อทร.๗๗๐๖

คำแนะนำระบบการหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส

พ.ศ.๒๕๔๑

จัดทำเมื่อ ส.ค.๔๑

อทร.๗๗๐๖

คำแนะนำระบบการหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส

พ.ศ.๒๕๔๑

เอกสารอ้างอิงของกองทัพเรือ หมายเลข ๗๗๐๖

คำแนะนำระบบการหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส

จัดทำโดย
คณะทำงานพิจารณาและจัดทำ อทร.ด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน
สิงหาคม ๒๕๔๑

พิมพ์ครั้งที่ ๑
สิงหาคม ๒๕๔๑

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร. (กองการวิจัยและพัฒนา ยก.ทร.โทร.๔๗๕๘)
ที่ กห ๐๕๐๕.๓/ ๔๔๐ วันที่ ๑๖ ธ.ค. ๕๑
เรื่อง ขออนุมัติใช้ อทร. ด้าน การศึกษาขั้นพื้นฐาน

เรียน ประธานกรรมการพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. และ รอง เสธ.ทร.

๑. คณะทำงานพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. ด้าน การศึกษาขั้นพื้นฐาน เสนอขออนุมัติปรับเปลี่ยนเอกสาร จำนวน ๑๘ เรื่อง เป็น อทร. และขอให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่เหมาะสมต่อไป โดยมีรายชื่อเอกสารดังนี้ คือ

๑.๑ คู่มือการใช้กระบี่ (อทร.๗๑๐๑)	หน่วยควบคุม	ยศ.ทร.
๑.๒ ภาวะผู้นำ (อทร. ๗๑๑๒)	หน่วยควบคุม	ยศ.ทร.
๑.๓ การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ (อทร. ๗๒๐๑)	หน่วยควบคุม	รร.นร.
๑.๔ แบบฝึกบุคคลท่ามือเปล่าและท่าอาวุธกองทัพเรือ พ.ศ.๒๕๓๘ (อทร.๗๔๐๑)	หน่วยควบคุม	นย.
๑.๕ ทำเนียบไฟและทุ่นในน่านน้ำไทย พ.ศ.๒๕๔๐ (อทร.๗๗๐๑)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๖ ภาวะทะเล (อทร.๗๗๐๒)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๗ ระบบทุ่นเครื่องหมายช่วยการเดินเรือในน่านน้ำไทย (อทร.๗๗๐๓)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๘ เดินเรือดาราศาสตร์ (อทร.๗๗๐๔)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๙ เครื่องหมายและอักษรย่อที่ใช้ในแผนที่เดินเรือไทย พ.ศ.๒๕๓๒ (อทร.๗๗๐๕)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๐ คำแนะนำระบบการหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส (อทร.๗๗๐๖)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๑ คู่มือการใช้และบำรุงรักษาเครื่องมือเดินเรือ (อทร.๗๗๐๗)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๒ กฎการเดินเรือในน่านน้ำไทยและกฎการเดินเรือสากล (อทร.๗๗๐๘)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๓ อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น (อทร.๗๗๐๙)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๔ อุตุนิยมวิทยาการบิน (อทร.๗๗๑๐)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๕ ความรู้ทั่วไปทางสมุทรศาสตร์ (อทร.๗๗๑๑)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๖ ระดับทะเลปานกลางมาตรฐาน(เส้นเกณฑ์ระดับเกาะหลัก) (๗๗๑๒)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๗ นำร่องน่านน้ำไทย เล่ม ๑ (อ่าวไทย) (อทร.๗๗๑๓)	หน่วยควบคุม	อศ.
๑.๑๘ การใช้ชุดตรวจน้ำมันหล่อลื่นและชุดตรวจน้ำประจำเรือ (อทร.๗๘๐๑)	หน่วยควบคุม	วศ.ทร.

๒. กระผมขอเรียนเพื่อกรุณาทราบและมีข้อพิจารณาว่าเอกสารที่คณะทำงานพิจารณาและจัดทำ อทร. ด้านการศึกษาขั้นพื้นฐานเสนอให้ปรับเป็น อทร. ตามข้อ ๑. นั้น ได้เคยแจกจ่ายให้หน่วยที่เกี่ยวข้องใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานของหน่วยต่างๆอยู่แล้วและได้ตรวจสอบแล้วว่าปรากฏว่าเอกสารในข้อ ๑.๑ ควรมีการตรวจสอบความทันสมัยก่อน และเอกสารตามข้อ ๑.๒, และ ๑.๑๔ จะต้องขออนุญาตผู้เขียนเอกสารเพื่อมอบให้ ทร.ไว้ใช้ราชการก่อนพิจารณาจัดทำ

เป็น อทร.สำหรับเอกสารที่เหลืออีก ๑๕ เรื่องนั้นสามารถใช้ประกอบการปฏิบัติงานของหน่วยต่างๆได้ จึงมีความเหมาะสมในการปรับเปลี่ยนให้เป็น อทร.โดยเห็นควรดังนี้

๒.๑ อนุมัติให้ปรับเปลี่ยน เอกสารตามข้อ ๑. เป็น อทร. โดยกำหนดชื่อและหมายเลข อทร.ตามที่คณะทำงานด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน เสนอ ยกเว้นเอกสารในข้อ ๑.๑ ข้อ ๑.๒ และข้อ ๑.๑๕ กระผมได้ประสานหน่วยเกี่ยวข้องในการ แก้ไขและได้ร่างหนังสือถึงผู้เขียนฯ เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการมอบหนังสือดังกล่าวให้ ทร.ไว้ใช้ราชการตามที่แนบมาด้วยแล้ว

๒.๒ ให้คณะทำงานพิจารณาและจัดทำ อทร. ด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน ประสานรายละเอียดกับ สบ.ทร. ในการดำเนินการจัดพิมพ์ปกและรายการประกอบเพิ่มเติม เพื่อปรับเปลี่ยนเอกสารตามข้อ ๒.๑ ให้เป็น อทร. แล้วดำเนินการขออนุมัติจัดพิมพ์ต่อไป

จึงเสนอมาเพื่อโปรดอนุมัติ ตามข้อ ๒. และกรุณาลงนามตามเอกสาร ที่แนบ

น.อ.

เลขานุการคณะกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร.และ

ผอ.กวพ.ยก.ทร.

-อนุมัติ/ลงนามแล้ว

รับส่ง ผบ.ทร.

ผบ.ท.ส.ลงนาม.

ปจ.ดงแมพ ๑ ปช. ๑๐ / ๑๕ พ.

๓๑ ธ.ค. ๕๐

อนุมัติบัตร

เรื่อง อนุมัติใช้เอกสารอ้างอิงของ ทร. หมายเลข ๗๗๐๖ เรื่อง " คำแนะนำระบบการหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส " (อทร.๗๗๐๖)

ตามคำสั่งกองทัพเรือเฉพาะที่ ๑๑ /๒๕๔๑ ลง ๒๒ ม.ค.๔๑ เรื่องแต่งตั้งคณะกรรมการและคณะทำงานพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. ให้ประธานกรรมการพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. มีอำนาจในการอนุมัติใช้เอกสารอ้างอิงของทร.(อทร.) นั้น เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปด้วยความเรียบร้อยจึงให้ใช้ " คำแนะนำระบบการหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส " (อทร.๗๗๐๖) เล่มนี้ เป็นเอกสารประกอบการปฏิบัติราชการใน ทร. โดยให้ อศ. เป็นหน่วยควบคุมเอกสาร ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๔๑

รับคำสั่ง ผบ.ทร.

(ลงชื่อ) พล.ร.ท. ประเสริฐ บุญทรง

(ประเสริฐ บุญทรง)

ประธานกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร.และ รอง เสธ.ทร.

อทร.๗๗๐๖

บันทึกการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

ลำดับที่	รายการแก้ไข	วันเดือนปี ที่ทำการแก้ไข	ผู้แก้ไข (ยศ-นาม -ตำแหน่ง)	หมายเหตุ

คำนำ

บัจจุบันเรือรบในราชนาวีไทย ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการหาตำบลที่เรือหลายแบบด้วยกัน แต่ระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถให้ค่าตำบลที่ได้อย่างสะดวกรวดเร็วทุกสภาพอากาศตลอดเวลาที่ต้องการ และมีความถูกต้องของตำบลที่สูง ได้แก่ ระบบหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม. GPS (Global Positioning System) ระบบนี้เป็นระบบสากล โดยมีสหรัฐอเมริกาเป็นเจ้าของระบบ บัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งทางการทหารและเอกชน

ถึงแม้ว่าระบบ GPS จะให้ค่าความถูกต้องของตำบลที่สูง แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้เป็นระบบที่ต้องใช้การส่งข้อมูลจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ ฉะนั้น ย่อมมีข้อจำกัดหรืออัตราผิดของระบบ นอกจากนี้รัฐบาลสหรัฐอเมริกาเจ้าของระบบ GPS ได้ออกแบบระบบ Selective Availability ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของตำบลที่เพิ่มมากขึ้นอีก

ฉะนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้เครื่องหาตำบลที่ด้วยดาวเทียม GPS จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในระบบพอสมควร สามารถทราบถึงข้อจำกัดและอัตราผิดของระบบ เพื่อจะใช้ได้อย่างถูกต้องและมั่นใจ

กองอุปกรณ์การเดินเรือ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือคำแนะนำระบบการหาตำบลที่ด้วยดาวเทียม GPS ฉบับนี้จะให้ประโยชน์แก่ผู้นำไปใช้ ถ้าหากพบข้อความใดที่ผิดพลาด กรุณาแจ้งให้กองอุปกรณ์การเดินเรือทราบ เพื่อจะได้ดำเนินการตรวจสอบและแก้ไขต่อไป

กองอุปกรณ์การเดินเรือ
กรมอุทกศาสตร์
พ.ศ.๒๕๓๓

สารบัญ

ระบบการกำหนดตำบลที่ด้วยดาวเทียม GPS

	หน้า
กล่าวโดยทั่วไป	๑
โครงสร้างระบบดาวเทียม GPS	๑
เทคนิคการหาตำบลที่โดยระบบ GPS	๔
ความคลาดเคลื่อนของตำบลที่ในระบบ GPS	๖
ข้อควรปฏิบัติ	๙
แจ้งความพิเศษ (เฉพาะเจ้าหน้าที่ในกองทัพเรือ) เรื่อง ค่าแก้พิกัดภูมิศาสตร์	๑๐
แจ้งความพิเศษ (เฉพาะเจ้าหน้าที่ในกองทัพเรือ) เรื่อง การใช้เครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียมและแผนที่อิเล็คทรอนิกส์	๑๑

ระบบการกำหนดตำบลที่ด้วยดาวเทียม GPS

(Global Positioning System)

๑. กล่าวโดยทั่วไป

ระบบการกำหนดตำบลที่ด้วยดาวเทียมในระบบ GPS ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จากแนวความคิดของกระทรวงกลาโหม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในการนำร่อง เพื่อการปฏิบัติการทางทหารโดยเฉพาะ สามารถใช้ได้ทุกสภาพอากาศ ทุกภูมิประเทศบนโลก และตลอดเวลาที่ต้องการ ให้ความถูกต้องของตำบลที่เครื่องรับสูง แต่เนื่องจากระบบนี้ใช้งบประมาณในการดำเนินการมหาศาล หากจะใช้ประโยชน์ด้านการทหารเพียงอย่างเดียวย่อมไม่เป็นการคุ้มค่า รัฐบาลสหรัฐ ฯ จึงได้อนุญาตให้พลเรือนทั่วไปสามารถใช้ระบบนี้เพื่อการนำร่องสำหรับเรือ เครื่องบิน หรือ ยานพาหนะใด ๆ บนผิวโลกที่ติดตั้งเครื่องรับระบบ GPS ได้

ปัจจุบันระบบการหาตำบลที่ด้วยดาวเทียม GPS ได้ถูกเปิดใช้อย่างเสรี ทำให้มีการประยุกต์ใช้งานระบบนี้ทั้งในเชิงพาณิชย์และงานด้านวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก และคาดหมายว่าในอนาคต ระบบ GPS จะเป็นระบบหลักในการกำหนดตำบลที่แทนระบบอื่น ๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

๒. โครงสร้างระบบดาวเทียม GPS

ระบบ GPS อาศัยกลุ่มดาวเทียมใช้งานโคจรอยู่รอบ ๆ โลก จำนวน ๑๘ ดวง (Block II) โดยดาวเทียมทั้งหมดนี้จะโคจรด้วยระนาบการโคจร ๖ ระนาบ ๆ ละ ๓ ดวง และยังมีดาวเทียมสำรองอีก ๓ ดวง โคจรอยู่ในวงโคจรสำรอง สำหรับใช้ในกรณีดาวเทียมดวงใดดวงหนึ่งเกิดขัดข้อง การปฏิบัติของกลุ่มดาวเทียมทั้งหมดนี้เรียกรวมว่า ระบบ NAVSTAR (Navigation Satellite Time and Ranging) โดยดาวเทียมระบบ NAVSTAR นี้จะโคจรอยู่เหนือผิวโลกด้วยความสูงปกติ ๒๐,๑๘๓ กิโลเมตร หรือประมาณ ๑๐,๙๐๐ ไมล์ ระนาบการโคจรทั้ง ๖ ระนาบ จะทำมุมต่อกันประมาณ ๖๐ องศา และทำมุมกับพื้นอิเควเตอร์เป็นมุม ๕๕ องศา ดาวเทียมแต่ละดวงจะโคจร ๑ รอบโลก ใช้เวลา ๑๒ ชั่วโมง ข้อมูลการโคจรของดาวเทียมและข้อมูลเพื่อการนำร่องอื่นๆ จะถูกแก้ไขให้ทันสมัย และถูกส่งจากสถานีควบคุมภาคพื้นดินขึ้นสู่ดาวเทียมทุก ๆ รอบที่ดาวเทียมโคจรผ่าน เพราะฉะนั้น ทุก ๆ จุดบนพื้นโลกจะสามารถรับสัญญาณดาวเทียม GPS ได้อย่างน้อยที่สุด ๔ ดวง ตลอดเวลา การที่ดาวเทียมโคจรอยู่ในระดับสูงมากนี้ทำให้สามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ได้มาก

ระบบการทำงานทั้งหมดของ GPS แบ่งส่วนการทำงานได้ ๓ ส่วน ด้วยกัน คือ

๒.๑. ส่วนอวกาศ (Space Segment) คือส่วนของดาวเทียมทั้งหมดที่ปฏิบัติการในอวกาศและจะเป็นส่วนที่ส่งข้อมูลสัญญาณไปยังสถานีควบคุมภาคพื้นดิน และส่วนผู้ใช้ ตลอดจนรับสัญญาณการแก้ไขข้อมูลจากสถานีควบคุมภาคพื้นดิน สำหรับสัญญาณที่ดาวเทียมส่งมายังโลกประกอบด้วยคลื่นพาหะ L1 ความถี่ ๑,๕๗๕.๔๒ MHz และ L2 ความถี่ ๑,๒๒๗.๖๐ MHz รหัส (Code) คือ P-CODE (Precise-Code) และ C/A-CODE (Coarse /Acquisition Code) และข่าวสารเพื่อการนำร่อง (Navigation Message)

GPS CONTROL STATIONS

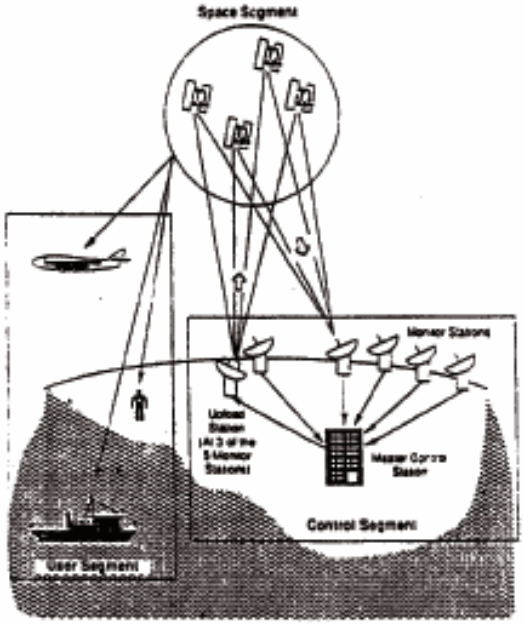
๒.๒ <u>ส่วนควบคุมภาคพื้นดิน (Control Segment)</u> ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก ๑ สถานี ตั้งอยู่ที่ Consolidated Space Operations Center ที่ Colorado Springs สถานีรับข่าว ๕ สถานี ตั้งอยู่ที่ Ascencion Island,Hawaii Island,Diego Garcia,Kwajalein และ Colorado springsและเสาอากาศภาคพื้นดิน ๓ แห่ง อยู่ที่ Colorado Springs,Hawaii และ Ascencion ส่วนรับข่าวภาคพื้นดินนี้จะรับข่าวสารจากดาวเทียมทั้งหมด ติดตามการโคจรของดาวเทียมทุกดวง ข้อมูลข่าวสารจากดาวเทียมจะถูกส่งไปยังสถานีควบคุมหลักเพื่อวิเคราะห์ และแก้ไขให้ถูกต้องแล้วส่งกลับไปให้ดาวเทียมใหม่รวมทั้งเวลาของดาวเทียมจะถูกแก้ไขให้ตรงกับระบบเวลา GPS เวลานี้มีความถูกต้องเหมือนกับเวลา UTC(Coordinated Universal Time)

๒.๓ <u>ส่วนผู้ใช้ (User Segment)</u> ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ส่วนประมวลผล และจานสายอากาศ อุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่บนพื้นดิน ในทะเล หรือบนอากาศ สามารถคำนวณหาแหน่ง ความเร็ว และ เวลา ได้อย่างแม่นยำ

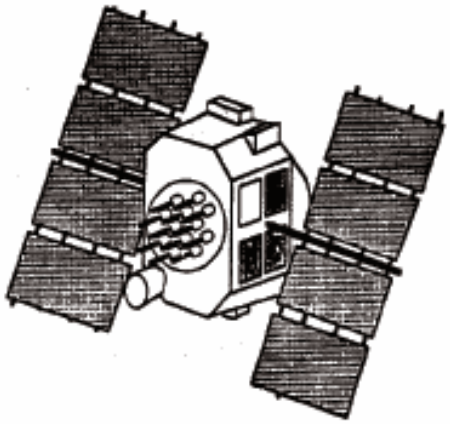
สำหรับการเข้ารหัสหรือ Code เป็นเทคนิคของระบบดาวเทียม GPS เพื่อช่วยให้ผู้รับสามารถรับสัญญาณได้ดีขึ้น ให้ค่าความถูกต้องมากขึ้น โดยสามารถระบุผู้ใช้ว่าให้ค่าความถูกต้องของดาบลที่กับผู้ใช้ประเภทใดได้ การเข้ารหัส แบบ P-CODE เป็นการเข้ารหัสที่ระบุให้เฉพาะผู้ใช้ที่ทำงานในหน่วยงานพิเศษของรัฐบาลสหรัฐ ฯ เท่านั้น ส่วนการเข้ารหัส แบบ C/A CODE เป็นการเข้ารหัสเพื่อให้บุคคลพลเรือนทั่วไป ซึ่งมีเครื่อง GPS สามารถใช้ได้ ปกติรหัส C/A CODE จะผสมมากับคลื่นพาหะ L1 เท่านั้น ไม่มีในคลื่น L2 ฉะนั้นเครื่องรับ GPS ของพลเรือนทั่วไปที่สหรัฐ ฯ อนุญาตให้ใช้งานจะมีข้อความบอกที่เครื่องรับว่าวัด L1 C/A CODE

GPS System Operation

The GPS system consists of three main subsystems as shown in Figure 1.1



GPS SATELLITE



GPS CONSTELLATION IN 1990

- 18 satellites, plus 3 active spares
- 6 orbit planes
- 12 hour period
- 20,000 km height
- (almost) full coverage
  (24 hours per day everywhere in the world)

๓. <u>เทคนิคการหาตำแหน่ง โดยระบบ GPS</u>

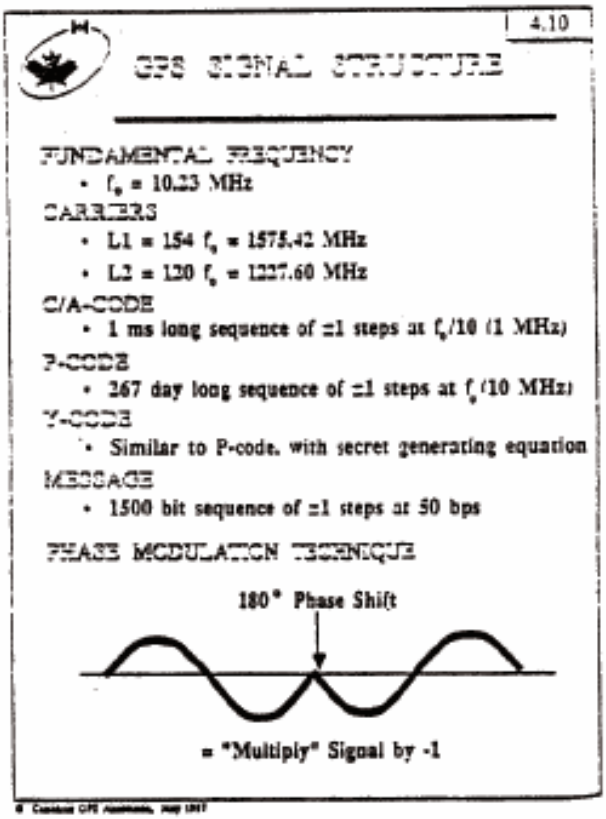
GPS เป็นระบบนำร่องด้วยดาวเทียม หลักการวัดเพื่อหาตำแหน่งของดาวเทียม คือ ใช้สถานีควบคุมภาคพื้นดิน (Control Segment) คอยติดตามดูการเคลื่อนที่ของดาวเทียมตลอดเวลา ทำให้ทราบวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมในเวลาต่าง ๆ ข้อมูลเกี่ยวกับการโคจรของดาวเทียมจะถูกบันทึกไว้ในตัวดาวเทียม และส่งข้อมูลเหล่านี้กลับลงมายังพื้นโลกในรูปของคลื่นวิทยุความถี่สูง ถ้าต้องการทราบตำแหน่งของจุดใด ๆ บนพื้นโลกก็เพียงแต่นำเครื่องรับระบบ GPS ไปรับสัญญาณของดาวเทียมที่ส่งมาเครื่องรับจะนำข้อมูลที่รับได้มาคำนวณหาตำแหน่งของจุดที่เครื่องรับอยู่

คลื่นวิทยุความถี่สูงที่ส่งออกมาจากดาวเทียม GPS คือ คลื่นพาหะ L1 และ L2, L1 = ๑,๕๗๕.๔๒ MHz ความยาวคลื่น ๑๙ ซ.ม. และ L2 = ๑,๒๒๗.๖๐ MHz ความยาวคลื่น ๒๔ ซ.ม. จะถูกผสมมาด้วยข้อมูลข่าวสารของดาวเทียมและข้อมูลของเวลามาตรฐานที่มีความถูกต้องสูง สัญญาณนี้จะนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งที่ สัญญาณที่ผสมเหล่านี้เป็นรหัส Binary ที่ถูกผลิตด้วยสูตรคณิตศาสตร์ที่แน่นอน รหัสนี้ถูกเรียกว่า PRN CODE หรือ Pseudo Random Noise Code ที่รู้จักกันดีในชื่อของ C/A-CODE และ P-CODE โดยมี Fundamental Frequency (fo) = ๑๐.๒๓ MHz

รหัส C/A มีความถี่ ๑.๐๒๓ MHz (fo/10) มีคาบเวลาเท่ากับ ๑ ใน ๑,๐๐๐ วินาที

รหัส P มีความถี่ ๑๐.๒๓ MHz (fo) มีคาบเวลาเท่ากับ ๒๖๗ วัน

รหัส C/A เปิดให้พลเรือนใช้อย่างเสรี ส่วนรหัส P อนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะวงการทหารสหรัฐฯ และหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐ ฯ เท่านั้น



คลื่นพาหะ L1 จะมีการผสมรหัสทั้ง C/A และ P
คลื่นพาหะ L2 จะผสมรหัส P อย่างเดียว
วิธีวัดสัญญาณของคลื่นที่ส่งมาจากดาวเทียม GPS ของเครื่องรับเป็นการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ TOA (Time of Arrival) มีวิธีการวัดพื้นฐานอยู่ ๒ แบบ คือ

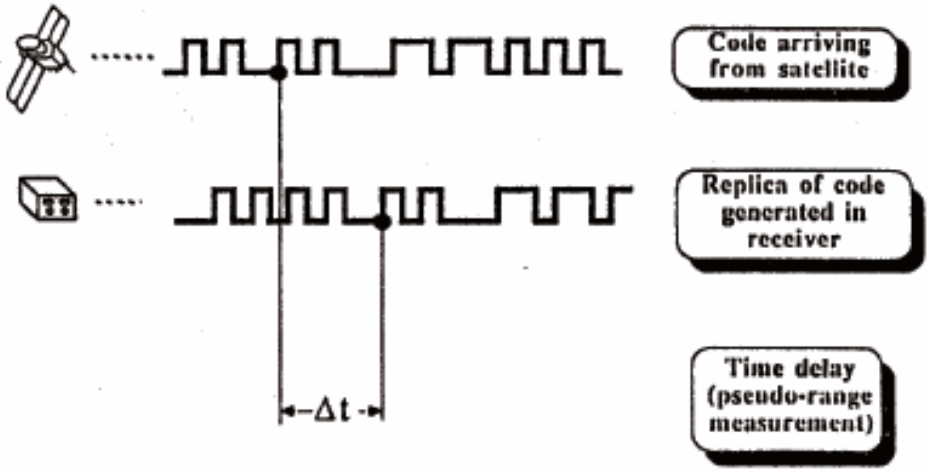
๑. วิธีวัด แบบ Pseudo-Range

๒. วิธีวัด แบบ Carrier beat phase

๑.๑ <u>วิธีวัดสัญญาณแบบ Pseudo-Range</u>

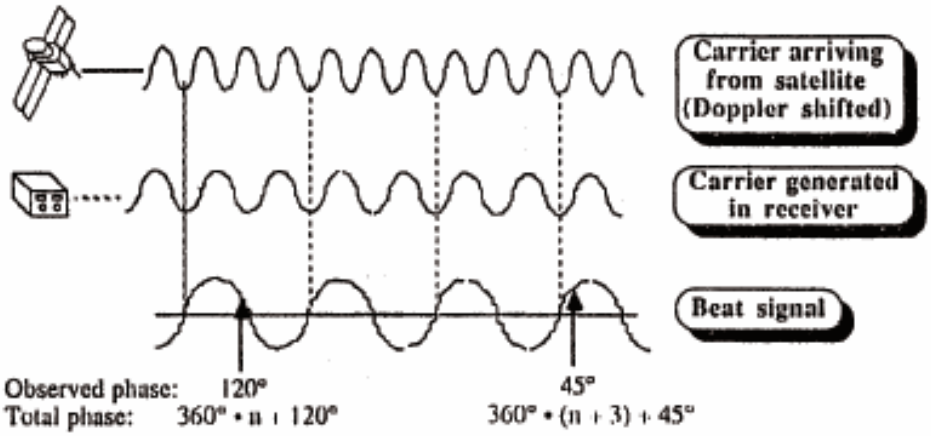
Pseudo-Range เป็นวิธีหรือเทคนิคในการหาตำแหน่งที่โดยใช้การวัดระยะทางระหว่างดาวเทียม GPS และเครื่องรับ ใช้การคำนวณระยะทางจากดาวเทียมที่รับสัญญาณได้ดีอย่างน้อย ๓ ดวง โดยมีตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงเป็นจุดศูนย์กลาง รัศมีจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ คือระยะทางที่วัดได้ ฉะนั้น ลักษณะของตำแหน่งที่ที่ได้จะเป็นลักษณะ ๓ มิติ

ระยะทางระหว่างดาวเทียม และเครื่องรับสัญญาณได้จากการวัดช่วงเวลาที่คลื่นวิทยุความถี่สูงเดินทางจากตัวดาวเทียมมายังเครื่องรับ เครื่องรับจะวัดรหัส C/A หรือ P ที่ผสมมากับคลื่นพาหะ L1 หรือ L2 ในขณะที่ดาวเทียมเริ่มส่งสัญญาณออกมาจะมีสัญญาณเวลามาตรฐานที่มีความถูกต้องแน่นอน ปนออกมาด้วย สัญญาณทั้งหมดนี้จะถูกควบคุมด้วย เครื่องผลิตความถี่มาตรฐาน คือ นาฬิกา Cesium ภายในตัวดาวเทียม ฉะนั้น สัญญาณเวลาจะบอกเวลาที่แน่นอนในขณะที่คลื่นลูกหนึ่ง ๆ ถูกส่งออกมาจากดาวเทียม ถ้านำเวลาดังกล่าวมาเปรียบเทียบหาผลต่างของเวลาที่เครื่องรับในขณะที่รับสัญญาณจากเครื่องรับบนพื้นโลก จะทำให้ทราบเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับว่าใช้เวลาเท่าใด หากนำผลต่างเวลานี้ไปคูณกับความเร็วของคลื่นวิทยุซึ่งให้มีค่าเท่ากับความเร็วแสง (๑๘๖,๐๐๐ ไมล์/วินาที) ก็จะได้ระยะทางระหว่างเครื่องรับและดาวเทียม ทั้งนี้เวลาของเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องตรงกับเวลาบนดาวเทียมด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติการตั้งเวลาของเครื่องรับให้ตรงกับเวลา GPS นั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ฉะนั้น ผลต่างของเวลาที่นำมาใช้คำนวณระยะทางจึงมีความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาในเครื่องรับสัญญาณแฝงอยู่ด้วย จึงทำให้ระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับที่คำนวณได้ไม่ใช่ระยะทางที่แท้จริง ด้วยเหตุนี้ระยะทางที่วัดได้ในที่นี้จึงเรียกว่าระยะแฝง หรือ Pseudo-Range ในทางปฏิบัติเครื่องคำนวณในเครื่องรับสัญญาณ GPS จะสมมุติให้ความคลาดเคลื่อน หรืออัตราผิดของนาฬิกาเป็นตัวไม่ทราบค่าเพิ่มขึ้นอีก ๑ ตัว ในสมการการคำนวณ แล้ววัดระยะทางจากดาวเทียม ๔ ดวง โดยวิธีนี้จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งที่ของเครื่องรับและความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาในเครื่องรับได้จากการแก้สมการ เวลาความคลาดเคลื่อนนี้จะถูกปรับแก้ในเครื่องรับ GPS ให้ตรงกับเวลาดาวเทียม GPS โดยอัตโนมัติ



๓.๒.วิธีวัด Carrier Beat Phase

วิธีนี้เป็นการวัด phase ของสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ที่คงที่โดยวัดเพียงบางส่วนเปรียบเทียบกับสัญญาณความถี่คงที่ของเครื่องรับที่ผลิตขึ้นเอง สัญญาณที่วัด เรียกว่า Phase Shift นั่นคือระยะที่วัดได้จาก Phase Shift นี้จะเป็นเพียงบางส่วนของคลื่น ๑ ลูก หากวัดคลื่น L1 ที่มีความถี่ = ๑,๕๗๕.๔๒ MHz ความยาวคลื่น ๑๙ ซ.ม. ค่าที่วัดได้จาก Phase Shift จะมีค่าน้อยกว่า ๑๙ ซ.ม.และน้อยกว่าความยาวคลื่นของคลื่น L2 คือน้อยกว่า ๒๔ ซ.ม. ค่าความถูกต้องของการวัดจึงให้ค่าที่ดีกว่าการวัดแบบ Pseudo-Range ข้อเสียของวิธีวัด Carrier Beat Phase คือ ไม่สามารถทราบค่าจำนวนเต็มของผลต่างของคลื่นที่ผลิตจากเครื่องรับ และคลื่นที่ดาวเทียมส่งออกมา ซึ่งตัวเลขจำนวนที่เรียกว่า "Cycle Ambiguity"



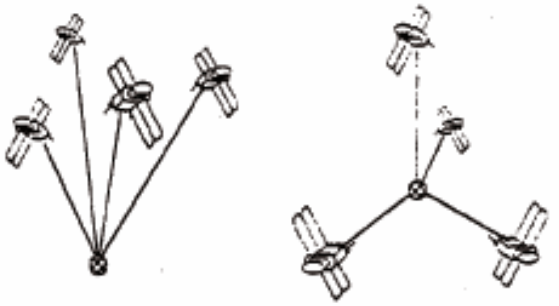
๔. ความคลาดเคลื่อนของตำบลที่ในระบบ GPS

๔.๑ ความคลาดเคลื่อนจาก S/A แต่เดิมเครื่องรับ GPS ที่มีการรับสัญญาณแบบ L1 C/A-CODE สำหรับผู้ใช้ที่เป็นพลเรือนทั่วไปสามารถให้ตำแหน่งของตำบลที่ ที่มีความแม่นยำอยู่ในระยะ ๓๐ เมตร หรือ ๑๐๐ ฟุต ซึ่งมีความเที่ยงตรง และแม่นยำค่อนข้างสูง กระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ จึงได้ออกแบบระบบ ที่เรียกว่า Selective Availability หรือ S/A ขึ้น เพื่อใช้ลดระดับความแม่นยำของระบบลงสำหรับพลเรือนทั่วไปที่ใช้ L1 C/A-CODE ทั้งนี้ เพื่อให้ความถูกต้องของตำบลที่ไม่สูงนัก และป้องกันการนำมาใช้ทางทหารเพื่อต่อต้านกองทัพสหรัฐ ฯ S/A ได้เพิ่มความคลาดเคลื่อนของตำบลที่ของเครื่องรับ GPS สำหรับผู้ใช้ที่เป็นพลเรือนทั่วไปเป็น ๑๐๐ เมตร และในอนาคต กระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ มีแนวความคิดจะเพิ่มระดับความคลาดเคลื่อนเป็น ๓๐๐ เมตร หรือ ๑,๐๐๐ ฟุต

๔.๒ <u>ความคลาดเคลื่อนทางเทคนิค</u> สามารถแบ่งได้เป็น ๒ ส่วน ใหญ่ ๆ คือ

๔.๒.๑ ความคลาดเคลื่อนจากการวางตัวของกลุ่มดาวเทียม ที่กระทำต่อเครื่องรับสัญญาณ (The Satellite Configuration Geometry)

ปัญหาการวางตัวของกลุ่มดาวเทียมทางรูปทรงเรขาคณิต สามารถอธิบายในรูปของ DOP (The Dilution of Precision) คือค่าการวัดความแข็งของรูปทรงทางเรขาคณิตของดาวเทียมที่มากระทำต่อกันเป็นรูปทรงต่างๆในขณะนั้น ซึ่งค่า DOP นี้จะเปลี่ยนไปตามเวลา เนื่องจากดาวเทียมโคจรไปตามแนวทางการโคจรตลอดเวลา ฉะนั้นจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ตำบลที่ของกลุ่มดาวเทียมที่มากระทำต่อกันก็แตกต่างกัน



POOR GDOP
satellites bunched together

GOOD GDOP
(ideal case)
- one satellite overhead
- 3 on horizon, 120° apart in azimuth

ค่า GDOP เป็นค่าแสดงลักษณะการประกอบของกลุ่มดาวเทียม ๔ ดวง ทางเรขาคณิต ซึ่งให้ค่าตำบลที่แบบ ๓ มิติ และเวลา (3D Position and Time) หรือ Geometrical สรุปรวมก็เรียกว่าค่า DOP นั่นเอง

๔.๒.๒ ความคลาดเคลื่อนจากการวัด (The Measurement Accuracy)เป็นความคลาดเคลื่อนอีกตัวหนึ่ง โดยปกติความคลาดเคลื่อนในข้อนี้ เป็นความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับสัญญาณ

ความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับสัญญาณสามารถแบ่งได้ดังนี้

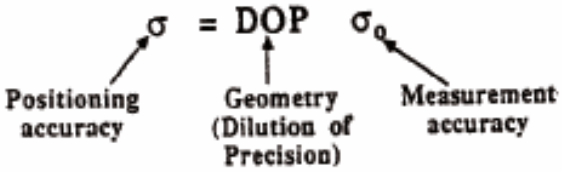
๔.๒.๒.๑ ความไม่แน่นอนของปฏิทินการโคจรของดาวเทียม
(Ephemeris Uncertainties)

๔.๒.๒.๒ ความคลาดเคลื่อนจากการกระจายของคลื่น (Propagation Error)

๔.๒.๒.๓ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาและจังหวะเวลา
(Clock and Timing Error)

๔.๒.๒.๔ การรบกวนของการรับสัญญาณ (Receiver Noise)

จากความคลาดเคลื่อนในข้อ ๔.๒.๑ และ ๔.๒.๒ นี้เราสามารถแสดงในรูปสมการความคลาดเคลื่อนได้คือ



เมื่อ σ_0 เป็นความคลาดเคลื่อนของการวัด

σ เป็นความคลาดเคลื่อนของตำบลที่

DOP เป็นค่า The Dilution of Precision

จากสมการถ้าให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด (Measurement Accuracy) มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ค่า DOP เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สถานที่ แต่เมื่อใดที่ค่า DOP มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ความคลาดเคลื่อนของตำบลที่ก็จะเหลือเพียง ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ซึ่งเป็นค่าคงที่เท่านั้น จะเห็นว่าค่า DOP มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำบลที่เป็นค่าที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดได้ ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามตำบลที่ และหรือเวลาที่แตกต่างกันในการรับสัญญาณ

๔.๓ <u>ความคลาดเคลื่อนจากแผนที่</u> นอกจากความคลาดเคลื่อนของตำบลที่ อันเนื่องมาจากข้อ ๔.๑ และ ๔.๒ ยังมีความคลาดเคลื่อนอีกประการหนึ่ง ซึ่งมีค่าเพียงเล็กน้อยมากหากนำมาใช้แสดงบนแผนที่มาตราส่วนเล็ก แต่ถ้าใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่แล้วจะสังเกตเห็นได้ชัด ความคลาดเคลื่อนที่ว่านี้เกิดจากผู้ใช้เครื่องรับ GPS นำค่าตำบลที่ที่อ่านได้จากเครื่องรับไปใช้กับแผนที่เดินเรือที่มีการสร้างแผนที่มาจากพื้นหลักฐาน (Datum) และระบบรูปทรงโลกที่ต่างจากระบบพื้นหลักฐานของดาวเทียม แผนที่เดินเรือที่ถูกสร้างออกมาจากหน่วยงานหรือผู้มีหน้าที่รับผิดชอบของประเทศต่าง ๆ ในโลกนี้ มีการใช้พื้นหลักฐานและระบบรูปทรงโลกที่แตกต่างกันมากมายถึงจะใช้โครงสร้างแผนที่แบบ Mercator Projection ที่เหมือนกันก็ตามปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อนำมาใช้ร่วมกันคือจะเกิดความคลาดเคลื่อนของตำบลที่ขึ้น สำหรับระบบดาวเทียม GPS ใช้พื้นหลักฐานดาวเทียมระบบการกำหนดตำบลที่ภูมิศาสตร์ แบบ WGS84 (World Geodetic System 84) ฉะนั้น ก่อนที่ผู้ใช้จะนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องรับ GPS ไปใช้ จำเป็นจะต้องปรับแก้ค่าตำบลที่ที่อ่านได้เสียก่อนตามค่าแก้ที่ปรากฏอยู่ในแผนที่เดินเรือแผ่นนั้นๆ หรือจากประกาศแจ้งความจากเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบในการทำแผนที่เดินเรือ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าตำบลที่ที่นำไปใช้มีความถูกต้องมากที่สุด

สำหรับแผนที่เดินเรือไทย ที่กรมอุทกศาสตร์ สร้างออกมานั้นใช้พื้นหลักฐานที่เรียกว่า Everest 2518 ซึ่งกรมอุทกศาสตร์ ได้ออกแจ้งความพิเศษ ฉบับที่ ๑/๒๕๓๔ เมื่อวันที่ ๒๒ ม.ค.๓๔ เรื่องค่าแก้พิกัดภูมิศาสตร์ หรือประกาศแจ้งไว้ในแผนที่ที่พิมพ์ใหม่ เช่น แผนที่เดินเรือ หมายเลข ๓๐๓ เป็นต้น

๔. ข้อควรปฏิบัติ

เมื่อใช้เครื่องหาตำบลที่เรือด้วยดาวเทียม GPS ในการนำเรือ ประกอบกับการใช้แผนที่เดินเรือไทย ให้แก้ค่าความคลาดเคลื่อนตามที่กล่าวไว้ในข้อที่ ๔.๓ หน้า ๘ และ ๑๐ เพื่อค่าตำบลที่ที่ได้จะได้มีความถูกต้องมากขึ้น และ ให้ปฏิบัติตามแจ้งความพิเศษ (เฉพาะเจ้าหน้าที่ในกองทัพเรือ) เรื่อง การใช้เครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียมและแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ ๑ /๒๕๓๓ เมื่อ วันที่ ๑ มิ.ย.๓๓ หน้า ๑๑

ที่ ๑/๒๕๓๔ - ๑๐ -

แจ้งความพิเศษ
(เฉพาะเจ้าหน้าที่ในกองทัพเรือ)
เรื่อง ค่าแก้พิกัดภูมิศาสตร์

ด้วย อศ. ได้คำนวณค่าแก้พิกัดภูมิศาสตร์จากเครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียม ซึ่งใช้ลูกโลก WGS 84 เป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์บนแผนที่เดินเรือไทย ซึ่งใช้ลูกโลก EVEREST 2518 สำหรับให้เรือหลวงได้ใช้แก้ค่าพิกัดที่หาได้จากเครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียมมาเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์บนแผนที่เดินเรือไทย ได้ถูกต้อง

ฉะนั้น ให้เจ้าหน้าที่ผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้อง เมื่อได้ค่าพิกัดจากเครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียม ให้ดำเนินการดังนี้

ค่าแก้ในบริเวณอ่าวไทย

ค่าละติจูด ให้ลบออกด้วย ๐.๑๒ ลิปดา ก่อนพล็อตลงในแผนที่เดินเรือไทย

ค่าลองจิจูด ให้บวกด้วย ๐.๒๐ ลิปดา ก่อนพล็อตลงในแผนที่เดินเรือไทย

ค่าแก้ในบริเวณทะเลอันดามัน

ค่าละติจูด ให้ลบออกด้วย ๐.๑๓ ลิปดา ก่อนพล็อตลงในแผนที่เดินเรือไทย

ค่าลองจิจูด ให้บวกด้วย ๐.๒๘ ลิปดา ก่อนพล็อตลงในแผนที่เดินเรือไทย

อศ.

๒๒ ม.ค.๓๔

แจ้งความพิเศษ
(เฉพาะเจ้าหน้าที่ในกองทัพเรือ)
เรื่อง การใช้เครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียมและแผนที่อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องด้วยเครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียม และเครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียมแบบที่มีแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ประกอบ ยังให้ค่าตำบลที่เรือที่มีความคลาดเคลื่อนจากสภาพที่เป็นจริงทางภูมิศาสตร์ ทั้งนี้ด้วยสาเหตุจากความคลาดเคลื่อนในการทำแผนที่ และความแตกต่างในระบบพิกัดที่ใช้ในแผนที่เดินเรือกับที่ใช้ในเครื่องหาที่เรือด้วยดาวเทียมทั้งสองแบบดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นการเดินเรือในพื้นที่อันตรายพื้นที่ใกล้ฝั่งหรือในน่านน้ำจำกัด จึงควรยึดถือแผนที่เดินเรือของ อศ. เป็นหลัก และควรหาที่เรือด้วยวิธีอื่นหรือใช้ที่หมายชายฝั่งประกอบด้วย

อศ.

๓ มิ.ย.๓๓

บรรณานุกรม

CANADIAN GPS ASSOCIATES , " GUIDE TO GPS POSITIONING "

G.J SONNENBERG , " RADAR AND ELECTRONIC NAVIGATION "

NATHANIEL BOWDITCH, LL.D. , " AMERICAN PRACTICAL NAVIGATOR "

ELBERT S. MALONOEY , " DUTTON'S NAVIGATION AND PILOTING "

RICHARD R. HOBBS , " MARINE NAVIGATION 2 "

<u>รายการแจกจ่าย</u>

นขต.ทร. หน่วยละ ๑ เล่ม	๓๕	เล่ม
คณะกรรมการพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร.	๒	เล่ม
คณะทำงานพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. ด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน	๒	เล่ม
สำรอง	๖๑	เล่ม
รวม	๑๐๐	เล่ม