ค ง คธ ช ชธ ช ช ง ค ค ท VEDV ง งค ธ ช G VV ค ท - ค ก ค - ค ช ท ช SR VLWR DFF UDF HYDO DWR EHW HH VEDVFRUUHFWR D G GLII HUH WLDO VV V VWHP VL WKHP DUL H DYL DWR D FDVHVW G FI GHHS VHD SRUW VR NKOD SUR YL FH1

°คธ 4- ° 5 °ธ °ช 6

1,2ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น
*Corresponding author; E-mail address: 6370235121@student.chula.ac.th

ง ท

ปัจจุบันระบบดาวเทียมนำหน GNSS เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการหาตำแหน่งและการนำทางต่าง ๆ เช่น การคมนาคมทางบก การวางแผนการบิน และการเดินเรือ เป็นต้น ซึ่งการเดินเรือจำเป็นที่ต้องทราบค่าพิกัดที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูง ในช่วงการนำเรือเข้าสู่ท่าเรือ จึงได้มีการนำระบบเสริมค่าความถูกต้องของตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS มาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาเส้นทางการเดินเรือที่มีความแม่นยำและความถูกต้องทางตำแหนงสูง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในหมู่นักเดินเรือ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดที่ประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างเทคนิคทั้งสองในบริบทของการเดินเรือทางทะเลในบริเวณพื้นที่ประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS ซึ่งใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบ GNSS จำนวน 6,665 ตำแหน่ง บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา โดยตำแหน่งอ้างอิงค่าได้จากวิธีการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง (PPK) ผลจากการศึกษาพบว่า เทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS มีค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) ทางราบ 0.59 เมตร ทางดิ่ง 1.17 เมตร สำหรับข้อมูลรังวัดจากระบบดาวเทียม SBAS มีค่า RMSE ทางราบ 0.90 เมตร ทางดิ่ง 5.10 เมตร ดังนั้นในการนำร่องการเดินเรือในพื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย เทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งมากกว่าการหาตำแหน่งโดยระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งการเดินเรือด้วยระบบดาวเทียม GNSS เพียงอย่างเดียว และการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพียงพอต่อการเดินเรือในน่านน้ำจำกัดเดินเรือชายฝั่ง และน่านน้ำเปิด แต่ไม่เหมาะสมต่อการเดินเรือบริเวณท่าเรือหรือน่านน้ำที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่นที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งน้อยกว่า 1 เมตร

คำสำคัญ: การเดินเรือ, ดีจีเอ็นเอสเอส, เอสบีเอเอส

Devud

Nowadays, Global Navigation Satellite System is the preferred method of navigation in missions such as flight planning and maritime navigation, etc., in which maritime navigation is necessary to know the coordinates with high positional accuracy during the ship's entry into the port. Satellite-Based Augmentation System and Differential Global Navigation Satellite System have therefore been applied in the routing processing for high precision and positional accuracy. These processes are accepted among mariners. However, in Thailand, there is no agency to assess the positional validity between the two techniques in the context of maritime navigation in regions of Thailand. Therefore, this research focuses on assessing the position accuracy between the correction data from the SBAS satellite system and the DGNSS positioning technique, which use the observation data with the GNSS for 6,665 positions in the deep-sea port, Songkhla province. The reference coordinates were obtained from the Post-Processed Kinematic (PPK) method. The DGNSS positioning technique showed the RMSE values at 0.59 m and 1.17 m in horizontal and vertical components respectively, while the SBAS technique showed the RMSE values at 0.90 m and 5.10 m in horizontal and vertical components respectively. Therefore, in marine navigation in the Gulf of Thailand, The DGNSS technique produced more accurate positioning results than the SBAS technique, which is navigated by the GNSS technique only and the use of correction data from the SBAS technique provides adequate positional accuracy for restricted ocean navigation. Still, it is not appropriate for the port or waters with heavy

maritime traffic requiring positional accuracy of less than 1 meter.

Keywords Maritime navigation, DGNSS, SBAS

41

ระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS ได้ถูกออกแบบใช้งานมาอย่างยาวนาน โดยมีประเทศต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาระบบนำทางด้วยดาวเทียมขึ้นมา ซึ่งระบบดาวเทียม GNSS ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อย่างกว้างขวาง เช่น ด้านการนำทาง ทางบก ทางอากาศ หรือการเดินเรือทางทะเลที่จะเห็นได้อย่างชัดเจน อีกทั้งการกำหนดตำแหน่งที่มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการทำงานด้านอุทกศาสตร์ และการเดินเรือประเภทต่าง ๆ เช่น การเดินเรือผ่านช่องแคบ การเดินเรือในสถานที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น หรือน่านน้ำจำกัด ในปัจจุบันองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization; IMO) ได้ยอมรับการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่มีความสามารถในหาตำแหน่งค่าพิกัด การนำทาง และเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินเรือ โดยให้เป็นส่วนหนึ่งของระบบวิทยุการเดินเรือทั่วโลก WWRNS (World–Wide Radionavigation System) ต้องมีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของ IMO ตามอนุสัญญา SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) [1]

ทั้งนี้เรือส่วนใหญ่ในโลกได้ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ซึ่งเป็นไปตามกฎการเดินเรือ ดังนั้นระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS จึงได้กลายเป็นวิธีการหลักในการหาตำแหน่งค่าพิกัด แต่ข้อจำกัดบางประการในความสามารถของ GNSS เช่น ความแม่นยำของระบบนำทาง ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดระบบนำทางเสริมค่าความถูกต้องของพิกัดบนพื้นดิน (Ground Based Augmentation System; GBAS) หรือระบบนำทางเสริมด้วยระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งระบบนำทางเหล่านี้จะเพิ่มความถูกต้องของตำแหน่งค่าพิกัดในระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS เช่น ความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ ความต่อเนื่อง ความพร้อมใช้งาน และความสมบูรณ์ของข้อมูล ซึ่งได้รับการปรับปรุงเป็นอย่างมาก [2] และอีกหนึ่งวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายคือ เทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS ที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องทางตำแหน่งในการนำร่องของเรือ [3] โดยระบบดาวเทียม SBAS สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความถูกต้อง ในการประมาณค่าตำแหน่งและสามารถใช้เพื่อเสริมกับเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือทางทะเลและทางน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4] อีกทั้งมีความพร้อมการใช้งานและความต่อเนื่องของสัญญาณดาวเทียมที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องช่วยนำทางอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับความแม่นยำที่เอื้อต่อความปลอดภัยในการนำทาง อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดที่ประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างเทคนิคทั้งสองในบริบทของการเดินเรือทางทะเลในบริเวณพื้นที่ประเทศไทย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ต่อการเดินเรือในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ตลอดเส้นทางการเดินเรือเปรียบเสมือนการเดินเรือจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ บริเวณท่าเรือน้ำลึกจังหวัดสงขลา โดยทำการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ด้วยวิธีการประมวลผล 4 เทคนิค ได้แก่ (1.) เทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK ใช้เป็นค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จาก (2.) การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS (3.) การประมวลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว และ (4.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ในการเลือกใช้งานระบบดาวเทียมนำหน GNSS นำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านต่าง ๆ ในพื้นที่ประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพทางตำแหน่งที่ดีขึ้น เช่น ในการนำร่องด้านการเดินเรือ

51 ค ช

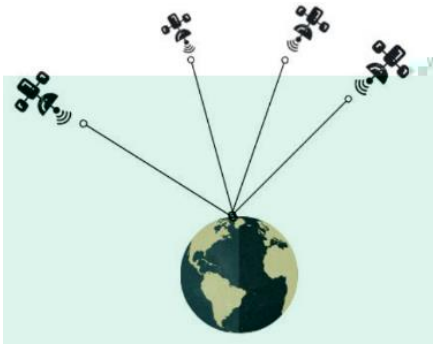
2.1 เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมม

2.1.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning)

การหาตำแหน่งแบบจุดเดียวเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับโดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยปกติจะใช้วิธีการวัดซูโดเรนจ์ ซึ่งซูโดเรนจ์ที่ได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด อาทิ ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทางดังต่อไปนี้ตามสมการที่ 1 [5]

$$\mathrm{R} = \rho + \Delta\mathrm{r} + \mathrm{d_{ion}} + \mathrm{d_{trop}} + \mathrm{c}(\Delta\delta_{\mathrm{r}} - \Delta\delta^{\mathrm{s}}) + \mathrm{dm_R} + \epsilon_{\mathrm{R}} \quad (1)$$

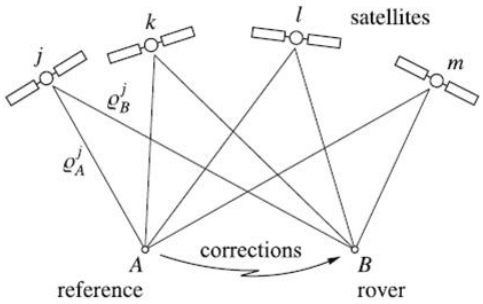
โดย R คือ สมการค่ารังวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo range), คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ, Δr คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม, d_{ion} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์, d_{trop} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์, c คือ ความเร็วแสง, $\Delta\delta_r$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ, $\Delta\delta^s$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม, dm_R คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี, ϵ_R คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส



4 วิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว [5]

2.1.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

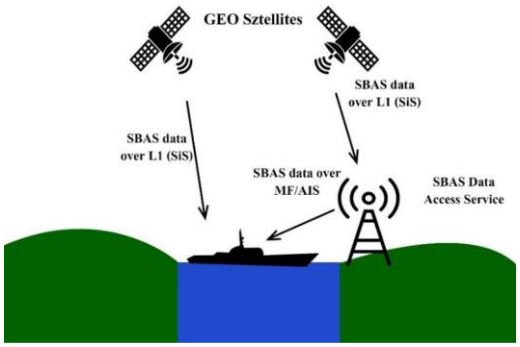
การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ หรือ เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS เป็นวิธีที่ใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง และจะต้องทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้หาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่น ๆ ฉะนั้นจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่องในการทำงาน หลักการทำงานนำเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่หนึ่งไปวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า สถานีฐาน (Base station) ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ซึ่งเรียกว่าสถานีจร (Roving station) การหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีจรจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน และรับสัญญาณอย่างน้อย 4 ดวง ดังแสดงในรูปที่ 2 ด้วยการทำงานในลักษณะดังกล่าว ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic errors) หลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนจากวงโครจร ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น จะถูกหักล้างกันไปทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้นั้นดีขึ้น [5]



5 หลักการพื้นฐานของเทคนิค DGNSS [6]

2.2 Satellite Based Augmentation System (SBAS)

ระบบดาวเทียม SBAS เป็นระบบเสริมดาวเทียมซึ่งสำนักงานการบินแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้ออกแบบมาเพื่อใช้งานด้านการบิน และได้ถูกพัฒนาขึ้นในหลากหลายประเทศ โดยมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามประเทศที่พัฒนาเช่น สหรัฐอเมริกา เรียกว่า WAAS (Wide Area Augmentation System) ประเทศอินเดีย คือ GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) และ สาธารณรัฐประชาชนจีน BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS) เป็นต้น เนื่องจากประเทศไทยไม่อยู่ในพื้นที่ให้บริการแต่ก็สามารถรับสัญญาณได้ โดยระบบเสริมดาวเทียม SBAS จะให้บริการค่าแก้สำหรับระบบดาวเทียม GNSS ได้แก่ ค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อเพิ่มค่าความแม่นยำทางตำแหน่งของพื้นที่เพิ่มขึ้นในบริเวณกว้าง เช่น ด้านการบิน และการเดินเรือ [8] The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) สมาคมประภาคารระหว่างประเทศ กล่าวว่า ระบบดาวเทียม SBAS เป็นระบบที่เสริมค่าความถูกต้องสามารถให้ข้อมูลประเภทเดียวกับการรังวัดแบบสัมพัทธ์ DGNSS ได้ในพื้นที่กว้าง และสามารถใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และความสมบูรณ์ ในกิจกรรมทางทะเลต่าง ๆ และทางน้ำภายในประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความแม่นยำทางตำแหน่งเทียบเท่ากับวิธีการแบบสัมพัทธ์ DGNSS (ความแม่นยำ < 5 เมตร (95%)) [9]



6 ทางเลือกในการใช้งานระบบดาวเทียม SBAS [1]

2.3 มาตรฐานการเดินเรือ

สมาคมประภาคารระหว่างประเทศ (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities; IALA) เป็นสมาคมทางเทคนิคระดับนานาชาติซึ่งมีการดำเนินการร่วมมือกับส่วนต่าง ๆ ของโลกในการหารือกัน และติดต่อกับองค์กรต่าง ๆ เช่น องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO ซึ่งเป็นองค์การหลักที่ออกกฎข้อบังคับที่ครอบคลุมครบถ้วนเกี่ยวกับการเดินเรือ รับผิดชอบด้านความปลอดภัย สภาพแวดล้อม กฎหมายที่เกี่ยวข้อง ความร่วมมือทางเทคนิค และการเดินเรืออย่างมีประสิทธิผล ตามข้อมติองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO ที่ A.915(22) นิยามว่า เดินเรือ คือกระบวนการวางแผนบันทึกและควบคุมการเคลื่อนที่ของยาน จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และมีข้อแนะนำว่าไม่พึงใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียวในการหาตำบลที่ของเรือ มาตรฐานความแม่นยำในการเดินเรือกำหนดมาตรฐานความแม่นยำสำหรับการเดินเรือที่ต้องการเป็นอย่างน้อย ตามตารางที่ 1 [9]

ธ ช 4 ความต้องการเป็นอย่างน้อยของผู้ใช้งานทางทะเล [9]

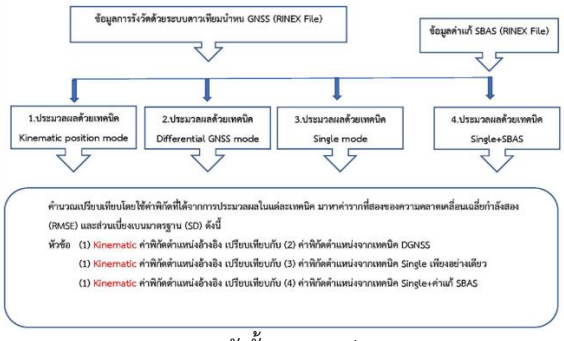
การใช้งาน (Application)	ความแม่นยำสัมบูรณ์ในแนวราบ (95%)/เมตร
สำหรับการเดินเรือในบริเวณ :	
มหาสมุทร (OCEAN)	10 - 100
ชายฝั่ง (Coastal)	10
น่านน้ำจัดกัด (Restricted waters)	10
ท่าเรือ (Port)	1
เส้นทางน้ำในแผ่นดิน (Inland Waterways)	10
อุทกศาสตร์ (Hydrography)	1 - 2
สมุทรศาสตร์ (Oceanography)	10
การจัดการเครื่องหมายทางเรือ	1
ปฏิบัติการท่าเรือ :	
VTS ในท้องถิ่น (Local VTS)	1
การจัดการตู้สินค้า/สินค้า	
การบังคับใช้กฎหมาย (Law Enforcement)	1
การขนถ่ายสินค้า (Cargo Handing	0.1

61 ท ช

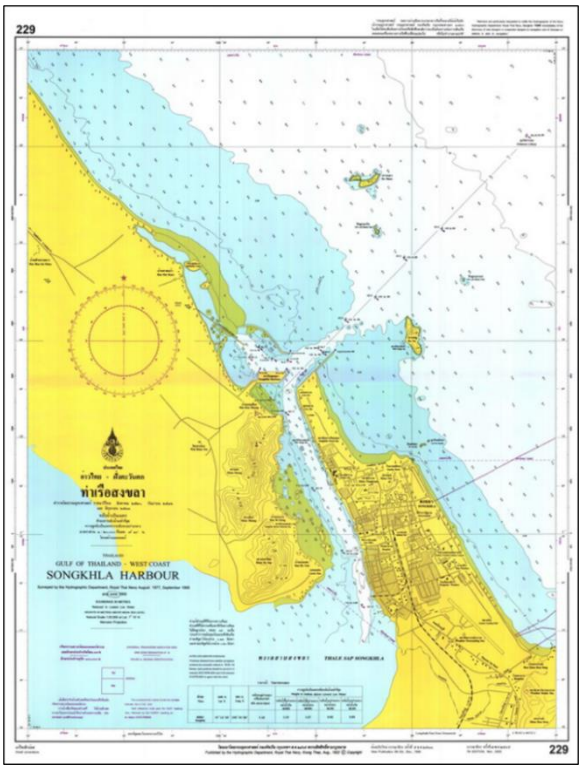
3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 ขอบเขตข้อมูลในการศึกษา

ข้อมูลการรังวัดเครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ Stonex รุ่น S10 ซึ่งติดตั้งบนดาดฟ้าเรือ โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที เปรียบเสมือนการเดินเรือจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ บริเวณท่าเรือน้ำลึกจังหวัดสงขลา ในรูปที่ 5 แผนที่ทางเข้าท่าเรือสงขลา หมายเลข 229 จัดสร้างโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ และค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จาก The Navigation and Time Monitoring Facility (NTMF) (CNES NTMF, Toulouse- France) ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที ในวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2565 ในรูปแบบไฟล์ RINEX ในประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวโดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) จะใช้โปรแกรมม RTKLIB ver.2.4.2 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ ในรูปที่ 4



7 แผนผังขั้นตอนการประมวลผล



8 แผนที่ทางเข้าท่าเรือสงขลา (WGS84) หมายเลข 229

3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE)

3.2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum((N_{data,i}-N_{check,i})^2+(E_{data,i}-E_{check,i})^2)}{n}} \quad (2)$$

$RMSE_r$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ (เมตร), $N_{check,i}$, $E_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบอ้างอิง (เมตร), $N_{data,i}$, $E_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบที่จะเปรียบเทียบ, i คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ทุก ๆ 1 วินาที, n คือ จำนวน Epoch

3.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางดิ่ง

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{data,i}-Z_{check,i})^2}{n}} \quad (3)$$

$RMSE_Z$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง (เมตร), $Z_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดตำแหน่งทางดิ่งอ้างอิง (เมตร), $Z_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดตำแหน่งทางดิ่งที่จะเปรียบเทียบ, i คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ทุก ๆ 1 วินาที, n คือ จำนวน Epoch

3.2.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย และในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อวัดการกระจายของข้อมูลซึ่งจะแสดงถึงความแม่นยำของข้อมูล ใช้เปรียบเทียบข้อมูลว่ากระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด หากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยน้อย และถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมาก หากข้อมูลมีการกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมาก อาจทำให้ผลของงานวิจัย

คลาดเคลื่อน ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย RMSE จึงควรพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD

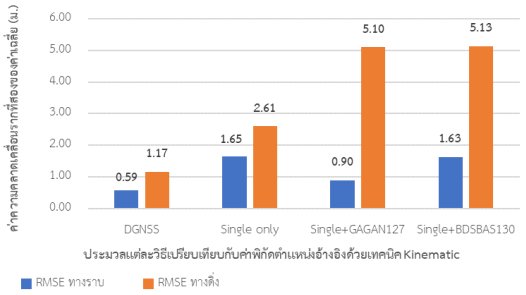
71 ค ค

จากการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษา ท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา โดยใช้ข้อมูลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทุก ๆ 1 วินาที จำนวน 6,665 ตำแหน่ง โดยการประมวลผล 4 เทคนิค ได้แก่ (1.) การรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK เป็นค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จาก (2.) การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS (3.) การประมวลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว และ (4.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้วยวิธีการทางสถิติค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ทั้งทางราบและทางดิ่ง ตามตารางที่ 2

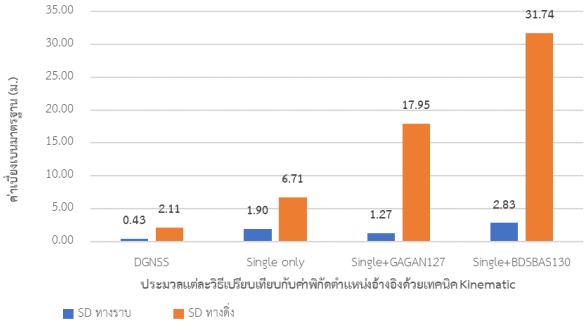
ธ ช 5 ผลลัพธ์จากการประมวลผล ทั้ง 3 เทคนิค

เทคนิคการประมวลผล	ค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย (ม.)	ค่า SD ทางราบเฉลี่ย (ม.)	ค่า RMSE ทางดิ่งเฉลี่ย (ม.)	ค่า SD ทางดิ่งเฉลี่ย (ม.)
DGNSS	0.59	0.43	1.17	2.11
Single only	1.65	1.90	2.61	6.71
GAGAN127	0.90	1.27	5.10	17.96
BDSBAS130	1.63	2.83	5.13	31.74

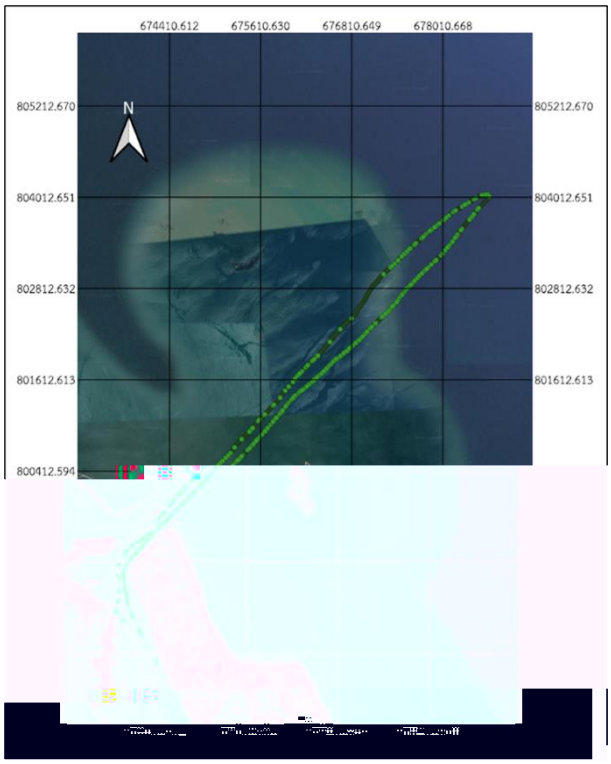
ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ และทางดิ่ง จากเทคนิคการหาตำแหน่ง DGNSS มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย 0.59 เมตร ทางดิ่งเฉลี่ย 1.17 เมตร และมีค่า SD ทางราบเฉลี่ย 0.43 เมตร ทางดิ่งเฉลี่ย 2.11 เมตร, การประมวลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย 1.69 เมตร ทางดิ่งเฉลี่ย 2.61 เมตร และมีค่า SD ทางราบเฉลี่ย 1.90 เมตร ทางดิ่งเฉลี่ย 6.71 เมตร, จากการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย 0.90 เมตร, SD ทางราบเฉลี่ย 1.27 เมตร และ RMSE ทางดิ่งเฉลี่ย 5.10 เมตร, SD ทางดิ่งเฉลี่ย 17.96 เมตร, และระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย 1.63 เมตร, SD ทางราบเฉลี่ย 2.83 เมตร และ RMSE ทางดิ่งเฉลี่ย 5.13 เมตร, SD ทางดิ่งเฉลี่ย 31.74 เมตร ดังรูปที่ 6, 7 และการลักษณะการวางตำแหน่งของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการเดินเรือ ในรูปที่ 8



เปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย ทางดิ่งเฉลี่ย



: เปรียบเทียบค่า SD ทางราบเฉลี่ย ทางดิ่งเฉลี่ย



ลักษณะการวางตำแหน่งของข้อมูล

81 ค ค

จากผลลัพธ์สรุปได้ว่า ในพื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ช่วยเพิ่มความแม่นยำ ความถูกต้องทางตำแหน่งในการหาตำบลที่ ในช่วงการเข้าสู่ท่าเรือ หรือน่านน้ำที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น ที่ดีกว่ากว่าการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเมื่อผนวกเข้ากับระบบแสดงแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศเพื่อการเดินเรือ (Electronic Chart Display and Information System ; ECDIS) สามารถให้ความถี่ในการหาที่เรือที่แน่นอน เป็นไปตามมาตรฐานความแม่นยำในการเดินเรือ ตามข้อมติองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO ที่ A.915(22) แต่ข้อจำกัดของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีอ้างอิง (Base Station) และเครื่องรับ (Rover) ซึ่งการเดินเรือด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว และการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพียงพอต่อการเดินเรือในน่านน้ำจำกัด เดินเรือชายฝั่ง และน่านน้ำเปิด แต่ไม่เหมาะสมต่อการเดินเรือบริเวณท่าเรือ หรือน่านน้ำที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น ที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งน้อยกว่า 1 เมตร และทั้งนี้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ในงานวิจัยได้นำมาประมวลผลร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทั้งสองระบบ ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งในการหาตำบลที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่สรุปไว้ว่า ระบบดาวเทียม SBAS ที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้นไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งได้โดยเฉลี่ย เมื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว และ [8] ที่สรุปไว้ว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดครอบคลุมทุกพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย

5.1 ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการเดินเรือในอนาคตความสำคัญของระบบดาวเทียม SBAS อาจจะมีความสำคัญเพิ่มขึ้น ถ้าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น หรือ เมื่อประเทศไทยสามารถพัฒนาระบบดาวเทียม SBAS เป็นของประเทศไทยได้แล้ว การนำร่องการเดินเรืออาจจะใช้เพียงระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในการนำหนทั้งทางบก อากาศ และการเดินเรือ มุมมองของผู้วิจัย เสนอแนะให้มีการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากระบบดาวเทียม SBAS อีกครั้ง เมื่อถึงเวลานั้น คาดหวังว่าระบบดาวเทียม SBAS จะสามารถแทนที่ระบบการนำร่องการเดินเรือที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้

2. ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้พื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย ในทดลองวิจัย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ดังในข้อสรุปข้างต้นว่า ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้งสองระบบ ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งในการหาตำบลที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย ทางผู้วิจัยขอเสนอแนะให้เปลี่ยนสถานที่วิจัยไปยังฝั่งทะเลอันดามัน เนื่องจากเป็นฝั่งเดียวกับประเทศอินเดีย ซึ่งมีระบบดาวเทียม GAGAN เพื่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อาจจะตอบโจทย์การเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น

คธธค ำ ก

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ที่ให้แนวคิด คำแนะนำ คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งได้ถ่ายทอดความรู้ ความสามารถ ให้ผู้เขียนสามารถทำงานสำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมสำรวจ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เป็นผู้สนับสนุน และอนุเคราะห์ ทั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำ และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด และท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน และคอยเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าเสมอมา

ค ช ช

[1] Lopez-Martinez, M., Alvarez, J.-M., & Daroca, C. G. (2020). SBAS/EGNOS for Maritime. *Journal of Marine Science and Engineering,* 8(10), 764.

[2] Spetcht, C., Pawelski, J., Smolarek, L., Specht, M., & Dabrowski, P. (2019). Assessment of the Positioning Accuracy of DGPS and EGNOS System in the Bay of Gdansk using Maritime Dynamic Measurement. *Journal of Navigation,* 72(3), 578-587.

[3] Lopez, M., & Anton, V. (2021). Evolution of SBAS/EGNOS Enabled Devices in Maritime.*TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation,* 15(3), 541-549. doi:10.12716/1001.15.03.06

[4] Magdaleno, S., Lopez, M., la Casa, C. d., Lacarra, E., Blano, N., Jimenez, D., & Aarmo, K. A. (2018). *SBAS Guidelines for Shipborne Receiver and EGNOS Performances based on IMO Res. A.* 1046 (27). Paper presented at the Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018).

[5] เฉลิมชนม์ สถิระพจน์. (2549). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Survey งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง, กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). GNSS–global navigation satellite systems: *GPS, GLONASS, Galileo, and more*: Springer Science & Business Media.

[7] Thari, P., Kriengkraiwasin, S., & Satirapod, C. (2022). Evaluation of GNSS positioning accuracy from satellite-based augmentation systems in Thailand. *Engineering and Applied Science Research*, 49(2), 209-217.

[8] Pungpet, P., Kitpracha, C., Promchot, D., & Satirapod, C. (2018). Positioning accuracy analyses on GPS single point positioning determination with GAGAN correction services in Thailand. In 2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) (pp. 724-727). IEEE. DOI: 978-1-5386-3555-1/18/$31.00 ©2018 IEEE

[9] IALA. (2018). *NAVGUIDE MARINE AIDS TO NAVIGATION MANUAL*, 8 TH EDITION, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF MARINE AIDS TO NAVIGATION AND LIGHTHOUSE AUTHORITIES.

[10] Parajuli,Bikram. (2020). Performance analysis of different positioning mode in RTKIIB Software. 10.13140/RG.2.2.20111.61608.