธ) ประมาณ 180 และวัดความยาวของเงาไว้อีก แล้วหาผลเฉลี่ยของความยาวของเงาที่วัดไว้สองครั้งนั้น ด้วยความสูงของเข็มหมุด หรือวัตถุแหลมที่ใช้และเปิดหาสูงจากมาตราต่อไปนี้ (หรือมาตรา Nat. Cotangeut อื่นใดก็ได้)

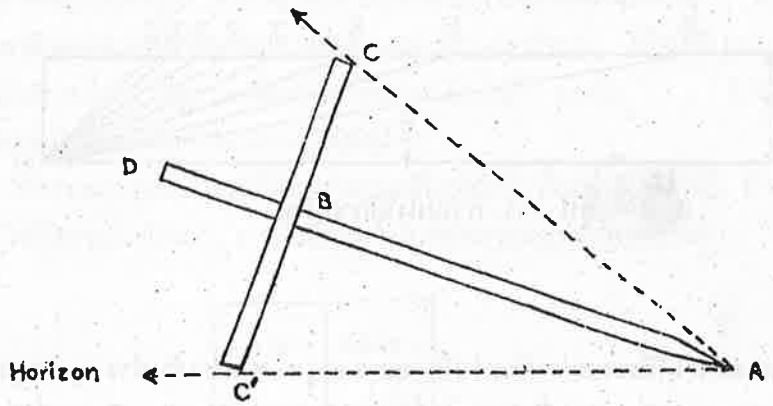
สูง	L/H	สูง	L/H	สูง	L/H
5°	1.430	35°	1.428	65°	0.466
10	5.671	40	1.192	70	0.364
15	3.732	45	1.000	75	0.268
20	2.747	50	0.839	80	0.176
25	2.145	55	0.700	85	0.807
30	1.732	60	0.577	90	0.000

ในมาตรานี้ L เป็นความยาวของเงาและ H เป็นส่วนสูงของเข็มหมุด

ตัวอย่าง เข็มยาว 4 นิ้ว เงาของเข็มยาว 6.3 นิ้ว จงหาสูงของดวงอาทิตย์

วิธีทำ L/H =6.3/4 = 1.575 เทียบหาจากมาตราจะได้สูง 32.6

ไม้กากบาท(corss staff) ถ้ามีไม้ 2 อัน ก็ให้ทำไม้กากบาทดังในรูป AD เป็นไม้ซึ่งมีปลายข้างหนึ่งแหลม CC' เป็นไม้อีกอันหนึ่งเจาะเป็นร่องเพื่อให้เลื่อนได้โดยอิสระ เลื่อนไปเป็นมุมฉาก ตามไม้ AD ร่องที่เจาะอยู่ตรงศูนย์กลาง ฉะนั้น BC = BC' ในการวัดสูงของวัตถุ ให้ถือไม้กากบาทไว้ประมาณในลักษณะดังในรูป และให้ A อยู่ตรงนัยน์ตา เลื่อนแขน CC' ไปตามไม้ยาว AD จนเห็นจุด C' ปรากฏอยู่ในแนวเดียวกันกับขอบฟ้า แล้วจับแขนเลื่อนให้อยู่กับที่ วัดระยะ AB หารความยาว AB นี้ด้วยครึ่งหนึ่งของความยาวของแขนเลื่อนคือหา AB/BC เอาค่านี้ไปเปิดในมาตราเดียวกันกับที่ใช้สำหรับเงาแล้วเอาสูงเพียงครึ่งเดียว เมื่อจะหาสูงให้เอา 2 คูณเข้ากับมุมที่ได้จากมาตรา อย่าผสมสองขั้นนี้เข้าด้วยกัน



รูป 250 วัดสูงโดยไม้กากบาท

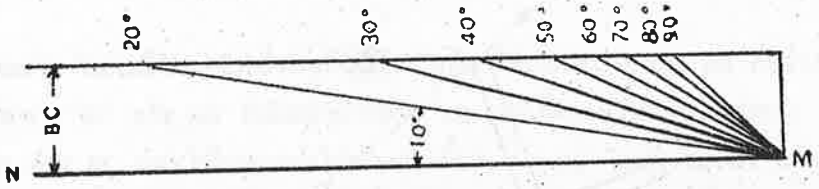
AB/BC=L/H ของครึ่งสูง แต่ AB/2BC ไม่ L/H ของสูง

ตัวอย่าง ครึ่งความยาวของแขนเลื่อน ของไม้กากบาทยาว 6 นิ้ว เมื่อไม้กากบาทอยู่ในแนวเดียวกับขอบฟ้าและดาว แขนนั้นอยู่ห่างจากตา 14 นิ้ว จงหาสูงดวงอาทิตย์

วิธีทำ AB/BC = 14/6 = 2.333 โดยการเทียบจากมาตราจะได้ครึ่งสูงเป็น 23.4 ฉะนั้นสูง = 2×23.4=46.8

การเทียบเชิงเส้น (linear interpolation) ในมาตรานี้ไม่มีความแม่นยำมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับมุมเล็ก ๆ และเมื่อทวีมุมให้เป็นสองเท่าแล้วความเคลื่อนคลาดก็ทวีตามไปด้วย เพื่อให้ได้ผลแม่นยำให้มากที่สุดแล้วควรวัดมุมโต และถ้าทำได้แล้วควรวัดวัตถุท้องฟ้าหลาย ๆ ดวง และใช้ค่าที่ได้จากมาตราที่ใกล้ที่สุด

โดยที่ความยาวของแขนเลื่อนนั้นคงที่ สัดส่วน **AB/BC** จึงพึ่งพิงกับความยาว **AB** เท่านั้น ฉะนั้น จึงสามารถทำมาตราส่วนตามแขน **AD** แบ่งให้เป็นสูงโดยตรงได้ ในการหาความยาวให้คูณค่าของ **L/H** จากมาตราด้วยครึ่งความยาวของแขนขวาง (แขนเลื่อน) **BC** เมื่อจะหาสูงให้คูณมุมที่ได้ด้วย 2 โดยที่ค่าของ **L/H** เป็น **cotangent** ของมุมที่แสดงไว้ ฉะนั้นจึงแบ่งขีดมาตราส่วนออกเป็นช่องต่างๆ ได้ตามต้องการถ้ามีมาตรา **cotangent** แต่ถ้าไม่มีมาตราเช่นว่าแล้วก็ใช้โปรแตรกเตอร์วัดแบ่งเอา วิธีนี้ทำโดยการเขียนมาตราส่วนแล้วจะเป็นการดีที่สุด ดังเช่นในรูป



รูป 251 การแบ่งไม้กากบาท

ลากเส้นขนานสองเส้นให้มีระยะห่างกันเท่ากับ **BC** จากจุด **M** ลากเส้นต่าง ๆ ทำมุมต่าง ๆ กับเส้น **MN** เขียนตัวเลขกำกับตรงจุดที่เส้นเหล่านี้ตัดกับเส้นขนานอันบน ตัวเลขที่เขียนกำกับนี้เป็นสองเท่าของมุมที่วัดได้ ระยะของจุดตัดกันนี้แต่ละจุดจาก **A** ซึ่งตั้งฉากจาก **M** เป็นระยะจากปลายแหลม **A** ของไม้กากบาทไปยังจุดตัดที่มีตัวเลขขีดกำกับคล้ายคลึงกัน ถ้าไม้กากบาทได้แบ่งขีดและมีตัวเลขกำกับไว้ดังกล่าวแล้วก็จะอ่านสูงได้โดยตรงจากไม้กากบาทนั้นทีเดียว

วิธีทำไม้กากบาทอย่างง่าย ๆ คือให้ถือไม้บรรทัดไว้ในแนวยืน แล้วยืดแขนออกไปให้สุดแขนและเล็งปลายบนของไม้บรรทัดไปยังวัตถุท้องฟ้า และให้นิ้วที่จับปลายล่างของไม้บรรทัด อยู่ในแนวขอบฟ้าในการวัด ให้กระดกปลายบนของไม้บรรทัดเข้าหาตาจนกระทั่งได้ความยาวของไม้บรรทัดน้อยที่สุด (คือให้ปลายบนของไม้บรรทัดสัมผัสกับเส้นเล็งจากตาไปยังดาว) แล้วหารความยาวของระยะแขนคือระยะจากตาถึงไม้บรรทัดตรงที่นิ้วมือจับด้วยครึ่งหนึ่ง ของความยาวของไม้บรรทัด (คือครึ่งหนึ่งของความยาวของไม้บรรทัดนับจากที่นิ้วจับไปถึงปลายบนไม้บรรทัด) แล้วเปิดในตารางเงาในช่อง **L/H** เอาสูงมาเพียงครึ่งเดียว สำหรับวิธีของไม้กากบาทนั้น **BC** คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วน **AB** เปลี่ยนไปตามสูง ส่วนวิธีใช้ไม้บรรทัดนั้นกลับตรงกันข้าม

เมื่อใช้วิธีใดวิธีหนึ่งที่กล่าวมาแล้ว ควรจะได้วัดหลาย ๆ ครั้ง และเอาผลเฉลี่ยมาใช้กับเวลาเฉลี่ย และถ้าสามารถทำได้แล้วให้วัดกลับวิธีด้วยแล้วเอาผลเฉลี่ยของการวัดทั้งสองคราวมาใช้

จะใช้วิธีใดวัดหาสูงก็ตามและวิธีนั้นจะหยาบเพียงไรก็ตาม จงอย่าพยายามกะประมาณหา เพราะการกะประมาณนั้นไม่ใคร่จะแม่นยำเท่ากับการวัดโดยวิธีที่หยาบ ถ้าหากมีเครื่องวัดแตตชำรุดจงพยายามซ่อมใช้ ถ้าหากว่ากระจกเงาแตกให้ใช้กระจกใสธรรมดา แทนที่โดยเอาหมากฝรั่ง หรือสิ่งอื่นใดที่มีติดเข้าไว้ก็จะพอใช้แก้ขัดไปได้

เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นหรือดวงอาทิตย์ตก จะต้องแก้สูงวัดด้วยรีแฟรกชั่นคือเวลาดวงอาทิตย์ขึ้น รีแฟรกชั่น = (-) 52.5 เวลาดวงอาทิตย์ตก = (-) 36.5 และแก้สำหรับครึ่งเส้นศูนย์กลางเฉลี่ย (-) 16 เมื่อแก้รีแฟรกชั่นและครึ่งเส้นศูนย์กลางแล้ว ให้บวกด้วยอัตราแก้ดิพ

การแก้สูงวัด ถ้าวัดสูงจากขอบฟ้าที่เห็นแล้วการแก้ให้ทำตามที่ใช้กันอยู่สูงของดวงอาทิตย์จะต้องแก้รีแฟรกชั่น ครึ่งเส้นศูนย์กลางเฉลี่ยและดิพ สูงของดาวต้องแก้รีแฟรกชั่นและดิพ ถ้าหากใช้น้ำหนักเพื่อให้อยู่ในแนวยืน หรือใช้วัดความยาวของเงาแล้วไม่ต้องแก้ดิพ ถ้าหากวัดสูงของดวงอาทิตย์โดยวิธีวัดเงาแล้วจะเป็นโดยการวัดความยาวของเงาก็ตาม หรือให้เงาผ่านทับลงที่มาตราส่วนหรือเข็มอีกอันหนึ่งก็ดี ถือว่าวัดที่ศูนย์กลางดวงอาทิตย์แล้ว ฉะนั้น จึงไม่ต้องแก้ครึ่งเส้นศูนย์กลาง อัตราแก้สูงอย่างใกล้เคียงจะหาได้ดังนี้

Refraction มาตรานี้เป็นมาตราแก้รีแฟรกชั่นตั้งแต่ 5° ถึง 90° ถ้าหากใช้วิธีหยาบวัดหาสูงแล้ว ใช้อัตราแก้เพียง 0.1 ที่ใกล้ที่สุดก็นับว่ามีความแม่นยำพอควรแล้ว ในความมุ่งหมาย

Alt.	Corr.
5°	9′
6	8
7	7
8	6
10	5
12	4
15	3
21	2
33	1
63	0
90	

นี้สูงเกินกว่า 20 ถือได้ว่าไม่มีอัตราแก้ แต่สูงระหว่าง 5 และ 20 ถือว่ามีอัตราแก้ 0.1 สำหรับสูงต่ำกว่า 5 แล้วไม่ควรวัดถ้าจะงดเสียได้ อัตราแก้รีแฟรกชั่นเป็นลบเสมอ และต้องแก้สำหรับสูงของวัตถุท้องฟ้าทุกชนิดไม่ว่าจะใช้วัดด้วยวิธีใดก็ตาม

ครึ่งเส้นศูนย์กลางเฉลี่ย ครึ่งเส้นศูนย์กลางเฉลี่ยของดวงอาทิตย์=16' และค่าที่แท้จริงนั้นก็ไม่ต่างไปจากค่านี้มากกว่า 0'.3 ถ้าวัดดวงอาทิตย์ขอบล่างอัตราแก้เป็น (+) และวัดขอบบนอัตราแก้เป็น (-)

ดิพ อัตราแก้ดิพเป็นลิบดา(minutes)ของขอบเท่ากับsquare rootของสูงตาเป็นฟุต ซึ่งนับว่ามีความแม่นยำพอแล้วสำหรับใช้ในเรือช่วยชีวิต อัตราแก้ดิพนี้ จะต้องใช้แก้กับวัตถุท้องฟ้าทุกชนิดเมื่อใช้ขอบฟ้าเห็น (visible hosizon) และเป็น (-) เสมอ

Parallax ไม่มีการแก้พาราลักซ์ เว้นเสียแต่วัดดวงจันทร์ เพราะว่าไม่สู้จำเป็นนักในการแล่นเรือช่วยชีวิต ถ้าหากวัดวัตถุท้องฟ้าอย่างอื่นได้

เส้นตำบลที่ ถ้าหากมีมาตราสำหรับคำนวณหาสูงคำนวณ(computed altitude)แล้ว การใช้เส้นตำบลที่ก็ใช้ในวิธีตามปกติแต่ถ้าไม่มีมาตราดังกล่าวแล้ว การหา แลต. และ ลอง. ต้องหาแยกกันดังที่ใช้กันมาก่อนที่ น.อ. Summer ได้ค้นพบ เส้นตำบลที่ใน ค.ศ. 1837

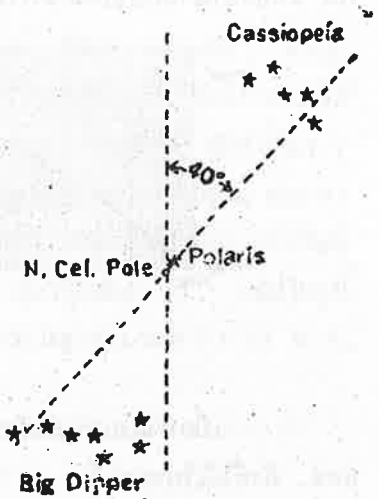
ถ้าหากว่าหาเวลาที่แม่นยำไม่ได้แล้ว ก็จะไม่สามารถหาลองจิจูดได้ ในกรณีเช่นนี้แล้วไม่ควรจะถือท้ายตรงไปยังจุดที่หมายเว้นแต่จะมีแผ่นดินล้อมรอบ ฉะนั้น จึงให้ตั้งเข็มไปยังจุดหนึ่งซึ่งอยู่ตรงทางตะวันออกหรือตะวันตกของที่หมายปลายทาง และเมื่อได้แล่นเรือไปถึง แลต. ของจุดนั้นแล้วจึงให้แล่นเข็ม 090 หรือ 270 ตามที่เหมาะสม ดังได้กล่าวไว้แล้วแต่ต้น ถ้าหากว่ามีนาฬิกาข้อมือใช้แต่เพียงเรือนเดียว และการเดินทางก็กินเวลานานวันแล้ว ก็ย่อมมีปัญหาเกิดขึ้นเกี่ยวกับความแม่นยำของเวลาก่อนที่จะสุดสิ้นการเดินทาง ถ้านาฬิกามีอัตราผิด 1 นาที ลองจิจูดก็จะไม่แม่นยำไป 15' ถ้าที่หมายปลายทางเป็นเกาะเล็ก ๆ แล้วควรตั้งเข็มไปยังจุดหนึ่ง ซึ่งอยู่ทางตะวันออกหรือตะวันตกห่าง 50 ถึง 100 ไมล์หรือกว่าขึ้นไป เพื่อให้เป็นไปตามอัตราผิดเวลาที่มากที่สุดที่จะเป็นได้ ในการกะประมาณเอาตามอัตราผิดของนาฬิกาเรือนใหญ่เช่นนี้ เพราะว่าอัตราผิดในเรือช่วยชีวิตนั้นคงจะไม่เหมือนกับในเรือใหญ่

หาละติจูด การหาละติจูดในกึ่งทรงกลมเหนือ หาได้โดยสูงดาวเหนือ และในละติจูดอื่นใช้หาโดยวิธีสูงบนเมริเดียนดังที่ได้เรียนมาแล้ว

แลต. โดยดาวเหนือ ถ้าไม่มีอัตราแก้ดาวเหนือแล้วก็อาจกะประมาณ หาอัตราแก้ได้เหมือนกันโดยวิธีต่อไปนี้ ถ้ายึดเส้นตรงซึ่งลากผ่านดาวเหนือและขั้วโลก ท้องฟ้าเหนือแล้วมันจะผ่านไประหว่างดาว Cassiopeia และดาว Ruckbah (ดาวทางซ้ายมือสองดวง ของหมู่ดาว

Cassiopeia เมื่อปรากฏเป็นอักษร W) ซึ่งอยู่ทางด้านหนึ่งและดาว Alkaid และ Mizar (ดาวสุดท้าย 2 ดวงทางด้านของหมู่ดาว Big Dipper อยู่ทางอีกด้านหนึ่ง ดาวทั้งสองหมู่นี้เป็นดาวตามรอยทาง (trailing stars) มีอาการเคลื่อนที่รอบขั้วโลกท้องฟ้า ไปในทางตรงข้ามกับเข็มนาฬิกาหมุน ดาวเหนืออยู่ทางด้านของ ขั้วโลกเข้าหาหมู่ดาว Cassiopeia (อยู่ระหว่างขั้วโลก กับหมู่ดาว Cassiopeia) อัตราแก้พึ่งพิงอยู่กับมุม ที่เส้นตรงนี้กระทำกับแนวยืน มาตราสำหรับหาอัตราแก้คือ

ถ้าหมู่ดาว Cassiopeia อยู่เบื้องบน ดาวเหนือ อัตราแก้เป็น (-) ถ้าหมู่ดาว Big Dipper อยู่เบื้องบนอัตราแก้เป็น (+) ถ้าหากไม่มีมาตราสำหรับหาอัตราแก้แล้ว อาจสามารถประมาณหาอัตราแก้จากตำบลที่สัมพัทธของหมู่ดาวทั้งสองหมู่นี้ได้ ในรูปการประมาณหาอัตราแก้ดาวเหนือนั้นมุมเป็น 40̊ และหาจากมาตราจะได้อัตราแก้ 0̊.8 แต่โดยที่หมู่ดาว Cassiopeia อยู่เบื้องบนยอด อัตราแก้จึงเป็น (-) 0̊.8



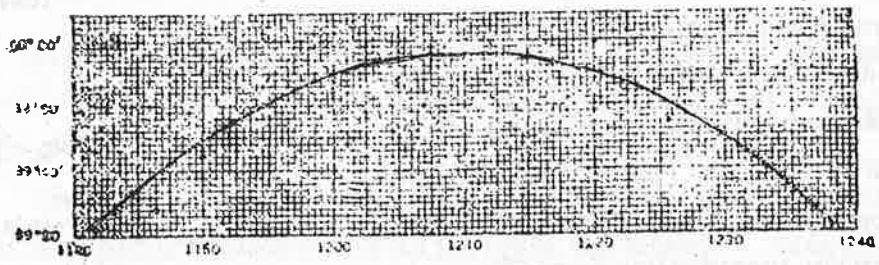
รูป ๒๕๒
การประมาณหาอัตราแก้ดาวเหนือ

มุม	อัตราแก้
0̊	
14	1.0
30	0.9
40	0.8
48	0.7
56	0.6
62	0.5
69	0.4
75	0.3
81	0.2
87	0.1
90	0.0

สูงบนเมริเดียน

อัตราเร็วของเรือช่วยชีวิต ที่มีความแม่นยำมากที่สุดได้จากวิธีวัดสูงบนเมริเดียนซึ่งตามปกติหาได้ โดยการวัดสูงที่มีสูงมากที่สุด ในการนี้ต้องวัดสูงก่อนและหลัง ผ่านเมริเดียนไว้เป็นเป็นจำนวนมากครั้ง ถ้ามีกระดาษภาคตัดขวาง หรือกระดาษกร๊าฟแล้วก็ให้เขียนความสูงตามเวลาลง แล้วเขียนเส้นโค้งเรียบให้ผ่านจุดเหล่านั้น ดังในรูปเส้นโค้งที่แนบมา ถึงแม้ว่าความสูง ที่สุดที่วัดได้เป็น 40̊.0 ก็ตาม สูงบนเมริเดียนที่ได้เป็น 39̊ 58̍ สำหรับสูงที่จดลงในกระดาษกร๊าฟนี้ได้วัดเอาใกล้ที่สุด ถึง 0̊.1 ในช่วงเวลา 5 นาที ถ้าจะวัดให้ช่วงยาวกว่านี้ก็ได้ เช่น วัดทุกครึ่งชั่วโมงตลอดวัน ณ ที่จุดคงที่นั้น เส้นโค้งควรจะสมมาตรกันทั้งก่อนและหลังที่ผ่านเมริเดียน สำหรับอัตราเร็วของเรือช่วยชีวิตแล้วมันควรจะใกล้สมมาตรกันสูงที่สูงที่สุดนั้นไม่ต้องพึ่งพิงกับเวลาซึ่งใช้แต่เพียงเป็นช่วงสำหรับการวัดเท่านั้น ถ้าไม่มีนาฬิกา

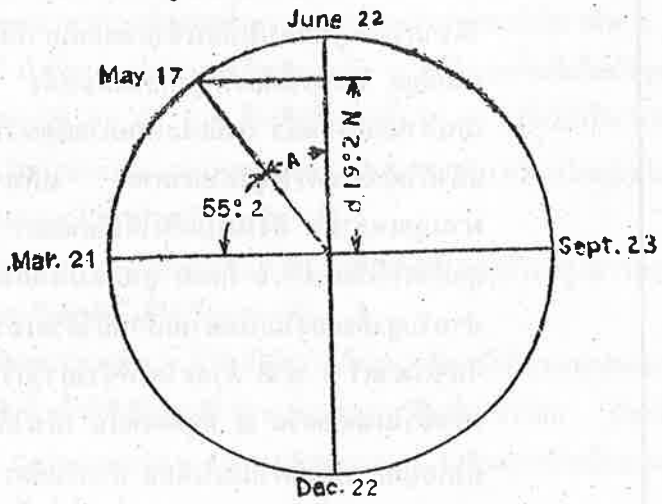
แล้วให้วัดสูงตามช่วงเวลาที่จะกำหนดเอาเอง ช่วงเวลาเท่ากันอย่างใกล้เคียงนั้น อาจหาได้โดยประมาณด้วยการทำลูกตุ้มนาฬิกา ดังได้อธิบายมาแล้วหรือโดยการนับเป็นอัตราเร็วจำนวนสม่ำเสมอกัน จนถึงจำนวนแล้วแต่ต้องการ



รูป 253 เส้นโค้งสูงใกล้ผ่านเมริเดียน

เมื่อหาสูงบนเมริเดียนได้แล้ว ให้เอาสูงนี้ผสมเข้ากับดิค. ของวัตถุท้องฟ้านั้นเพื่อหา แลต. ดังที่ได้เรียนมาแล้ว

หาดิคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์ ถ้าไม่มีดิคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์ จะหาเอาได้ใกล้เคียงดังต่อไปนี้ เขียนวงกลมยิ่งโตยิ่งดีแล้วเขียนเส้นผ่าศูนย์กลางแนวนอนและแนวยืน เขียนอักษรกำกับที่จุดตัดกันทางซ้ายของเส้นผ่าศูนย์กลางและวงกลมว่า 21 มี.ค. และจุดตัดกันทางขวาว่า 23 ก.ย. เบื้องบนวงกลมเขียนอักษร 22 มิ.ย. เบื้องล่าง 22 ธ.ค. แบ่งทุกดีจักรออกเป็นช่องให้เท่ากับจำนวนวันระหว่างวันที่ที่กำหนดไว้ให้ แบ่งรัศมีแนวยืนออกเป็น 23.45 หน่วยเชิงเส้น โดยให้ 0 อยู่ที่ศูนย์กลาง ข้างบนศูนย์กลางเป็น (+) ข้างใต้เป็น (-) เมื่อจะหาดิค. ให้ลากเส้นแนวนอนจากวันที่ไปยังเส้นผ่าศูนย์กลางแนวยืนแล้วจะได้ดิค. ออกมาเป็นองศา ดูรูปข้างบน



รูป 254 หาดิคลิเนชั่นดวงอาทิตย์โดยกร๊าฟ

ในการนี้ใช้หน้าปัดเข็มทิศหรือกระดานหนก็จะเหมาะมาก ถ้าใช้กระดานหนให้คิดเอารัศมี เป็น 1 แล้วคูณอัตราที่อ่านได้ด้วย 23.45 สำหรับหาดิค. อัตราผิดสูงสุดของวิธีนี้ ประมาณครึ่งองศา นับว่าไม่ดี แต่ดีกว่าหาไม่ได้เสียเลย

ดิค. นี้ใช้หาโดยมาตราทราเวิสก็ได้เหมือนกัน ดังนี้ จากรูปที่แล้วมาข้างต้น หามุม **A** ระหว่างรัศมีของ **Solstice** (22 มิ.ย. หรือ 22 ธ.ค.) ที่ใกล้ที่สุด และวัดที่กำหนดให้ เอามุม **A** นี้ไปเปิดมาตราทราเวิสให้เป็นเข็ม และหา 1 จากช่อง แลต. เปลี่ยน คูณค่าของ 1 ด้วย 23.45 จะได้ ดิค. เป็นองศา การหามุม **A** นั้นให้หาจำนวนวันที่มีอยู่ในตรีจักร และหาจำนวนวันในระหว่างวันที่กำหนดให้และ **Solstice** ที่ใกล้ที่สุดแล้วหารจำนวนวันในระหว่างวันที่กำหนดให้และ **Solstice** ที่ใกล้ที่สุดด้วยจำนวนวันที่มีอยู่ในตรีจักรแล้วคูณด้วย 90° เช่นในรูปที่แล้วมานั้นในตรีจักรระหว่าง 21 มี.ค. และ 22 มิ.ย. มี 93 วัน และในระหว่าง 17 พ.ค. และ 22 มิ.ย. มี 36 วัน

$$\therefore A = \frac{36}{93} \times 90 = 34^{\circ}.8$$

จากมาตราทราเวิสจะได้ค่าของ 1 = 0°.82

และ ดิค. **d** = 0°.82 × 23°.43 = 19°.2

หาลองจิจูด ในรูปเส้นโค้งสูงใกล้ผ่านเมริเดียนนั้น จุดสูงสุดของเส้นโค้งแทนสูง ขณะผ่านเมริเดียน จะเห็นได้ว่าเวลาผ่านเมริเดียนเป็น 1210 ณ เวลานี้ ดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันตกของกรีนิชเป็นระยะเท่ากันกับระยะที่ผู้ตรวจอยู่ทางตะวันตก ถ้าหากมีเวลาที่แน่นอนแม่นยำแล้วก็จะหา **GCT** ของดวงอาทิตย์ผ่านเมริเดียนของท้องถิ่นได้ ถ้ามี **GHA** ของดวงอาทิตย์แล้วหรือถ้ารู้ **Eq. of T.** แล้วก็หาลองจิจูดได้

การหาเวลาผ่านเมริเดียนนั้นทางที่ดีแล้วให้เลือกเอาจุดสองจุดบนเส้นโค้ง ซึ่งมีสูงเท่ากันแล้วหาเวลาของแต่ละจุดนั้น จากเส้นโค้งเวลาผ่านเมริเดียนนั้น เป็นเวลากึ่งกลางระหว่างเวลาของจุดทั้งสอง วิธีนี้ใช้กับวัตถุท้องฟ้าใด ๆ ก็ได้ ส่วนเส้นโค้งนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ สูงเท่าสองสูงกับเวลาของแต่ละสูงจำเป็นต้องรู้ ถ้าระยะเวลาที่ล่วงไประหว่างการวัดสูงมีมากแล้ว จะต้องหาระยะทางที่แล่นในระหว่างการวัดนั้น ถ้าไม่มีวิธีใดที่จะวัดสูงได้แล้ว ให้จดเวลาขณะที่วัตถุท้องฟ้าอยู่ในแบริง 180° หรือ 000° (จริง)

ถ้าใช้ดาวแล้วจำเป็นต้องรู้ **GHA** ของดาว ถ้ารู้ **SHA** หรือ **RA** ของดาวแล้ว ก็จะหา **GHA** ได้โดยใกล้เคียง โดยที่ **GST** เท่ากับ **GCT** เมื่อ 23 ก.ย. **GST** ช้ากว่า **GCT** เมื่อ 22 ธ.ค. อยู่ 6 ชั่วโมง ช้ากว่าเมื่อ 21 มี.ค. อยู่ 12 ชั่วโมง และช้ากว่าเมื่อ 22 มิ.ย. อยู่ 18 ชั่วโมง **GST** มีอัตราเปลี่ยนเร็วกว่า **GCT** อยู่วันละ 4 นาทีโดยใกล้เคียง

GHT ของดาว = **GST** + **SHA**

หรือ= **GST** − **RA**

E of T. หาได้โดยใกล้เคียงจากมาตราต่อไปนี้

วันที่	Eq. T.	วันที่	Eq. T.	วันที่	Eq. T.
	m s		m s		m s
Jan. 10	— 7 29	May 10	+ 3 41	Sept. 10	+ 2 53
20	11 02	20	3 39	20	6 25
30	13 21	30	2 42	30	9 51
Feb. 10	14 21	June 10	0 50	Oct. 10	12 51
20	13 53	20	— 1 16	20	15 05
30	12 43	30	3 23	30	16 15
Mar. 10	10 30	July 10	5 08	Nov. 10	16 04
20	7 41	20	6 10	20	14 25
30	4 39	30	6 19	30	11 25
Apr. 10	1 27	Aug. 10	5 19	Dec. 10	7 20
20	+ 1 01	20	3 24	20	2 33
30	2 47	30	0 43	30	2 25

การเทียบหาเชิงเส้นในมาตรานี้ไม่สู้จะแม่นยำนัก เพราะการแปลผันของ **Eq. T.** ไม่สม่ำเสมอกัน ค่านี้แปรจากปีไปปีด้วยเช่นเดียวกับดิค. แต่เกือบจะซ้ำกันทุก 4 ปี ถ้ามีปฏิทินเดินเรือแล้วควรใช้ปฏิทิน

ตัวอย่าง วัดสูงดวงอาทิตย์ได้ 30̊ เมื่อเวลา $11^h21^m14^s$ และเมื่อเวลา $12^h06^m32^s$ อีกครั้งหนึ่งเมื่อ 15 ก.ค. นาฬิกาใช้ (+) 9 **ZT.** หาลองจิจูดโดยใช้ **Eq. T.** ในมาตราข้างบน

วิธีทำ เวลาดวงอาทิตย์ผ่านเมริเดียนอยู่กึ่งกลางระหว่างเวลาที่ให้ 2 เวลา ในโจทย์หรือเมื่อเวลา $11^h\ 43^m\ 53^s$ **GCT** ช้าไป 9 ชั่วโมงหรือเป็น $20^h\ 43^m\ 53^s$ **Eq.T.** ใน 15 ก.ค. เท่ากับ (-) 5^m39^s ฉะนั้น **GAT**$=20^h\ 43^m\ 53^s - 5^m\ 39^s = 20^h\ 38^m\ 14^s$

GHA=GAT- 12^h หรือ $= 8^h38^m14^s = 129°\ 33'.5$ ซึ่งเท่ากับลองจิจูด

$\therefore$ ลอง. $= 129̊\ 33'.5$ ตก.

ลองจิจูดที่หาได้โดยวิธีนี้เป็นค่าขณะที่ดวงอาทิตย์ผ่านเมริเดียน

ถ้านาฬิกาที่มีอยู่แต่เพียงเรือนเดียวเกิดหยุด ก็อาจตั้งให้เดินต่อไปได้ โดยใกล้เคียงโดยทำโจทก์นี้กลับเสีย คือให้ลงมือทำด้วยลองจิจูดประมาณที่ดีที่สุดแล้วหา **GAT** และ **GCT** และหา **ZT** ในที่สุดตั้งนาฬิกาตามเวลานี้

ทำสิ่งนี้เสียในโอกาสแรกหลังจากนาฬิกาหยุดในขณะที่ EP ยังดีพอสมควร

นอกจากนี้จะหาลองจิจูด โดยเวลาดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกได้ด้วย ถ้ามีมาตราดวงอาทิตย์ขึ้นและตก วิธีการนั้นคล้ายคลึงกับการหาเวลาผ่านเมริเดียนที่กล่าวแล้วข้างต้น หา LCT ของดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกจากมาตรา จดเวลานาฬิกาเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกไว้ให้ละเอียดถูกต้องแล้วหา GCT จากเวลานี้ ผลต่างระหว่าง GCT และ LCT เป็นลองจิจูด การหาวิธีนี้พึ่งพิงอยู่กับการที่ต้องรู้ละติจูด เป็นวิธีที่ไม่สู้ละเอียดนักให้ถือเป็นวิธีรองลงไป อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อได้ประโยชน์โดยที่ไม่ต้องมีเครื่องมือคงใช้แต่นาฬิกา และมาตราดวงอาทิตย์ขึ้น-ตก เท่านั้น

การหาละติจูดใช้หาโดยวิธีนี้ก็ได้ด้วยเหมือนกัน แต่ทว่ามีศวามแม่นยำน้อยมากในทางปฏิบัติเมื่ออยู่ใกล้อิควินอกซ์แล้วถือว่าใช้ไม่ได้ และเมื่ออยู่ใกล้อิเควเตอร์จะเป็นเวลาใดก็ตาม ใช้ได้ผลน้อยมาก การใช้วิธีนี้ต้องจดเวลาดวงอาทิตย์ขึ้นและตกไว้ แล้วหาคาบเวลารวมของเวลากลางวัน (total period of daylight) ละติจูดซึ่งมีความยาวของเวลากลางวันนี้หาจากปฏิทินเดินเรือ การหาละติจูดโดยวิธีนี้นับว่ามีความแม่นยำน้อยที่สุด และควรใช้ต่อเมื่อไม่มีวิธีใด ที่จะหาละติจูดได้เท่านั้น เวลาที่นำมาใช้ไม่จำเป็นต้องละเอียดนักเอาแต่เพียงความนานของเวลากลางวัน (duration of daylight) ก็พอแล้ว

การกะประมาณระยะทาง เมื่อเห็นฝั่งหรือเรือแล้วควรจะได้ทราบระยะทางใกล้เคียงไว้ การที่จะหาระยะทางได้นี้จำต้องรู้ส่วนสูงและมิติอื่นโดยใกล้เคียงไว้ ถ้ามีวัตถุซึ่งรู้ส่วนสูง (เช่นยอดเขา) ปรากฏขึ้นที่ขอบฟ้าแล้ว ระยะทางเป็นไมล์ทะเลจากยอดของวัตถุ ไปยังขอบฟ้าเท่ากับ $1.15\sqrt{H}$ ในเมื่อ H เป็นส่วนสูงของวัตถุเหนือระดับทะเล สูตรนี้ ใกล้เคียงเท่ากับ 8/7 ของกรณฑ์สอง (square root) ของส่วนสูงของวัตถุแล้วเอาระยะทางจากผู้ตรวจ ไปยังขอบฟ้าของผู้ตรวจ (หาได้โดยทำนองเดียวกัน) บวกเข้ากับระยะทางที่กล่าวแล้ว

ตัวอย่าง ผู้ตรวจอยู่เหนือระดับทะเล (มีสูงตา) 8 ฟุต แลเห็นยอดเขาสูง 2.000 ฟุตอยู่ที่ขอบฟ้า ให้หาระยะทางของยอดเขาจากผู้ตรวจ

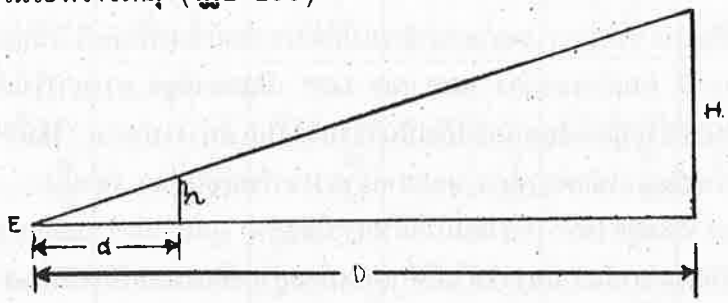
วิธีทำ ระยะทางจากยอดเขาไปยังขอบฟ้า = $1.15\sqrt{2.000}$ = 51.4 ไมล์ ระยะทางจากผู้ตรวจไปยังขอบฟ้า = $1.15\sqrt{8}$ = 3.3 ไมล์ เพราะฉะนั้นระยะทางของภูเขา = 51.4 + 3.3 = 54.7 ไมล์

ถ้าหากเห็นวัตถุได้เต็มที่และรู้ส่วนสูง หรือถ้ารู้ความยาวระหว่างจุด ที่แลเห็นสองจุดก็จะหาระยะทางได้ โดยวิธีสัดส่วน (proportion) ธรรมดา คือให้ถือมาตราส่วน (scale) ยื่นออกไปให้สุดแขนและวัดความยาวซึ่งถ่างออกระหว่างส่วนสูงหรือส่วนยาวที่รู้แล้ว จะได้ระยะทางโดยวิธีสัดส่วน

$$\frac{D}{d}=\frac{H}{h}$$

หรือ $$D=\frac{dH}{h}$$

ซึ่ง D เป็นระยะทางเป็นฟุต, d เป็นระยะทางเป็นนิ้วตามไม้บรรทัด จากตาของผู้ตรวจ, H เป็นส่วนสูง (หรือส่วนยาว) ของวัตถุเป็นฟุต และ h เป็นความยาวของ ไม้บรรทัดเป็นนิ้ว ซึ่งถ่างในระหว่างวัตถุ (ดูรูป 255)



รูป 255 หาระยะทางโดยวิธีสัดส่วนธรรมดา

ถ้า H เป็นไมล์ ระยะทาง D ก็เป็นไมล์ด้วย ถ้า H เป็นฟุตและต้องการ D เป็นไมล์ สูตรนี้จะเป็น $D=\frac{dH}{6000\,h}$

ตัวอย่าง เกาะหนึ่งยาว 1.2 ไมล์ ถ่างอยู่ในระหว่างไม้บรรทัด 3.5 นิ้ว ซึ่งผู้ตรวจถือไม้บรรทัดห่างจากตา 21 นิ้ว หาระยะห่างของเกาะจากผู้ตรวจ

วิธีทำ $D=\frac{dH}{h}$ $\frac{21\ 1.2}{3.5}=7.2$ ไมล์

อีกวิธีหนึ่งให้วัดมุมล่าง (subtended angle) ของวัตถุแล้วหาส่วนยาว โดยการเขียนรูป คือเช่นในรูปข้างต้นนั้น ถ้ารู้มุม E แล้วก็จะหาระยะ D ที่ความสูง H ได้ โดยการเขียนรูปตามมาตราส่วน

ในการกะประมาณหามุมนั้น บางทีก็เป็นการเหมาะสมที่จะหามุมได้ โดยวิธีใช้นิ้วมือ นิ้วเดียวหรือหลายนิ้วในเมื่อยื่นมือออกให้สุดแขนใช้ความกว้างของมือ ความยาวของนิ้ว ความกว้างของข้อมือหรือความยาว (span) ของมือ ในการที่จะหามุมโดยวิธีเหล่านี้นั้นอาจต้องรู้ระยะมุม (angular distance)ระหว่างดาวต่าง ๆ ไว้ เช่น ดาวขาหน้าสองดวง (คือดาว Merak และ Dubhe) ของหมู่ดาวหมีใหญ่(the pointers of the big dipper)อยู่ห่างกัน 5.4 ดาว ที่ปลายทั้งสองของOrion's beltคือดาว Rigel และ Betelgeux ห่างกัน 18.6 ดาว Castor และ Pollux ห่างกัน 4.5 ดาว Deneb และ vega ห่างกัน 18.6 ดาว a Crucis (Acrux) และ B Crucis(ดาวที่สุกใสที่สุดสองดวงของหมู่ดาว Southern Cross ห่างกัน 4.2 ดวง อาทิตย์และด งจันทร์ต่างมีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 0.5 เล็กน้อย อย่าพยามยามกะประมาณมุมที่ไม่รู้ในท้องฟ้าเมื่อไม่ทราบมูลฐาน การวัดหยาบ ๆ เพราะมุมเหล่านั้นลวงตาได้มุม 5 ใกล้ขอบฟ้าอาจเห็นปรากฏใหญ่กว่ามุม 15 ใกล้เซนิธได้ง่าย

วิธีการกะประมาณหามุมเล็กเช่นนี้ อาจใช้ได้สำหรับหาสูงของวัตถุท้องฟ้า ที่อยู่ใกล้ขอบฟ้าได้ถ้าหากว่าไม่มีวิธีอื่นใดที่ดีกว่าแล้ว

อีกวิธีหนึ่งในการกะประมาณระยะทางให้ใช้ความสัมพันธ์ของความยาวของแขน ที่ยื่นออกไปสุดแขนกับระยะระหว่างตาทั้งสองสำหรับคนส่วนมากแล้วสัดส่วนนี้มีประมาณ 10 การที่จะใช้วิธีนี้ให้ปิดตาเสียข้างหนึ่ง แล้วยืดแขนออกไปให้สุดแขนให้นิ้วอยู่ในแนวกับปลายข้างหนึ่งของวัตถุ (หรือเอียงศีรษะให้อยู่ในแนวนอนและตั้งให้นิ้วอยู่ในแนวกับยอดหรือฐานของวัตถุแนวยืน)- ต่อไปให้ลืมตาข้างที่ปิดและหลับข้างที่เปิด ในการนี้จะเห็นปรากฏว่านิ้วเคลื่อนสัมพัธไปกับเบื้องหลังภาพ (back grornd) แล้วกะประมาณความยาว (หรือความสูง) ของระยะที่เคลื่อนไป แล้วคูณความยาวนี้ด้วย 10 (หรือความสัมพัธถี่ถ้วนของความยาวของแขนต่อระยะระหว่างตา) ผลลัพธ์เป็นระยะทางของวัตถุในหน่วยเดียวกันกับที่ใช้กะประมาณระยะที่นิ้วปรากฏเคลื่อนที่ไป ถึงแม้ว่าวิธีนี้ค่อนข้างจะหยาบก็ตาม ก็ยังนับว่าได้ดีพอสมควรถ้าหากได้ฝึกกะประมาณระยะปรากฏ ที่เคลื่อนไปจนชำนาญแล้ว

เป็ดเตล็ด ตำบลที่ของอิเควเตอร์ท้องฟ้าจะหาได้โดยวัตถุท้องฟ้าใด ๆ ที่มีดิคลิเนชั่น 0 ดิคลิเนชั่นของ ดวงอาทิตย์เป็น 0 ประมาณใน 21 มีนาคมและ 23 กันยายน ดาว Orionis (ดาวดวงเหนือสุดของ Orion's belt) นับว่าเกือบจะอยู่บนอิเควเตอร์ท้องฟ้าได้ วัตถุท้องฟ้าที่กล่าวแล้วนั้นชี้บอกจุดตะวันออกที่ใกล้เคียงของขอบฟ้า ขณะที่ดาวขึ้นและบอกจุดตะวันตกของดาวที่ตก ณ ละดิจูดใดละดิจูดหนึ่ง

วงใหญ่ที่ผ่านดาว Polaris, Caph (ดาวสำคัญในหมู่ดาว Cassiopeia) และด้านตะวันออกของหมู่ดาว Square of Pegasus (Alpheratz และ Algenib) จะแทน วงเวลา (hour circle) โดยใกล้เคียงของ Vernal equinox มุมเวลาท้องถิ่น(local hour angle) ของวงนี้เป็น LST LST นี้อาจหาได้ใกล้เคียงโดยรู้ว่าที่ autumnal equinox (ประมาณ 23 กันยายน) นั้น LST และ LCT เท่ากัน และทุกครึ่งเดือนต่อแต่นั้นไป LST เร็วกว่า LCT อยู่หนึ่งชั่วโมง ฉะนั้น 15 มกราคม LST จะเร็วกว่า LCT อยู่ 7 ชม. 30 นาที โดยใกล้เคียง

ป้องกันรักษานาฬิกาให้ดีและไขตามเวลาเป็นประจำ ถ้ามีสิ่งที่ป้องกันน้ำเข้าได้ แล้วควรเก็บนาฬิกาไว้ในนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเมื่อหย่อนเรือช่วยชีวิตลงน้ำ

ถ้าหากคาดว่าจะได้รับความช่วยเหลือ ในโอกาสแรกแล้วให้พึงระลึกว่า โลหะเป็นตัวสะท้อนเรดาร์(radar reflector)ดีกว่าไม้ และถ้าตัวสะท้อนมีแรงสะท้อนสูงแล้วก็จะส่ง การสะท้อนออกไปได้ไกลมาก ซึ่งอาจมีหวังจะได้ถูกเห็นได้ง่ายเข้า ถ้าหากมีหวังว่าเครื่องบินหรือเรือที่ติดเครื่องเรดาร์กำลังออกค้นหาเรือช่วยชีวิตนั้นแล้ว จะพยายามติดตั้งโลหะอันใดอันหนึ่ง ที่เป็นตัวสะท้อนเรดาร์ไว้ซึ่งจะทำให้เกิด pip ที่มีกำลังแรงมากไปปรากฏขึ้นในจอเรดาร์ ของเรือที่ออกค้นหานั้น นอกจากนี้แล้วต้องไม่ลืมที่จะพิจารณาถึงความหวัง ที่อาจจะได้รับความช่วยเหลือไว้ด้วยในเมื่อพิจารณาจะนำเรือออกไปจากบริเวณเรือที่อับปางและในการที่จะตั้งเข็มแล่นไป

จงพยายามอย่าให้แสงแดดถูกร่างกายโดยตรงเพื่อป้องกันมิให้แดดเผา ป้องกันไม่ให้ร่างกายแห้งผาก ไม่ให้เกิดโรคตาหรือตาต้องเพ่งแสงแดด

จงกางไปเท่าที่จะหาทำได้

ก่อนออกทะเล ควรได้ศึกษาตำราการเรือที่ดีไว้ว่าด้วยการแล่นเรือโบต โดยเฉพาะแล้วในเวลามีคลื่น การนำเรือโบตเข้าฝั่งเวลามีคลื่นมีอันตรายมาก ฉะนั้นจะต้องเข้าใจให้ละเอียดถี่ถ้วน การแล่นเรือโบตดาดฟ้าเปิดในมหาสมุทร ที่ไม่คุ้นเคยเป็นระยะทางไกล ๆ ตั้งพัน ๆ ไมล์นั้นไม่สู้จะมีความจำเป็นนักที่จะแล่นให้ปลอดภัย ให้พึงระวังที่จะประสบความตายหรือเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อแล่นเรือจากทะเลเข้าหาฝั่งที่เปิดในเมื่อขาดความรู้ในหลักมูลการนำเรือ-เช่นนั้น

จงให้ยามเฝ้าดูเรือที่จะมาช่วย โดยเคร่งครัดตลอดเวลาอย่าให้พลาดโอกาสได้เลย

จงทำงานโดยสามัคคีกันให้ดี จงพยายามใช้รายการหลักฐานต่าง ๆ และเครื่องช่วยทุกอย่างที่มีโดยฉลาดที่สุด

สรุป บุคคลใดที่ใช้ชีวิตของตนในทะเลหรือในน้ำก็ตาม ควรจะได้พิจารณาถึงการเตรียมการ เพื่อการฉุกเฉินไว้ให้พร้อมเพื่อเป็นหลักประกันที่ดี มนุษย์เราย่อมไม่ปฏิเสธที่จะซื้อใบประกันไฟบ้านของตนไว้โดยเหตุเพียงแต่หวังว่าบ้านของตนจะไม่ไหม้ไฟหรือเป็นเพราะว่า มีบ้านสองสามหลังเกิดไฟไหม้ขึ้น ถ้าจะคิดไปแล้วค่าประกันไฟนั้นถูกมากเหลือเกิน แต่ความพินาศอันเกิดจากไฟไหม้นั้นใหญ่หลวงมากนัก ฉะนั้นจึงไม่ควรละเลยหัวข้อสำคัญนี้เสีย ตราบใดเท่าที่ยังอาจจะมีการสละเรือใหญ่ขึ้นได้ถึงแม้ว่าจะเป็นส่วนน้อยสักเพียงใดก็ตาม ถ้าหากว่าเราได้ตระเตรียมเพื่อการฉุกเฉินนี้ไว้พอควรแล้ว ก็นับว่าเป็นการประกันที่ดีได้ ชีวิตของท่านเองและของผู้อื่นอาจต้องพึ่งพิงอยู่กับการเตรียมการของท่าน ฉะนั้น อาจจะสายเกินไปเมื่อได้รับคำสั่งให้สละเรือใหญ่

หัวข้อที่จำเป็นหัวข้อหนึ่งของการเตรียมการนี้ได้แก่ ความรู้แจ้งชัดในหลักมูลในทางปฏิบัตินั้นรายการละเอียดต่าง ๆ ที่ให้ไว้ในหัวข้อการแล่นเรือช่วยชีวิตนี้ ประกอบด้วยการนำเอาหลักมูลมาใช้

ในเมื่อท่านต้องล่องลอยไปตามยะถากรรมกับเรือช่วยชีวิตหรือแพชูชีพแล้ว จงกะประมาณสถานการณ์ให้รอบคอบ วิธีที่จะนำมาใช้และวิธีการที่จะต้องปฏิบัติต่อไปนั้น พึ่งพิงอยู่กับสถานการณ์เฉพาะราย จงพยายามใช้วิธีที่ได้ผลแม่นยำเท่าที่มี ในการที่จะใช้วัสดุเท่าที่มีนั้น ให้ใช้ความคิดและสติปัญญา ถ้าจะทำสิ่งใดที่มีวิธีทำได้หลายวิธีแล้ว จงใช้วิธีต่าง ๆ เหล่านั้นตรวจสอบกันไป

กำหนดตารางประจำวันขึ้นและปฏิบัติให้เคร่งครัด จงเดินเรือโดยใช้วิธีต่าง ๆ เท่าที่มี อย่าใช้เดาเอาถ้าหากมีวิธีจะวัดหรือกะประมาณได้แล้ว

บังคับบัญชาโดยวิธีประชาธิปไตย เมื่อเลือกผู้นำขึ้นแล้ว ต้องให้ความร่วมมือแก่ผู้นำเต็มที่ ถ้าเขาเป็นผู้ที่สามารถจงไว้ใจในการพิจารณาตัดสินของเขา และควรจะเปลี่ยนตัวต่อเมื่อเขาไม่สามารถเท่านั้น

จงผดุงขบัญที่ดีไว้จนที่สุด จงคิดที่จะกลับไปยังฝั่งและอย่าให้มีการถกเถียงกัน จนกลายเป็นไปในแง่ร้าย ในเวลาวิกฤติเช่นนั้นไม่มีอะไรสำคัญยิ่งไปกว่าลักษณะการเป็นผู้นำที่ดี

โจทก์

1. เรือช่วยชีวิตลำหนึ่ง เตรียมจะแล่นเข้าหาฝั่งและอยากจะตรวจสอบ ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศสำหรับเข็มแรกที่จะแล่น เข็มที่จะแล่นคือเข็ม 155° (จริง) ปรากฏว่าวาริเอชั่นบริเวณนั้นจาก **pilot chart** มี 6° อ. ได้ทิ้งพวงชูชีพลงน้ำแล้วแล่นเรือไปในทิศตรงข้าม ครั้งเมื่อเลี้ยวกลับแล่นตรงเข้าหาพวงชูชีพ ปรากฏว่าเป็นเข็มเรือ 139°

จงหา (ก) เข็มเรือเมื่อแล่นไปจากพวงชูชีพ (ตอบ 329°)

(ข) เข็มเรือเมื่อแล่นตามเข็ม 155° (จริง) (ตอบ 144°)

(ค) ดิวิเอชั่นของเข็มทิศเมื่อแล่นตามเข็ม 155° (จริง) (ตอบ ดิวิ. 5° อ.)

2. ต้นหนของเรือช่วยชีวิตตรวจสอบเข็มทิศโดยการแบริงดาวเหนือ ปรากฏว่าแบริงดาวเหนือได้ 350° หาความเคลื่อนคลาดเข็มทิศ (ตอบ 10° อ.)

3. ต้นหนของเรือช่วยชีวิตตรวจสอบเข็มทิศโดยการวัดแอซิมัธ ดวงอาทิตย์ขณะที่มีสูงเต็มที่ โดยใช้วางดินสอให้ตั้งตรงที่บ้างหม้อเข็มทิศ เพื่อให้เงาของดินสอ ทอดผ่านศูนย์กลางแผ่นเข็ม เงานี้ผ่านตรงขีด 195° หาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ (ตอบ 15° ตก.)

4. ต้นหนของเรือช่วยชีวิตสอบหาอัตราเร็วของเรือได้ขีดเครื่องหมาย ระยะ 20 ฟุตไว้ที่ราโท แล้วทิ้งวัตถุลอยน้ำลงไปตรงขีดแรกที่หัวเรือ วัตถุนี้ผ่านขีดหมายทางท้ายเรือในเวลา 3 วินาที หาอัตราเร็วของเรือที่แล่นไปในน้ำ (ตอบ 4.0 นอต)

5. ต้นหนของเรือช่วยชีวิตต้องการหาอัตราเร็วของเรือแต่ไม่มีนาฬิกา แต่ได้ทำลูกตุ้ม **pedulum** ขึ้นยาว 9.8 นิ้ว ได้ทำขีดเครื่องหมายระยะ 25 ฟุตไว้ที่ราโท แล้วทิ้งวัตถุลอยน้ำลงไปตรงขีดหมายทางหัวเรือ แล้วก็แกว่งลูกตุ้มให้เดินและนับจำนวนเที่ยวที่แกว่งไว้ จากข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง (ไม่ครบวัฏจักรบริบูรณ์) ครั้นเมื่อวัตถุลอยมาตรงขีดหมายทางท้ายเรือ นับลูกตุ้มแกว่งได้ 15 เที่ยว หาอัตราเร็วของเรือที่แล่นไปในน้ำ (ตอบ 2.0 นอต)

6. เรือช่วยชีวิตแล่นออกจาก แลต. 35° 27'.7 น. ลอง. 70° 06'.8 ตก. ต้นหนประมาณดูแล้วว่าเรือแล่นเข็ม 290° และมีอัตราเร็ว 4 นอต หาตำบลที่ เมื่อแล่นครบ 10 ชม. (ตอบ แลต. 35° 41'.3 น. ลอง. 70° 53'.0 ตก.)

7. เข็มที่ปักไว้ในแนวยืนยาว 3 นิ้ว ปรากฏว่ามีเงาทอดยาว 2.2 นิ้ว หาสูงดวงอาทิตย์ (ตอบ สูง 53°.8)

8. ครึ่งของความยาวของแขน อันที่เลื่อนได้ของไม้กากบาทยาว 7 นิ้ว เมื่อถือไม้กากบาทนี้ให้อยู่ในแนวขอบฟ้าและดาว ปรากฏว่าแขนอันที่เลื่อนได้อยู่ห่างจากตา 10.25 นิ้ว หาสูงดาว (ตอบ 68°.8)

9. ให้สอบ(calibrated)หาการแบ่งระยะจากตาไปยังปลายไม้กากบาท ดังต่อไปนี้ ในเมื่อแขนเลื่อนของไม้กากบาทยาว 10 นิ้ว ระยะสำหรับมุม 2°, 4° , 5° โดยใช้มาตรา L/H (ตอบระยะ 28.36 นิ้ว, 13.74 นิ้ว, 10.72 นิ้ว)

10. ให้สอบหาการแบ่งระยะจากตาไปยังปลายไม้กากบาท สำหรับมุม 3°, 4°, 6° โดยวิธีเขียนรูป (ตอบ 16.80 นิ้ว, 10.35 นิ้ว, 6.67 นิ้ว)

11. ให้หา ดิค. ใกล้เคียงของดวงอาทิตย์ วันที่ 9 กุมภาพันธ์ โดยวิธีเขียนรูป (ตอบ 15°.2 ต.)

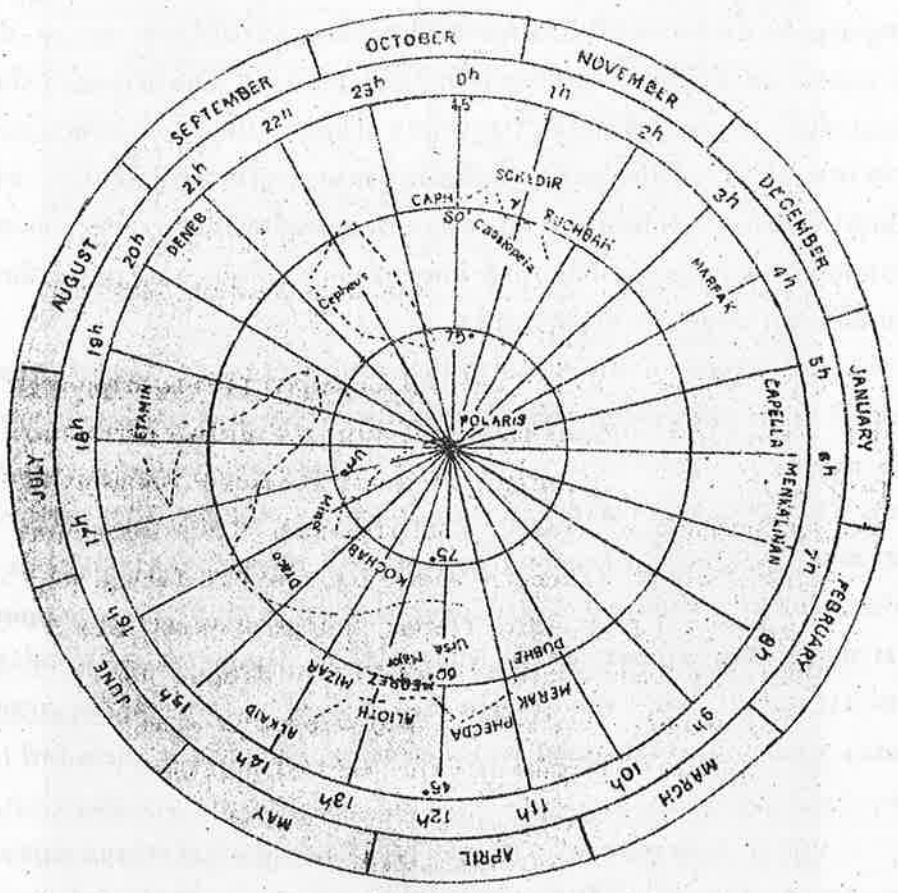
12. ให้หา ดิค. ใกล้เคียงของดวงอาทิตย์ในวันที่ 4 สิงหาคม โดยใช้มาตรา ทราเวิส (ตอบ 17°.6 น.)

13. วันที่ 11 พฤศจิกายน เวลา 11 ม. 36 นาที 25 วินาที วัดสูงดวงอาทิตย์ ได้ 45° และเวลา 12 ม. 22 นาที 37 วินาที ก็วัดสูงได้เท่าเดิมอีก นาฬิกามีอัตราผิด (-) 10 ZT จงหาลองจิจูดใช้มาตรา equation of time (ตอบ ลอง. 146° 08'.8 อ.)

14. ผู้ตรวจมีสูงตา 7 ฟุต เหนือระดับทะเลเห็นยอดเขาสูง 1.200 ฟุต ปรากฏ อยู่ที่ขอบฟ้า ให้หาระยะทางของยอดเขาจากผู้ตรวจ (ตอบ 42.8 ไมล์)

15. ผู้ตรวจถือไม้บรรทัดไว้ห่างจากตา 20 นิ้ว วัดยอดเขาบนเกาะซึ่งสูง 200 ฟุต ได้สูงครึ่งนิ้ว หาระยะทางของเกาะจากผู้ตรวจ (ตอบ 19,900 ฟุตหรือประมาณ $3\frac{1}{3}$ ไมล์

16. ผู้ตรวจอยู่ใน ลอง. 130° ตก. จงหา LST โดยใกล้เคียง (ให้ใกล้เคียง 15 นาที ให้มากที่สุด) เมื่อ ZT 1900 วันที่ 3 กรกฎาคม โดยไม่ใช้ปฏิทินเดินเรือ (ตอบ LST 1400)



รูป 256 แผนที่ดาวแผ่น 1 บริเวณขั้วโลกเหนือ ถือหันไปทางทิศเหนือโดยให้ชื่อเดือนอยู่ข้างบน (สำหรับละติจูดเหนือเท่านั้น)

บริเวณขั้วโลกเหนือ (The North Polar Region แผนที่ดาวแผ่น 1 รูป 256)

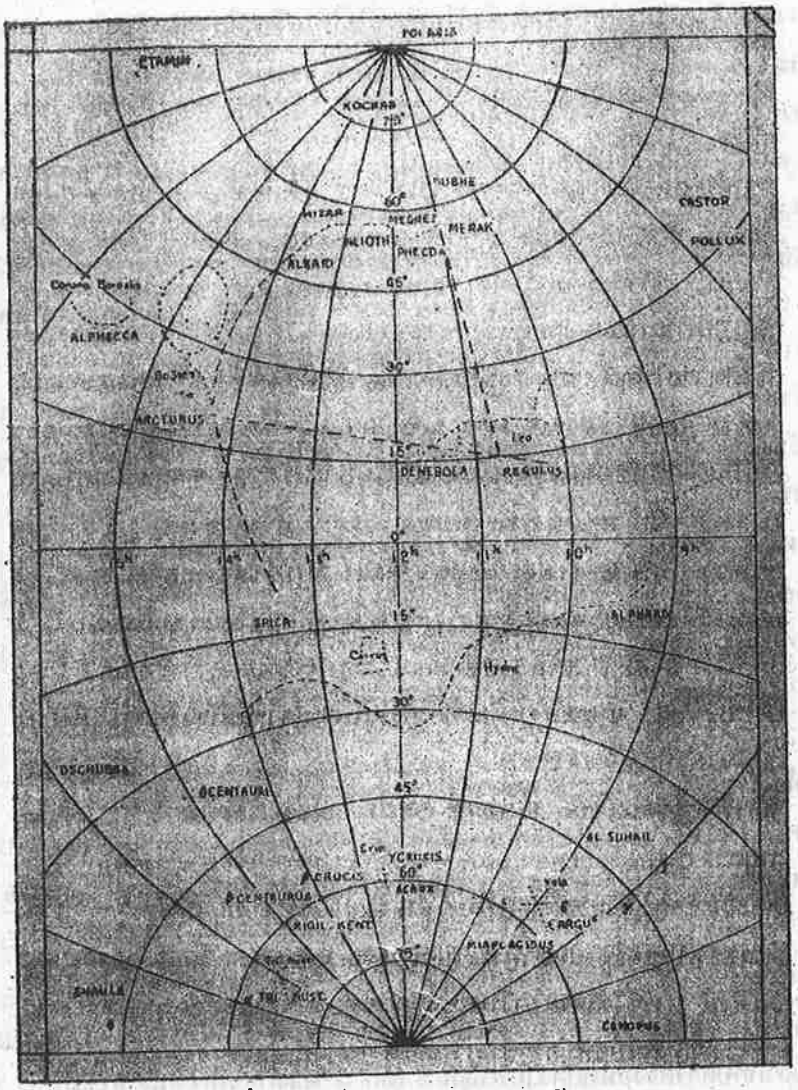
Big dipper เป็นส่วนหนึ่งของหมู่ดาว Ursa Major (ดาวหมีใหญ่) หมู่ดาว big dipper ประกอบด้วยดาว 7 ดวงเป็นรูปกระบวยหรือทัพพี (dipper) ตัวกระบวยหันส่วนที่ตักเข้าหาขั้วโลกท้องฟ้าเหนือสำหรับคนที่ในสหรัฐอเมริกาจะเห็นดาว dipper เกือบทุกดวงตลอดปี ดาวในหมู่ dipper นี้ที่นักเดินเรือใช้กันโดยมากคือ Dubhe, Alioth และ Mizar สำหรับดาว Dubhe และ Merak นั้น เป็นส่วนหนึ่งของตัวกระบวย (bowl of the dipper) เรียกว่า the pointers (เข็มชี้) ถ้ายืดเส้นซึ่งต่อระหว่างดาวทั้งสองนี้ไปทางเหนือแล้ว มันจะผ่านใกล้ดาวเหนือ (polaris) มาก ห่างจากขั้วโลกท้องฟ้าเหนือไม่ถึงหนึ่งอาศาดาวทั้งสองดวงนี้ชี้ตรง ลงไปยังดาวเหนือในกลางคืนในกลางเดือนเมษายน กลางเดือนกรกฎาคมเลื่อนไปอยู่ทางซ้าย ของดาวเหนือ ครั้นกลางเดือนตุลาคมก็อยู่ตรงใต้ขั้วโลกพอดี และต่อมาอีก 3 เดือน ในราวกลางเดือนมกราคม ดาวทั้งสองนี้ก็เลื่อนไปอยู่ทางขวาของดาวเหนือ

Little dipper ดาวเหนือเป็นส่วนหนึ่งของหมู่ดาว little dipper, Ursa Minor (ดาวหมีเล็ก) ซึ่งจะไม่เห็นชัดจนกว่าท้องฟ้าจะมืดสนิท ทั้งนี้เนื่องจากดาวส่วนมากของหมู่ดาว little dipper นั้นมีแสงอ่อนมากเกินไป นักเดินเรือจึงไม่ค่อยใช้นักเดินเรือ ใช้แต่เพียงดาวเหนือ ซึ่งอยู่ปลายสุดทางหัวดวงหนึ่ง และดาว Kochab ซึ่งอยู่ทางปลายอีกดวงหนึ่งเท่านั้น ดาวทั้งสองดวงนี้มีความใหญ่ที่ 2 (second magnitude) หมู่ดาว little dipper นี้ นับว่าขนานกันอย่างหยาบ ๆ กับหมู่ดาว dig dipper แต่ค่ำเข้าหาหมู่ดาว big dipper ในฤดูใบไม้ร่วง หมู่ดาว dig dipper อยู่ข้างล่างของ little dipper และบางทีก็กล่าวกันว่าน้ำที่หกจาก little dipper จะมาตกอยู่ใน big dipper ด้ามถือของกระบวยหรือทัพพี (dipper) ทั้งสองอันนั้นโค้งไปในทิศทางตรงกันข้ามสัมพันธ์อยู่กับตัวกระบวยหรือทัพพี (bowls) ของมัน

หมู่ดาว Cassiopeia (ราชินี) ข้ามขั้วโลกท้องฟ้าจากด้ามถือของหมู่ดาว big-dipper และระยะประมาณใกล้เคียงกันกับดาวเหนือ (Polaris) จะพบเก้าอี้ของ Cæsiopeia ดาวที่สำคัญของหมู่ดาวหมู่นี้เกิดเป็นรูป W หรือ M อันพึ่งพิงอยู่กับตำแหน่งที่โดยนับจากขั้วโลกท้องฟ้า ดาว CABH (B Cassiopeia) ดวงขวามือเมื่อปรากฏเป็นรูปอักษร W เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 2 ซึ่งนักเดินเรือบางที่ใช้วัด ดาวดวงนี้เป็นที่สนใจของนักเดินเรือเพราะอยู่ใกล้กับวงเวลาเวอร์นัลอิควินอกซ์ (hour circle of the vernal equinox) ดาว Ruchbah ซึ่งมีความใหญ่ที่ 3 ก็ใช้ในบางโอกาสเหมือนกัน

หมู่ดาว DRACO (dragon = มังกร) และหมู่ดาว Cepheus (King = กษัตริย์) ซึ่งปรากฏอยู่ในแผนที่ดาวนั้น ไม่สู้จะเห็นชัดนัก ซึ่งนักเดินเรือไม่ใคร่สนใจ ดาว ETAMIN เป็นดาวมีความใหญ่ที่ 2 ซึ่งอยู่ทางหัวของมังกร Draco เป็นดาวดวงเดียวเท่านั้น ในหมู่ดาวทั้งสองที่นักเดินเรือใช้

ท้องฟ้าฤดูใบไม้ผลิ (The Spring Sky แผนที่ดาวแผ่น 2 รูปที่ 257)



รูป 257 แผนที่ดาวแผ่น 2 ท้องฟ้าฤดูใบไม้ผลิ (เวลา 2200 วันที่ 22 เม.ย.) ถือขึ้นไว้เบื้องบนศีรษะโดยให้หัวกระดาษหันไปทางทิศเหนือ

Big dipper ในฤดูใบไม้ผลิ(เดือนเมษายน ฯลฯ)หมู่ดาว **big dipper** อยู่เบื้องบนขั้วโลกสูงขึ้นไปในท้องฟ้า ในฤดูนี้หมู่ดาวนี้ใช้สำหรับหาดาวที่สำคัญ ๆ ดี ๆ ที่ใช้ในการเดินเรือได้หลายดวง เริ่มต้นจากตัวกระบวยไปตามความโค้งของด้ามกระบวย และต่อเรื่อยไปตามขอบโค้งจะพบดาวดวงแรกเป็นดาว **Arcturus** ซึ่งเป็นดาวที่ใช้เดินเรือเพียงดวงเดียวในหมู่ดาว **Bootes** (คนเลี้ยงแกะ) และต่อไปจะพบดาว **Spica** ในหมู่ดาว **Virgo** (สาวพรหมจารีย์) ดาวทั้งสองดวงนี้เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 ซึ่งนักเดินเรือใช้กันมาก

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในแผนที่ดาวแผ่น 1 ว่าเส้นซึ่งลากจากดาว **pointers** ของหมู่ดาว **big dipper** ออกไปจะเป็นดาวเหนือ **(polaris** แต่ถ้าลากเส้นนี้กลับไปในทิศทางตรงข้ามที่กล่าวแล้วจะนำไปยังทิศทางกว้าง ๆ ของดาว **Regulus** ซึ่งเป็นปลายด้ามเคียว (เคียวเป็นหัวสิงห์โต) อันเป็นส่วนหนึ่งของหมู่ดาว **Leo(lion** = สิงห์โต) ดาวดวงนี้นักเดินเรือใช้กันมาก เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 และเป็นดาวที่สุกใสที่สุดที่เห็นได้ในส่วนของท้องฟ้า เส้นตรงที่ลากต่อระหว่างดาว **Regulus** และดาว **Arcturus** จะผ่านใกล้ดาว **Denebola** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 2 อันเป็นดาวที่นักเดินเรือใช้เหมือนกันในบางครั้ง ดาวดวงนี้เป็นเครื่องหมายชี้ปลายหางสิงห์โตหมู่ดาว **Leo** (ชื่อ **Denebola** หมายความว่า "หางสิงห์โต")

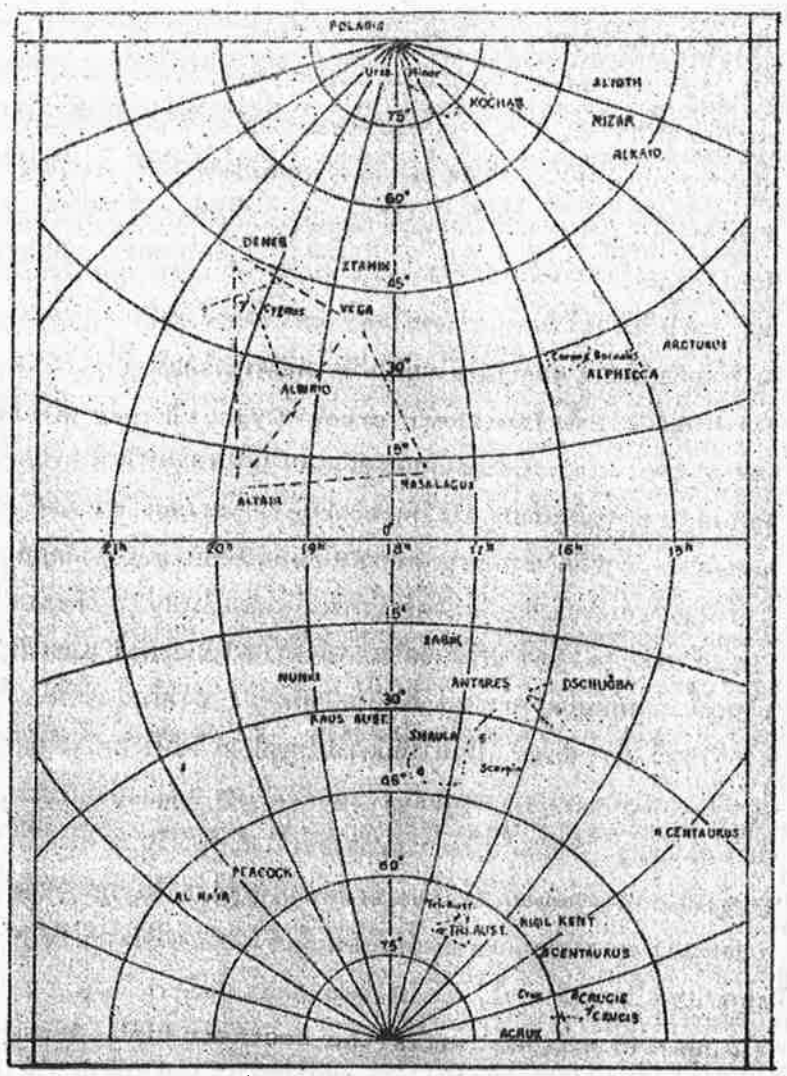
หมู่ดาว **Corvus (the crow**= อีกา) มีรูปร่างคล้ายคลึงมาก ไปในทางเป็นใบสี่เหลี่ยม**(quadrilateral sail)** หาได้ง่ายไม่ยากนักแต่ไม่มีดาวที่ใช้ในการเดินเรือ

หมู่ดาว **Hydra (the serpent** =งู เป็นหมู่ดาวขบวนยาว ซึ่งไม่เห็นชัดเจนนักอยู่ใกล้หมู่ดาว **Corvus** และมีดาวเพียงดวงเดียวในหมู่ดาวนี้ที่ใช้เดินเรือ คือดาว **Alphard** มีความใหญ่ที่ 2

ท้องฟ้าฤดูร้อน**(the Summer Sky)** แผนที่ดาวแผ่น 3 รูป 258)

หมู่ดาว **Cygnus (the Swan** = หงษ์หรือ**Northern Cross**=กางเขนเหนือ) จะเห็นได้ทางทิศตะวันออกของท้องฟ้าฤดูร้อน สำหรับยุวชนสมัยปัจจุบันนี้ เห็นว่าดาวหมู่นี้มีรูปปรากฏใกล้ไปในทางเป็นเครื่องบินดำทิ้งระเบิด**(dive bomber)** ซึ่งกำลังดำดิ่งเต็มที่ **(full dive)** มากกว่าจะเป็นหงษ์ ดาวที่ใช้เดินเรือในหมู่นี้มีดวงเดียวคือดาว **Deneb** มีความใหญ่ที่ 1 อยู่ที่ยอดกางเขน (ดาวดวงต่ำที่สุดเมื่อหมู่ดาวนี้อยู่ในท้องฟ้าตะวันออก) ดาวดวงนี้ทำให้เกือบเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉากกับดาวดวงอื่นที่มีความใหญ่ที่ 1 อีก 2 ดวง ซึ่งนักเดินเรือใช้กันทั่ว ๆ ไป ดาวทั้งสองดวงนี้ได้แก่ ดาว **Vega** ที่สุกใสในหมู่ดาว **Lyra (the lyre** = พิณ) และดาว **Altair** ในหมู่ดาว **Aquila (the eagle**=นกอินทรีย์) ดาว **Vega** อยู่ตรงมุมฉาก ดาว **Altair** อาจหาได้ต่อไปโดยมีดาวที่มีแสงอ่อนอยู่สองข้างดาว **Altair** ข้างละดวง ดาว **Vega** เป็นดาวที่สุกใสที่สุดในกึ่งทรงกลมเหนือของทรงกลมท้องฟ้า

หมู่ดาว **Corona Borealis** (มงกุฎเหนือ) เป็นหมู่ดาวที่มีรูปเหมือน อ่างใส่ข้าว **(cereal bowl)** อยู่ในระยะประมาณ 2 ใน 3 จากดาว **Vega** เข้าไปหาดาว **Arcturus** ดาว **Alphecca** เป็นดาวมีความใหญ่ที่ 2 อยู่ในหมู่นี้ซึ่งนักเดินเรือใช้บ้างบางคราว



รูป 258 แผนที่ดาวแผ่น 3 ท้องฟ้าฤดูร้อน (เวลา 2200 วันที่ 22 ก.ค.) ถือขึ้นไว้เบื้องบนศีรษะโดยให้หัวกระดาษหันไปทางทิศเหนือ

ดาว **Rasalague** ในหมู่ดาว **Ophiuchus (the serpent holder** = ผู้จับงู) ทำให้เกือบเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่ากับดาว **Vega** และดาว **Altair** ดาวดวงนี้มีความใหญ่ที่ 2 และดาว **Sabik** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 3 นั้น นักเดินเรือก็ใช้กันเป็นบางโอกาส

หมู่ดาว **Scorpio (the scorpion)** = แมลงป่อง) เกือบจะอยู่บนเมริเดียนของท้องฟ้าฤดูร้อน ไม่สู้ไกลสูงจากขอบฟ้าทางทิศใต้ของผู้ตรวจในสหรัฐอเมริกาเท่าใดนัก หมู่ดาวนี้หาได้ไม่ยากนักในเมื่อทัศนวิสัยดี ดาว **Antares** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 1 เป็นดาวที่สำคัญที่ใช้ ในการเดินเรือของหมู่ดาว **Scorpio** แต่ดาว **Shaula** และ **Dschubba** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 2 นั้นใช้บางโอกาส

หมู่ดาว **Sagittarius (the archer** = คนยิงธนู) ซึ่งอยู่ใกล้ ๆ กับหมู่ดาว **Scorpio** มีดาวที่มีความใหญ่ที่ 2 อยู่ 2 ดวง ซึ่งนักเดินเรือใช้เป็นบางคราว คือดาว **Nunki** และ **Kaus Australis**

ท้องฟ้าฤดูใบไม้ร่วง (**The Autumn Sky** แผนที่ดาวแผ่น 4 รูป 259)

ท้องฟ้าฤดูใบไม้ร่วง จะทราบได้โดยที่ไม่มีดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 ปรากฏให้เห็นในท้องฟ้า หมู่ดาวกางเขนฝ่ายเหนือ (**northern cross** = **Cygnus**) ได้เคลื่อนตัวไปยังตำบลที่ต่ำในท้องฟ้าตะวันตกและหมู่ดาว **Cassiopeia** เกือบจะอยู่บนเมริเดียนทางเหนือสำหรับผู้ตรวจส่วนมากซึ่งอยู่ในสหรัฐอเมริกา จะเห็นสี่เหลี่ยมจตุรัสใหญ่ของหมู่ดาว **Pegasus** { **square of Pegasus** = **winged horse** } (ม้ามีปีก) ซึ่งอยู่ทางใต้ของเซนิธเล็กน้อยปรากฏเกือบอยู่บนเมริเดียน จะสังเกตเห็นได้ว่าด้านตะวันออกของสี่เหลี่ยมจตุรัสนี้กับดาว **Caph** ในหมู่ดาว **Cassiopeia** เกือบจะอยู่ตรงวงเวลา (**hour circle**) ของเวอร์นัลอิควินอกซ์ ดาว **Alpheratz** และดาว **Markab** ซึ่งเป็นดาวมีความใหญ่ที่ 2 อยู่ที่มุมตรงข้ามของสี่เหลี่ยมจตุรัส ดาวทั้งสองนี้เป็นดาวสำคัญที่ใช้ในการเดินเรือของดาวหมู่นี้ ดาว **Enif** เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 2 ใช้บ้างในบางโอกาส

สี่เหลี่ยมจตุรัสของหมู่ดาว **Pegasus (square of Pegasus)** มีประโยชน์ ในการชี้หาดาวที่ใช้เดินเรือหลายดวง ถ้ายืดเส้นซึ่งต่อระหว่างดาวทางด้านตะวันออกของสี่เหลี่ยมจตุรัสออกไปทางใต้จะนำเข้าไปใกล้ดาว **Deneb Kaitos** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 2 ในหมู่ดาว **Cetus (the sea monster** = อสูรทะเล) และในทำนองเดียวกันถ้ายืดเส้นซึ่งต่อระหว่างดาวทางด้านตะวันตก ของสี่เหลี่ยมจตุรัสออกไปทางใต้จะนำเข้าไปใกล้ดาว **Fomalhaut** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 1 และเป็นดาวที่สุกใสเพียงดวงเดียวในหมู่ดาว **Piscis Australis (the seuthern fish** = ปลาทางใต้) ถ้ายืดเส้นซึ่งผ่านศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมจตุรัสไปทางตะวันออกจะนำเข้าไปใกล้ดาว **Hamal** ซึ่งมีความใหญ่ที่ 2 ในหมู่ดาว **Aries (the ram** = แกะ) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ของ **Vernal Equinox** ราว 2,000 ปีมาแล้วเมื่อครั้งกำหนดให้เป็น "จุดราศีเมษ" (**first point of Aries**)

เส้นโค้งซึ่งลากขึ้นจากดาว **Alpheratz** ให้ผ่านไปทางหมู่ดาว **Andromeda** (เจ้าหญิงราชธิดาของราชินี **Cassiopeia** = **the princess, daughter of queen Cassiopeia**) จะนำไปยังหมู่ดาว **Perseus** (ผู้กล้าหาญในนิยายซึ่งได้ช่วยเจ้าหญิง **Andromeda** ให้พ้นจากอสูร

ทะเล **Cetus** ดาว **Marfak** มีความใหญ่ที่ 2 เป็นดาวที่ใช้เดินเรือเพียงดวงเดียว บางคราวในหมู่ดาว **Perseus** ใกล้ ๆ กับดาว **Marfal** นี้เป็นดาว **Algol** (ดาวปีศาจ = **the demon star**) ซึ่งเป็นที่เปลี่ยนแปลงความใหญ่ซึ่งรู้จักกันทั่ว ๆ ไป (**the best known dclipsing variable** เส้นโค้งซึ่งลากจากดาว **Marfak** ไปยังดาว **Alpheratz** เกิดเป็นรูปด้ามกระบวยอันใหญ่ โดยสี่เหลี่ยมจตุรัส **Pegasus** เป็นตัวกระจาย

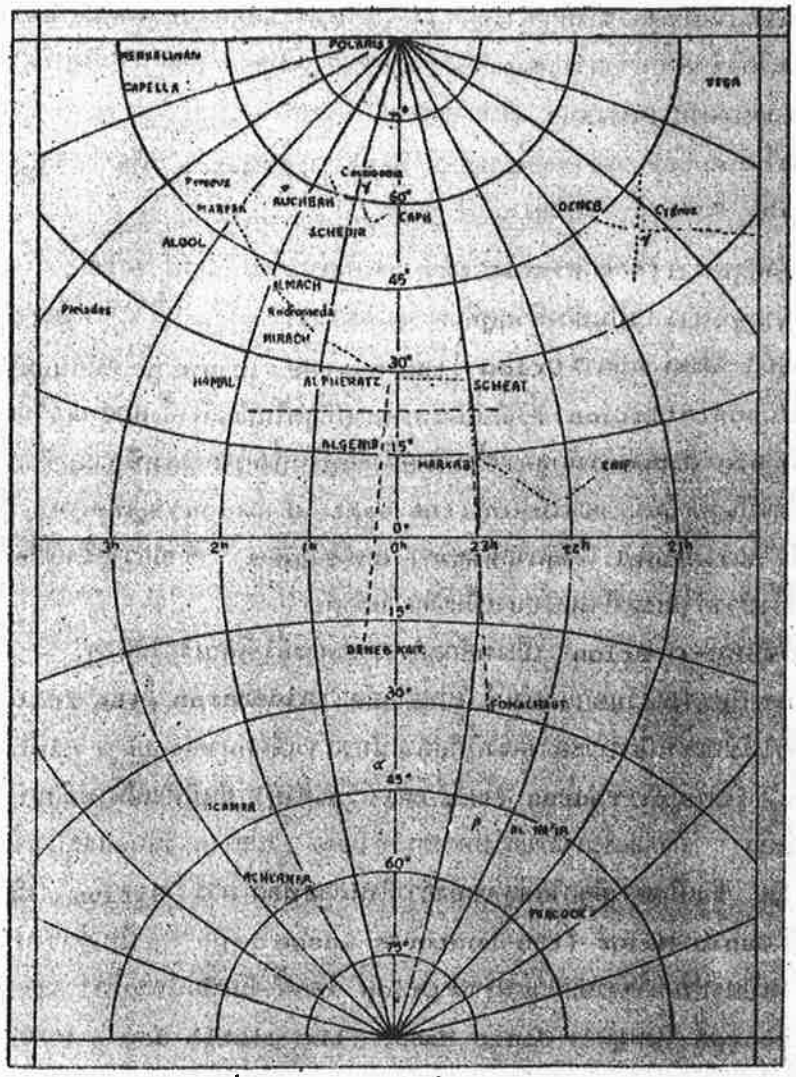
ดาวที่ใช้เดินเรือที่ควรจำซึ่งเกี่ยวพันอยู่กับหมู่ดาว **Pegasus** คือ **Alpheratz' Markab, Denib, Kaitos, Fomalhaut Hamal**

ท้องฟ้าฤดูหนาว (**the Winter Sky** แผนที่ดาวแผ่น 5 รูป 260)

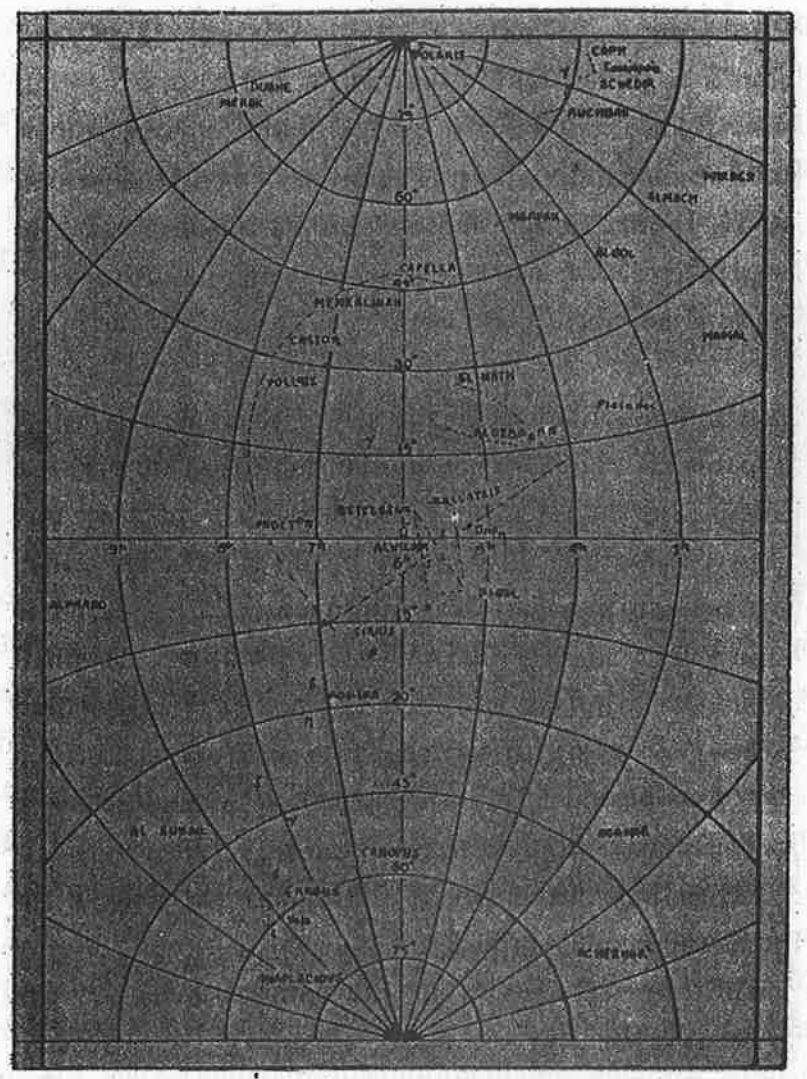
ท้องฟ้าฤดูหนาว เป็นท้องฟ้าฤดูที่มีดาวสุกใสมากกว่าฤดูอื่น ๆ หมู่ดาวที่สำคัญในฤดูนี้ (หรือบริเวณนี้) ได้แก่ หมู่ดาว **Orion** {**the hunter** = นายพราน (นักนิยมไพร)} และถือว่าเป็นหมู่ดาว(**constellation**) ที่รู้จักกันแพร่หลายที่สุดในท้องฟ้าทั้งหมด ยกเว้นเสียแต่หมู่ดาวหมีใหญ่ (**the big dipper**) นักดูดาวทั้งหลายทั้งที่อยู่ในกึ่งทรงกลมเหนือ และกึ่งทรงกลมใต้รู้จักรูปหมู่ดาวนี้ดีว่าเป็นรูปเข็มขัดของ **Orion** (**the belt of Orion**) อยู่เกือบตรง อิเควเตอร์ท้องฟ้าอย่างถี่ถ้วน ดาว **Rigel** ที่สุกใสและดาว **Betelgeux** ซึ่งมีความใหญ่ที่อยู่ในระยะเท่ากันโดยใกล้เคียงข้างล่างและข้างบนของเข็มขัดตามลำดับ

ถ้าใช้จับหมู่ดาว **Orion** เป็นหลักแล้วจะหาดาวที่ใช้เดินเรือได้ดี ๆ หลายดวง ถ้าต่อเส้นเข็มขัดออกไปทางตะวันตกจะนำเข้าไปหาใกล้ดาว **Aldebaran** {**the followers** = ผู้ติดตาม) การให้ชื่อเช่นนี้เพราะดาวดวงนี้ติดตามน้องสาวเจ็ดคนของหมู่ดาว **Pleiades**} ซึ่งมีความใหญ่ที่ 1 ในหมู่ดาว **Taurus** (**the bull** = วัวตัวผู้) อันมีหัวเป็นรูปอักษร **V** (**the V shaped head**) ถ้าต่อเส้นเข็มขัดไปทางตรงข้ามคือ ไปทางตะวันออกจะนำเข้าไปเกือบถูกตรงดาว **Sirius** ซึ่งเป็นดาวที่สุกใสที่สุดของดาวทั้งหลายพอดี ดาว **Sirius** เป็นดาวดวงสำคัญของหมู่ดาว **Canis Major** (**the hunter's lasge dog** = หมาใหญ่ของนายพราน) ถ้าเขียนเส้นโค้งทำเป็นรูปร่มกางครอบนายพราน **Orion** โดยตั้งต้นเขียนจากดาว **Sirius** จะนำไปผ่านดาว **Procyon** ในหมู่ดาว **Canis Minor** (**the little dog** = หมาเล็ก) ผ่านดาว **Pollux** และดาว **Castor** ในหมู่ดาว **Gemini** (**the twins** = คนคู) และดาว **Capella** ในหมู่ดาว **Auriga** (**the charioteer** = นักขับรถศึกโบราณ) ดาวเหล่านี้ทุกดวงยกเว้นดาว **Castor** เป็นดาวมีความใหญ่ที่ 1

มีดาวที่มีความใหญ่ที่ 2 หลายดวง ในพื้นที่ทั่วไปของหมู่ดาว **Orion** ซึ่งมีความสุกใสพอใช้ในการเดินเรือได้ แต่ทว่านักเดินเรือไม่ใคร่ใช้เพราะว่ามีดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 หลายดวงอยู่ใกล้ ๆ อยู่แล้ว ดาวที่มีความใหญ่ที่ 2 เหล่านี้สามดวงเข้าอยู่ในบัญชี "ดาวสำคัญที่ใช้เดินเรือ" ในปฏิทินเดินเรือ ดาวสามดวงเหล่านี้ คือ **Betelgeux** อยู่ทางตะวันตกของ **Betelgeux** นิดหน่อย ดาว **Alnilam** ดาวดวงกลางของเข็มขัด และดาว **Adhara** ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรูปสามเหลี่ยมในหมู่ดาว **Canis Major** และอยู่ตรงใต้ของดาว **Sirius** พอดี



รูป 259 แผนที่ดาวแผ่น 4 ท้องฟ้าฤดูใบไม้ร่วง (เวลา 2200 วันที่ 21 ต.ค.) ถือขึ้นไว้เบื้องบนศีรษะโดยให้หัวกระดาษหันไปทางทิศเหนือ



รูป 260 แผนที่ดาวแผ่น 5 ท้องฟ้าฤดูหนาว (เวลา 2200 วันที่ 21 ม.ค.)ถือขึ้นไว้เบื้องบนศีรษะโดยให้หันกระดาษหันไปทางทิศเหนือ

เกือบบนเมริเดียนไกลลงไปทางใต้เป็นดวง **Canopus** อันสุกใส ซึ่งเป็นดาวที่สุกใสที่สุดดวงที่ 2 ดาวดวงนี้ผู้ตรวจที่อยู่ในสหรัฐอเมริกาที่อยู่เหนือ แลต. 37° 30′ น. จะแลไม่เห็น ดาวดวงนี้เป็นส่วนหนึ่งของหมู่ดาว **Carina(the keel** = กระดูกงูเรือ)

บริเวณขั้วโลกใต้ **(The South Polar Region** แผนที่ดาวแผ่น 6 รูป 261)

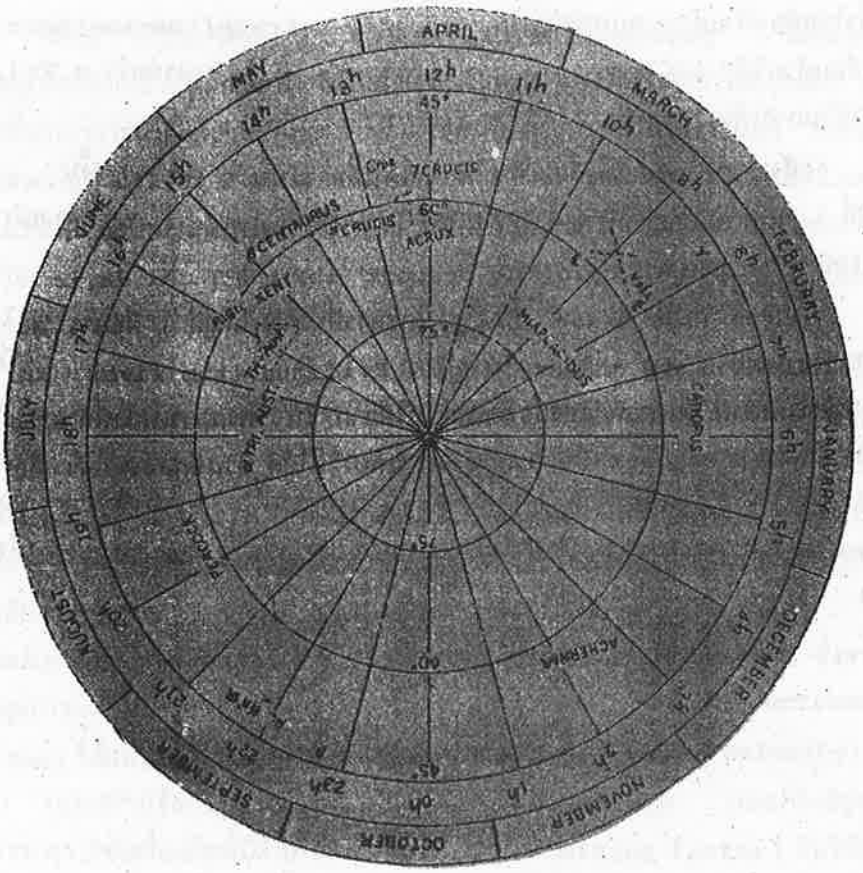
บริเวณขั้วโลกใต้ ณ บริเวณขั้วโลกใต้นั้นมีดาวที่สุกใสเป็นจำนวนมาก คนที่อยู่ในกึ่งทรงกลมเหนือเมื่อเดินทางไปกึ่งทรงกลมใต้ครั้งแรกจะมีความไม่พอใจ ในการที่ดาวในกึ่งทรงกลมใต้มีรูปร่างสัณฐานไม่ดูดดึงใจเหมือนกับหมู่ดาวในกึ่งทรงกลมเหนือ ซึ่งตนรู้จักดี ดาวกางเขนใต้ **(southern cross)** ที่รู้จักกันแพร่หลายนั้นเล่าก็เป็นหมู่ดาวที่ไม่มีความดูดดึงใจอะไร และเป็นกางเขนที่น่าทุเรศ อาจดูผ่านไปเสียได้ง่าย ถ้าหากดาวสองดวงของหมู่นี้ ไม่เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 แล้ว กางเขนที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันในหมู่ดาว **Vela** อาจจะเข้าใจผิดได้ง่ายว่า เป็นดาวกางเขนใต้

ดาวที่ใช้เดินเรือหลายดวงในแถบนี้ไม่มีชื่อน่าสนใจ เพราะว่าท้องฟ้าส่วนนี้ปรากฏอยู่ต่ำกว่าขอบฟ้าฝ่ายใต้ **(below the southern horiqss)** ของคนโบราณส่วนมากที่ตั้งชื่อดาวเสมอ

ตามในหัวข้อท้องฟ้าฤดูหนาวหน้า 465 (แผนที่ดาวแผ่น 5 รูป 260) นั้นจะเห็นได้ว่าดาว **Canopus** อยู่ทางใต้ของบริเวณทั่วไปของหมู่ดาว **Orion** อันที่จริงแล้ว เกือบจะอยู่ตรงลงไปทางใต้ของดาว **Sirius** บางทีอาจถือเอาได้ว่าจุดนี้เป็นจุดตั้งต้นที่ดี ที่จะกล่าวถึงของบริเวณนี้ หมู่ดาว **Carian** ซึ่งมีดาว **Canopus** เป็นส่วนหนึ่งของหมู่ดาวนี้นั้น แต่เดิมที่เป็นส่วนหนึ่งของหมู่ดาวหมู่ใหญ่คือหมู่ดาว **Argo(the ship**=เรือ) ซึ่ง ณ บัดนี้ ได้แบ่งออกเป็นส่วน ๆ คือดาว **Carisa(the keel** = กระดูกงูเรือ) ดาว **Puppis(the stern** = ท้ายเรือ) ดาว **Pyxis(the mariner's compass**=เข็มทิศเดินเรือ) และดาว **Vela (the sails**=ใบเรือ) ดาวที่ใช้ในการเดินเรือที่มีอยู่ในหมู่ดาว **Argo** นอกจากดาว **Canopus** ที่มีความใหญ่ที่ 1 แล้ว ได้แก่ ดาว **G Argus** (ส่วนของหมู่ดาวกางเขนฝ่ายใต้ "เทียม) ดาว **Al Suhail** และดาว **Miaplacidus** ซึ่งทั้งหมดต่างเป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 2

เมื่อนับเวียนไปในทางตรงข้ามกับเข็มนาฬิกาหมุนจากหมู่ดาว **Argo** จะพบดาว **Crux** อันเป็นดาวกางเขนฝ่ายใต้ที่แท้จริง ดาว **Acrux (Crucis)** ดาว **B Crucis** และดาว **y Crucis** ทั้งหมดนี้ต่างมีชื่อปรากฏในปฏิทินเดินเรือเป็นดาวสำคัญ ที่ใช้ในการเดินเรือ ดาว **a Crucis** และ **B Crucis** เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 และดาว **y Crucis** เป็นดาวที่มีความใหญ่ที่ 2

ยังมีดาวดีที่มีความใหญ่ที่ 1 อีก 2 ดวงอยู่ใกล้ ๆ กับหมู่ดาว **Centaurus (the centaur)** ดาวสองดวงนี้คือดาว **Rigil Kentaurus** และดาว **B Centauri** ถึงแม้ว่าดาว **B Centauri** จะมีความใหญ่ 0.9 ก็ดีแต่ก็ไม่มีปรากฏอยู่ในบัญชีดาวที่สำคัญที่ใช้ในการเดินเรือเพราะว่าดาว **Rigil Kentaurus** ซึ่งอยู่ใกล้ ๆ กันนั้นเป็นดาวที่สุกใสกว่า แต่ทว่าดาว β **Centeuri**



รูป 261 แผนที่ดาวแผ่น 6 บริเวณขั้วโลกใต้ถือหันไปทางทิศใต้
โดยให้ชื่อเดือนอยู่ข้างบน (สำหรับละติจูดใต้เท่านั้น)

ซึ่งมีความใหญ่ที่ 2 ซึ่งอยู่ทางปลายอีกข้างหนึ่งของหมู่ดาวก็มีปรากฏอยู่ในบัญชีดาวที่สำคัญ และนักเดินเรือมักใช้กันบ่อย ๆ

ใกล้ ๆ กับดาว **Centaurus** และคงนับเวียนไปในทางตรงข้าม กับเข็มนาฬิกาหมุนโดยรอบขั้วโลกท้องฟ้าแล้วจะพบหมู่ดาว **Triangulum Australe(the southerntriangle** = สามเหลี่ยมฝ่ายใต้) ดาว **a Trianguli Australis** นั้นใช้อักษรย่อว่า **a Tri. Aust.** เป็นดาวที่ใช้ในการเดินเรือกันแพร่หลายมาก

จะสังเกตเห็นได้ว่าครึ่งหนึ่งของบริเวณขั้วโลกใต้ เท่าที่ปกคลุมไปถึงนั้น มีดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 และที่ 2 เป็นจำนวนมาก อันที่จริงแล้วบริเวณนี้เป็นเขตต่อเนื่องของบริเวณ อันสุกใสโดยรอบหมู่ดาว **Orion** ทั้งนี้จะเห็นได้จากแผนที่ดาวแผ่น 5 รูป 260

ในส่วนที่เหลือของบริเวณขั้วโลกใต้นั้น มีดาวที่ใช้ในการเดินเรือน้อย มีดาว **Piacock** ที่มีความใหญ่ที่ 2 อยู่ในหมู่ดาว **Pavo(the peacock** =นกยูง) ดาว **Al Na,ir** มีความใหญ่ที่ 2 ในหมู่ดาว **Grus (the crane** =ปั้นจั่น) และดาวที่มีความใหญ่ที่ 1 คือดาว **Achernar** และดาวที่มีความใหญ่ที่ 3 ดาว **Acamar** ในหมู่ดาว **Eridanus (the river** =แม่น้ำ) ดาวทั้งหมดในหมู่ดาวเหล่านี้เป็นดาวที่มีแสงอ่อนและรู้จักได้ยาก ในจำพวกดาวเหล่านี้ด้วยกันแล้ว ดาว **Achernar** และดาว **Peacock** เป็นดาวที่ใช้ในการเดินเรือได้ดี ส่วนอีกสองดวงที่เหลือนั้น ไม่ใคร่ใช้กัน

ตอนที่ 14
เดินเรือดอพเล่อร์ (Doppler Navigation)

คำนำ ถ้าสามารถคำนวณหาทิศและระยะทางที่เรือแล่นสัมพัธ ไปกับโลกได้ติดต่อเนื่องและถูกต้องแม่นยำแล้วก็ย่อมทราบที่เรือได้ตลอดเวลา ในปัจจุบันวิธีการคำนวณหา เช่นว่านั้นได้พัฒนาขึ้นหลายวิธีด้วยกันสำหรับการเดินเรือทะเล(marine navigation) วิธีดังกล่าวนั้นมีเดินเรือดอพเล่อร์ และเดินเรือความเฉื่อย (Doppler and Inertial Navigation) รวมอยู่ด้วย เดินเรือดอพเล่อร์ใช้วิธีกางส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ซึ่งได้ผลเป็นที่พอใจอย่างยิ่งในเครื่องบิน ส่วนเดินเรือความเฉื่อยใช้ได้ผลสมความมุ่งหมายในเครื่องบิน เรือดำน้ำ และเรือผิวน้ำ

วิธีของดอพเล่อร์อาศัยมูลฐานการเปลี่ยนความถี่(Freqrency change or shift) โดยการเคลื่อนที่ (motion) วิธีนี้เป็นการตั้งชื่อให้แก่คริสเตียนดอพเล่อร์ (Christian Doppler) ผู้ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนความถี่ไว้ใน ค.ศ. 1842 ตัวอย่างอันยอดเยี่ยมที่ใช้ในการแสดงการเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์ คือ เสียงหวูดรถไฟที่กำลังแล่นด้วยความเร็ว ขณะที่รถไฟแล่นเข้ามาใกล้จะปรากฏว่าระดับเสียง(Pitch of the sound)สูงขึ้น(rise)และเมื่อแล่นห่างออกไประดับเสียงจะจมลง(Sink)การเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์นี้เป็นที่สนใจอย่างจริงจัง เฉพาะนักดาราศาสตร์เท่านั้นเป็นเวลานานมาแล้ว ครั้นเมื่อเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าไปถึงจุด ซึ่งสามารถผลิตและควบคุมการแผ่รังสีของเสียงและแม่เหล็กไฟฟ้า (acoustic and electromagnetic radiation) ได้แล้ว จึงประจักษ์ว่าผลของดอพเล่อร์นั้นใช้วัดความเร็ว (velocity) ได้

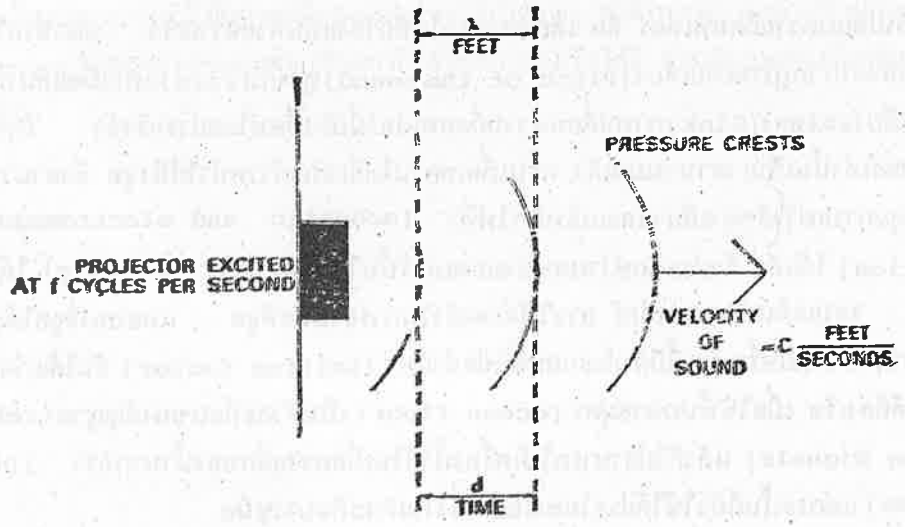
ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ อาจให้ค่าคงตัวในการอ่านละดิจูด และลองจิจูดได้ถูกต้องแม่นยำมาก การใช้เครื่องมือนี้มีตัวประกอบที่มีขีดจำกัด (limiting factor) อันได้แก่ความลึกของน้ำใต้ท้องเรือ เมื่อใช้พื้นมหาสมุทร (ocean floor) เป็นตัวสะท้อนของสัญญาณ(reflector for the signals) แล้วก็ไม่สามารถใช้เครื่องนี้ได้ในเมื่อความลึกของน้ำมากกว่า 100 วา (fathoms) แต่กระนั้นก็ยังใช้ได้ประโยชน์อย่างยิ่งในภาระกิจบางชนิด

กลศาสตร์การเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์(Mechanics of the Doppler shift)

เพื่อที่จะให้เข้าใจหลักการของเดินเรือดอพเล่อร์ จึงควรเข้าใจกลศาสตร์การเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์เสียก่อน หลักการเดียวกันนี้ใช้ได้ผลดีในการเปลี่ยนความถี่ สำหรับคลื่นทุกชนิดของสะเปกตรัมความถี่ (frequency spectrum) ไม่ว่าจะเป็นคลื่นแสงที่เห็นได้ (waves of visible light) ซึ่งนักดาราศาสตร์เข้าเกี่ยวข้องอยู่หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่นักบินไอพ่นใช้หรือคลื่นเสียง (acoustic or sound waves) ที่ใช้ในการเดินเรือทะเล

ความมุ่งหมายในการแสดงภาพประกอบคำอธิบายสำหรับหัวข้อนี้ในชั้นแรก จะได้พิจารณาถึงพลังงานเสียง(sound energy)ตามที่ถูกส่งออกในแนวนอนผ่านน้ำเสียก่อน ที่จะ

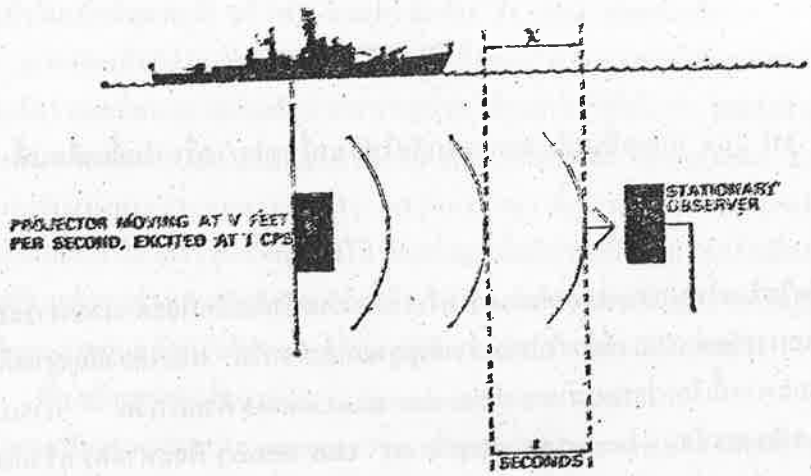
พิจารณาถึงพลังงาน ที่ถูกส่งทะแยงลงข้างล่างดังที่ใช้อยู่ในกรณีเดินเรือทะเลดอพเล่อร์ (marine Doppler navigation) ถ้าพิจารณาให้เครื่องส่งเสียงโซนิก (sonic projector) ในรูป 262 อยู่ประจำที่ในน้ำขณะเมื่อส่งเสียงออกไปด้วยความถี่ f ส่งรังสีแผ่ออกไปในรูปคลื่นเสียง (sound waves) เคลื่อนออกไปจากเครื่องส่งด้วยอัตราเร็วเสียง C อัตราเร็วนี้ถูกกระทำ (ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง) ในเบื้องต้นโดยอุณหภูมิ ความเค็ม (salinity) และความหนาแน่น (density) ของน้ำทะเล รังสีที่ส่งออกเดินแผ่ออกไปในรูปร่างของคลื่นสลับกัน (alternating) ระหว่างยอดคลื่นความดัน (pressure crests) และท้องคลื่นความดัน (pressure troughs) ระยะระหว่างยอดคลื่นหรือท้องคลื่นติด ๆ กัน เป็นความยาวคลื่น (wavelength) λ ของคลื่นเสียง (acoustic wave)



รูป 262 แบบคลื่นเสียง (acoustic wave) ส่งออกจากเครื่องส่ง (projector) ใต้น้ำที่อยู่ประจำที่

ความยาวคลื่นเท่ากับ อัตราเร็วเสียงหารด้วยความถี่ หรือ $\lambda = C/f$ ฉะนั้น ในชั่วระยะเวลา t ยอดคลื่นความดันแต่ละยอดเดินได้ระยะ d เท่ากับ C คูณด้วย t ในภาพที่แสดงนั้น จะเห็นได้ว่าความยาวคลื่น (λ) เป็นฟุต และระยะทาง (d) ที่ยอดคลื่นความดัน เดินไปนั้นเป็นหนึ่งและเท่ากัน

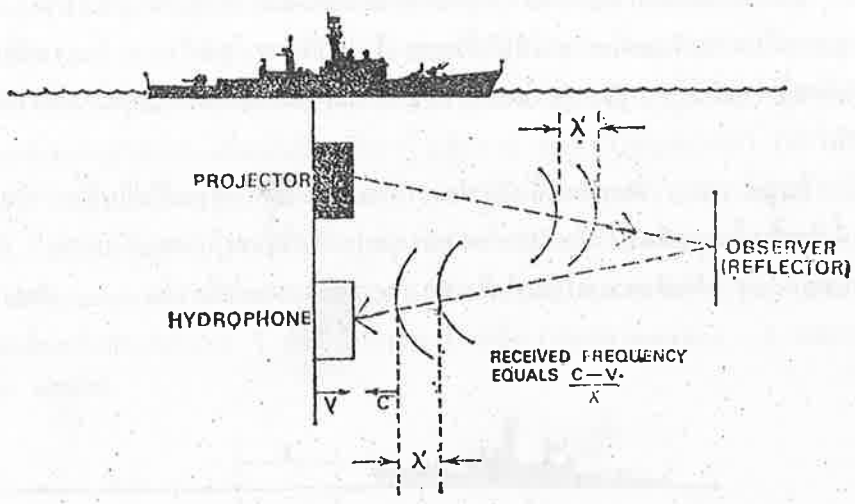
ในรูป 263 วาดภาพให้เห็นเรือพาโปรเจกเตอร์ เคลื่อนที่ไปในน้ำ ด้วยอัตราเร็ว V และคลื่นที่เกิดขึ้นนั้นถูกเตือน(monitored)ณ จุดประจำที่ซึ่งอยู่ห่างออกไปจาก โปรเจกเตอร์ คลื่นกับยอดคลื่นความดันยังคงแพร่ออกไปในช่วงเวลาหรือความถี่เดียวกัน ยอดคลื่นความดัน



รูป 263 แบบคลื่นเสียงส่งออกจากโปรเจกเตอร์ใต้น้ำที่เคลื่อนที่

(pressure crests) อยู่ใกล้กันในตัวกลาง (medium) เนื่องจากความเร็วของเรือ ความยาวคลื่น λ' ที่ถูกอัดใหม่(new compressed wavelengths)เท่ากับความยาวคลื่นที่ไม่ถูกรบกวนลบด้วยระยะที่เดินด้วยความเร็ว V ระหว่างยอดคลื่นความดัน เพราะว่าความถี่ และความยาวคลื่นแปรผกผัน(vary inuersely)ในสัดส่วนตรง(direct proportion) ในตัวกลาง(medium) ซึ่งกำหนดอัตราเร็วเสียงให้การเปลี่ยนความยาวคลื่นอันเกิดจากความเร็วเรือ ทำให้ความถี่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับคลื่นที่จุดmonitoring การเปลี่ยนความถี่นี้เรียกว่าการเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์ (Doppler shift)

ถ้าเอาเครื่องส่งสะท้อน (reflector) ไปใส่แทนที่ผู้ตรวจ ซึ่งอยู่ประจำที่ในรูป 263 ดังแสดงไว้ในรูป 264 แล้ว พลังงานที่ส่งออก (trasmitted energy) จะสะท้อนกลับไป



รูป 264 แบบคลื่นเสียงสะท้อนกลับไปยังเครื่องส่ง/เครื่องรับที่เคลื่อนที่

ยังเรือ เมื่อติดไฮโดรโฟน (hydrophone) หรือเครื่องรับเข้ากับเรือก็จะคำนวณหาระยะทาง ไปยังวัตถุได้ โดยการวัดช่วงเวลาที่ล่วงไประหว่างสัญญาณที่ส่งออกไป และเสียงสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาถึง ระยะทางนี้เรียกว่าระยะโซนาร์ (sonar distance) ด้วยการวัด การเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์ของเสียงสะท้อน (Doppler shift of the echo) ก็จะหาอัตราเร็วสัมพัธ ของเรือต่อรีเฟลกเตอร์ (reftector) ได้

ตามปกตินั้นเดินเรือดอพเล่อร์ใช้พื้นมหาสมุทร (ocean floor) เป็นรีเฟลกเตอร์โดยที่พื้นมหาสมุทรไม่มีผิวสะท้อน (reflective surface) อยู่ในพื้นแนวนอน ฉะนั้นจึงกดโปรเจกเตอร์เสียง (sound projector) และไฮโดรโฟนลงไปใต้พื้นแนวนอนเป็นมุมตามที่ได้คำนวณหาไว้ล่วงหน้า ถ้าติดตั้งโปรเจกเตอร์และไฮโดรโฟนคู่ที่สองให้หันหน้าไปในทิศทางตรงกันข้าม กับคู่ที่หนึ่ง และกดลงเป็นมุมเท่ากันแล้วก็จะเปรียบเทียบการเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์ ที่ไฮโดรโฟนสองตัวได้รับได้ ถ้าเอาการเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์ที่ได้รับจากไฮโดรโฟนตัวท้ายเรือ ไปลบออกจากการเปลี่ยนความถี่ที่ได้รับจากไฮโดรโฟนตัวหัวเรือแล้ว ค่าของการเปลี่ยนความถี่ อันเนื่องจากการเคลื่อนที่แนวนอนจะเป็นสองเท่าและกางเปลี่ยนความถี่ใด ๆ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ในแนวยืนจะถูกตัดทิ้งไป และจะเกิดผลตามมา คือถ้าติดตั้งโปรเจกเตอร์และไฮโดรโฟนสี่ตัวให้อยู่ในตำแหน่งได้แบริงเท่า ๆ กันแล้ว จะคำนวณวัดหาทิศทางสัมพัธและระยะทางสัมพัธได้ละเอียดแม่นยำ

สัญญาณโซนิกที่ส่งผ่านน้ำทะเล (sonic signals transmitted through sea water)

เท่าที่ได้กล่าวมาแล้ว กล่าวเฉพาะการเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์เท่านั้น ไม่ได้พูดถึงตัวกลาง (medium) - คือน้ำทะเล (sea water) ซึ่งจะต้องส่งเสียงผ่านไป ลักษณะพิเศษ

(characteristics)ของน้ำนับว่ามีผลสำคัญต่อการเดินเรือดอพเล่อร์การพิจารณาส่วนใหญ่ได้แก่ การกระทำของน้ำต่ออัตราเร็วเสียง(speed of sound) ต่อการทำให้เสียงสัญญาณแผ่ว บางลง (signal attenuation)และขนาดความดังของเสียงสะท้อน(volume reverberation)

อัตราเร็วเสียง(speed of sound) ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ "กลศาสตร์การเปลี่ยนความถี่ดอพเล่อร์" ความยาวคลื่น λ ของคลื่นเสียงที่ส่งออกไปเท่ากับอัตราเร็วเสียง C หารด้วยความถี่ f หรือ $\lambda = C/f$ อัตราเร็วเสียงในน้ำถูกกระทำ (กระทบกระเทือน) ด้วยตัวประกอบคือ ความเค็ม(salinity) อุณหภูมิ(temperature)และความดัน(pressure)ซึ่งเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของน้ำ อัตราเร็วแปรเปลี่ยนไปประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ทางข้างใดข้างหนึ่งของค่ามาตรฐาน(standard valre)ซึ่งโดยปกติถือเอาความเร็วเป็น 4,935 ฟุตต่อวินาที ในน้ำทะเลใกล้ผิวพื้นน้ำในเมื่อมีอุณหภูมิ 60 ฟ. และความเค็ม 34 ส่วน ต่อหนึ่งพัน

การขัดแย้งกันขนาดนี้ทำให้เกิดความเคลื่อนคลาด(error)ได้มากพอควรในระบบเดินเรือดอพเล่อร์ความเคลื่อนคลาดอันเกิดจากสาเหตุนี้ทำให้สูญหายไปได้มาก โดยส่งสัญญาณด้วยความยาวคลื่นคงที่(constant wavelength)ดีกว่าส่งด้วยความถี่คงที่ (constant freguency) หรือด้วยการปรับแต่งประจำ(constantly adjusting) ที่มุมกดลง (depression angle) ของเครื่องส่งและแถวไฮโดรโฟนที่จัดเรียงไว้เพื่อแต่งแก้เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วเสียงทั้งสองวิธีต่างก็มีข้อดีด้วยกันแต่ละอย่างและยังพิจารณาไม่ได้ว่าวิธีใดจะให้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหา เมื่อเอาสอง วิธีมาผสมรวมกันแล้วทำให้ประดิษฐ์เครื่องมือดอพเล่อร์บางอย่างได้ผลพอใจ

เสียงสัญญาณแผ่วเบาลง (signal attenuation)

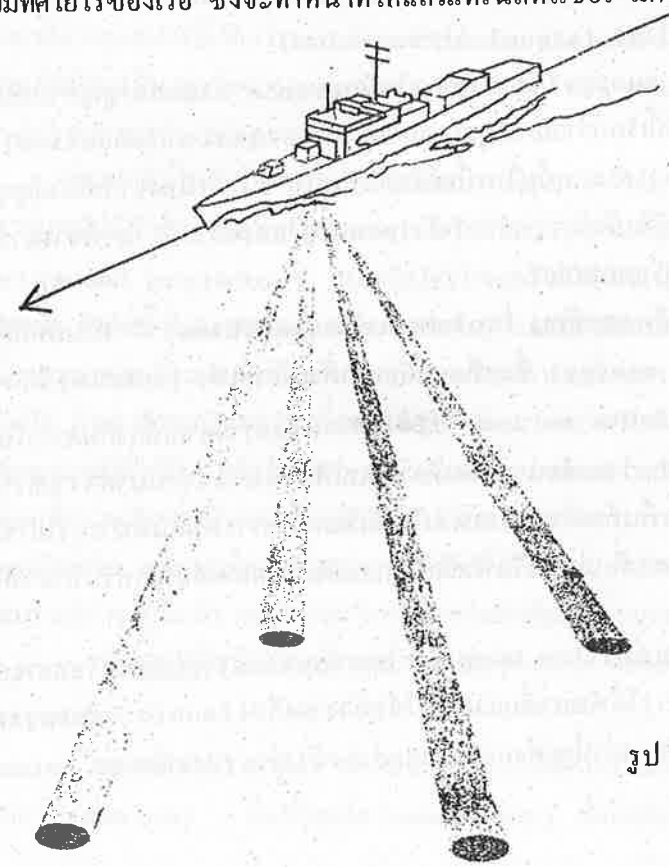
พลังงานเสียง(acoustic energy)ของสัญญาณโซนิก(sonic signal)สูญหายหมดไปเมื่อมันผ่านไปในน้ำ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเสียงสัญญาณแผ่วเบาลง(signal attenuation)ตามที่ทางเดินสูญหาย(path losses)เพิ่มมากขึ้นในเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเสียงสัญญาณแผ่วเบาลง ฉะนั้น จึงต้องเอาข้อขัดแย้งกันระหว่างกำลัง(power) และความถี่ มาพิจารณาด้วยเสมอในการประดิษฐ์เครื่องมือเดินเรือดอพเล่อร์

ขนาดความดังของเสียงสะท้อน (volume reverberation) เป็นศัพท์ที่ใช้อธิบายพลังงานเสียง(acoustic energy) ที่สะท้อนกลับจากสิ่งปรักหักพัง (debris) ฟองน้ำ (bubbles) สัตว์ทะเลเล็ก ๆ (minute marine life) หรือความลาดเกี่ยวกับความร้อน (thermal gradients)ในน้ำมากกว่าสะท้อนจากพื้นท้องทะเลเสียงซึ่งเกิดจากขนาดความดังของเสียงสะท้อน ทำให้เสียงสะท้อนจากพื้นท้องทะเลขาดหายไปได้เป็นครั้งคราวผลอันนี้นำเอาไปใช้เป็นข้อดีกับเครื่องมือดอพเล่อร์บางชนิดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ "ระบบเดินเรือดอพเล่อร์สำหรับรักษาให้การจดที่เรือรายงานแม่นยำในทะเล"

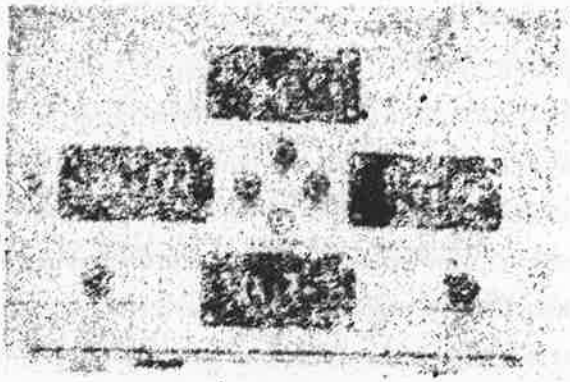
เครื่องมือเดินเรือดอพเล่อร์(the Doppler navigation) ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ตามที่บริษัท Ratheon (รูป 265)ได้พัฒนาเริ่มแรกนั้นใช้พลังงานเสียง (sonic energy)สี่ปีม (four beams)ตั้งห่างกัน 90 ปีมเหล่านี้ถูกส่งออกไปและส่งลงข้างล่าง (directed outward

and downward)ทุกมุมเอียง(angles of inclination)เท่ากันจากพื้นราบพลังงานเสียงถูกส่งออกจาก แทรนสดิวเซ่อร์(transducers คือเครื่องชนิดหนึ่งถูกกระทำด้วยกำลังจากระบบหนึ่งแล้วส่งกำลังไปให้ระบบที่สอง) ซึ่งถูกกระตุ้นโดยสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งแทรนสดิวเซ่อร์(transducers)นี้นอกจากทำหน้าที่กระจายสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปแล้วยังทำหน้าที่เป็นไฮโดรโฟน เพื่อจับเก็บเสียงสะท้อนของสัญญาณ ซึ่งสะท้อนจากพื้นมหาสมุทรแล้วแปลง (convent)เสียงสะท้อน (acoustic echo)เป็นพลังงานไฟฟ้า(electrical energy) พลังงานนี้ ผ่านเข้าไปในเครื่องรับแล้วถูกขยาย(amplified)พลังขึ้น และพลังงานที่เข้ามา(input)จากแทรนสดิวเซ่อร์สี่ตัวก็ถูกเอามาเปรียบเทียบเพื่อผลิตความถี่ดอพเล่อร์ และใช้หาความสูงสัมพัธของความถี่(relative height of the frequencies)ด้วย จึงทำให้มีความสำนึกในการเลื่อนที่และทิศทาง (sense of motion and its direction) ของมัน

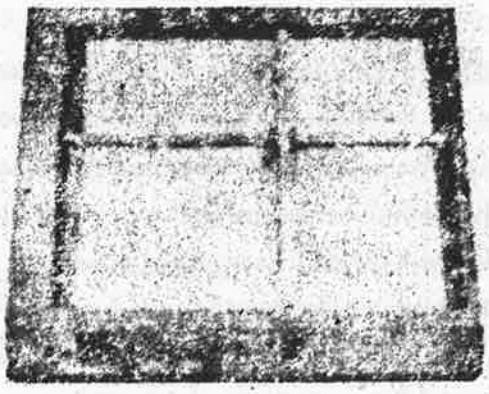
ถ้าแถวของแทรนสดิวเซ่อร์ ยังคงอยู่ประจำที่ในแบริงที่สัมพัธกับ เส้นกลางลำเรือ (ship,s center line) แล้วอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ยังคงสัมพัธกับระบบพิกัดของเรือ (ship,s coordinate system)คือว่าองศาที่อ่านได้แสดงว่าการเคลื่อนที่สัมพัธอยู่กับทิศหัวเรือ (ressel,s heading) และบอกให้ทราบอัตราเร็วเหนือพื้นมหาสมุทร และอัตราผิดที่แล่นตัดแนวทางเรือ (การเคลื่อนที่ไปในทางข้างสัมพัธกับแนวทางเรือ) ในการที่จะทำให้ได้ระบบเดินเรือชี้ทิศจริง(true navigational system)ให้หันแถวแทรนสดิวเซ่อร์ให้คงที่ไปทิศเหนือจริงโดยเข็มทิศไยโรของเรือ ซึ่งจะทำหน้าที่ให้แถวแทรนสดิวเซ่อร์ มีการทรงตัว(stabilize) ด้วย และ



รูป 265 หลักการเดินเรือดอพเล่อร์



รูป 266 เครื่องบอกระยะทาง



รูป 267 เครื่องจดที่เรืออัตโนมัติ (Automatic plotter)

และทั้งยังรักษาให้อยู่ในพื้นแนวนอน โดยไม่คำนึงว่าเรือจะโคลงหรือแคลง (roll or pitch) อย่างใด ๆ ก็ตาม ดังนี้การเคลื่อนที่แสดงว่าอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก ทิศที่อ่านออกมาจะเป็นทั้งทิศจริง (true direction) และระยะทางจริงที่เรือแล่นไปจากจุดออกเรือแสดงเป็นระยะทางแล่นไปทางเหนือหรือใต้และไปทางตะวันออกหรือตะวันตก ดังแสดงไว้ในรูป 266 ฉะนั้น ระบบเดินเรือนี้จึงแสดงให้เห็นตำบลที่ได้เสมอ โดยบอกเป็นละติจูดและลองจิจูด และจด(plot)ตำบลที่ลงบนแผนที่ได้ต่อเนื่องกันตลอดเวลาด้วย โดยใช้เครื่องจดที่เรือพิกัด x-y (x-y coordinate plotter) ดังในรูป 267)

ความแม่นยำ (Accuracy) ได้กล่าวแล้วโดยย่อถึงการจัดวางแทรนสดิวเซ่อร์ ตามวิธีเรขาคณิต และตัวประกอบเสียง (sonic factors) ซึ่งทั้งสองสิ่งนี้ทำให้กระทบกระเทือน (เปลี่ยนแปลง) ต่อการปฏิบัติงานของระบบขอบเขตจำกัด อีกอย่างหนึ่งเกี่ยวกับความแม่นยำของระบบ ได้แก่ความแม่นยำของการชี้ทิศหัวเรือ (heading accuracy) ซึ่งเกิดจากเข็มทิศไยโร ที่ใช้เข็มทิศ

ไยโรที่ดีเมื่อใช้ปฏิบัติงานในลักษณะดีแล้วจะทำให้มีแบริงไม่แน่นอนเพียง 0.1 หรือประมาณ 6 ลิบดา(minutes)ของบอบ ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ใช้ทิศหัวเรือเป็นหลักอ้างอิง(heading reference ซึ่งเมื่ออัตราผิดนี้ผิดประจำแล้วจะแสดงให้เห็นว่าตำบลที่ผิดไปประมาณ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ของระยะทางที่แล่นไปจากจุดออกเรือ และเรืออาจจะอยู่ทางขวาหรือทางซ้ายของแนวทางเรือ ที่แล่นไปจริง(intended track)โดยจำนวนอัตราผิดนี้ด้วยโดยที่อัตราผิดเกิดจากไยโร มักมีแนวโน้มลุ่ม ๆ ดอน ๆ (random) มากกว่าที่จะประจำเมื่อเฉลี่ยแล้วมีอัตราผิดมาก จากการที่แล่นเรือไปมาหลายเที่ยวโดยเครื่องมือนี้ ปรากฏว่ามีความแม่นยำมาก(considerably higher degree of accuracy)มีอัตราผิดไม่ถึง 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามที่คิดว่าจะมี

ขีดจำกัดอันสำคัญของเดินเรือดอพเล่อร์ ในการที่ใช้พื้นมหาสมุทร เป็นรีเฟลกเตอร์นั้นทำให้ไม่เป็นระบบที่แม่นยำ แต่ค่อนข้างจะได้ผลเฉพาะในความลึกประมาณไม่เกิน 100 วา (fathoms) เท่านั้น เนื่องจากสัญญาณแผ่วเบาลง

ระบบเดินเรือดอพเล่อร์สำหรับรักษาให้การจดที่เรือรายงานแม่นยำในทะเล(Doppler navigation system of maintaining an accurate DR plot at sea)

ได้กล่าวถึงขนาดความดังของเสียงสะท้อน(Volume reverberation)ไว้แล้ว เพราะบางครั้งบางคราวมีการขัดแย้งกันต่อระบบเดินเรือดอพเล่อร์ เมื่อเสียงสะท้อนกลับจากพื้นมหาสมุทรถูกกั้นด้วยเสียงสะท้อนจากการลาดชันของความร้อน(thermal gradients)การแบ่งชั้นความลึก(stratified layers)ของสัตว์ทะเลเล็ก ฯลฯ เพราะว่าขนาดความดังของเสียงสะท้อนในการส่งโซนาร์ ด้วยเครื่องส่งคลื่นติดต่อเนื่อง(CW transmitter) นี้ บางส่วนของพลังงานเสียงถูกสะท้อนกลับและทำให้เกิดระดับสัญญาณ(siganl level)เครื่องรับคือทำให้เสียงสูงกว่าระดับเสียง(noise level)ฉะนั้น เดินเรือดอพเล่อร์จึงสามารถสัมพันธ์กับมวลน้ำ (water mass) โดยไม่คำนึงถึงความลึกของน้ำ

ขนาดความดังของเสียงนั้นเป็นความดังที่รับได้ผสมกันมา เพราะทำให้สามารถใช้ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ เป็นระบบเดินเรือรายงาน (DR system) ที่แม่นยำมาก ณ ความลึกใด ๆ ในทะเล การเคลื่อนที่ของเรือสัมพันธ์ไปกับมวลน้ำ และอ่านตำบลที่ได้แม่นยำเมื่อเรือเปลี่ยนตำบลที่ - เครื่องมือนี้ช่วยได้มากเป็นอย่างยิ่งในทะเลในการบอกให้ทราบความผิดที่ผิดไปจากทิศหัวเรือ ที่ตั้งไว้เนื่องจากการถือท้ายผิด กำลังลมพัดให้เรือผิดไป ฯลฯ

เครื่องมือเดินเรือดอพเล่อร์ยุคที่สอง(Second generation Doppler navigational equipment)

การใช้เครื่องมือเดินเรือดอพเล่อร์ยุคใหม่ ได้พัฒนาในแนวความคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับประเภทเรือ(types of vessels)ที่แตกกันมากสองประเภท ได้แก่เรือบรรทุกน้ำมันขนาด "ซุเปอร์-จัมโบ้"(superjumbo tanker)ระวาง 200,000 ตัน หรือกว่าขึ้นไปและเรือดำน้ำวิจัย(research submarines) ซึ่งมักเรียกว่ายานดำน้ำลึก (deepsubmergence vehicles)

เรือสองประเภทที่แตกต่างกันมากนี้ มีคุณลักษณะเหมือนกันอยู่อย่างหนึ่ง- คือการกระทำของคลื่น (wave action) ทำการกระทบกระเทือนต่อเรือได้เพียงเล็กน้อย ณ ความลึกที่ยานดำน้ำลึกปฏิบัติการอยู่นั้น ยานนี้จะไม่ถูกรบกวนจากภาวะของพื้นผิวน้ำเลย และเรือบรรทุกน้ำมันยักษ์ก็จะถูกรบกวนน้อยมากกว่าเรือผิวน้ำอื่น ๆ เพราะว่าเรือมีขนาดใหญ่โตมหึมา

จากการที่แก้ไขการทรงตัว(stability)เป็นการใหญ่นี้เองคือระบบเดินเรือดอพเล่อร์สำหรับเรือสองประเภทนี้ที่พัฒนาไม่ใช้แทรนสดิวเซ่อร์ที่จัดให้การทรงตัวของไยโรลูกตุ้ม อยู่เป็นแถว (gyro stabilized pendulous array of tranducers) ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่แล้ว ๆ มา แต่ใช้แทรนสดิวเซ่อร์สี่ตัวติดแน่นเข้ากับแผ่นเหล็กท้องเรือแทน เมื่อติดเข้าในตำแหน่งเช่นนี้ภายใต้การบรรทุกตามภาวะปกติ แกนของแทรนสดิวเซ่อร์ชี้ลงข้างล่างตามมุมที่กำหนด โดยมากแล้วติดตั้งอยู่ข้างหน้าจุดกลางลำเรือ (midship point) พอควร การทำให้เกิดการ่ทรงตัวกระทำภายในเครื่องโดยเครื่องอีเล็กโทรนิค

การติดแทรนสดิวเซ่อร์ โดยวิธีกลของระบบนี้จะทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกัน และมีองศาความแม่นยำเหมือนกันดังได้กล่าวแล้วข้างต้นและระบบนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่เรือ ทั้งสองประเภท ยานดำน้ำลึกปฏิบัติการอยู่ในตัวกลาง ซึ่งจะตัดปัญหาที่เกิดขึ้นแก่เดินเรือ ประเภทในแบบ (conventional types of navigation) เกือบทุกประเภทได้หมด ไม่ต้องคำนึงถึงกระแสน้ำที่พื้นมหาสมุทร (bottom currents) ซึ่งไม่ทราบทิศทางและความเร็วอีกต่อไป ระบบนี้ใช้สำรวจพื้นมหาสมุทรได้รายละเอียดและแม่นยำบริบูรณ์ แล้วกลับไปยังจุดซึ่งเริ่มต้นสำรวจได้

สำหรับเรือบรรทุกน้ำมันขนาดยักษ์นั้น เครื่องมือนี้ใช้จดที่เรือรายงาน (DR plot) ในทะเลได้ถูกต้องแม่นยำและจดได้ติดต่อเนื่องกันไป และมีประโยชน์มากพอ ๆ กัน ในการนำเรือเข้าท่าเรือหรือเมื่อแล่นอยู่ในท่า เนื่องจากว่าเรือเหล่านี้กินน้ำลึกมาก โดยมากมักกินน้ำลึกเกินกว่า 50 ฟุต จึงเชื่อเครื่องหมายทางเรือที่วางไว้ตามปกติในช่อง เพื่อให้เดินเรือได้ปลอดภัยไม่ได้ในช่องทางเรือเดิน (channel) ที่ใช้กันตามปกติมักมีอาณาบริเวณจำกัด และบ่อยครั้งที่เรือใหญ่ขนาดนี้จะต้องจำกัดการแล่นของตน ในการนำเรือในช่องที่กล่าวนั้น ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ช่วยได้มากที่สุด และมักจะเตือนให้ทราบถึงความยุ่งยากสำคัญ ๆ ได้ล่วงหน้าก่อนที่จะหาได้ จากการจดที่เรือซึ่งได้จากการแบริงด้วยตา (plotting vesual bearings) ลง

ใช้ระบบเดินเรือดอพเล่อร์นำเรือบรรทุกน้ำมันเข้าอู่(Doppler in docking tankers) พนักงานนำร่อง(pilots)และผู้นำเรือ (conning officers) มักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับความยุ่งยากที่เรือใหญ่เหล่านี้มีอาการเซเคลื่อนที่ในทางข้าง (lateral motion) เล็กน้อยในช่วงสุดท้ายที่นำเรือเข้าเทียบท่าลำเลียงเชื้อเพลิง เนื่องจากความเฉื่อยที่มีอยู่เป็นอันมากสำหรับเรือเหล่านี้ อาจทำความเสียหายอย่างหนักเมื่อกระทบท่าเทียบหรือแพยกเรือ (camel) แค่เพียงเบา ๆ

การที่จะตรวจหาอาการเซเคลื่อนที่ทางข้าง จึงต้องติดตั้งแทรนสดิวเซ่อร์ คู่หนึ่งให้ค่อนไปทางท้ายเรือให้มากพอควร แทรนสดิวเซ่อร์คู่นี้วางติดอยู่บนแกนตามขวางลำเรือ (athwartship axis) ทั้งนี้เพื่อตรวจหาการเซเคลื่อนที่ทางข้างหรืออาการหัน (turning motion) เมื่อเรือแล่นเข้าเทียบท่าและหยุดเครื่องจักร เสียงใบจักรอาจทำลายประสิทธิภาพของเรือได้มากมายเมื่อเรือแล่น

ข้อยุติ (Conclusion) ระบบเดินเรือทะเลดอพเล่อร์ (Marine Doppler navigation system) ยังอยู่ในขั้นพัฒนาเริ่มต้นน่าจะเป็นไปได้อย่างมากว่า การปฏิบัติงานและประสิทธิภาพของระบบนี้จะต้องแก้ไขต่อไป ระบบเดินเรือดอพเล่อร์ จะใช้กับเรือที่มีหน้าที่พิเศษ (specialized ships) หาได้ใช้กับเรือทั่วไปไม่และจะพิสูจน์ให้เห็นว่า ระบบเดินเรือนี้เป็นเครื่องมือเดินเรือที่มีค่าที่สุด ในบรรดาเครื่องมือเดินเรือทั้งหลาย

ตอนที่ 15

เดินเรือความเฉื่อย (Inertial Navigation)

คำจำกัดความเดินเรือความเฉื่อย (Inertial navigation) ตามที่ J.M. Slater ให้จำกัดความไว้ใน เดินเรือนิวตัน (Newtonian Navigation) ว่า เป็นกระบวนการที่บังคับให้จรวด เรือ เครื่องบิน หรือยาน (vehicle) อย่างอื่นเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อาศัยพื้นฐานตรวจจับความเร่ง (sensing acceleration) ของยานในทิศอวกาศ (spatial direction) ที่ทราบแล้วโดยใช้เครื่องมือไปเปลี่ยนกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newtonian s Laws of motion) ให้เป็นเครื่องจักรแล้วทำความเร่งให้เป็นจำนวนเต็มหน่วย (integrating acceleration) เพื่อหาความเร็วและตำบลที่

ระบบเดินเรือความเฉื่อยของเรือ { Ship's Inertial Navigation system (SINS) }
ระบบเดินเรือความเฉื่อยของเรือ { Ship's Inertial Navigation system (SINS) }

ได้พัฒนาเป็นระบบหาที่เรือรายงานสำหรับทุกกาลอากาศ (all—weather dead reckoning system) ได้แม่นยำ ระบบนี้ใช้ไยโรสโคป (gyroscopes = ลูกข่าง) มาตรวัดความเร่ง (accelerometer) และร่วมด้วยอีเลกโทรนิคเพื่อตรวจวัดอัตราหัน (turning rates) และความเร่ง (acceleration) ร่วมกันกับการหมุนตัวของโลกและกับการเคลื่อนไหวของเรือที่สัมพันธ์อยู่ฉับผิวพื้นโลก

เนื่องจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันใช้ได้กับทุกอัตราเร็วของเรือรบทุกลำ ฉะนั้น เดินเรือความเฉื่อยซึ่งอาศัยมูลฐานของกฎเหล่านี้ จึงช่วยนักเดินเรือได้มากมาย ระบบความเฉื่อยตระเตรียมจัดหารายการละเอียดให้ได้อย่างกว้างขวางในการลงโคออดิเนตของตำบลที่ (position coordinates) ระบบนี้ทำให้อ่านละดิจูดลองจิจูดและทิศหัวเรือ (ship's head) ได้ติดต่อเนื่องกันและให้รายการอาการโคลง (roll) อาการแคลง (pitch) และความเร็ว พร้อมกันด้วย เป็นประโยชน์ในการทำให้เครื่องมืออื่น ๆ มีอาการทรงตัว (atabilization) เป็นระบบที่แม่นยำที่สุด ความแม่นยำของระบบพึ่งพิงอยู่โดยตรงกับไยโรสโคปที่เป็นส่วนประกอบ (component gyroscopes) และมาตรวัดความเร่ง (accelerometer) ว่าจะซื่อตรงเพียงใด ในการเปลี่ยนกฎการเคลื่อนที่เป็นเครื่องจักร เพื่อที่จะให้เครื่องมือนี้เที่ยงตรงจึงต้องค้นคว้าเรื่อย ๆ ไป ทั้งการออกแบบและกรรมวิธีการสร้างต้องพยายามทุกวิถีทางเพื่อหาสมุฏฐานต้นกำเนิดความผิด และทำให้หมดไปไม่ว่าอัตราผิดนั้นจะมีเล็กน้อยเพียงใดก็ตาม ระบบ SINS เป็นระบบที่ยุ่งยาก ซับซ้อนที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเดินเรือวิธีอื่น ๆ ราคาเบื้องต้นก็แพงมากและต้องใช้บุคคลากร ที่มีความชำนาญในการดูแลรักษาและปฏิบัติ

ภูมิหลัง (Beckground) เมื่อเริ่มแรกทีเดียวนั้นได้พัฒนาระบบเดินเรือความเฉื่อยเพื่อสำหรับใช้กับเครื่องบิน ต่อมาจึงนำมาใช้ในยานอวกาศ (spacecraft) ระบบเดินเรือความเฉื่อยของเรือ (SINS) ได้พัฒนาขึ้นสำหรับใช้กับเรือดำน้ำโปลาริส (Polaris submarines) ในปัจจุบัน

ได้นำไปใช้กับเรือผิวน้ำและเรือดำน้ำชั้นโจมตี (attackclass submarines) ด้วย

ตำรานี้มุ่งหมายที่จะแนะนำหลักการขั้นมูลฐานของ SINS แก่นักเรียน เพื่อจะได้เข้าใจดีถึงข้อได้และข้อเสีย และสัมพันธภาพของระบบต่อการเดินเรือบนผิวน้ำสมัยใหม่ ไม่มีระบบเครื่องกลหรือระบบอีเลกโทรนิค (mechanical or electronic system) ใด ๆ ที่จะพึงเชื่อได้ว่าจะให้วิธีทำแก้ปัญหาเดินเรือติดต่อเนื่องกันได้อย่างบริบูรณ์ แต่จะให้ข้อคิดที่จะช่วยนักเดินเรือในการปฏิบัติหน้าที่ของตนได้เสียมากกว่า

ในการนำเอาเดินเรือความเฉื่อยมาใช้งานครั้งแรกที่สุดนั้นบริษัท Sperry Gyroscope Division of sperry Rand Corporation ได้นำเอาระบบเดินเรือความเฉื่อยของเรือ ซึ่งออกแบบโดย MIT (สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซท) ไปติดตั้งในเรือรบชื่อ Compass Island ของนาวีสหรัฐในฤดูใบไม้ร่วง ค.ศ. 1956 เครื่องนี้เป็นส่วนของแผนการประเมินผลซึ่งนำไปสู่การออกแบบและการประดิษฐ์ระบบ SINS สำหรับเรือดำน้ำ เดินเรือความเฉื่อยภาคปฏิบัติสำหรับใช้กับเรือได้เริ่มด้วยการติดตั้งเครื่องเดินเรือความเฉื่อย N6A (N6A Inertial navigators) สร้างโดย Autonetics, a Division of north American aviation, Inc ลงในเรือดำน้ำ Nautilrs และ Skate เพื่อเดินทางข้ามขั้วโลกใน ค.ศ.1958 หน่วยเครื่องมือเหล่านี้ได้ออกแบบครั้งแรกสำหรับใช้กับขีปนาวุธ แต่ต่อมาได้นำมาใช้กับเรือดำน้ำได้ด้วย

แนวความคิด (Concept) ระบบความเฉื่อยได้ชื่อมูลฐานมาจากข้อเท็จจริงที่ว่า ไยโรสโคป และมาตรวัดความเร่ง (accelerometer ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ accelerometers) มีการตรวจวัดหาความเฉื่อยที่ว่ามีแนวโน้มที่จะคงไว้ซึ่งทิศ (orientation) ให้เป็นไปตามกฎของนิวตันเมื่อมีการเบี่ยงเบน (deviation) ใด ๆ ไปจากแนวทิศ (orientation) เดิม ก็ตรวจหาและวัดได้ด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ มาตรวัดความเร่ง (accelerometers) วัดหาส่วนประกอบความเร่งแนวนอนและส่วนประกอบความเร่งแนวยืน (components of horizontal and vertical accelerations) ส่วนไยโรสโคปทำให้มาตรวัดความเร่งมีเสถียรภาพ (stabilize) อยู่ในทิศ (orientation) ที่ต้องการ ในระบบนี้มีเครื่องคำนวณ (computer) รวมอยู่ด้วย สำหรับคำนวณหาตำบลที่ (position) และความเร็ว (velocity) โดยอินทิเกรด (integrating =ทำให้เป็นหน่วย) ส่วนประกอบความเร่งที่มีอยู่ในยานและคำนวณหาการแก้ทิศ (orientation corrections) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่เหนือโลก การหมุนตัวของโลกและตัวประกอบ (factors) อื่น ๆ

แนวความคิดขั้นมูลฐาน (basic concept) ของไยโรสโคป ซึ่งได้กล่าวนำในหลักการของเข็มทิศไยโรที่ชี้ทิศเหนือนั้น ในระบบความเฉื่อยใช้แกนไยโรสามแกน (three gyro axes) สำหรับตั้งให้แท่นเครื่องมาตรวัดความเร่ง (platform for the acceleroneters) มีเสถียรภาพ (stable) แท่นเครื่องต้องอยู่ในระดับแนวนอนกับผิวพื้นโลก ส่วนไยโรสโคปซึ่งตั้งอยู่บนแท่นวงรักษาระดับ (gimbaled mounts) เกิดการบิด (torqued) ทั่ว ๆ ไป เพื่อทำให้มีแกนแนวนอนสองแกนและแกนแนวยืนหนึ่งแกนโดยทั่ว ๆไปแล้ว ไยโรสโคปไม่อยู่ประจำที่ในอวกาศ ถึงแม้ว่ามันจะอยู่ในสัณฐานประการใดก็ตาม อัตราผิดบางประการในระบบ SINS

เพิ่มขึ้นตามเวลา ฉะนั้น ภายหลังจากเวลาที่ยืดเยื้อแล้วข้อมูลที่อ่านออกมาได้ (raeadout data) ก็ย่อมรับใช้ไม่ได้ จึงต้องแก้ไขระบบหรือปรับปรุงให้ทันกาล (updated) การนี้ทำให้สำเร็จได้โดย systems approach ซึ่งระบบความเฉื่อยนี้พร้อมด้วยการกระตุ้นเตือนภายใน ของมันเองถูกเพิ่มเติมด้วยต้นกำเนิดข้อมูลภายนอกว่าด้วยตำบลที่ (position) ทีท่า (attitude) และความเร็ว ต้นกำเนิดข้อมูลเหล่านี้มีอัตราผิดจำกัด ไม่มีหน้าที่เกี่ยวกับเวลาที่ล่วงไป ต้นกำเนิดข้อมูลเหล่านี้มีเครื่องติดตามวัตถุท้องฟ้า (celestial trackers) radiometric sextants ลอแรน และรบเดินเรืออีเลกโทรนิคอื่น ๆ เดินเรือดาวเทียม (navigation satellites) ล้อกอัตราเร็ว (speed logs) ฯลฯ

มาตรวัดความเร่ง (accelerometers) เดินเรือความเฉื่อย ใช้รากฐานการตรวจหาการเคลื่อนที่ (sensing of movement) ของยานและอินทีเกรด (integrating) การเคลื่อนไหวนี้หรือความเร่งที่เกี่ยวเนื่องกับเวลาเพื่อกำหนดหาความเร็ว และตำบลที่ แท่นเครื่องที่ทรงตัว { มีเสถียรภาพ (stable platform) } ตั้งขึ้นโดยใช้ไยโรสโคปติดตั้งให้มาตรวัดความเร่ง อยู่ในแนวนอนในทางปฏิบัติจริงนั้น ไม่จำต้องเอามาตรวัดความเร่งไปตั้งบนแท่นเครื่องไยโร มาตรวัดความเร่งติดตั้งบนแท่นเครื่องมาตรวัดความเร่ง ซึ่งควบคุมโดยไยโรก็ได้

เครื่องมือตรวจวัดหาความเร่งอาจเป็นสามชนิด มูลฐานเหล่านี้

มาตรวัดความเร่ง (accelerometer) ซึ่งผลที่ออกมา (output) เป็นการวัดความเร่ง (acceleretion)

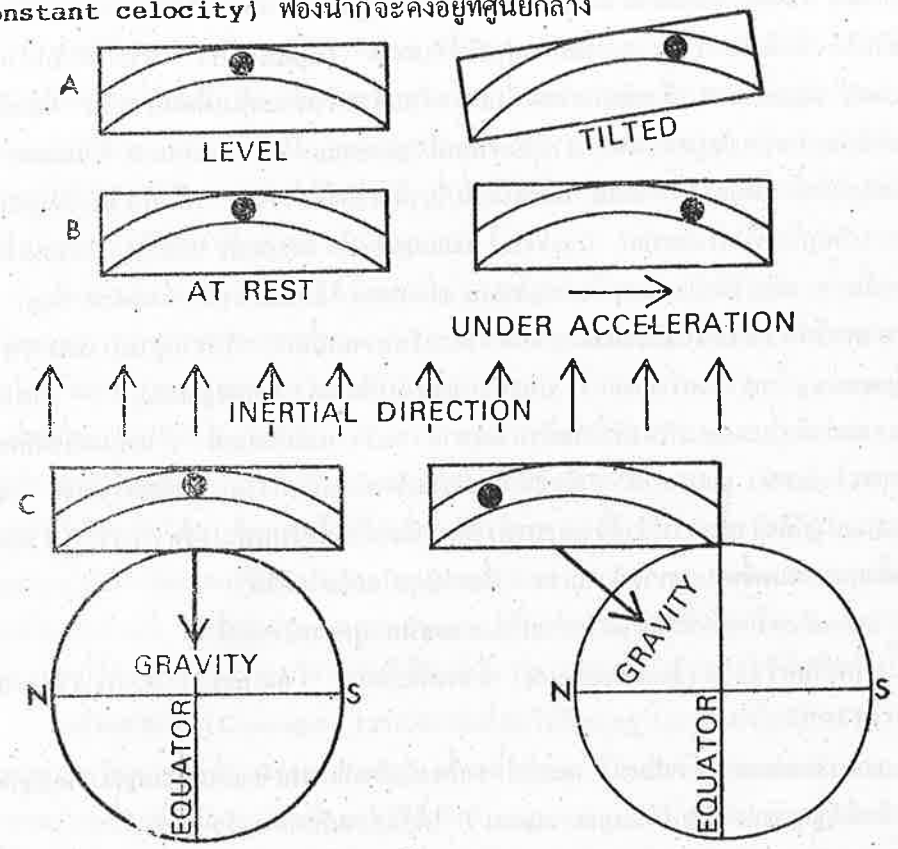
มาตรวัดความเร็ว (velocity meter)–เครื่องมืออินทีเกรดเชิงเดี่ยว (single integrating device) ซึ่งมีสัญญาณออกมา (output signal) ได้สัดส่วนกับความเร็ว และ

มาตรวัดระยะทาง (distance meter) -เครื่องมืออินทีเกรดสองเชิง (double integrating device) ซึ่งมีสัญญาณออกมาได้สัดส่วนกับระยะทางที่เดินไป

ศัพท์คำว่า มาตราวัดความเร่ง (acceleromcter)มักใช้ หมายถึงเครื่องมืออันใดอันหนึ่งของเครื่องมือเหล่านี้

หลักการของมาตราวัดความเร่งอาจแสดงให้เห็นด้วยภาพ ด้วยการใช้ลูกตุ้ม(pendulum) หรือเครื่องวัดระดับชนิดฟองน้ำ(leveling bubble)ถึงแม้ว่าเครื่องวัดระดับธรรมดาไม่อาจวัดความเร่งได้แม่นยำถึงขั้นใช้ในระบบเดินเรือความเฉื่อยได้ก็ตาม ก็อาจใช้แสดงให้เห็นภาพทัศนคติ (concept)มูลฐานของอาการความเร่งได้ เพื่อการอธิบายภาพนี้ให้คิดถึงฟองน้ำ ในเครื่องวัดระดับชนิดธรรมดาของช่างไม้ก็แล้วกันในทำนองเดียวกันมาตราวัดความเร่งก็ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างแรงความถ่วง (force of gravity) และแรงความเร่ง (force of acceleration) อันเกิดจากการเคลื่อนที่ได้ ในรูป 268 ที่ A นั้นแสดงให้เห็นระดับทั้งเมื่ออยู่นิ่งและเมื่อปลายข้างหนึ่งถูกยกขึ้น ในกรณีอันหลังนั้นฟองน้ำเคลื่อนไปยังตำบลที่ใหม่เนื่องจากแรงถ่วง ณ ที่ B หน่วยเดียวกันนี้แสดงให้เห็นทั้งเมื่ออยู่นิ่ง และเคลื่อนที่ไปตามทิศลูกศร ฟองน้ำจะเคลื่อนออกไปนอกศูนย์กลางเฉพาะในระหว่างที่เปลี่ยนความเร็ว(Change of velocity) เท่านั้น คือว่าระหว่างคาบเวลาความเร่ง (acceleration) หรือลดความเร่ง (deceleration)แต่เมื่อมีความเร็วคงที่

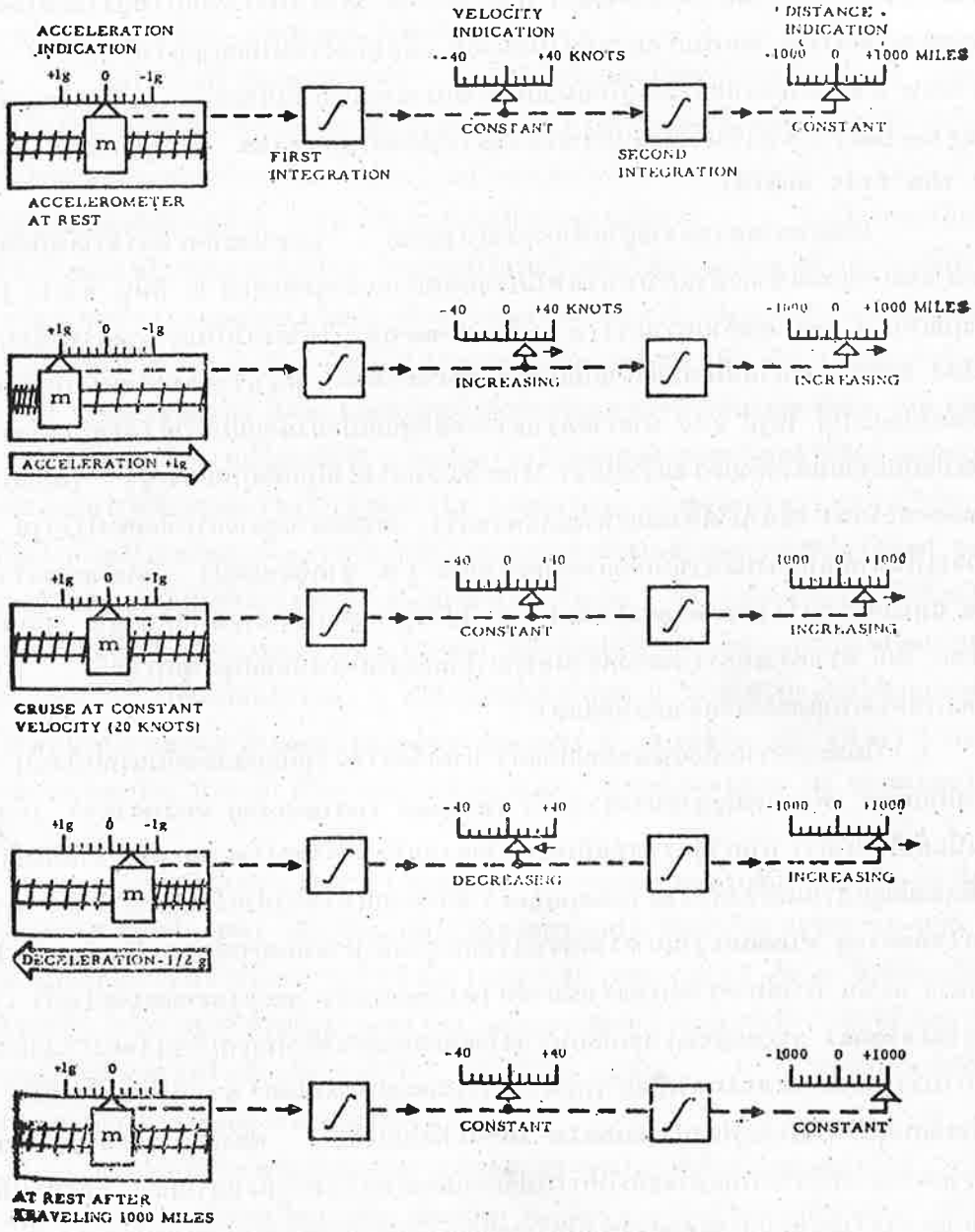
(constant celocity) ฟองน้ำก็จะคงอยู่ที่ศูนย์กลาง



รูป 268 อาการของความถ่วงและความเร่งกระทำต่อฟองน้ำ (bubble)

แท่นเครื่องทรงตัวไยโร (gyro-stabilize platformd) หรือไยโรอยู่บนวงรักษาระดับ (gimbaled gyros) นั้น ในเมื่อไม่มีตอร์ก (torque) มากระทำ แท่นนั้นจะอยู่ประจำที่ (fixed) ซึ่งสัมพัธกับอวกาศ (space) มากกว่าที่จะสัมพัธกับผิวพื้นโลก ถ้ากรณีเป็นเช่นนี้ดังนั้น ในรูป 268 ที่ C ลูกศรจะชี้ทิศในอวกาศ ซึ่งแท่นเครื่องจะต้องเข้าอยู่ในแนวเดียวกัน มาตราวัดความเร่งใช้แทนด้วยเครื่องวัดระดับแสดงให้เห็นว่าได้ระดับกับโลกที่อิเควเตอร์ ทิศของเวคเตอร์ความถ่วง (gravity vector) อยู่ 90 จากพื้นของแท่นเครื่องไยโร และชี้ไปยังศูนย์กลางโลก เมื่อยานเปลี่ยนละติจูดทิศของเวคเตอร์ความถ่วงจะยังคงชี้ไปที่ศูนย์กลางโลก แต่จะไม่เป็น 90 จากแท่นเครื่องที่หันในอวกาศ (space oriented platform) อีกต่อไปด้วยเหตุนี้แรงความถ่วงทำให้ฟองน้ำเคลื่อนไหวด้วยอาการคล้ายคลึงกันกับที่แสดงไว้ที่ เพื่อมิให้มีส่วนประกอบความถ่วง (gravity component) นี้ปรากฏขึ้นจึงต้องรักษาให้แท่นเครื่องคงอยู่ในระดับ เมื่อมันเคลื่อนที่ไปเหนือผิวพื้นโลก การนี้ทำให้สำเร็จได้โดยทำให้ไยโรสโคปตอร์ก (torquing) พอควร มาตราวัดความเร่งที่แท้จริงนั้นยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าเครื่องระดับน้ำช่างไม้ แต่ว่ามันคล้ายคลึงกันตรงที่ว่าโดยปรกติมันมีแกนที่ไหวตัว (sensitive sxis) เพียงแกนเดียวเท่านั้นเหมือนฟองน้ำ ซึ่งเคลื่อนไหวไปได้ตามหลอดแก้วเท่านั้น

รูป 269 แสดงภาพให้เห็นหลักการของมาตรวัดความเร่งอินทีเกรด หาความเร็ว และระยะทาง โดยนัยทางเทคนิค(technical sense) แล้วความเร็ว (velocity) เป็นการวัด



รูป 269

ภาพแสดงอาการกระทำของมาตรวัดความเร่งและการอินทิเกรดหาความเร็วและระยะทาง

ทั้งอัตราเร็วและทิศทางทั้งสองประการ ในทำนองเดียวกันความเร่งใช้วัดทั้งความใหญ่(magnitude) และทิศทาง(direction)ทั้งสองประการ ในกรณีนี้ได้แสดงให้เห็นมวลสาร (m) ในมาตรวัดความเร่งมีอิสระที่จะเคลื่อนไหวไปตามก้านกลม(rod)ซึ่งใช้หาแกนชี้ทิศ(sensitive sxis)แต่มีมวลสารกระทำต้านทานต่อเครื่องดึงสปริง มาตรวัดความเร่งสามารถตรวจสอบ(calibrated)ในนามของความถ่วงได้ โดยหันก้านกลมไปในแนวยืน เนื่องกับผิวพื้นโลกมากกว่าที่จะหันไป ในแนวนอน ถ้ามาตรวัดความเร่งไม่อยู่ในแนวยืนหรือแนวนอนเนื่องกับโลกแล้ว มวลสารจะถูกหันเห (deflected)ไปชี้ให้เห็นว่าส่วนประกอบความเร่งได้สัดส่วนต่อ sine ของมุมกระดก (sine of the tilt angle)

เมื่อมาตรวัดความเร่งอยู่ในตำแหน่งแนวนอน และขณะที่ความเร่งกำลังเกิดอยู่นั้น มวลสารจะเคลื่อนที่เข้าต่อต้านการหน่วงเหนี่ยวของสปริงจนถึงจุดสมดุลย์ ณ ที่นั้น ซึ่งแรง (f) เท่ากับมวลสาร (m) คูณด้วยความเร่ง (a) หรือ f=ma สูตรนี้ใช้ได้ทั่วไปในอวกาสความเฉื่อย(inertial space)ยกเว้นเมื่อความเร็วเกือบเท่า(spproaches) อัตราเร็วของแสงแล้วมวลสารก็จะคงที่ต่อไปอีกไม่ได้ ในรูป 269 มาตรวัดความเร่งจะชี้ที่ศูนย์เมื่อยานอยู่ประจำที่(stationary) หรือเมื่อมันเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วประจำ มาตรวัดความเร่งซึ่งมีอินทีเกรดสองเชิง (double integration) จะอ่านได้ทั้งระยะทางและความเร็ว เมื่อติดตามดูตามภาพที่แสดงไว้ในรูป 269 แล้วจะเห็นลำดับเหตุการณ์ห้าขั้นเมื่อมาตรวัดความเร่ง 1 g จากจุดหยุดนิ่ง จนถึงความเร็ว 20 นอต และลดความเร่ง(deceleration) $\frac{1}{2}$ g ไปถึงจุดหยุดภายหลังจากที่เดินไปได้ ระยะทาง 1,000 ไมล์ ความเร็วและระยะทางที่อ่านออกมาได้แสดงให้เห็นผลที่มาตรวัดความเร่ง ทำการอินทีเกรดครั้งแรกและครั้งที่สองเกี่ยวกับเวลา

ในระบบความเฉื่อยนั้นตามปกติแล้ว มาตรวัดความเร่งมีอินทีเกรดขั้นแรกหนึ่งขั้น เป็นอย่างน้อยที่สุด เพื่อผลิตสัญญาณบอกความเร็ว (signal indicating velocity) เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วก็อ้างได้ว่า มาตรวัดความเร่งเป็นมาตรวัดความเร็ว (velocity meter) ส่วนอินทีเกรดขั้นที่สองมีอยู่แล้วในเครื่องคำนวณ (computer) ของระบบ(SINS)สำหรับบอกระยะทาง หน่วยชี้ทิศ'(sensing element)ในมาตรวัดความเร่งตกอยู่ในอำนาจของการสั่นสะเทือนต่าง ๆ และความเร่ง ฉะนั้น ถ้าใช้มาตรวัดความเร่งเบื้องต้น (elementary accelerometer) แล้ว แรงสัญญาณ(signal strength) จะเปลี่ยนรวดเร็วและจะแสดงให้เห็นการเลื่อน (shift) บ่อย ๆ จากการเร่ง(acceleration)เป็นการลดความเร่ง(deceleration) อาการนี้จะเห็นได้คือ ถ้าใช้มือเลื่อนเครื่องวัดระดับฟองน้ำ(bubale level)ไปบนโต๊ะ ฟองน้ำจะเลื่อนไปมาโดยเร็ว มาตรวัดความเร่งที่อินทีเกรดแล้วจะทำให้การเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเหล่านี้ราบเรียบลง และทำให้เกิดสัญญาณความเร็วสม่ำเสมอ(steady)ซึ่งมีพร้อมอยู่แล้วในระบบเครื่องคำนวณเลขโดด (sysem's digital computer)

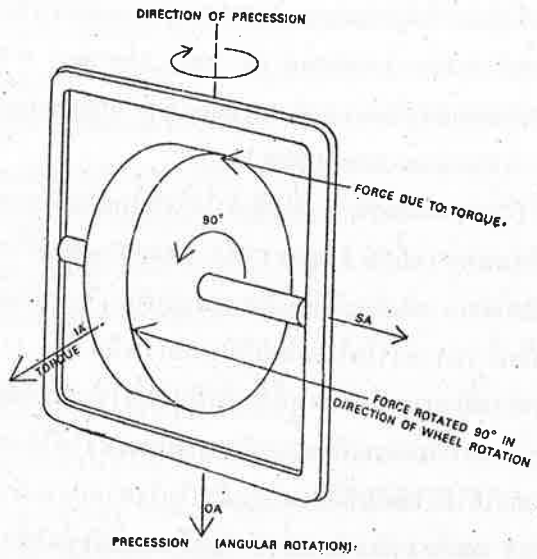
มาตรวัดความเร่งที่ดีจะไม่ถูกรบกวน โดยการหมุนรอบแกนชี้ทิศของมัน(sensitive axis)มันวัดแรงหรือเวคเตอร์ของแรง (vector of the forces) ตามทิศทางของแกนชี้ทิศ

วิธีการทำให้หน่วยลอย(floating element) อยู่ศูนย์กลางนั้น ส่วนมากใช้ทำให้ตอร์กวกกลับมาขยายใหม่ (torque feedback)

ไยโรสโคป (Gyroscope) ที่แท้แล้วไยโรสโคปก็คือโลกย่อส่วนเล็ก ๆ นั่นเอง ไยโรสโคปใช้สำหรับยึดให้แทนความเฉื่อย (inertial platform)เข้าอยู่ในแนวเมริเดียนไยโรสโคปเมื่อถูกตอร์กมากระทำรบกวน มันก็จะไม่อยู่ในแนวเมริเดียนในอวกาศอีกต่อไป ดังเช่นที่โลกคงชี้อยู่ในแนวเมริเดียน ทั้งนี้ เพราะว่าไยโรสโคปเป็นมวลสารเล็ก ๆ จึงหันเหออกไปเป็นบางส่วนด้วยอัตราเร็วหมุนรอบที่สูงมาก โดยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้มอเตอร์หลายตัว และเกียร์เพื่อขับ หรือขับตอร์ก (torquers) ไปขับวงรักษาระดับ(gimbals)ให้ได้ตอบสัญญาณไยโรสโคปเพื่อทำให้แท่นรักษาอาการทรงตัวไว้ จึงใช้หีบซึ่งประกอบด้วยไยโรสโคปสามตัว คือ แกนสองตัวสำหรับแนวนอน (horizontal axes) และอีกหนึ่งตัวสำหรับแอซิมัธซึ่งใช้ควบคุมบังคับ ให้แท่นอยู่ในแนวสำหรับมาตรวัดความเร่งจะได้วัด มาตรวัดความเร็ว (accelerometer) ใช้ติดตั้งอยู่บนแท่นทรงตัวของไยโรได้สัญญาณความเร็ว(velocity signals)จากมาตรวัดความเร่งเหล่านี้ใช้สำหรับทำให้ไยโรสโคปหันเห(precess)หรือตอร์กในแกนตามลำดับของมันอาการส่งกลับ(feed back) นี้จากเครื่องมือหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง ทำให้เกิดการแกว่งกวัด ซึ่งจะเห็นประจักษ์ได้ดีที่สุดโดยพิจารณากับลูกตุ้ม (pendulum)ง่าย ๆ ธรรมดา ซึ่งเคลื่อนที่ข้ามแนวยืน เมื่อมีแรงใดแรงหนึ่งมากระทำต่อมันดีกว่าที่เคลื่อนธรรมดา ๆ ไปยังที่ใหม่แล้วก็หยุด ระบบความเฉื่อยได้ถูกออกแบบเพื่อให้คงเวลาการแกว่งกวัด(oscillatory period) T เท่ากับ $2\pi\sqrt{(R/g)}$ ในเมื่อ R เป็นรัศมีของโลก และ g เป็นความเร่งของความถ่วง (acceleration of grevity) ที่ผิวพื้น

คาบเวลานี้เรียกว่า คาบเวลา Schuler (Schuler period)หรือลูกตุ้ม 84-นาที (84-minute pendulum) เมื่อปรับระบบ(system tund) ให้เข้ากับคาบเวลา 84-นาที แล้ว ดังนั้น เมื่อแท่นเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ใด ๆ ในทิศทางใด ๆ รอบโลกแล้ว ไยโรสโคปที่ได้ระดับ(leveling gyroscopes) จะถูกตอร์ก ทำให้เกิดอาการพรีเซสชั่นไปด้วยความเร็วเดียวกัน (เท่ากัน) อย่างถี่ถ้วน ฉะนั้น มันจึงรักษาให้แท่นเครื่องมาตรวัดความเร่งคงอยู่ในพื้นระดับได้

ตามปกติใช้ไยโรอินทีเกรดอัตรา(rate gyros) 3 ตัวติดตั้งบนแท่นเครื่อง โดยให้แกน z ของแท่นเครื่องอยู่ในแนวยืน ส่วนแกน x และ y อาจอยู่ในแนวทิศเหนือ หรือทิศตะวันออก หรืออยู่ในทิศแอซิมัธ (azimuthal directions) อื่นก็ได้ ทั้งนี้พึ่งพิงอยู่กับโคออดิเนตที่ใช้ในการออกแบบระบบ



รูป 270 กฎสำหรับพรีเซสชั่น

ไยโรสโคปอินทีเกรดอัตรา (Rate integrating gyroscope) หน่วยชี้ทิศ **(sensing element)** ขั้นมูลฐานของระบบ SINS สมัยใหม่เช่น **Mark III, Mod** 5 เป็นไยโรสโคปอินทีเกรดอัตรา **(rate integrating gyroscope)** (รูป 271)

ความแม่นยำถูกต้องของผลส่งออก **(output)** ข้อมูลระบบ SINS นั้นส่วนใหญ่พึ่งพิงอยู่กับความสามารถของไยโร ในการที่จะรักษาการชี้ทิศของมันไว้ ความสามารถนี้ส่วนใหญ่อาศัยมูลฐานของการสร้างภายในของไยโร ทั้งพึ่งพิงอยู่กับความแม่นยำของการปรับ **(calibration)** และการอยู่ในแนวของระบบ **(alignment of the system)** ด้วย ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติในเรือ ข้อความมูลฐานว่าด้วยพรีเซสชั่น (อาการเซ) ของไยโรสโคปได้แสดงให้เห็นในรูป 270 เมื่อมีดอร์กมากระทำต่อไยโรสโคปที่มีองศาอิสระเชิงเดียว **(sing - degree of freedom)** เมื่อมีดอร์กมากระทำรอบแกนแรงเข้า **(input axis) IA** ก็จะทำให้เกิดอัตราพรีเซสชั่นเชิงมุม **(angular rate of precession)** ขึ้นรอบแกนแรงออก - **(output axix) OA** โดยสมมุติให้โมเมนตัมเชิงมุม **(angular momentum)** ของลูกข่าง อยู่คงที่ กฎของพรีเซสชั่นมีว่า: แกนหมุน **(spin axix) SA** พรีเซส (หัน) ไปรอบแกนแรงออก **(OA)** หันเข้าหาแกนแรงเข้า **(IA)** รอบดอร์กที่มากระทำ หรือจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งคือว่า เมื่อดอร์กออกแรงกระทำโดยตรงต่อลูกข่าง **(wheel)** อาการพรีเซสชั่นของลูกข่าง จะหันไปในทิศทางของแรงที่มากระทำโดยหันไป 90° ในทิศทางที่ลูกข่างหมุน ดังในรูป 270

ไยโรสโคปถูกหน่วง **(damped)** เพื่อทำให้เกิดอัตราพรีเซสชั่น **(rate of precession)** เพื่อให้กลมกลืนเชิงเส้นกับอัตราการหมุนตัวของแกนแรงส่งเข้า **(input sxis rotation)** เช่น

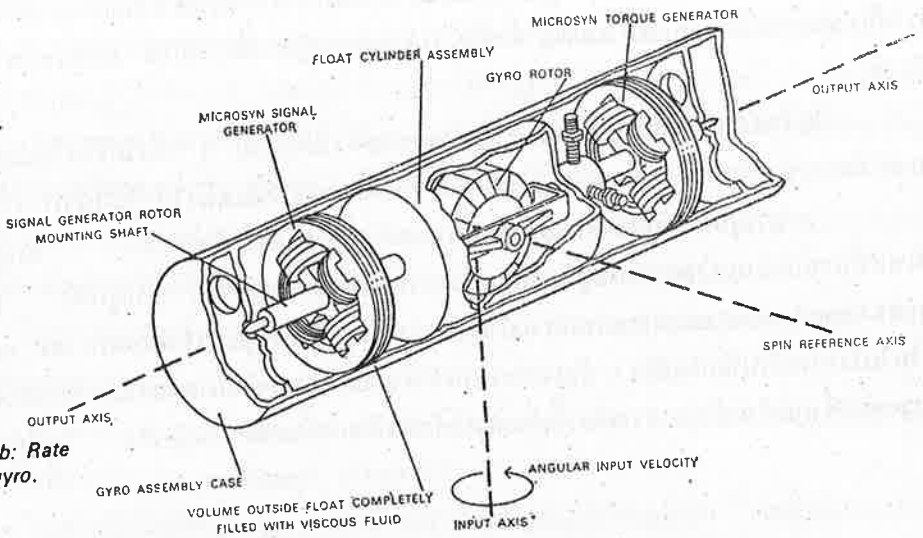


Figure 3606b: Rate integrating gyro.

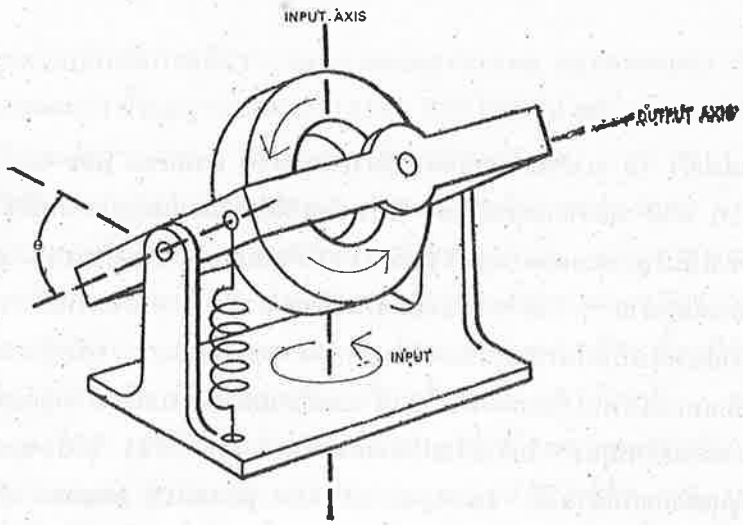
รูป 271 ไยโรอินทีเกรดอัตรา

สำหรับอัตราแรงส่งเข้า 10 นาทีของขอบต่อชั่วโมง(**10 arc minute per hour input rate**) ไยโรจะพรีเซส 10 นาที ของขอบทุกชั่วโมง ไยโรสโคปที่มีความแม่นยำสูงมากที่ใช้ใน **SINS** สามารถพรีเซสเชิงเส้น(**preccessing linearly**)โต้ตอบตอร์กที่ส่งเข้าครอบคลุมระยะของวินาที ของขอบต่อชั่วโมงต่อหลาย ๆ องศาของขอบต่อวินาทีของเวลา ค่าอันแรกกำหนดหน่วยชี้ทิศที่ น้อยที่สุด และค่าอันหลังเป็นอัตราสูงสุดของอาการโคลง อาการแคลง หรืออัตราเปลี่ยนแอซิมัธ ซึ่งไยโรได้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อโต้ตอบการเคลื่อนที่ รวมทั้งหมดรอบแกนแรงส่งออกเท่ากัน กับมุมรวม ทั้งหมดซึ่งแกนแรงส่งเข้าหมุนตัว ไยโรสโคปอินทีเกรดอัตรา (รูป 271) ได้ชื่อของมันมาจากข้อ เท็จจริงที่ว่าสัญญาณส่งออกที่อ่านได้ (**output of the pickoff signal**)เป็นการรวมยอด หรือทำเป็นจำนวนเต็ม(**integration**) ของอัตรารวมทั้งหมดที่ทำให้เกิดพีเซสชั่น มุมส่งออก เป็นจำนวนเต็มของอัตราจำนวนเต็มส่งเข้า สัญญาณส่งออกไยโรที่อ่านได้ ใช้แทนการเปลี่ยนที่รวม ของหน่วยลอย(**floating element**)ซึ่งมีลูกข่าง(**spinning wheel**)และวงรักษาระดับ ที่ รองรับมัน(**supporting gimbal**)ซึ่งเกี่ยวกับเปลือกหุ้มของมัน การเปลี่ยนที่นี้เกิดจากการที่เอา พรีเซสชั่นเตอร์กควบคุมไปกระทำ การหันเหของไยโร(**gyro drift**) และอัตราเชิงมุมภายนอก (**external angular rates**) กระทำต่อเปลือกหุ้มรอบแกนส่งเข้า

แรงส่งออกไยโรขับวงรักษาระดับ ซึ่งทำให้เกิดการหมุนตัวรอบแกนแรงส่งเข้า ซึ่งทำให้แรงส่งออกไยโรกลับคืนไม่มีผล ดังนั้น ผลรวมของอัตราที่เอาไปใช้ และกระทำต่อไยโรต้องเป็นสูญ

ไยโรสโคปแด่งอัตรา(Rate gyroscope) แผนง่าย ๆ ของไยโรสโคปแด่งอัตรา ซึ่งมีองศาอิสระเชิงเดียว **(single degree of freedom)** ได้แสดงให้เห็นในรูป 272

การหมุนตัวพรีเซสชั่นรอบแกนแรงออก ถูกเหนี่ยวรั้งด้วยสปริง ในกรณีนี้จำนวนพรีเซสชั่นรอบแกนแรงออกขึ้นอยู่**(function)**กับอัตราการเคลื่อนที่ ๆ หมุนตัว **(rate of rotational motion)** รอบแกนแรงเข้ามากกว่าจำนวนการหมุนตัว**(amount of rotation)** ตังในไยโรสโคปอินทีเกรดอัตรา อัตราการหมุนตัวรอบแกนแรงเข้ามีผลต่อตอร์กส่งออก **(output torpue)** ซึ่งถูกต้านด้วยแรงเหนี่ยวรั้งที่แสดงให้เห็นด้วยเครื่องประดิษฐ์สปริง ไยโรจะพรีเซสไป



รูป 272 แผนของไยโรสโคปแด่งอัตรา

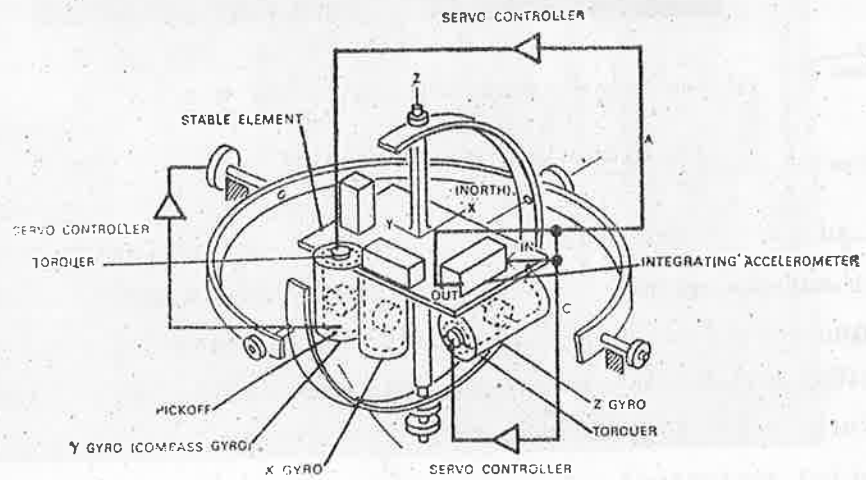
เป็นมุม θ จนกว่าพรีเซสชั่นเตอร์กจะถูกทำให้สมดุลย์ด้วยแรงซึ่งกระทำโดยสปริง ฉะนั้น จึงมีผลตามมา คือ ตราบเท่าที่อัตราของแรงเข้า (input) ยังคงที่อยู่ ไยโรก็จะคงอยู่ในตำแหน่งที่ ของมัน เมื่ออัตราแรงเข้า (rate of input) ลดลงไยโรก็จะรู้สึกว่าแรงของสปริงที่มากระทำเป็นเตอร์กเข้า (input torque) และตอร์กนี้จะทำให้ลูกข่าง (rotor) กลับไปยังตำแหน่งที่ปกติของมัน มุม θ นี้ได้สัดส่วนต่ออัตราแรงเข้า เชิงมุม (angular input rate) เสมอ

ระบบการประกอบ (The assembled system) อาจกล่าวได้ว่า มีหลักการมูลฐานสองประการซึ่งสรุปการใช้ไยโรสโคป และเครื่องวัดความเร่งในระบบความเฉื่อย

โมเมนตัมเชิงเส้น (Linear momentum) ของมวลสาร (mass) จะอยู่คงที่ เว้นเสียว่ามีแรงภายนอกมากระทำ

โมเมนตัมเชิงมุม (angular momentum) ของมวลสารที่หมุนตัว (rotating mass) จะอยู่คงที่เว้นเสียว่ามีตอร์ก (torque) มากระทำ

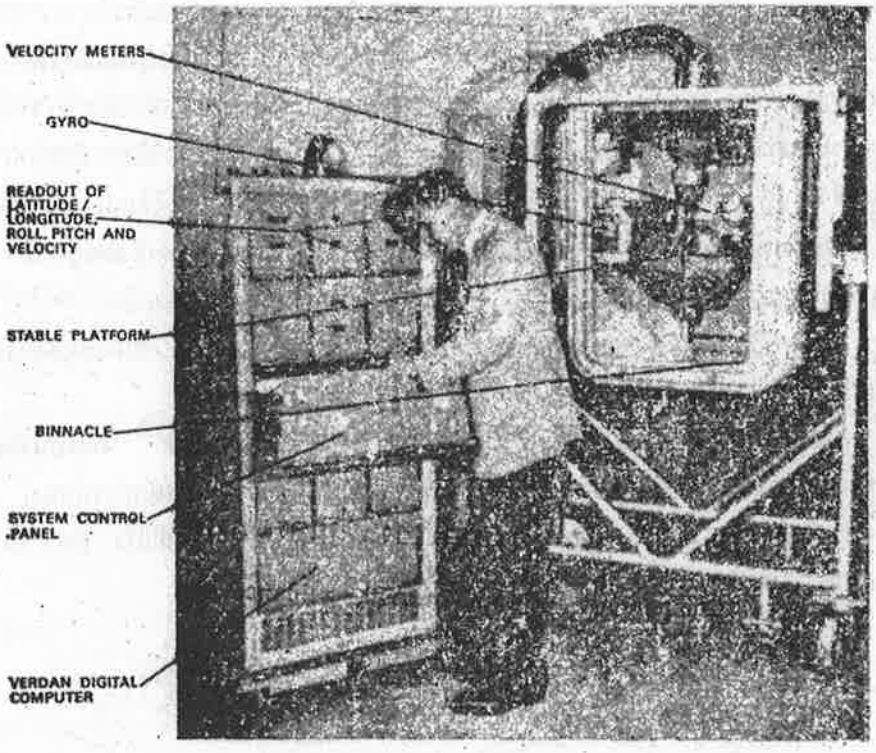
ในทางปฏิบัติสำหรับหลักการที่หนึ่งนั้น ถ้าวัดความเร่งได้แม่นยำ โดยอินทีเกรตเวลา (integrating time) แล้วก็หาระยะทางที่เล่นได้ ส่วนปฏิบัติการของหลักการที่สอง ใช้ไยโรสโคปหาทิศทางที่เล่น ฉะนั้น เมื่อหาระยะทางและทิศทางทั้งสองประการได้แล้ว ก็ทำให้เกิดระบบเดินเรือรายงาน (Dead reckoning navigation system) ขึ้น



รูป 273 ส่วนประกอบของแท่นเครื่องนำความเฉื่อย

(Components of an inertial guidance platform)

รูป 273 แสดงแผนของเครื่องความเฉื่อย ในวงรักษาระดับ **(gimbaled inertial design)** ใช้ไยโรสโคปและมาตรวัดความเร่งแยกกันสำหรับสวมแกน **x,y,** และ **z**



รูป 274 เครื่องมือเดินเรืออัตโนมัติความเฉื่อย **N7A**

(N7A Inertial autonavigaior)

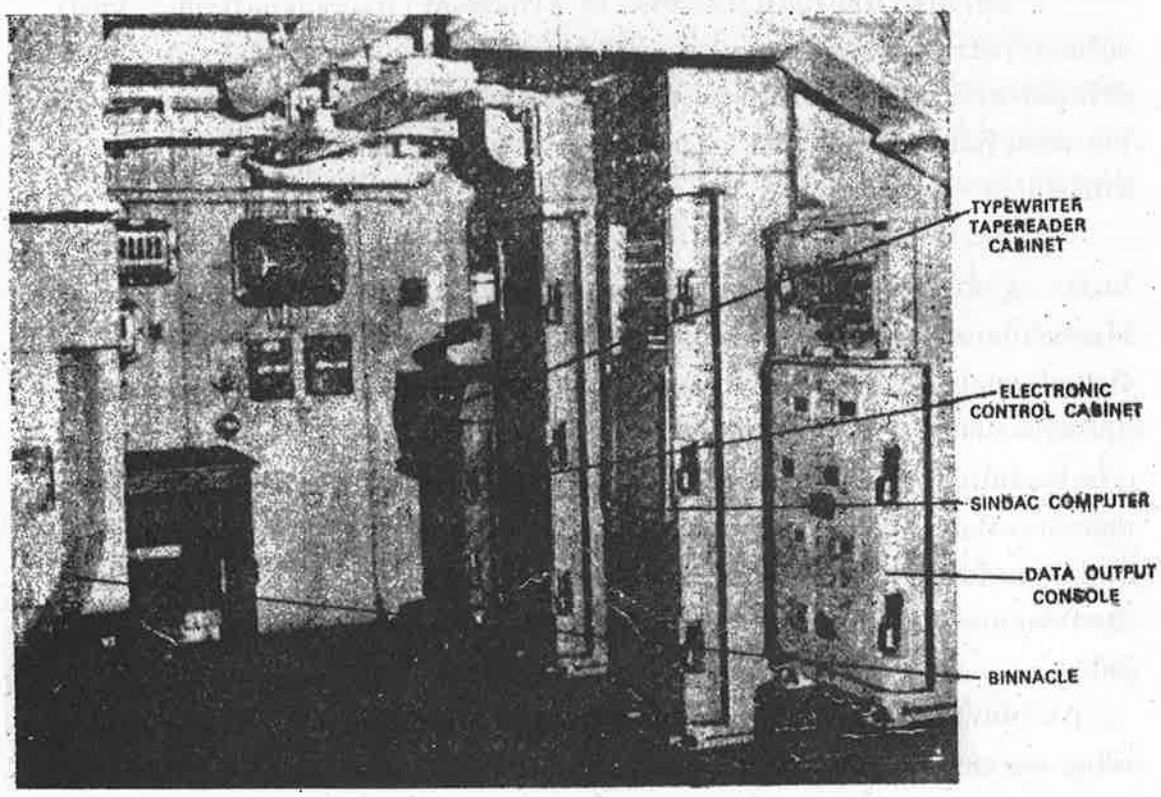
รูป 274 แสดงระบบเดินเรือความเฉื่อยที่บริบูรณ์ คือ เครื่อง **(autoneties) N7A Inertial Autonavigator** ได้แสดงให้เห็นการจัดวางชิ้นส่วนของส่วนประกอบภายในได้ถอดฝาครอบออกจากเรือนเข็ม ในตู้ข้างซ้ายของภาพนั้นตอนบนมีช่องหน้าต่าง สำหรับอ่านละติจูด ลองจิจูด การโคลงการแคลงและความเร็ว ตอนกลางมีแผงระบบควบคุม และตอนล่างเป็นเครื่องคำนวณเลขโดด **(digital computer)** ชื่อ **VERDAN (Versatile Digital Differential Analytzer)**

รูป 275 แสดงให้เห็นระบบเดินเรือความเฉื่อยของเรือ **(the sperry Mark III Mod. 4 SINS)** ติดตั้งในเรือ เรือนเข็มอยู่ทางซ้ายมือ ตู้บรรจุเครื่องต่าง ๆ ซึ่งบอกหน้าที่กำกับไว้อยู่ทางขวามือ

อัตราผิดของเดินเรือความเฉื่อย (Errors in inertial navigation) ระบบเดินเรือความเฉื่อยไม่ขึ้นอยู่กับอัตราผิดต่าง ๆ ของแล่นเรือรายงาน **(dead reckoning navigation)**

ที่ได้กล่าวรวมไว้ภายใต้หัวข้อ "กระแสน้ำ" ในทางทฤษฎีนั้น ความแม่นยำที่สุดของระบบความเฉื่อยถูกจำกัดด้วยความสมบูรณ์มากน้อยของเครื่องมือที่ใช้เท่านั้น อันที่จริงนั้น ความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นได้จากส่วนต่าง ๆ จำนวนมากของระบบการประกอบ

เมื่อนำระบบความเฉื่อย ลงไปใช้ในเรือเป็นระยะเวลานานแล้ว ต้นกำเนิดอัตราผิดที่สำคัญได้แก่ห่วงไยโร (gyro loop)ที่มิได้ปรับแต่งอัตราลอย(drift rate)อัตราลอยเหล่านี้ประกอบด้วยตัวเปลี่ยนแปรหลายอย่าง พึ่งพิงอยู่กับเครื่องกลไกและสัณฐานของระบบ มันอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในการสร้างจากการไม่ทรงตัว(instabilities)ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการติดตั้งระบบหรืออาจเกิดขึ้นได้จากการที่ยานเคลื่อนไหวหรือเปลี่ยนตำบลที่ จะอย่างไรก็ตาม ผลสุดท้ายคือปรากฏ



รูป 275 Mark III Mod. 4 SINS

ว่าแท่นเครื่องไยโรลอย(drift)ทำให้ข้อมูลที่ผลิตออก(output data)มีอัตราผิดสาเหตุที่สำคัญที่อาการลอยของไยโร(gyro drift)ปรากฏขึ้นมีสังเขปดังต่อไปนี้

ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่ามาตรวัดความเร่ง ใช้วัดความเร่งได้ตามแกนเดียวเท่านั้น ถ้าติดตั้งมาตรวัดความเร่งสองเครื่องโดยให้แกนชี้ทิศ(sensitive axes)อยู่เป็นมุมฉากซึ่งกันและกันแล้ว มาตรวัดทั้งสองนี้ใช้วัดความเร่งใด ๆ ในพื้นที่มันติดตั้งได้ เพื่อให้เข้าใจง่าย สมมุติว่าได้ออกแบบระบบขึ้น โดยให้มาตรวัดความเร่งเครื่องหนึ่งติดตั้งอยู่ในแกนเหนือ-ใต้ ส่วนอีกเครื่องหนึ่งอยู่ในแกนตะวันออก-ตะวันตก ฉะนั้น เมื่อวัดความเร่งตามเข็มใด ๆ (any course) แล้ว มาตรวัดแต่ละเครื่องจะวัดส่วนประกอบ (component) หนึ่งของความเร่ง ส่วนประกอบเหล่านี้อินทีเกรตแยกกันได้ และบอกระยะทางที่แล่นไปในทิศเหนือ-ใต้ หรือตะวันออก-ตะวันตกจากจุดเริ่มต้นที่สมมุติได้ การนี้จำเป็นต้องทราบแนวแรกเริ่มที่ถูกต้องแม่นยำ

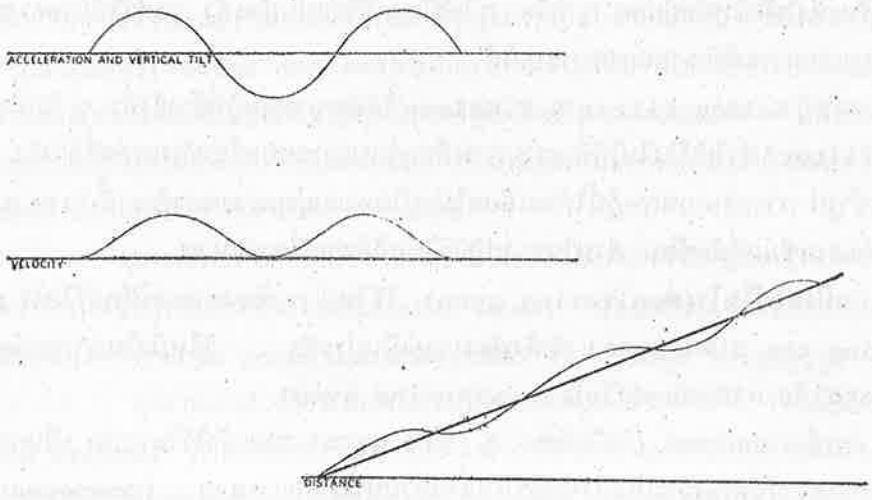
อัตราผิดการอยู่ในแนว(Errors in aligoment) ถ้าแอซิมัธของระบบ ไม่เข้าอยู่ในแนว (misalignment) แล้วเมื่อเรือแล่นเข็มที่ถูกต้อง 000 มาตรวัดความเร่งในแกนตะวันออก-ตะวันตก จะจับเค้าสัญญาณที่เบามากได้ ซึ่งจะทำให้ชี้ทิศผิดไปว่าเรือได้แล่นผิดเล็กน้อยไปทางทิศตะวันออกหรือตะวันตกทิศใดทิศหนึ่ง และระยะทางที่แล่นไปทางเหนือที่อ่านได้ ก็จะได้ต่ำไปเล็กน้อย

อัตราหมุนรอบของโลก(Earth rate) โดยที่โลกหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบ ๆ แกนในเวลา 24 ชั่วโมง จึงต้องปรับแต่งแท่นเครื่องมาตรวัดความเร่งให้ต่อเนื่องกัน เพื่อให้แท่นเครื่องได้ระดับกับโลกตลอดระยะคาบเวลาทั้งหมดนี้ ถ้าแท่นเครื่องเกิดกระดกมาตรวัดความเร่ง ก็จะตรวจจับส่วนประกอบความถ่วง(sonse a component of gravity) ได้การปรับแต่งสำหรับอัตราหมุนรอบของโลกที่คำนวณได้นี้ระบบเครื่องคำนวณ(computer system)จะป้อนเข้าทำที่ แท่นเครื่องโดยอัตโนมัติ ถ้าทิศของมันผิดเนื่องจากแท่นเครื่องไม่อยู่ในแนวทิศหัวเรือ ในขณะที่อัตราหมุนรอบของโลกที่คำนวณได้ เท่ากับอัตราหมุนรอบจริงของโลกแล้ว ย่อมแสดงว่าอัตราหมุนรอบที่ส่งเข้าแท่นเครื่องมีอัตราผิด อัตราผิดผลลัพในตำแหน่งที่ของแท่นเครื่อง มาตรวัดความเร่งเรียกว่าอัตราผิด 24 ชั่วโมง เพราะว่ามันขึ้นอยู่กับการตรวจจับการหมุนรอบตัวประจำวัน ของโลกผิดไป

การให้แท่นเครื่องเข้าแนวโดยใช้อัตราหมุนรอบของโลก(Aligning the platform using earth rate) ข้อเท็จจริงที่อัตราหมุนรอบของโลกที่คำนวณต้องกลมกลืนกับอัตราจริง นั้นได้เอามาใช้ทำให้แท่นเครื่องความเฉื่อยเข้าอยู่ในแนว เมื่อระบบความเฉื่อยหยุดอยู่กับที่ แท่นเครื่องจะอยู่ในระดับ และเข้าอยู่ในแนวแอซิมัธมากที่สุดที่จะทำได้ ฉะนั้นแล้ว ผลส่งออกของมาตรวัดความเร่งก็จะถูก monitored และความเร่งใด ๆ ที่ปรากฏออกมาก็พิจารณาได้ว่า สืบเนื่องมาจากแท่นเครื่องกระดกซึ่งเกิดจากอัตราผิดที่เหลืออยู่ในแนวแอซิมัธ ต่อไปให้แก้ให้เข้าแนวแอซิมัธจนกระทั่งแท่นเครื่องไม่มีการกระดกเกิดขึ้น เมื่อปฏิบัติตามแนวทางนี้แล้ว แท่นเครื่องก็จะเข้าแนวแอซิมัธโดยใช้อัตราหมุนรอบโลกเป็นหลักอ้างอิง

เมื่อนำอุปกรณ์ความเฉื่อยไปใช้บนผิวพื้นโลกแล้ว ความโค้งของโลก และความถ่วง ทั้งสองอย่างนี้จะทำความกระทบกระเทือนแก่อุปกรณ์ความเฉื่อย เมื่อเครื่องคำนวณทำงานมาถึงค่าระยะทางเชิงมุม **(value of angule distance)** ที่ผิดที่ยานเดินทางไปเนื่องจากเข้าแนวไม่ถูกต้อง หรือเพราะอัตราผิดอื่น ๆ ในระบบ มันก็จะส่งสัญญาณที่ผิดเข้าไปที่มอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งใช้สำหรับทำให้แท่นเครื่องวัดความอยู่ในระดับ การนี้ทำให้มาตรวัดความเร่งตรวจหาได้แต่ส่วนประกอบความถ่วง ซึ่งไม่สามารถจับความแตกต่างระหว่างความถ่วงและความเร่งของยานได้ และได้ป้อนสัญญาณความเร่งที่ผิดเข้าไปยังห่วงปิด **(closed loop)** การพยายามนี้ของระบบที่จะแก้ตัวมันเองทำให้เกิดการแกว่งกวัดที่ไม่ลดจำนวน **(undamped oscillation)** ซึ่งในระบบที่ออกแบบไว้ดีแล้วจะมีคาบเวลาเข้าใกล้ 24 ชั่วโมง (รูป 276)

การลอยของไยโร (Ghro drift) เนื่องจากไม่สามารถสร้างไยโรสโคป ให้สมบูรณ์ทางกลไกได้ จึงย่อมมีอัตราลอย **(gyro drift)** ปรากฏอยู่เสมอ การลอยของแท่นเครื่องนี้ โน้มเอียงทำให้เกิดอัตราผิดความเร่งซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับเวลา แท่นเครื่องมาตรวัดความเร่งแกว่งกวัดด้วยอัตราผิดเฉลี่ยประมาณสูญ ดังที่ได้อธิบายไว้ในวรรคนี้แล้ว มากกว่าที่จะมีอัตราผิดเป็นเส้น **(linear error)** แต่กระนั้น ดังแสดงไว้ในรูป 276 จะมีอัตราผิดไม่เปลี่ยนแปลง และมักเดาสะสมเกี่ยวเนื่องกับเวลา เนื่องจากอาการลอยของไยโร ทำให้เกิดอัตราผิดตำบลที่ **(position error)**



รูป 276 อัตราผิดของระบบ

อัตราผิดเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous errors) ความต้องการให้ระบบความเฉื่อยมีความแม่นยำจึงจำต้องเอาผลอันดับรอง **(secondary effects)** เข้ามาพิจารณาผลอันดับรองเหล่านี้เกิดจากผลของ **Cariolis (Cariolis effect)** และสัณฐานของโลกซึ่งไม่เป็นทรงกลมที่สมบูรณ์ต้นกำเนิดของอัตราผิดเหล่านี้ เครื่องคำนวณแก้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อใช้ระบบการเดินเรือ ความเฉื่อยเป็นเวลานาน ๆ ต้องนำเอาพลวัตคู่ควบ **(dynamic coupling)** ระหว่างส่วนต่าง ๆ ของระบบซึ่งทำให้เกิดอัตราผิดเล็กน้อยมาพิจารณาด้วย

ต้องระลึกไว้ว่าการอธิบายถึงแหล่งกำเนิดของอัตราผิดนั้น อธิบายโดยสถิติ ย่อมดีกว่าใช้ค่าประจำ การใช้ทัศนคตินี้ สามารถหาอัตราผิดที่สะสมอยู่เป็นเวลานานได้ และทำให้ลดลงได้เร็วกว่าการพยายามตีราคาและใช้เฉพาะแหล่งกำเนิดอัตราผิดประจำเท่านั้น

แนวทางการปรับแต่งให้เข้ารูป (Reset procedure) วิธีแรก ๆ ในการปรับแต่งระบบให้เข้ารูป ต้องอาศัยพื้นฐานในการสมมุติให้อัตราลอยอยู่คงที่ในระหว่างคาบเวลา ที่หาตัวอย่าง **(samping period)** วิธีนี้ไม่ได้พิสูจน์ให้เป็นที่พอใจครบถ้วน เพราะว่าการคำนวณหาอัตราลอยที่แม่นยำทำได้เป็นครั้งคราวเท่านั้น และอัตราลอยจะต้องอยู่เกือบคงที่ หรืออัตราลอยที่สุ่มเลือกเอาจะต้องมีเหตุผลเป็นที่รู้จักกันดี จำต้องทราบรายละเอียดของตำบลที่ภายนอก จากแหล่งกำเนิดข้างนอก เช่นที่เรือลอแรน **(Loran fix)** หรือที่เรือดาราศาสตร์ **(celestial fix)** เพื่อที่จะตรวจวัดสอบหรือปรับแต่ง **SINS** โดยไม่คำนึงถึงเทคนิคในการปรับแต่งข้อมูลเหล่านี้ จะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องคำนวณ ซึ่งจะคำนวณออกมา และส่งตอร์กที่ถูกต้องไปยังแท่นเครื่อง ที่มีอาการทรงตัว บรรดาข้อมูลทั้งหลายที่ป้อนเข้าเครื่องคำนวณ ต้องเป็นข้อมูลที่ราบเรียบ **(smoothed out)** เพราะต้องปรับแต่งให้เข้ารูปอยู่บ่อย ๆ หรือการใช้ข้อมูลที่ไม่แม่นยำแล้ว จะทำให้เกิดความผิดในการคำนวณหาและการแก้อัตราลอยของระบบได้

ทฤษฎี **Kalman filter R.E.Kalman** ได้พัฒนาทฤษฎีที่อ้างอิงทั่ว ๆ ไปว่า - **"Kalman filter"** ทำให้เป็นไปได้ที่จะรวมการเลือกสุ่มของระบบพร้อมกับแหล่งที่อ้างอิง ในสูตรปรับแต่งให้เข้ารูป การอธิบายทฤษฎีนี้ให้ละเอียดไม่อยู่ในความมุ่งหมายของตำรานี้ เพราะต้องใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียลที่ซับซ้อน ส่วนในทางปฏิบัติใช้แก้ด้วยเครื่องคำนวณ

มอนิเตอร์ไยโร (Monitoring gyro) วิธีใหม่ ๆ ของการมอนิเตอร์ไยโร **SINS (monitoring the SINS gyro)** กำลังพัฒนาอยู่เป็นประจำ วิธีหนึ่งในการหาอัตราลอย **(drift rate)** คือ การมอนิเตอร์ไยโร **(monitoring gyro)**

การที่เอามอนิเตอร์ (ไยโรอัตรา **a rate gyro)** รวมเข้าไว้ในระบบ เป็นการแก้ไขการปฏิบัติ เพราะว่ามันตรวจจับและส่งข้อมูลในเรื่องส่วนประกอบการลอย **(components of drift)** อันใดอันหนึ่งที่มีค่าประจำที่ยังไม่ได้แก้ หรือที่เปลี่ยนแปรไปช้า ๆ ในไยโร **x** และไยโร **y** เทคนิคการมอนิเตอร์ **(monitoring technique)** ใช้ไยโรหลายตัวติดตั้งบนแท่น เครื่องหมุนตัว **(rotating platform)** เพื่อที่จะให้ได้ไยโรอัตรา **(rate gyro)** ที่แม่นยำ จึงใช้

ไยโรอินทีเกรดอัตรา (integrating rate gyro) ที่มีแรงป้อนกลับสูงมาก (high gain feedback) จากการดึง (pickoff) ส่งไปที่ตอร์ก (torquer) แท่นเครื่องนี้เป็นส่วนเดียวกันกับวงรักษาระดับทิศหัวเรือ (heading gimbal) หมุนรอบแกนที่ขนานกับแกนวงรักษาระดับทิศหัวเรือ (heading gimbal axis) และไม่แก้แกน Z หรือไยโร ทิศหัวเรือ (heading gyro) การกลับทิศของแกนแรงเข้า (input axis) ของส่วนประกอบความเฉื่อยมอนิเตอร์ (monitor inertial component) ในเรื่องส่วนประกอบเดินเรือ (navigational component) ใช้แทนเทคนิคมูลฐานที่นำไปใช้การกลับตู้เครื่อง (case reversal) ทำได้โดยลงตำบลที่โต๊ะมอนิเตอร์ (monitor table) สำหรับแต่ละที่ของสี่ตำบลควอดรันต์ (quadrant positions) ต่อเนื่องกัน ในความควบคุมของแผนเครื่องคำนวณ มอนิเตอร์ไยโรได้จัดให้มีแรงส่งออก ณ แต่ละควอดรันต์ ซึ่งเท่ากับผลต่างระหว่างตอร์กที่ทำกับไยโร (gyro-applied torque) และตอร์กที่ตรวจจับได้ (sensed torque) ตอร์กที่ส่งจากเครื่องคำนวณไปยังมอนิเตอร์ไยโรเท่ากับตอร์กที่คำนวณ สำหรับไยโรที่ถูกมอนิเตอร์โดยที่ระบบ SINS คำนวณหาตำบลที่เรือจากความเร่งซึ่งเกิดจากเคลื่อนที่ของเรือ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องทราบการลอยไยโรให้แม่นยำมากเท่าที่จะได้ มอนิเตอร์ไยโรแก้ไข การปฏิบัติทั้งหมดของระบบ โดยตรวจจับการลอยไยโรที่ยังไม่ได้แก้ไว้

เดินเรือความเฉื่อย Stellar (Stellar inertial navigation) เนื่องจากอัตราผิดที่ได้กล่าวแล้ว ระบบเดินเรือความเฉื่อยต้องสามารถที่จะทำให้เครื่องคำนวณทันสมัย หรือปรับแต่งโดยผ่านเข้าไปในเครื่องคำนวณ การแก้ติดต่อเนื่องย่อมทำได้สำหรับการลอยไยโร ที่ทราบแล้ว ตำบลที่ที่ได้จากวิธีต่าง ๆ กัน เช่น จากลอแรน ดาราศาสตร์ NAVSAT หรือการหยั่งน้ำลึกก็ใช้หน่วง (danp) ระบบได้ โดยทำด้วยมือหรือป้อนตำบลที่เข้าไปในเครื่องโดยอัตโนมัติ

มุมเวคเตอร์ (Vector angles) การศึกษาการเดินเรือทำให้ต้องใช้ระบบโคออดิเนตต่างๆ เมื่อไม่คำนึงถึงระบบโคออดิเนตที่เลือกสำหรับการปฏิบัติภายในของระบบแล้ว เครื่องคำนวณต้องทำกับสามระบบที่อ้างอิงอย่างเดียวกับมุมเวคเตอร์ กำหนดสัมพันธภาพเชิงมุมของระบบอ้างอิง มุมเวคเตอร์เหล่านี้อาจอธิบายให้เห็นได้ง่ายมาก ดังนี้

1. มุมเวคเตอร์ เกี่ยวเนื่องกับระบบโคออดิเนตแท่นเครื่อง (platform coordinate system) กำหนดขึ้นโดยแกนชี้ทิศ (sensitive axes) ของเครื่องความเฉื่อยบนแท่นเครื่องต่อระบบโคออดิเนตจริง (true coordinate system) เช่น ละติจูด และลองจิจูด

2. มุมเวคเตอร์ เกี่ยวเนื่องกับระบบโคออดิเนตเครื่องคำนวณ (computer coordinate system) กำหนดด้วยรายการที่ป้อนเข้าเครื่องคำนวณต่อระบบโคออดิเนตจริง

3. มุมเวคเตอร์เกี่ยวเนื่องกับระบบโคออดิเนต แท่นเครื่องต่อระบบโคออดิเนต เครื่องคำนวณ

มุมเวคเตอร์อันหลังนี้ เชื่อว่ามีส่วนที่ทำให้แท่นเครื่องอยู่ผิดแนวไป อันเป็นผลทำให้โคออดิเนตจัดรูปแตกต่างไปเล็กน้อยกว่าที่วางแผนไว้ในเครื่องคำนวณ สัมพันธภาพระหว่างกันของมุมเวคเตอร์ในระบบโคออดิเนตที่ให้ย่อ ๆ ไว้ข้างต้น อาจกล่าวได้เสมอว่า

เวคเตอร์หมายเลข 1 = หมายเลข 2 + หมายเลข 3

ตามที่ใช้กันอยู่มีความมุ่งหมายเบื้องต้นให้เครื่องหาทิศทางดาว(star tracker)ที่ตั้งอยู่บนระบบความเฉื่อยนั้นสำหรับหาที่เรือดาราศาสตร์(celestial fix) นอกจากนั้น ยังใช้หาอัตราลอย(drift rate) ของแท่นเครื่องซึ่งใช้แทนส่วนใหญ่ของเวคเตอร์ที่อธิบายไว้ในหมายเลข 3 ด้วย เครื่องหาทิศทางดาวนั้นใช้ติดตั้งบนหน่วยทรงตัว(stable element)ในระบบความเฉื่อยได้ ในการใช้จริง ๆ นั้นมักติดตั้งไว้ใกล้ ๆ เครื่องคำนวณในระบบคำนวณหามุมยกขึ้น (elevation angle)หรือสูง(altitude)และมุมแอซิมัธ(azimuth angle)ได้โดยอัตโนมัติจากข้อมูลปฏิทินดาว(ephemeristic data) ซึ่งเก็บไว้ในตอนความจำ(mimory section) และจากการทราบตำบลที่เรือของมัน เมื่อไม่คำนึงถึงอัตราผิดในการขับเคลื่อนกล้องส่องทางไกล(telescope)แล้ว ก็สามารถที่จะเล็ง(to point)กล้องส่องทางไกลตรงไปยังดาวได้ หากว่าระบบโคออดิเนตที่เก็บไว้ในเครื่องคำนวณ และโคออดิเนตของแท่นเครื่องทับร่วมกัน อย่างไรก็ดี กล้องส่องทางไกลที่ติดตั้งอยู่บนแท่นเครื่อง (platform-mounted telescope)จะมีอัตราผิดในการเล็ง (pointing error)เท่ากับมุมเวคเตอร์หมายเลข 3

กล้องส่องทางไกลที่ตั้งอยู่บนเครื่องหาทิศทางดาวนั้น โดยมากใช้กวาดไปรอบ ๆ หรือข้ามเส้นเล็งไปยังดาว ในกรรมวิธีนี้สามารถให้ติดตาม(track)ดาวได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้คำนวณหาดิวิเอชั่นในสูง(deviation in altitude)และมุมแอซิมัธจากที่เครื่องคำนวณมาได้ ข้อมูลอัตราผิดเหล่านี้ เมื่อเอกสตราโปเลต(extrapolated)ชั่วคาบเวลาหนึ่ง ก็ใช้หาอัตราลอยของแท่นเครื่องไยโรได้ ในระบบมอนิเตอร์ (monitoring system) นี้ จำเป็นต้องใช้เครื่องหาทิศทางดาวส่องเครื่องเล็งหาดาวแต่ละดวง หรือใช้เครื่องเดียวเล็งหาดาวสองดวงผลัดกัน การที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าเครื่องหาทิศทางดาว เมื่อใช้เป็นเครื่องมอนิเตอร์ (monitor) จะต้องสามารถวัดดิวิเอชั่นเชิงมุมระหว่างเส้นเล็งแท้จริง(actual line of sight) ไปยังดาวกับเส้นเล็งที่คำนวณได้ เครื่องหาทิศทางดาว วัดเฉพาะส่วนประกอบปกติต่อเส้นเล็งได้เท่านั้น ไม่สามารถตรวจจับอัตราผิดเชิงมุม(angular errors) รอบเส้นเล็งได้ อย่างไรก็ดีส่วนประกอบอัตราผิดที่ได้จากดาวสองดวงสามารถแยกออกได้ในเครื่องคำนวณเพื่อคำนวณหาอัตราผิดรวม

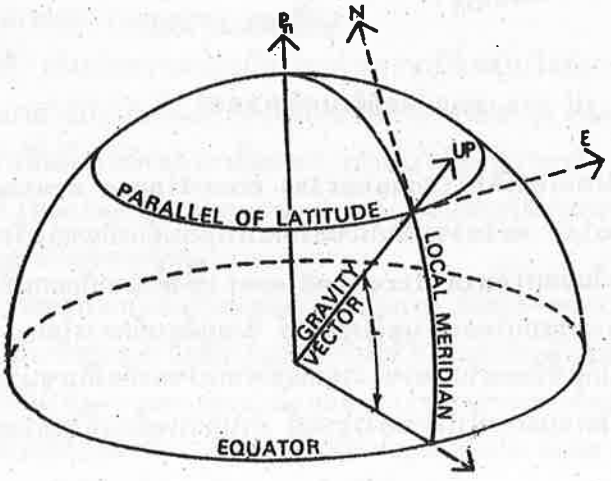
เพราะระบบมอนิเตอร์ดาว (stellar-monitored system)สามารถที่จะหาอัตราลอยไยโรได้ ระบบนี้ใช้สำหรับให้แท่นเครื่องอยู่ในแนวเส้นตรง(alignment)พร้อมกันกับใช้แก้การหันแอซิมัธที่คำนวณได้โดยไม่ต้องหมุนแท่นเครื่องไปรอบ ๆ ต้องพึงจำไว้ว่าระบบมอนิเตอร์ดาวจะทำให้อัตราผิดเล็กน้อยซึ่งเกิดจากอัตราผิดแก้รีแฟรกชั่น (refraction compensation errors) อัตราผิดปฏิทินดาว(ephemeristic errors) อัตราผิดเกี่ยวกับเวลา(timing errors)และอัตราผิดการชี้ทิศทางกลไก(mechanical pointing errors) อัตราผิดเหล่านี้อาจพิจารณาได้ว่าคงที่ในขณะที่เล็งหาทิศทางดาวชั่วคาบเวลาอันสั้น ขณะที่ผลัดกันหาทิศทางดาวสองดวงนั้น อัตราผิดมอนิเตอร์ดาว(stellar monitoring error) โดยทั่ว ๆ ไปมักจะเป็นการเดาสุ่ม ตาม

ธรรมชาติใช้เครื่องวัดแดดวิทยุ(radio sextant) ร่วมกับระบบความเฉื่อยในอาการคล้ายคลึงกับเครื่องหาทิศทางดาว เพื่อจัดหาระบบดาราศาสตร์ที่ทันสมัย(celestial updating system) ในเมื่อลักษณะอากาศเลวร้าย

ระบบโคออดิเนต(Coordinate systems)

ในวรรคก่อน ๆ ได้กล่าวถึงระบบโคออดิเนตต่าง ๆ เกี่ยวกับเดินเรือความเฉื่อย ไยโรในระบบความเฉื่อยเป็นเครื่องมือความเฉื่อย ซึ่งกำหนดโครงการอ้างอิงในการวัดความเร่ง โครงการอ้างอิงนี้อธิบายทางคณิตศาสตร์โดยระบบโคออดิเนต โดยเฉพาะที่เลือกและกำหนดขึ้นทางกล โดยทำให้ไยโรหันเซ(precess)เป็นอัตราเชิงมุม(augular rates) ตามที่ระบบโคออดิเนตสั่งการ ออกแบบและการจัดส่วนประกอบและระบบโคออดิเนตใช้ภายใน เครื่องมือไม่ได้ทำหน้าที่เดินเรือเคร่งครัดนัก จึงไม่อธิบายให้ละเอียด ค่าที่อ่านได้(readout)ในระบบ SINS ตามปกติเป็นศัพท์ที่รู้จักกันทั่วไปเป็นละติจูด และลองจิจูด แม้ว่าเครื่องคำนวณอาจจะผ่านการแปลงต่าง ๆ และการคำนวณต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าที่อ่านได้นี้ หนังสือคู่มือปฏิบัติสำหรับ SINS Mark III Mod 5 อธิบายการปฏิบัติของเครื่องมือโดยเฉพาะบนรากฐานของระบบโคออดิเนต สามระบบต่อไปนี้ซึ่งนักเดินเรือที่รู้จักกันดีและจะวิจารณ์แต่เพียงย่อ ๆ เท่านั้น

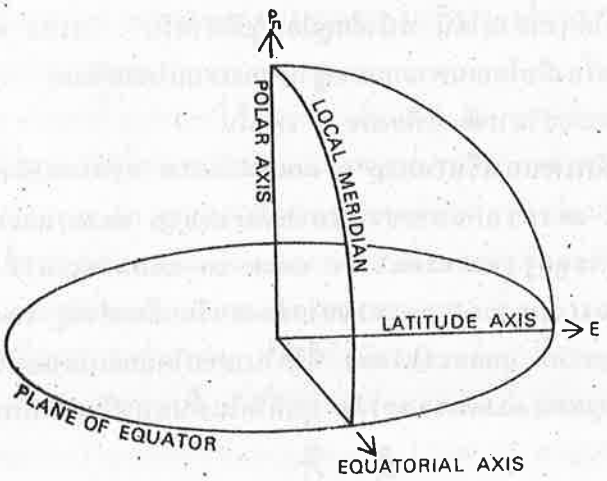
ระบบโคออดิเนตของเรือ(ship's coordinate system)ซึ่งกำหนดโดยแกนตามยาว(longitudinal axis)แกนตามขวาง(athwartship sxis)และแกนแนวยืนหรือแกนดิ่งจากดาดฟ้า-ไปยัง-กระดูกงู(vertieal or deck-to-keel sxis)ซึ่งในกรณีของเรือดำน้ำกำหนดให้เป็นแกนกล้อง(optical sxix)ของกล้องตาเรือกล้องสำคัญ (main periscope) จำนวนค่าเชิงมุม(angular quantities) ที่วัดในระบบโคออดิเนตของเรือ เป็นแบริงสัมพัทธหรือแอซิมัธสัมพัทธและมุมยก(elevation)คือ มุมที่วัดในพื้นแนวยืนจากพื้นดาดฟ้า ไปยังเส้นเล็ง



รูป 277 ระบบโคออดิเนตภูมิศาสตร์

(line of sight) ระบบโคออดิเนตของเรือนั้นสัมพันธ์อยู่กับพื้นแนวนอนในระบบโคออดิเนตภูมิศาสตร์ของท้องถิ่น (local geographic coordinate system) โดยมุมโคลงแคลงและทิศหัวเรือ (angles of roll, pitch and heading)

ระบบโคออดิเนตภูมิศาสตร์ของท้องถิ่น(Local geographic coordinate system) ติดตั้งอยู่ ณ ตำบลที่เรือ และอาศัยมูลฐานทิศทางของแนวยืน และทิศทางของทิศเหนือ (รูป 277) จำนวนที่วัดได้ในระบบภูมิศาสตร์ของท้องถิ่นเป็นความเร็วทิศเหนือ (velocity north) ความเร็วทิศตะวันออกและความลึก (depth) เมื่อใช้ในเรือดำน้ำ ทิศหัวเรือใช้วัดรอบแนวยืนจากทิศเหนือไปตามเข็มนาฬิกาหมุนถึงภาพฉาย(projection)ในพื้นแนวนอนของแกนกระดูกงูเรือ(แกนตามยาวเรือ){ship's fore and oft axis}ถือได้ว่าเป็นระบบโคออดิเนตของท้องถิ่น และมุมที่สัมพันธ์กับระบบนี้ไปยังระบบโคออดิเนตอิเควเตอร์ (equatorial coordinate system) เป็นละติจูด .



รูป 278 ระบบโคออดิเนตอิเควเตอร์

ระบบโคออดิเนตอิเควเตอร์(Equatorial coordinate system) ประกอบด้วยแกนขั้วโลก(earth'x polar axis)จุดตัดกันของพื้นเมริเดียนท้องถิ่นของเรือ กับพื้นของอิเควเตอร์และแกนชี้ทิศตะวันออก(sxis directed east)ซึ่งตั้งฉากกับแกนทั้งสองเหล่านี้(รูป 278) ฉะนั้น จุดตัดของแกนระบบโคออดิเนตอิเควเตอร์ จึงอยู่ที่ศูนย์กลางโลก แกนละติจูด (latitude axis)และแกนชี้ทิศตะวันออกของระบบภูมิศาสตร์ของท้องถิ่นขนานกันการเคลื่อนที่ของเรือในทางลองจิจูดใช้วัดรอบแกนขั้วโลกของระบบนี้ ส่วนการเคลื่อนที่ในทางละติจูด ใช้วัดรอบแกนละติจูด

เครื่องคำนวณ (Computers) เนื่องด้วยความสลับซับซ้อนทางเทคนิคและคณิตศาสตร์ของระบบเดินเรือความเฉื่อย จึงทำให้ต้องใช้เครื่องคำนวณเป็นส่วนอินทีเกรด(integral part)

ของระบบทั้งหมด ในบทนี้ได้อ้างอิงหลายประการถึงหน้าที่ของเครื่องคำนวณ ตามปกติเครื่องคำนวณที่ใช้ในระบบ SINS สมัยใหม่เป็นเครื่องคำนวณเลขโดดประสงค์ทั่วไป(general purpose digital computers) แต่จะเอาไปใช้ปฏิบัติ เมื่อมีความประสงค์พิเศษมาก ๆ คำว่า "ประสงค์ทั่วไป" (general purpose)หมายความเพียงว่า เครื่องคำนวณที่ใส่โปรแกรมเข้าไปได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องมือ(hardware change) ที่จะแก้ปัญหาทั่วไปใด ๆ แทนการคำนวณเฉพาะ ซึ่งสัมพันธ์อยู่กับระบบเดินเรือความเฉื่อย

เครื่องคำนวณสำหรับระบบ SINS นับว่าคล้ายคลึงกับเลขโดด มากกว่าที่จะเป็นเลขโดด(digital)ถึงแม้ว่าชนิดเลขโดด (digital type) ใช้กันแพร่หลายมากในปัจจุบัน ก็ตาม และแม้ว่าหน้าที่ของมันจะผันแปรไปบ้างโดยพึ่งพิงอยู่กับเครื่องมือความเร่งที่ใช้ ความแม่นยำที่ระบบต้องการ และการเลือกระบบโคออดิเนตที่ใช้โดยทั่วไปแล้ว เครื่องคำนวณจะส่งสัญญาณตอร์ก (torquing)ไปให้ไยโรและเครื่องวัดความเร่ง เพื่อเป็นการเพิ่มเติมในการคำนวณตำบลที่ ขณะนั้นและความเร็ว

เครื่องคำนวณเดินเรือ(navigational computers)ที่ใช้กับระบบ SINS นั้นจะต้องมีส่วนประกอบการหน้าที่ที่สำคัญอย่างน้อยที่สุดห้าส่วนประกอบ ส่วนประกอบเหล่านี้ได้แก่หน่วยเก็บรักษาหรือหน่วยความทรงจำ (storage or memory unit)หน่วยควบคุม(control unit) หน่วยเลขคณิต(arithmetical unit)หน่วยแรงเข้า(input unit)และหน่วยแรงออก(output unit)นักเดินเรือเกี่ยวข้องโดยตรงเฉพาะกับหน้าที่ของสองส่วนประกอบหลังเท่านั้น แรงส่งเข้าไปยังหน่วยความทรงจำ โดยมากเป็นในแบบของแถบชนิดปรุ(perforated typed tape) แรงส่งเข้าที่ควบคุมเป็นสัญญาณอีเลคโทรนิคส่งแพร่เข้าโดยอัตโนมัติหน่วยแรงส่งออกนั้น ประดิษฐ์ขึ้นตามความประสงค์ที่จะให้อ่านได้(readout)บนแถบ(tape)และบอก (indicate) จำนวนแสดงเป็นตัวเลขบนแผงควบคุม (control panel)

ข้อยุติ เดินเรือความเฉื่อยเป็นวิชาการความรู้ที่เทคโนโลยีรุดหน้าไปรวดเร็วมาก มีระบบต่าง ๆ มากมายใช้กันนับตั้งแต่ระบบที่ออกแบบสำหรับขีปนาวุธ (ballistic missiles) ซึ่งเป็นการนำวิถีจำเป็นต้องใช้คาบเวลาสั้นมากๆ เท่านั้นใช้วัดเป็นวินาที ส่วนที่ออกแบบสำหรับเรือดำน้ำนิวเคลียร์ (nucleat submarines) ซึ่งต้องเดินทางเป็นเวลาหลายสัปดาห์ จึงยากที่จะทำนายว่าจะให้สัณฐานใดจึงจะดีที่สุดในระบบอนาคต

ในการจัดหาระบบเดินเรือซึ่งมีอยู่ในตัวมันเอง (self-contained navigation system)เพิ่มเติมนั้นข้อมูลจาก SINS นั้นนำเอาไปใช้ในระบบเดินเรืออื่น ๆ ได้ระบบเดินเรือดาวเทียมของนาวีอเมริกัน(Navy navigation sattelite system)ต้องการให้แรงส่งเข้าของการเคลื่อนที่ของเรือเข้าไปทำในเครื่อง และการนี้จะได้ผลแม่นยำจาก SINS สำหรับเรือบรรทุก เครื่องบินนั้นระบบ SINS ใช้สำหรับโยกย้ายความเร็วเรือที่แม่นยำ และตำบลที่ไปยังเครื่องบินที่ติดเครื่องเดินเรือความเฉื่อยก่อนที่เครื่องบินจะบินขึ้น การโยกย้ายรายการนี้ เพื่อทำให้เข็มทิศไยโรของเครื่องบินที่ใช้ระบบความเฉื่อยอยู่ในแนว

ตามธรรมดาแล้วคิดไปว่าไยโรสโคปเป็นมวลสารที่กำลังหมุนอยู่ในรูปของวงล้อ เครื่องมือใหม่ ๆ ที่กำลังพัฒนาอยู่ในขณะนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าจะเป็นไปได้ในที่สุดที่จะใช้หลักการอื่น เช่น ไยโรเลเซ่อร์(laser ghros)ไยโรที่ผลิตใช้กันอยู่เวลานี้ได้มีการแก้ไขใช้แบริงแก๊ส (gas bearings) สำหรับลดการเสียดทานของแบริงหน่วย R & D ใช้ไฟฟ้าสถิต (electrostatic) รับรองทรงกลมไยโร (gyro sphere) ได้พัฒนาขึ้นด้วย

เครื่องมือในวงความรู้นี้ได้ก่อปัญหาทางเทคโนโลยี อันน่าสพึงกลัวหลายประการ และการกำหนดสูตรและการวิเคราะห์ระบบทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ มีข้อยุ่งยากซับซ้อนมาก ถ้าเทคโนโลยีของเครื่องคำนวณมิได้เจริญรุดหน้าไปเช่นปัจจุบันนี้แล้ว ก็เกือบไม่สามารถที่จะ ทำให้การคำนวณสำเร็จได้

พึงระลึกไว้ว่าบรรดาความแม่นยำของระบบความเฉื่อยนั้น ผลที่ออกมา (output) เป็นเพียงแต่ที่เรือรายงาน (DR) ที่แม่นยำเท่านั้น หาใช่ตำบลที่โดยแบริงวัตถุที่หมายบนบก หรือโดยดาราศาสตร์(fix) ไม่ วิธีการภายนอกระบบความเฉื่อย (แบริง NAVSAT, ดาราศาสตร์ ฯลฯ) เท่านั้นที่จะให้ตำบลที่เรือถูกต้องแน่นอน ในเวลาที่กำหนดเครื่องมือประกอบความเฉื่อยที่ดีที่สุด จะต้องเป็นเครื่องที่ทันสมัยตามช่วงเวลาประจำ นักเดินเรือที่หลับหูหลับตาเชื่อผลที่ออกมา จากระบบความเฉื่อยจะนำความพินาศมาสู่ตน

ดัชนี

	หน้า
กระโจมเรดาร์	393
กระโจมวิทยุ	363
กระโจมวิทยุจำกัดทิศ	363
กระโจมวิทยุหมุน	363
กระโจมวิทยุรอบทิศ	363
การแก้เล็กน้อย	86
กี	422
กึ่งทรงกลมเหนือ	2
กึ่งทรงกลมใต้	2
แกนโลก	2
เข็ม	11
การแก้เข็มด้วยดิวิเอชั่น	42
การแก้เข็มและแบริง	34
วิธีแก้เข็ม	37
วิธีแก้รวม	44
วิธีหาทิศหรือเข็มในระหว่างที่สองตำบล	71
วิธีหาเข็มเมื่อแล่นในที่ที่มีกระแสน้ำขึ้นลง	108
สรุปกฎการแก้เข็ม	48
เข็มจริง	15
วิธีแก้เข็มจริงเป็นเข็มแม่เหล็ก	37
วิธีแก้เข็มจริงเป็นเข็มเรือ	44
เข็มจริงที่เดินเข็มเดียว	15
เข็มทิศ	11
ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศ	14
ดิวิเอชั่นของเข็มทิศ	41
วงเข็มทิศในแผนที่	73
วิธีใช้วงเข็มทิศปัดเข็ม	74
เข็มทิศแม่เหล็ก	12,302
เข็มทิศแม่เหล็กชนิดเข็มแห้ง	302

หน้า

เข็มทิศแม่เหล็กชนิดเข็มน้ำ 303
ของเหลวหรือของไหล 305
กฎข้อบังคับที่จะต้องพิจารณาในการจัดวางโครงเรือและติดตั้ง
ส่วนประกอบในบริเวณเข็มทิศและโครโนเมตร 314
การระวังรักษา 313
หม้อเข็ม 499,305
เรือนเข็มทิศ 307
วิธีแก้เข็มแม่เหล็กเป็นเข็มจริง... 40
วิธีแก้เข็มแม่เหล็กเป็นเข็มเรือ 40
เข็มทิศไยโร 11,347,350
การใช้เข็มทิศไยโร 354
ข้อดีของเข็มทิศไยโร 357
ข้อเสียของเข็มทิศไยโร 357
เข็มทิศไยโรย่อย 358
ความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโรในเรือ 351
วิธีหาความเคลื่อนคลาดของเข็มทิศไยโร 355
เข็มปรากฏ 15
เข็มแม่เหล็ก 15
เข็มมัธยันตร์ 111,113
เข็มเรือ.... 15
วิธีแก้เข็มเรือเป็นเข็มจริง 42
วิธีแก้เข็มเรือเป็นเข็มแม่เหล็ก 42
ขั้วโลก 2
ขั้วเหนือ 2
ขั้วใต้ 2
คอนโซล 424
เครื่องหมายและอักษรย่อ 85,98
เครื่องหมายกระแสน้ำ 85
หาโคออร์ดิเนตของจุดต่าง ๆ ตามทางวงใหญ่ 275
คำเตือนต่าง ๆ.... 88
จดทางเรือ,เครื่อง 113
ฉุกเฉิน, การเตรียมการเพื่อภาวะ 434
ชอแรน.... 394
โชฟาร์.... 425

หน้า

ดาราศาสตร์เดินเรือ ....
ดิคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์, หา 450
ดิวิเอชั่น 13,41
การแก้เข็มด้วยดิวิเอชั่น 42
การตรวจสอบดิวิเอชั่น 51
การเปลี่ยนแปลงของดิวิเอชั่น 41
การหมุนเรือหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศ 317
ปัญชีดิวิเอชั่น 338
วิธีหมุนเรือหาดิวิเอชั่น 318
โดยแบริงวัตถุสิ่งเดียวอยู่ไกล 319
โดยแบริงวัตถุซึ่งรู้แบริงจริงแล้ว 322
โดยแบริงกลับกับเข็มทิศบนบก 326
โดยเปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโร 328
โดยแบริงดวงอาทิตย์.... 332
เส้นโค้งดิวิเอชั่น.... 340
วิธีเขียนเส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรง 341
เส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ 343
วิธีเขียนเส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ 343
วิธีหาดิวิเอชั่นจากเส้นโค้งดิวิเอชั่นแบบตรง 342
วิธีหาดิวิเอชั่นจากเส้นโค้งดิวิเอชั่นแผนภาพเนเปียร์ 343
เดินเรือ ....
เดินเรือช่วยชีวิต 434
เดินเรือช่วยชีวิต, เป็ดเตล็ด 455
เดินเรือช่วยชีวิต, สรุป 456
เดินเรืออีเล็กตรอนิก 36
เด็กก้า 423
ตัวเลขน้ำ, จำนวน 88
ตั้งมุม, เครื่อง 148
ตำบลที่ด้วยละติจูดและลองจิจูด, วิธีลง 70
ตำบลที่ของเวอร์เทกซ์, หา 273
ตำบลที่เส้น 121
การใช้เส้นตำบลที่เส้นเดียว 132
การเลื่อนเส้นตำบลที่ 131
วิธีหาเส้นตำบลที่ 121

หน้า

แบริงเข็มทิศ 122
แบริงสัมพัธ 122
แบริงผ่าน 124
วัดมุมแนวนอน 125
วัดมุมแนวยืน 125
วัดระยะทางด้วย Distance meter 128
วัดระยะทางด้วยกล้องวัดระยะทาง 129
โดยใช้ระยะขอบฟ้า.... 129
โดยการหยั่งน้ำ 130
โดยเสียงสะท้อนของไซเร็น 130
ทรงกลม 1
ทราเวิส, มาตรา 189
วิธีใช้มาตราทราเวิส 189
ท้องทะเล, ลักษณะพื้น 86
ทางวงใหญ่ในแผนที่เมอเคเตอร์ 255
วิธีเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์ 265
ทิศ 9
ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก 2
ทิศหัวเรือ 11
ทิศในแผนที่เมอเคเตอร์ 72
วิธีหาทิศหรือเข็มในระหว่างที่สองตำบล 71
ที่เรือแบริง 104,108,121
ที่เรือตรวจ 104,108
ที่เรือรายงาน 104,108
ที่เรือรายงาน, วิธีรักษา 112
ที่เรือประมาณ 104,108
ที่เรือรายงานในระหว่างแปรกระบวน, วิธีหาหรือลง 109
ที่เรือโดยการตรวจวัดฤบนพื้นโลก, วิธีหา.... 121
ที่เรือเมื่อเห็นวัดฤบนพื้นโลก, วิธีหา 133
โดยแบริงเข็มไขว้ 135
โดยแบริงกับมุม 138
โดยแบริงกับระยะทาง 139
โดยแบริงกับการหยั่งน้ำ 140
โดยแบริงกับวัดมุมแนวนอน 140

หน้า

โดยแบริงผ่านกับมุม.... 141
วัดมุมแนวนอนสองมุม 142
แบริงวัตถุสิ่งเดียวสองครั้งในเวลาต่างกัน 148
แบริงไม่จำกัดมุม 150
แบริงทวีมุมข้างหน้าเป็นสองเท่า 156
แบริงสี่ปอยนต์.... 157
ประเภท $22\frac{1}{2}$ - 45 158
ประเภท $26\frac{1}{2}$ - 45 159
ประเภท 60-90 160
ประเภท 30-60 161
ประเภท 29-51 161
โดยแนวเส้นหยั่งน้ำ 164
ที่เรือในที่มีกระแสน้ำ, การหา 165
หาเวลาเมื่อวัตถุจะผ่านตรงข้างเรือ 165
หาทิศและความเร็วของกระแสน้ำ 166
หาที่เรือโดยแบริงวัตถุแห่งเดียวสองครั้ง 166
ที่เรือแบริงเรดาร์.... 383
วิธีใช้วัตถุที่หมายเด่นชัดในการหาที่เรือ 387
วิธีหาที่เรือโดยใช้เส้นระดับเขา 387
หาที่เรือโดย VPR 388
ใช้ VPR หาที่เรือกับแผนที่เดินเรือ 392
ทัศนวิสัยของไฟ.... 88
เทียบเชิงเส้น, การ 452
นอต 7
แนวทางเรือ 104
การขีดแนวทางเรือ 104
แนวน้ำลึก, เส้น 86
หนังสือนำร่อง 90
การแก้หนังสือนำร่อง 92
หนังสือนำร่องฉบับที่พิมพ์ครั้งใหม่ 92
สมุดเพิ่มเติมนำร่อง 92
น้ำ, มาตรา 97
บรรณสารการเดินเรือต่าง ๆ 90
บิดตัวของแผนที่เมอเคเตอร์, การแก้การ 369

หน้า

แบริง 88
แบริงเข็มทิศ 122
แบริงเข็มเรือ 14
แบริงจริง 10
แบริงฝ่าน 124
แบริงแม่เหล็ก 13
แบริงเมอเคเตอร์, วิธีหา 371
แบริงวิทยุ 360,367
แบริงวิทยุเป็นวงใหญ่ 301
แบริงวิทยุ, มาตราแปลงกลับ 369
แบริงสัมพัธ.... 16,172
แบริงอันตราย 171,172
แบริง, ไม่ควรใช้ที่หมายอันเลื่อนลอยในการ 88
ประกาศชาวเรือ.... 98
ประกาศชาวเรือฉบับสรุปเล่มประจำปี 92
เปรียบเทียบเส้นเกลียวและวงใหญ่, การ 254
แผนที่เดินเรือหรือแผนที่ทะเล 56
แผนที่เดินเรือทุกชนิด 101
การเก็บรักษาแผนที่ 89
การแก้แผนที่เดินเรือในเรือ 100
การใช้แผนที่เดินเรือ 84
การบันทึกการแก้ 102
การแบ่งขอบแผนที่ 62
ขนาดของแผนที่ 86
ควรใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่.... 87
ความจำเป็นที่ต้องใช้แผนที่เดินเรือ 84
คำแนะนำในการใช้แผนที่เดินเรือ 84
ชนิดของแผนที่เดินเรือ 56
ต้องใช้แผนที่ที่ทันสมัยที่สุด 84
บัญชีราคาแผนที่ 99
ใบปะแผนที่หรือแผนที่จำลอง 101
หมายเลขแผนที่ 86
แผนที่ขยาย 74,100
แผนที่ขอบฝั่ง 100

หน้า

แผนที่ขั้วโลก 259
การสร้างแผนที่ขั้วโลก 261
แผนที่ดาวท้องฟ้าฤดูใบไม้ผลิ 460
แผนที่ดาวท้องฟ้าฤดูใบไม้ร่วง 464
แผนที่ดาวท้องฟ้าฤดูหนาว 465
แผนที่ดาวท้องฟ้าฤดูร้อน.... 462
แผนที่ดาวบริเวณขั้วโลกเหนือ 460
แผนที่ดาวบริเวณขั้วโลกใต้ 468
แผนที่มาตราส่วนเล็ก 101
ข้อที่ควรระวังในการใช้แผนที่มาตราส่วนเล็ก 87
แผนที่เมอเคเตอร์ 58
วิธีสร้างแผนที่เมอเคเตอร์ 66
แผนที่ไนโมนิก.... 82,256
แผนที่ลอแรน 416
แผนที่วงใหญ่ 257,262
แผนที่วาริเอชั่น.... 35
แผนที่ VPR 391
แผ่นจดที่เรือ 81
ไฟ, ทำเนียบไฟ 92
การแก้ทำเนียบไฟ 94
มาตราส่วน 76
มาตราส่วนในแผนที่เมอเคเตอร์ 59
มาตราส่วน Natural 76
มาตราส่วนระยะทาง.... 119
มาตราส่วนละติจูด 62
มาตราส่วนลองจิจูด 62
มุมอันตราย 169,172
มุมแนวนอน, วัด 125
มุมแนวยืน, วัด 125
หมุนเรือหาดิวิเอชั่นของเข็มทิศ, การ 318
ข้อเตือนใจที่ต้องปฏิบัติก่อนหมุนเรือ 318
หมุนเรือหาดิวิเอชั่น, วิธี 318
โดยแบริงกลับกับเข็มทิศบนบก 326
โดยแบริงดวงอาทิตย์.... 332

หน้า

โดยแบริงวัตถุซึ่งรู้แบริงจริงแล้ว 322
โดยแบริงวัตถุสิ่งเดียวอยู่ไกล 319
โดยเปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโร 328
เมริเดียน 3
เมริเดียนแม่เหล็ก 12
เมริเดียนแรก 3
แอนตี้เมริเดียน 3
ไม้กากบาท 445
ไมล์ตามขนาดของโลก 19
ไมล์ทะเล 6,19
ไมล์บก 7,19
ยาวของขอบ, ความ 112
ยาวของขอบหนึ่งลิบดา, ความแตกต่างกันของความ 18
ยาวของเงา ความ 444
ไยโรสโคป 347
ไยโรสโคปชนิดลูกตุ้ม 347
หยั่งน้ำ, การ 85
ระเบียบหรือสถานีในเรือช่วยชีวิต, การจัด 436
ระยะขยาย 8
ระยะเชิงมุมระหว่างที่สองดำบล 18
ระยะเชนิชด้วยโปรแตรกเตอร์, การวัด 442
ระยะทาง 8
ระยะทาง, การกะประมาณ 453
ระยะทางจริงระหว่างที่สองดำบล 15
ระยะทางและทิศระหว่างที่สองดำบล 57
ระยะทางหน้า 111
ระยะทางบนวงขนานละติจูด 199
ระยะทางเปลี่ยน 111
ระยะทางไปเข็มใหม่.... 111,115
ระยะทางปรับยันตร์ 111,125
ระยะทางด้วยกล้องวัดระยะทาง, วัด 129
ระยะทางด้วย Distance meter, วัด 128
ระยะขอบฟ้า, โดยใช้ 129
ระยะทางในแผนที่, การวัด 69

หน้า

ระยะทางในแผนที่เมอเคเตอร์, วิธีวัด 70
ระยะทาง, มาตรา 99
รายงานประจำวัน 237
เรดอน 393
เรดาร์ 373
เครื่องเรดาร์ 376
ข้อดีของเรดาร์ 379
ข้อเสียของเรดาร์ 379
ความแม่นยำของเรดาร์ 379
แรงที่รบกวนแม่เหล็กที่มีอยู่ตามตำบลที่ 35
รัศมี 1
ลม 104
ลอแรน 394
การจำสัญญาณ 401
การเทียบสัญญาณลอแรน 410
การพิจารณาสัญญาลอแรนของสถานีคู่ 396
การใช้ระบบลอแรนควบกับวิธีอื่น 422
การทายค่าผลต่างของเวลาลอแรน 399
การหน่วงเวลาการส่งสัญญาณ 398
การรบกวน 409
ข้อดีของระบบลอแรน 406
ข้อเสียของลอแรน 407
ป่ายลอแรน 403
วิธีปิดเส้นตำบลที่ลอแรนโดยใช้แผนที่ 418
วิธีเขียนเส้นตำบลที่ลอแรนโดยใช้มาตรา 419
คลื่นพื้นดินสและคลื่นท้องฟ้า 400
ความแม่นยำของระบบลอแรน 403
เครื่องรับและ Indicator ลอแรน 398
แผนที่ลอแรน 416
มาตราลอแรน 451
วิธีอ่านค่าผลต่างของเวลา 413
วิธีหาเส้นตำบลที่ลอแรนโดยการคำนวณ 422
ละติจูด..... 3
หาความยาวของขอบละติจูด 67

ละติจูดกลาง 9
หาละติจูดกลาง 32
ละติจูดกลางจริง 9,180
วิธีหาละติจูดกลางจริง 180
ละติจูดถึง 5
หาละติจูดถึง 27
ละติจูดเปลี่ยน 424
หาละติจูดเปลี่ยน 24
การให้ชื่อละติจูดเปลี่ยน 25
ละติจูดเปลี่ยนเมริเดียน 9
หาละติจูดเปลี่ยนส่วนเมริเดียน 26
ละติจูดออก 5
วงขนานละติจูด 3
ลองจิจูด 3,22
หาความยาวของขอบลองจิจูด 66
ลองจิจูดถึง 5
หาลองจิจูดถึง 31
ลองจิจูดเปลี่ยน 5,23
หาลองจิจูดเปลี่ยน 29
ลองจิจูดออก 5
วิธีหาละติจูดและลองจิจูดของจุดในแผนที่ 73
ลีเวย์ 15,51
วิธีแก้ลีเวย์ 52
แลต. โดยดาวเหนือ 448
แล่นเรือต่าง ๆ 177
แล่นเรือกระแสน้ำ 222
แล่นเรือขนาน 203
แล่นเรือตรง 185
แล่นเรือเมอเคเตอร์ 216
แล่นเรือผสม 291
โดยการคำนวณ 293
โดยการสร้างรูป 300
โดยแผนที่วงใหญ่ 300
แล่นเรือลดเลี้ยว 194

หน้า

แล่นเรือละติจูดกลาง 208
แล่นเรือวงใหญ่ 269
โดยการคำนวณ 269
การให้ชื่อเข็มที่เรือแล่น 271
หาโคออร์ดิเนตของจุดต่าง ๆ ตามทางวงใหญ่ 275
หาเข็มแรก 270
หาเข็มหลัง 271
หาจุดต่อเนื่องกัน 280
หาตำบลที่ของเวอร์เทกซ์ 273
หาระยะทางวงใหญ่ 270
หาละติจูดของเวอร์เทกซ์ 274
หาลองจิจูดของเวอร์เทกซ์ 274
วิธีเขียนทางวงใหญ่ลงในแผนที่เมอเคเตอร์เมื่อไม่มี 285
แผนที่วงใหญ่ 285
โดยแผนที่วงใหญ่ 288
โดยมาตราแอซซิมัธ 287
โดยมาตรา Towson 288
โดยมุมแปลงกลับ 290
ลักษณะของแผนที่ที่ได้สำรวจไว้อย่างละเอียดเรียบร้อย 88
วงขนานละติจูด 3
วงใหญ่ 1
วงเล็ก 1
วาริเอชั่น 12,34,86,74
วาริเอชั่นจร 35
วาริเอชั่นเปลี่ยน 35
วาริเอชั่นเปลี่ยนประจำวัน 35
แผนที่วาริเอชั่น 35
วิเคราะห์ศัพท์ 1
วิเคราะห์ศัพท์ในเรือแล่นวงใหญ่.... 267
วิทยุ, ทำเนียบ 94
วิทยุหาทิศ, เครื่อง 360
วิทยุหาทิศในเรือ, เครื่อง 361
ความเคลื่อนคลาด 365
วัตถุสำหรับวัดหาที่เรือแบริง, การเลือก 134

สถานีตำรวจ 85
สถานีวิทยุหาระยะทาง 599
ส่วนเมริเดียน 9,63
วิธีหาส่วนเมริเดียนของละติจูดต่าง ๆ 64
สารบัญแผนที่, ต้องตรวจดูข้อความใน 84
สามเหลี่ยมเล็ก, รูป 137
สูงของวัตถุที่ให้ 85
สูงด้วยโปรแตรกเตอร์, การวัด 442
สูงโดยไม่ใช้โปรแตรกเตอร์, การวัด 443
สูงบนเมริเดียน 449
สูงวัด, การแก้ 447
สูตรแล่นเรือตามเส้นเกลียว 182
เส้นเกลียว 5
เส้นผ่าศูนย์กลาง 1
เส้นศูนย์กลางรบ 111
เส้นศูนย์กลางสุด 111
เสียงสะท้อนของไซเร็น, โดย 130
สัณฐานของโลก 1
อิเควเตอร์ 2
อัตราหาเวลาน้ำขึ้นลงประจำอ่าว 85
อันตราย, วิธีหลีกที่ 169
โดยที่หมายสองแห่งอยู่ในแนวเดียวกัน 170
แบริงอันตราย 171
อันตราย, มุม 172
วิธีหามุมอันตรายแนวนอน 172
วิธีหามุมอันตรายแนวยืน 174

ห้องสมุด
ก.ฝ.ร.
สัตหีบ ชลบุรี

พิมพ์ที่ บริษัท ฐานบัณฑิต จำกัด
188/5 เพชรเกษม 51 แขวงบางแค เขตบางแค กรุงเทพฯ 10160 โทร. 02-8013934-8