บทที่ 2

การหาที่เรือแบบต่าง ๆ

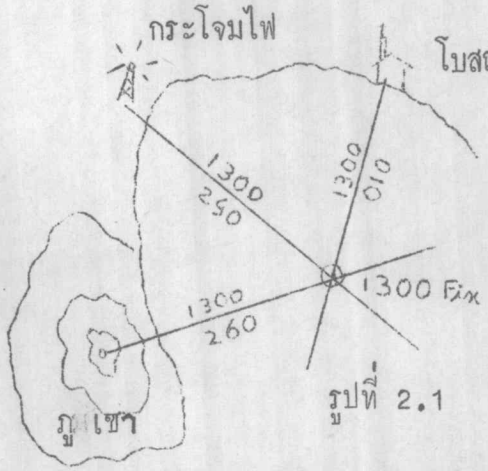
2.1 การหาที่เรือเมื่อเห็นวัตถุบนพื้นโลก

การหาที่เรือที่กล่าวนี้หมายถึง การหาตำบลที่ของเรือเมื่อใกล้ฝั่งทะเลหรือน่านน้ำ ช่องแคบต่าง ๆ ซึ่งสามารถเห็นบรรดาวัตถุเหล่านั้นได้ ทั้งวัตถุเหล่านั้นต้องมีปรากฏอยู่ในแผนที่ด้วยแล้ว ซึ่งนักเดินเรือทั้งหลายจะต้องมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือ รวมทั้งการสังเกตและจดจำรูปของฝั่ง เขา เครื่องหมาย ๆ ในแผนที่ซึ่งเห็นได้แม่นยำ จึงจะสามารถหาที่เรือได้อย่างถูกต้องแน่นอนและรวดเร็ว การหาที่เรือแบบนี้ย่อมสัมพันธ์อยู่กับเครื่องมือที่ใช้วัด

ที่เรือที่ได้จะเกิดจากเส้นตำบลที่อย่างน้อยสองเส้น ซึ่งหาได้ในเวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งแบ่งเป็นวิธีต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 แบริ่งเข็มไขว้ (Cross bearing) การหาที่เรือโดยใช้วัดแบริ่งนั้น หมายถึงการหาที่เรือโดยใช้เข็มทิศเรือนเอก หรือ เข็มทิศไยโร วัดแบริ่งวัตถุต่าง ๆ แล้วแก้แบริ่งนั้น ๆ ให้เป็นเข็มจริง เอาไปขีดลงในแผนที่ แบริ่งเข็มไขว้ คือการวัดหาเส้นแบริ่งของวัตถุสองสิ่ง (หรือมากกว่า) ในขณะใกล้เคียงกัน หรือเวลาเดียวกัน

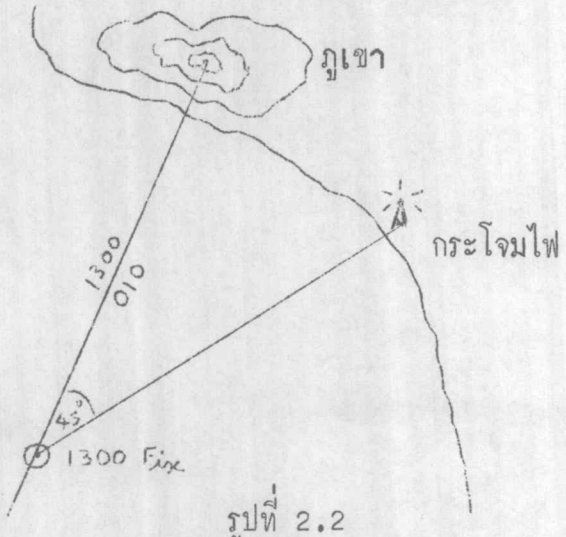
วิธีทำ โดยการสังเกตที่หมาย ชายฝั่ง หรือที่ที่เห็นได้ แล้วทำการวัดมุมแบริ่ง จากนั้นก็เอาค่ามุมที่วัดได้มาขีดลงในแผนที่จุดตัดของเส้นแบริ่ง คือตำแหน่งที่เรือ เช่น



รูปที่ 2.1

จะเห็นว่า เวลา 1300 ทำการแบริ่งยอดเขา กระโจมไฟและโบสถ์ได้มุมแบริ่งต่าง ๆ เมื่อนำมาขีดในแผนที่ก็จะทราบได้ว่าเรือเราอยู่ตำแหน่งไหน ณ เวลา 1300

2.1.2 แบริ่งกับมุม (A bearing and an angle) ในทางปฏิบัตินั้น ในบางโอกาสอาจใช้เข็มทิศเรือนเอกวัดแบริ่งวัตถุได้เพียงสิ่งเดียวเท่านั้น แต่เห็นวัตถุอีกสิ่งหนึ่งทางข้างเรือ ในลักษณะเช่นนี้ให้ใช้เข็มทิศเรือนเอกแบริ่งวัตถุสิ่งที่สามารถวัดได้ และในขณะเดียวกันนั้นใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมในระหว่างวัตถุสองสิ่งไปพร้อมกัน เช่น

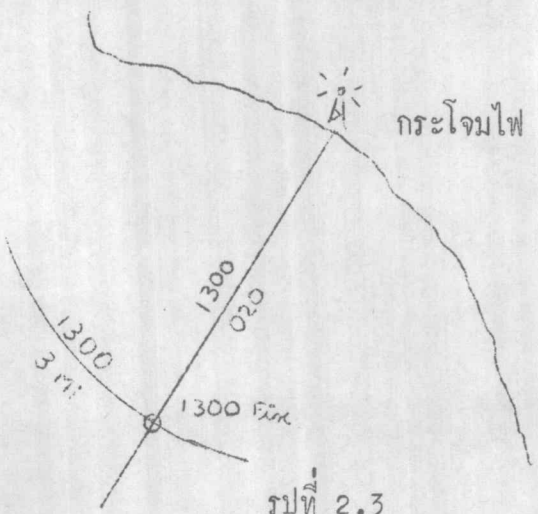


รูปที่ 2.2

จากรูป ในเวลา 1300 วัดแบริ่งยอดเขาได้ 010 และขณะเดียวกันวัดมุมกระโจมไฟได้ 045 ก็สามารถ Plot ลงในแผนที่ได้ ดังรูป

2.1.3 แบริ่งกับระยะทาง (A bearing and a distance) วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีมาก หาที่เรือได้รวดเร็วเมื่อเห็นวัตถุเพียงสิ่งเดียว ระยะทางจากเรือไปยังวัตถุหาได้โดย กล้องวัดระยะทาง

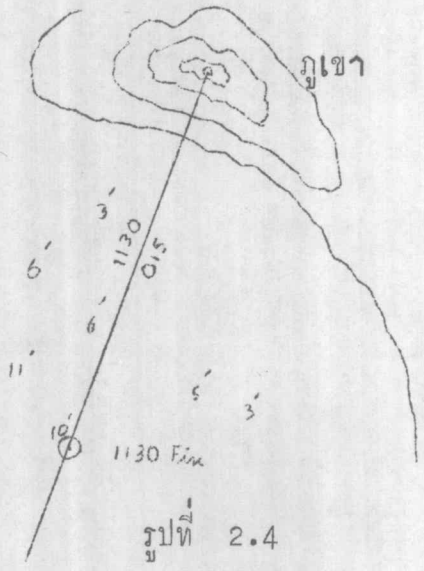
วิธีหาที่เรือแบบนี้ก็คือ ทำการแบริ่งที่หมาย 1 เส้น และวัดระยะทางจากที่หมายนั้นไปยังเรือ ในที่นี้แบริ่งกระโจมไฟได้ 020 และวัดระยะได้ 3 Miles



รูปที่ 2.3

จากรูป เป็นการนำค่าที่วัดแบริ่งได้ไปทำการ Plot ลงในแผนที่ โดยลากเส้นในทิศ 020 ให้ผ่านกระโยมไฟ และจากกระโจมไฟ ก็กางวงเวียนรัศมี 3 Miles ตัดเส้น 020 ก็จะได้ที่เรือ

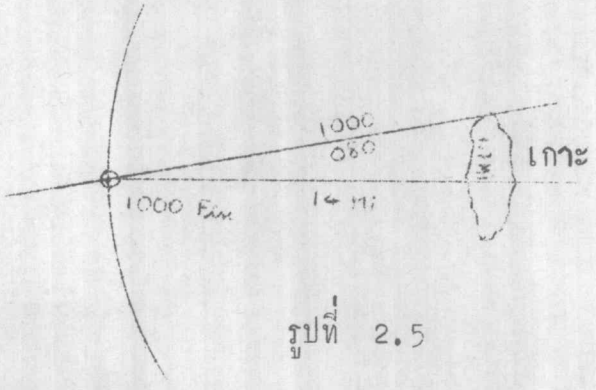
2.1.4 แบริ่งกับการหยั่งน้ำ (A bearing and a sounding) เป็นการหาที่เรือเมื่อเรือแล่นเข้าไปใกล้ฝั่ง ในที่ซึ่งความลึกของน้ำเปลี่ยนเร็วมาก เราก็จะใช้วิธีหาที่เรือแบบนี้ ก็สามารถจะหาที่เรือใกล้เคียงได้ (Approximate Position) โดยการวัดแบริ่งและการหยั่งน้ำได้ในขณะเดียวกัน



รูปที่ 2.4

จากตัวอย่างทำการแบริ่งยอดเขาได้ 015 เวลา 1130 ขณะเดียวกันก็หยั่งน้ำได้ 10 ฟุต ก็สามารถที่จะทำการ Plot ได้ ก็จะได้ที่เรือดังในรูป

2.1.5 แบริ่งกับวัดมุมแนวนอน (A bearing and a horizontal angle) วิธีนี้เป็นวิธีที่หาที่เรือที่ดีมาก ในเมื่อเรือแล่นผ่านเกาะเล็ก ๆ[1] โดยการทำการแบริ่งปลายเกาะด้านใดด้านหนึ่ง ขณะเดียวกันก็จะใช้ เครื่องวัดแดด วัดมุมระหว่างปลายเกาะทั้งสอง



รูปที่ 2.5

ตัวอย่าง ทำการแบริ่งปลายเกาะด้านหนึ่งได้ 080 และขณะเดียวกันก็วัดมุมระหว่างปลายเกาะทั้งสองได้ 7° เวลา 1000

---

[1]เจียม อัมระปาล พลเรือจัตวา, เดินเรือ (พิมพ์ครั้งที่ 2, พระนคร : โรงพิมพ์กรมอุทกศาสตร์, 2500) หน้า 267.

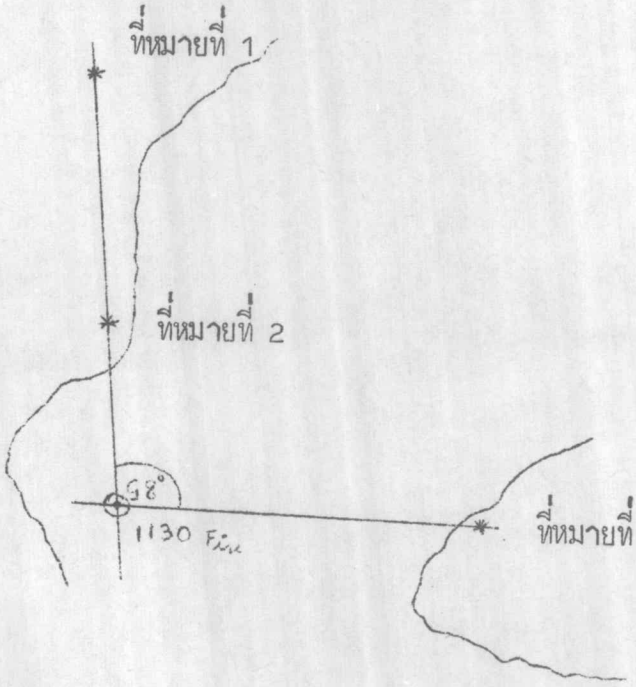
การ Plot จะทำการลากเส้นแบริ่งก่อน จากนั้นก็จะคำนวณหาระยะทางจากเกาะไปถึงเรือ (R) ได้จาก ขอบ = รัศมี x 2π มุมเป็นเรเดียน

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

จะได้ R = 14 ไมล์

จากรูปที่ 2.5 ทำการลากเส้น 080 ให้ผ่านปลายเกาะด้านที่เราทำการแบริ่งได้ 080 จากนั้น กางวงเวียนรัศมีเท่ากับ 14 ไมล์ตามระยะในแผนที่ ใช้กลางเกาะเป็นจุดศูนย์กลาง ตัดเส้นแบริ่ง 080 ก็จะได้ที่เรือ Fix เวลา 1000

2.1.6 แบริ่งผ่านกับมุม (A Transit and an Angle) วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีมากวิธีหนึ่งเช่นกัน เนื่องจากว่าวิธีนี้ไม่ได้ใช้เข็มทิศวัดแบริ่ง จึงนับว่ามีข้อดีที่ทำให้ความผิดของเข็มทิศไม่มีเข้ามาเกี่ยวข้องเลย วิธีนี้มักใช้มากในการหาที่เรือของเรือเล็ก (เรือโบต) เมื่อทำการหยั่งน้ำในระหว่างการสำรวจแผนที่ทะเล



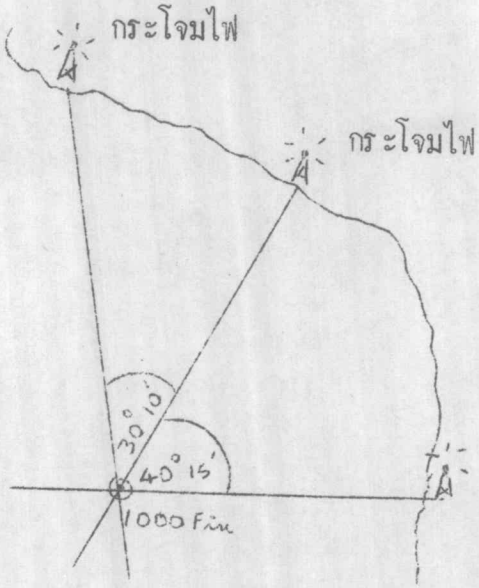
รูปที่ 2.6

วิธีทำ คือทำการเล็งที่หมายสองแห่งที่อยู่ในแนวเดียวกัน และใช้เครื่องวัดแดดทำการวัดมุมแนวนอนจากแนวของที่หมายทั้งสองนั้น กับที่หมายที่สาม

ตัวอย่าง ในขณะที่เราทำการเล็งที่หมายที่ 1 และที่หมายที่ 2 ได้อยู่ในแนวเดียวกันนั้น เราทำการวัดมุมจากแนวนี้ไปยังที่หมายที่ 3 ได้ 058 ในเวลา 1130

ก็สามารถจะทำการ Plot ตำแหน่งที่เรือได้ ดังรูปที่ 2.6 วิธีการคล้าย ๆ กันนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการนำร่อง (Piloting) แต่ได้เปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย คือ การนำร่องจะใช้แบริ่งผ่าน 2 เส้นตัดกัน[2] จะเห็นว่าจะได้ที่เรือที่แน่นอนขึ้น

2.1.7 วัดมุมแนวนอนสองมุม (Horizontal sextant angles) วิธีนี้เป็นวิธีหาที่เรือโดยใช้เส้นตำบลที่ ตั้งแต่สองเส้นขึ้นไป ใช้เครื่องวัดแดดวัดมุมแนวนอนในระหว่างวัตถุตั้งแต่สามสิ่งขึ้นไป วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุด[3] สำหรับหาที่เรือในขณะที่เรือจอดทอดสมอ และต้องมีคนวัดมุมแนวนอนสองคนในเวลาเดียวกัน คือจะได้ที่เรือถูกต้องมากกว่าเข็มทิศ เนื่องจากไม่มีอัตราผิดจากพวกอำนาจแม่เหล็กเข้ามาเกี่ยวข้อง และเครื่องวัดแดดสามารถวัดมุมได้ละเอียดกว่าเข็มทิศ แต่จะช้ากว่าเข็มทิศในเรื่องการใช้เครื่องมือ



รูปที่ 2.7

ตัวอย่าง เวลา 1000 วัดมุมระหว่างกระโจมไฟ A และ B ได้ 30° 10' และขณะเดียวกันวัดมุมระหว่างกระโจมไฟ และ C ได้ 40° 15'

การหาที่เรือ ก็จะทำได้โดยใช้ Station Pointerกางมุมให้ขาทั้งสามทำมุมกัน คือ ขาที่ 1 และ 2 ทำมุกกัน

---

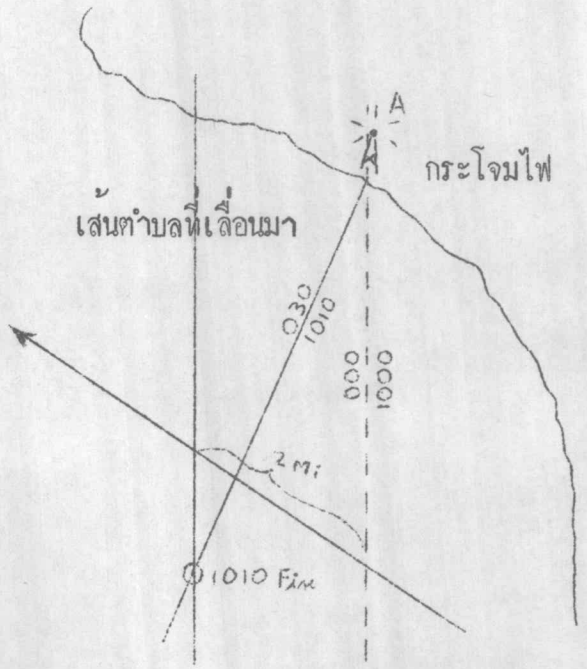
[2] G.D. Dunlap, H.H. SHUFELDT Captain USNR (Retired), Dutton's Navigation and Piloting (Twelfth Edition, United States Naval institute Annapolis, Moryland).

[3] เจียม อัมระปาล, พลเรือจัตวา เดินเรือ (พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ) หน้า 270.

30° 10′ และขาที่ 2 และ 3 ทำมุมกัน 40° 15′ จากนั้นนำ Station Pointer ไปเทียบกับแผนที่เดินเรือให้ขาทั้งสามผ่านจุด A, B และ C ตามลำดับ จุดศูนย์กลางของ Station Pointer ก็จะเป็นตำแหน่งที่ของเรือในเวลา 1000

2.1.8 แบริ่งวัตถุสิ่งเดียวกันสองครั้งในเวลาต่างกัน (A running fin) วิธีนี้ใช้ในเมื่อเห็นวัตถุเพียงสิ่งเดียว ที่เรือที่หาได้โดยวิธีนี้ย่อมไม่ถูกต้องแน่นอนนัก ซึ่งทำโดยการหาเส้นตำบลที่ของวัตถุแห่งเดียวกันได้ 2 เส้นในเวลาต่างกัน แล้วก็จะหาตำบลที่เรือได้โดยการเลื่อนเส้นตำบลที่เส้นแรกเข้าหาเส้นตำบลที่เส้นที่สอง โดยนำเอาความเร็วของเรือเข้ามาเกี่ยวข้อง ในการเลื่อนเส้นตำบลที่จุดที่เส้นตำบลที่ทั้งสองตัดกัน ก็จะเป็นตำแหน่งที่เรือขณะวัดเส้นตำบลที่ครั้งที่สอง ดังนั้นจะเห็นว่าความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับระยะและทิศทางที่เรือเลื่อนที่ไป ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วเรือ ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำกระแสลม

ตัวอย่างเช่น เรือแล่นด้วยความเร็ว 12 knots เวลา 1000 แบริ่งกระโจมไฟ A ได้ 000 เวลา 1010 แบริ่งกระโจมไฟ A อีกครั้งได้ 030 เรือถือเข็ม 295



รูปที่ 2.8

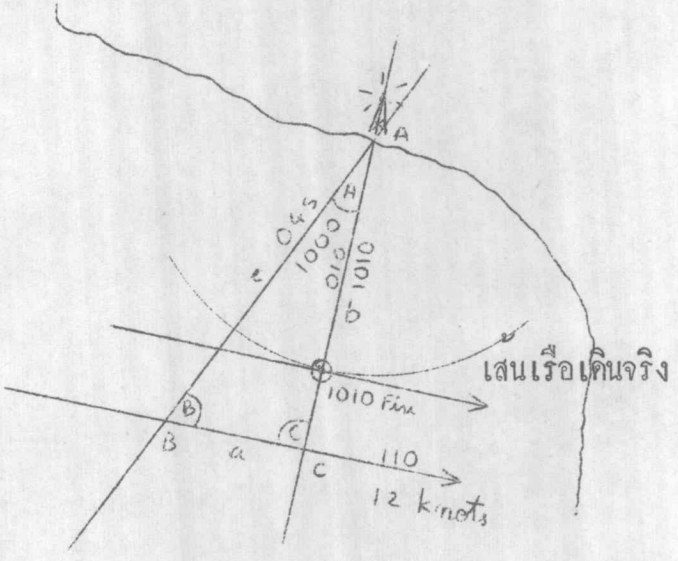
วิธีทำ จากแผนที่เดินเรือ ทำการ Plot เส้นตำบลที่เวลา 1000 ดังรูป และเขียนทิศทางเรือเดิน 295 จากนั้นเลื่อนเส้นตำบลที่ไปตามทิศ 295 ไประยะทาง 2 ไมล์ แล้วทำการลากเส้นตำบลที่เส้นที่ 2 เวลา 1010 ก็จะได้จุดตัดของเส้นตำบลที่ทั้งสอง ซึ่งเป็นที่เรือเวลา 1010 ดังรูป

นอกจากนี้แล้ว การหาที่เรือแบบเลื่อนเส้นตำบลที่นี้ยังมีวิธีการทำได้ในแบบต่าง ๆ อีกดังนี้

1. แบริ่งไม่จำกัดมุม
2. แบริ่งทวีมุม (Doubling the angle on the bow)
3. แบริ่งสี่ปอยนต์ (Four points bearing or the bow and beam)

<u>แบริ่งไม่จำกัดมุม</u> เป็นการหาที่เรือโดยการแบริ่งวัตถุสิ่งเดียวกันสองครั้งในเวลาต่างกัน แต่จะตัดปัญหาเรื่องการเลื่อนเส้นตำบลที่ออก โดยจะใช้การ Plot เส้นแบริ่งทั้งสองครั้ง และเส้นทางเดินเรือลงในแผนที่ ซึ่งจะเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมขึ้น และใช้วิธีทางเรขาคณิตเข้ามาช่วย เพื่อหาระยะทางจากวัตถุที่ใช้เป็นที่หมายในการแบริ่งมายังเรือ แล้วใช้วิธีการของแบริ่งกับระยะทางหาที่เรือออกมา

ตัวอย่าง เวลา 1000 ทำการแบริ่งกระโจมไฟ A ได้ 045 และเวลา 1010 ทำการแบริ่งกระโจมไฟ A อีกครั้งได้ 010 เรือวิ่งในทิศ 110 ความเร็ว 12 knots



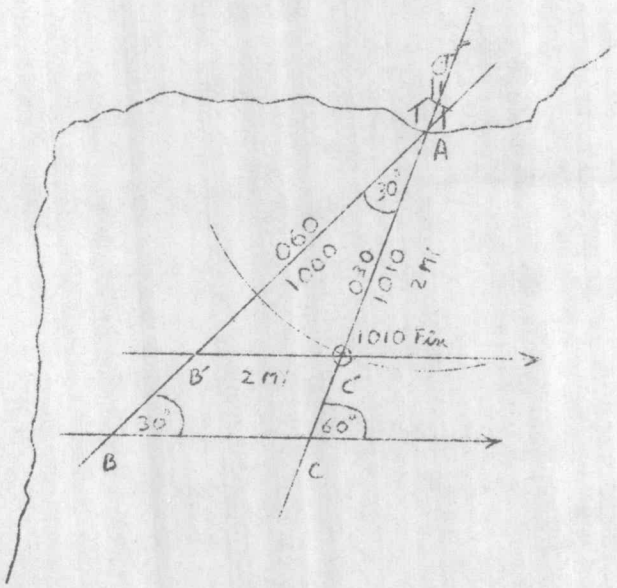
รูปที่ 2.9

วิธีทำ ทำการ Plot เส้นแบริ่งทั้งสองและเส้นทางเรือเดินลงในแผนที่ แล้วทำการคำนวณระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ได้ 2 ไมล์ ดังนั้น ถ้าเรากำหนดจุดตัดทั้งสามเป็น A, B และ C เราก็สามารถที่จะหามุม A, B และ C ได้ จากนั้นเราก็สามารถหาระยะทาง AC ได้ จากสูตร

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

แต่เราทราบระยะ a = 2 ไมล์ ก็สามารถที่จะหา b ได้ คือระยะทาง AC นั่นเอง จากนั้นกางวงเวียนรัศมี AC ใช้ A เป็นจุดศูนย์กลางเขียนวงกลมตัด AC ที่จุดใด จุดนั้นก็คือที่เรือเวลา 1010 แต่จะเห็นว่าวิธีนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากเรื่องการหาค่ามุมและค่า sin ของมุมต่าง ๆ

<u>แบริ่งทวีมุม</u> คล้ายกับวิธีการของแบริ่งไม่จำกัดมุม แต่ต่างกันที่มุมที่เส้นแบริ่งครั้งหลัง เราต้องรอให้ทำมุมกับเส้นทางเรือเดินเป็น 2 เท่าของเส้นแบริ่งครั้งแรกเสียก่อนถึงจะทำการจดเวลา



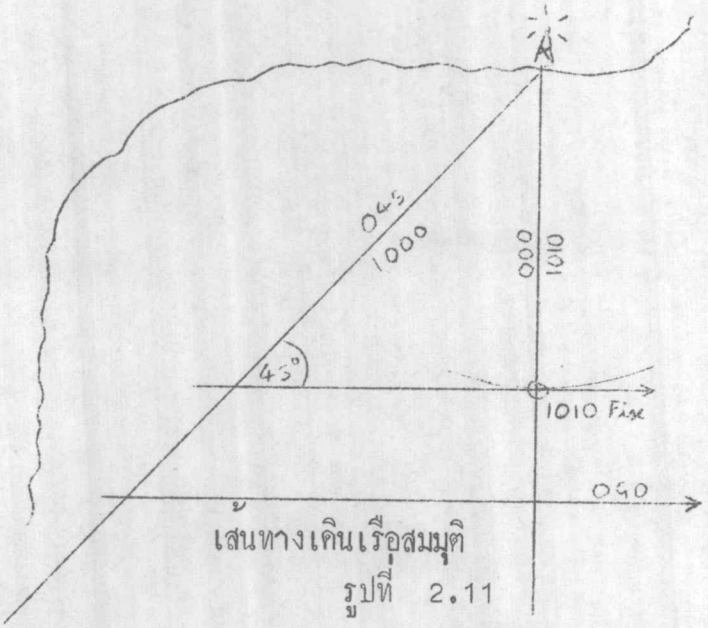
รูปที่ 2.10

ตัวอย่าง เรือวิ่งด้วยความเร็ว 12 knots ทิศ 090 เวลา 1000 ทำการแบริ่งปล่องไฟ ได้ 060 และทำการแบริ่งปล่องไฟอันนี้อีกครั้งได้ 030 เวลา 1010

วิธีทำ ทำการ Plot เส้นแบริ่งทั้งสอง และทิศทางเรือเดินลงในแผนที่ และคำนวณหาระยะทางที่เรือวิ่งได้ ว่า 2 ไมล์ จากกฎของสามเหลี่ยมจากมุมภายนอกย่อมเท่ากับมุมภายในที่อยู่ตรงข้ามรวมกัน ก็จะได้ว่า มุม A และ B เท่ากัน จากหลักของสามเหลี่ยมหน้าจั่วก็จะได้ว่า ระยะทาง AC = BC แต่ BC คำนวณได้เท่ากับ 2 ไมล์ ฉะนั้น AC ก็เท่ากับ 2 ไมล์ด้วย จากนั้นก็ใช้ A เป็นจุดศูนย์กลาง กางวงเวียนรัศมี 2 ไมล์ เขียนวงกลมตัด AC ที่ C C ก็จะเป็นที่เรือ เวลา 1010

แบริ่งสี่ปอยนต์ เป็นวิธีหนึ่งของแบริ่งทวีมุม คำว่า สี่ปอยนต์ (4 point) หมายถึง 45 องศา เพราะในทางเดินเรือถือว่า 90 องศา มี แปด ปอยนต์ (8 points)[4] การทำแบริ่งสี่ปอยนต์ ก็คือการทำการแบริ่งทวีมุมที่ให้เส้นแบริ่งครั้งแรกทำมุมกับเส้นทางเรือเดิน 45 องศา

วิธีทำก็คือ ทำการแบริ่งที่หมายครั้งแรกให้เส้นแบริ่งทำมุมกับเส้นทางเรือเดิน 45 องศา จากนั้นก็รอไปจนกว่าเส้นแบริ่งครั้งที่สองจะทำมุม 90 องศา กับเส้นทางเรือ-เดิน จึงจะจดเวลาและทำการคำนวณหาระยะทางที่เรือวิ่งไปได้ แล้วก็ทำตามวิธีแบริ่งทวีมุมทุกประการ ดังรูป วิธีนี้จะสะดวกกว่าแบริ่งทวีมุมตรงที่เส้นแบริ่งครั้งที่สองแบริ่งได้ง่ายกว่า และไม่ต้องแก้ทิศสัมพันธ์



เส้นทางเดินเรือสมมุติ
รูปที่ 2.11

วิธีหาที่เรือเมื่อเห็นวัตถุบนพื้นโลก หรือหาที่เรือใกล้ฝั่งที่นิยมใช้กันอยู่ก็มีเท่าที่ผู้วิจัยได้กล่าวแล้ว และนอกจากนี้ยังมีการหาที่เรือโดยการแบริ่งวิทยุ ซึ่งคล้ายกับการหาที่เรือแบบแบริ่งเข็มไขว้ แต่จะเป็นการหาเส้นแบริ่งด้วยการหาทิศของสถานีส่งวิทยุบนบกแทนที่จะใช้เข็มทิศแบริ่งที่หมายอย่างแบริ่งเข็มไขว้ และยังมีการหาที่เรือแบบระยะเรดาร์

---

[4] เจียม อัมระปาล, พลเรือจัตวา, เดินเรือ (พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ) หน้า 296.

A radar range ซึ่งก็คล้ายกับการหาที่เรือแบบแบริ่งกับระยะทาง แต่จะใช้ radar ในการหาเส้นแบริ่งและระยะทาง นอกจากนี้แล้วยังมีการหาที่เรือแบบแนวเส้นหยั่งน้ำ

แต่วิธีนี้จะใช้เมื่อมีการสำรวจแผนที่อย่างแน่นอนมาก ซึ่งเป็นการยากแก่การปฏิบัติจริง ๆ ทั้งสามวิธีที่กล่าวมานี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการหาที่เรือเมื่อเห็นวัตถุบนพื้นโลก ผู้วิจัยจึงไม่เขียนละเอียดเหมือนวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.2 การหาที่เรือจากการเดินเรือรายงาน (Dead Reckoning Position)

การหาที่เรือรายงานนี้เป็นวิธีหาที่เรือแบบหนึ่ง แต่ที่เรือที่หาได้จะเป็นที่เรือโดยประมาณ เนื่องจากที่เรือรายงานได้จากการที่เราทำการขีด เข็มถือท้าย ลงในแผนที่ จากนั้นก็ทำการคำนวณหาระยะทางที่เรือเคลื่อนที่ไปได้จากจุดที่ทราบตำบลที่แน่นอน (Fix Position) เราก็จะสามารถหาที่เรือได้ โดยพิจารณาจากเข็มถือท้ายเป็นเส้นที่ใช้ในการอ้างอิง แต่ที่เรือที่ได้จะเป็นที่เรือโดยประมาณ(Estimated Position) เนื่องจากเราไม่สามารถคำนวณระยะและทิศทางที่เรือเคลื่อนที่ไปได้อย่างถูกต้องแน่นอน จะเห็นได้ว่าการที่เรือแล่นไปนั้นจะมีองค์ประกอบต่าง ๆ มากมายที่ทำให้เรือแล่นผิดไปจากที่เราต้องการ องค์ประกอบเหล่านั้นได้แก่

ก. กระแสน้ำ

ข. กระแสน้ำขึ้นลง

ค. ลม

นอกจากนี้แล้วยังมีองค์ประกอบย่อย ๆ อีกหลายชนิด เช่นคลื่นที่ไม่ได้เกิดโดยธรรมชาติ ความผิดพลาดของเข็มทิศเดินเรือที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากน้ำโลหะเข้ามาใกล้ อาการของเรือจากการหมุนของใบจักรและอื่น ๆ อีกมาก แต่สิ่งเหล่านี้เป็นเพียงเล็กน้อย ไม่ทำให้ที่เรือผิดไปมากเท่ากับอาการที่เกิดจากทั้งสามหัวข้อข้างต้น

อาการของลมที่กระทำต่อเรือนั้นย่อมไม่เท่ากัน จะแตกต่างกันไปตามรูปร่าง ชนิดและแบบของเรือ และนับว่าเป็นการจำเป็นมากสำหรับนักเดินเรือที่จะต้องรวบรวมรายการต่าง ๆ อันเกี่ยวกับรายละเอียดของเรือของตนที่เกี่ยวข้องกับกำลังลมต่าง ๆ ในทิศสัมพันธ์ต่าง ๆ ไว้

ลมกระทำกับเรือให้เกิดอาการ 2 ประการ

1. อาการกระทำของลมต่อตัวเรือและส่วนประกอบตัวเรือตอนบน (Superstructure) ซึ่งทำให้เกิด

ก. ทวีหรือลดอัตราเร็วที่เรือแล่นไปได้จริงในน้ำ ผลอันนี้ได้คิดให้ไว้ในการหาที่เรือรายงาน

ข. พัดให้เรือลอยตกไปทางปลายลม อาการนี้ย่อมได้แก้ไว้เสมอแล้วในตัว โดยแก้ให้หัวเรือหันเข้าหาลมไว้ โดยมากถ้าคนถือท้ายไม่ชำนาญหรือเลินเล่อแล้ว อาจทำให้เข็มที่ถือท้ายผิดเข้าหาทางต้นลมของเข็มที่สั่งให้ถือไว้ได้ประมาณ 2 ถึง 3 องศา

โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะสังเกตได้จากเรือเบา ซึ่งแล่นตามน้ำตามลม คือมีลมและน้ำพัดทางท้ายเรือขวาหรือท้ายเรือซ้าย ซึ่งเรียกการแล่นแบบนี้ว่า "boring to windward"

อาการของลมนี้มีวิธีตรวจหาได้ 2 วิธี

(1) โดยสังเกตทิศทางของหัวเรือทุก ๆ 2 หรือ 3 วินาที สักครึ่งชั่วโมงหรือกว่านั้น แล้วจะได้เข็มปานกลางที่จะต้องถือท้าย

(2) โดยเปรียบเทียบแนวทางเรือซึ่งเครื่องจดทางเรืออัตโนมัติ (Automatic Plotting Instument) ที่ถูกต้องได้ทำไว้กับเข็มเรือที่คนถือท้ายได้รับคำสั่งให้ถือท้ายไป ข้อนี้จะทำได้ต่อเมื่อมีเครื่องมือชนิดที่กล่าวแล้ว

2. อาการลอย (Drift) ของน้ำบนผิวพื้นทะเลเนื่องจากอำนาจลม อาการลอยนี้สามารถคาดคะเนเอาได้ โดยอาศัยความชำนาญเท่านั้น และรู้ลักษณะอุตุนิยมใน 48 ชั่วโมงที่แล้วมาในบริเวณที่เรือกำลังแล่นไป

กฎที่ดีในการประมาณอาการลอยนี้มีว่า ตามปกติปรากฏว่า อาการลอยของน้ำบนผิวพื้นทะเลมีความเร็ว ประมาณ 1/50 ของความเร็วลม[5] และในเขตละติจูดอบอุ่น

---

[5] G.D. Dunlop And H.H. Shufeldt, Dutton's Navigation and Piloting, Chapter 7 (Twelfth Edition, Unitted States Naval Institute Annapolis, Maryloand, 1969).

(Temperate Latitude) แล้วทางของอาการลอยจะเฉเข้าหาทิศที่ลมพัดไปประมาณ 40° ในซีกโลกเหนือจะเฉเข้าทางขวา และในซีกโลกใต้จะเฉเข้าทางซ้าย

ตัวอย่าง แสดงการใช้สิ่งเหล่านี้เข้าแก้เมื่อขีดแนวทางเรือเดิน

สมมุติว่า เวลา 0900 เรืออยู่ใน Lat 57° 45′ N Long 1° 40′ W แล่นเข็ม 290° ความเร็ว 10 knots กระแสน้ำพัดไปทิศ 260° ความเร็ว 2.5 knot ลมทิศ NE กำลัง 8 knot (สมมุติว่าจากสถิติซึ่งได้จากการรวบรวมไว้ หรืออาการคำนวณจะประมาณได้ว่าอาการของลมที่กระทำต่อตัวเรือ และอาการลอยของผิวน้ำบนผิวพื้นทะเล จะทำให้เรือตกไปทางทิศ 220° ด้วยอัตราเร็ว 1.5 knot) ให้หาที่เรือรายงานเวลา 1000

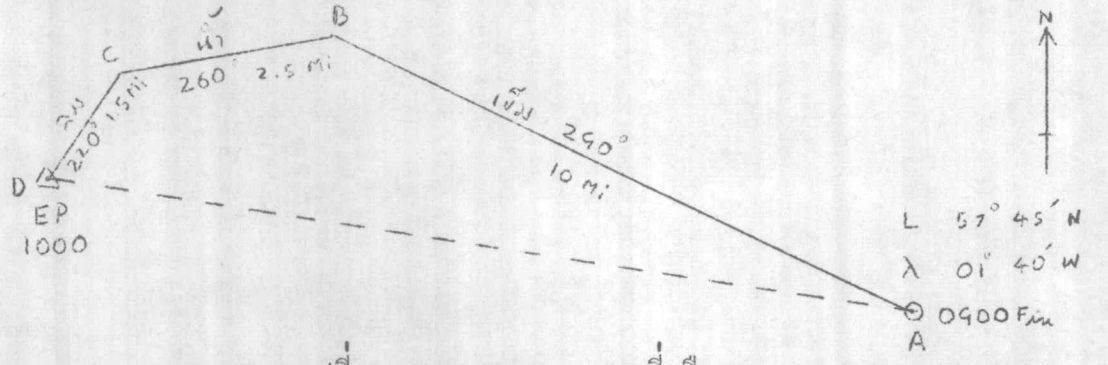
วิธีทำ

1. จากแผนที่เดินเรือทำการ Plot จุด A ลง ณ ตำแหน่งที่ Lat 57° 45 N และ Long 01° 40 W ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เรือ Fix ตามโจทย์กำหนด

2. จากจุด A ทำการขีดเส้นทางเรือเดินในทิศ 290° ระยะ 10 ไมล์ ถึงจุด B จะได้แนวทางเรือเดิน AB แสดงให้เห็นว่าถ้าไม่มีกระแสน้ำและลมเข้ามาเกี่ยวข้องแล้ว เรือจะต้องวิ่งบนเส้น AB แต่เนื่องจากในที่นี้มีกระแสน้ำและลมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น ทิศทางหรือแนวทางที่เรือวิ่งนั้นจะต้องไม่อยู่บนเส้น AB

3. จาก B ลากทิศทางของกระแสน้ำ 260° ระยะ 2.5 ไมล์ ถึงจุด C BC จะเป็นระยะทางที่เรือตกไปทางซ้าย เนื่องจากกระแสน้ำ

4. จาก C ลากทิศทางจากที่คำนวณได้ หรือจากสถิติที่ได้ว่าลมจะกระทำให้เรือตกไป จะได้ว่าเรือจะตกไปในทิศ 220° ระยะ 1.5 ไมล์ ต่อ 1 ชั่วโมง พบจุด D



รูปที่ 2.2.1 แสดงการหาที่เรือ EP

จุด D จะเป็นตำแหน่งที่เรือโดยประมาณ (Estimated Position) เวลา 1000 และแนวทาง AD จะเป็นแนวทางที่เรือวิ่งไปจริง ๆ ซึ่ง ณ ที่จุด D จะใช้กำกับด้วยสามเหลี่ยม ดังนี้ △ EP 1000

วิธีการเช่นนี้ ก็นับได้ว่าเป็นวิธีการหาที่เรือวิธีหนึ่ง ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นตำบลที่เรือที่กะประมาณที่ดีที่สุด[6] ซึ่งได้ทำมาจากที่เรือแบริ่งครั้งสุดท้าย หรือที่เรือตรวจอันเชื่อถือได้ โดยใช้สิ่งต่าง ๆ ที่ทราบ ประกอบกับการเดินเรือรายงานเพื่อแก้หาระยะและทิศทางที่ถูกต้องที่เรือเคลื่อนที่ไปได้จริง ๆ เพื่อจะได้สามารถหาตำแหน่งที่ของเรือได้อย่างถูกต้อง

2.3 การหาที่เรือจากดาราศาสตร์ (Celestial Navigation)

การหาที่เรือจากดาราศาสตร์ อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นศิลปอย่างหนึ่งในการนำเอาวัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ อันได้แก่ ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ ดาวพระเคราะห์ และ ดาวฤกษ์ มาใช้ให้เป็นประโยชน์แก่การเดินเรือ เช่น การคำนวณหาตำบลที่เรือ การหาอัตราผิดของเข็มทิศ เป็นต้น ในเมื่อเรือเดินอยู่ในทะเลลึกไม่เห็นฝั่งและเกาะ เป็นเวลานานวันโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว การตำบลที่เรือโดยเดินเรือ ดาราศาสตร์จะมีความถูกต้องน้อยกว่าการเดินเรือใกล้ฝั่ง การหาตำบลที่เรือโดยเดินเรือดาราศาสตร์ ยอมให้ผิดได้ประมาณ 1 ไมล์[7] ส่วนการหาตำบลที่เรือโดยเดินเรือใกล้ฝั่งนั้น ยอมให้ผิดได้เพียงเป็นเมตรเท่านั้น ทั้งนี้ เพื่อให้เรือได้รับความปลอดภัยจากสิ่งอันตรายใต้น้ำ

---

[6]เจียม อัมระปาล, พลเรือจัตวา, <u>เดินเรือ</u> (พิมพ์ครั้งที่ 2 พิมพ์ที่โรงพิมพ์กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ , 2500).

[7]โรจน์ หงส์ประสิทธิ, นาวาเอก, <u>เดินเรือดาราศาสตร์</u> (พระนคร : พิมพ์ที่โรงพิมพ์คุรุสภา 2517) หน้า 35.

เครื่องมือและบรรณสารที่สำคัญที่จะต้องใช้ในการเดินเรือดาราศาสตร์ ได้แก่ เครื่องวัดแดด (Sextant) นาฬิกาโครโนเมตร (Chronometer)นาฬิการเทียบ (Comparing Watch) ปฏิทินเดินเรือ (Nautical Almanac) และมาตราเดินเรือต่าง ๆ เช่น H.O. 214

การคำนวณต่าง ๆ ในการหาที่เรือจากดาราศาสตร์นี้ จะใช้ความรู้เกี่ยวกับวิชาตรีโกณมิติทรงกลมมาใช้ในการคำนวณและทำความเข้าใจในเรื่องของสามเหลี่ยมทรงกลม แต่ก่อนที่จะเข้าใจการหาที่เรือจากดาราศาสตร์ เราจำเป็นจะต้องทราบ

2.3.1 โลกและทรงกลมท้องฟ้า (Earth and Celestial Sphere) ในการเดินเรือดาราศาสตร์นี้ สมมุติให้โลกมีลักษณะเป็นทรงกลมอย่างแท้จริง และอยู่ที่จุดศูนย์กลางของจักรวาล

จักรวาลสมมุติให้เป็นทรงกลมอีกลูกหนึ่ง หุ้มห่อโลกอยู่ มีรัศมีจากโลกออกไปยาวไม่มีที่สิ้นสุด ทรงกลมนี้เรียกว่า "ทรงกลมท้องฟ้า" (Celestial Sphere) และจุดศูนย์กลางของโลกก็เป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้าด้วย วัตถุท้องฟ้าทั้งหมดจะอยู่ภายในทรงกลมท้องฟ้านี้ทั้งสิ้น

"ดาวฤกษ์" (Fixed Stars) ที่ใกล้โลกที่สุด ห่างจากโลกมากกว่า 6 ล้านเท่าของรัศมีของโลก ฉะนั้น เมื่อนำเอาดาวฤกษ์มาใช้ในการเดินเรือดาราศาสตร์แล้ว รัศมีของโลกไม่จำเป็นต้องนำมาเกี่ยวข้องเลย

2.3.2 การหมุนรอบตัวเองของโลก (Rotation of the Earth) ตามความจริงที่ได้ทราบมาแล้วว่า โลกหมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกวันละ 1 รอบ แต่ผู้ตรวจอยู่บนผิวโลกหามีความรู้สึกเช่นนั้นไม่ กลับกลายเป็นมีความรู้สึกเห็นว่า วัตถุท้องฟ้าที่อยู่ภายในทรงกลมท้องฟ้าเคลื่อนตัวจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก จากความรู้สึกนี้เองจึงเป็นผลทำให้ผู้ตรวจเห็นวัตถุท้องฟ้าขึ้นจากขอบฟ้าทางทิศตะวันออกผ่านเมอริเดี้ยนผู้ตรวจ แล้วไปตกทางทิศตะวันตก

2.3.3 โคออดิเนตระบบอิเควเตอร์ท้องฟ้า (Celestial Equator System of Coordinate)

แกนท้องฟ้า (The Celestial Axis) คือเส้นสมมุติที่ยื่นจากแกนโลกออกไปในท้องฟ้าจนถึงทรงกลมท้องฟ้า และผู้ตรวจจะรู้สึกว่าทรงกลมท้องฟ้าหมุนอยู่รอบแกนนี้ จากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก

ขั้วท้องฟ้า (The Celestial Poles) คือจุดที่อยู่ปลายสุดทั้งสองข้างของแกนท้องฟ้า จุดที่ตรงกับขั้วเหนือของโลกเรียกว่า "ขั้วท้องฟ้าเหนือ" (North Celestial Pole) จุดที่ตรงกับขั้วใต้ เรียกว่า "ขั้วท้องฟ้าใต้" (South Celestial Pole)

เมอริเดียนท้องฟ้า (The Celestial Meridians) คือวงใหญ่บนทรงกลมท้องฟ้า ที่เกิดจากการยืดเมอริเดียนของโลกออกไปตัดกับทรงกลมท้องฟ้า วงใหญ่เหล่านี้จะผ่านขั้วท้องฟ้าทั้งสอง

อิเควเตอร์ท้องฟ้า (The Celestial Equator or The Equinoctial) คือวงใหญ่บนทรงกลมท้องฟ้า ซึ่งเกิดจากการยืดอิเควเตอร์ของโลกออกไปตัดกับทรงกลมท้องฟ้า หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่ง คือวงใหญ่บนทรงกลมท้องฟ้า ซึ่งมีพื้นตั้งฉากกับแกนท้องฟ้า

ดิคลิเนชั่น (The diclination) เป็นระยะมุมอย่างเดียวกันกับละติจูดบนพื้นโลก คือเป็นมุมที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า (จุดศูนย์กลางโลก) นับจากอิเควเตอร์ท้องฟ้า วัดไปตามเมอริเดียนท้องฟ้า จนถึงวัตถุท้องฟ้าเริ่มต้น 0 องศาที่อิเควเตอร์ท้องฟ้า นับไปทางเหนือและทางใต้จนถึง 90 องศา ที่ขั้วท้องฟ้าทั้งสอง ถ้าวัตถุท้องฟ้าอยู่เหนืออิเควเตอร์ท้องฟ้า เรียกว่ามีดิคลิเนชั่นเหนือ (N) ถ้าวัตถุท้องฟ้าอยู่ใต้อิเควเตอร์ท้องฟ้า เรียกว่า มีดิคลิเนชั่นใต้ (S) ดิคลิเนชั่นนี้จะไม่เรียกว่าละติจูดท้องฟ้า (Celestial Latitude) เป็นอันขาด เพราะละติจูดท้องฟ้าเป็นอีกเรื่องหนึ่งต่างหาก

เมอริเดียนท้องฟ้า เพื่อใช้วัดดิคลิเนชั่นของวัตถุท้องฟ้าดังกล่าวแล้วนี้ มีชื่อเรียกพิเศษอีกอย่างหนึ่งว่า "วงดิคลิเนชั่น" (Circle of Declination)

วงขนานดิคลิเนชั่น (Parallels of Diclination) ได้ทราบมาแล้วว่า วงเล็กบนผิวโลกที่มีพื้นที่ตั้งได้ฉากกับแกนโลก เรียกว่า "วงขนานละติจูด" (Parallels of Latitude) ถ้ายืดวงขนานละติจูดออกไปบนทรงกลมท้องฟ้า ก็จะเรียกว่า "วงขนานดิคลิเนชั่น" (Parallels of Diclination) กล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือเป็นวงเล็กบนทรงกลมท้องฟ้าที่มีพื้นขนานกับอิเควเตอร์ท้องฟ้า วัตถุท้องฟ้าที่อยู่บนวงขนานดิคลิเนชั่นเดียวกัน จะมีดิคลิเนชั่นเท่ากัน

มุมเวลา (Hour Angle) คือ ระยะมุมที่ขั้วท้องฟ้าหรือที่ขอบของอิเควเตอร์ท้องฟ้า (เป็นมุมที่จุดศูนย์กลางท้องฟ้าหรือจุดศูนย์กลางโลก) ระหว่างเมอริเดี้ยนท้องฟ้าสองเส้น ถ้าเป็นระยะมุมระหว่างเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านเมอริเดี้ยน ผู้ตรวจกับเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า โดยนับจากเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านผู้ตรวจไปทางตะวันตกทางเดียวจนถึงเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้นจาก 0 องศา ถึง 360 องศา เรียกระยะมุมนี้ว่า "มุมเวลาตำบลที่" (Local Hour Angle) ใช้อักษรย่อ LHA

ถ้าเป็นระยะมุมระหว่างเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านเมืองกรีนิช กับเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า โดยนับจากเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านเมืองกรีนิชไปทางตะวันตกทางเดียวจนถึงเมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น จาก 0 องศา ถึง 360 องศา เรียกมุมนี้ว่า "มุมเวลากรีนิช" (Greensich Hour Angle) และใช้อักษรย่อ GHA

ผลต่างของ GHA กับ LHA ก็คือลองจิจูดของผู้ตรวจ

มุมเวลานี้จะนับเป็นชั่วโมงก็ได้ จาก 0 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง

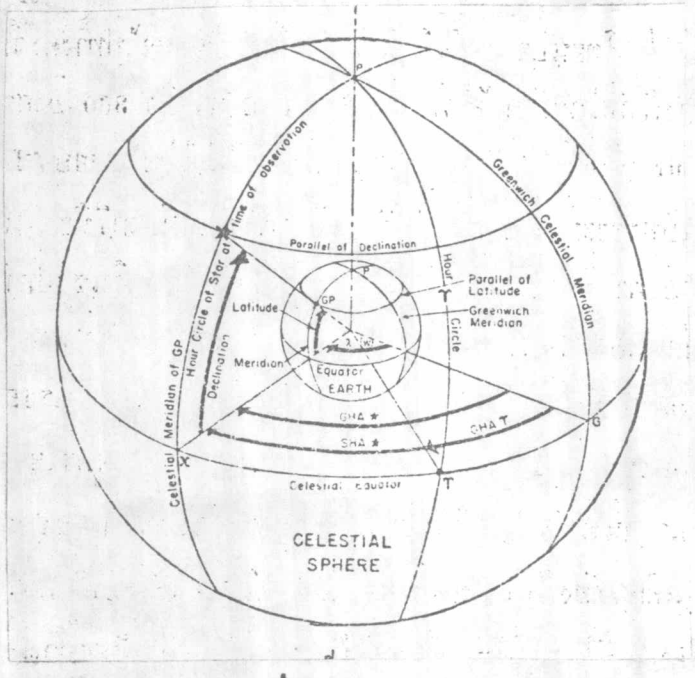
เมอริเดี้ยนท้องฟ้าที่ใช้นับมุมเวลานี้ มีชื่อพิเศษเรียกว่า "วงเวลา" (Hour Circle)

LHA นี้ ในทางคำนวณจะใช้เป็นมุมเล็ก คือนับจากวงเวลาที่ผ่านผู้ตรวจจาก 0 องศา ถึง 180 องศา ไปทางทิศตะวันออกหรือทางทิศตะวันตกก็ได้ จนถึงวงเวลาที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น มุมเล็กนี้เรียกว่า "มุมเมอริเดี้ยน" (Meridian Angle) ใช้อักษรย่อ t ถ้าวัตถุท้องฟ้าอยู่ทางตะวันออกของผู้ตรวจ ใช้อักษรย่อต่อท้ายค่าของมุมว่า "E"

ถ้าวัตถุท้องฟ้าอยู่ทางตะวันตกของผู้ตรวจ ใช้อักษรย่อต่อท้ายค่าของมุมว่า "W" เช่นเดียวกับลองจิจูด มุม "t" ถ้าใช้มาตรา H.O. 214 จะใช้อักษรว่า "H.A." แทน

มุมเวลาไซเดอเรียล (Siderial Hour Angle) ใช้อักษรย่อว่า "SHA" ตามปกติ GHA ของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวพระเคราะห์ที่ใช้ในการเดินเรือ 4 ดวง คือ Venus, Mars, Jupiterและ Saturn จะให้ค่าไว้ในปฏิทินเดินเรือทุกชั่วโมงตลอดทั้งปี แยกไว้โดยเฉพาะแต่ละดวง เพราะวัตถุท้องฟ้าเหล่านี้มีอัตราเคลื่อนตัวผ่านไปในท้องฟ้าแตกต่างกัน สำหรับดาวฤกษ์ซึ่งเป็น "Fixed Stars" นั้น ในทางปฏิบัติถือว่ามีอัตราเคลื่อนตัวในท้องฟ้าคงที่ ฉะนั้นเพื่อความสะดวกในปฏิทินเดินเรือ จึงให้ค่าเป็น "มุมเวลาไซเดอเรียล" (Sidereal Hour Angle) และย่อว่า SHA ไว้ต่างหากสำหรับดาวฤกษ์แต่ละดวง

SHA คือ ระยะมุมที่ขั้วท้องฟ้า หรือที่ขอบของอิเควเตอร์ท้องฟ้า ระหว่างวงเวลาที่ผ่านจุดราศีเมษ (♈) กับวงเวลาที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า (ดาวฤกษ์) โดยนับจากจุดราศีเมษไปตามขอบของอิเควเตอร์ท้องฟ้า ไปทางตะวันตกทางเดียวจนถึงวงเวลาที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น นับจาก 0 องศา ถึง 360 องศา



รูปที่ 2.3.1
แสดงโดออดิเนตระบบอิเควเตอร์ท้องฟ้า และระบบบนโลกของวัตถุท้องฟ้า

จุดราศีเมษในปฏิทินเดินเรือเรียกสั้น ๆ ว่า "Aries" (r) แม้ว่าจุดราศีเมษจะเคลื่อนตัวถอยหลัง ปีละ 50.2 พิลิบดา ก็ตาม แต่ก็อาจถือว่า SHA ของดาวฤกษ์มีค่าคงที่ได้ในช่วงเวลานาน ๆ

อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณสามเหลี่ยมดาราศาสตร์จำเป็นต้องใช้ GHA ของดาวฤกษ์ ฉะนั้นในปฏิทินเดินเรือจึงให้ค่า GHA ของ Aries ไว้โดยเฉพาะอีกต่างหากทุกชั่วโมง ตลอดทั้งปี เพื่อให้คำนวณหา GHA ของดาวฤกษ์ได้ คือ

$$GHA_* = GHA_r + SHA_*$$

ไรต์แอสเซนชั่น (Right Ascension) นักดาราศาสตร์ไม่ค่อยใช้ SHA แต่จะใช้ไรต์แอสเซนชั่น (RA) แทน ซึ่งเป็นระยะมุมกลับกับ SHA คือเป็นระยะมุมจากจุดราศีเมษ นับไปตามขอบของอิเควเตอร์ท้องฟ้าไปทางตะวันออกจนถึงวงเวลาที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น โดยนับเป็นเวลาจาก 0 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง

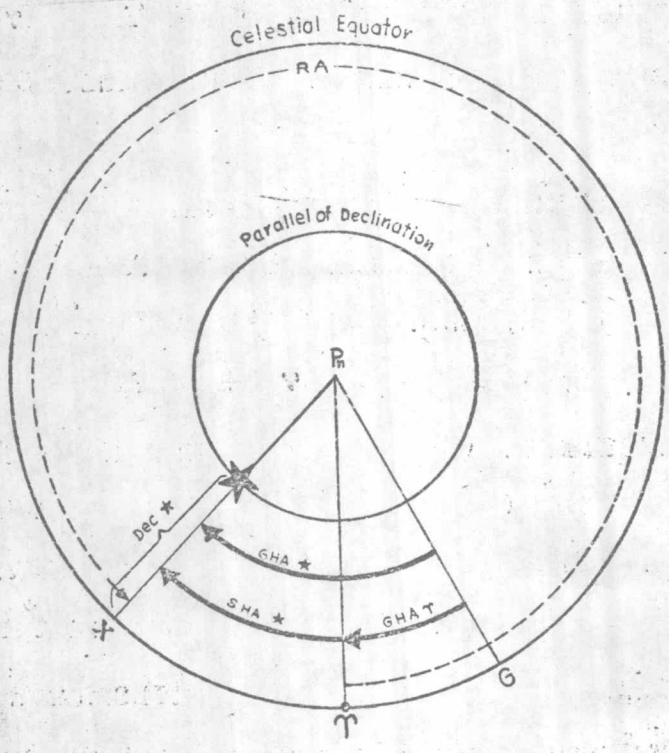
โคออดิเนตระบบอิเควเตอร์ท้องฟ้านั้น ใช้บอกตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าบนทรงกลมท้องฟ้าในขณะใดขณะหนึ่งได้ด้วย "Declination" (Dec) และ "Greenwich Hour Angle" (GHA)

ถ้าจะกำหนดตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าลงบนผิวโลกในขณะใดขณะหนึ่ง ก็ใช้ Declination เป็น Latitude และใช้ GHA เป็น Longitude แต่ต้องแปลง GHA เป็น Longitude เสียก่อน เพราะค่าของ Longitude นับจากกรีนิชไปทางตะวันออกและทางตะวันตก จาก 0 องศา ถึง 180 องศา ตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าบนผิวโลกเรียกว่า "Geographical Position (GP) of A Celestial Body"

รูปบนพื้นอิเควเตอร์ท้องฟ้า (The Plane Of the Celestial Equator) โดยเหตุที่ผู้ตรวจอยู่บนทรงกลมท้องฟ้า ไม่สะดวกในการเขียนรูปแสดงสิ่งต่าง ๆ บนทรงกลมท้องฟ้าได้ตลอด ดังในรูปที่ 2.3.1 ดังนั้น จึงนิยมใช้เขียนรูปโคออดิเนตระบบอิเควเตอร์

i17793865

ท้องฟ้าอีกแบบหนึ่ง โดยสมมุติให้ผู้เขียนออกไปอยู่นอกทรงกลมท้องฟ้า ในแนวแกนท้องฟ้า แล้วมองตรงมายังขั้วท้องฟ้าเหนือ เมื่อวัตถุท้องฟ้ามีดิคลิเนชั่นเป็นเหนือ เพื่อแสดงสิ่งที่เกี่ยวกับขั้วท้องฟ้า เช่น มุมเวลาและดิคลิเนชั่นของวัตถุท้องฟ้า เป็นต้น ดังในรูปที่ 2.3.2 ถ้าวัตถุท้องฟ้ามีดิคลิเนชั่นเป็นใต้ ก็ต้องเขียนรูปที่มองตรงลงไปยังขั้วท้องฟ้าใต้



รูปที่ 2.3.2

รูปบนพื้นอิเควเตอร์ท้องฟ้าจากรูปที่ 2.3.1

2.3.4 โคออดิเนตระบบขอบฟ้า (Horizon System of Coordinate)

ระบบโคออดิเนต ของวัตถุท้องฟ้าที่ใช้ในการเดินเรือดาราศาสตร์อีกระบบหนึ่งก็คือ โคออดิเนตระบบขอบฟ้า ระบบนี้เป็นระบบที่ขึ้นอยู่กับตำบลที่ของผู้ตรวจ ซึ่งใช้อ้างถึงขอบฟ้าท้องฟ้าของผู้ตรวจเป็นหลัก สำหรับระบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นใช้อ้างถึงอิเควเตอร์ท้องฟ้าเป็นหลัก

เซนิธ (Zenith) เป็นจุดบนทรงกลมท้องฟ้า ซึ่งเกิดจากการยืดเส้นตรงที่ลากจากจุดศูนย์กลางโลก ผ่านตำบลที่ผู้ตรวจบนผิวโลกไปจดทรงกลมท้องฟ้า ดังนั้น จุดเซนิธก็คือตำบลที่ของผู้ตรวจบนทรงกลมท้องฟ้านั่นเอง

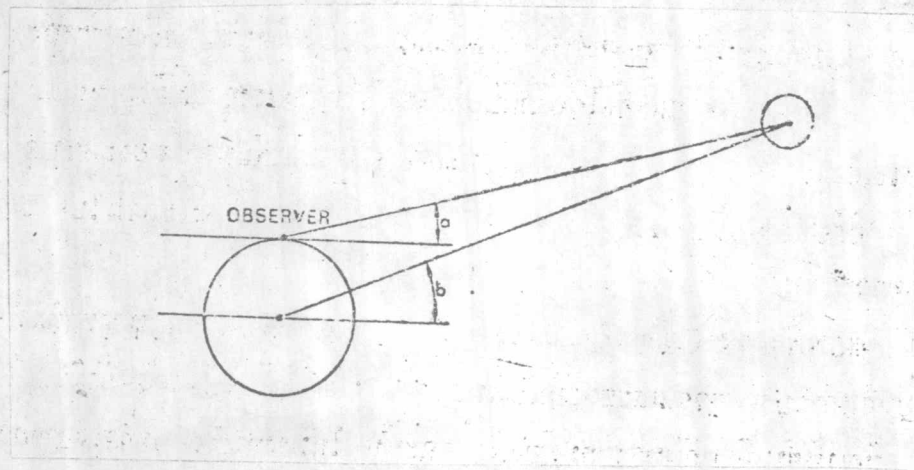
เนเดอร์ (Nadir) เป็นจุดบนทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่ตรงกันข้ามกับจุดเซนิธ หรือเป็นจุดบนทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่ตรงดิ่งลงไปจากใต้เท้าของผู้ตรวจ ผ่านจุดศูนย์กลางโลกไปจดทรงกลมท้องฟ้า

ขอบฟ้าท้องฟ้า (Celestial Horizon) เป็นวงใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่มีพื้นผ่านจุดศูนย์กลางโลก และตั้งได้ฉากกับเส้นตรงที่ต่อระหว่างจุดเซนิธและเนเดอร์ จุดเซนิธและเนเดอร์จะห่างจากขอบฟ้าท้องฟ้า 90 องศา เส้นตรงที่ต่อระหว่างจุดเซนิธและเนเดอร์จะเป็นเส้นแกนโคออดิเนตระบบขอบฟ้า เส้นแกนนี้จะเปลี่ยนไปตามตำบลที่ของผู้ตรวจ

ขอบฟ้าจริง (The True Horizon) คือวงเล็กของทรงกลมท้องฟ้าที่มีพื้นสัมผัสกับนัยน์ตาของผู้ตรวจ และขนานกับพื้นของขอบฟ้าท้องฟ้า เนื่องด้วยรัศมีของโลกสั้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับทรงกลมท้องฟ้า ฉะนั้น ในบางกรณีขอบฟ้าจริงอาจถือได้ว่าทับกับขอบฟ้าท้องฟ้า

ขอบฟ้าเห็นหรือขอบฟ้าทะเล (The Visible Or Sea Horizon) เป็นวงเล็กที่ผู้ตรวจมองเห็นอยู่รอบตัว คือเป็นวงกลมที่เห็นน้ำกับฟ้าจดกัน ขอบฟ้าเห็นจะมีพื้นขนานกับพื้นของขอบฟ้าท้องฟ้า ขอบฟ้าเห็นนี้ขึ้นอยู่กับความสูงของนัยน์ตาผู้ตรวจ (สูงตา) ว่าจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลเท่าใด ถ้าสูงตาของผู้ตรวจอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าใด ขอบฟ้าเห็นก็ยิ่งอยู่ต่ำกว่าขอบฟ้าจริงมากยิ่งขึ้น จึงทำให้สูงของวัตถุท้องฟ้าที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดแดด แตกต่างกันไปตามสูงตาของผู้ตรวจ เพราะการวัดความสูงของวัตถุท้องฟ้า ใช้วัดจากขอบฟ้าที่เห็นน้ำกับฟ้าจดกัน คือวัดจากขอบฟ้าเห็นไปยังวัตถุท้องฟ้า ฉะนั้น สูงของวัตถุท้องฟ้าที่วัดจากขอบฟ้าเห็น จึงมากกว่าสูงของวัตถุท้องฟ้าที่วัดจากขอบฟ้าจริง อัตราแก้สูงที่วัดได้นี้เรียกว่า "Dip Of The Horizon" หรือ "Dip" (D) ดังนั้น อัตราแก้ Dip จะขึ้นกับสูงตาของผู้ตรวจว่าจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลเท่าใด

ยังมีอัตราแก้สูงของวัตถุท้องฟ้าอีกอย่างหนึ่ง นอกจากแก้ Dip แล้ว ซึ่งเป็นอัตราแก้สำหรับวัดสูง ของวัตถุท้องฟ้าในระบบสุริยจักร อันได้แก่ ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวเคราะห์ต่าง ๆ เพราะวัตถุท้องฟ้าเหล่านี้อยู่ใกล้โลกมากกว่าดาวฤกษ์มากมาย และแสงที่ส่องมายังโลกมิได้เป็นลำแสงที่ขนานกัน แต่จะเป็นแสงที่กระจายออกมาจากจุดจุดหนึ่ง ณ ระยะทางอันหนึ่ง ฉะนั้น สูงของวัตถุท้องฟ้า จากขอบฟ้าท้องฟ้าที่วัดจากจุดศูนย์กลางโลก จะมากกว่าสูงของวัตถุท้องฟ้าจากขอบฟ้าจริงที่วัดจากผู้ตรวจบนผิวโลก เว้นแต่เมื่อวัตถุท้องฟ้าจะอยู่ตรงกับเซนิธเท่านั้น ผลต่างของสูงของวัตถุท้องฟ้านี้ เนื่องมาจากค่าที่เรียกว่า "Parallax" ซึ่งเป็นอัตราแก้ที่จะต้องนำเอาไปแก้สูงที่วัดจากขอบฟ้าเห็นด้วย



รูปที่ 2.3.3

มุม a และมุม b ต่างกันด้วยค่า Parallax

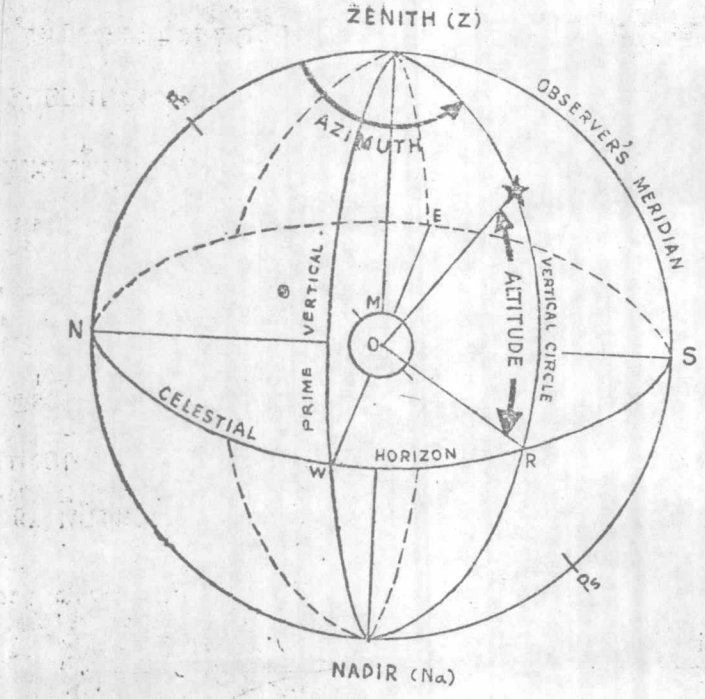
ในรูปที่ 2.3.3 ผู้ตรวจอยู่ที่ผิวโลก วัดมุมจากขอบฟ้าจริงไปยังจุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์จะได้มุมเท่ากับ a ถ้าวัดที่จุดศูนย์กลางโลกจากขอบฟ้าท้องฟ้า จะได้มุมเท่ากับ b จะเห็นว่ามุม b โตกว่ามุม a ผลต่างของมุมทั้งสองนี้ เนื่องจากค่าของ "Parallax"

วงสูงหรือวงดิ่ง (Circle Of Altitude Or Vertical Circles) คือ วงใหญ่บนทรงกลมท้องฟ้าที่ผ่านจุดเซนิธและเนเดอร์ ดังนั้น พื้นของวงสูงจึงตั้งฉากกับพื้นของขอบฟ้าท้องฟ้า เมอริเดี้ยนท้องฟ้าของผู้ตรวจก็เป็นวงสูงเหมือนกัน

สูงของวัตถุท้องฟ้า (Altitude Of Celestial Bodies) คือมุมทางสูงที่วัดด้วยเครื่องวัดแดด จากขอบฟ้าเห็นไปตามวงสูงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า จนถึงวัตถุท้องฟ้านั้น

ไพรม์เวอร์ติเกิล (The Prime Vertical) คือวงสูงที่มีพื้นตั้งฉากกับพื้นเมอริเดี้ยนของผู้ตรวจ หรือคือวงสูงที่ผ่านจุดตะวันออกและจุดตะวันตกบนขอบฟ้าท้องฟ้าของผู้ตรวจ จุดตะวันออกและจุดตะวันตก คือจุดที่ Prime Vertical ตัดกับขอบฟ้าท้องฟ้าของผู้ตรวจ

จุดเหนือและจุดใต้ คือจุดที่เมอริเดี้ยนท้องฟ้าของผู้ตรวจตัดกับขอบฟ้าท้องฟ้าของผู้ตรวจ



รูปที่ 2.3.4
แสดงโคออดิเนตระบบท้องฟ้า

แอซิมัธ (Azimuth) ของวัตถุท้องฟ้าเป็นมุมที่เซนิธ โดยวัดจากเมอริเดี้ยนท้องฟ้าของผู้ตรวจไปจนถึงวงสูงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า การนับแอซิมัธมีอยู่สองอย่าง คือ

"มุมแอซิมัธ" (Azimuth Angle) ใช้อักษรย่อว่า "Az" เป็น Azinuth ที่นับจากจุดเหนือ (N) หรือจุดใต้ (S) ของผู้ตรวจ ทั้งนี้ แล้วแต่ว่าผู้ตรวจจะอยู่ละติจูดเหนือหรือละติจูดใต้ ส่วนจะเป็นตะวันออก (E) หรือตะวันตก (W) ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุท้องฟ้านั้น ว่าจะอยู่ทางตะวันออกหรือทางตะวันตกของผู้ตรวจ มุมแอซิมัธนี้ใช้ในรูปสามเหลี่ยมดาราศาสตร์

"แอซิมัธจริง" (True Azimuth) ใช้อักษรย่อว่า "Zn" เป็น A zimuth ที่นับจากจุดเหนือของผู้ตรวจไปทางตะวันออกทางเดียว จนถึงวงสูงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น จาก 0 องศาถึง 360 องศา ไม่ว่าผู้ตรวจจะอยู่ละติจูดเหนือหรือใต้ก็ตาม

แอมปลิจูด (The Amplitude) คือระยะขอบของขอบฟ้า ระหว่างจุดตะวันออกหรือจุดตะวันตก กับตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้า ขณะที่ขึ้นหรือตกจากขอบฟ้าหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่ง คือเป็นมุมที่เซนิธระหว่างไพรม์เวอร์ติเกิล กับวงสูงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้า ขณะขึ้นหรือลงจากขอบฟ้า

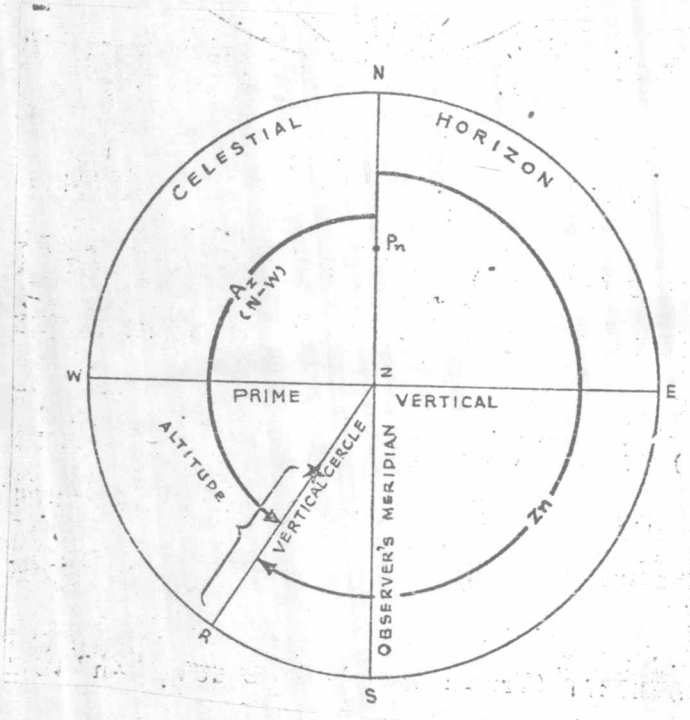
มุมแอมปลิจูดที่ได้จะเขียนดังนี้ คือ E 7° N, E 7° S, W 7° N หรือ W 7° S ทั้งนี้ แล้วแต่ว่าวัตถุท้องฟ้าจะอยู่ทางเหนือหรือทางใต้ของจุดตะวันออกหรือจุดตะวันตก

โคออดิเนทระบบขอบฟ้า ใช้บอกตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าบนทรงกลมท้องฟ้าในขณะใดขณะหนึ่งได้ด้วย สูงของวัตถุท้องฟ้า (Altitude) และมุมแอซิมัธ (Az) หรือแอซิมัธจริง (Zn)

รูปบนพื้นขอบฟ้า (The Plane Of Celestial Horizon)

เป็นรูปโคออดิเนตระบบขอบฟ้าอีกแบบหนึ่งที่ใช้แสดงตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าได้ตลอดเวลาที่มีการเคลื่อนไหวประจำวัน โดยสมมุติให้เขียนออกไปอยู่นอกทรงกลมท้องฟ้า

ในแนวเส้นตรง ที่ต่อจุดเซนิธและเนเดอร์ แล้วมองลงมายังจุดเซนิธ ดังในรูปที่ 2.3.5 ซึ่งเป็นรูปเดียวกันกับรูปที่ 2.3.4



รูปที่ 2.3.5

รูปบนพื้นขอบฟ้าจากรูปที่ 2.3.4

2.3.5 โคออดิเนตระบบต่าง ๆ (The Coordinate System)

นักเดินเรือมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจ โคออดิเนตระบบต่าง ๆ บนทรงกลมท้องฟ้าและบนโลกเป็นอย่างดี เพื่อให้สามารถนึกถึงภาพวงกลมต่าง ๆ และตำบลที่ต่าง ๆ ที่ใช้อ้างถึงได้อย่างถูกต้อง จึงได้รวบรวมโคออดิเนตระบบต่าง ๆ ที่จำเป็นแก่การเดินเรือดาราศาสตร์มากล่าวไว้อีกครั้งหนึ่ง และเพื่อผู้ที่ศึกษาเอกสานวิจัยเล่มนี้จะได้เข้าใจดียิ่งขึ้น

Primary Circles เป็นวงใหญ่บนทรงกลมท้องฟ้า หรือบนผิวโลกเพื่อใช้อ้างถึงเป็นอันดับแรก เช่น อิเควเตอร์ท้องฟ้า อิเควเตอร์โลก และขอบฟ้า เป็นต้น

Secondary Circles เป็นวงใหญ่บนทรงกลมท้องฟ้า หรือบนผิวโลก เพื่อใช้อ้างถึงเป็นอันดับรอง เช่น วงเวลา เมอริเดี้ยน และวงสูงเป็นต้น

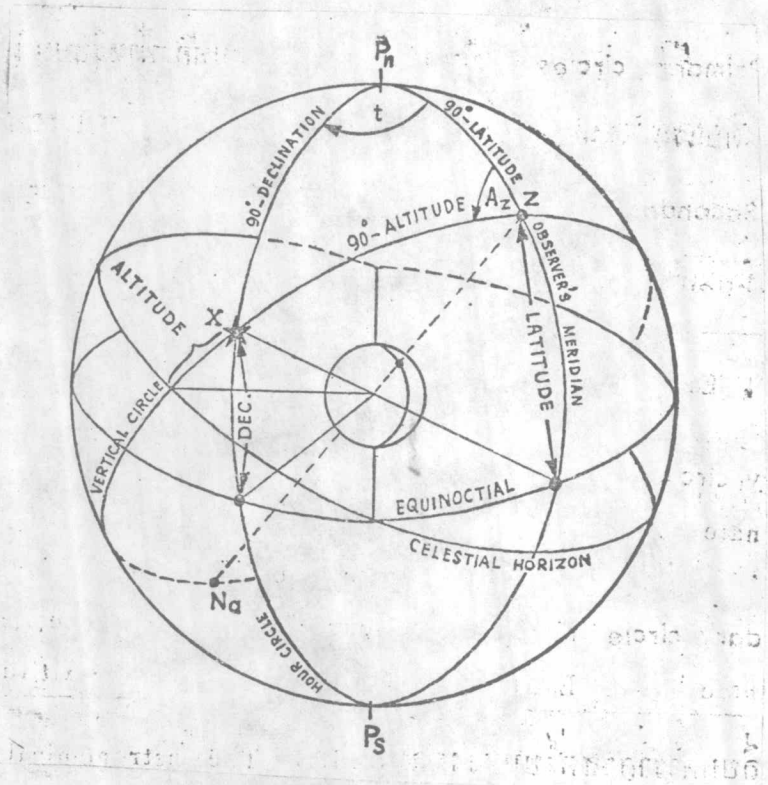
Earth		Celestial Sphere	
		Equator System	Horizon System
1. Primary Circle Coordinate	Equator Longitude	Equator Hour angle or Right asunsion	Horizon Azimuth
2. Secondary Circle Coordinate	Meridians Latitude	Hour Circles Declination	Vertical Circle Altitude

ตารางที่ 1

แสดงระบบบนทรงกลม

2.3.6 สามเหลี่ยมดาราศาสตร์บนทรงกลมท้องฟ้า (The Astronomical Triangle On The Celestial Sphere)

สามเหลี่ยมดาราศาสตร์ คือพื้นที่บนทรงกลมท้องฟ้า ประกอบไปด้วยเมอริเดี้ยนท้องฟ้าของผู้ตรวจ วงเวลาที่ผ่านวัตถุท้องฟ้าที่ทำการวัด และวงสูงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น ซึ่งเป็นการนำเอาโคออดิเนตระบบอิเควเตอร์ท้องฟ้ากับระบบขอบฟ้ามารวมกัน จุดที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ คือขั้วท้องฟ้าเซนิธของผู้ตรวจ และจุดตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าขณะนั้น



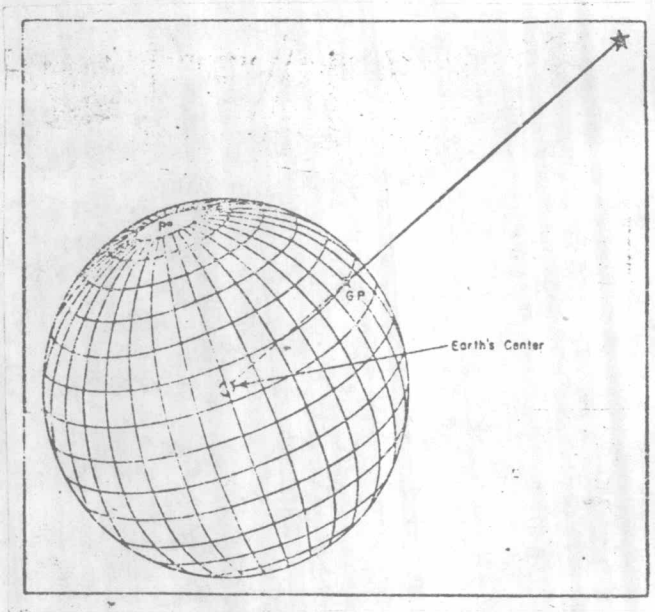
รูปที่ 2.3.6
แสดงรูปสามเหลี่ยมดาราศาสตร์

รูปที่ 2.3.6 สมมุติให้ผู้ตรวจและวัตถุท้องฟ้าอยู่ทางซีกโลกเหนือทั้งคู่ และต้องจำไว้ว่าด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมดาราศาสตร์เป็นระยะทางเชิงมุมทั้งสิ้น ด้านสองด้านของสามเหลี่ยมเกิดจากโคออดิเนตระบบอิเควเตอร์ท้องฟ้าด้านหนึ่ง คือ 90° - Dec. (Polar Distance) อีกด้านหนึ่งคือ 90° - Lat (Colatitude) ด้านที่สามเกิดจากโคออดิเนตระบบขอบฟ้า คือ 90° - Altitude (Zenith Distance) มีมุมสองมุมในสามเหลี่ยมดาราศาสตร์เท่านั้นที่ใช้ในเรื่องเดินเรือดาราศาสตร์ คือมุมเมอริเดี้ยน (t) และมุมแอซิมัธ (Az) ส่วนอีกมุมหนึ่งคือมุมที่วัตถุท้องฟ้า ซึ่งไม่ได้ใช้อะไรเลยนั้นเรียกว่า "Paralactic Angle" ตามในรูปที่ 2.3.6 สามเหลี่ยมดาราศาสตร์ คือ Pn Z X

2.3.7 Geographic Position (GP)

ถ้าหากนำเอาตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้าที่ปรากฏอยู่บนทรงกลมท้องฟ้าในขณะใดขณะหนึ่งมากำหนดลงบนผิวโลกเสีย ก็จะทำให้เกิดความเข้าใจในเรื่องเดินเรือดาราศาสตร์ง่ายยิ่งขึ้น

ในขณะใดขณะหนึ่งก็ตาม ถ้าลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางของวัตถุท้องฟ้าไปยังจุดศูนย์กลางโลก จุดที่เส้นตรงนี้ตัดกับผิวโลก เรียกว่า "Geographic Position" ของวัตถุท้องฟ้านั้น ใช้อักษรย่อว่า "GP"

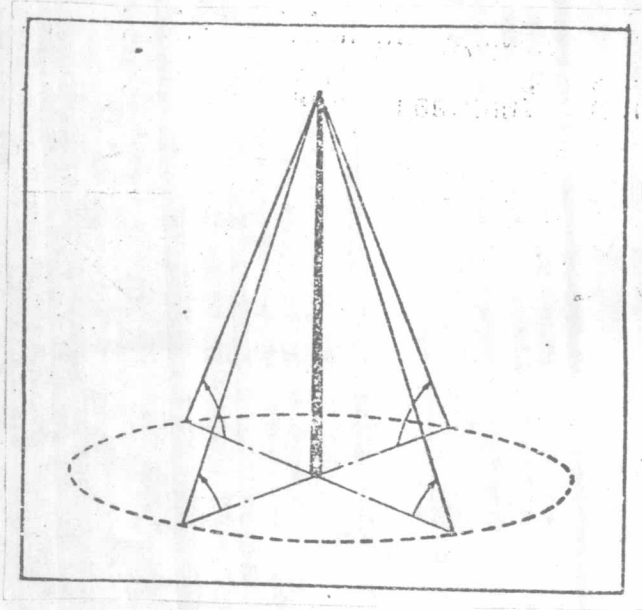


รูปที่ 2.3.7
ตำบลที่ The Geographic Position (GP)ของวัตถุท้องฟ้า

เนื่องด้วยวัตถุท้องฟ้าเคลื่อนตัวไปทางตะวันตกตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตาม ทุกขณะที่วัตถุท้องฟ้าเคลื่อนตัวไปนั้น ก็อาจสามารถกำหนดตำบลที่ "GP" ของวัตถุท้องฟ้าได้ตลอดเวลาเหมือนกัน โดยใช้ Dec และ GHA ที่ให้ไว้ในปฏิทินเดินเรือ มาทำเป็น Lat และ Long แล้วกำหนดตำบลที่ลงไปบนผิวโลกดังกล่าวแล้วในตอนต้น เมื่อทราบตำบลที่ "GP" ของวัตถุท้องฟ้าแน่นอนแล้ว นักเดินเรือก็อาจหา "เส้นตำบลที่"

(Line of Position) ได้ โดยการใช้เครื่องวัดแดด วัดสูงของวัตถุท้องฟ้านั้น เส้นตำบลที่ LOP นี้ ก็เหมือนกับเส้นตำบลที่ที่ได้จากการแบริ่งเกาะ หรือที่หมายบนบกตามที่เรียนมาแล้วในเรื่องการเดินเรือใกล้ฝั่ง

2.3.8 วงสูงเท่า (Circle Of Equal Altitude)



รูปที่ 2.3.8
ลักษณะของวงสูงเท่ารอบยอดเสา

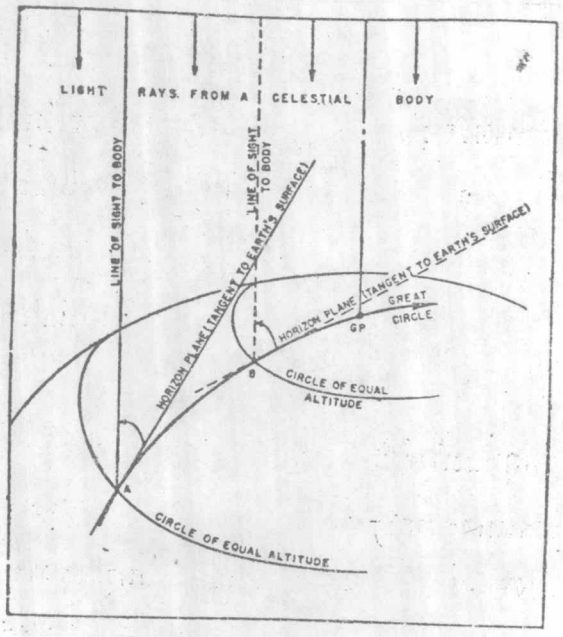
เพื่อความเข้าใจง่าย ๆ สมมุติว่ามีเสาต้นหนึ่งที่ทราบความสูงแล้ว ตั้งได้ฉากกับพื้นดิน และที่ยอดของเสามีสายลวดที่มีความยาวเท่ากันติดอยู่ แล้วขึงลงมาให้ปลายล่างของลวดสัมผัสกับพื้นโดยรอบของฐานเสา ระยะห่างจากเสาถึงปลายลวดจะเท่ากันทุกเส้น จุดที่ฐานของเสาตั้งอยู่จะเป็นจุด GP ของยอดเสา มุมระหว่างพื้นดินกับเส้นลวดที่จุดทุกจุดที่ปลายลวดจดพื้นดินจะเท่ากันทุกมุม เมื่อลากเส้นต่อจุดที่พื้นดินเหล่านั้น ก็จะเป็นวงกลมโดยมีจุดฐานของยอดเสาเป็นจุดศูนย์กลาง วงกลมนี้เรียกว่า "วงสูงเท่า" รอบยอดเสา

ถ้าทราบความสูงของเสาและทราบค่าของมุมที่ปลายลวดจดพื้นดินแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาระยะทางจากจุดฐานของเสาไปยังจุดต่าง ๆ บนเส้นรอบวงได้ (รัศมี)

จากสมมุติฐานนี้ก็สามารถนำไปใช้คำนวณหาระยะของเรือ ว่าอยู่ห่างจากของวัตถุท้องฟ้าได้ ในเมื่อได้ทำการวัดสูงของวัตถุท้องฟ้านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ข้อสมมุติฐานนี้ยังนำไปใช้ที่เดียวไม่ได้ เพราะเรืออยู่บนผิวโค้งของโลกซึ่งไม่ใช่พื้นราบและนักเดินเรือยังต้องพิจารณาอีกว่า วัตถุท้องฟ้าที่จะนำมาใช้นั้นมีความเหมาะสมในการหาระยะทางจากจุด GP ของวัตถุท้องฟ้านั้นได้หรือไม่เพียงใด ตามความเป็นจริงแล้วจะต้องคำนวณหาระยะทางจากจุด GP ของวัตถุท้องฟ้าไปตามความโค้งของผิวโลก จนถึงตำบลที่ของเรือโดยอาศัยการวัดสูงของวัตถุท้องฟ้าจากขอบฟ้าเห็น

ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือเกี่ยวกับเรื่องตรีโกณมิติทรงกลม และมุมที่วัดจากขอบฟ้าจริง (The True Horizon or Horizon) ซึ่งเป็นพื้นที่สัมผัสกับผิวโลก ณ ตำบลที่ของผู้ตรวจ

ได้ทราบมาแล้วว่า วัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ นั้นอยู่ห่างจากโลกไกลมาก และเส้นลำแสงจะขนานกันเมื่อฉายมาสู่โลก ถ้าผิวโลกเป็นพื้นแบนราบ มุมสูงของวัตถุท้องฟ้าแต่ละดวงก็จะคงที่เท่ากัน ไม่ว่าผู้ตรวจจะอยู่บนตำบลที่ใดบนผิวแบนราบนั้น ดังนั้น ระยะทางจากจุด GP ของวัตถุท้องฟ้าไปยังผู้ตรวจก็จะหาให้แน่นอนไม่ได้ และวงสูงเท่าก็จะไม่มี เพราะผู้ตรวจจะอยู่ห่างจากจุด GP เท่าใดก็ตาม จะวัดสูงของวัตถุท้องฟ้าดวงใดดวงหนึ่งได้สูงเท่ากันหมด คือเท่ากับ 90 องศา



รูปที่ 2.3.9
แสงที่มาจากวัตถุท้องฟ้าขนานกัน เมื่อผู้ตรวจอยู่ต่างตำบลที่กัน มุมสูงของวัตถุท้องฟ้าจะต่างกัน

อย่างไรก็ตาม มุมสูงที่ผู้ตรวจวัดจริง ๆ นั้น เป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่มองไปยังยังวัตถุท้องฟ้ากับเส้นตรงที่มองไปยังขอบฟ้าเห็น ครั้นเมื่อแก้ดิพ (Dip) แล้วก็จะเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่มองไปยังวัตถุท้องฟ้ากับเส้นขอบฟ้า แต่ผิวโลกเป็นผิวพื้นโค้ง ฉะนั้น พื้นขอบฟ้าของผู้ตรวจจะสัมผัสกับผิวโลกที่ผู้ตรวจอยู่เพียงจุดเดียวเท่านั้น ดังนั้น มุมระหว่างพื้นขอบฟ้าของผู้ตรวจ กับเส้นตรงที่มองไปยังวัตถุท้องฟ้า จะเปลี่ยนไป เมื่อผู้ตรวจเคลื่อนตัวเข้าหาหรือออกห่างจาก GP ของวัตถุท้องฟ้านั้น

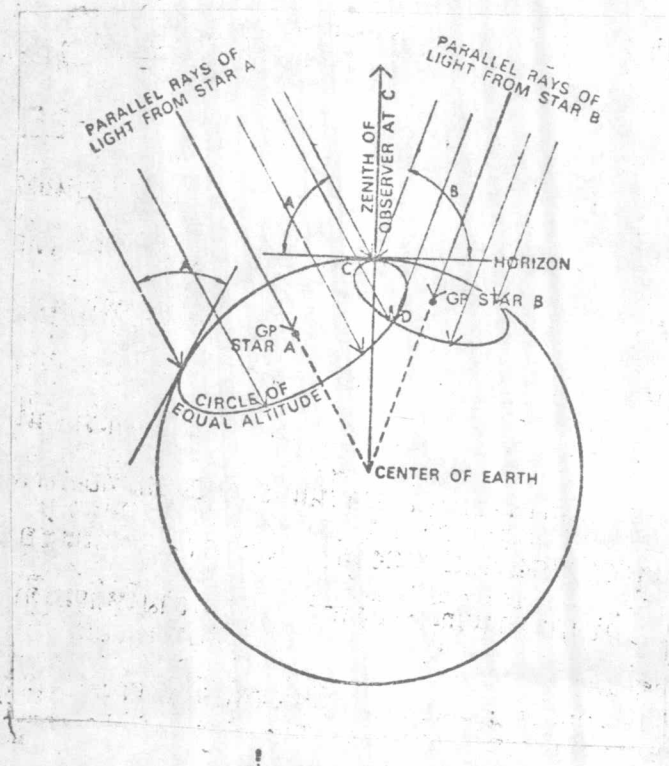
ตามรูปที่ 2.3.9 แสดงให้เห็นเส้นลำแสงของวัตถุท้องฟ้าดวงหนึ่งที่ฉายลงมาบนผิวโลก ณ ตำบลที่สองแห่งซึ่งมีพื้นของฟ้าต่างกันในเวลาเดียวกัน ที่จุด A มุมสูงจะเล็กกว่าที่จุด B ซึ่งเป็นมุมสูงของวัตถุท้องฟ้าดวงเดียวกัน และในขณะเดียวกันวงสูงเท่าของจุด A จะห่างจาก GP ของวัตถุท้องฟ้านั้นมากกว่าวงสูงเท่าของจุด B

สูงของวัตถุท้องฟ้าที่วัดได้จะผันแปรได้ส่วนกับระยะห่างจาก GP เพื่อความเข้าใจ ให้พิจารณารูปที่ 2.3.9 ถ้าผู้ตรวจไปอยู่ที่ GP สูงที่วัดได้ จะเท่ากับ 90° เมื่อผู้ตรวจถอยห่างจาก GP ไปทางทิศใดก็ตาม เป็นระยะทาง 1′ ของอาร์ควงใหญ่ คือเทากับระยะทาง 1 ไมล์ทะเล แล้ว สูงที่วัดได้จะเท่ากับ 89° 59′ และถ้าผู้ตรวจถอยห่างจาก ไป 90° ของอาร์ควงใหญ่ สูงที่วัดได้จะเท่ากับ 0 องศา ฉะนั้น จะเห็นได้ว่าระยะจาก GP ถึงผู้ตรวจจะเท่ากับ 90° - สูง (90°- Altitude) หรือ Coaltitude ดังนั้น การเขียนวงสูงเท่าบนพื้นโลก หรือบนแผนที่เดินเรือจึงง่ายมาก โดยใช้ GP เป็นจุดศูนย์กลาง และใช้ Coaltitude เป็นรัศมี

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า วงสูงเท่าคือวงเล็กบนผิวโลก ซึ่งเมื่อผู้ตรวจอยู่บนเส้นรอบวง ณ จุดใดก็ตาม จะวัดสูงวัตถุท้องฟ้าดวงใดดวงหนึ่งในเวลาเดียวกันได้สูงเท่ากัน

การเขียนเส้นวงสูงเท่าไม่จำเป็นต้องเขียนทั้งวง เขียนเพียงอาร์คสั้น ๆ ในบริเวณใกล้เคียงกับที่เรือรายงาน (DR) ก็พอ ถ้ารัศมีของวงสูงเท่ายาวมาก อาร์คสั้น ๆ ของวงสูงเท่าที่เขียนลงไปนั้น อาจถือว่าเป็นเส้นตรงได้

อาร์คสั้น ๆ ของวงสูงเท่าที่เขียนลงไปตามความต้องการนั้น เรียกว่า "เส้นตำบลที่ท้องฟ้า" (Celestial Line Of Position)



รูปที่ 2.3.10

วงสูงเท่าสองวงจากดาวสองดวง

ในรูปที่ 2.3.10 แสดงวงสูงเท่าสองวงจากดาวสองดวง ที่ผู้ตรวจทำการวัดสูงพร้อมกัน A เป็นสูงของดาว A ซึ่งผู้ตรวจจะอยู่ที่ใดก็ได้ บนวงสูงเท่า B เป็นสูงของดาว B ซึ่งผู้ตรวจจะอยู่ที่ใดก็ได้บนวงสูงเท่า วงสูงเท่าสองวงจะตัดกันบนผิวโลกหรือบนแผนที่ ณ จุด C และ D ซึ่งจะเป็นตำบลที่ที่แน่นอน (Fix) ของผู้ตรวจหรือของเรือ แต่จุด D ห่างไกลจากที่เรือรายงาน (DR) มาก จึงเป็นไปไม่ได้ ฉะนั้นตำบลที่เรือแน่นอนต้องอยู่ที่ C

2.3.9 สามเหลี่ยมเดินเรือ (The Navigational Triangle)

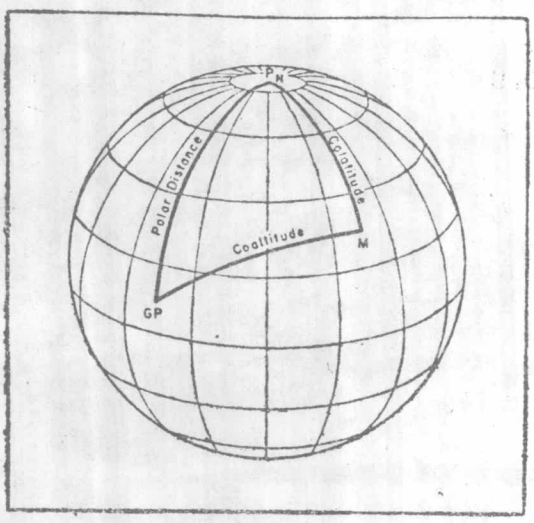
สามเหลี่ยมเดินเรือเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในเรื่องเดินเรือดาราศาสตร์ ซึ่งจะต้องทำความเข้าใจอย่างดีที่สุด สามเหลี่ยมเดินเรือก็เช่นเดียวกันกับสามเหลี่ยมดาราศาสตร์

แต่เป็นสามเหลี่ยมที่อยู่บนผิวโลก

สามเหลี่ยมเดินเรือประกอบไปด้วยจุด 3 จุดบนผิวโลก ซึ่งเกิดจากอาร์คของวงใหญ่ต่าง ๆ มาเชื่อมต่อจุดทั้ง 3 นั้น จุด 3 จุดได้แก่ตำบลที่ของผู้ตรวจ(M) ตำบลที่บนผิวโลกของวัตถุท้องฟ้าขณะทำการตรวจ (GP) และขั้วโลกที่อยู่ใกล้กับผู้ตรวจ (คือขั้วโลกที่โผล่จากขอบฟ้าของผู้ตรวจ เมื่อผู้ตรวจอยู่ละติจูดเหนือก็ใช้ขั้วเหนือ เมื่อผู้ตรวจอยู่ละติจูดใต้ก็ใช้ขั้วใต้) จุด GP อาจจะอยู่ซีกโลกเดียวกันกับผู้ตรวจหรืออยู่คนละซีกโลกก็ได้

เนื่องจากตำบลที่ที่แน่นอนของจุด M และจุด GP แทบจะเขียนลงไปให้ถูกต้องไม่ได้ เพราะสามเหลี่ยมอาจมีขนาดใหญ่มาก ดังนั้น ในการเขียนสามเหลี่ยมเดินเรือในขณะใดก็ตาม ให้กำหนดจุด M ลงไปบนผิวโลกที่ใดก็ได้ โดยให้อยู่ทางขั้วโลกที่ใกล้ที่สุด และให้กำหนด GP ลงไปตามทิศทางที่เห็นวัตถุท้องฟ้านั้น ทั้งนี้ โดยประมาณให้ใกล้เคียงกับของจริง เมื่อเขียนสามเหลี่ยมได้แล้ว ก็จะสามารถคำนวนแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการเดินเรือดาราศาสตร์ได้ เช่น สามารถหาตำบลที่เรือแน่นอนได้ ตรวจสอบความถูกต้องของเข็มทิศได้ ทำนายเวลาขึ้นและตกของวัตถุท้องฟ้าได้ คำนวณหาเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของแสงเงินแสงทองได้ และหาตำบลที่และชื่อของดาวต่าง ๆ ในท้องฟ้าได้ วิธีการคำนวณหาสิ่งต่าง ๆ จากสามเหลี่ยมเดินเรือนี้ เรียกว่า "เดินเรือดาราศาสตร์"

2.3.10 ด้านต่าง ๆ ของสามเหลี่ยมเดินเรือ (The Sides of The Navigational Triangle)



รูปที่ 2.3.11
สามเหลี่ยมเดินเรือเมื่อผู้ตรวจอยู่ละติดจูดเหนือและชื่อของด้านทั้งสาม

โคละติจูด (The Colatitude) คือด้านของสามเหลี่ยมที่ต่อระหว่างตำบลที่ของผู้ตรวจ (M) กับขั้วโลกที่ใกล้ผู้ตรวจ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 90° - ละติจูด วงใหญ่ที่มีอาร์คส่วนหนึ่งเป็นโคละติจูดนี้ คือ เมอริเดี้ยนของผู้ตรวจ

ระยะยอด (The Polar Distance) คือด้านของสามเหลี่ยมที่ต่อระหว่างจุด GP กับขั้วโลกที่ใกล้ผู้ตรวจ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 90° ± ดิคลิเนชั่น ในเมื่อผู้ตรวจกับวัตถุท้องฟ้าอยู่ในซีกโลกเดียวกัน คือละติจูดกับดิคลิเนชั่นมีชื่อเหมือนกัน และจะมีค่าเท่ากับ 90° + ดิคลิเนชั่น ในเมื่อผู้ตรวจกับวัตถุท้องฟ้าอยู่ต่างซีกโลกกัน คือละติจูดกับดิคลิเนชั่นมีชื่อต่างกัน วงใหญ่ที่มีอาร์คส่วนหนึ่งเป็นระยะยอดนี้ คือ เมอริเดี้ยนที่ผ่าน GP หรือวงดิคลิเนชั่นที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น

โคอัลติจูดหรือระยะเซนิธ (The Coaltitude Or Zenith Distance) คือด้านของสามเหลี่ยมที่ต่อระหว่างจุด GP กับ M ซึ่งมีค่าเท่ากับ 90 - Altitude (สูง) วงใหญ่ที่มีอาร์คส่วนหนึ่งเป็น Coaltitude นี้ คือวงสูงที่ผ่านวัตถุท้องฟ้านั้น

ด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมเดินเรือแต่ละด้าน ต่างก็เป็นอาร์คของวงใหญ่ด้วยกันทั้งสิ้น ความยาวของด้านนับเป็นระยะทางเชิงมุม จากจุดศูนย์กลางโลกซึ่งเมื่อคิดเป็นระยะทางบนผิวโลกแล้ว 1 ลิบดา เท่ากับ 1 ไมล์ทะเล (Naulical Mile)

ในรูปที่ 2.3.11 เป็นรูปสามเหลี่ยมเดินเรือที่ผู้ตรวจอยู่ละติจูดเหนือ โดยมีวัตถุท้องฟ้าอยู่ทางตะวันตกของผู้ตรวจ จงจำไว้ว่า ด้านสองด้านของสามเหลี่ยมคือ "ระยะยอด" และ "โคละติจูด" เป็นด้านที่เกิดจากโคออดิเนตระบบขอบฟ้า (ดูรูปที่ 2.3.6 ประกอบ)

มุมที่ใช้ในสามเหลี่ยมเดินเรือก็คือมุมเมอริเดี้ยน t กับมุมแอซิมัธ (Az)

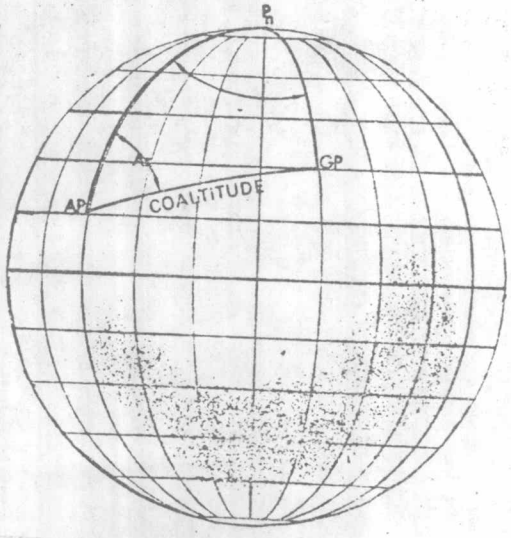
2.3.11 การใช้สามเหลี่ยมเดินเรือ (Use of the Navigational Triangle) การหาที่เรือในทะเลนั้น จะต้องทำการวัดสูงของวัตถุท้องฟ้าพร้อมกับอ่านเวลาอย่างถูกต้องแล้วจดเอาไว้ เวลาที่จดไว้นั้นนำเอาไปใช้หาตำบลที่ GP ของวัตถุ

ท้องฟ้าได้อย่างถูกต้อง โดยการเปิดปฏิทินเดินเรือ ซึ่งได้ให้รายละเอียดไว้พร้อมแล้ว

สำหรับสูงที่วัดมาได้ก็กลับให้เป็น Coaltitude เสีย ซึ่งก็จะเป็นรัศมีของวงสูงเท่า โดยมี GP เป็นจุดศูนย์กลาง ที่เรือก็จะอยู่ ณ จุดใดจุดหนึ่งบนวงสูงเท่านั้น

ตำบลที่เรือที่แน่นอนไม่อาจหาได้โดยการวัดสูงวัตถุท้องฟ้าเพียงครั้งเดียว หรืออย่างเดียว ถ้าได้ทำการแบริ่ง GP อย่างถูกต้องเช่นเดียวกับการวัดสูงพร้อม ๆ กับการวัดสูงแล้ว ก็จะหาที่เรือที่แน่นอนในขณะนั้นได้ โดยอาศัยคณิตศาสตร์ แต่ในปัจจุบันไม่มีทางที่จะวัดแอซิมัธ (แบริ่ง) ให้มีความละเอียดถูกต้องได้ ดังนั้น วัดสูงเพียงครั้งเดียวนี้ ก็ได้แต่เขียนวงสูงเท่า หรือเขียนเส้นตำบลที่สั้น ๆ เพียงเส้นเดียวลงในบริเวณที่คาดว่าเรือจะอยู่ ณ ที่นั้นเท่านั้น

เมื่อเป็นเช่นนี้จึงจำเป็นที่จะต้องใช้สามเหลี่ยมเดินเรือ มาคำนวณหาตำบลที่เรือ คือครั้งแรกให้พิจารณาสมมุติว่าเรืออยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง ตำบลที่เรือนี้เรียกว่า "ที่เรือสมมุติ" (Assumed Position) ใช้อักษรย่อว่า "AP" การพิจารณาเลือกที่เรือสมมุตินี้ให้เลือกใกล้กับ "ที่เรือประมาณ "Estimated Position) ใช้อักษรย่อว่า "EP" หรือใกล้กับที่เรือ "DR" ที่สุด แต่ที่เรือสมมุตินี้จะต้องให้มีค่าละติจูด และมุมเมอริเดี้ยน (t) เป็นจำนวนเต็มขององศา



รูปที่ 2.3.12
สามเหลี่ยมเดินเรือที่ทราบด้านสองด้านกับมุมหนึ่งมุมสิ่งที่ต้องการหาคือแอซิมัธ (A_z) กับโอลัติจูด

เมื่อเลือกตำบลที่เรือสมมุติได้แล้ว และทราบ GP ของวัตถุท้องฟ้าในขณะทำการวัดแล้ว โคละติจูด ระยะยอด และมุมเมอริเดี้ยน (t) ก็จะคำนวณหามาได้โดยง่าย เมื่อทราบด้านสองด้านและมุมหนึ่งมุมในสามเหลี่ยมเดินเรือเช่นนี้แล้ว สิ่งที่จำเป็นจะต้องทำการคำนวณหาก็คือ โคอัลติจูด และ มุมแอซิมัธ (Az) ดังในรูปที่ 2.3.12

การคำนวณหาโคอัลติจูด ก็คือการคำนวณหาสูง (Altitude) นั่นเอง เพราะ

โคอัลติจูด = 90° - สูง

การคำนวณหาสูงใช้สูตร Cosines ของตรีโกณมิติทรงกลม คือ

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมเดินเรือแล้ว

a	=	$90^\circ - h$	(h = สูง)
b	=	$90^\circ - L$	(L = ละติจูด)
c	=	$90^\circ - d$	(d = ดิคลิเนชั่น)
A	=	t	(t = มุมเมอริเดี้ยน)

เมื่อแทนค่าแล้วจะได้

$$\cos (90^\circ - h) = \cos (90^\circ - L) \cos (90^\circ - d) + \sin (90^\circ - L) \sin (90^\circ - d) \cos t$$

$$\sin h = \sin L \sin d + \cos L \cos d \cos t$$

สูตรนี้ใช้ได้เฉพาะเมื่อ L และ d มีชื่อเหมือนกัน

ถ้า L และ d มีชื่อต่างกัน $c = 90^\circ + d$

สูตรก็จะเป็น

$$\sin h = \sin L \sin d - \cos L \cos d \cos t$$

การคำนวณหาแอซิมัธ (A_z) ใช้สูตร Sines ของตรีโกณมิติทรงกลม คือ

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin C}{\sin C}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมเดินเรือแล้ว

A	=	t	(t = มุมเมอริเดี้ยน)
a	=	90 - h	(h = สูง)
C	=	Z	(Z = A_Z)
c	=	90°-d	(d = ดิคลิเนชั่น)

เมื่อแทนค่าแล้วจะได้

$$\frac{\text{Sin } (90°-h)}{\text{Sin } t} = \frac{\text{Sin}(90°-d)}{\text{Sin } Z}$$

$$\text{Sin } Z = \frac{\text{Cos } d \text{ Sin } t}{\text{Cos } h}$$

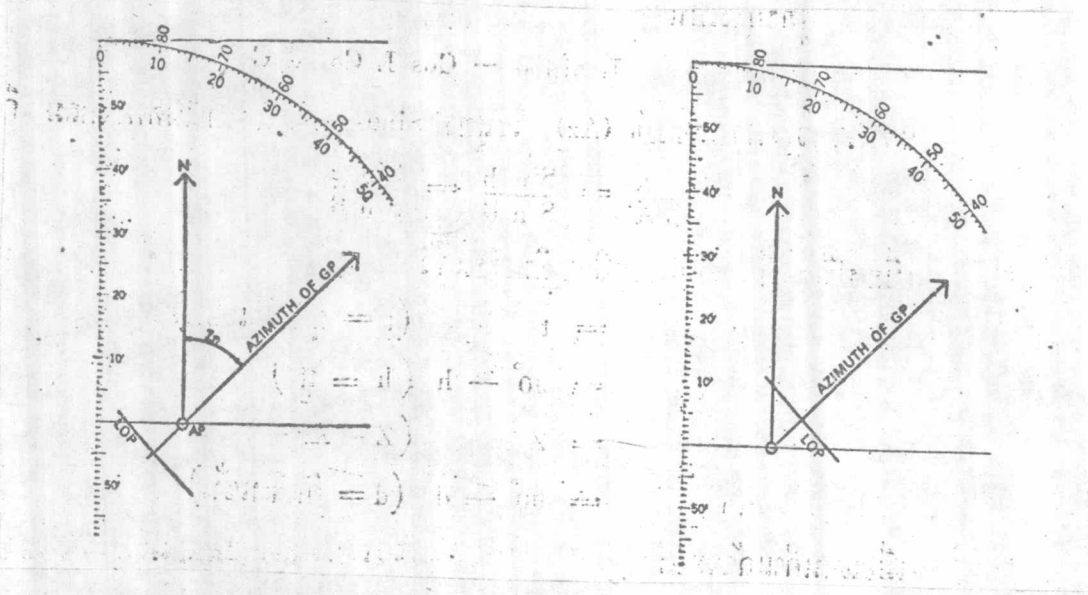
จากสูตรการคำนวณหาสูงและหาแอซิมัธนี้ เพื่อความสะดวกได้ทำเป็นมาตราสำเร็จไว้แล้ว คือ H.O. 214 โดยใช้ L,d และ t(HA) ไปเปิดมาตราก็จะได้ทั้งสูงและแอซิมัธเลยทีเดียว

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าในครั้งแรกนี้ ใช้ที่เรือสมมุติกับตำบลที่ GP ของวัตถุท้องฟ้าไปเปิดมาตราหาสูงมาได้ สูงที่ได้นี้เรียกว่า "สูงคำนวณ" Computed Altitude) ซึ่งใช้อักษรย่อว่า "Hc"

สำหรับสูงที่ได้จากเครื่องวัดแดด และแก้อัตราแก้ต่าง ๆ หมดแล้ว เรียกว่า "สูงจริง" หรือ "สูงวัด" (Obsurved Altitude) ซึ่งใช้อักษรย่อว่า "Ho"

สูงอินเตอร์เซปต์ (Altitude Intercept) ผลต่างระหว่าง Hc และ Ho ก็คือผลต่างของรัศมีของวงสูงเท่าสองวง โดยมี GP ของวัตถุท้องฟ้าเป็นจุดศูนย์กลาง วงสูงเท่าวงหนึ่งจะผ่านตำบลที่เรือสมมุติ (AP) วงสูงเท่าอีกวงหนึ่งจะผ่านตำบลที่เรือจริงที่ได้ทำการวัดสูงด้วยเครื่องวัดแดด ผลต่างระหว่าง Hc และ Ho นี้ เรียกว่า "สูงอินเตอร์เซปต์" (Altitude Intercept) หรือ "อินเตอร์เซปต์" (Intercept) เฉย ๆ ใช้อักษรย่อว่า "a"

a = Hc - Ho



อินเตอร์เซปต์ "a" เมื่อ Hc มากกว่า Ho "a" จะออกห่าง (AWAY) จาก GP GP ตามเส้นแอซิมัธของ GP โดยใช้ AP เป็นหลัก

อินเตอร์เซปต์ "a" เมื่อ Hc น้อยกว่า "a" จะเข้าหา (TOWARD) GP ตามเส้นแอซิมัธของ GP โดยใช้ AP เป็นหลัก

รูปที่ 2.3.13

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อรัศมีของวงสูงเท่าจากจุด GP ยาวมาก อาร์คส่วนหนึ่งของวงสูงเท่าอาจถือเป็นเส้นตรงได้ เส้นตรงซึ่งเป็นอาร์คส่วนหนึ่งของวงสูงเท่าที่ผ่าน ตำบลที่เรือจริงในขณะวัดสูงนั้น เรียกว่า "เส้นตำบลที่" (Line of Position) ใช้อักษรย่อว่า "LOP"

ถ้า Hc คือ สูงคำนวณจากที่เรือสมมุติ มากกว่า Ho คือสูงจริงที่วัดได้จากที่เรือจริง LOP จะอยู่ห่างจาก GP ของวัตถุท้องฟ้ามากกว่าที่เรือสมมุติ (AP) ในทำนองเดียวกัน ถ้า Hc น้อยกว่า Ho LOP จะอยู่ห่างจาก GP ของวัตถุท้องฟ้าน้อยกว่าที่เรือ-

สมมุติ (AP) ฉะนั้น ระยะ "อินเตอร์เซปต์" (a) ของ LOP ก็ต้องใช้วัดจากจุด AP ที่ได้เขียนลงไว้แล้วไปตามเส้นแอซิมัธของ GP ว่าจะออกห่าง (AWAY) หรือเข้าหา (TOWARD) ตำบลที่ของ GP คำว่า "ออกห่าง" ใช้อักษรย่อว่า "A" คำว่า "เข้าหา" ใช้อักษรย่อว่า "T" ดังในรูปที่ 2.3.13 ระยะอินเตอร์เซปต์ที่ใช้วัดนั้นเพื่อความสะดวกให้แตกเป็นไมล์ทะเล (ลิบดา)

2.3.12 การหาที่เรือ (Determining The Vessel's Position)

การหาที่เรือโดยใช้เส้นตำบลที่ (LOP) นั้น สามารถพูดให้เข้าใจง่าย ๆ ได้ดังนี้ คือ

มุมแอซิมัธ (Az) และ อินเตอร์เซปต์ (a) นั้นได้คำนวณจากสามเหลี่ยมเดินเรือ โดยการอาศัยสมมติ AP ขึ้นเมื่อเขียนจุด AP ลงไปบนแผนที่แล้ว ให้แปลงมุมแอซิมัธ (Az) ของ GP เป็นแอซิมัธจริง (Zn) ต่อจากนั้นให้เขียนเส้นแอซิมัธ-จริงของ GP จากจุด AP เส้นแอซิมัธจริงนี้จะชี้ไปในทางทิศที่ GP อยู่ ตามปกติจุด GP จะอยู่นอกแผนที่และไม่สามารถจะเขียนลงไปได้ แต่เนื่องจากอินเตอร์เซปต์วัดจาก AP ไปตามเส้นแอซิมัธจริง สุดแล้วแต่ว่าจะออกห่างหรือเข้าหา GP จงจำไว้ให้แม่นยำว่า ถ้าสูงคำนวณมากกว่าออกห่าง (Computed Greater Away) จุดบนเส้นแอซิมัธจริงที่ได้จากการกะระยะอินเตอร์เซปต์ ก็จะเป็นจุด ๆ หนึ่งบนเส้นวงสูงเท่าของเรือ (ผู้ตรวจ) ดังนั้น เส้นวงสูงเท่าของเรือ หรือเส้น LOP ก็จะตั้งฉากกับเส้นแอซิมัธจริง ณ จุดนั้น ดังในรูปที่ 2.3.13 แต่ว่าเส้น LOP ไม่ได้เป็นจุดตำบลที่เรือแน่นอน เป็นแต่เพียงแสดงว่าเรืออยู่บนเส้นนั้นเท่านั้น ตำบลที่เรือแน่นอนจะต้องเกิดจากจุดที่เส้น LOP ตัดกันอย่างน้อยสามเส้น ถ้าหากสามารถหาเส้น LOP สักสี่หรือห้าเส้นจากดาวหลายดวงมาตัดกันที่จุด ๆ เดียว จุดนั้นก็จะเป็นตำบลที่เรือที่แน่นอนมากยิ่งขึ้น ตามปกติในทางปฏิบัตินั้น เส้น LOP หลาย ๆ เส้นมิได้ตัดกันเป็นจุด ๆ เดียว ส่วนมากจะตัดกันเป็นรูปหลายเหลี่ยมเล็ก ๆ จุดศูนย์กลางของรูปหลายเหลี่ยมนั้นถือว่าเป็นที่เรือที่แน่นอนได้[8]

---

[8]โรจน์ หงส์ประสิทธิ์, นาวาเอก, เดินเรือดาราศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1; โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว, 2517) หน้า 58.

ที่กล่าวมาในบทนี้เป็นการหาที่เรือโดยอาศัยวัตถุท้องฟ้าเป็นที่หมาย คือการหาที่เรือจากดาราศาสตร์ ซึ่งเรียกว่า เดินเรือดาราศาสตร์ นั่นเอง

2.4 การหาที่เรือจากระบบอีเลคทรอนิคส์ (Electromic Position Fixing System)

การหาที่เรือจากระบบอีเลคทรอนิคส์ เป็นวิธีการหาที่เรือที่อาศัยการเดินทางของคลื่นวิทยุ ซึ่งเดินทางด้วยความเร็ว ประมาณ 300,000 Km/sec เป็นเครื่องช่วยในการวัดระยะทาง หรือวัดระยะทางต่าง (Distance Difference) ของสถานีส่งวิทยุและสถานีรับ (เรือ) เราอาจแบ่งระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ออกได้ตามลักษณะของเส้นตำบลที่เป็น 2 ระบบ[9] ดังต่อไปนี้

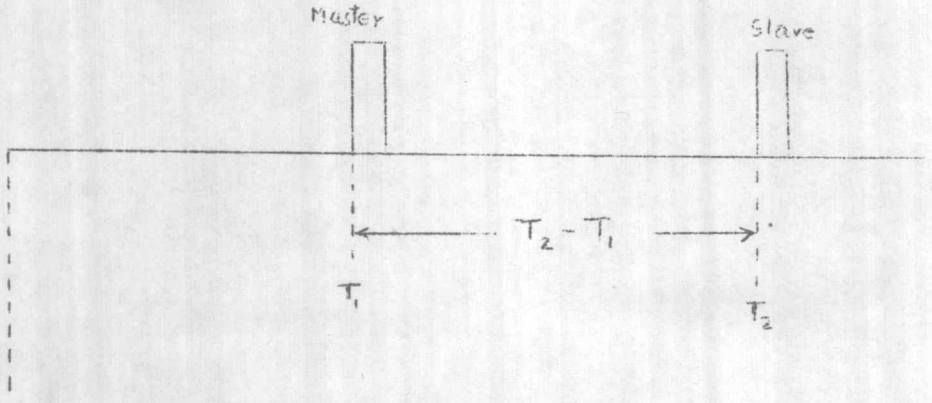
2.4.1 ระบบหาที่เรือแบบเส้นตำบลที่วงกลม ระบบนี้เป็นระบบซึ่งทำให้เกิดเส้นตำบลที่ เป็นวงกลมโดยรอบสถานีบก ซึ่งเรียกว่า เสลฟ (Slave) ส่วนสถานีเรือเรียกว่า มาสเตอร์ (Master) โดยอาศัยหลักการของเสียงสะท้อน (แต่ตามความเป็นจริงนั้นมิได้ใช้เสียง แต่ใช้คลื่นวิทยุแทน) โดยการส่งคลื่นวิทยุ (ในลักษณะของ ออกไปจากสถานีเรือ ซึ่งเรียกว่า Transmitted Pulse เมื่อสถานีบกรับคลื่นวิทยุได้แล้วก็จะส่งกลับมายังสถานีเรืออีก โดยสถานีเรือจะรับคลื่นวิทยุ ซึ่งเรียกว่า Received Pulsed และจะทำหน้าที่วัดเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางไปและกลับระหว่างสถานีเรือและสถานีบก ซึ่งจะเป็นระยะทาง 2 เท่า ของระยะทางระหว่างสถานีเรือและสถานีบก เนื่องจากคลื่นวิทยุเดินทางในระยะทาง 1 เมตร ใช้เวลา 3.3×10^{-9} วินาที ดังนั้น เครื่องมืออีเลคทรอนิคส์ที่สามารถวัดระยะทางได้ละเอียดถึง 1 เมตร ต้องมีความสามารถในการวัดเวลาได้ละเอียดถึง 6.6×10^{-9} วินาที ซึ่งระยะทางระหว่างเรือและสถานีบกจะสามารถหาได้ดังนี้ คือ

---

[9]ไพศาล วิสุตกุล, นาวาตรี, เอกสารประกอบการเรียนการเดินเรืออีเลคทรอนิคส์ (โรงเรียนนายเรือ, 2519).

สูตร

$$D = \frac{V}{2}(T_2 - T_1)$$



รูปที่ 2.4.1
การหาเวลาต่างระหว่างสัญญาณจาก Master และ Slave

D = ระยะทางระหว่างเรือ (Master) และสถานีบก (Slave)

T_1 = เวลาเริ่มส่ง Master จาก Master Pulse

T_2 = เวลาที่เครื่องรับ รับ Pulse จาก Slave Pulse ได้

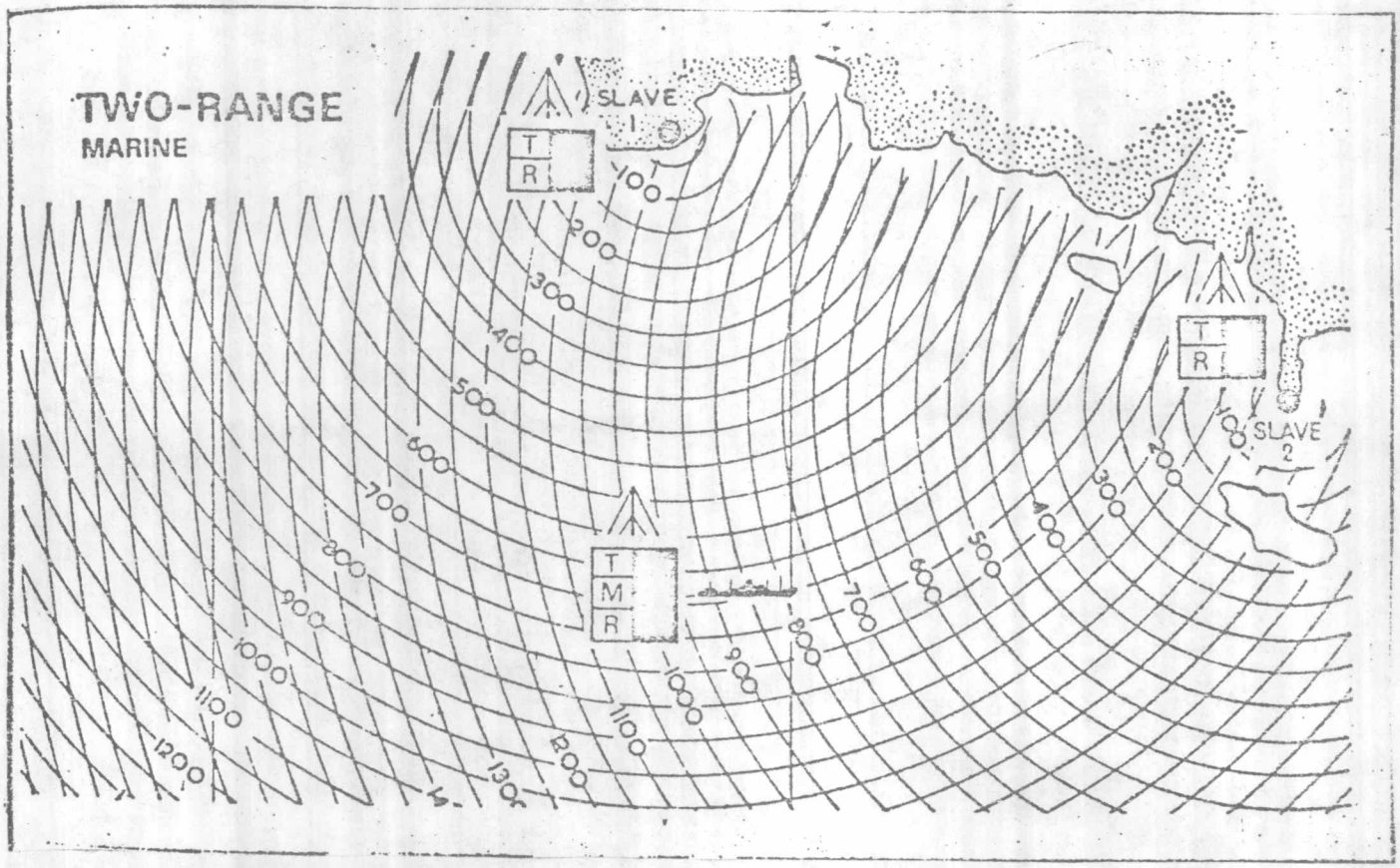
V = ความเร็วของคลื่นวิทยุ

จากหลักการดังกล่าวแล้ว จึงทำให้เกิด เส้นตำบลที่ เป็นวงกลมโดยรอบสถานีบก โดยมีสถานีบกเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมด้วยการแบ่ง ระยะห่างระหว่างวงกลมหนึ่ง ๆ เท่า ๆ กัน ถ้ามีสถานีบกอีก 1 แห่ง และทำงานเช่นเดียวกับสถานีแรก เราก็จะได้เส้นตำบลที่โดยรอบสถานีบกแห่งนั้นอีกชุดหนึ่ง

---

[10]ไพศาล วิสุตกุล, นาวาตรี, เอกสารวิจัย นายทหารนักเรียนเสนาธิการทหารอากาศ, ชุดที่ 21, (พระนคร : โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ 2519) หน้า 1.

ซึ่งเมื่อเครื่องรับในเรือทำงานโดยรับสัญญาณวิทยุจากสถานีบกทั้งสองพร้อม ๆ กันแล้ว เราก็จะได้ระยะทางระหว่างเรือและสถานีบกทั้งสอง และสามารถลงตำบลที่เรือได้ ในลักษณะการตัดของเส้นตำบลที่ของวงกลม 2 เส้น ดังรูปที่ 2.5.2



รูปที่ 2.4.2
ระบบหาที่เรือแบบเส้นตำบลที่วงกลม

2.4.2 ระบบหาที่เรือแบบเส้นตำบลที่ไฮเพอโบลา

หลักการทำงานเช่นเดียวกับแบบวงกลม แต่แทนที่เรือจะทำหน้าที่เป็นสถานีส่งและรับคลื่นวิทยุ (Master) กลับทำหน้าที่เป็นเครื่องรับอย่างเดียวเท่านั้น โดยรับสัญญาณวิทยุ (Pulse) จากสถานีส่ง 2 สถานี คือสถานีหนึ่งทำหน้าที่เป็น (Master) อีกสถานีหนึ่งทำหน้าที่เป็น Slave โดยสถานีทั้งสองจะส่งสัญญาณพร้อมกันโดยการควบคุมด้วย

ระบบ Synchronization[11] จากสถานี Master เมื่อเครื่องรับในเรือรับสัญญาณทั้งสองแล้ว ก็จะวัดเวลาต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะเท่ากับระยะทางต่างระหว่างเรือถึง Master และเรือถึง Slave นั่นเอง ถ้าระยะทางต่างนี้คงที่ตลอดไป ย่อมหมายถึงว่า เรืออยู่บนเส้นไฮเพอโบลา โดยมีสถานีทั้งสองเป็นจุดโฟกัส และถ้าเรามีสถานี Slave อีกสถานีหนึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับสถานีแรก เราก็จะได้เส้นตำบลที่ไฮเพอโบลา อีกชุดหนึ่ง ซึ่งทำให้สามารถหาที่เรือได้ โดยใช้เส้นตำบลที่ 2 เส้น ของไฮเพอโบลาตัดกัน การวัดระยะทางในกรณีนี้ คือ

$$D_s - D_m = V (T_2 - T_1)$$

ซึ่ง D_s = ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับสถานี Slave

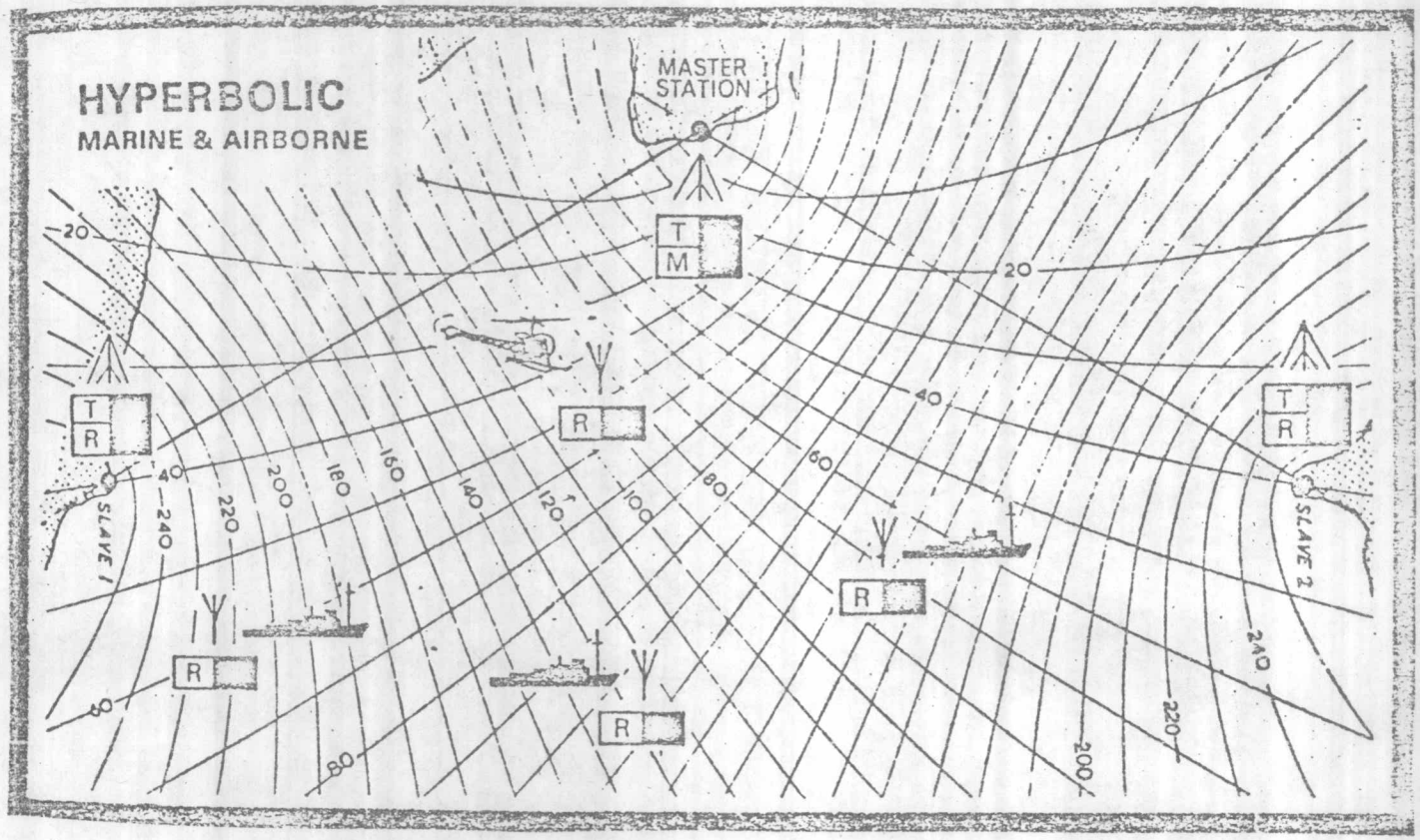
D_m = ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับสถานี Master

T_2 = ระยะเวลาของ Slave Pulse ในการเดินทางมาถึงเครื่องรับ

T_1 = ระยะเวลาของ Master Pulse ในการเดินทางมาถึงเครื่องรับ

---

[11] Hydrographic Survey Course, Vol. II (Tokyo : Japan, Hydrographic Department Maritime Safety, 1974) p. 89.



รูปที่ 2.4.3

ระบบหาที่เรือแบบเส้นตำบลที่ไฮเพอโบลา

จากหลักการนี้ทำให้ระบบไฮเพอโบลาสามารถทำงานได้ โดยไม่จำกัดจำนวนผู้ใช้ เนื่องจากผู้ใช้ (เรือ) เพียงแต่ติดตั้งเครื่องรับเท่านั้น ส่วนระบบวงกลมนั้นมีขีดจำกัดเกี่ยวกับจำนวนผู้ใช้ เพราะผู้ใช้ (เรือ) ทำหน้าที่เป็น Master คือเครื่องส่งสัญญาณด้วย จึงทำให้มีขีดจำกัดทางเทคนิคเกี่ยวกับระบบ Timesharing System นอกจากการวัดเวลาและระยะทางต่างแล้ว ยังมีวิธีการที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันอีกแบบหนึ่ง คือ การวัดความต่าง เฟส (Phase)[12] ของสัญญาณที่ส่งมาจากสถานี Master และ

---

[12]G.J. SONNENBERG : Radar and Electromic Navigation, p. 3.

Slave เนื่องจากสัญญาณวิทยุจะเปลี่ยน Phase ตลอดเวลา จาก 0 องศา ถึง 360 องศา เช่นนี้ตลอดไปตามระยะทางที่คลื่นวิทยุเดินทางไป โดยจะเปลี่ยนกี่รอบนั้นย่อมขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีส่งและสถานีรับ และขึ้นกับความถี่ที่ใช้ด้วย

เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางไปได้ระยะทางเท่ากับความยาว 1 ช่วงคลื่น เฟสจะเปลี่ยนจาก 0 องศา ถึง 360 องศา หรือ 0 ถึง 2π เรเดียน

สมมุติว่าระยะทางจาก Master ถึงเรือ = MP = $n_1 \lambda + l_1$

และ สมมุติว่าระยะทางจาก Slave ถึงเรือ = SP = $n_2 \lambda + l_2$

เมื่อ λ คือความยาวช่วงคลื่น (Wave length)

n_1 คือจำนวนช่วงคลื่นทั้งหมดนับจาก Master ถึง Receiver

n_2 คือจำนวนช่วงคลื่นทั้งหมดนับจาก Slave ถึง Receiver

l_1&l_2 คือความยาวซึ่งเป็นเศษของช่วงคลื่น

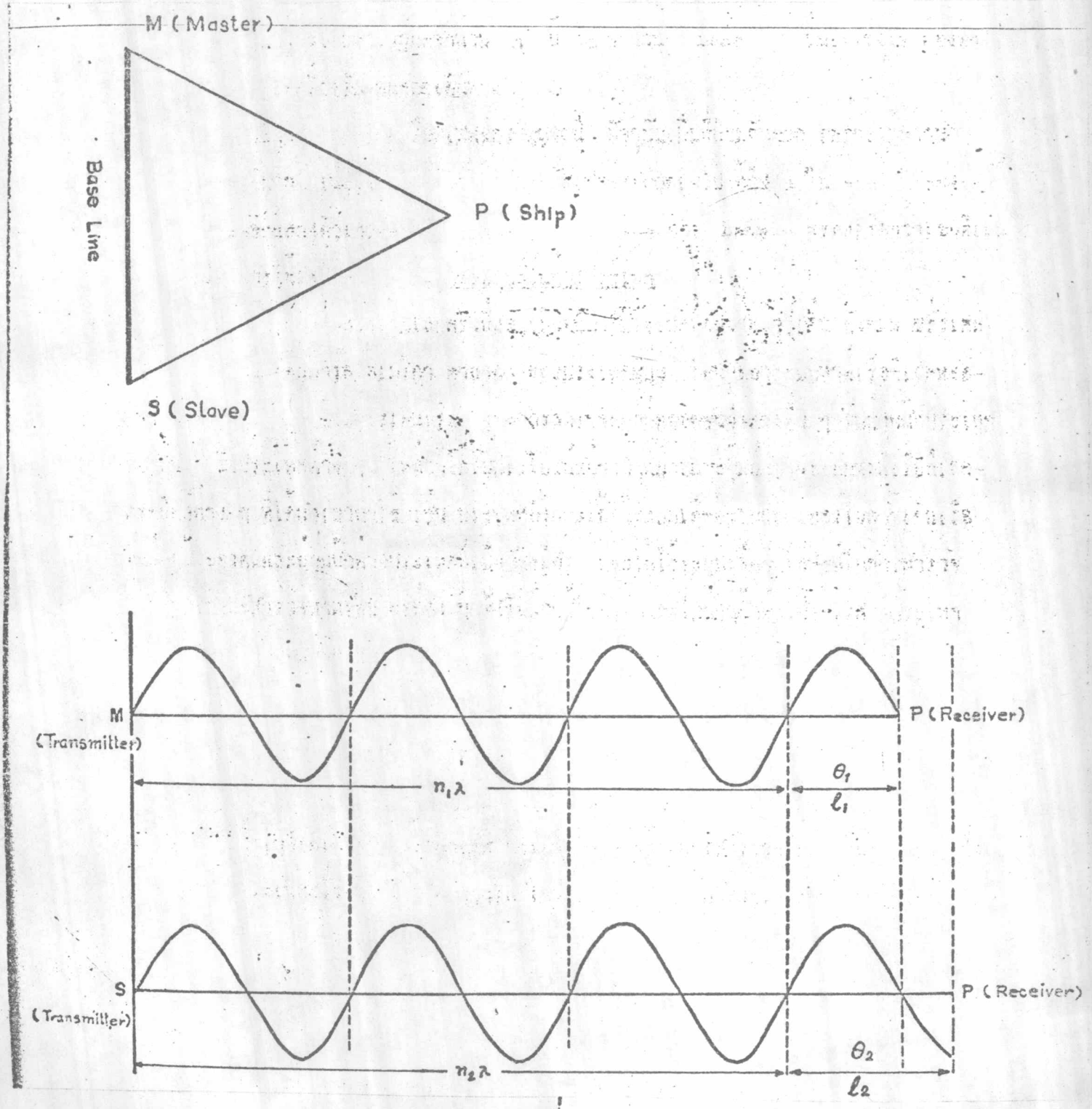
เราจะเห็นว่าระยะทางต่างระหว่าง MP และ SP คือ

$$SP - MP = \lambda (n_2 - n_1) + (l_2 - l_1)$$

ให้ $n = n_2 - n_1$ และ $l = l_2 - l_1$

$$SP - MP = \lambda n + l$$

หรือถ้าคิดเป็นจำนวนรอบหรือจำนวนของ Phase (ϕ) จะได้



รูปที่ 2.4.4

แสดงความต่าง Phase ระหว่างสัญญาณจาก Master และ Slave ซึ่งสัมพันธ์กับระยะทางต่างระหว่างเรือถึง Master และเรือถึง Slave

$$\phi = n + 1/\lambda \qquad \text{รอบ}$$

$$\phi = (n + 1/\lambda)2\pi \qquad \text{เรเดียน}$$

$$n = 1, 2, 3 \ldots\ldots\ldots n$$

เนื่องจากเครื่องมือวัด Phase หรือ Phasemeter ไม่สามารถวัดจำนวน (n) ได้ แต่วัดเศษของ (n) คือ $1/\lambda$ ได้ ดังนั้น จึงต้องมีเครื่องมืออีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า Counter สำหรับนับจำนวน (n) ที่เปลี่ยนแปลง โดยการตั้งจำนวน (n) ให้ตรงตามความเป็นจริงด้วยการหาตำบลที่ของเรือก่อนออกเดินทาง ซึ่งในทางปฏิบัติ จำนวน (n) นี้ คือจำนวน Lane นั่นเอง ซึ่งเราต้องตั้ง Counter ของเครื่องรับก่อนออกเดินทาง

วิธีเปรียบเทียบ Phase ของสัญญาณนี้ ปัจจุบันเป็นที่นิยมกันมาก เพราะให้ความละเอียดถูกต้องดีมาก เนื่องจากเครื่องวัดสามารถวัด Phase ละเอียดลงไปได้ถึง 1 ใน 100 ของ Lane ซึ่งจะแสดงตัวเลขที่หน้าปัดเครื่องรับได้ 1 ใน 100 ของ Lane หรือที่เรียกว่า เซนติเลน ซึ่งจะทำให้สามารถหาตำบลที่เรือได้ละเอียดกว่าวิธีการหาที่เรือด้วยระบบอิเลคทรอนิคส์แบบอื่น ๆ

ที่ได้กล่าวมาในบทนี้เป็นวิธีการหาที่เรือด้วยระบบอิเลคทรอนิคส์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่ก็ยังมีวิธีการอื่น ๆ อีกที่ผิดแผกไปจากที่ได้กล่าวมานี้ แต่หลักการเบื้องต้นแล้วก็จะอยู่ในลักษณะที่กล่าวมานี้ทั้งสิ้น ซึ่งรายละเอียดปลีกย่อย ผู้วิจัยจะกล่าวถึงในบทต่อไป

นอกจากระบบหาที่เรือดังกล่าวมาในบทนี้แล้ว ก็ยังมีระบบการหาที่เรือชนิดอื่น ๆ อีกบ้าง แต่เนื่องจากยังไม่เป็นที่นิยมแก่การเดินเรือ หรือยังมีปัญหาบางอย่างอยู่ที่ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับการเดินเรือของประเทศไทย เช่น การหาที่เรือด้วยระบบความเฉื่อย Inertial Navigation ซึ่งระบบนี้ใช้หลักการของการเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง แล้วนำอัตราเร่ง (Acceleration) มาพิจารณา กับการหมุนของโลก และกับการเคลื่อนที่ของวัตถุไปบนผิวโลก โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Laws of Motion) มาวิเคราะห์ ซึ่งการหาที่เรือแบบนี้จะให้ผลออกมาเป็น Latitude และ Longitude อยู่แล้ว จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้อง

นำมาวิจัยเพิ่มเติมอีก แต่การหาที่เรือด้วยระบบความเฉื่อยนี้มีปัญหาหลายประการ ที่ทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมแก่การเดินเรือ ซึ่งจะกล่าวไว้ในบทต่อไป.