สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันงานสำรวจรังวัดและทำแผนที่ มีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการสำรวจที่มีประสิทธิภาพและความถูกต้องสูงขึ้น การสำรวจหาค่าพิกัดทางราบด้วย จีพีเอส (Global Positioning System,GPS) เริ่มเข้ามามีบทบาทในการทำแผนที่มากขึ้น วิธีนี้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปเพราะให้ความถูกต้องที่น่าเชื่อถือสูง และประหยัดเวลาในการทำงานเป็นอย่างมาก แต่เครื่องมือจีพีเอสที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสูงยังนับว่ามีราคาแพง โดยปกติการทำงานด้วย จีพีเอส มีหลักการหาตำแหน่ง 2 แบบคือ การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (single point positioning or absolute positioning) และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (differential positioning or relative positioning) โดยที่ความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวมีข้อจำกัดจากความคลาดเคลื่อนต่างๆ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ และความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ ด้วยเหตุผลนี้ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (DGPS) เพื่อที่จะกำจัดและลดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ และในการทำงานด้วยวิธีใช้จีพีเอส จำเป็นต้องใช้เครื่องจีพีเอส อย่างน้อย 2 เครื่องขึ้นไปในการทำงาน (ถ้าต้องการความละเอียดถูกต้องสูง) โดยความถูกต้องของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีฐานกับตำแหน่งที่รังวัดที่เรียกว่า ความยาวเส้นฐาน (Baseline length) โดยที่ถ้าความยาวของเส้นฐานมากจะมีผลให้ความถูกต้องที่ได้ลดลงซึ่งเป็นข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของวิธีนี้

ในปัจจุบันได้มีหน่วยงาน International GPS Service (IGS) ซึ่งได้จัดเตรียมข้อมูลของวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (precise satellite orbit) และค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (precise satellite clock correction) ไว้บนอินเตอร์เน็ตโดยผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูลดังกล่าวสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาทำการคำนวณร่วมในการหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวให้ได้ค่าความถูกต้องสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning หรือ PPP) จึงทำให้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์เป็นที่น่าสนใจอีกครั้ง

การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง PPP จะอาศัยเครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวในการหาตำแหน่งของเครื่องรับ ซึ่งปัจจุบันสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องรับสัญญาณแบบ 2 ความถี่(Dual-frequency,L1 L2) และเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียว(Single-frequency,L1) การใช้เครื่องแบบ 2 ความถี่จะช่วยให้กำจัดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ และเมื่อนำข้อมูล

ที่ได้มาทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ทำให้ได้ค่าตำแหน่งมีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น Satirapod and Homniam (2006) ได้ทำการวิจัยศึกษาการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจากเครื่องรับสัญญาณแบบ 2 ความถี่ และได้ทำการพัฒนาโปรแกรม เพื่อทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ โดยใช้ค่าแก้วงโคจร และนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง จาก หน่วยงาน IGS ทำให้ได้ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบที่ประมาณ 95 ซม. นอกจากนี้ Beran et. al. (2003) ได้ทำการวิจัยการหาค่าความละเอียดถูกต้องสูงโดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียว ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการทดลองเปรียบเทียบโดยใช้เครื่องมือจีพีเอสคุณภาพสูงกับเครื่องมือจีพีเอสคุณภาพต่ำ ผลเบื้องต้นสำหรับการตั้งเครื่องรับแบบสถิตแสดงว่า ในกรณีที่ใช้เครื่องมือคุณภาพสูงได้ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบที่ ระดับที่ดีกว่า 1 ม. ส่วนเครื่องรับคุณภาพต่ำจะให้ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบประมาณ 3 ม. แต่ว่าในการศึกษาวิจัยดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจนเกี่ยวกับระยะเวลาที่รับสัญญาณ ไม่ได้ระบุถึงรายละเอียดในการเลือกช่วงเวลาของข้อมูลที่นำมาแสดงผล และไม่ได้ทำการวิเคราะห์ถึงช่วงเวลาที่จะนำมาประมวลผล เพื่อให้ทราบถึงระดับความถูกต้องที่จะได้รับในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นในการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการเปรียบเทียบค่าความละเอียดถูกต้องของการหาตำแหน่งด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียวที่ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และศึกษาการใช้แบบจำลองที่จะนำมาใช้ลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อทดแทนการใช้เครื่อง 2 ความถี่ โดยจะทำการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวสำหรับข้อมูลความถี่เดียวขึ้น

## 1.2 แนวเหตุผลและแนวคิดที่สำคัญ

### 1.2.1 แนวคิดพื้นฐาน

หลักการพื้นฐานของจีพีเอส จะเป็นการหาค่าพิกัดของจุดที่ต้องการทราบค่า โดยการคำนวณหาจากจุดที่ทราบค่าพิกัด คือดาวเทียมจีพีเอส ในการหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single point positioning) จะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวเพื่อหาพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับแบบสัมบูรณ์ ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งมี 2 ชนิด คือ ข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange measurement) และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement)

#### 1.2.1.1 ข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange measurement)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางที่วัดจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ในการวัดระยะทางนี้เครื่องรับจะสร้างรหัส PRN (Pseudo Random Noise) ซึ่งใช้ในดาวเทียมขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้จากการรับสัญญาณ รหัสที่สร้างขึ้นจะเลื่อนไปมาจนกระทั่งมีสหสัมพันธ์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้รับ ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากดาวเทียมในขณะที่รหัสสร้างขึ้นในเครื่องรับ โดยการเอาความเร็วของคลื่นส่งวิทยุคูณกับเวลา

จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ โดยเหตุที่รหัสที่ส่งจากดาวเทียมได้มาจากนาฬิกาของ ดาวเทียมในขณะที่รหัสที่สร้างขึ้นในเครื่องรับก็ได้มาจากนาฬิกาเครื่องรับ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของเวลาอันเนื่องมาจากความแตกต่างของนาฬิกาทั้งสองไม่ได้ จึงทำให้ซูโดเรนจ์ที่วัดได้นี้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริง ระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ นอกจากนั้นซูโดเรนจ์ยังมีผลกระทบเนื่องจากการหักเหของคลื่น ในชั้นไอโอโนสเฟียร์และชั้น โทรโพสเฟียร์โดยตรงอีกด้วย โดยมีสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทางดังนี้คือ

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

โดยที่

P(Li) คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\rho$ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

dT คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

$d_{orb}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

$d_{trop}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$d_{ion/Li}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\varepsilon$ คือ ความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน (เมตร) เป็นต้น

**1.2.1.2 ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement)**

การวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นความถี่ fo ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า Ambiguity หรือ เลขปริศนา โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสคือ

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

โดยที่

$\Phi(Li)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\rho$ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

dT คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

$d_{orb}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

$d_{trop}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$d_{ion/Li}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\lambda i$ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)

Ni คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\varepsilon$ คือ ความคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน (เมตร) เป็นต้น

### 1.2.2 แนวคิดของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning, PPP) โดยใช้ข้อมูลความถี่เดียว

ในการที่จะหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงจากข้อมูลความถี่เดียว จะต้องพยายามลดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้มากที่สุด โดยเฉพาะค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ถ้าเป็นการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงโดยใช้ 2 ความถี่ ค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้จะถูกขจัดออกไปได้ ในสมการ (1) และ (2) เทอมของ $d_{ion/Li}$ หรือความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยการใช้แบบจำลอง Ionosphere-Free Combination (L3) โดยการสร้างสมการขึ้นจากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูล L1 และ L2 (Rizos, 1997; Leick, 1995) แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลความถี่เดียว จึงต้องใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ และเฟสของคลื่นส่ง มาใช้ในการคำนวณร่วมกัน นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังนี้

#### 1.2.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbit error)

ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมมีสาเหตุมาจากวงโคจรดาวเทียมที่มาจากข้อมูลดาวเทียมในสัญญาณที่รับได้นั้นเป็นวงโคจรที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้า โดยอาศัยรูปจำลองของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม รูปจำลองที่ใช้อาจจะไม่ถูกต้องหรือไม่ละเอียดเพียงพอเมื่อเทียบกับแรงจริงๆ ที่กระทำต่อดาวเทียมในขณะที่ทำการวัด ดังนั้นตำแหน่งของดาวเทียมจากอิฟีเมอริสดาวเทียมที่ส่งกระจายลงมาพร้อมสัญญาณดาวเทียมนั้นจึงไม่ถูกต้อง

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แนวทางการแก้ไข :

เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมได้โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่คำนวณหาได้หลังจากที่ดาวเทียมนั้นได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้นๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวถูกจัดทำโดยหน่วยงาน IGS และข้อมูลดังกล่าวก็สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเตอร์เน็ตโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า International GPS Service (IGS) ได้คอยจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้เรา ดาวน์โหลดได้บนอินเตอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ตารางที่ 1.1 แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลที่ให้บริการและระยะเวลาที่เราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลหลังจากเวลาที่เราทำการรังวัด (สำหรับ broadcast ephemeris แสดงให้เห็นรายละเอียดเพื่อใช้เปรียบเทียบเท่านั้น)

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2006)

| ชนิดข้อมูล | ความถูกต้อง | ช่วงเวลาในการให้บริการข้อมูล | ช่วงเวลาในการ ปรับปรุงข้อมูล | ช่วงเวลาของข้อมูล |
|---|---|---|---|---|
| **Broadcast ephemeris** | ~260 cm. | Real time | -- | daily |
| **Predicted (Ultra rapid)** | ~25 cm. | Real time | twice daily | 15 min |
| **Rapid** | 5 cm. | 17 hours | Daily | 15 min |
| **Final** | < 5 cm. | ~13 days | Weekly | 15 min |

ในงานวิจัยนี้จะทำการดาวน์โหลดข้อมูล Final Orbit ซึ่งไฟล์จะมีนามสกุล .Sp3 มาใช้ในการคำนวณ โดยข้อมูลจะมีค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่ถูกต้องทุกๆ 15 นาที แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลทุกๆ 30วินาที ในการคำนวณ จึงจำเป็นต้องทำการกระจายค่าของข้อมูลจากทุกๆ 15 นาที มาเป็นค่าของข้อมูลทุกๆ 30 วินาที ในการคำนวณครั้งนี้จะนำโปรแกรมจาก ภัคพงศ์ (2547) มาใช้ในการคำนวณ

### 1.2.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม (Satellite clock error)

ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมจะเกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่แตกต่างกัน โดยข้อมูลความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ในข้อมูลดาวเทียมที่ส่งลงมากับสัญญาณซึ่ง เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลักเช่นเดียวกับวงโคจรดาวเทียม

แนวทางการแก้ไข:

โดยเราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมได้จากข้อมูล ของหน่วยงาน IGS เช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม

**1.2.2.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณ (Receiver clock error)**

จะเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากนาฬิกาที่อยู่ในตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เพราะเป็นแค่นาฬิกาธรรมดาทั่วไป ที่ทำจากควอทซ์ ที่มีความถูกต้องไม่สูงมากนัก ทำให้การจับเวลามีความคลาดเคลื่อนไป

แนวทางแก้ไข:

สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้ได้โดยการกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าตัวหนึ่งในสมการ

**1.2.2.4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการล่าช้าของสัญญาณในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay)**

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะเป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงจากผิวโลกตั้งแต่ 50–1000 กม. ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ห่างจากผิวโลกมากที่สุดรวมถึงเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดอีกด้วย สิ่งน่าสนใจเกี่ยวกับบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ ความสามารถหักเหคลื่นวิทยุซึ่งในชั้นบรรยากาศอื่นไม่มีคุณสมบัตินี้อยู่ การแพร่กระจายของรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์เข้าหาชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานเข้าสู่โมเลกุลของชั้นบรรยากาศไอโอโนเฟียร์ให้เกิดการไอออนไนซ์ (ionization) ของโมเลกุลขึ้น การไอออนไนซ์ คือ ขบวนวิธีดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ซึ่งอะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะมีลักษณะทางไฟฟ้าเป็นประจุไฟฟ้าบวก นอกจากนี้ยังได้ประจุไฟฟ้าลบและอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก ปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ จัดว่ามีพฤติกรรมไม่คงที่แน่นอน คือ มีค่าขึ้นๆ ลง ๆ ตลอดตามการเปลี่ยนแปลงของรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่มีการแพร่กระจายรังสีสูงสุดในเวลากลางวัน และต่ำสุดในเวลากลางคืน ทำให้ระยะเวลาในการเดินทางของคลื่นเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวัน เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศทำให้สัญญาณของจีพีเอส ไม่สามารถเดินทางได้ด้วยความเร็วแสง และเนื่องจากผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การเดินทางของสัญญาณจีพีเอส จะขึ้นอยู่กับ Refractive index (n) ในสัญญาณจีพีเอส ที่ประกอบด้วยข้อมูลรหัสและเฟสของคลื่นส่งจะมี Refractive index 2 ชนิดคือ $n_g$ กับ $n_\phi$ โดย $n_g$ คือ Refractive index ของกลุ่มคลื่น ในที่นี้ก็คือข้อมูลรหัสที่มีการกล้ำสัญญาณบนเฟสของคลื่นส่ง ดังนั้น $n_g$ จึงเป็นตัวแทนของข้อมูลซูโดเรนจ์ และ $n_\phi$ คือ Refractive index ของเฟส ซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง โดยสรุป $n_g$ จะมีค่ามากกว่า 1 และ $n_\phi$ จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ซึ่งจะมีผลทำให้การเดินทางของรหัสมีความล่าช้ากว่าปกติและการเดินทางของเฟสของคลื่น

ส่งเร็วกว่าปกติ ด้วยสาเหตุนี้เองที่ทำให้ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในสมการที่ (1) และ (2) มีเครื่องหมายตรงข้ามกัน สามารถดูรายละเอียดการพิสูจน์ค่า Refractive index ได้ใน Jekeli (2001)

แนวทางการแก้ไข :

ในงานวิจัยนี้จะทดลองใช้แบบจำลอง Ionosphere-free code and phase เพื่อใช้ลดผลกระทบจากการล่าช้าของสัญญาณในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นการสร้างสมการขึ้นใหม่ จากการใช้สมการพื้นฐานในการหาระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณด้วยซูโดเรนจ์ (สมการที่ 1) และการวัดเฟสของคลื่นส่ง (สมการที่ 2) มาบวกกันและหารด้วย 2 (Witchayangkoon, 2000) ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการ

$$\in p(L1) = \frac{P(L1) + \Phi(L1)}{2} \qquad (3)$$

โดยที่

$\in p(L1)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จาก Ionosphere-free code and phase (เมตร)

$P(L1)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง L1 (เมตร)

$\Phi(L1)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 (เมตร)

**1.2.2.5 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์**

การหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นส่งแต่ขึ้นอยู่กับความกดดันบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนประกอบคือ ส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น โดยส่วนประกอบแห้งจะมีขนาด 90 % ของการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ส่วนประกอบชื้นจะขึ้นอยู่กับความกดดันของไอน้ำในอากาศประมาณ 10 % ของการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ การหักเหในแนวดิ่งมีค่าประมาณ 2 – 3 เมตร และเพิ่มมากขึ้นในแนวราบ ที่มุมสูงใกล้ 0 องศา การหักเหมีค่าประมาณ 20 – 30 เมตร ถึงแม้อิทธิพลของส่วนประกอบแห้งจะมีขนาดใหญ่กว่าส่วนชื้น แต่การคำนวณส่วนแห้งจะมีค่าความถูกต้องมากกว่าส่วนชื้น ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ ± 1% (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ,2538)

การหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Hofmann-Wellenhof et al, 2001) สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\Delta^{Trop} = \int (n-1)ds \qquad (4)$$

ถ้าให้ $n$ เป็นดัชนีการหักเหในชั้นบรรยากาศ

นิยาม $N^{Trop} = 10^{6}(n-1)$ (5)

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6}\int N^{Trop} ds \quad (6)$$

Hopfield (1969) สามารถแสดงถึงการแยกส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น ได้ดังนี้

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop} \quad (7)$$

โดยที่

$N_d^{Trop}$ คือ อิทธิพลของส่วนประกอบแห้ง

$N_w^{Trop}$ คือ อิทธิพลของส่วนประกอบชื้น

ฉะนั้น

$$\Delta_d^{Trop} = 10^{-6}\int N_d^{Trop} ds \quad (8)$$

$$\Delta_w^{Trop} = 10^{-6}\int N_w^{Trop} ds \quad (9)$$

และ

$$\Delta^{Trop} = \Delta_d^{Trop} + \Delta_w^{Trop}$$

$$= 10^{-6}\int N_d^{Trop} ds + 10^{-6}\int N_w^{Trop} ds \quad (10)$$

โดยที่

$$N_d^{Trop} = 77.6\frac{P}{T}, \qquad N_w^{Trop} = 77.6\frac{4810e}{T^2}$$

P คือ ความกดดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

T คือ อุณหภูมิ ( เคลวิน)

e คือ ความดันของไอน้ำ ( มิลลิบาร์)

โดยเราจะลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจากการใช้แบบจำลองมาตรฐานของ Saastamoinen และ Mapping function ของ Neil ดูรายละเอียดใน Witchayangkoon (2000)

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ดังต่อไปนี้

1.3.1 เพื่อศึกษาถึงหลักการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงโดยอาศัยข้อมูลรหัสและเฟสของคลื่นส่งความถี่เดียวที่ปราศจากผลของไอโอโนสเฟียร์

1.3.2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ ระหว่างการใช้ข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณแบบคุณภาพสูงกับเครื่องรับสัญญาณแบบมือถือ เช่น GARMIN โดยใช้ช่วงระยะเวลาที่ใช้

ในการรับสัญญาณดาวเทียมที่ต่างกัน เช่น 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 30 นาที เพื่อนำผลที่ได้มาใช้ในการกำหนดระยะเวลาในการนำไปใช้ทำงานต่อไป

1.3.3. เพื่อทดสอบว่าค่าความถูกต้องขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางละติจูดหรือไม่

1.3.4. เพื่อทดสอบว่าฤดูกาลมีผลกับค่าความถูกต้องหรือไม่

**1.4 ขอบเขตของการวิจัย**

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถกำหนดขอบเขตพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ดังนี้

1.4.1 ใช้หลักการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning)โดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงาน IGS และแบบจำลองเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ

1.4.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยจากหน่วยงาน IGS คือข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงและค่าแก้ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง โดยดาวน์โหลดข้อมูลจากอินเตอร์เน็ต

1.4.3 ใช้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX ที่ดาวน์โหลดได้บนอินเตอร์เน็ตจากสถานีฐานอย่างน้อย 5 แห่งทั่วโลก อย่างน้อยสถานีละ 3 วัน และใช้ข้อมูลจากการตั้งเครื่องรับสัญญาณในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลความถี่เดียว เพื่อใช้ในการทดสอบซอฟต์แวร์ โดยที่ใช้ข้อมูลจากสถานีฐาน เนื่องจากสถานีเหล่านั้น มีค่าพิกัด และตำแหน่งที่แน่นอน และมีการรับสัญญาณตลอดเวลา สามารถทำการเลือกดาวน์โหลดในช่วงเวลาที่ต้องการได้ และทำการหาค่าพิกัดของสถานีฐานที่รับสัญญาณในประเทศไทยจากการส่งข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ไปคำนวณ ผ่านบริการคำนวณค่าพิกัดทางอินเตอร์เน็ตที่มีความน่าเชื่อถือสูง

1.4.4 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ด้วยการใช้ข้อมูลของเครื่องรับสัญญาณแบบคุณภาพสูงและแบบคุณภาพต่ำ โดยจะทำการทดสอบผลที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ เช่น 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 30 นาที

1.4.5 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณข้อมูลของ 5 สถานีฐาน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ถึงตำแหน่งที่ตั้งทางละติจูด กับทางฤดูกาล ว่ามีผลกับการรับสัญญาณหรือไม่

**1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน**

การวิจัยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษารูปแบบข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ Rinex , ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงกับข้อมูลค่าแก้ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงในรูปแบบไฟล์ SP3 และข้อมูลของแบบจำลองแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ

1.5.3 ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์และตรวจสอบความถูกต้องของซอฟต์แวร์ ด้วยภาษา Matlab โดยใช้ซอฟต์แวร์ของภัคพงศ์ เป็นซอฟต์แวร์ต้นแบบ

1.5.4 เก็บข้อมูลจากภาคสนามโดยตั้งเครื่องรับสัญญาณที่จุด CU03 บนดาดฟ้าตึกศัลวิธานนิเทศ ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน โดยใช้เครื่องมือจีพีเอสแบบคุณภาพสูง และแบบคุณภาพต่ำ

1.5.5 ประมวลผลข้อมูลจากข้อ 4 และข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาจากสถานีฐานทั้ง 5 แห่ง

1.5.6 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นกับค่าอ้างอิงที่มีอยู่

1.5.7 สรุปผลการวิจัย และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

**1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.6.1 เข้าใจถึงหลักการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง

1.6.2 เป็นแนวทางในการเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการตั้งเครื่องรับสัญญาณเพื่อให้ได้ความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ในระดับต่าง ๆ และสามารถเลือกใช้คุณภาพของเครื่องมือตามลักษณะของการทำงานได้ถูกต้อง

1.6.3 ได้ซอฟต์แวร์ต้นแบบสำหรับการคำนวณหาตำแหน่งจุดเดี่ยว เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอดในอนาคต