

# ซอฟต์แวร์สำหรับหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงสำหรับข้อมูลจีพีเอสความถี่เดียว

## Precise Point Positioning Software for Single-frequency GPS Observation

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ สมชาย เกரியงไกรวสิน

Chalermchon Satirapod and Somchai Kriengkraiwasin

หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีข้อมูลภาพภูมิศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: chalermchon.s@chula.ac.th : somchai.kr@chula.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับหาค่าตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูงจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสขึ้น ข้อมูลจีพีเอสที่ถูกเก็บโดยใช้ทั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบมือถือและแบบรับวัดได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินระดับความสามารถของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ในซอฟต์แวร์จะใช้ข้อมูลวงโคจรและค่าแก้ทางพิกัดดาวเทียมความละเอียดสูงในการปรับลดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและนาฬิกาดาวเทียม และใช้แบบจำลองค่าสังเกตของรหัสและเฟสที่ปราศจากผลของไอโอโนสเฟียร์ในการลดการล่าช้าของคลื่นสัญญาณเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สำหรับค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ ค่าเลขปริศนา จะทำการประมาณค่าโดยใช้วิธี Extended Kalman Filtering ข้อมูลจีพีเอสที่ใช้ในการทดสอบได้ถูกตัดเป็นส่วนๆ โดยมีความยาวของข้อมูลตั้งแต่ 5 10 15 และ 30 นาที จากนั้นจึงทำการประมวลผลข้อมูลแต่ละส่วนด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ค่าพิกัด ผลจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบที่ได้รับจากการใช้ข้อมูลการรับสัญญาณเพียง 5 นาทีนั้นดีกว่า 2.5 เมตร ทั้งกรณีของการใช้เครื่องรับสัญญาณแบบมือถือและแบบรับวัด ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะนำวิธีการดังกล่าวมาใช้แทนวิธีการหาตำแหน่งแบบ Differential GPS (DGPS) เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณอีกเครื่องที่สถานีฐาน

**คำสำคัญ** GPS, การหาตำแหน่งแบบจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูง

### Abstract

This research aims to develop GPS Precise Point Positioning software. The GPS data collected from both handheld GPS receiver and geodetic GPS receiver were used to assess the level of performance of the developed software. The precise orbit and precise satellite clock corrections were introduced into the software to reduce the orbit and

satellite clock errors. For single-frequency users, ionosphere-free code and phase observations were constructed to mitigate the ionospheric delay. The remaining errors (i.e. receiver clock error, ambiguity term) are estimated using Extended Kalman Filtering technique. Tested GPS data were cut into 5-min, 10-min, 15-min and 30-min data segments. Each data segment was individually processed with the developed PPP software to produce final coordinates. Preliminary results indicate that a horizontal positioning accuracy obtained from 5-min data segments for both GPS receivers is better than 2.5 meters. Therefore, the result obtained in this study shows a potential of using the PPP technique to replace the conventional Differential GPS (DGPS) technique, and hence resulting in a reduction of operating another GPS receiver at the base station.

**KEYWORDS** GPS, Precise Point Positioning

### 1. บทนำ

ระบบจีพีเอส มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลากว่าสองทศวรรษแล้ว ในช่วงที่ผ่านมาได้มีทั้งพัฒนาการด้านเครื่องมือและวิธีการรับวัดต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องที่สูงที่สุด นับตั้งแต่มีการยกเลิกการใช้ Selective Availability (SA) ออกไป ทำให้วิธีการรับวัดแบบจุดเดียวมีความน่าสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็นการรับวัดแบบจุดเดียวจะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเพียงเครื่องเดียวในการทำงาน แต่ความถูกต้องยังอยู่ในระดับที่ยังไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการรับวัดแบบจุดเดียวโดยทั่วไปจะใช้เพียงข้อมูลซูโดเรนจ์และการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่ละเอียดสูงนัก ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะทำให้ได้ค่าความถูกต้องสูงขึ้นได้โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งและซูโดเรนจ์ และการพัฒนาวิธีการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับการรับวัดแบบจุดเดียวอย่างละเอียด วิธีการนี้จะนำเอาข้อมูลจีพีเอสทั้งข้อมูลเฟสของคลื่นส่งและซูโดเรนจ์มาประมวลผลภายหลัง (post processing)

ร่วมกับวิธีการคำนวณเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ รวมทั้งข้อมูลปรับแก้อื่นๆ โดยงานวิจัย [1] ได้พัฒนาซอฟต์แวร์มาใช้ในการคำนวณหาค่าความถูกต้องของการรับสัญญาณจีทีเอสแบบจุดเดี่ยว โดยใช้เครื่องมือรังวัดแบบ 2 ความถี่ ซึ่งได้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่คิดกว่า 1 เมตร ด้วยการรับสัญญาณเป็นเวลาเพียง 5 นาที ผลจากงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในงานตัดแก้ภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายชนิด เช่น Landsat7, ASTER VNIR และ SPOT เป็นต้น ถึงแม้ว่าวิธีการรังวัดแบบจุดเดี่ยวดังกล่าวจะให้ค่าความถูกต้องที่สูง แต่ราคาของเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดยังแพงมาก ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเครื่องมือจีทีเอสแบบนำหนหรือมือถือซึ่งมีราคาถูกกว่า เครื่องจีทีเอสแบบรังวัดมากมาใช้ในการรังวัด แทนเครื่องรับแบบรังวัด ในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอการทดลองเปรียบเทียบการใช้เครื่องจีทีเอส ทั้ง 2 แบบ เพื่อหาข้อสรุปว่าสามารถนำเครื่องมือจีทีเอสแบบมือถือมาใช้ในการรังวัดแบบจุดเดี่ยว แทนเครื่องจีทีเอสแบบรังวัดได้หรือไม่ บทความนี้จะจัดลำดับเนื้อหา ดังนี้ ในส่วนแรกจะเป็นบทนำ จากนั้นจะเป็นการอธิบายหลักการและเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลจีทีเอสความถี่เดียว ตามด้วยหลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ ถัดมาจะอธิบายถึงข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล และส่วนสุดท้ายจะเป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

**2. หลักการและเทคนิคการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน**

แนวคิดของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงโดยอาศัยทั้งข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งซึ่งมีสมการทางคณิตศาสตร์แสดงในหน่วยระยะทางดังนี้ ([2], [3], [4])

$$P(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/Li} + \epsilon \quad (1)$$

$$\Phi(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/Li} + \lambda i \cdot Ni + \epsilon \quad (2)$$

โดยที่

- $P(Li)$  คือซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- $\Phi(Li)$  คือข้อมูลเฟสที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- $\rho$  คือระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- $c$  คือความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
- $dt$  คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- $dT$  คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $d_{orb}$  คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

- $d_{trop}$  คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (เมตร)
- $d_{ion/Li}$  คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- $\lambda i$  คือความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- $Ni$  คือเลขปริศนาของคลื่นส่ง Li (ลูกคลื่น)
- $\epsilon$  คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวน (Noise) (เมตร)

แนวคิดของ PPP จะเกี่ยวข้องกับการลดความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่ปรากฏในสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้

- เทอม  $dt$  และ  $d_{orb}$  โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงในรูปแบบ SP3 จากหน่วยงาน IGS โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลแบบ Final product ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมในระดับต่ำกว่า 5 เซนติเมตรและ 0.1 นาโนวินาทีตามลำดับ [5]
- เทอม  $d_{trop}$  โดยการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ร่วมกับ Mapping Function ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์แบบSaastamoinen model [6] ร่วมกับ Niell Mapping Function [7]
- เทอม  $d_{ion/Li}$  ในกรณีที่ใช้ข้อมูลความถี่เดียวจะเลือกใช้แบบจำลองจำลอง Ionosphere-free code and phase โดยแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นการสร้างสมการขึ้นใหม่ จากการใช้สมการพื้นฐานในการหาระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณด้วยซูโดเรนจ์ (สมการที่ 1) และการวัดเฟสของคลื่นส่ง (สมการที่ 2) มาบวกกันและหารด้วย 2 [8] ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการ

$$\in p(LI) = \frac{P(LI) + \Phi(LI)}{2} \quad (3)$$

โดยที่

- $\in p(LI)$  คือซูโดเรนจ์ที่ได้จาก Ionosphere-free code and phase (เมตร)
- $P(LI)$  คือซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง L1 (เมตร)
- $\Phi(LI)$  คือซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 (เมตร)

จากการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมาข้างต้นทั้งหมดทำให้สามารถกำจัดเทอม  $dt$ ,  $d_{orb}$ ,  $d_{trop}$  และ  $d_{ion/Li}$  ออกจาก

สมการ (1) และ (2) เทอมที่เหลือได้แก่ ค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ รวมทั้งค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณซึ่งแฝงอยู่ในเทอมของระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ เทอมต่างๆที่กล่าวมานี้จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในสมการ ซึ่งจะต้องทำการประมาณค่าต่อไป การแก้สมการเพื่อหาค่าตัวแปรดังกล่าวจะใช้การประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filtering รายละเอียดสำหรับวิธีดังกล่าวสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [9] และ [10] ในการประมาณค่าตัวเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวงในซอฟต์แวร์จะปล่อยให้ค่าเลขปริศนาที่ได้เป็นเลขจำนวนจริง เพราะโอกาสที่จะคำนวณค่าเลขปริศนาเป็นเลขจำนวนเต็มที่ถูกค่านั้นน้อยมากเนื่องจากระดับสัญญาณรบกวนในข้อมูลชุดโคเรชั่นนั้นสูงกว่าความยาวคลื่นของคลื่นส่ง

จากแนวคิดและเทคนิคการลดค่าคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาซอฟต์แวร์จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้หลายด้านดังเช่น เทคนิคการประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filtering รูปแบบมาตรฐานข้อมูลจีพีเอส การคำนวณตำแหน่งดาวเทียมแบบจำลองค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งองค์ความรู้พื้นฐานเหล่านี้บางส่วนก็มีอยู่ในหนังสือจีพีเอสทั่วไปหลายเล่ม เช่น [2] [3] และ [4] เป็นต้น และบางส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้การพัฒนาซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็ยังเกี่ยวพันไปถึงการเรียนรู้รูปแบบคำสั่งและภาษาคอมพิวเตอร์ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกที่จะใช้ภาษา Matlab ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เนื่องจาก Matlab เป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่ายจึงเอื้อต่อการใช้ซอฟต์แวร์ในการเรียนการสอนและการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

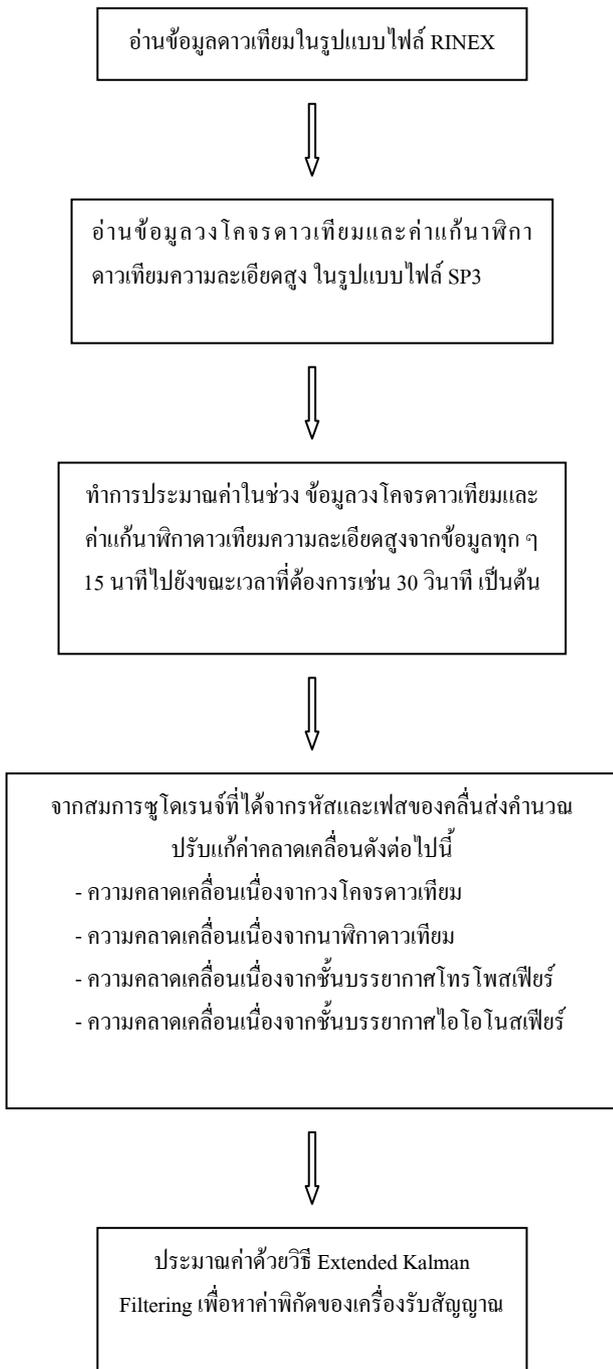
### 3. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์สำหรับการหาค่าตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงมีขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มจากการอ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX เพื่อนำข้อมูลชุดโคเรชั่นที่ได้จากรหัสและเฟสของคลื่นส่งในทุก ๆ ระยะเวลาตามจัดเก็บเป็นรูปแบบที่ต้องการนำไปใช้งานต่อไป โดยจะมีการจำแนกข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ จากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง เพื่อนำข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมมาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ หลังจากนั้นจะทำการประมาณค่าในช่วงข้อมูลดังกล่าวจากข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีไปยังระยะเวลาที่ต้องการ เช่น ทุก ๆ 30 วินาที เป็นต้น วิธีการประมาณค่าที่นำมาใช้ควรมีความถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อรักษาระดับความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมเดิม ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมาณค่ามีหลายวิธีและให้ค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงด้วยสมการโพลิโนเมียลของ Lagrange ด้วยการใช้นิพจน์ที่เหมาะสมพบว่าผลลัพธ์ของวงโคจรดาวเทียมที่ได้ให้ความละเอียดถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษา

ได้จาก [11] ตามด้วยการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่จะต้องใช้ในการคำนวณในทุก ๆ ระยะเวลา 30 วินาที เช่น ความเร็วโดยประมาณของดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละระยะเวลา เป็นต้น จากนั้นทำการสร้างสมการค่าสังเกตจากข้อมูลชุดโคเรชั่นที่ได้จากรหัสและเฟสของคลื่นส่ง คำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ พร้อมทั้งทำการประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filtering เพื่อหาค่าตำแหน่งดาวเทียม ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 1

### 4. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการวิจัยได้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตที่สถานีรับสัญญาณดาวเทียม CU03 บนดาดฟ้าตึกสคิลวิธานนิเทศ ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 7 ตุลาคม 2547 ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบมือถือยี่ห้อ GARMIN รุ่น 12XL ร่วมกับเสาอากาศแบบภายนอกและวันที่ 25 ตุลาคม 2547 ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรับวิทยุยี่ห้อ LEICA รุ่น SR530 ข้อมูลการรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณทั้งสองชนิด จะถูกตัดแบ่งเป็นชุดข้อมูลตามช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม ที่เวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที และ 30 นาที จากนั้นจึงทำการประมวลผลข้อมูลแต่ละชุดอย่างเป็นอิสระด้วยซอฟต์แวร์สำหรับการหาค่าตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงที่อาศัยข้อมูลความถี่เดียวที่พัฒนาขึ้น โดยกำหนดการในแต่ละวันจะรับสัญญาณตั้งแต่เวลา 00:00:00 – 24:00:00 UTC โดยกำหนดอัตราการบันทึกเป็นทุก 30 วินาที



รูปที่ 1 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง

เนื่องจากเครื่อง Garmin 12XL ไม่มีอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลในตัวเครื่องรับสัญญาณด้วยเครื่อง Garmin 12XL จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ร่วมกับซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการบันทึกข้อมูล (ดูรูปที่ 2 ประกอบ) อีกทั้งในการเก็บข้อมูลของ Garmin 12 XL จะไม่สามารถกำหนดอัตราการบันทึกข้อมูลได้ เนื่องจากเครื่องมือจะทำการรับข้อมูลทุกๆ วินาที จึงต้องมาทำการเลือกข้อมูลเป็นทุก 30 วินาทีในภายหลัง

เนื่องจากมีปัญหาเรื่องแบตเตอรี่ในระหว่างการทดลองทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 22 ชั่วโมง ข้อมูลทั้ง 22 ชั่วโมงถูกนำมาตัดเป็นชุดๆ ชุดละ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 30 นาที ได้จำนวนข้อมูลที่นำมาทำการคำนวณแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Garmin รุ่น 12XL ร่วมกับเสาอากาศแบบภายนอก และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลสัญญาณดาวเทียม

ตารางที่ 1 จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Garmin รุ่น 12XL ร่วมกับเสาอากาศแบบภายนอก

7 ตุลาคม 2547 (Garmin)	5min	10min	15min	30min
จำนวน session	271	135	90	45

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 ตั้งเครื่องรับวันที่ 25 ตุลาคม 2547 ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยรับสัญญาณตั้งแต่วันที่ 00:00:00 ถึง 24:00:00 UTC โดยกำหนดอัตราการบันทึกเป็น 30 วินาที จากนั้นจึงทำการตัดข้อมูลการรับสัญญาณออกเป็นชุดๆ ชุดละ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 30 นาที เช่นเดียวกับชุดข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับ Garmin จำนวนข้อมูลที่นำมาทำการคำนวณแสดงไว้ใน ตารางที่ 2



รูปที่ 3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 ที่สถานี CU03 บนอาคารที่ศึกษาวิศวกรรมสำรวจ

**ตารางที่ 2** จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530

25 ตุลาคม 2547 (Leica)	5min	10min	15min	30min
จำนวน Session	287	143	95	47

**5. ผลลัพธ์จากการประมวลผล**

**5.1 การหาค่าพิกัดอ้างอิง**

ค่าพิกัดอ้างอิงของของสถานี CU03 หาได้จากการส่งข้อมูลการวิ่งวัดตลอด 24 ชั่วโมงไปประมวลผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากบริการของทาง AUSPOS เนื่องจากค่าความถูกต้องที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า 10 มิลลิเมตรในทางราบ และ 10-20 มิลลิเมตรในทางตั้ง [12] ค่าพิกัด

ของตำแหน่ง CU03 ที่ได้อยู่บนพื้นหลักฐาน ITRF2000 มีค่า -1132728.613 เมตร, 6092488.724 เมตร, 1504562.119 เมตร ในทิศทางตามแนว X, Y และ Z ตามลำดับ เพื่อให้ง่ายในการเข้าใจและการคำนวณ จึงทำการคำนวณค่าพิกัดที่ได้มาอยู่ในระบบ UTM ซึ่งได้ค่าพิกัดเป็น E = 665679.0894 เมตร, N = 1518994.4995 เมตร, h = -13.7327 เมตร ค่าพิกัด UTM ที่ได้นี้จะถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลต่อไป

**5.2 การประมวลผลและเปรียบเทียบผล**

จากการประมวลผลข้อมูลอย่างอิสระที่ละชุด ผลที่ได้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าทางสถิติต่างๆ ที่ได้จากเครื่องรับทั้งสองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และ 4

**ตารางที่ 3** ค่าทางสถิติของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Garmin

ความยาวข้อมูลที่ใช้	ค่าน้อยสุด(ม.)		ค่ามากที่สุด(ม.)		ค่าเฉลี่ย(ม.)		ค่า RMS(ม.)
	E	N	E	N	E	N	
5 นาที	-5.92	-4.16	4.28	3.26	0.16	-0.99	2.41
10 นาที	-6.23	-3.33	3.12	2.11	0.09	-0.65	2.28
15 นาที	-5.18	-4.71	3.70	2.58	0.26	-0.91	2.27
30 นาที	-4.22	-3.49	3.22	1.82	-0.06	-0.74	2.29

**ตารางที่ 4** ค่าทางสถิติของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica

ความยาวข้อมูลที่ใช้	ค่าน้อยสุด(ม.)		ค่ามากที่สุด(ม.)		ค่าเฉลี่ย(ม.)		ค่า RMS(ม.)
	E	N	E	N	E	N	
5 นาที	-5.46	-4.37	2.00	2.60	-0.28	-0.79	2.20
10 นาที	-6.09	-4.48	2.05	3.29	-0.32	-0.77	2.22
15 นาที	-5.71	-4.29	2.50	2.38	-0.31	-0.70	2.07
30 นาที	-4.93	-3.60	4.02	0.67	-0.43	-0.58	2.03

จากตารางที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ชัดว่าที่เวลาที่ทำการรับสัญญาณดาวเทียม ตั้งแต่ 5 นาที ผลที่ได้จะได้ค่าความถูกต้องทางราบที่ต่ำกว่า 2.5 เมตร ด้วยเครื่องรับสัญญาณทั้ง 2 ชนิด โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica จะให้ค่าความถูกต้องทางราบเท่ากับ 2.20 เมตร ในขณะที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Garmin ให้ค่าความถูกต้องทางราบเท่ากับ

2.41 เมตร ในช่วงเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที ผลที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่าค่าความถูกต้องที่ได้รับนั้นดีขึ้นตามจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล นอกจากนี้ค่าความถูกต้องที่ได้รับจากเครื่องรับทั้งสองชนิดยังมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

## 6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในการประมวลผลข้อมูลแบบจุดเดี่ยวสามารถให้ค่าความถูกต้องทางราบที่ต่ำกว่า 2.5 เมตร โดยใช้เวลาในการรังวัดเพียง 5 นาที จากข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องรับแบบมือถือและแบบรังวัด นอกจากนี้ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะนำวิธีการดังกล่าวมาใช้แทนวิธีการหาตำแหน่งแบบ Differential GPS (DGPS) เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณอีกเครื่องที่สถานีฐาน วิธีการและผลของค่าความถูกต้องในระดับที่ได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการความถูกต้องในระดับที่ต่ำกว่า 2.5 เมตร ได้แม้ว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถนำมาใช้ประมวลผลข้อมูลที่เอสได้ แต่ซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานบางประการ คือ ไม่สามารถจะประมวลผลข้อมูลที่มีคลื่นหลุดได้เนื่องจากข้อจำกัดทางทฤษฎี การปรับแก้คลื่นหลุดในข้อมูลความถี่เดียวยังเป็นงานวิจัยที่ยังต้องทำต่อไปในอนาคต และ ข้อมูลดาวเทียมที่นำมาใช้ในการประมวลผล จะต้องเป็นข้อมูลที่ต่อเนื่องกันตลอดช่วงเวลาด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับงานที่จะทำต่อไปในอนาคตคือหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลจีพีเอสแบบความถี่เดียวสำหรับการประมวลผลจุดเดี่ยว เพื่อให้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีข้อมูลภาพเชิงภูมิศาสตร์ ภายใต้ทุนวิจัยกองทุนรัชดาภิเษก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทจีเอเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องรับจีพีเอส Garmin เพื่อการเก็บข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Satirapod, C. and Homniam, P. (2006) GPS Precise Point Positioning Software for Ground Control Point Establishment in Remote Sensing Applications, *Journal of Surveying Engineering (ASCE)*, 132(1), 11-14.

[2] Leick, A. (1995) *GPS Satellite Surveying*, 2<sup>nd</sup> ed., New York: John Wiley & Son, 560pp.

[3] Rizos, C. (1997) *Principles and Practice of GPS surveying*, Monograph 17, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, 555pp.

[4] Teunissen, P.J.G. and Kleusberg, A. (1998) *GPS for Geodesy*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 650.

[5] IGS (2006) IGS Products [Online], Available from: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> [2006, August 9]

[6] Saasamoinen, J. (1971) Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellite, *Int. Symp. on the Use of Artificial Satellite*, Henriksen (ed.), 3rd Washington, 247-251.

[7] Niell, A. E. (1996) Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelength, *J. Geophys*, 101(B2): 3227-3246.

[8] Witchayangkoon, B. (2000) Elements of GPS Precise Point Positioning, Doctoral dissertation, Department of Spatial Information Science and Engineering, Graduate School, University of Maine, 265pp.

[9] Welch, G. and Bishop G. (2006) An Introduction to Kalman Filter [Online], Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill. Available from: [http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman\\_intro.pdf](http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf) [2006, August 9]

[10] Strang, G. and Borre, K. (1997) "Linear Algebra, Geodesy and GPS." USA: Wellesley-Cambridge Press.

[11] ภัคพงศ์ หอมเนียม และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546, การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 18-20 พฤศจิกายน.

[12] GeoScience (2006) AUSPOS- Online GPS processing service web site [Online], Available from: <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl> [2006, August 9]