

## การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรับวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS สำหรับ การประมวลผลการรับวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ในพื้นที่ประเทศไทย

### POSITION ACCURACY EVALUATION USING THE CORRECTION OF THE SBAS COMBINED WITH GPS FOR SINGLE POINT POSITIONING IN THAILAND

พูนทรัพย์ ทหาริ<sup>1,\*</sup> และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

\*Corresponding author address: 6170234821@student.chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

Satellite Based Augmentation System (SBAS) เป็นระบบเสริมดาวเทียมที่ให้บริการค่าแก้สำหรับดาวเทียม GNSS ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริการเป็นบริเวณกว้างและมีการพัฒนาในประเทศต่างๆทั่วโลก เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้อยู่ในพื้นที่บริการแต่ก็รับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรับวัดด้วยดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรับวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวในพื้นที่ประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าปัจจุบันประเทศไทยสามารถรับสัญญาณค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งได้โดยเฉลี่ย

**คำสำคัญ:** การประมวลผลการรับวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว, SBAS, SPAN, GAGAN, BDSBAS

#### Abstract

Satellite Based Augmentation System (SBAS) is the additional system that provide services for improving the accuracy of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). The SBAS service supports wide-area and is recently developed in many countries around the world. Since Thailand is not located within the service area, Thailand can still receive the correction message from SBAS. This research, therefore, aims to study on an evaluation of positioning accuracy using the correction message from SBAS combined with standard positioning service from GPS in Thailand. The results showed that Thailand can receive the correction message from 3 SBASs including SPAN, GAGAN, and BDSBAS. The above 3 SBASs cannot improve both the horizontal and vertical positioning results compared with the standard positioning service from GPS.

**Keywords:** Single point positioning, SBAS, SPAN, GAGAN, BDSBAS

#### 1. บทนำ

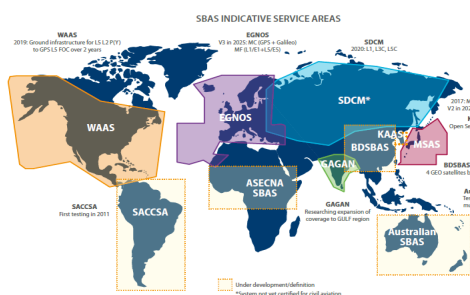
ในปัจจุบันเทคโนโลยีการรับวัดด้วยดาวเทียมได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรับวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System: GPS) เป็นระบบที่ใช้หาค่าพิกัดตำแหน่งที่พัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา ซึ่งปัจจุบันสัญญาณของระบบดาวเทียม GPS ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วโลก จึงมีการใช้ประโยชน์จากระบบดาวเทียม GPS มากมาย อาทิเช่น งานทำแผนที่และหมุดควบคุม งานตรวจวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก งานควบคุมเครื่องจักรกล และงานสำรวจรับวัดทางตำแหน่ง ซึ่งค่าที่รับวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS และนำมาใช้ประโยชน์คำนวณหาค่าพิกัดทางตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวที่เป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์โดยวิธีซูโดเรนจ์ (Pseudorange) จะให้ค่าพิกัดทาง

ตำแหน่งทันที ซึ่งให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับ 5-10 เมตร [2] ในปัจจุบันจึงได้มีการพยายามที่จะปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งให้ดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนาระบบเสริมดาวเทียมที่เรียกว่า Satellite Based Augmentation System (SBAS) ซึ่งระบบดาวเทียม SBAS ของแต่ละประเทศจะให้ค่าแก้ที่แตกต่างกัน เมื่อนำค่าแก้ดังกล่าวประมวลผลร่วมกับข้อมูลรับวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS จะทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแตกต่างกันด้วย และมีการปรับใช้งานจากการให้บริการของดาวเทียม SBAS ในพื้นที่ประเทศของตนเอง [3] เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้อยู่ในพื้นที่บริการแต่ก็สามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรับวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรับวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (Continuously Operating

Reference Stations: CORS) จากกรมแผนที่ทหาร และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) เป็นค่าพิกัดอ้างอิง เพื่อใช้เปรียบเทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning: SPP) และการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning: SPP)

## 2. SATELLITE BASED AUGMENTATION SYSTEM (SBAS)

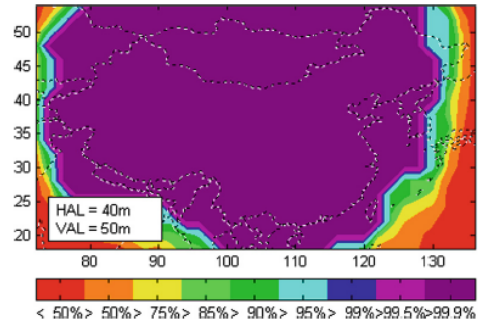
Satellite Based Augmentation System (SBAS) ซึ่งเป็นระบบเสริมดาวเทียมซึ่งสำนักงานการบินแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้ออกแบบมาเพื่อใช้งานด้านการบิน และประเทศกลุ่มสหภาพยุโรปได้ตระหนักถึงความจำเป็นของระบบเสริมดาวเทียมนี้ จึงได้มีแผนพัฒนาในเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ.1996 ต่อมาประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาระบบเสริมดาวเทียมขึ้นมาที่เรียกว่า Multifunctional Satellite Augmentation System (MSAS) ในปี ค.ศ.2003 [4] โดยระบบเสริมดาวเทียมจะให้บริการค่าแก้สำหรับระบบดาวเทียม GNSS ได้แก่ ค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำทางตำแหน่ง [5] ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริการเป็นบริเวณกว้าง ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบเสริมดาวเทียม SBAS อย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆ ทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 1 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียม SBAS [6]



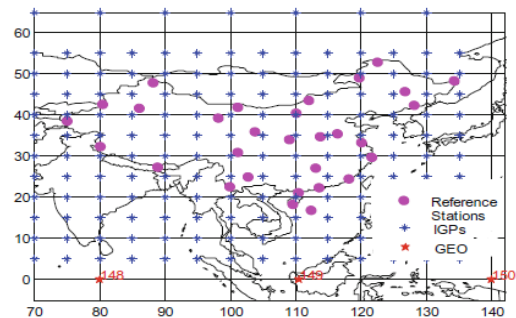
รูปที่ 1 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียม SBAS [6]

เนื่องจากระบบเสริมดาวเทียม SBAS แต่ละประเทศมีโครงสร้างของระบบที่คล้ายคลึงกัน [4] ดังนั้นในบทความนี้ขอกกล่าวถึงโครงสร้างระบบเสริมดาวเทียม BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS) เป็นระบบดาวเทียมเสริมที่พัฒนาโดยสาธารณรัฐประชาชนจีน เริ่มให้บริการบนดาวเทียม GEO-1 (BDSBAS PRN Signal Number 130) ที่ละติจูดที่ 80°E

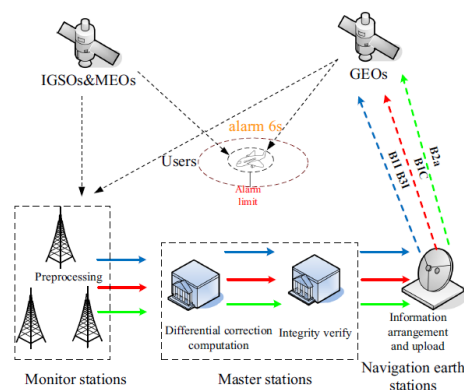
เมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2018 [7] เป็นระบบเสริมบริการค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เพื่อปรับปรุงค่าพิกัดแก้ BDSBAS [8] ให้บริการในประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงรวมถึงประเทศไทยด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2, BDSBAS ให้บริการ 2 โหมด คือ ความถี่เดี่ยวและสองความถี่, หลายความถี่ตามมาตรฐาน ICAO SARPs ซึ่ง SF ให้ค่าแก้กับ GPS บนสัญญาณ L1 C/A สำหรับบริการด้านการบิน [9]



รูปที่ 2 พื้นที่ให้บริการของ BDSBAS APV1 ความถี่เดี่ยว [10]



รูปที่ 3 สถานียภาคพื้นดิน BDSBAS และIGPs [10]



รูปที่ 4 โครงสร้างระบบดาวเทียม BDSBAS [7]

BDSBAS ประกอบด้วยส่วนภาคพื้นดินซึ่งมีศูนย์ควบคุม ศูนย์การประมวลผลข้อมูล Monitoring Stations (MS) และ Uplink Stations ที่กระจายอยู่ทั่วสาธารณรัฐประชาชนจีน ดังแสดงในรูปที่

3 ซึ่งจะทำให้การส่งข้อความ SBAS ผ่านสัญญาณ B1C และ B2a ไปยังผู้ใช้งานผ่านดาวเทียม GEO [7] ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียม GEO 3 ดวง (อยู่ที่ 80°E, 110.5°E และ 140°E) และส่วนของผู้ใช้งาน [10] ดังแสดงในรูปที่ 4

### 3. ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวโดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange) เปรียบเทียบกับการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ซึ่งใช้เป็นค่าพิกัดอ้างอิงด้วยการใช้วิธีการทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) สามารถแสดงสมการค่าสังเกต (Observation Equation) และสมการทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลการวิจัยดังนี้

#### 3.1. การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (SINGLE POINT POSITIONING: SPP)

การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับ โดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว โดยปกติจะใช้วิธีการวัดซูโดเรนจ์ ซูโดเรนจ์ที่ได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและหน่วยเป็นระยะทางดังต่อไปนี้ [1]

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(dt - dT) + \epsilon_p + \epsilon_R \quad (1)$$

$R$  คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (Pseudorange) (เมตร),  $\rho$  คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ (เมตร),  $\Delta r$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร),  $d_{ion}$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร),  $d_{trop}$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร),  $c$  คือ ความเร็วแสง (เมตร/วินาที),  $dt$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับสัญญาณ (วินาที),  $dT$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม (วินาที),  $\epsilon_p$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร),  $\epsilon_R$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

#### 3.2. รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (ROOT MEAN SQUARE ERROR: RMSE)

ในงานวิจัยนี้ ใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) เพื่อประเมินค่าความแม่นยำทางตำแหน่งทั้งทางราบ

และทางตั้ง ซึ่งแสดงในสมการที่ 2 และ สมการที่ 3 ตามลำดับดังต่อไปนี้ [11]

#### 3.2.1. ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ (HORIZONTAL ACCURACY)

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

$RMSE_r$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ (เมตร),  $N_{data,i}$ ,  $E_{data,i}$  คือ ค่าพิกัดทางราบจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร),  $N_{check,i}$ ,  $E_{check,i}$  คือ ค่าพิกัดอ้างอิงทางราบจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร),  $i$  คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ที่ 1 วินาที,  $n$  คือ จำนวน Epoch

#### 3.2.2. ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง (VERTICAL ACCURACY)

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

$RMSE_z$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง (เมตร),  $Z_{data,i}$  คือ ค่าพิกัดทางตั้งจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร),  $Z_{check,i}$  คือ ค่าพิกัดอ้างอิงทางตั้งจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร),  $i$  คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ที่ 1 วินาที,  $n$  คือ จำนวน Epoch

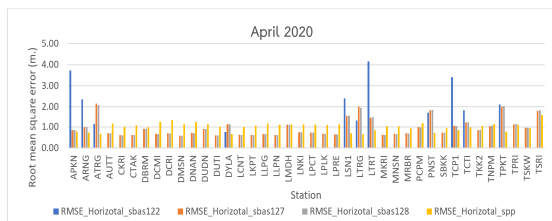
### 3.3. ขอบเขตข้อมูลที่ศึกษา

ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) จากกรมแผนที่ทหาร จำนวน 40 สถานีครอบคลุมทั่วประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 5 และค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จาก The Navigation and Time Monitoring Facility (NTMF)(CNES NTMF, Toulouse- France) ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย โดยการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ในวันที่ 1-30 กันยายน 2562, วันที่ 1-31 ธันวาคม 2562 และวันที่ 1-30 เมษายน 2563 ในรูปแบบไฟล์ RINEX ประมวลผลโดยใช้โปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 [12] และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ ได้ดังนี้

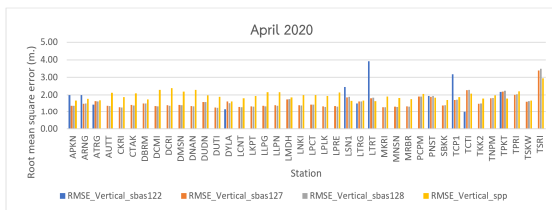
- เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิง (PPP) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS(SPP) เพียงอย่างเดียว
- เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิง (PPP) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS(SPP)



ในเดือนเมษายน 2563 สามารถประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN122 ได้ทั้งหมด 11 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.27 เมตร มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.07 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.98 เมตร มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.98 เมตร มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.02 เมตร มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.95 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 10 ค่า RMSE ทางราบแต่ละสถานีในเดือนเมษายน 2563



รูปที่ 11 ค่า RMSE ทางตั้งแต่ละสถานีในเดือนเมษายน 2563

## 5. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าปัจจุบันในพื้นที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบได้โดยเฉลี่ย เมื่อเทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียวมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่า และค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN และ BDSBAS ไม่สามารถเพิ่มความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งได้โดยเฉลี่ย แต่ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สามารถเพิ่มความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งได้โดยเฉลี่ย เมื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุด

เดียวในพื้นที่ประเทศไทย อีกทั้งการรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม GAGAN รับสัญญาณได้ 40 สถานีครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งประเทศไทย แต่การรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SPAN รับสัญญาณได้ 11 สถานี และรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม BDSBAS รับสัญญาณได้ 31 สถานี จากทั้งหมด 40 สถานี ซึ่งยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งประเทศไทย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ที่ให้แนวคิด คำแนะนำ คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งได้ถ่ายทอดความรู้ ความสามารถ ให้ผู้เขียนสามารถทำงานสำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ขอขอบคุณ อ.ดร.ชัยยุทธ เจริญผล และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาลดตมา

ขอขอบคุณกรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย ที่สนับสนุนข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS)

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้อากาศและสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้ในทุก ๆ ด้าน สุดท้ายนี้คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ขอยกให้ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ตลอดไป

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2548). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Survey งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง, กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 170.
- [2] Ernst and Young (2019). SBAS Test-bed Demonstrator Trial Economic Benefits Report, Australia, 256.
- [3] Choy, S., Kuckartz, J., Dempster, A. G., Rizos, C., & Higgins, M. (2017). GNSS satellite-based augmentation systems for Australia. *GPS Solutions*, 21(3), 835-848. DOI : 10.1007/s10291-016-0569-2
- [4] Dautermann, T., Civil air navigation using GNSS enhanced by wide area satellite based augmentation systems. *Progress in Aerospace Sciences* 67, 2014: p. 51-62.
- [5] 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
- [6] European GNSS Agency. (2018), *GNSS USER TECHNOLOGY REPORT ISSUE 2*. Office of the European Union. 92. DOI: 10.2878/743965
- [7] Li, R., Zheng, S., Wang, E., Chen, J., Feng, S., Wang, D.& Dai, L. (2020). Advances in BeiDou Navigation Satellite System (BDS) and satellite navigation augmentation technologies. *Satellite Navigation*, 1(1), 1-23. DOI: 10.1186/s43020-020-00010-2
- [8] Liu, C., Zhu, W., Xu, A., Kong, Y., Jiang, Y.& Hu, C. (2019). Performance Evaluation Method for Ionospheric Grid Information of BDS via Dual-frequency Observations. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 237, No. 6, p. 062004). DOI: 10.1088/1755-1315/237/6/062004
- [9] Bao, J., Li, R., Liu, Y., Liu, Y.& Shao, B. (2019). Ionospheric anomaly detection to support the BDSBAS. *IEEE Access*, 8, 1691-1704. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962233
- [10] Chen, S., Jin, B., Li, D.& Qu, P. (2019). Study on the prediction method of single and dual frequency service area for BDSBAS. In *China Satellite Navigation Conference* (pp. 228-237). Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-13-7759-4\_21
- [11] Authority, T. V. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. *National Aeronautics and Space Administration: Virginia, NV, USA*. 28.
- Takasu, T. (2013). RTKLIB ver. 2.4. 2 Manual. 29-49.