บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 พิจารณาหาวิธีการหาที่เรือที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

3.1.1 พิจารณาเหตุผลและความจำเป็นของการหาที่เรือที่สมควรนำมาวิจัย โดยพิจารณาจากการหาที่เรือแบบต่าง ๆ ที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

การเดินเรือนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน นักเดินเรือใช้วิธีการแบบดั้งเดิมในการหาตำบลที่เรือโดยอาศัยธรรมชาติช่วย เช่น อาศัยที่หมายต่าง ๆ บนฝั่งเป็นเครื่องช่วยในการหาที่เรือ เช่น ภูเขา ขอบฝั่ง เกาะ แหลม เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เครื่องช่วยในการเดินเรือที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นที่หมายในการหาตำบลที่เรือ เช่น กระโจมไฟ ทุ่น และสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ในการเดินเรือไกลฝั่งก็ใช้วัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ เช่น ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ ดวงดาว ในการหาตำบลที่เรือของตน โดยอาศัยวิชาดาราศาสตร์ช่วยในการคำนวณหาที่เรือ วิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวมานี้ ต้องอาศัยธรรมชาติเป็นสำคัญ จึงมีขีดจำกัดด้วยสภาพอากาศและกาลเวลา ตลอดจนความโค้งของโลก ย่อมทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ไกล จึงทำให้นักเดินเรือไม่สามารถหาที่เรือของตนได้ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นในเวลากลางคืนหรือในขณะที่สภาพอากาศเลว เช่น ฝนตกหรือมีหมอก นักเดินเรือจึงต้องนำเรือของตนโดยใช้ที่เรือรายงาน (Dead Rekoning)[1] ซึ่งการเดินเรือแบบนี้สามารถหาที่เรือโดยประมาณได้ โดยใช้ทิศทางความเร็วและเวลาของการเดินทางในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ในการหาที่เรือ วิธีการหาที่เรือแบบนี้จะใช้เมื่อไม่สามารถหาที่เรือโดยวิธีอื่น ๆ ได้ เนื่องจากความผิดพลาดของตำบลที่เรือมาก และยิ่งเดินทางมานาน ๆ อัตราผิดจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัญหานี้จะหมดไปถ้าเราสามารถหาที่เรือของเราโดยใช้เครื่อง-

---

[1] Nathaniel Bowditch, Op.Cit., pp. 213-214.

มือทางอีเลคทรอนิคส์เข้าช่วย หรือใช้ระบบหาที่เรือแบบ Inertial Navigation แต่การหาที่เรือแบบ Inertial Navigation นั้น ใช้เทคนิคในการแก้ปัญหา, การวิเคราะห์ระบบ, การคำนวณ ที่ยุ่งยากและซับซ้อน[2] มีกฎเกณฑ์เฉพาะตัว แต่ประการสำคัญที่สุดคือราคาสูงมาก จึงเห็นได้ว่าระบบนี้ยังไม่เป็นที่นิยมแก่การใช้ในการเดินเรือทั่ว ๆ ไป จะมีใช้อยู่บ้างก็ได้แก่พวกเรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น เนื่องจากเรือประเภทนี้ต้องดำอยู่ใต้น้ำนาน ๆ ไม่สามารถที่จะใช้ระบบอื่นได้ ดังนั้น ในเอกสารวิจัยเล่มนี้ ผู้วิจัยจะไม่นำวิธีการหาที่เรือแบบ Inertial Navigation มาพิจารณา จึงเห็นว่า วิธีการหาที่เรือที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาในการหาที่เรือต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นนั้น มีวิธีทางเดียวเท่านั้น คือ ระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์นั่นเอง ซึ่งระบบหาที่เรือแบบนี้จะสามารถบริการให้แก่นักเดินเรือในการหาที่เรือของเขาได้ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีขีดจำกัดกาลเวลา ดินฟ้าอากาศ และ สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากการติดตั้งระบบหาที่เรือแบบนี้ได้กล่าวรวมไว้แล้วในบทที่ 1.4 แล้ว

3.1.2 การใช้ระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ในต่างประเทศ

นับตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา ประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส นอร์เวย์ สวีเดน เดนมาร์ค อเมริกา คานาดา และประเทศญี่ปุ่นได้นำเอาระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ระบบต่าง ๆ มาใช้ในการเดินเรือและการสำรวจแผนที่ตลอดจนกิจการอื่น ๆ ในน่านน้ำประเทศของตน ซึ่งประเทศต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับประโยชน์อย่างมากมาย และคุ้มค่าจากระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ต่าง ๆ ที่ได้นำเอามาใช้ เช่น ประเทศอังกฤษได้ใช้ระบบเดคก้า เนวิเกเตอร์ในการเดินเรือในน่านน้ำของตนและน่านน้ำ

---

[2] G.D.Dunlap, H.H. Shufeldt; Captain, Usnrcretired ; Dutton's Navigation and Piloting, (Twelfth Edition, Printed by United States Naval Institute an napolis, Maryland) p. 579.

ต่างประเทศที่เป็นพันธมิตร และได้ใช้ระบบเด็คก้าไฮฟิกส์ในการสำรวจแผนที่ทะเล และสำรวจหาทรัพยากรต่าง ๆ ทั้งในน่านน้ำของตนและในน่านน้ำต่างประเทศ ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ระบบ ลอแรน-เอ ลอแรน-ซี ในการเดินเรือในน่านน้ำตนและในน่านน้ำต่างประเทศ ใช้ระบบ ลอแรค ชอร์แลน และ เรดิสท์ ในการสำรวจแผนที่และสำรวจทรัพยากร เช่น สำรวจน้ำมันในทะเลในอ่าวแมกซิโก ใช้ในด้านการทหาร เช่น ใช้ระบบเรดิสท์ในการกวาดทุ่นระเบิดที่ท่าเรือไฮฟอง ซึ่งเรียกว่า Operation End Sweep ประเทศญี่ปุ่นใช้ระบบ ลอแรน-ซี และระบบ เด็คก้าเนวิเกเตอร์ ในการเดินเรือ และเด็คก้าไฮฟิกส์ ในการสำรวจแผนที่และการสำรวจทางสมุทรศาสตร์ ประเทศฝรั่งเศษใช้ระบบทอแรนในการเดินเรือและการสำรวจแผนที่ และอื่น ๆ และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ใช้ระบบทอแรนในการเดินเรือและการสำรวจน้ำมันบริเวณนอกฝั่งของประเทศจีน

จากตัวอย่างต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า ระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์นั้น ได้พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่ามีประโยชน์อย่างมากมาย ทั้งในด้านการเดินเรือ กิจการทหาร และการค้นหาทรัพยากรธรรมชาติในทะเล

สำหรับการเดินเรือรอบโลกนั้น ต่อไปในอนาคตอันใกล้นี้ประเทศต่าง ๆ จะได้หันมาใช้ระบบโอเมก้า ซึ่งมีสถานีส่งเพียง 8 แห่งเท่านั้น แต่มีโครงข่ายคลุมไปเกือบทั่วโลกแล้วในขณะนี้ และระบบนี้อาจถือได้ว่าเป็นระบบสากลต่อไป

3.1.3 การใช้ระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ในประเทศไทย

ในระหว่าง ปี พ.ศ.2503 - 2505 เรือสำรวจอเมริกันชื่อ U.S.S. Maury[3] (AGS - 16) นำโดย (APT. J.M.M. MARSHALL USN & U.S.S. SERANO

---

[3]CAPT.J.M. Marshall USN. LCDR.R. Haupt USN, Final Report of Survey Operation in the Gulf of Thailand (Commander Task Unit 73.2.1, Son Francisco, California 1961) p. 1.

(AGS - 24)นำโดย LCDR.F.C. SEARL USN. ได้เดินทางจากฐานทัพเรือ PEARL HARBOR มายังประเทศไทยเพื่อทำการสำรวจแผนที่ทะเล และสำรวจสมุทรศาสตร์ในบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ตามโครงการสำรวจแผนที่สามปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการผลิตแผนที่เดินเรือและแผนที่ทางการทหาร ตลอดจนเก็บข้อมูลต่าง ๆ ทางสมุทรศาสตร์ เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝึกทางเรือของประเทศภาคี ส.ป.อ.(สนธิสัญญาป้องกันแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หรือ SEATO) ตลอดจนช่วยเหลือราชนาวีไทยในการสร้างแผนที่เดินเรือในอ่าวไทยใหม่ เพื่อทดแทนแผนที่เดินเรือของอังกฤษ หมายเลข 2414 ซึ่งเก่าและล้าสมัยแล้ว

ในการสำรวจแผนที่ทะเลในอ่าวไทยคราวนี้ เรือสำรวจอเมริกันได้นำเอาระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์มาใช้เป็นครั้งแรกในอ่าวไทย โดยในการสำรวจระยะใกล้ฝั่งคือในระยะไม่เกิน 30 ไมล์ทะเลจากฝั่ง ใช้ระบบหาที่เรือ SHORAN[4] (SHORT RANGE NAVIGATION) ส่วนในระยะห่างฝั่งประมาณ 150 ไมล์ทะเล ใช้ระบบหาที่เรือ LORAC[5] (LONG RANGE ACCURACY) อย่างไรก็ตาม หลังจากหมดระยะเวลาสามปีตามโครงการสำรวจที่ได้วางไว้แล้ว งานสำรวจก็ยังไม่เสร็จสิ้น โดยเสร็จไปเพียง 50% ของพื้นที่ทั้งหมดของอ่าวไทยเท่านั้น (ดูผนวก ข.) คือ ตั้งแต่อ่าวไทยตอนบนลงมาจนถึงบริเวณจังหวัดชุมพร ทั้งนี้ เนื่องจากการสำรวจของเรือสำรวจอเมริกันในอ่าวไทยนั้นมีอุปสรรคต่าง ๆ หลายอย่างทั้งทางด้านเทคนิคและในด้านอื่น ๆ

เมื่อเรือสำรวจอเมริกันได้เดินทางกลับไปแล้ว ทางกรมอุทกศาสตร์ได้เสนอกองทัพเรือเพื่อทำหนังสือถึง จม.ทร.ประจำกรุงเทพฯ เพื่อขอเครื่องมือหาที่เรือซึ่งใช้แล้วให้แก่ ทร.ไทย และขอส่งเจ้าหน้าที่ไปฝึกการใช้เครื่องและบำรุงรักษาเครื่องที่สหรัฐอเมริกา ซึ่งปรากฏว่า กองทัพเรืออเมริกันได้ให้ความช่วยเหลือด้วยดี

---

[4]Ibid, pp. 1-2, p. 6

[5]Ibid, pp. 4-5.

ในระหว่างปี พ.ศ.2508 - 2509 กรมอุทกศาสตร์ไทยจึงได้รับเครื่องมือดังกล่าว และได้เริ่มทำการทดลองที่บริเวณอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ปรากฏว่าได้ผลดีพอสมควร

ในปี พ.ศ.2511 กรมอุทกศาสตร์ได้นำเครื่องมือนี้ไปทำการสำรวจแผนที่ทะเลบริเวณบ้านท้ายเหมือง ถึงบ้านชาวน้ำ จังหวัดพังงา ปรากฏว่าได้ผลดี ต่อมาในปี พ.ศ.2512 ได้นำออกสำรวจบริเวณปากน้ำแม่กลองและท่าจีนเป็นครั้งสุดท้ายได้ผลพอสมควร หลังจากนี้แล้วก็ไม่ได้นำออกใช้อีก เนื่องจากเครื่องระบบนี้เริ่มเก่าและล้าสมัย ตลอดจนอะไหล่ก็หายากมาก และมีราคาแพง ในปีเดียวกันนี้เอง กรมอุทกศาสตร์จึงได้เสนอกองทัพเรือเพื่อจัดหาระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิกส์ไว้ใช้ในการสำรวจแผนที่ไกลฝั่งในระยะปานกลาง เนื่องจากเห็นความจำเป็นในการที่จะต้องมีระบบหาที่เรือ ระบบใดระบบหนึ่งไว้ใช้ในราชการ เพื่อทำการสำรวจแผนที่ในบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน และในปี พ.ศ.2517 จึงได้รับอนุมัติให้จัดหาได้ ในวงเงินงบประมาณ 2 ล้านบาท ซึ่งกรมอุทกศาสตร์ได้พิจารณาเลือกระบบหาที่เรือ TORAN ของบริษัท SERCEL ประเทศฝรั่งเศส และกำลังนำระบบนี้ไปใช้ในงานสำรวจวางท่อน้ำมันตามโครงการเร่งด่วนของการพลังงานชาติอยู่ที่จังหวัดภูเก็ต ซึ่งปรากฏว่าใช้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก เพราะสามารถทำให้งานเสร็จก่อนกำหนดถึง 9 เดือน ทำให้สามารถประหยัดงบประมาณลงได้หลายแสนบาท

3.1.4 ระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ที่จะนำมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

จากบทที่ 2.1.5 จะเห็นได้ว่า การหาที่เรือด้วยระบบอีเลคทรอนิคส์นั้นแบ่งออกได้ตามลักษณะของเส้นตำบลที่เป็น 2 ระบบเท่านั้น คือ ระบบหาที่เรือด้วยเส้นตำบลที่วงกลม และระบบหาที่เรือด้วยเส้นตำบลที่ไฮเพอโบลา แต่ผู้ผลิตระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ ได้ทำการผลิตออกจำหน่าย และได้ตั้งชื่อให้แตกต่างกันออกไป แล้วแต่บริษัทและประเทศของผู้ผลิตอุปกรณ์เหล่านั้นขึ้นมา แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ผลของมันก็มีเพียงสองระบบที่ได้กล่าวไปแล้ว คือ เส้นตำบลที่จะออกมาในรูปของวงกลม และไฮเพอโบลา เท่านั้น ในที่นี้ผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงแต่เฉพาะระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและยังคง

ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และนับว่าแพร่หลายในต่างประเทศก็คือ ระบบเรดิสท์ (Ragdist System) ระบบเด็คก้า (Decca Navegator) ระบบทอแรน(Toran) ระบบ ลอแรน-ซี (Loron - C)และระบบโอเมก้า (Omaga) จากการพิจารณาและศึกษาทุกระบบที่กล่าวมานี้ พบว่าทุกระบบจะให้เส้นตำบลที่แบบไฮเพอโบลาทั้งสิ้น[6] แม้ระบบเรดิสท์จะให้เส้นตำบลที่เป็นแบบวงกลมก็ตาม แต่ก็สามารถให้เส้นตำบลที่แบบไฮเพอโบลาได้ด้วยเช่นกัน และเนื่องจากให้เส้นตำบลที่ออกมาเป็นแบบไฮเพอโบลานี้เอง ลักษณะของการนำมาใช้ของทุกระบบจึงคล้าย ๆ กัน คือสิ่งสำคัญในการนำมาใช้จะต้องประกอบด้วย แผนที่เดินเรือ แผนที่แสดงเส้นไฮเพอโบลาของสถานีส่งต่าง ๆ ที่เขียนไว้บนกระดาษโปร่งแสง เครื่องรับสัญญาณจากสถานีส่งต่าง ๆ เพื่อที่จะทราบได้ว่าอยู่ ณ เส้นไฮเพอโบลาที่เท่าใด ตัดกับเส้นไฮเพอโบลาที่เท่าใด เพื่อจะได้นำมาทำการ Plot ลงในแผนที่แสดงเส้นไฮเพอโบลาได้ถูกต้อง หลังจากนั้นจึงนำแผนที่ไฮเพอโบลาไปทาบกับแผนที่เดินเรือเพื่อทำการเปรียบเทียบดูว่าจุดที่เราทำการ Plot ไปนั้น อยู่ ณ พิกัดภูมิศาสตร์เท่าใด จากเหตุที่ระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ทั่ว ๆ ไปใช้ระบบเส้นตำบลที่ไฮเพอโบลานี้เอง ผู้วิจัยจึงนำเอาระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์แบบให้เส้นตำบลที่ไฮเพอโบลามาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อผลของเอกสารวิจัยเล่มนี้จะได้สามารถนำไปใช้กับระบบต่าง ๆ ที่กำลังแพร่หลายอยู่ทั่วไปในปัจจุบันได้ และด้วยเหตุที่การให้เส้นตำบลที่ออกมาเป็นแบบไฮเพอโบลานั้น มีลักษณะการหาที่เรือ คล้าย ๆ กันทุกแบบ ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการที่จะนำระบบใดระบบหนึ่งมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ก็ย่อมจะให้ผลไม่แตกต่างกันนัก ถึงจะมีแตกต่างกันบ้างในส่วนของ out put ที่เครื่องรับสัญญาณของระบบแต่ละชนิดให้ออกมา แต่หลักการก็จะเป็นแบบไฮเพอโบลาทั้งสิ้น เราสามารถที่จะดัดแปลงให้เข้ากันได้ เพราะเป็นส่วนภายนอก ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับปัญหาของการนำมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แต่อย่างใด เพราะ-

---

[6]ไพศาล วิสุตกุล, นาวาตรี, <u>เอกสารวิจัยโรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ, ชุดที่ 11</u> (พระนคร : โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ) บทที่ 2.

เพราะปัญหาของเอกสารวิจัยเล่มนี้อยู่ที่ว่า Impute ที่จะเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น คือ ตำแหน่งของเส้นไฮเพอโบลาที่เครื่องรับสัญญาณในเรือให้ออกมา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกเอาระบบทอแรน ซึ่งกรมอุทกศาสตร์เรามีใช้อยู่ขณะนี้ และเป็นระบบที่เราทดลองใช้ได้ผลมาแล้ว เพื่อผู้ศึกษาเอกสารวิจัยเล่มนี้จะได้เห็นอย่างจริงจัง มีหลักฐานแน่นอนในการที่จะทดสอบความถูกต้อง ทั้งยังอาจเป็นประโยชน์แก่กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือต่อไป

3.2 ระบบงานของเครื่องมือหาที่เรือแบบทอแรน (TORAN)

3.2.1 กล่าวโดยทั่วไป ระบบที่เรือทอแรน (TORAN=Topographic Radio Navigation) เป็นระบบหาที่เรือที่สร้างขึ้นตามหลักการของ E.A.H. Honore โดยบริษัท Sercel ประเทศฝรั่งเศส โดยถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ.2493 มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในเรือสำรวจหาน้ำมันในทะเล และต่อมาก็ได้นำเอาระบบหาที่เรือระบบนี้ไปใช้ในการสำรวจแผนที่ทะเลโดยกรมอุทกศาสตร์ฝรั่งเศส เพราะกรมอุทกศาสตร์ฝรั่งเศสเห็นว่าระบบหาที่เรือระบบนี้มีความถูกต้องของการหาที่เรืออยู่ในเกณฑ์สูง คือความถูกต้องของตำบลที่เรือบริเวณใกล้เส้นฐานอยู่ในเกณฑ์ 1-2 เมตร เท่านั้น ในปัจจุบันระบบหาที่เรือนี้ ได้มีผู้ใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากประเทศฝรั่งเศสเองแล้ว ก็มีประเทศ อิตาลี, คานาดา, เนเธอร์แลนด์, เดนมาร์ค, อินโดนีเซีย, บางประเทศในอาฟริกา, ประเทศไทย และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยเฉพาะประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนนั้นได้ใช้ทอแรนมาตั้งแต่ระบบนี้ยังใช้หลอด ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้วงจร IC แทน ประเทศนี้ก็ยังใช้ทอแรนอยู่

ระบบทอแรนได้รับการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ยุคของการใช้หลอดอีเลคทรอนิคส์จนกระทั่งถึงยุคปัจจุบัน ทั้งเครื่องรับและเครื่องส่งทอแรนได้เปลี่ยนมาใช้วงจรทรานซิสเตอร์และวงจร IC หมดแล้ว ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ ทอแรนพี-10 และทอแรนพี-100 ทอแรนพี-10 เป็นระบบหาที่เรือในระยะใกล้ คือประมาณ 90 กิโลเมตร หรือประมาณ 50 ไมล์ทะเล แต่ทอแรนพี-100 มีระยะทำการไกล 400 ไมล์ทะเล โดยใช้กำลังส่งออกอากาศของเครื่องส่ง 100 วัตต์ และเสาอากาศสูง 24 เมตร แต่ในเวลากลางคืน

ระยะทำการไกลจะลดลงเหลือประมาณ 100-150 ไมล์ทะเล ทั้งนี้ เนื่องจากการรบกวนของสัญญาณวิทยุต่าง ๆ และจาก Sky wave ระบบหาที่เรือแบบทอแรนนี้นอกจากจะใช้ได้กับเรือแล้ว ยังสามารถใช้ได้กับเครื่องบินที่มีความเร็วไม่เกิน 470 ไมล์ทะเล ได้ด้วย

ระบบหาที่เรือแบบทอแรนนี้เป็นระบบที่ให้เส้นตำบลที่แบบไฮเพอโบลา ไม่จำกัดจำนวนผู้ใช้ สามารถเปลี่ยนลักษณะของโครงข่ายได้หลายแบบตามความเหมาะสม เช่นแบบ X, Y, Z, W, V และ S Mode แต่ที่นิยมใช้กันมากนั้นเป็นแบบ V -Mode และ X Mode

ความถี่ที่ใช้ในระบบทอแรนใช้ความถี่อยู่ในย่านคลื่นสั้น (Short Wave) คือ ระหว่าง 1.6 MH_z - 3.8 MH_z โดยมีความยาวคลื่นระหว่าง 80-180 เมตร และความกว้างของเลนอยู่ระหว่าง 40-90 เมตร ความละเอียดของเฟสมิเตอร์วัดได้ถึง 1/100 ของเลน

3.2.2 หลักการทำงานของเครื่องหาที่เรืออิเลคทรอนิคส์ทอแรน

พิกัดไฮเพอโบลาของเส้นตำบลที่ อิเลคทรอนิคส์สามารถหาได้โดยใช้เครื่องรับในเรือรับคลื่นวิทยุจากสถานีบก 2 สถานี แล้ววัดความต่างเฟส ซึ่งการวัดนี้กระทำโดยทำให้เกิด beat frequency ขึ้นระหว่างความถี่ 2 ความถี่ ที่ใกล้กัน ซึ่งส่งมาจากเครื่องส่ง 2 เครื่อง ซึ่ง beat frequency ที่ได้จากเครื่องรับในเรือนี้ จะถูกเปรียบเทียบกับ beat frequency ที่รับโดยเครื่องรับบนบก แล้วส่งกลับมาที่เครื่องรับในเรือโดยเครื่องส่งอีกเครื่องหนึ่งบนบก ซึ่งเราเรียกว่าสถานี Reference วิธีการนี้จึงไม่ต้องการระบบ Syncronization ระหว่างเครื่องส่งต่าง ๆ ทำให้ Stability ของระบบดี

ระบบทอแรนสามารถทำงานได้หลาย Mode หรือหลายรูปแบบ เช่น แบบ S, V, W, X, Y และ Z Mode ซึ่งแต่ละ Mode จะประกอบด้วยอุปกรณ์เครื่องส่งและสถานี Reference ต่าง ๆ กันไป

ทอแรนระบบ Z Mode เป็นหลักการเบื้องต้นของระบบทอแรน ซึ่งทำให้เกิดเส้นตำบลที่ เป็นโครงข่ายไฮเพอโบลา 1 โครงข่าย ได้ดังนี้

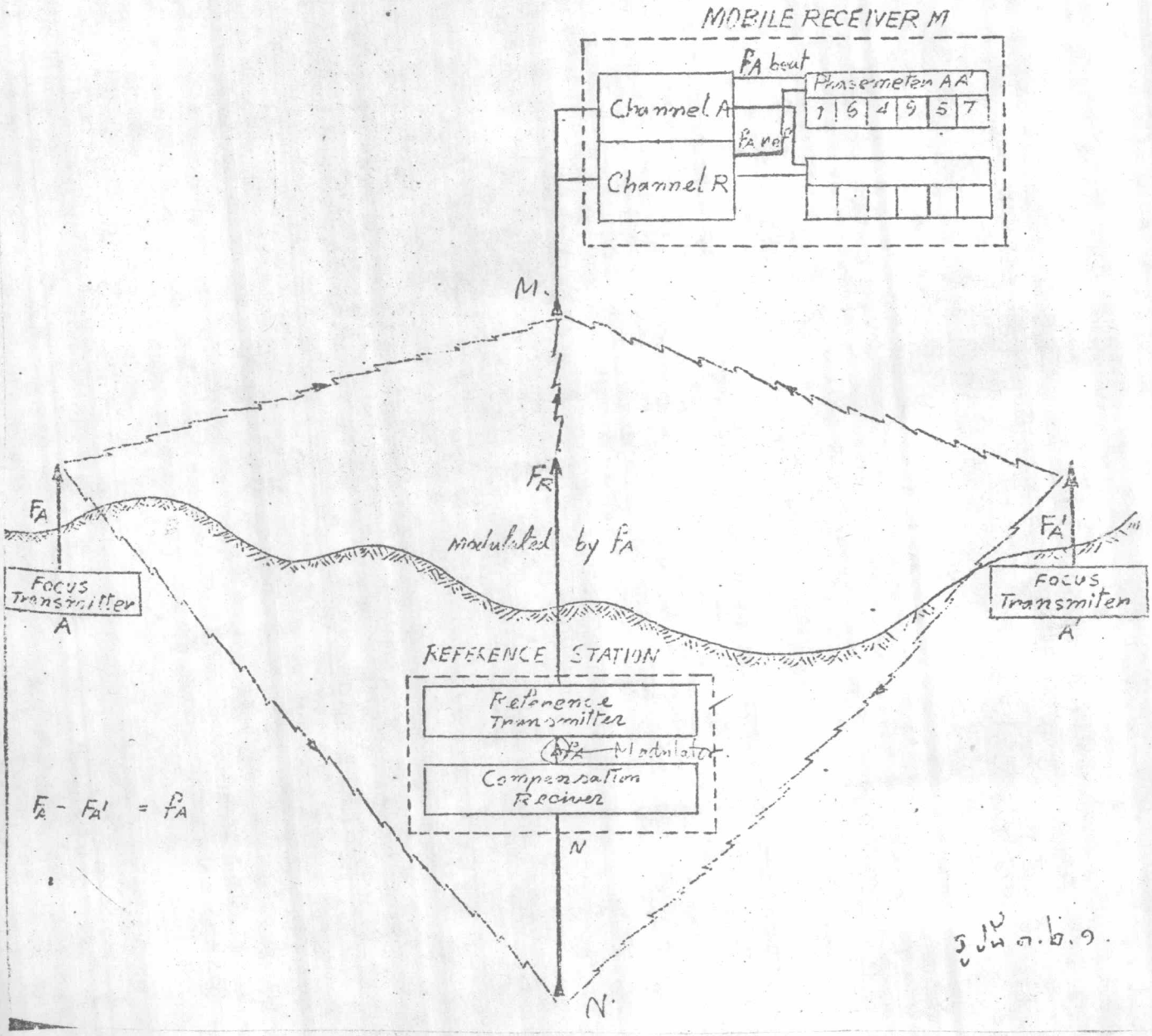
ถ้าเราเอาเครื่องส่งทอแรน 2 เครื่อง ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว 2 แห่ง คือ สมมุติเป็น A และ Á ซึ่งระยะระหว่าง A และ Á นี้ ไม่เกิน 200 กิโลเมตร เครื่องส่งทั้งสองจะส่งคลื่นวิทยุความถี่ F_A และ $F_{Á}$ ตามลำดับ โดยไม่มีการโมดูเลชั่น และเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งความถี่นี้อยู่ในระหว่าง 1.6 - 3.8 MH_z แล้วแต่จะเลือกใช้ และจะทำให้ความกว้างของ Lane เปลี่ยนไประหว่าง 40-90 เมตร

ความถี่ FA และ FÁ นี้จะต่างกันเพียง 80-200 H_z เท่านั้น นั่นคือ ความถี่ บีท

$$fA = F_A - F_{Á} \quad \text{.....(1)}$$

ส่วนในเรือจะติดตั้งเครื่องรับซึ่งจูนความถี่ระหว่าง FA และ FÁ ซึ่งความถี่นี้ = $\frac{1}{2}$ (FA + FÁ) และให้มี Band Width อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ fA ดังนั้น เครื่องรับในเรือจะรับความถี่ FA และ FÁ ในขณะเดียวกัน และ Detector จะแยก Beat frequency fA ออกมา เฟสของความถี่บีท fA จะเท่ากับเฟสต่างระหว่างความถี่ทั้งสอง FA และ FÁ ซึ่งความต่างเฟสของ fA นี้ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงต่อระยะทางต่างระหว่างเรือกับสถานี A และสถานี Á ดังนั้น ถ้าเราเอาเฟสมิเตอร์วัดเฟสต่างของ fA ได้ เราก็จะสามารถรู้ได้ว่าเวลานี้เรืออยู่บนเส้นเฟสค่าคงที่ (คือ เส้นไฮเพอโบลิค LOP) เส้นใดเส้นหนึ่ง ซึ่งเส้นไฮเพอโบลิคนี้จะมีโฟไซ ณ จุด A และ Á คือจุดที่ตั้งของสถานีทั้งสองนั่นเอง คลื่นความถี่ FA และ FÁ เริ่มเดินทางออกจากเสาอากาศเครื่องส่ง ณ สถานี A และ Á ณ เวลาใดเวลาหนึ่งไม่พร้อมกัน ดังนั้น ค่าของเฟสเริ่มแรกของความถี่ทั้งสองจะมีค่าใดค่าหนึ่ง สมมุติให้เป็น ϕ_A และ $\phi_{Á}$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่เราไม่ต้องการ และค่าทั้งสองนี้จะเป็นค่าเท่าใดก็ได้ เมื่อเริ่มเดินเครื่องใหม่ก็จะเปลี่ยนค่าไป เพราะเครื่องส่งทั้งสองเป็นแบบส่งออกโดยอิสระ

ไม่เกี่ยวข้องกันโดยระบบ Synchronization และ ϕ_A และ $\phi_{A'}$ นี้จะทำให้ลบล้างไปได้ ดังนี้



รูปที่ ง.ข.9.

รูปที่ 3.2.1

คลื่นความถี่ทั้งสองจะเดินทางจากสถานีส่ง A และ A′ ไปยังเรือเป็นระยะทาง AM และ ÁM ด้วยเวลา $\frac{AM}{V}$ และ $\frac{ÁM}{V}$ ซึ่ง คือความเร็วของคลื่นวิทยุที่เดินทางไปในอากาศของโลก(V = 300,000 กิโลเมตร/วินาที บนบก หรือ 299,650 กิโลเมตร/วินาที ในทะเล)

ดังนั้น เมื่อคลื่นเดินทางจากสถานีบกไปยังสถานีเรือ จะมีเฟสเท่ากับเฟสเริ่มต้น + เฟสเปลี่ยนเนื่องจากการเดินทาง ดังนี้คือ

$$\begin{matrix} \phi_A + FA \cdot \frac{AM}{V} \\ \phi_{A'} + FA' \cdot \frac{ÁM}{V} \end{matrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

สัญญาณที่เครื่องรับรับได้จะถูกแอมปริไฟด์ แล้วส่งไปยังวงจรดีเทคเตอร์ และถูกกรองโดย filter เพื่อให้ได้ out put ณ ความถี่ บีท จะเท่ากับความต่างของเฟสของคลื่นความถี่ทั้งสอง คือ

$$\phi_M = \phi_A - \phi_{A'} + \frac{FA}{V} \cdot AM - \frac{FA'}{V} \cdot ÁM + KM \ldots\ldots(3)$$

KM คือเฟสที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย หลังจากสัญญาณผ่านวงจรความถี่ต่ำในเครื่องรับ (เป็นค่าประจำของแต่ละเครื่อง)

แทนค่า FA′ จากสมการ (1) ลงใน (3) เราจะได้

$$\phi_M = \phi_A - \phi_{A'} + \frac{FA}{V}(AM - ÁM) + \frac{fA}{V} \cdot ÁM + KM \ldots\ldots(4)$$

เทอม $\frac{FA}{V}(AM-ÁM)$ ก็คือเฟสต่างของสัญญาณของคลื่นความถี่ FA เนื่องจากคลื่นเดินทางจาก A และ A′ มายังเครื่องรับในเรือ ซึ่งก็คือระยะทางต่างระหว่าง AM และ ÁM ซึ่งความต่างเฟสนี้จะคงที่ตลอดไปตามเส้นไฮเพอโบลา ซึ่งมีโฟไซ ณ จุดที่คงที่ A และ A′

สถานีอ้างอิงและทดแทน (Reference Station and Compensation Receiver)

อย่างไรก็ดี ตามทฤษฎีดังกล่าวของระบบนี้ยังใช้ประโยชน์ไม่ได้ ทั้งนี้ เพราะเฟส ϕ_A และ $\phi_{A'}$ เราไม่สามารถรู้ได้ ทำให้ค่า ϕ_M ที่วัดได้ไม่มีความหมาย แต่ปัญหานี้แก้ได้โดย

เอาเครื่องรับเครื่องหนึ่งที่มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องรับที่ M แต่เอาไปตั้งไว้บนบก ณ ที่สมมุติว่า N ระยะ A และ Á จึงคงที่ เครื่องรับนี้จะรับคลื่นความถี่ FA และ FÁ จากสถานี A และ Á และความถี่บีท fA แบบเดียวกับเครื่องรับในเรือเช่นกัน ดังนั้น เฟสที่เครื่องรับบนบกได้รับก็จะเป็นแบบเดียวกับในเรือ แต่ต่างกันที่ค่าคงที่ตลอดเวลา เพราะเครื่องรับบนบกไม่เคลื่อนที่

ดังนั้น สมการของเฟสจะเป็น

$$\phi_N = \phi_A - \phi_{A'} + \frac{FA}{V}(AN - \acute{A}N) + \frac{fA'}{V} AN + KN \quad \ldots\ldots(5)$$

ซึ่งค่า KN ก็คือค่าคงที่เช่นเดียวกับ KM แต่เนื่องมาจากเครื่องรับที่ N ณ ที่ N นี้ เราตั้งเครื่องส่งอีกเครื่องหนึ่งใกล้ ๆ กัน ในระยะห่างกันประมาณ 250 เมตร เครื่องส่งนี้จะส่งความถี่อีกความถี่หนึ่งซึ่งต่างจาก FA และ FÁ โดยความถี่นี้จะถูกโมดูเลทด้วยความถี่ บีท fA ซึ่งส่งผ่านมาจากเครื่องรับตามสายเคเบิล

เครื่องรับในเรือจะต้องมีภาครับช่วง R อีกช่วงหนึ่ง เพื่อรับความถี่จากสถานี N ด้วยความถี่ FR โดยเครื่องรับในเรือจะรับคลื่นความถี่ FR ซึ่งโมดูเลทกับ fA(80 Hz และ 200 Hz) เครื่องรับในเรือจะกรองเอาสัญญาณความถี่ fA จากสถานี N ไว้ ซึ่งมีเฟสดังนี้

$$\phi_{MN} = \phi_A - \phi_{A'} + \frac{FA}{V}(AN - \acute{A}N) + \frac{fA}{V}\acute{A}N + \frac{fA}{V}NM + K_N + K_{MN} \quad \ldots(6)$$

ซึ่ง K_{NM} นี้ คือค่าคงที่เช่นเดียวกับ K_M และ K_M ซึ่งในที่นี้คือค่าเฟสคงที่ซึ่งเปลี่ยนไปในวงจร ความถี่ต่ำของเครื่องรับช่อง R ในเรือ ดังนั้น เครื่องรับในเรือ จึงได้รับเฟสอ้างอิงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นค่าคงที่

ถ้าเราต่อเฟสมิเตอร์เข้ากับ Out put ของเครื่องรับในเรือทั้งช่อง A และช่อง R เราจะได้ความต่างเฟสออกมาดังนี้

$$\phi_A = \phi_M - \phi_{NM} \quad \text{.....(7)}$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าสมการ (4) และสมการ (6) ลงในสมการ (7) จะกลายเป็น

$$\phi_A = \frac{FA}{V}(AM-\acute{A}M) - \frac{FA}{V}(AN-\acute{A}N) + \frac{fA}{V}(\acute{A}M-NM) - \frac{fA}{V}\acute{A}N + K_M + K_N + K_{NM} \quad \text{....(8)}$$

เราจะเห็นได้ว่าเทอม ϕ_A และ $\phi_{A'}$ ถูกลบล้างหมดไปจากการเปรียบเทียบเฟสระหว่าง ϕ_M และ ϕ_{NM} ดังนั้น เราจึงเรียกสถานีบกซึ่งเป็นสถานีรับและส่งแบบโมดูเลชั่นนี้ว่าเป็นสถานีอ้างอิง (Reference Station)

จากสมการ (8) เราจะเห็นว่าเทอมแรก $\frac{FA}{V}(AM-\acute{A}M)$ นี้จะทำให้เกิดเส้นตำบลที่ไฮเพอโบลิคขึ้น เพราะเป็นเทอมของความต่างของเฟส เทอม $\frac{FA}{V}(AN-\acute{A}N)$, $\frac{fA}{V}\acute{A}N$, K_M, K_N และ K_M เป็นค่าเฟสคงที่ ณ ความถี่ที่ใช้และของวงจรเครื่องรับ ซึ่งขจัดให้หมดไปได้โดยการแคลลิเบชั่นที่เครื่องรับในเรือ เมื่อโครงข่ายทอแรนถูกตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เทอม $\frac{fA}{V}(\acute{A}M-NM)$ ขึ้นอยู่กับตำบลที่ของเรือ คือระยะ $\acute{A}M$ และ NM แต่ fA มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ F_A ($\frac{fA}{FA} = \frac{1}{20,000}$) และโดยปกติตัดทิ้งได้ แต่ถ้าต้องการความถูกต้องสูงก็ทำได้โดยหาอัตราแกของเส้นไฮเพอโบลา โดยต้องรู้ค่าพิกัดของจุด N ซึ่งต้องการความถูกต้องน้อยกว่าจุด A และ $\acute{A}$ ได้ถึง 20,000 เท่า และดังนั้น เราจึงสามารถหาค่าประมาณได้จากแผนที่ คุณลักษณะของเส้นตำบลที่ไฮเพอโบลา และของทอแรนขึ้นอยู่กับตำบลที่ของจุดโฟไซ A และ $\acute{A}$ เท่านั้น โดยไม่เกี่ยวกับ

ตำบลที่ของสถานี N ดังนั้น การเลือกที่ตั้งของสถานีอ้างอิง N จึงสามารถเลือกได้อย่างกว้างขวาง สิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกที่ตั้งของสถานีอ้างอิงก็คือ ไม่ควรมีแผ่นดินบังระหว่างสถานี N กับสถานีโฟไซ และสถานีเรือเท่านั้น เพราะจะทำให้เกิดความผิดขึ้นได้ เนื่องจากการเดินทางของคลื่นวิทยุผ่านแผ่นดินและทะเล ซึ่งทำให้ความเร็วผิดไป และมีผลต่อเฟสด้วย

เฟสมิเตอร์ที่สถานีเรือจะวัดค่า

$$\phi_A = \frac{FA}{V}(AM-\acute{A}M) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

แต่ $\frac{V}{F_A} = \lambda_A$

ดังนั้น $\phi_A = \frac{AM - \acute{A}M}{\lambda_A}$ $\ldots\ldots\ldots$ (10)

ระบบดังที่เราได้กล่าวมานี้ประกอบด้วย เครื่องส่ง A และ Á และสถานีอ้างอิง N ซึ่งทำให้เกิดเส้นตำบลที่ของทอแรน 1 คู่ ดังนั้น เราจะได้เส้นตำบลที่อีกหนึ่งได้โดยติดตั้งทอแรนอีกคู่หนึ่งหรือกี่คู่ก็ได้ ซึ่งจะประกอบกันเป็นโครงข่ายของทอแรน และจำนวนเครื่องรับในเรือไม่มีจำกัดจะติดกี่เครื่องก็ได้ เพราะเป็นแบบไฮเพอโบลิค

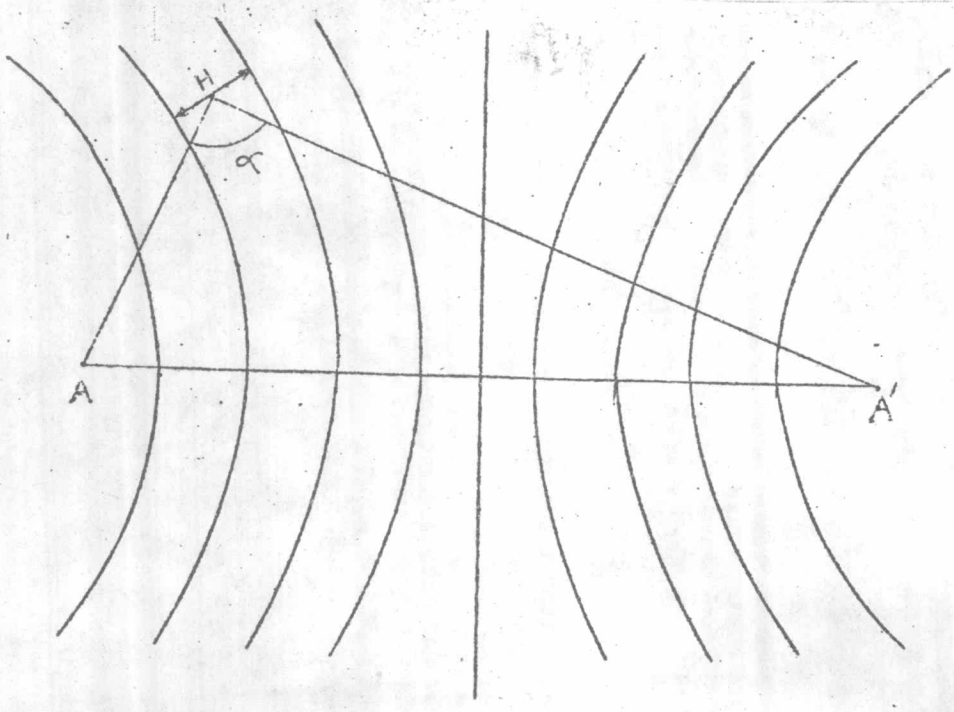
เลนไฮเพอโบลิค (Hyperbolic Lane)

เฟสมิเตอร์ของเครื่องรับในเรือ จะวัดความเปลี่ยนแปลงของเฟสของสัญญาณใน 1 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ ทุกครั้งที่ระยะทางต่างระหว่างระยะ AM และ ÁM ต่างกันจากจุดโฟกัส A และ Á เป็นระยะ 1 ช่วงของความยาวคลื่น ซึ่งมีความถี่ช่วงระหว่างเส้นไฮเพอโบลิคเส้นหนึ่ง ๆ ซึ่งมีผลให้เฟสมิเตอร์อ่านค่าเฟสเปลี่ยนออกมาเหมือนกันทุก ๆ ช่วงนี้ คือ เลนไฮเพอโบลิค ซึ่งความกว้างของเลนจะไม่เท่ากันตลอดทุก

แห่ง ระยะความกว้างเลนที่แคบที่สุดอยู่บนเส้นฐาน AA´ และจะค่อย ๆ ถ่างออกเมื่อห่างจากเส้นฐานออกไป ความกว้างของเลน (ณ เส้นฐาน) นี้จะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของความยาวของ 1 ช่วงคลื่นของสัญญาณ คือ $\frac{\lambda_A}{2}$ เพราะว่าเมื่อเรือเคลื่อนที่ไปตามเส้นฐาน AA´ โดยเคลื่อนที่เข้าหา A´ จะทำให้ระยะทาง MA เพิ่มขึ้น $\frac{\lambda_A}{2}$ และในขณะเดียวกันก็ทำให้ระยะทาง ÁM ลดลง $\frac{\lambda_A}{2}$ ด้วย ดังนั้น ความต่างระหว่าง MA-MÁ ก็คือ λ_A

ความกว้างของเลนไฮเพอโบลิค สมมุติว่า คือ W ซึ่งความกว้างนี้คำนวณได้ทุกจุดในโครงข่ายทอแรน โดยสูตร

$$W = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$



รูปที่ 3.2.2

λ คือความยาวเฉลี่ย 1 ช่วงคลื่น ของสัญญาณจากสถานี จุดโฟกัสของโครง-ข่ายนี้

α คือมุมที่เครื่องรับในเรือระหว่างจุดโฟกัสทั้งสอง (ตามรูป) โดยถือเอาเรือเป็นจุดศูนย์กลาง

$\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}}$ คือแฟคเตอร์ของอัตราขยายของเลน (Lane Expansion Factor)

ความไว (SENSITIVITY)

ความไวเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการเปลี่ยนเฟสของเฟสมิเตอร์ที่สามารถอ่านค่าได้ต่ออัตราการเปลี่ยน ของระยะทางซึ่งทำให้เฟสเปลี่ยน โดยระยะทางเปลี่ยนกำหนดเป็น ΔW ซึ่งระยะที่คิดในแนวฉากกับเส้นไฮเพอโบลา

ความไวสมมุติว่า $S = \frac{\Delta \phi}{\Delta W} = \frac{2}{\lambda} \sin\frac{\alpha}{2}$

จากสูตรจะเห็นว่า ถ้าค่าของความยาวช่วงคลื่น λ ยิ่งเล็ก และค่าของมุม α ยิ่งใหญ่ ความไวก็ยิ่งดี นั่นคือถ้าความถี่ของสัญญาณยิ่งสูง และความยาวของเส้นฐานยิ่งยาว ความไวก็ยิ่งดีขึ้น

การกำกวมของเส้นตำบลที่ (AMBIGUITY)

การจะรู้ว่าเรืออยู่บนเส้นตำบลที่หรือพิกัดของไฮเพอโบลาใดได้นั้นก็คือ จะต้องรู้ว่าเรืออยู่ในระหว่าง Lone ที่เท่าใด และมีเศษส่วนของเลนเท่าใด เพราะใน 1 เลน ซึ่งเท่ากับความยาว $\frac{\lambda}{2}$ ที่เส้นฐานนั้นได้แบ่งออกเป็น 100 ส่วน หรือ 100 เซนติเลน ซึ่งเป็นจำนวนที่เฟสมิเตอร์สามารถอ่านค่าของเฟสเปลี่ยนได้ เมื่อเฟสเปลี่ยนไปตั้งแต่ 0° ถึง 360° นั่นก็หมายความว่าเฟสมิเตอร์สามารถวัดค่าเฟสเปลี่ยนของแต่ละเลนได้เท่านั้น

แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นเลนใด นี่คือที่เราเรียกว่า การกำกวม Ambiguity

วิธีที่จะไม่ให้เกิดกรณีกำกวม โดยจะต้องทำให้รู้ว่าเวลานี้เรือของเราอยู่ในระหว่างเลนที่เท่าใด โดยการใส่วงจรนับเลน Lane Counter หรือเรียกว่า Revolution Counter เข้าไปในเครื่องรับ โดยเราจะต้องนำเรือเข้าไปสู่จุดที่รู้พิกัดของทอแรนซึ่งเราหาได้ โดยการสำรวจหาค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ แลตติจูด และ ลองติจูด แล้วเปลี่ยนเป็นค่าของทอแรน จุดเหล่านี้เราเรียกว่า จุดตรวจสอบ (Check points) เช่นบริเวณท่าเทียบเรือ, ทุ่นโป๊ะ ฯลฯ เป็นต้น เมื่อเรือเข้าจุดดีแล้วเราก็จะทำการตั้งเลนของหน้าปัทเครื่องรับให้ตรงกับจำนวนเลนที่ได้จากการคำนวณ หลังจากนั้นเมื่อนำเรือแล่นไปที่ใด ๆ จำนวนเลนก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยอัตโนมัติ แล้วแต่ว่าจำนวนเซนติ-เลนจะเปลี่ยนมากขึ้นหรือน้อยลง นอกจากนี้จุด Check Point เหล่านี้ยังใช้เป็นจุดสำสำหรับ (Calibrate) เครื่องรับได้ด้วย เพื่อชดเชยค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการดังกล่าวมาแล้วข้างต้นให้หมดไปได้อีกด้วย

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด และใช้กันอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวยังไม่ดีอย่างสมบูรณ์ เพราะอาจทำให้เกิดความผิดขึ้นได้จากจำนวนเลขที่อ่านจากเครื่องรับ เนื่องจากการกระโดดของเลน (Lane Jump) ทั้งนี้ อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดการกวนขึ้นจาก Sky Wave ในเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตก หรือจากความถี่ของสัญญาณอื่น ๆ ที่ใกล้กันหรือตรงกัน หรือจากพายุ ฝนฟ้าคะนองจาก Noise ต่าง ๆ ในบรรยากาศหรือจากความบกพร่องของเครื่องรับ ซึ่งการกระโดดของเลนนี้ทำให้ลดลงได้โดยใช้วงจร IC ในระบบเครื่องรับของทอแรน[7] นอกจากนี้เส้นพล็อตเส้นทางเรือเดิน ก็สามารถบอกให้รู้ว่าเลนกระโดดไปกี่เลน เราก็สามารถตั้งเลนให้ถูกต้องใหม่ได้

---

[7]ไพศาล วิสุตกุล, น.ต., ทอแรนระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์ (พระนคร : กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ) หน้า 9.

แต่ถ้าหยุดเครื่องรับไปเป็นเวลานาน ๆ และเรือเคลื่อนที่ไปเมื่อเปิดเครื่องรับขึ้นใหม่ จึงไม่สามารถตั้งจำนวนเลนให้ถูกต้องได้ ถ้าบริเวณนั้นไม่มีจุดตรวจสอบ

3.2.3 คุณสมบัติโดยทั่วไปของระบบหาที่เรือทอแรนซี-100

โดยหลักการทำงานแบบง่าย ๆ ของระบบทอแรนและการที่สามารถทำงานได้หลาย mode ทำให้ระบบนี้เป็นระบบหาที่เรือที่เชื่อถือได้ระบบหนึ่ง ซึ่งสามารถดัดแปลงให้ใช้ได้กับงานต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

ความละเอียดถูกต้องในการใช้งาน

ความละเอียดถูกต้องในการหาที่เรือด้วยคลื่นวิทยุขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ หลายประการ คือ

1. ความคงตัว (Stability) ของค่าพิกัดของโครงข่ายของระบบ
2. รูปลักษณะของโครงข่ายและความถี่ที่ใช้ (ความกว้างของเลนและการตัดของเส้นโคงไฮเพอโบลา)
3. การเดินทางของคลื่นวิทยุในบรรยากาศ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนของเฟส
4. ความไวของเฟสมิเตอร์ของเครื่องรับ

ด้านความคงตัวของโครงข่ายไฮเพอโบลาของทอแรน

เนื่องจากทอแรนไม่ใช้ระบบซึ่งมีตัวควบคุมและตัวตาม (Enslavement) หรือใช้การ Syncronization และระบบความจำ เพราะทำให้มีความยุ่งยากซับซ้อน ทอแรนใช้หลักการง่าย ๆ โดยแต่ละสถานีทำงานเป็นอิสระ ไม่ขึ้นต่อกัน จึงทำให้ความเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในบริเวณสถานีส่งและรับไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อความคงตัวของระบบ นอกจากนี้ก็ติดตั้งสถานีก็กินเนื้อที่ไม่มากนัก

ด้านความถี่ที่ใช้

สามารถใช้ความถี่ได้ระหว่าง 1.6 ถึง 3.8 MH_z ซึ่งทำให้ความกว้างของเลนบนเส้นฐานเป็น 40 เมตร ถึง 90 เมตร โดยช่วงคลื่น ณ ความถี่นี้ทำให้ระบบมีความเหมาะสมหลายด้าน เช่น ความกว้างของเลน, ความไว, ระยะทางไกลที่ใช้งานโดย Ground Wave การกวนจาก Sky Wave และขนาดของเสาอากาศเครื่องส่ง

ความถี่ของเครื่องส่งแต่ละเครื่องที่ใกล้กันนี้ ทำให้ถือว่าเป็นความถี่ใช้งานเพียงความถี่เดียวได้ (เพราะความถี่ beat ต่ากันเพียง 80 H_z และ 200 H_z) ทำให้หลีกเลี่ยงการกวนจากความถี่ที่ใช้งานต่าง ๆ อย่างหนาแน่นได้

รูปลักษณะของโครงข่ายของทอแรน

เนื่องจากความสามารถในการวางเส้นฐานได้ยาวถึงกว่า 100 ไมล์ทะเล และความเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกันของโครงข่ายแต่ละคู่ของระบบทำให้ทอแรนเป็นระบบหาที่เรือที่สามารถปรับรูปลักษณะของโครงข่ายให้ดีที่สุดได้

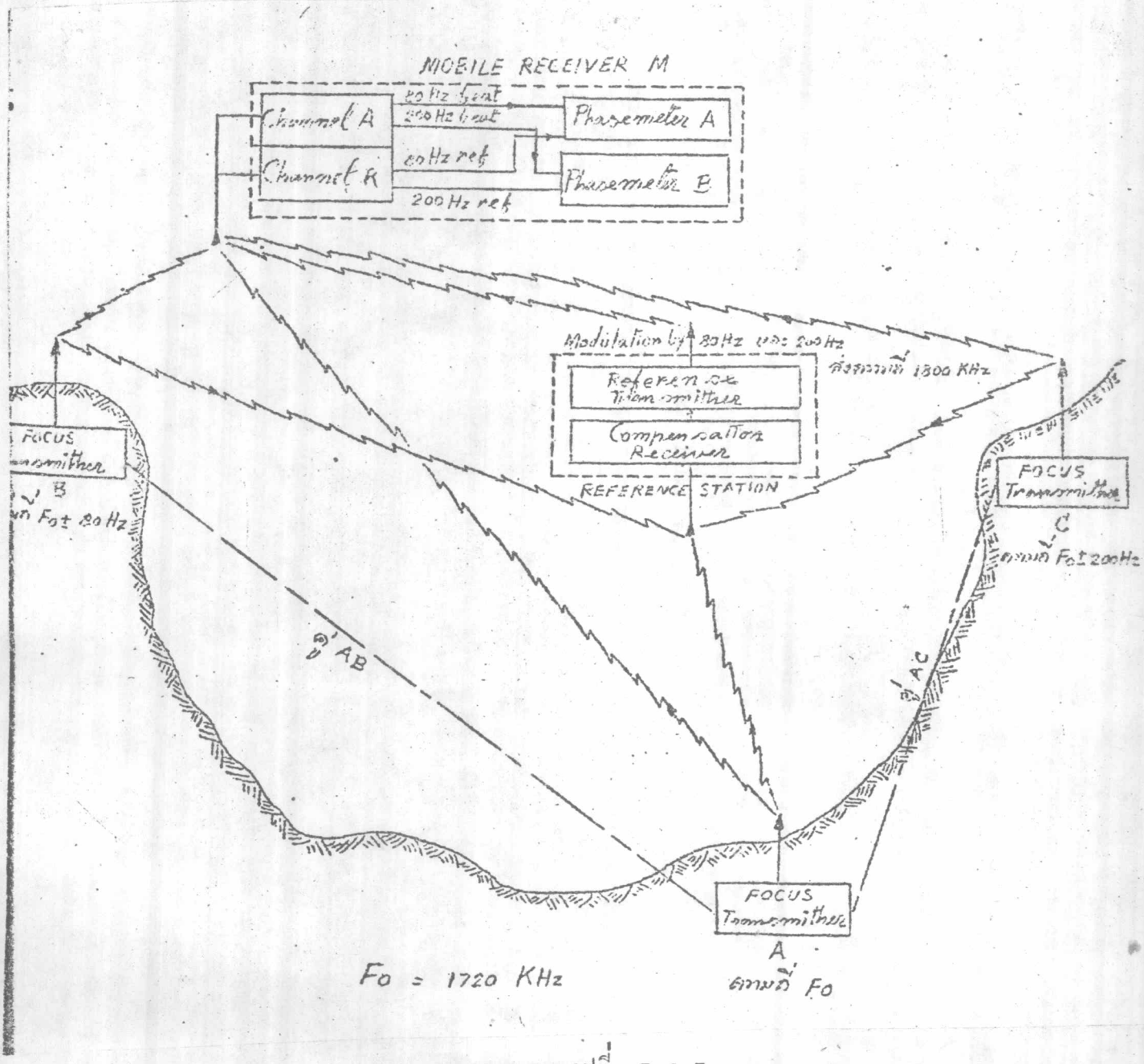
จำนวนผู้ใช้หรือเครื่องรับที่ใช้งานมีจำนวนไม่จำกัด เนื่องจากผู้ที่จะใช้งานเพียงติดเครื่องรับในเรือก็ใช้ได้แล้ว

ลักษณะอื่น ๆ

เนื่องจากการทำงานแบบง่าย ๆ ของระบบทอแรน ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการปรับ จูนหรือตั้งเครื่องส่งเป็นระยะเวลาหนึ่งหลังจากใช้งาน และติดตั้งครั้งแรกแล้ว ดังนั้น เมื่อตั้งเครื่องส่งแล้วก็ปล่อยไว้ได้โดยไม่ต้องมีคนคอยเฝ้า (ถ้าสามารถทำให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องได้ตลอดเวลา)

ขนาดและน้ำหนักไม่มากนัก ทำให้กินบริเวณติดตั้งเพียงเล็กน้อย เหล่านี้ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษา

การวางโครงข่ายทอแรนแบบ V-Mode จะทำให้เกิดพิกัดไฮเพอโบลา 2 คู่ คือ AB และ AC ตามรูปที่ 3.2.3 และ 3.2.4 โดยมีจุดโฟกัส (Focus) อยู่ที่ A,B และ C ตามลำดับ ส่วนสถานี Reference นั้น จะอยู่ที่ใดก็ได้ แต่เพื่อมิให้มี Land Effect ควรจะวางสถานี Reference ให้อยู่ในที่ซึ่งคลื่นวิทยุจาก A,B และ C ไม่ผ่านแผ่นดินเลย หรือผ่านน้อยที่สุด

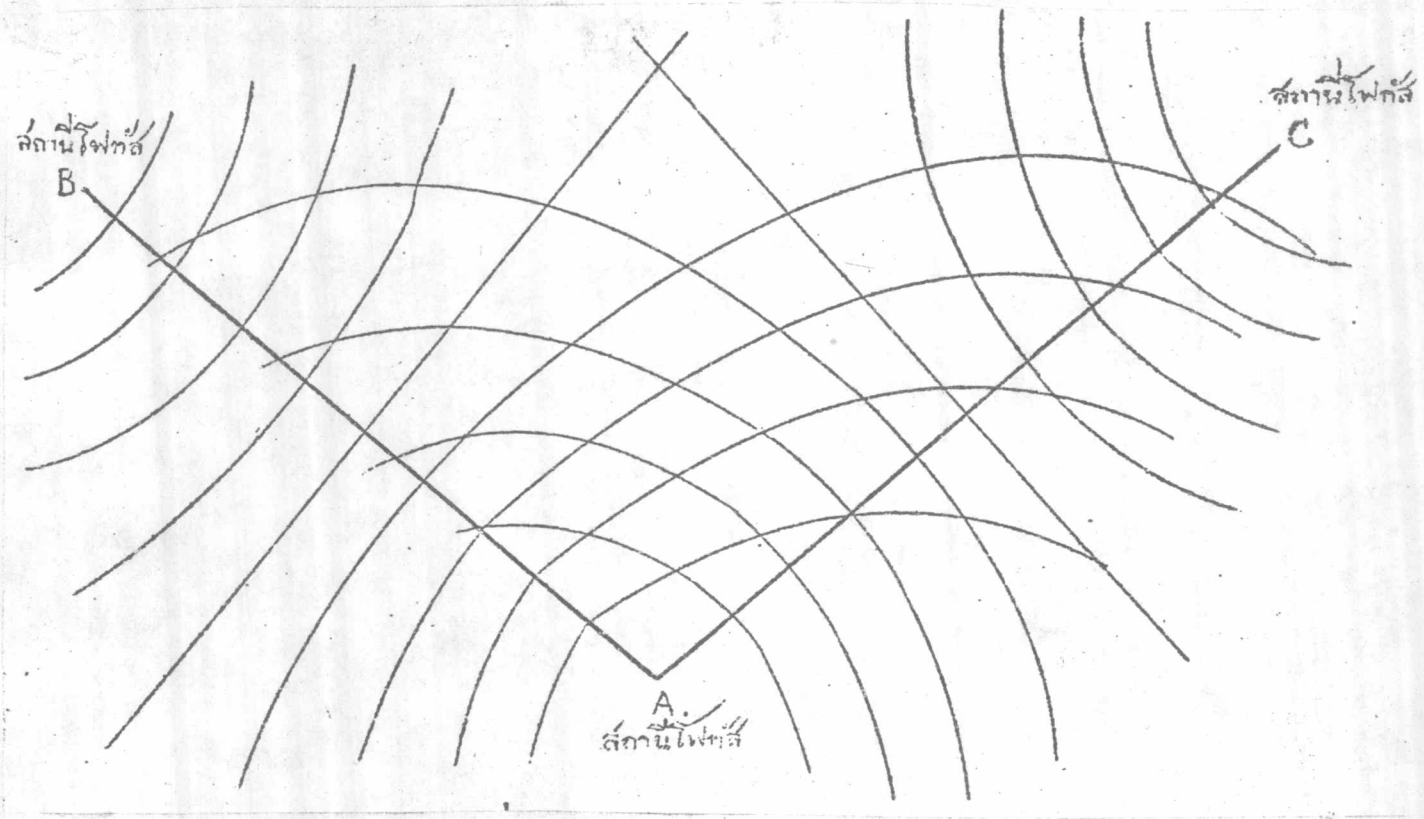


รูปที่ 3.2.3

การวางสถานี TORAN แบบ V-MODE

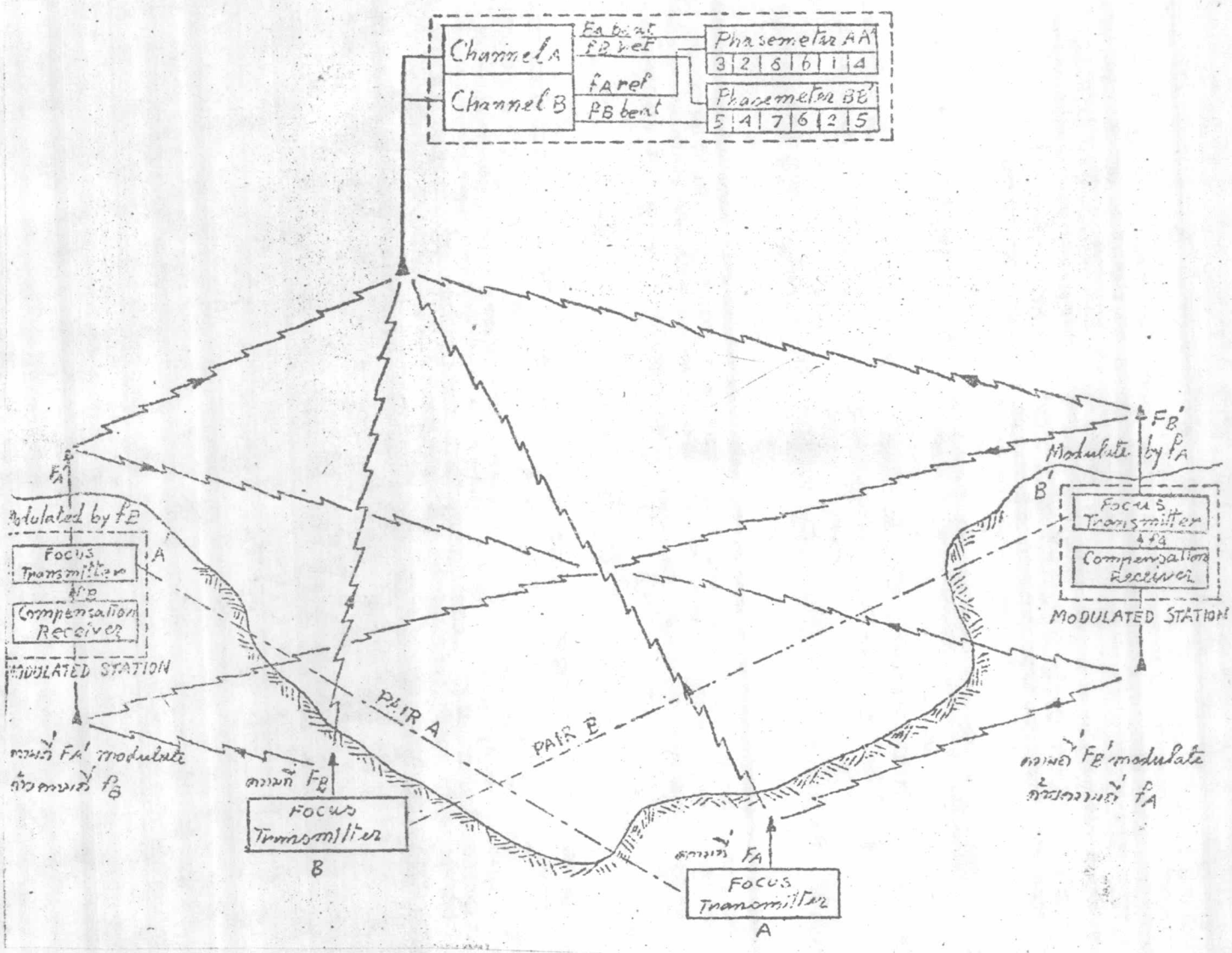
สถานี A,B และ C เป็นสถานีส่งความถี่ Fo,Fo ± fB, Fo ± fc ตามลำดับ โดย Fo อาจจะมีความถี่ตั้งแต่ 1.6 MH_z ถึง 3.8 MH_z ส่วน fB และ fc คือ beat frequency มีความถี่ 80 H_z ถึง 200 H_z ตามลำดับ สถานี A,B และ C ส่งความถี่แบบอิสระ (free Running Oscillation) ไม่ขึ้นแก่กัน ส่วนสถานี Reference นั้น Compensation Reciever จะรับความถี่ fo, fo± 80 H_z และ Fo ± 200 H_z เข้ามาแล้วแยกเอาเฉพาะ Beat frequency ซึ่งมี 80 H_z และ 200 H_z ส่งเข้ามา Modulator เพื่อ Modulate ออกด้วยความถี่อีกความถี่หนึ่ง เช่น 1800 KH_z Modulate กับ 80 H_z และ 200 H_z แล้วส่ง Modulation frequency ซึ่งมี 80 H_z และ 200 H_z Modulate กันอยู่ออกอากาศ

ทางเครื่องรับในเรือแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วง A และช่วง R ซึ่งช่วง A จะรับความถี่จากสถานี Focus ทั้งสาม แล้วแยกเอา Beat frequency 80 H_z และ 200 H_z ออก ในขณะเดียวกันทางช่วง R ก็จะรับความถี่ 1800 KH_z ซึ่ง Modulate ด้วย 80 H_z และ 200 H_z ซึ่งส่งมาจากสถานี Reference Station เอามาแยกความถี่ 80 H_z และ 200 H_z ออกเช่นกัน แล้วเอาความถี่ beat จากสถานีโฟกัสกับความถี่ beat จากสถานี Reference มาเปรียบเทียบกัน ส่งผลต่างออกทาง Display ของ Phasemeter A และ Phasemeter B ตามลำดับ เราก็จะได้ค่าของเฟสต่างของสัญญาณที่มากจากคู่ AB และคู่ AC ค่านี้เราเอามาพล็อตหาที่เรือบนแผนที่ไฮเพอโบลิกได้



รูปที่ 3.2.4

ลักษณะโครงข่าย Hyperbola แบบ V-Mode



FA = 1720 KH_z FA-FA = fA = 80 H_z

FA = 1720 $KH_z \pm H_z$ FB-FB = fB = 200 H_z

FB = 1800 KH_z

FB = 1800 $KH_z \pm$ 200 H_z

รูปที่ 3.2.5

รูปการวางสถานี TORAN แบบ X-MODE

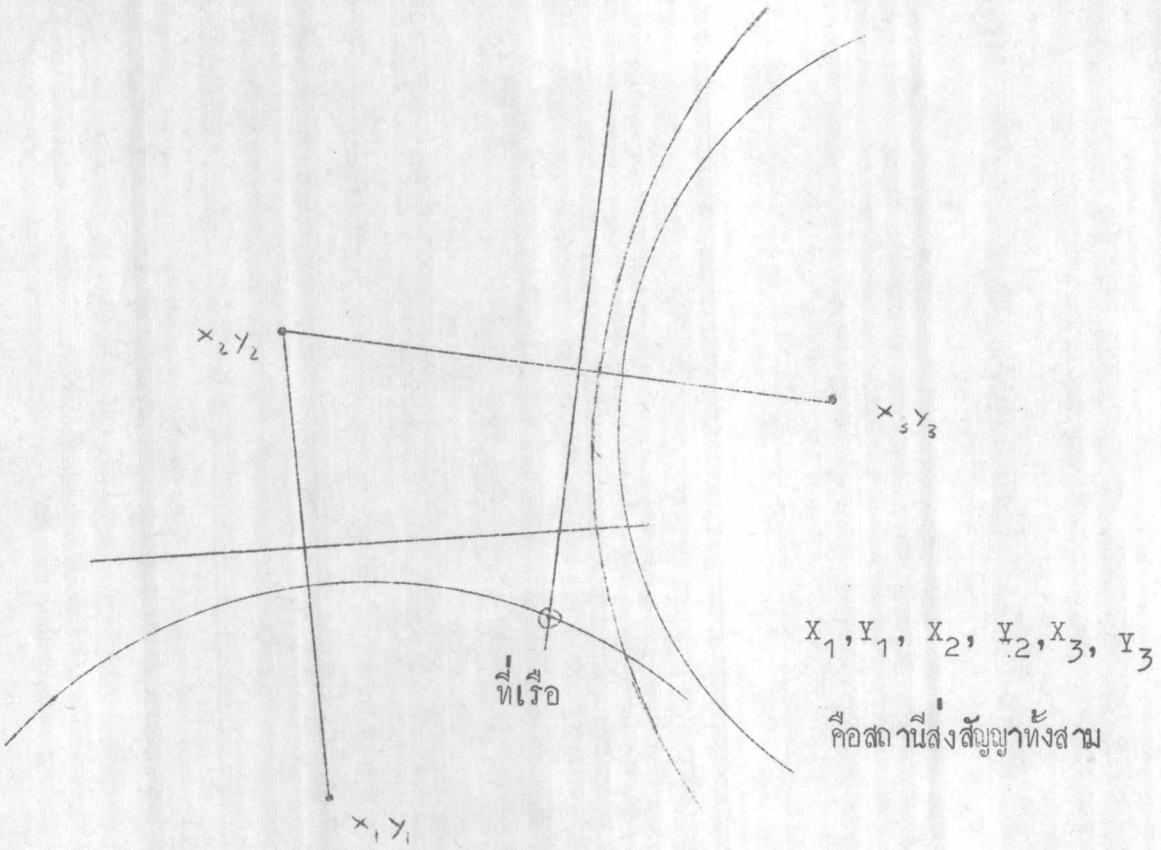
โครงข่าย TORAN แบบ X-Mode ก็เช่นเดียวกับ V-Mode ต่างกันก็คือ X-Mode มีจุดโฟกัสของเส้นไฮเพอโบลา 4 จุด และแต่ละคู่ของเส้นไฮเพอโบลาจะเป็นอิสระต่อกัน โครงข่ายแบบ X-Mode จะมีสถานี Refrence 2 สถานี ซึ่งสถานี Reference นี้ จะทำหน้าที่เป็นสถานีส่งของจุดโฟกัสด้วย เช่น สถานี Reference ที่จุด A ในรูปจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณด้วยความถี่ 1720 $KH_z \pm 80\ H_z$ เพื่อให้เกิดความถี่ beat 80 H_z กับสถานีส่งสัญญาณที่จุด A ในขณะเดียวกันก็จะรับ beat frequency 200 จากคู่ BB' มา Modulate เข้าไปด้วยแล้วส่งออกอากาศไป ส่วนสถานี Reference ณ จุด B' ก็จะทำหน้าที่เช่นเดียวกัน ส่วนเครื่องรับในเรือมี 2 ช่วงเช่นกัน คือช่วง A จะรับสัญญาณ Beat frequency 80 H_z จากสถานีโฟกัสคู่ AA' และ 200 H_z จาก Reference Station A' ด้วย ช่วง B จะรับ Beat frequency 200 H_z จากสถานีโฟกัสคู่ BB' และรับ 80 H_z จากสถานี Reference B'

Mode ต่าง ๆ ของทอแรนนี้ยังมีอีกหลาย Mode แต่ที่ใช้งานกันมากในการสำรวจแผนที่มีอยู่ 2 Mode คือ V-Mode และ X-Mode ดังนั้น Mode อื่น ๆ จึงไม่จำเป็นต้องทราบ เพราะไม่มีความจำเป็น

3.3. วิธีทำการวิจัย (METHODS)

3.3.1 การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณหาที่เรือออกมาเป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์ วิธีทำจะแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.3.1.1 แนวการคิด จากหลักการของระบบหาที่เรืออีเลคทรอนิคส์จะได้ว่าที่เรือจะอยู่ตรงจุดตัดของ Lane Hyperbolic พิจารณาตามวิธีการของ TORAN P-100 ลักษณะที่เรือจะเป็นดังรูปที่ 3.3.1



รูปที่ 3.3.1

แสดงจุดตัดของ Lane Hyperbolic ทำให้เกิดที่เรือขึ้น

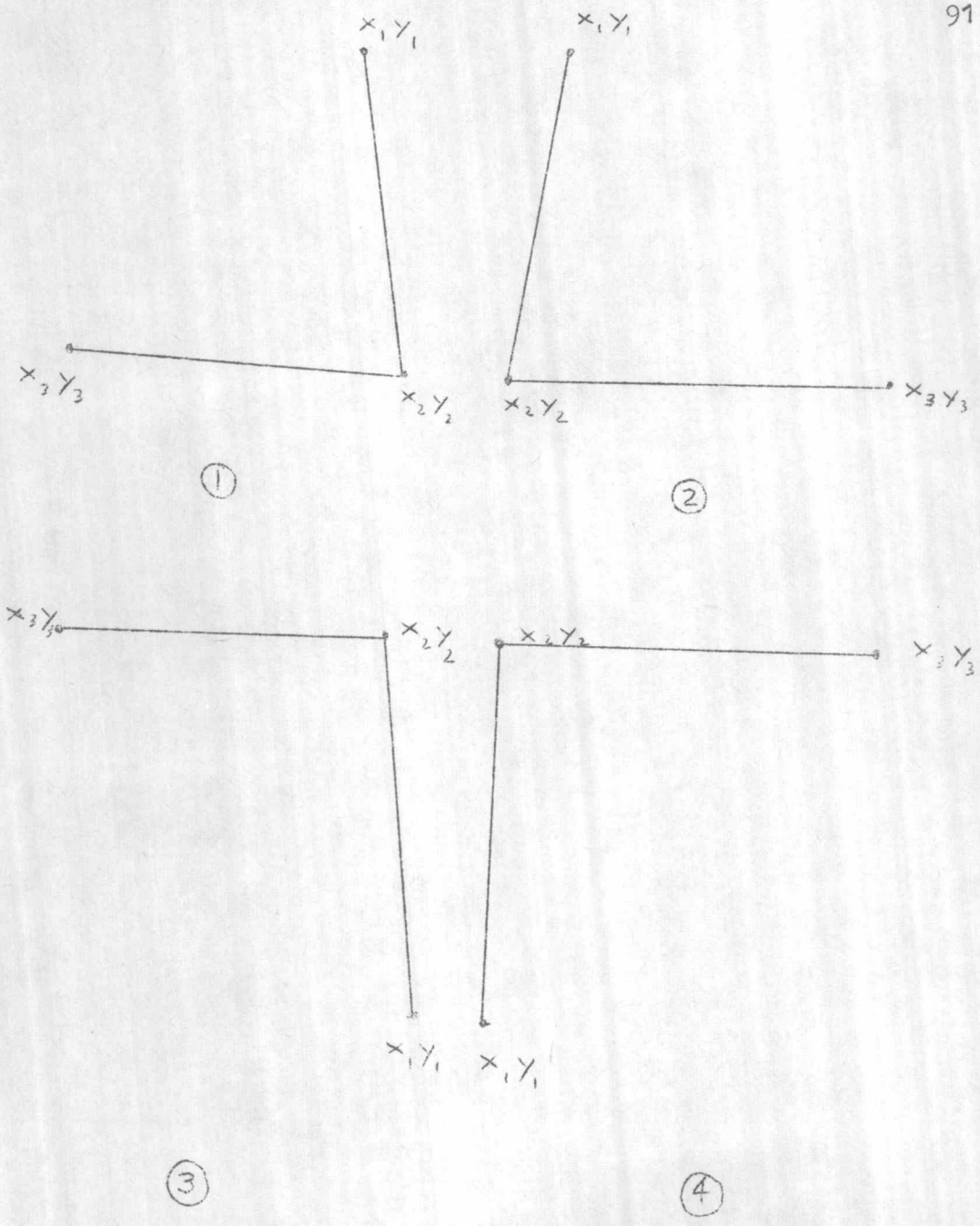
ดังนั้น ในการที่จะหาที่เรือได้ จะต้องหาจุดตัดของ Lane Hyperbolic ที่เรารู้ชื่อ Lane (Number) ให้ได้ เพราะจากเครื่องมือหาที่เรือ Toran P-100 เครื่องรับที่อยู่ในเรือจะบอกให้เราทราบว่า เรืออยู่ใน Lane ที่เท่าใด ระหว่างสถานีส่งคู่ใด กับ Lane ที่เท่าใด กับสถานีส่งอีกคู่หนึ่ง รวมเป็น 2 คู่ การจะหาจุดตัดนั้นก็อาจหาได้หลายวิธี เช่นวิธีแก้สมการ Hyperbolar ตัดกัน หรือวิธีให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทดลองค้นหา (Search) ดู โดยใช้คุณสมบัติของ Hyperbolar ก็ได้ ผู้วิจัยได้ทดลองใช้วิธีหาจุดตัดทั้งสองวิธีแล้วปรากฏว่า วิธีที่ใช้แก้สมการหาจุดตัดนั้นจะประสบปัญหาหลายประการ เช่น จุดตัดที่ได้จะเกิดขึ้นหลายจุด เนื่องจากสมการของเส้น Hyperbolar

1 สมการจะมีเส้นโค้ง Hyperbolar สองเส้น ดังนั้น เมื่อเราใช้สองสมการ ก็จะได้เส้นโค้ง Hyperbolar 4 เส้น ตัดกัน ซึ่งจะได้จุดตัดหลายจุด เป็นการยากที่จะทดสอบหาจุดตัดที่ต้องการ อีกประการหนึ่งคือจุดอ้างอิง จะต้องย้ายแกนมาทับกัน ซึ่งทำให้ยากแก่การแก้สมการ ฯลฯ จากเหตุผลต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการทดลองค้นหา (Search) โดยใช้คุณสมบัติของ Hyperbolar ซึ่งนับว่าเป็นวิธีที่เหมาะที่จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ อันจะได้อธิบายต่อไปในวิธีทำ

ปัญหาอีกประการหนึ่งของการหาจุดตัดก็คือ จุดอ้างอิงและระยะอ้างอิง ซึ่งหมายถึงสถานีส่งสัญญาณนั้นสามสถานี ว่าควรจะใช้เป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์เลยหรือไม่ เมื่อผู้วิจัยพิจารณาดูแล้วเห็นว่า การใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์เลยนั้นจะไม่เป็นการเหมาะสม เนื่องจากระยะทาง ภูมิศาสตร์ในแผนที่นั้นไม่เป็นระยะที่แน่นอน เนื่องจาก ณ ที่ต่างกัน ระยะทางบนแผนที่ของ Latitude และ Longitude จะยาวไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงใช้ค่า UMT GRID แทน และระยะ UMT GRID ยังมีข้อดีที่บอกระยะเป็นเมตร ทำให้สะดวกแก่การคำนวณ ดังนั้น ในการคำนวณในที่นี้จึงได้ตำแหน่งต่าง ๆ ของสถานีส่งสัญญาณทั้งสามสถานี เป็นพิกัด UMT GRID หลังจากหาจุดตัดได้แล้ว จึงนำค่าที่ได้ไปเข้าโปรแกรม (Program) ที่กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือได้ทำไว้แล้ว ทำการเปลี่ยนเป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์อีกทีหนึ่ง ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น Latitude และ Longitude ของที่เรือตามต้องการ

3.3.1.2 ขั้นตอนของวิธีทำ

เนื่องจากการตั้งสถานีส่ง Toran P-5000 ที่ประเทศไทยใช้อยู่นี้ จะตั้งสถานีแบบ V-Mode ดังนั้น โอกาสที่จะตั้งสถานีจะมีอยู่ด้วยกัน 4 ลักษณะ ดังนี้คือ



รูปที่ 3.3.2

แสดงลักษณะของการตั้งสถานีลักษณะต่าง ๆ

วิธีทำ

ให้ X_1, X_2, X_3 เป็น GRID เหนือ หรือ ใต้

Y_1, Y_2, Y_3 เป็น GRID ตะวันออก หรือ ตะวันตก

สถานี X_2 Y_2 ต้องเป็นสถานีร่วม คือ X_2 Y_2 จะมีเส้น Lane Hyperbolic รวมกับสถานี X_1 Y_1 และ X_3 Y_3

ถ้าสถานีตั้งอยู่ในลักษณะรูปที่ 1.2 สถานี X_1 Y_1 จะเป็นสถานีที่มี GRID อยู่สูงกว่าสถานี X_2 Y_2 และ X_3 Y_3

ถ้าสถานีตั้งอยู่ในลักษณะรูปที่ 3.4 สถานี X_1 Y_1 จะเป็นสถานีที่มี GRID อยู่ต่ำกว่าสถานี X_2 Y_2 และ X_3 Y_3

การนับ LANE

ถ้าเป็น LANE ของเส้น Hyperbolic ที่อยู่ระหว่าง X_2 Y_2 กับ X_3 Y_3 ให้เป็น N_1

ถ้าเป็น Lane ของเส้น Hyperbolic ที่อยู่ระหว่าง X_2 Y_2 กับ X_1 Y_1 ให้เป็น N_2

และเนื่องจาก Lane กลางระหว่างสถานีของ Toran P - 100 เราคือว่าเป็น Lane ที่ 5000 ซึ่ง Lane ที่นับจาก Lane ที่ 5000 เข้าหา X_2 Y_2 จะเพิ่มขึ้นจาก 5000 แต่ถ้านับออกจะลดลงจาก 5000

ระยะระหว่างจุด X_2 Y_2 กับ X_3 Y_3 ให้เท่ากับ R_1

ระยะระหว่างจุด X_2 Y_2 กับ X_1 Y_1 ให้เท่ากับ R_2

ค่าคงที่ที่เกิดจากผลต่างของระยะทางจากจุด X_2 Y_2 และ X_3 Y_3 บนจุดต่าง ๆ ของ Lane N_1 ให้เป็น Z_1

ค่าคงที่ที่เกิดจากผลต่างของระยะทางจากจุด X_2 Y_2 และ X_1 Y_1 บนจุดต่าง ๆ ของ Lane N_2 ให้เป็น Z_2

มุมระหว่างเส้น R_1 ทำกับแนวระดับให้เป็น β

มุมระหว่างเส้น R_1 ทำกับ R_2 ให้เป็น T

ระยะจากจุดตัดถึงจุด X_2 Y_2 ให้เป็น A_3

ระยะจากจุดตัดถึงจุด X_3 Y_3 ให้เป็น A_1

ระยะจากจุดตัดถึงจุด X_1 Y_1 ให้เป็น A_2

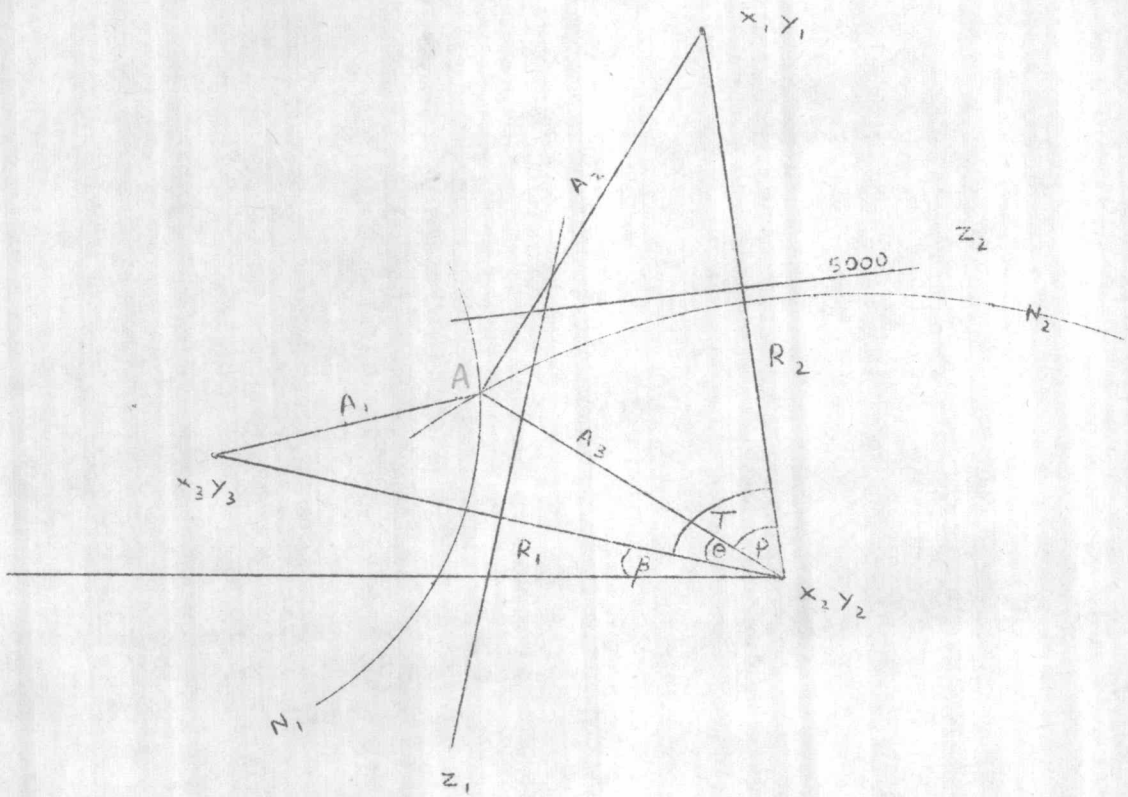
มุมที่ A_3 ทำกับ R_1 ให้เป็น θ

มุมที่ A_3 ทำกับ R_2 ให้เป็น P

จากคุณสมบัติของ Toran P-100 Lane แต่ละ Lane จะห่างกันเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$

คือ ความยาวของหนึ่งช่วงคลื่น (Wave Length)

เราจะสามารถเขียนรูปได้ดังนี้ (ผู้วิจัยขอยกมาเพียงรูปเดียว เนื่องจากทุก ๆ รูปจะให้ผลเหมือนกัน

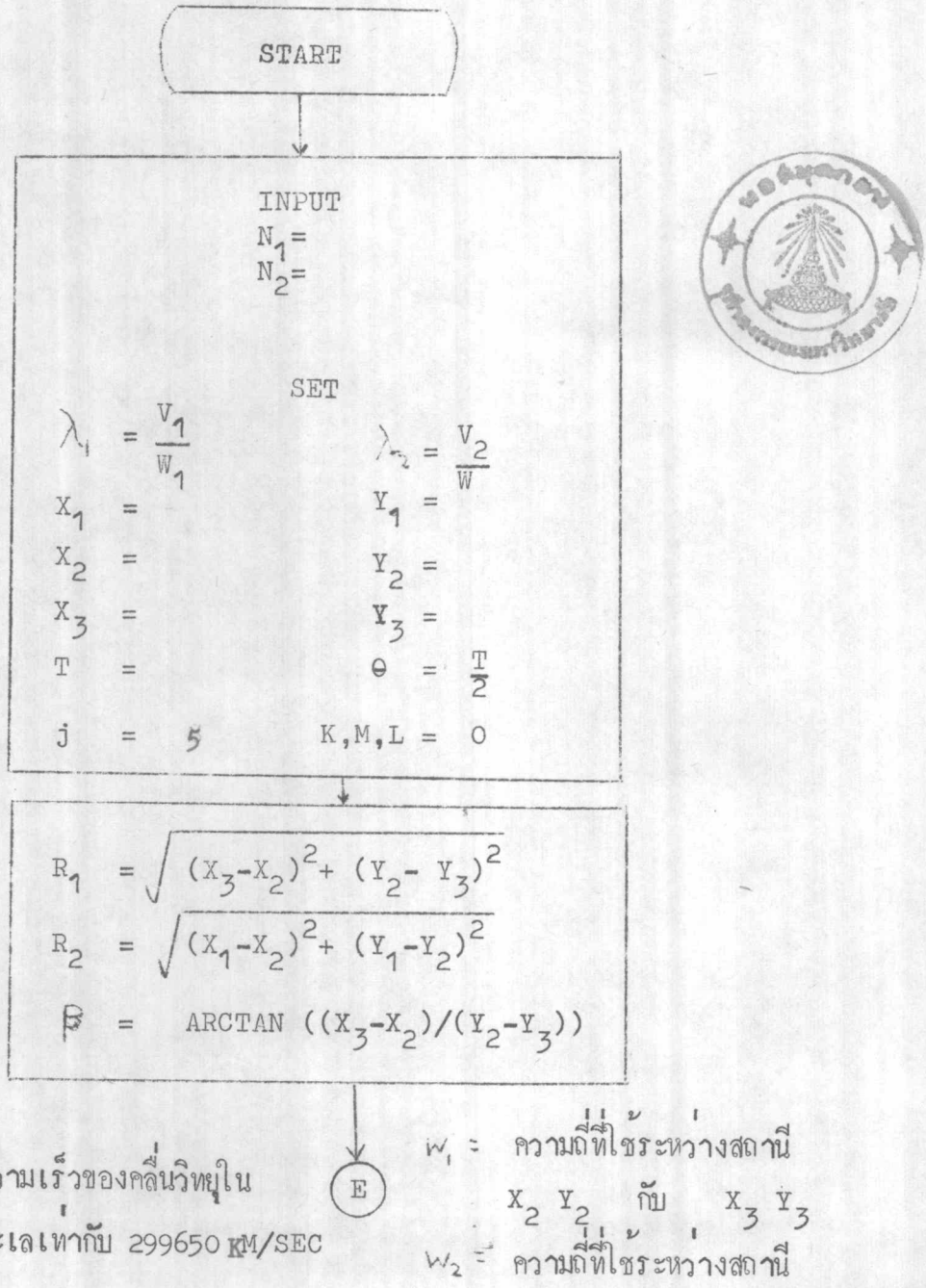


รูปที่ 3.3.3

แสดงให้เห็นค่าต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นเพื่อสะดวกแก่การคิด

3.3.1.3 แผนผังการทำงาน (FLOW CHART)

จากรูปที่ 3.3.3. จะสามารถอธิบายการทำงานตามแผนผังการทำงาน (FLOW CHART) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ได้ดังนี้



$V_1 = V_2$ = ความเร็วของคลื่นวิทยุในทะเลเท่ากับ 299650 KM/SEC

W_1 = ความถี่ที่ใช้ระหว่างสถานี $X_2\ Y_2$ กับ $X_3\ Y_3$

W_2 = ความถี่ที่ใช้ระหว่างสถานี $X_2\ Y_2$ กับ $X_1\ Y_1$

ตามรูป ใช้คุณสมบัติของ Hyperbolic จะได้ว่า ผลต่างระหว่าง A_3 และ A_1 ในทุก ๆ จุดบน N_1 จะคงที่เสมอ และค่าคงที่นั้นจะเท่ากับสองเท่าของระยะทางที่ N_1 ห่างจาก Lane 5000 ซึ่งค่าคงที่นี้เราให้เท่ากับ Z_1 ดังนั้น จะได้ว่า

Z_1 = (ผลต่างระหว่าง Lane 5000 กับ N_1) X λ_1

ในทำนองเดียวกัน

Z_2 = (ผลต่างระหว่าง Lane 5000 กับ N_2) X λ_2

และจากรูปจะได้

$$\beta = \text{ARCTAN}\left((X_3-X_2)/(Y_2-Y_3)\right)$$

$$R_1 = \sqrt{(X_3-X_2)^2 + (Y_2- Y_3)^2}$$

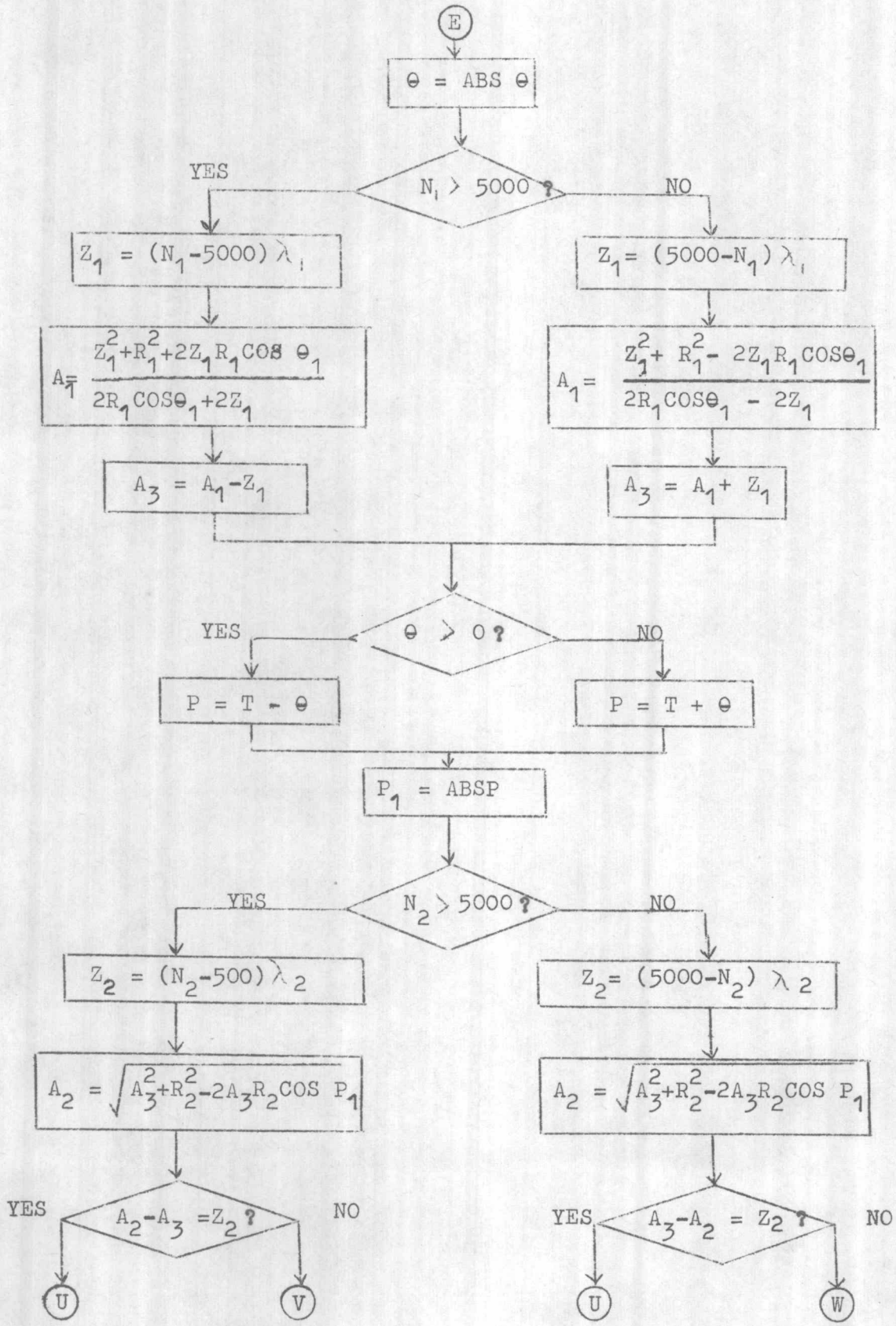
$$R_2 = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1- Y_2)^2}$$

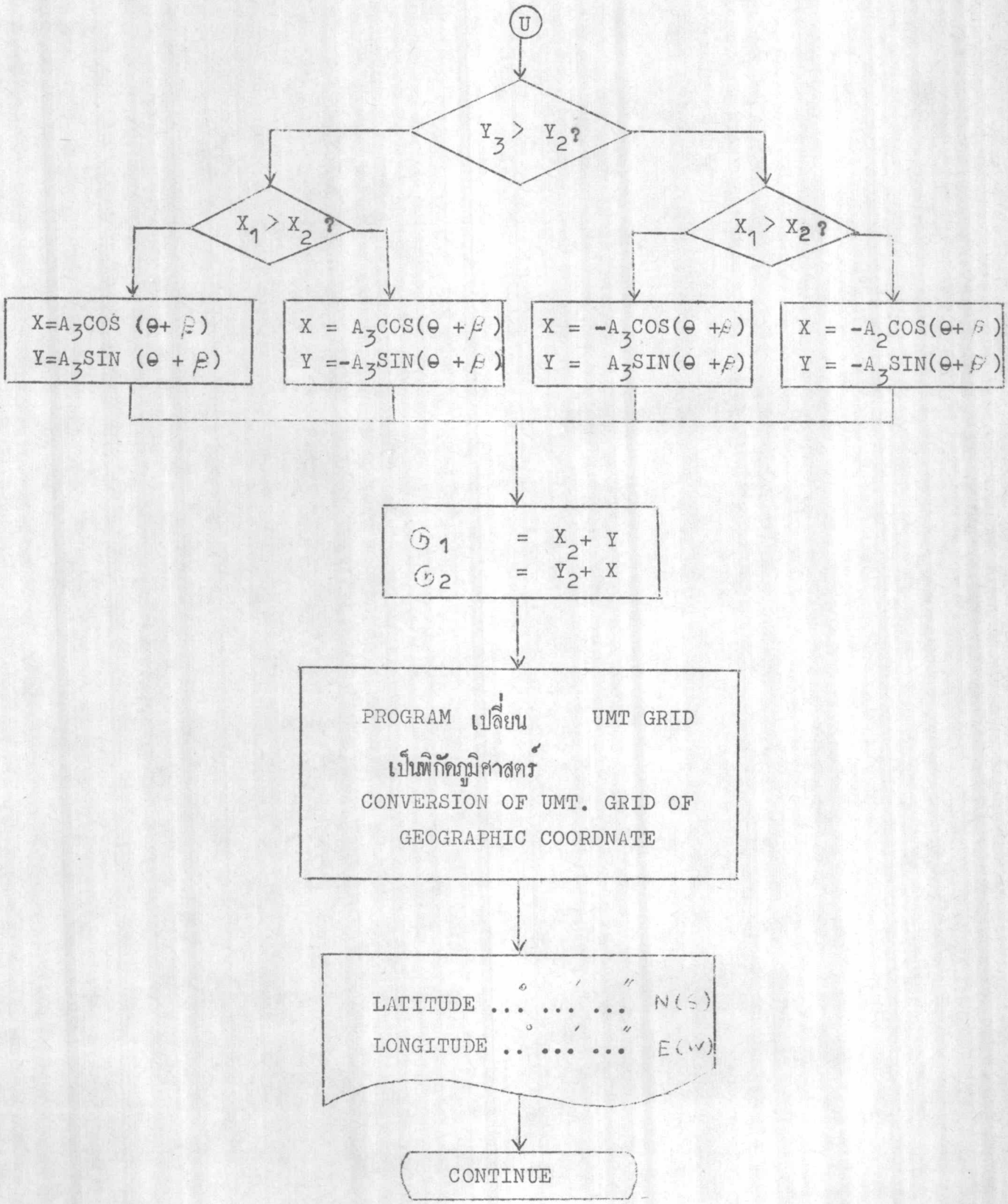
จากนั้นใช้คุณสมบัติของสามเหลี่ยมที่ว่า ด้านตรงข้ามมุมยกกำลังสองจะเท่ากับผลบวกของกำลังสองของด้านประกอบมุม ลบด้วยสองเท่าของผลคูณของด้านประกอบมุมกับ COS ของมุมที่ด้านประกอบมุมทั้งสองทำกัน

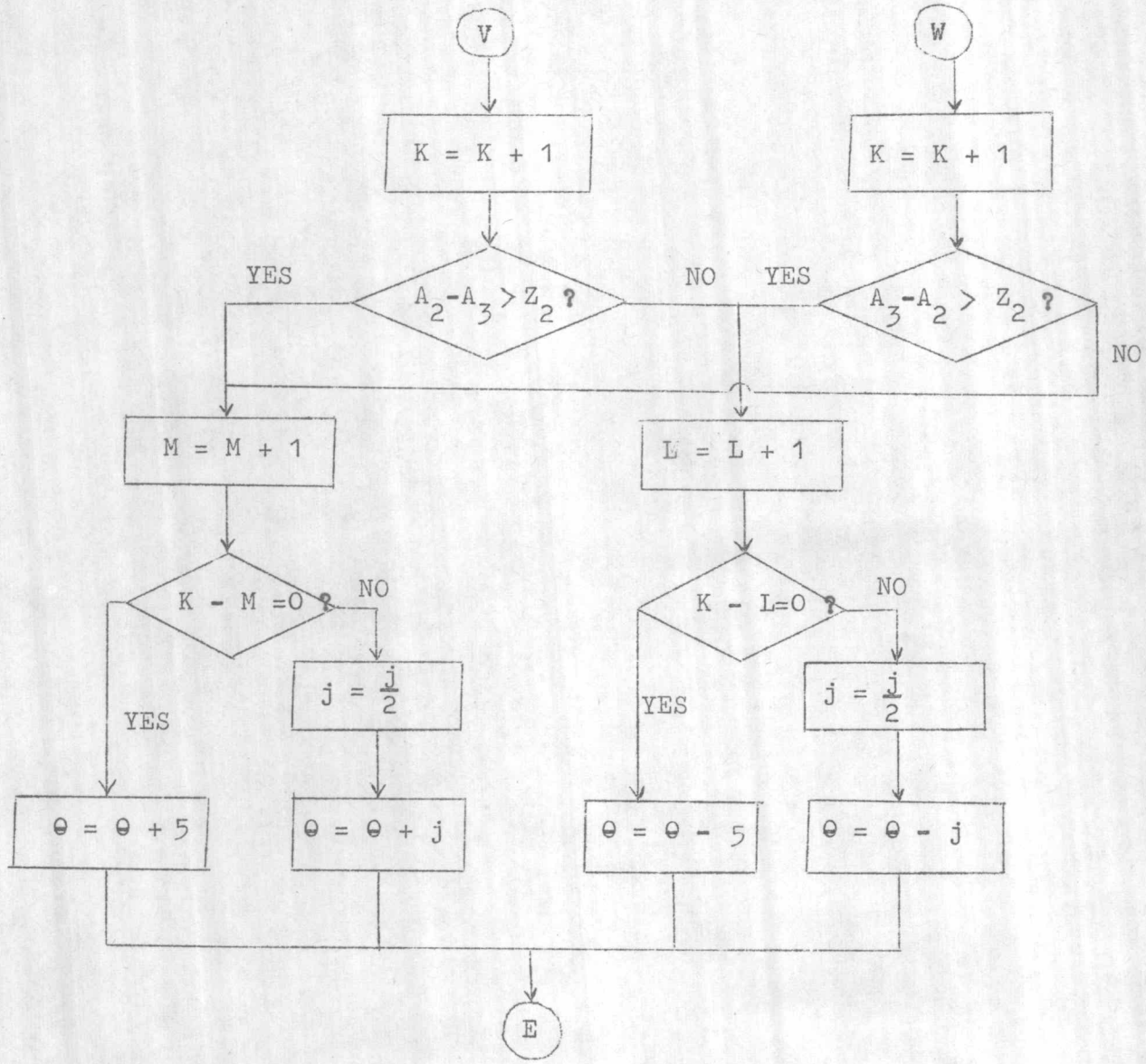
ก็สามารถที่จะหา A_1 และ A_2 ได้

วิธีการค้นหา (Search)

ครั้งแรกจะให้ $\theta = \frac{T}{2}$ จากนั้นก็ใช้คุณสมบัติของ Hyperbolar พิจารณาว่าจะต้องเพิ่มมุม θ มากขึ้นหรือลดลง ซึ่งจะให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละ 5 องศา ต่อเมื่อเข้าใกล้จุดตัด (ที่เรือ) การเพิ่มหรือลดลงของมุม θ จะลดลงเหลือครั้งละ $\frac{5}{2^n}$ (n = ครั้งที่เข้าใกล้จุดตัด) จนกว่าจะได้จุดตัด (ที่เรือ) ออกมาตามคุณสมบัติของ Hyperbolar


E
θ = ABS θ
YES
$N_1 > 5000$?
NO
$Z_1 = (N_1 - 5000)\lambda_1$
$Z_1 = (5000 - N_1)\lambda_1$
$A_1 = \frac{Z_1^2 + R_1^2 + 2Z_1R_1\cos\theta_1}{2R_1\cos\theta_1 + 2Z_1}$
$A_1 = \frac{Z_1^2 + R_1^2 - 2Z_1R_1\cos\theta_1}{2R_1\cos\theta_1 - 2Z_1}$
$A_3 = A_1 - Z_1$
$A_3 = A_1 + Z_1$
YES
θ > 0 ?
NO
P = T - θ
P = T + θ
P_1 = ABSP
YES
$N_2 > 5000$?
NO
$Z_2 = (N_2 - 500)\lambda_2$
$Z_2 = (5000 - N_2)\lambda_2$
$A_2 = \sqrt{A_3^2 + R_2^2 - 2A_3R_2\cos P_1}$
$A_2 = \sqrt{A_3^2 + R_2^2 - 2A_3R_2\cos P_1}$
YES
$A_2 - A_3 = Z_2$?
NO
YES
$A_3 - A_2 = Z_2$?
NO
U
V
U
W


U
$Y_3 > Y_2$?
$X_1 > X_2$?
$X_1 > X_2$?
$X = A_3 COS (\theta + \beta)$
$Y = A_3 SIN (\theta + \beta)$
$X = A_3 COS(\theta + \beta)$
$Y = -A_3 SIN(\theta + \beta)$
$X = -A_3 COS(\theta + \beta)$
$Y = A_3 SIN(\theta + \beta)$
$X = -A_2 COS(\theta + \beta)$
$Y = -A_3 SIN(\theta + \beta)$
$\textcircled{5}_1 = X_2 + Y$
$\textcircled{5}_2 = Y_2 + X$
PROGRAM เปลี่ยน UMT GRID
เป็นพิกัดภูมิศาสตร์
CONVERSION OF UMT. GRID OF
GEOGRAPHIC COORDNATE
LATITUDE ... ... N(S)
LONGITUDE .. .. E(W)
CONTINUE


V
W
K = K + 1
K = K + 1
YES
$A_2-A_3 > Z_2$?
NO
YES
$A_3-A_2 > Z_2$?
NO
M = M + 1
L = L + 1
K - M =0 ?
NO
K - L=0 ?
NO
YES
YES
$j = \frac{j}{2}$
$j = \frac{j}{2}$
$\Theta = \Theta + 5$
$\Theta = \Theta + j$
$\Theta = \Theta - 5$
$\Theta = \Theta - j$
E

3.3.1.4 การเขียน Program

จาก Flow Chart สามารถเขียน Program เบื้องต้นได้ ดังนี้

```
10  SELECTD
20  INPUT "NI", NI
30  INPUT "N2 = ", N2
40  X1 =                          Y1 =
    X2 =                          Y2 =
    X3 =                          Y3 =

50  J = 5 : λ1 =                  λ2 =
    β  = ARCTAN ((X3-X2)/(Y2-Y3))
60  T =    : Θ = T/2 : K, M, L = 0
70  R1 = SQRT ((X3-X2)^2 + (Y2-Y3)^2) : R2 = SQRT ((X1-X2)^2+(Y1-Y2)^2)
80  PRINT Θ , A1, A3
90  Θ = ABS (Θ)
100 P1 = ABS (P)
110 IF N1 > 5000 THEN 150 :
120 Z1 = (5000 - N1) λ1
130 A1 = (Z1 + R1^2 - 2Z1 R1 COS(Θ))/(2R1COS (Θ1) - 2Z1)
140 A3 = A1 + Z1 GOTO 180
150 Z1 = (N1 - 5000) λ1
160 A1 = (Z1^2 + R1^2 + 2 Z1R1COS (Θ))/(2R1 COS (Θ1) + 2Z1)
```

```
170  A3 = A1 - Z1
180  IF θ > 0 THEN 200
190  P = T + θ1 GOTO 210
200  P1 = T - θ
210  P1 = ABSP
220  IF N2 > 5000 THEN 260
230  Z2 = (5000-N2) λ2
240  A2 = SQRT (A3^2 + R2^2 - 2 A3R2 COS (P1))
250  IF A3-A2 > Z2 + 1 THEN 410
251  IF A3 - A2 < Z2 - 1 THEN 410
252  GOTO 440
260  Z2 = (N2 - 5000) λ2
270  A2 = SQRT (A3^2 + R2^2 - 2A3R2 COS (P1))
280  IF A2 - A3 > Z2 + 1 THEN 290
281  IF A2 1 A3 < Z2 - 1 THEN 290
282  GOTO 440
290  K = K + 1
300  IF A2 - A3 > Z2 THEN 360
310  L = L + 1
320  IF K - L = 0 THEN 350
330  j = j/2
340  θ = θ - j GOTO 80
350  θ = θ - 5 GOTO 80
360  M = M + 1
370  IF K - M = 0 THEN 400
380  j = j/2
```

390 $\theta = \theta + j$ GOTO 80

400 $\theta = \theta + 5$ GOTO 80

410 $K = K + 1$

420 IF $A_3 - A_2 > Z_2$ THEN 310

430 GOTO 360

440 IF $Y_3 > Y_2$ THEN 480

450 IF $X_1 > X_2$ THEN 470

460 $X = -A_3 \cos(\theta+\beta)$: $Y = -A_3 \sin(\theta+\beta)$: GOTO 510

470 $X = -A_3 \cos(\theta+\beta)$: $Y = A_3 \sin(\theta+\beta)$: GOTO 510

480 IF $X_1 > X_2$ THEN 500

490 $X = A_3 \cos(\theta+\beta)$: $Y = -A_3 \sin(\theta+\beta)$: GOTO 510

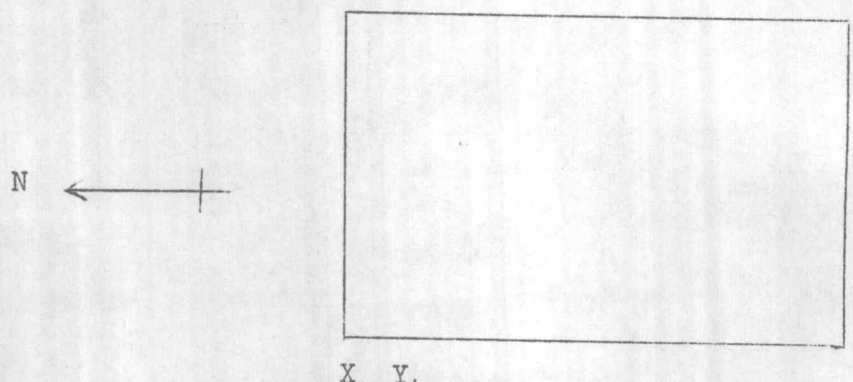
500 $X = A_3 \cos(\theta+\beta)$: $Y = A_3 \sin(\theta+\beta)$: GOTO 510

510 $G_1 = X_2 + Y$: $G_2 = Y_2 + X$

520 GOTO PROGRAM CONVERSION OF UMT.GRID TO GEORAPHIC CORDINATE

3.3.2 การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์พลอต(Plot)เส้นทางเรือเดิน

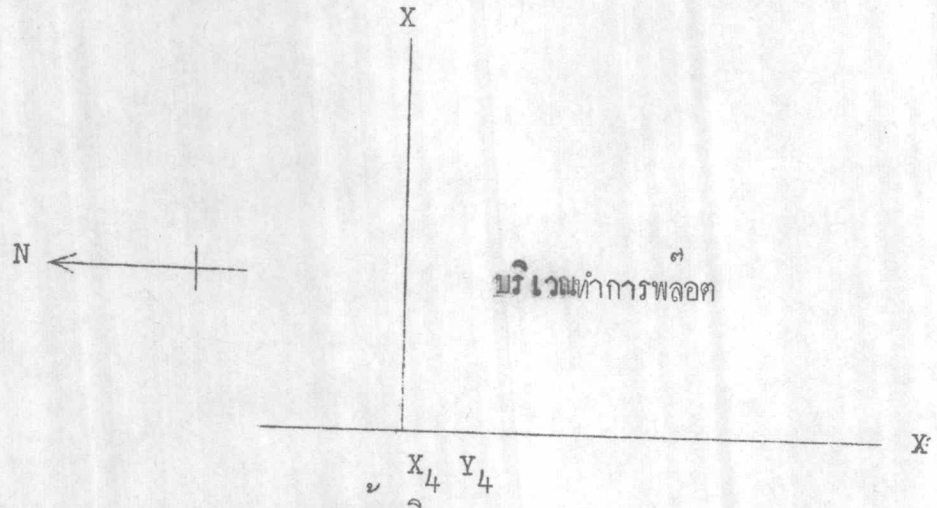
เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ Wang System 2200 ซึ่งกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ ได้ อยู่มีเครื่องพลอต (Plotter)และมี Program ที่ให้ทำการ Plot อยู่แล้ว ผู้วิจัยจึงใช้ คอมพิวเตอร์ของกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ ทำการพลอต (Plot) เส้นทางเรือเดินออกมาก่อน



รูปที่ 3.3.4

การ พล็อต ทำโดยการกำหนดจุดอ้างอิงไว้จุดหนึ่ง จากนั้นก็ใส่ค่าที่จะพล็อต เข้าไปเป็น Input ของ Program พล็อต โดยค่าที่ใส่จะต้องสัมพันธ์กับจุดอ้างอิง สำหรับเอกสารวิจัยเล่มนี้ ใช้มุมทางเหนือด้านซ้าย (X_4 Y_4) เป็นจุดอ้างอิงในการพล็อต

เพื่อความสะดวก ดังเหตุผลที่เคยกล่าวไว้แล้วในบทก่อน ผู้วิจัยจึงทำการพล็อต โดยใช้ค่า UMT. GRID มาพล็อต ดังนั้น จุดอ้างอิงก็จะถูกกำหนดเป็นค่า GRID เหนือ (N) หรือใต้ (S) กับ GRID ตะวันออก (E) หรือตะวันตก (W)



รูปที่ 3.3.5

แสดงถึงแกนในการพล็อต

จากรูปที่ 3.3.5 แสดงให้เห็นว่า GRID (N or S) จะอยู่บนแกน X และ GRID (E or W) จะอยู่ในแนวแกน Y บริเวณที่จะทำการพล็อตจะอยู่ใน Quadran ที่ 1 ทั้งสิ้น

ค่า Input ที่จะมาเข้า Program พล็อต เอาค่า UMT. GRID ซึ่งได้จากการคำนวณของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเห็นว่าในบทที่ 3.3.1 นั้น ค่าที่คำนวณได้ออกมาครั้งแรกก่อนที่จะนำไปเข้า Program เปลี่ยนจาก UMT. GRID เป็นพิกัด

ภูมิศาสตร์นั้น เป็นค่า GRID ซึ่งจะออกมาเป็น G_1 (GRID (N or S) และ G_2 (GRID (E or W) จะนำเอาค่า G_1 และ G_2 นี้เองไปเข้า Program พลอตของเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพล็อต (Plotter) ก็จะทำการพล็อตตำแหน่งของที่-เรือจาก Input เหล่านั้นออกมา ดังได้แสดงให้เห็นในบทต่อไป