

การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง
โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง



นายภักพงษ์ หอมเนียม

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

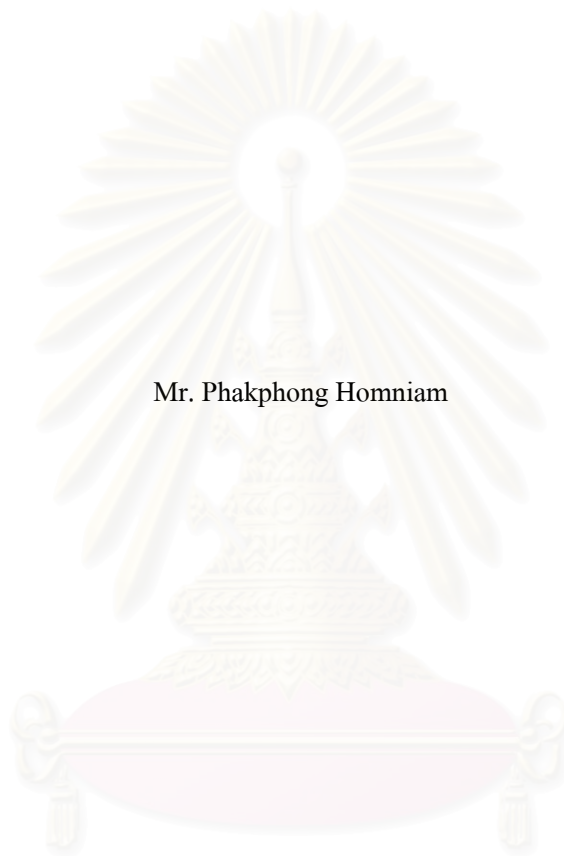
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6007-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF GPS CARRIER PHASE-BASED PRECISE POINT POSITIONING
SOFTWARE



Mr. Phakphong Homniam

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6007-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ ความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง
โดย	นายภักพงษ์ หอมเนียม
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจ็ด พลชะการ)

ภักพงษ์ หอมเนียม : การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง. (DEVELOPMENT OF GPS CARRIER PHASE-BASED PRECISE POINT POSITIONING SOFTWARE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, จำนวนหน้า 58 หน้า. ISBN 974-17-6007-8.

ปัจจุบันงานสำรวจรังวัดด้วยจีพีเอสได้ถูกนำมาใช้ในงานสำรวจรังวัดอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการสำรวจรังวัดแบบเดิม โดยปกติการทำงานรังวัดด้วยจีพีเอสมีหลักการทำงาน 2 แบบคือการหาตำแหน่งจุดเดียวและการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ การหาตำแหน่งจุดเดียวใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 1 เครื่องเพื่อหาค่าพิกัดของตำแหน่งที่ต้องการ โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าพิกัดที่อ้างอิงกับระบบพิกัดได้แก่ ระบบพิกัด WGS84 ในขณะที่การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ต้องการเครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่องในการทำงาน โดยตั้งเครื่องรับสัญญาณที่สถานีฐานและสถานีที่ต้องการหาค่าพิกัด ค่าพิกัดที่ได้จะเป็นค่าอ้างอิงจากค่าพิกัดของสถานีฐาน ดังนั้นจึงต้องทำการรับสัญญาณทั้ง 2 สถานีพร้อม ๆ กัน อันเป็นข้อดีของวิธีนี้ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลการรังวัดเฟสของคลื่นส่งทั้งสองความถี่ (L1 และ L2) ร่วมกับข้อมูลนาฬิกาดาวเทียมและอีพีเมอร์สความละเอียดสูง ร่วมกับแบบจำลองเพื่อลดความคลาดเคลื่อนอื่นๆ เพื่อใช้ในขั้นตอนของการประมวลผล ค่า ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยได้จากการเก็บข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิติบนดาวฟ้าอาคารวิทยนิเวศน์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่วันที่ 25 ถึง 30 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 ค่าพิกัดสัมบูรณ์ที่มีความถูกต้องสูง ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณหาได้จากการส่งข้อมูลไปที่บริการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบอัตโนมัติที่เรียกว่าบริการ AUSPOS ข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 6 วันได้ถูกตัดแบ่งเป็นชุดข้อมูลตามช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที ข้อมูลแต่ละชุดจะถูกประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องทางราบของผลลัพธ์ที่ได้จากช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 1.92 เมตร, 1.79 เมตร, 1.66 เมตร, 1.39 เมตร และ 1.07 เมตรตามลำดับ ในขณะที่ความถูกต้องทางดิ่งมีค่า 4.93 เมตร, 3.92 เมตร, 3.08 เมตร, 2.28 เมตรและ 1.80 เมตรตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ
สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4470450721 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD : GPS / PRECISE POINT POSITIONING / ABSOLUTE POSITIONING / IGS

PHAKPHONG HOMNIAM : DEVELOPMENT OF GPS CARRIER PHASE-BASED
 PRECISE POINT POSITIONING SOFTWARE. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR.
 CHALERMCHON SATIRAPOD, 58 pp. ISBN 974-17-6007-8

In recent years, GPS surveying method has become widely integrated in surveying works because of its advantages over traditional surveying methods. The GPS positioning can be classified into two techniques, namely Single Point Positioning and Relative Positioning. The Single Point Positioning (SPP) technique permits one GPS receiver to determine the absolute coordinates of a point with respect to a coordinate system such as WGS84. The relative positioning technique requires the use of two GPS receivers, one as a reference station and the other one as a user station, to determine the coordinates of the user with respect to the reference station. Thus, the need of having to operate two GPS receivers simultaneously during data acquisition makes the later technique less desirable for many applications.

The objective of this study is to develop GPS Precise Point Positioning (PPP) software, which mainly uses carrier phase measurements from both frequencies (L1 and L2), with post mission satellite clock and ephemeris information and error mitigation models in the estimation procedure. The data used in the subsequent analysis were collected in static mode on the roof of the Vidhayanives building, at Chulalongkorn University between the 25th and 30th October 2002, using a Leica SR530 GPS receiver. The accurate absolute coordinates of the receiver's station were obtained by submitting the data to the automated GPS data analysis service, the so-called AUSPOS service. The 6-day data set was segmented into 5-min, 10-min, 15-min, 30-min and 60-min sessions. Each session data sets was then processed using the developed PPP software, and the results were compared with the reference coordinates. At the 95% confidence level, the horizontal accuracy of the results obtained from 5-min, 10-min, 15-min, 30-min and 60-min sessions is 1.92 m, 1.79 m, 1.66 m, 1.39 m and 1.07 m, while the vertical accuracy of the results is 4.93 m, 3.92 m, 3.08 m, 2.28 m and 1.80 m respectively.

Department Survey Engineering Student's signature

Field of study Survey Enngineering Advisor's signature

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด พละการ ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรสำหรับความอนุเคราะห์ทุนการศึกษาเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการศึกษาตลอดหลักสูตร

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วรศักดิ์ลักษณ์ ช่อนกลิ่น และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่านสำหรับคำแนะนำอันเป็นประโยชน์และการช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คุณอารีย์ ยะรังวงษ์ และครอบครัวสำหรับที่พักอาศัยและการดูแลเอาใจใส่อย่างดียิ่งตลอดเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ขอมอบความดีของวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ระบบดาวเทียมจีพีเอส	
2.1. ระบบดาวเทียมจีพีเอส.....	4
2.2. คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส.....	5
2.3. ระบบพิกัด (Coordinate System).....	6
2.3.1. ระบบพิกัดฉากขั้วติดโลก	6
2.3.2. ระบบพิกัดทางขั้วเอเดซี	7
2.3.3. ระบบพิกัดแผนที่ UTM	8
2.4. แนวคิดของการหาดำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning Concept).....	9
2.4.1. ซูโดเรนจ์	9
2.4.2. เฟสของคลื่นส่ง	10
2.5. เรขาคณิตของดาวเทียม (Satellite Geometry).....	11
2.6. ความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการรับวัด.....	12
บทที่ 3 องค์ประกอบของการหาดำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูง	
3.1. การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียมและนาฬิกาดาวเทียม.....	13
3.2. การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความต่ำช้าของคลื่นในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3. การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความล่าช้าของคลื่นในชั้นบรรยากาศ โทรโพสเฟียร์.....	17
3.3.1. Saastamoinen Model.....	18
3.3.2. Niell Mapping Function (NMF).....	19
3.4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	21
3.4.1. Kalman Filter and Extended Kalman Filter.....	21
3.4.2. การหาค่าอนุพันธ์ย่อยของ Extended Kalman Filter.....	24
3.4.3. การกำหนดค่าเริ่มต้นใน EKF.....	25
บทที่ 4 ซอฟต์แวร์สำหรับการหาดำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง	
4.1. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์.....	27
4.2. การใช้งานซอฟต์แวร์.....	31
4.3. คำแนะนำในการใช้ซอฟต์แวร์.....	35
บทที่ 5 การประมวลผลข้อมูล	
5.1. ข้อมูลนำเข้า.....	36
5.2. ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ.....	38
5.3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล.....	39
5.3.1. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม 5 นาที.....	41
5.3.2. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม 10 นาที.....	43
5.3.3. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม 15 นาที.....	45
5.3.4. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม 30 นาที.....	47
5.3.5. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม 60 นาที.....	49
5.3.6. สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับ สัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
6.1. ผลจากงานวิจัย.....	54
6.2. ข้อเสนอแนะ.....	55
รายการอ้างอิง.....	56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	58



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียม/ค่าแก้ไอฟิกาดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2002).....	14
ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของ hydrostatic NMF mapping function (IBID, 1996).....	20
ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของ wet NMF mapping function (IBID, 1996).....	20
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าเริ่มต้นในเมตริกซ์ Q, R, P และ x.....	26
ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์.....	29
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดและตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผล.....	32
ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม.....	37
ตารางที่ 5.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมงผ่านบริการ AUSPOS ในแต่ละวัน.....	39
ตารางที่ 5.3 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที.....	42
ตารางที่ 5.4 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที.....	44
ตารางที่ 5.5 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที.....	46
ตารางที่ 5.6 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที.....	48
ตารางที่ 5.7 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที.....	50
ตารางที่ 5.8 แสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที.....	51
ตารางที่ 5.9 แสดงความถูกต้องทางราบและทางดิ่งของข้อมูลในระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์.....	59

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงวงโคจรดาวเทียมจีพีเอส (Rizos, 1997).....5

รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียมจีพีเอส (Rizos, 1997).....6

รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดฉากขั้วโลก7

รูปที่ 2.4 ระบบพิกัดทางขั้วโลก8

รูปที่ 2.5 แสดงการเทียบสัญญาณของรหัสเพื่อหาเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ.....9

รูปที่ 3.1 แสดงค่าต่างของตำแหน่งดาวเทียมที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงเทียบกับค่าจากทาง JPL.....16

รูปที่ 3.2 The Kalman filter computation recursive scheme (Witchayangkoon, 2000).....22

รูปที่ 3.3 The EKF computation recursive scheme (Witchayangkoon, 2000).....24

รูปที่ 4.1 แสดงภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์.....28

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลซอฟต์แวร์.....31

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์.....35

รูปที่ 5.1 แสดงการตั้งเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมบนอาคารวิทยุวิศวกรรมภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....36

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในการประมวลผลชุดข้อมูลของช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที.....41

รูปที่ 5.3 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที.....42

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในการประมวลผลชุดข้อมูลของช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที.....43

รูปที่ 5.5 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที.....44

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในการประมวลผลชุดข้อมูลของช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที.....45

รูปที่ 5.7 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที.....46

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในการประมวลผลชุดข้อมูลของช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที.....47

รูปที่ 5.9 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที.....48

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในการ ประมวลผลชุดข้อมูลของช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที.....	49
รูปที่ 5.11 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม 60 นาที.....	50
รูปที่ 5.12 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที.....	52



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันงานสำรวจรังวัดควบคุมทางราบด้วย GPS (Global Positioning System) ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบในการทำงานหลายข้อ เช่น งานรังวัดควบคุมระบบ GPS มีความสะดวกในการเลือกตำแหน่งหมุดเนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องเลือกสถานีควบคุมให้มองเห็นกัน ทำงานได้ทั้งกลางวันกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมงในทุกสภาพอากาศ และยังคงงานสนามให้ง่ายขึ้นจึงประหยัดเวลาในการออกงานสนาม ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำงานในสนาม

โดยปกติการทำงานด้วย GPS มีหลักการหาตำแหน่ง 2 แบบคือ การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวหรือการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Single Point Positioning or Absolute Positioning) และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Differential Positioning or Relative Positioning) ความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวมีข้อจำกัดจากความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ และการเกิดคลื่นสะท้อน (Multipath) แต่ความคลาดเคลื่อนที่มีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งมากที่สุดคือ มาตรการวิธีเลือกปฏิบัติ (Selective Availability, SA) เมื่อใช้มาตรการ SA จะมีความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้รับจากเครื่องรับ GPS เป็น 100 เมตรในแนวราบ และ 156 เมตรในแนวตั้ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ด้วยเหตุผลนี้ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนจาก SA และลดความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ โดยความถูกต้องที่ได้ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีฐานกับตำแหน่งที่รังวัดที่เรียกว่า ความยาวเส้นฐาน (Baseline length) หากความยาวของเส้นฐานมากเช่นกรณีที่สถานีฐานและตำแหน่งที่รังวัดอยู่ไกลกันมากจะมีผลให้ความถูกต้องที่ได้ลดลง นอกจากนี้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ยังต้องการเครื่องรับอย่างน้อย 2 เครื่องในการทำงานในขณะที่การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวต้องการเพียงเครื่องเดียวและมีวิธีการทำงานที่ง่ายกว่าการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ดังนั้นหลังจากประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศยกเลิกการใช้ SA เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียมมีค่าลดลงทำให้วิธีการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวเป็นที่น่าสนใจอีกครั้ง ประกอบกับในปัจจุบันได้มีหน่วยงาน International GPS Service (IGS) คอยจัดเตรียมข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความ

ละเอียดยุคสูง (Precise satellite orbit) และค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise satellite clock error correction) ไว้บนอินเทอร์เน็ตโดยผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูลดังกล่าวสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลได้อย่างเสรี จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาทำการคำนวณหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวพบว่าได้ค่าความถูกต้องสูงขึ้น กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง (Precise Point Positioning) โดยในการวิจัยนี้จะนำข้อมูลจากหน่วยงาน IGS ดังกล่าวมาข้างต้นและแบบจำลองความคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ มาพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูงขึ้นกว่าการหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยใช้ข้อมูลรหัส

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาถึงหลักการหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงโดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

1.2.2. เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยคาดหมายว่าค่าความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ควรมากกว่า 2 เมตร เมื่อรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ และทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที

1.2.3. เพื่อเปรียบเทียบความละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์กับช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมได้แก่ช่วงระยะเวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที

1.2.4. เพื่อเป็นการกำหนดแนวทางในเชิงปฏิบัติเกี่ยวกับการพัฒนางานรังวัดจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถกำหนดขอบเขตได้ดังนี้

1.3.1. ใช้หลักการหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง (Precise Point Positioning) โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง, ข้อมูลจากหน่วยงาน IGS และแบบจำลองเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังได้กล่าวมาข้างต้น ยกเว้นความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณและความคลาดเคลื่อนจากคลื่นสะท้อน

1.3.2. ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยจากหน่วยงาน IGS คือข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงและค่าแก้ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง โดยดาวน์โหลดข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

1.3.3. ใช้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX จากการตั้งเครื่องรับสัญญาณในพื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบสองความถี่เพื่อนำมาประมวลผลร่วมกับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

1.3.4. เปรียบเทียบความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมต่างกัน ได้แก่ช่วงระยะเวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที กับค่าพิกัดที่มีความน่าเชื่อถือได้แก่ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจุดเดี่ยวผ่านบริการ AUSPOS สามารถหารายละเอียดของบริการ AUSPOS ได้จาก GeoScience (2004)

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2. ศึกษารูปแบบข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX , ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงกับข้อมูลค่าแก้ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงในรูปแบบไฟล์ SP3 และข้อมูลของแบบจำลองแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ

1.4.3. จัดเตรียมข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาในข้อ 1.4.2.

1.4.4. ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์และตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์

1.4.5. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้จากซอฟต์แวร์

1.4.6. สรุปผลการวิจัย และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. เข้าใจถึงหลักการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง

1.5.2. ได้ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยให้ค่าความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ที่ซอฟต์แวร์ทั่วไปมีอยู่

1.5.3. เป็นแนวทางในการเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการตั้งเครื่องรับสัญญาณเพื่อให้ได้ความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ในระดับต่าง ๆ

1.5.4. เป็นการกำหนดแนวทางในเชิงปฏิบัติเกี่ยวกับการพัฒนางานรังวัดจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส

บทที่ 2

ระบบดาวเทียมจีพีเอส

การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส เป็นการหาค่าพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียม ถูกพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสได้เป็นที่รู้จักและมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบวิธีการสำรวจรังวัดแบบเดิม นั่นคือสามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ขึ้นกับสถานที่และสภาพอากาศ มีความสะดวกในการทำงาน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งหมุดให้มองเห็นกัน อีกทั้งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการรับสัญญาณดาวเทียมมีแต่เพียงค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล นอกจากนี้ราคาของเครื่องรับสัญญาณในอนาคตยังมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณสูงขึ้น เนื่องจากงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสได้เป็นที่รู้จักและนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้ในปัจจุบันได้มีเอกสารและหนังสือเกี่ยวกับระบบดาวเทียมจีพีเอสทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติออกเผยแพร่ให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาหาความรู้ โดยผู้ที่ต้องการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2546ข), ชูเกียรติ วิเชียรติเจริญและเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2545), Hofmann-Wellenhof, Lichtegger and Collins (2001), Leick (1995), Rizos (1997) และ Teunissen and Kleusberg (1998) โดยในบทนี้จะได้อธิบายเพียงเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเท่านั้น ในส่วนแรกจะอธิบายเกี่ยวกับระบบดาวเทียมจีพีเอส จากนั้นจะเป็นการอธิบายถึงคลื่นสัญญาณที่ดาวเทียมส่งออกมา ตามด้วยระบบพิกัดที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส และตามด้วยแนวคิดของการรังวัดจุดเดียว ถ้าดับถัดมาเป็นเรื่องเรขาคณิตของดาวเทียมและสุดท้ายเป็นความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการรังวัด

2.1. ระบบดาวเทียมจีพีเอส

ระบบดาวเทียมจีพีเอสแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้คือ ส่วนอวกาศ (Space Segment) . ส่วนควบคุม (Control Segment) และส่วนผู้ใช้ (User Segment) โดยมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละส่วนดังนี้ ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง มีวงโคจร 6 ระนาบโดยในแต่ละระนาบมีดาวเทียม 4 ดวง ทุกระนาบทำมุมเอียง 55 องศากับเส้นศูนย์สูตร ทำมุมระหว่างกัน 60

องศา โคจรรอบโลกที่ความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตร และใช้เวลาในการโคจรรอบโลกประมาณ 12 ชั่วโมง โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุพร้อมกับข้อมูลที่ได้จากส่วนควบคุมมายังพื้นโลกดังแสดงในรูปที่ 2.1



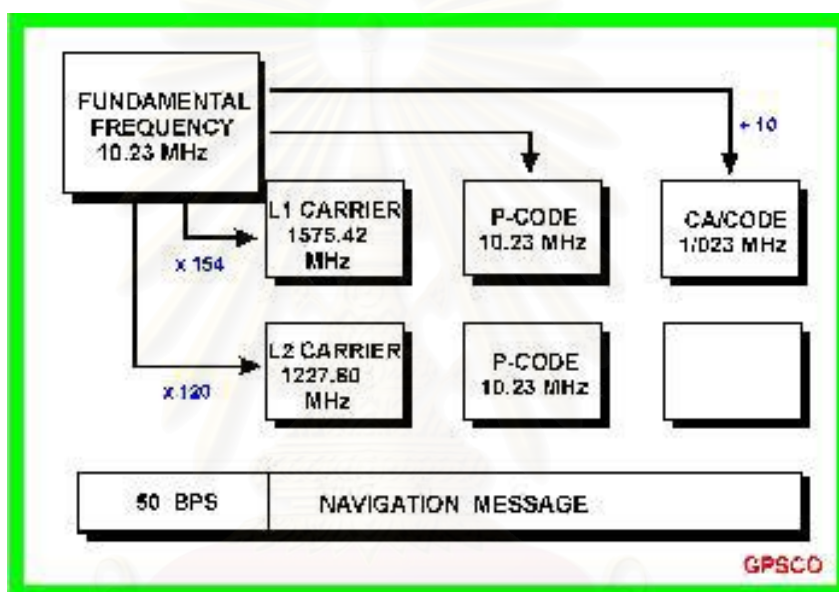
รูปที่ 2.1 แสดงวงโคจรดาวเทียมจีพีเอส (Rizos, 1997)

ส่วนควบคุมมีหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลของดาวเทียมให้มีความทันสมัยอยู่เสมอโดยจะมีสถานีติดตามดาวเทียมกระจายอยู่ทั่วโลกเพื่อคอยรับวัดติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม จากข้อมูลการรับวัดดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณเพื่อที่จะทำนายวงโคจรดาวเทียมล่วงหน้าและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังดาวเทียม ในส่วนของผู้ใช้คือผู้ที่ต้องการทำงานรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปติดตั้งยังตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัด เพื่อรับสัญญาณและข้อมูลที่ดาวเทียมส่งมาและนำข้อมูลที่ได้อไปประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดของตำแหน่งที่ต้องการต่อไป

2.2. คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

บนดาวเทียมแต่ละดวงจะมีชุดนาฬิกาอะตอมมิกซึ่งประกอบด้วย รูบิเดียม 2 เรือนและ ซีเซียม 2 เรือน เป็นแหล่งกำเนิดความถี่พื้นฐานขนาด 10.23 MHz และดาวเทียมจะส่งสัญญาณเป็นคลื่นวิทยุในช่วงที่เรียกว่า L band มี 2 ความถี่คือที่ความถี่ 1575.42 MHz หรือเป็น 154 เท่าของความถี่พื้นฐาน มีความยาวคลื่นประมาณ 19 เซนติเมตรเรียกว่า คลื่นส่ง L1 และที่ความถี่ 1227.60 MHz หรือเป็น 120 เท่าของความถี่พื้นฐานมีความยาวคลื่นประมาณ 24 เซนติเมตรเรียกว่า คลื่นส่ง L2 คลื่นวิทยุทั้งสองความถี่จะถูกมอดูเลต (modulate) ด้วยรหัสและข้อมูลดาวเทียม สำหรับรหัสที่

ถูกมอดูเลตมาพร้อมคลื่นส่งมี 2 ชนิดดังนี้คือ รหัส C/A (Coarse/Acquisition Code) มีความถี่ 1.023 MHz หรือ 0.1 เท่าของความถี่พื้นฐาน มีความยาวคลื่น 300 เมตร ส่วนรหัสอีกชนิดคือ P (Precision Code) ซึ่งมีความถี่ 10.23 MHz หรือเท่ากับความถี่พื้นฐาน มีความยาวคลื่น 30 เมตร โดยที่คลื่นส่ง L1 จะถูกมอดูเลตด้วยรหัสทั้งสองชนิด ในขณะที่คลื่นส่ง L2 จะถูกมอดูเลตด้วยรหัส P เท่านั้น สำหรับข้อมูลดาวเทียมที่ถูกมอดูเลตมาทั้งในคลื่นส่ง L1 และ L2 ประกอบไปด้วยข้อมูลวงโคจร ดาวเทียม นาฬิกาดาวเทียม พฤติกรรมของนาฬิกาดาวเทียมและสถานภาพของระบบดาวเทียม ส่งข้อมูลดาวเทียมด้วยอัตราเร็ว 50 bps (bits per second) หรือ 50 ตัวอักษรต่อวินาที โครงสร้างของคลื่นสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียมจีพีเอส (Rizos, 1997)

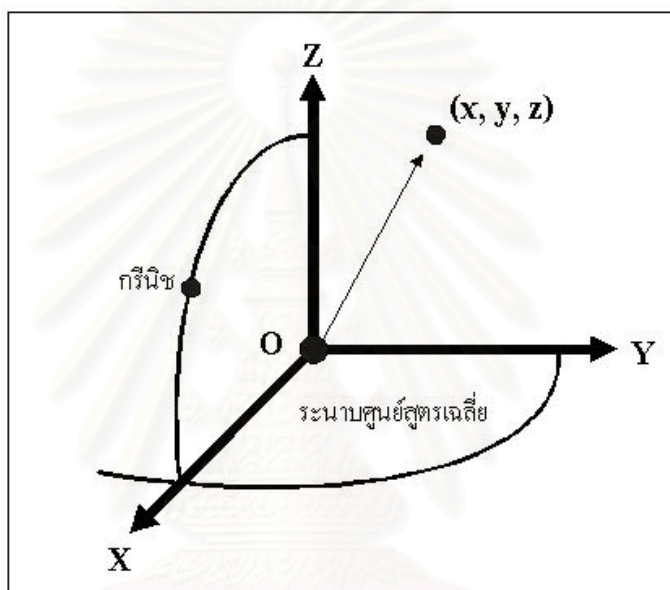
2.3. ระบบพิกัด (Coordinate System)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบพิกัดที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส โดยทั่วไปค่าพิกัดที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสจะแสดงอยู่ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (Earth Centered Earth Fixed Coordinate System, ECEF) ระบบพิกัดทางยี่อเดซี (Geodetic Coordinate System) และระบบพิกัดแผนที่ UTM (Universal Transverse Mercator) โดยมีรายละเอียดของระบบพิกัดแต่ละชนิดดังนี้

2.3.1. ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก

ระบบพิกัดฉากยึดติดโลกเป็นระบบพิกัดที่แกนพิกัดจะหมุนไปพร้อม ๆ กับการหมุนของโลก จากรูปที่ 2.3 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับระบบพิกัดดังนี้ (ชูเกียรติ วิเชียรติเจริญ, 2537)

- จุด O คือจุดกำเนิดของระบบพิกัดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารหรือเรียกว่าจุดศูนย์กลางโลก (geocenter)
- มีแกน Z ทับกับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก
- ระนาบที่ตั้งฉากกับแกน Z หรือระนาบ XY คือระนาบศูนย์สูตรเฉลี่ย
- ระนาบ XZ คือระนาบเมริเดียนกรีนิจเฉลี่ยเป็นระนาบที่ประกอบด้วยแกนหมุนเฉลี่ยและจุดที่หอดูดาวเมืองกรีนิจ
- แกน Y มีทิศทางตั้งฉากกับแกน X และ Z โดยประกอบกันเป็นระบบมือขวา



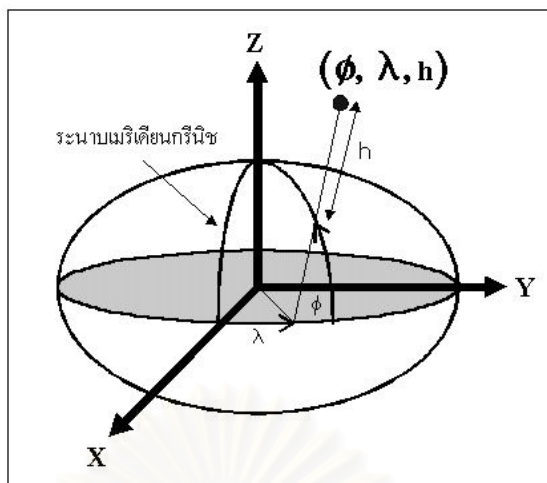
รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก

2.3.2. ระบบพิกัดทางขั้วเหนือ

ระบบพิกัดนี้ใช้ในการบอกตำแหน่งด้วยค่าละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูงเหนือรูปทรงรี (h) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ละติจูด (ϕ) คือมุมระหว่างเส้นตั้งฉากพื้นผิวรูปทรงรีที่จุดนั้นกับระนาบศูนย์สูตร
- ลองจิจูด (λ) คือมุมระหว่างระนาบเมริเดียนที่ผ่านจุดนั้นกับระนาบเมริเดียนที่ผ่านกรีนิจ
- ความสูงเหนือรูปทรงรี (h) คือระยะตามแนวเส้นตั้งฉากจากจุดนั้นจนถึงพื้นผิวรูปทรงรี

ดังนั้นค่าพิกัดที่ได้จากระบบพิกัดนี้จะขึ้นอยู่กับว่าเราใช้รูปทรงรีใดเป็นรูปทรงรีอ้างอิง



รูปที่ 2.4 ระบบพิกัดทางย็ออเดซี

2.3.3. ระบบพิกัดแผนที่ UTM

ระบบพิกัดแผนที่ UTM เป็นการฉายแผนที่แบบหนึ่ง ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จะเป็นค่าพิกัดฉาก โดยแผนที่ภูมิประเทศของประเทศไทยจะอ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดแผนที่ UTM มีรายละเอียดของระบบพิกัดดังนี้ (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2533)

- เป็นการฉายที่มีคุณสมบัติคงรูป (Conformal Projection)
- ใช้ทรงรีอ้างอิงที่เหมาะสมแทนพื้นพิภพ เช่นแผนที่จุด L7018 ของกรมแผนที่ทหารใช้ทรงรีอ้างอิง WGS84
- มีหน่วยระยะทางเป็นเมตร
- ใช้การฉายแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ขวาง (Transverse Mercator) ซึ่งมีการประจวบ (Coincidence) เป็นแบบตัดกัน
- ในการประจวบตัดกัน กำหนดให้สเกลแฟกเตอร์ที่แนวเมริเดียนกลางมีค่า 0.9996
- ในแต่ละแถบจะใช้แนวเมริเดียนกลางและแนวเส้นศูนย์สูตรเป็นแกนพิกัดฉาก โดยที่จุดตัดระหว่างเส้นทั้งสองเรียกว่า จุดกำเนิดจริงของระบบพิกัด มีทิศทางที่ขนานกับแนวเมริเดียนกลางและชี้ไปทางเหนือเรียกว่า ทิศเหนือกริด
- เพื่อให้ค่าพิกัดฉากในระบบมีค่าเป็นบวกเสมอ จึงกำหนดค่าพิกัดตะวันออกให้เส้นเมริเดียนกลางเป็น 500,000 เมตร และกำหนดพิกัดเหนือสำหรับเส้นศูนย์สูตรไว้สองกรณีคือสำหรับซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ให้มีค่าเป็น 0 เมตรและ 10,000,000 เมตรตามลำดับ ดังนั้นจุดกำเนิดจริงของระบบพิกัดจึงมีค่าพิกัดแบ่งเป็น 2 กรณีคือ สำหรับการใช้งานในซีกโลกเหนือค่าพิกัดของจุดกำเนิดจริงจะเป็น E = 500,000 เมตร และ N = 0 เมตร และสำหรับการใช้งานในซีกโลกใต้ค่าพิกัดของจุดกำเนิดจริงจะเป็น E = 500,000 เมตร และ N = 10,000,000 เมตร

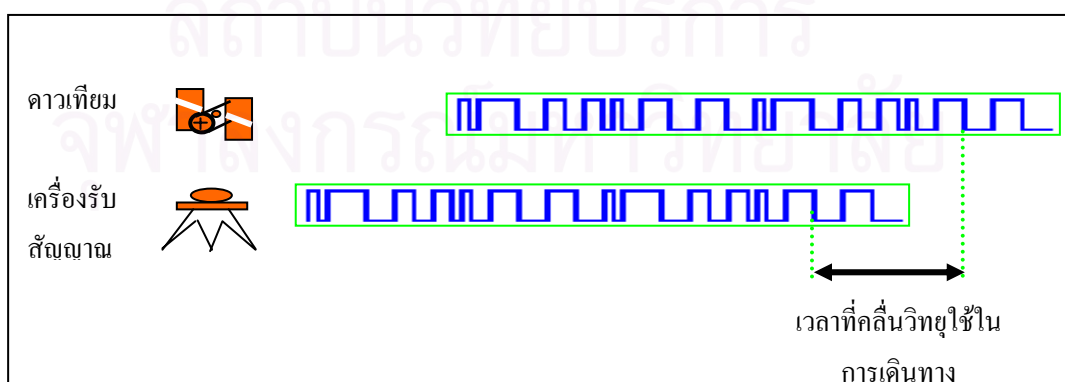
- การกำหนดเลขหมายประจำแถบ เริ่มด้วยเลข 1 สำหรับแถบซึ่งอยู่ระหว่างลองจิจูด 180 องศาตะวันตกถึง 174 องศาตะวันตก โดยที่แต่ละแถบมีความกว้างเท่ากับ 6 องศา ให้แถบถัดไปทางตะวันออกมีเลขหมายเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงเลข 60 ในแถบสุดท้ายซึ่งอยู่ระหว่างลองจิจูด 174 องศาตะวันออกและ 180 องศาตะวันออก สำหรับประเทศไทยอยู่ภายในแถบที่ 47 และ 48
- มีขอบเขตทางเหนือและใต้ระหว่างละติจูด 80 องศาใต้ถึง 84 องศาเหนือ

2.4. แนวคิดของการหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning Concept)

วัตถุประสงค์ของการทำงานรังวัดดาวเทียมคือการหาค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่นำเครื่องรับสัญญาณไปวาง โดยปกติค่าที่รังวัดได้โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะถูกนำมาใช้สร้างเป็นสมการค่าสังเกตเพื่อคำนวณหาตัวแปรไม่ทราบค่าซึ่งในที่นี้คือ พิกัดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ โดยในการหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning) จะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวเพื่อหาพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับแบบสัมบูรณ์ โดยค่าที่รังวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS และนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ชูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)

2.4.1. ชูโดเรนจ์

ชูโดเรนจ์ คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ หาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสดังตรงกัน ค่าเลื่อนระหว่างรหัสดังสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการเทียบสัญญาณของรหัสเพื่อหาเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ

เมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณซึ่งเรียกว่า ซูโดเรนจ์นั่นเอง ซูโดเรนจ์ที่ได้นี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น โดยมีสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากการหัดและมีหน่วยเป็นระยะทางดังนี้คือ (Leick, 1995; Rizos, 1997; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$P(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/Li} + \varepsilon(P(Li)) \quad (1.1)$$

โดยที่

$P(Li)$ คือซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

ρ 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)

$\varepsilon(P(Li))$ คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) และสัญญาณรบกวน (Noise) ในซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

2.4.2. เฟสของคลื่นส่ง

เฟสของคลื่นส่งหาได้จาก การวัดเฟสของคลื่นส่งที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับหรือหาค่าต่างกับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมาเอง โดยที่เราจะทราบเพียงส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มลูกหรือเรียกว่า เฟส ในส่วนของจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกหรือที่เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) สามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยมีสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งดังนี้ (Leick, 1995; Rizos, 1997; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$\Phi(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/Li} + \lambda i \cdot Ni + \varepsilon(\Phi(Li)) \quad (1.2)$$

โดยที่

- $\Phi(\text{Li})$ คือชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- ρ คือระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- c คือความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
- dt คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- dT คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- d_{orb} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{trop} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- $d_{\text{ion/Li}}$ คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- λ_i คือความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- N_i คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง Li
- $\varepsilon(\Phi(\text{Li}))$ คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) และสัญญาณรบกวน (Noise) ในชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

2.5. เรขาคณิตของดาวเทียม (Satellite Geometry)

ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จะขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของดาวเทียม ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ด้วยค่า DOP (Dilution of Precision) มีสมการดังนี้ (Leick, 1995)

$$\sigma = \text{DOP} \times \sigma_0 \quad (1.3)$$

โดยที่ σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งที่ต้องการทราบ

σ_0 คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะที่วัดได้

กล่าวให้ง่ายขึ้นก็คือ ถ้า DOP มีค่าต่ำ ๆ จะทำให้ได้ความถูกต้องของตำแหน่งที่ต้องการสูงขึ้นในกรณีที่มีความถูกต้องของระยะที่วัดได้เท่ากัน ทั้งนี้ค่า DOP ยังแบ่งออกได้เป็นหลาย ๆ ชนิด เช่น HDOP, PDOP, GDOP เป็นต้น ซึ่งค่า GDOP จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความถูกต้องโดยรวม

2.6. ความคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการรังวัด

ในงานสำรวจรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีการหาตำแหน่งจุดเดียวโดยใช้เฟสของคลื่นส่ง ดังแสดงในสมการที่ (2.2) ประกอบไปด้วยความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ โดยสรุปเราสามารถจำแนกสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นออกได้เป็น 3 สาเหตุหลัก ๆ ได้แก่

- ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม เป็นต้น
- ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณ ได้แก่ noise ในการรังวัดของเครื่องรับ และความคลาดเคลื่อนระหว่างช่องรับสัญญาณ เป็นต้น
- ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ ได้แก่ ความล่าช้าของสัญญาณเมื่อผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ ความล่าช้าของสัญญาณเมื่อผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลุด(Cycle Slip) และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี เป็นต้น

บทที่ 3

องค์ประกอบของการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง

การหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง(Precise Point Positioning, PPP) เป็นวิธีการหาตำแหน่งจุดเดียวโดยใช้ทั้งข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งดังแสดงในสมการที่ (1.1) และ (1.2) องค์ประกอบของ PPP จะเกี่ยวข้องกับการลดความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่ปรากฏในสมการและการแก้สมการเพื่อหาตัวแปรไม่ทราบค่าได้แก่ ตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ และค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของความคลาดเคลื่อน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ลดความคลาดเคลื่อน และวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้สมการเพื่อหาตัวแปรไม่ทราบค่า

3.1. การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียมและนาฬิกาดาวเทียม

การคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดตำแหน่งเครื่องรับจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลดาวเทียม ณ ขณะเวลาที่เครื่องรับกำลังรับสัญญาณมาใช้ในการคำนวณ โดยข้อมูลของดาวเทียมดังกล่าวประกอบด้วยข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่แสดงตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมและข้อมูลค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ดังนั้นถ้าข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่ได้รับมีความคลาดเคลื่อนสูงจะส่งผลให้พิกัดตำแหน่งเครื่องรับมีความคลาดเคลื่อนสูงตามไปด้วย ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมหรือที่เรียกว่า อีฟิเมอร์ริสดาวเทียม (Satellite Ephemeris) ได้มาจากการรังวัดไปยังดาวเทียมจากตำแหน่งที่เราทราบค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก เราเรียกตำแหน่งเหล่านี้ว่า สถานีติดตามดาวเทียม (Tracking Station) จากค่าที่รังวัดได้ที่สถานีติดตามดาวเทียมที่กระจายอยู่ทั่วโลกจะทำให้ทราบถึงวงโคจรของดาวเทียม โดยปกติแล้ว อีฟิเมอร์ริสดาวเทียมแบ่งเป็น 3 ชนิดดังนี้ (Hofmann-Wellenhof et al., 2001)

- ข้อมูลอัลมานแนก(Almanac Data) เป็นอีฟิเมอร์ริสดาวเทียมที่มีความละเอียดถูกต้องน้อยที่สุด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวางแผนการรับสัญญาณได้แก่ การนำมาใช้สร้างผังดาวเทียมบนท้องฟ้า (Skyplot) เพื่อเลือกช่วงเวลาทำงาน เป็นต้น
- อีฟิเมอร์ริสส่งกระจาย(Broadcast Ephemeris) เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลดาวเทียมที่ส่งมาพร้อมคลื่นวิทยุจากดาวเทียม โดยเป็นค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณวงโคจรดาวเทียม ณ ขณะเวลานั้น ๆ

- อีพีเมอริสละเอียด (Precise Ephemeris) เป็นอีพีเมอริสดาวเทียมที่มีความละเอียด ถูกต้องสูงที่สุด

สำหรับผู้ที่สนใจรายละเอียดเกี่ยวกับอีพีเมอริสแต่ละชนิดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก IBID (2001)

สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะข้อมูลอีพีเมอริสละเอียดหรือข้อมูลวงโคจรดาวเทียม ความละเอียดสูง (Precise Ephemeris or Precise Orbit) เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวให้ค่าความถูกต้อง สูงสุดในบรรดาข้อมูลอีพีเมอริสทั้ง 3 ชนิด อีกทั้งในปัจจุบันมีหน่วยงานชื่อว่า International GPS Service (IGS) คอยจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้เรือดาวนำโหนดได้บนอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ใด ๆ ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดเปรียบเทียบข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้ความคลาดเคลื่อน ของนาฬิกาดาวเทียมที่ให้บริการและระยะเวลาที่เราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลหลังจากเวลาที่ เราทำการรับวัด (สำหรับอีพีเมอริสส่งกระจายแสดงให้เห็นรายละเอียดเพื่อใช้เปรียบเทียบเท่านั้น)

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียม/ค่าแก้นาฬิกาดาวเทียม
ของหน่วยงาน IGS (IGS, 2002)

Products	Accuracy	Latency	Updates	Interval
Broadcast ephemeris	~260 cm./~7 ns.	Realtime	--	daily
Predicted (Ultra rapid)	~25 cm./~5 ns.	Realtime	twicedaily	15 min
Rapid	5 cm./0.2 ns.	17 hours	Daily	15 min
Final	< 5 cm./0.1 ns.	~13 days	Weekly	15 min

ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงแบบ Final product ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมในระดับต่ำกว่า 5 เซนติเมตรและ 0.1×10^{-9} วินาทีตามลำดับ โดยข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปแบบไฟล์ SP3 สามารถศึกษารายละเอียด รูปแบบไฟล์ เพิ่มเติมได้จาก NGS (2002) ข้อมูลแสดงค่าตำแหน่งดาวเทียมในระบบพิกัด ECEF บนพื้นหลักฐาน ITRF เนื่องจากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงที่ได้จากทาง IGS นั้นจะมีเพียงข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมทุก ๆ 15 นาทีเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่เราจะต้องเลือกวิธีการประมาณค่าในช่วงจากข้อมูลดังกล่าวไปยังระยะเวลาที่เราต้องการ วิธีการประมาณค่าที่นำมาใช้ควรมีความถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อรักษาระดับความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมเดิม ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมาณค่ามีหลายวิธีและให้ค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงด้วยสมการ Lagrange polynomial ดังที่ได้กล่าวไว้ใน Witchayangkoon (2000) หากต้องการที่จะประมาณค่าตำแหน่งดาวเทียม ณ เวลา t โดย

ใช้เวลาที่เราทราบค่าตำแหน่งดาวเทียมเป็นจำนวน n จุดได้แก่ $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ จะได้ฟังก์ชันโพลีโนเมียลดีกรี $n-1$ และจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของโพลีโนเมียลเป็น $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ โดยที่

$$l_i(t_j) = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } i \neq j \\ 1 & \text{ถ้า } i = j \end{cases} \quad (3.1)$$

สมมติให้ตำแหน่งดาวเทียมที่เราต้องการหา ณ เวลา t ใดๆ เป็น $X(t)$ ดังนั้นจาก Lagrange polynomial สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$X(t) = \sum_{i=1}^n l_i(t) f_i(t_i) \quad (3.2)$$

โดยที่

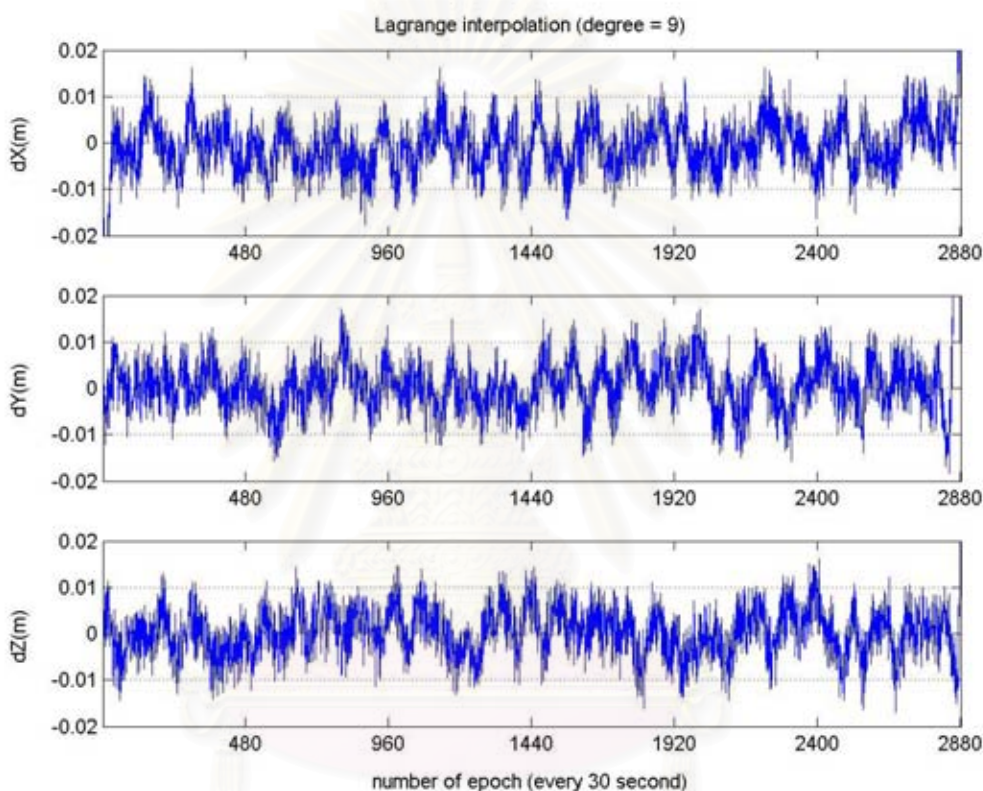
$f_i(t_i)$ คือค่าตำแหน่งดาวเทียม ณ เวลา t_i

และ

$$l_i(t) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left[\frac{t - t_j}{t_i - t_j} \right] \quad 1 \leq i \leq n \quad (3.3)$$

จากการที่ ภัคพงศ์ หอมเนียม และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2546) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้จากการใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอสระหว่างวิธี Chebyshev polynomial และ Lagrange polynomial โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงจากทางหน่วยงาน JPL (Jet Propulsion Laboratory) ซึ่งเป็นหนึ่งในศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Analysis Center) ที่คอยส่งข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ให้ทาง IGS โดยทาง JPL ได้จัดเตรียมข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงแบบ high-rate ซึ่งเป็นข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่เวลาทุก ๆ 30 วินาทีและมีความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมประมาณ 5 เซนติเมตร (Kouba, 2002) ดังนั้นในการทดสอบจึงได้เลือกข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงจาก JPL โดยใช้ข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมหมายเลข 1 ที่เวลาทุก ๆ 15 นาทีเพื่อมาทำการประมาณค่าในช่วงข้อมูลวงโคจรดาวเทียมไปยังทุก ๆ 30 วินาทีและทำการเปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้กับค่าของทาง JPL สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบนี้ได้มาจากการดาวน์โหลดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความ

ละเอียดสูงจากเว็บไซต์ <http://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/jpligsac/hirate/> ในวันที่ 25 ตุลาคม 2545 ในช่วงเวลา 00:00:00-23:59:30 เป็นค่าตำแหน่งดาวเทียมทุกๆ 30 วินาที ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก บนพื้นหลักฐาน International Terrestrial Reference Frame 2000 (ITRF2000) ได้ผลลัพธ์สำหรับการประมวลผลด้วย Lagrange polynomial ดีกรี 9 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่สัญลักษณ์ dX , dY และ dZ ในแกนตั้งของทั้ง 3 กราฟแสดงค่าต่างของตำแหน่งดาวเทียมที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงเทียบกับค่าจากทาง JPL ในทิศทาง X, Y และ Z ตามลำดับ ในส่วนของแกนนอนแสดงหมายเลขระยะเวลา (epoch) ทุก 30 วินาทีตลอด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1 แสดงค่าต่างของตำแหน่งดาวเทียมที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงเทียบกับค่าจากทาง JPL

จากรูปที่ 3.1 พบว่าค่าต่างของตำแหน่งดาวเทียมที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงกับค่าจากทาง JPL มีค่าต่างกันน้อยกว่า 2 เซนติเมตร (ยกเว้นบริเวณปลายกราฟทั้ง 2 ด้านที่มีค่ามากกว่า 2 เซนติเมตรซึ่งแก้ไขได้โดยในการเพิ่มข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าในช่วงบริเวณปลายกราฟทั้งสองด้านออกไปด้านละประมาณ 30 นาที) โดยจากผลต่างดังกล่าวทำให้เรามั่นใจได้ว่าข้อมูลวงโคจรชนิด Final products ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วย Lagrange polynomial จากข้อมูลทุก 15 นาทีไปยังระยะเวลาที่ต้องการจะยังคงมีความถูกต้องประมาณ 5 เซนติเมตร

3.2. การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความล่าช้าของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เนื่องจากอิเลคตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากดาวเทียม ส่งผลให้ซุโดเรนจ์ที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง จากสมการซุโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งดังแสดงในสมการ (1) และ (2) เทอมของ $d_{ion/Li}$ หรือความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยการใช้แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับในกรณีของเครื่องรับสองความถี่โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลอง Ionosphere-Free Combination (L3) โดยการสร้างสมการขึ้นจากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูล L1 และ L2 ดังนี้ (Rizos, 1997; Leick, 1995)

$$P(L3) = \frac{f_1^2 \cdot P(L1) - f_2^2 \cdot P(L2)}{f_1^2 - f_2^2} \quad (3.4)$$

$$\Phi(L3) = \frac{f_1^2 \cdot \Phi(L1) - f_2^2 \cdot \Phi(L2)}{f_1^2 - f_2^2} \quad (3.5)$$

โดยที่

$P(L3)$ คือ ซุโดเรนจ์ที่ได้จากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูลการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง L1 และ L2 (เมตร)

$\Phi(L3)$ คือ ซุโดเรนจ์ที่ได้จากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2 (เมตร)

$P(L1)$, $P(L2)$ คือ ซุโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง L1 และ L2 ตามลำดับ (เมตร)

$\Phi(L1)$, $\Phi(L2)$ คือ ซุโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2 ตามลำดับ (เมตร)

f_1 , f_2 คือ ความถี่ของคลื่นส่ง L1 และ L2 ตามลำดับ (Hz)

3.3 การลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความล่าช้าของคลื่นในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (d_{trop}) ไม่ขึ้นกับความถี่ของคลื่นส่ง แต่ขึ้นกับความกดดัน อุณหภูมิ และความชื้นในบรรยากาศ โดยจุดที่อยู่ห่างกันจะไม่มีความสัมพันธ์ของการหักเห นั่นคือพารามิเตอร์ของการหักเหในชั้นบรรยากาศนี้จะไม่ค่อยมี

สหสัมพันธ์กัน อิทธิพลของบรรยากาศที่มีต่อการวัดระยะแบ่งออกเป็น ส่วนประกอบชื้นและแห้ง (Wet and Dry Components) ส่วนชื้นขึ้นอยู่กับความกดดันของไอน้ำในอากาศมีขนาดประมาณ 10% ของค่า d_{trop} แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์มีหลายแบบจำลอง ทั้ง Hopfield Model, Modified Hopfield Model และ Saastamoinen Model นอกจากนี้ยังมีการใช้ mapping function ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Elevation angle ใดๆ กับ d_{trop} โดย mapping function ที่นิยมใช้กันมีหลายชนิดได้แก่ Marini Mapping Function, Marini&Murray Mapping Function, Chao Mapping Function, Lanyi Mapping Function, Davis Mapping Function, Herring Mapping Function และ Niell Mapping Function โดยมีแบบจำลอง d_{trop} ดังนี้

$$d_{\text{trop}} = d_{\text{dry}}^z \cdot m_{\text{dry}} + d_{\text{wet}}^z \cdot m_{\text{wet}} \quad (3.6)$$

โดยที่

- d_{trop} คือความคลาดเคลื่อนที่เกิดในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์
- d_{dry}^z คือ dry zenith path delay
- d_{wet}^z คือ wet zenith path delay
- m_{dry} คือ mapping function ของส่วนประกอบชื้น
- m_{wet} คือ mapping function ของส่วนประกอบแห้ง

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลอง Saastamoinen model และ Niell mapping function (NMF) เนื่องจากความถูกต้องที่ได้จากการใช้ NMF ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่พื้นผิวโลกในขณะที่ mapping function ต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นมีข้อจำกัดเนื่องจากความถูกต้องที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่พื้นผิวโลก(Niell, 1996)

3.3.1. Saastamoinen Model

ณ ตำแหน่ง normal mid-latitude conditions จากแบบจำลอง Saastamoinen จะหาค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นโทรโปสเฟียร์ในทิศทาง zenith ได้ดังนี้ (Hofmann-Wellenhof et al., 2001: 113)

$$e_0 = 0.0611 \cdot RH^{\left(\frac{7.5(T_0 - 273.15)}{237.3 + T_0 - 273.15}\right)} \quad (3.7)$$

$$T_k^p = 0.002277 \cdot \left[P_0 + \left(\frac{1255}{T_0} + 0.05 \right) \cdot e_0 \right] \quad (3.8)$$

โดยที่

- T_k^p คือ ความคลาดเคลื่อนในทิศทาง zenith (เมตร)
 P_0 คือ ความดันอากาศบริเวณรับสัญญาณดาวเทียม (มิลลิบาร์)
 T_0 คือ อุณหภูมิบริเวณรับสัญญาณดาวเทียม (องศาเซลวิน)
 e_0 คือ water vapor pressure (มิลลิบาร์)
 RH คือ relative humidity ณ บริเวณรับสัญญาณดาวเทียม (%)

3.3.2. Niell Mapping Function (NMF)

NMF หาได้จากสมการดังนี้ (Niell, 1996)

$$m(E) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}{\sin(E) + \frac{a}{\sin(E) + c}} \quad (3.9)$$

โดยที่

- $m(E)$ คือค่า Niell Mapping Function ณ elevation angle ต่างๆ
 E คือ elevation angle
 a, b และ c คือค่าสัมประสิทธิ์

สำหรับ hydrostatic NMF function ค่าสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด φ_i ณ ขณะเวลา t จากวันที่ 0.0 เดือน มกราคม (วันที่ในระบบ UT) มีค่าดังนี้

$$a(\varphi_i, t) = a_{avg}(\varphi_i) + a_{amp}(\varphi_i) \cdot \cos\left(\frac{t - T_0}{365.25} 2\pi\right) \quad (3.10)$$

โดยที่

- $a(\varphi_i, t)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด φ_i ณ ขณะเวลา t
 $a_{avg}(\varphi_i), a_{amp}(\varphi_i)$ คือค่า average และ amplitude ของสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด φ_i
 ตามลำดับ หาค่าได้จากตารางที่ 3.2
 t คือจำนวนวันนับจากต้นปี (day of year)
 T_0 คือวันที่เกิดการ adopted phase มีค่าเท่ากับ 28

สำหรับค่า $a(\varphi, t)$ หาได้จากการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นโดยใช้ค่า $a(\varphi_i, t)$ ที่อยู่ใกล้เคียง สำหรับสัมประสิทธิ์ b และ c ใช้หลักการคำนวณหาค่าเช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์ a

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของ hydrostatic NMF mapping function (IBID, 1996)

Coefficients	Latitude φ_i				
	15°	30°	45°	60°	75°
Average					
a	1.2769934e-3	1.2683230e-3	1.2465397e-3	1.2196049e-3	1.2045996e-3
b	2.9153695e-3	2.9152299e-3	2.9288445e-3	2.9022565e-3	2.9024912e-3
c	62.610505e-3	62.837393e-3	63.721774e-3	63.824265e-3	64.258455e-3
Amplitude					
a	0.0	1.2709626e-5	2.6523662e-5	3.4000452e-5	4.1202191e-5
b	0.0	2.1414979e-5	3.0160779e-5	7.2562722e-5	11.723375e-5
c	0.0	9.0128400e-5	4.3497037e-5	84.795348e-5	170.37206e-5
Height Correction					
a	2.53e-5				
b	5.49e-3				
c	1.14e-3				

สำหรับ wet NMF mapping function ค่าสัมประสิทธิ์ a , b และ c หาได้จากการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นจากค่าสัมประสิทธิ์ของละติจูดที่อยู่ใกล้เคียงดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของ wet NMF mapping function (IBID, 1996)

Coefficients	Latitude φ_i				
	15°	30°	45°	60°	75°
a_w	5.8021897e-4	5.6794847e-4	5.8118019e-4	5.9727542e-4	6.1641693e-4
b_w	1.4275268e-3	1.5138625e-3	1.4572752e-3	1.5007428e-3	1.7599082e-3
c_w	4.3472961e-2	4.6729510e-2	4.3908931e-2	4.4626982e-2	5.4736038e-2

3.4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.4.1. Kalman filter and Extended Kalman filter

Kalman filter เป็นเทคนิคการประมาณค่าที่เหมาะสมในการประมาณค่าคลาดเคลื่อนน้อยสุด โดยการใช้ recursive algorithm กับข้อมูลการรบกวนที่สอดคล้องกับเวลาและเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น หลักการที่สำคัญของ Kalman filter ได้แก่ Filtering คือการประมาณค่า state vector ณ ขณะเวลาปัจจุบันด้วยข้อมูลการรบกวน ณ ขณะเวลาก่อนหน้า และ Prediction คือการประมาณค่า state vector ณ ขณะเวลาถัดไปด้วยข้อมูล ณ ขณะเวลาปัจจุบัน โดยที่ state vector คือ เวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็นตัวแปรไม่ทราบค่าที่เราต้องการแก้สมการเพื่อหาค่า และมีสมการเกี่ยวเนื่องกับเวลาดังนี้

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \quad (3.11)$$

สอดคล้องกับเวกเตอร์ค่าสังเกต (measurement vector) z ดังนี้

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (3.12)$$

โดยที่

$w_k \sim N_k(0, Q_k)$ คือ system noises

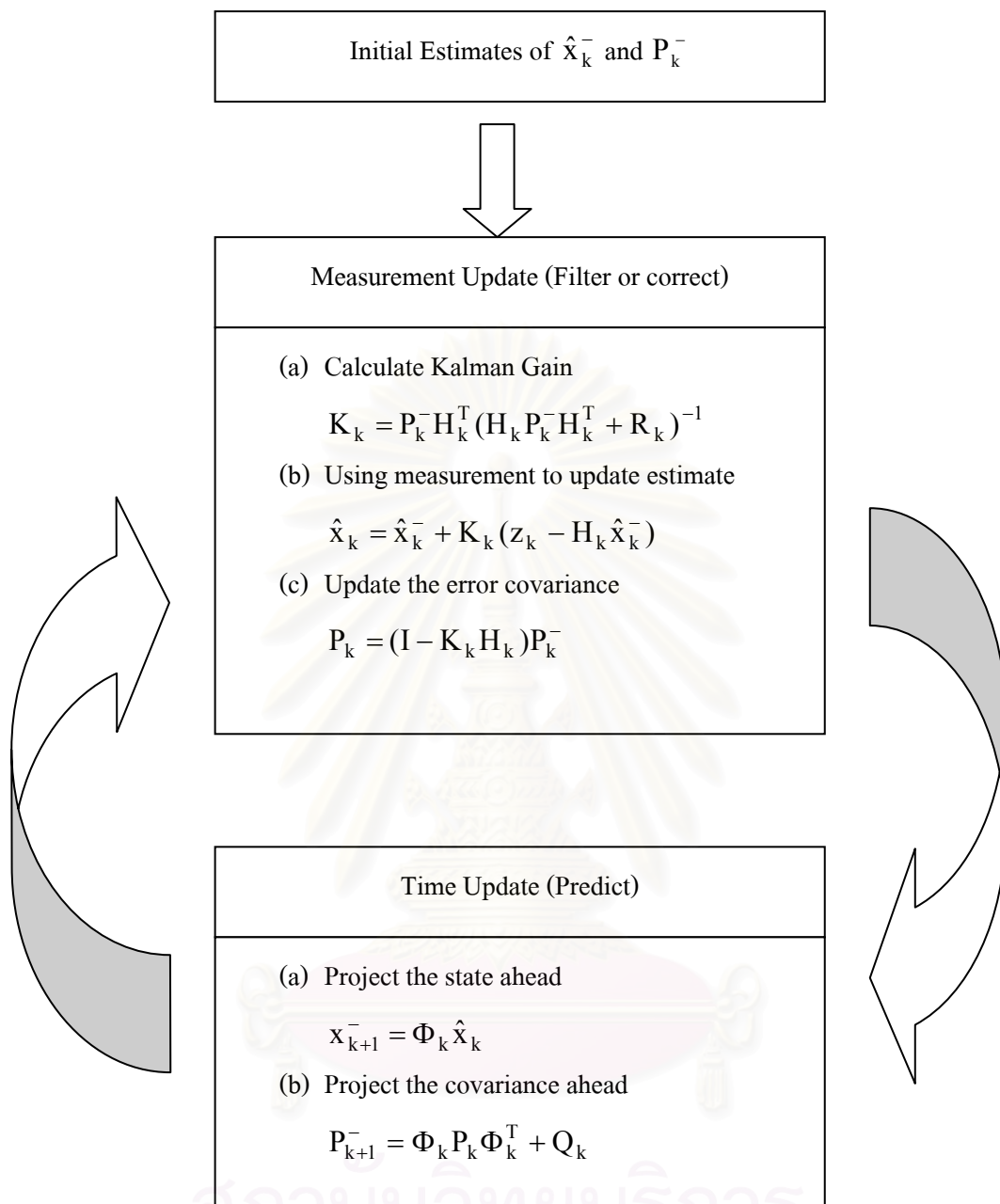
$v_k \sim N_k(0, R_k)$ คือ measurement noises

k คือ เวลา ณ ขณะนั้น

Φ คือ transition matrix

H คือ measurement connection matrix

เทอม H คืออนุพันธ์ย่อย (partial derivative) ของสมการค่าสังเกตที่ทำนายไว้ (predicted measurements) เทียบกับตัวแปรซึ่งต้องคำนวณทุกๆ ขณะเวลา k ขั้นตอนการคำนวณด้วย Kalman filtering จะเกี่ยวข้องกับ Kalman Gain (K) , covariance update (P_k) และ prediction (P_{k+1}^-) ในขั้นตอน time update และ measurement update ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 The Kalman filter computation recursive scheme (Witchayangkoon, 2000)

ในกรณีที่เวกเตอร์ค่าสังเกตและ state vector ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ทำให้เกิดวิธี Extended Kalman Filter (EKF) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับระบบสมการที่ไม่ใช่เชิงเส้น โดย State vector (x) จะมีสมการเกี่ยวเนื่องกับเวลาดังนี้

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \quad (3.13)$$

สอดคล้องกับเวกเตอร์ค่าสังเกต z ดังนี้

$$z_k = h(x_k) + v_k \quad (3.14)$$

ทำให้สมการ (3.13) และ (3.14) เป็นสมการเชิงเส้นดังนี้

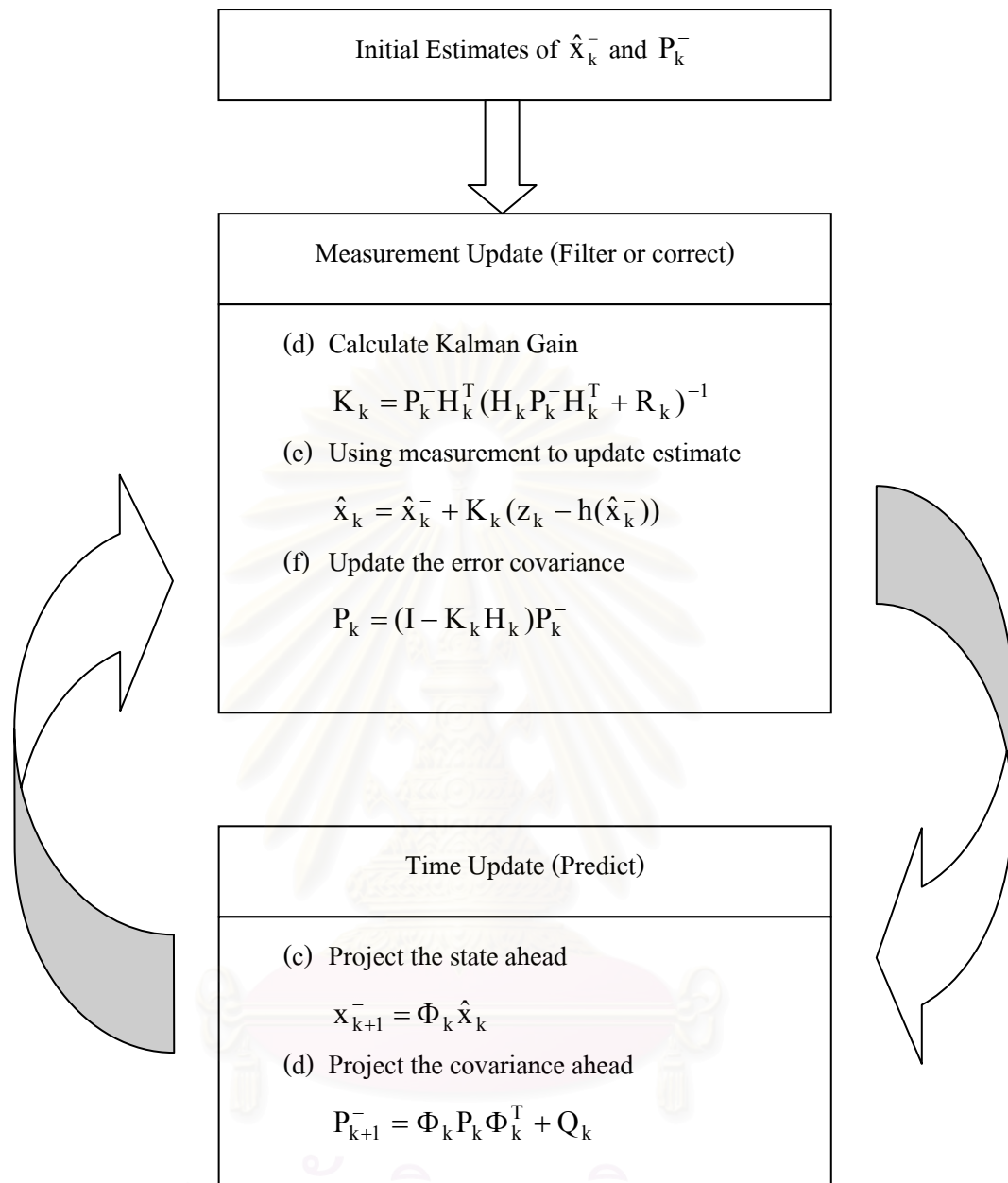
$$x_{k+1} = \Phi_k \hat{x}_k + w_k \quad (3.15)$$

$$z_k = \tilde{z}_k + H(x_k - \tilde{x}_k) + v_k \quad (3.16)$$

เมื่อ H คือ อนุพันธ์ย่อยของเวกเตอร์ค่าสังเกต z เทียบกับเวกเตอร์ x ขั้นตอนการคำนวณดังแสดง
ในรูปที่ 3.3



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 The EKF computation recursive scheme (Witchayangkoon, 2000)

3.4.2. การหาค่าอนุพันธ์ย่อยของ Extended Kalman Filter

ในการประมวลผลข้อมูลกำหนดให้ state vector (x) คือตัวแปรที่ต้องการทราบค่าได้แก่

- ค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ (x, y, z)
- Ambiguity ของดาวเทียมแต่ละดวง (N)
- ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากรนาฬิกาเครื่องรับ (dt)

ดังนั้นเทอมของเมตริกซ์ H จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 H_i^p(\Phi) &= \begin{bmatrix} \frac{x_i^- - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{y_i^- - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{z_i^- - Z_i^p}{\rho_i^p} & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 H_i^p(P) &= \begin{bmatrix} \frac{x_i^- - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{y_i^- - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{z_i^- - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 \rho_i^p &= \sqrt{(x_i^- - X_i^p)^2 + (y_i^- - Y_i^p)^2 + (z_i^- - Z_i^p)^2}
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

โดยที่

x_i^- , y_i^- , z_i^- คือค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ ณ ระยะเวลา i

X_i^p , Y_i^p , Z_i^p คือค่าพิกัดของดาวเทียม p ณ ระยะเวลา i

3.4.3. การกำหนดค่าเริ่มต้นใน EKF

จากรูปที่ 3.3 พบว่าในขั้นตอนก่อนเริ่มทำการปรับแก้ด้วยวิธี EKF จะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นหรือค่าโดยประมาณให้กับเมตริกซ์ Q , R , P และ x โดย Witchayangkoon(2000) ได้แนะนำค่าเริ่มต้นสำหรับเมตริกซ์ดังกล่าวดังสรุปไว้ในตารางที่ 3.4

สำหรับค่าเริ่มต้นของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับในเมตริกซ์ x สามารถหาค่าโดยประมาณได้ดังนี้ (IBID, 2000)

$$R_i = P_i^p - (\rho_i^p - c dt_i^p) \tag{3.18}$$

โดยที่

R_i คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับโดยประมาณ ณ ระยะเวลา i (เมตร)

P_i^p คือชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของดาวเทียม p ณ ระยะเวลา i (เมตร)

ρ_i^p คือระยะทางเรขาคณิตระหว่างเครื่องรับและดาวเทียม p ณ ระยะเวลา i (เมตร)

c คือความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม p ณ ระยะเวลา i (วินาที)

สำหรับ transition matrix (Φ) ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์เนื่องจากเครื่องรับสัญญาณทำการรับสัญญาณแบบสถิต

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าเริ่มต้นในเมตริกซ์ Q, R, P และ x

ชื่อเมตริกซ์	ชนิดของข้อมูล	ค่าที่กำหนดให้
Q	ค่าพิสัยของเครื่องรับสัญญาณ	0.0003 เมตร
	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ	30 เมตร
	Ambiguities	0 เมตร
R	Carrier phase ionosphere-free combination	0.02 เมตร
	Pseudorange ionosphere-free combination	0.20 เมตร
P	ค่าพิสัยของเครื่องรับสัญญาณ	1 เมตร
	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ	500 เมตร
	Ambiguities	10^{10} เมตร
x	ค่าพิสัยของเครื่องรับสัญญาณ	ค่าพิสัยโดยประมาณจากไฟล์ RINEX
	ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ	หาค่าจากสมการ (3.18)
	Ambiguities	0 เมตร

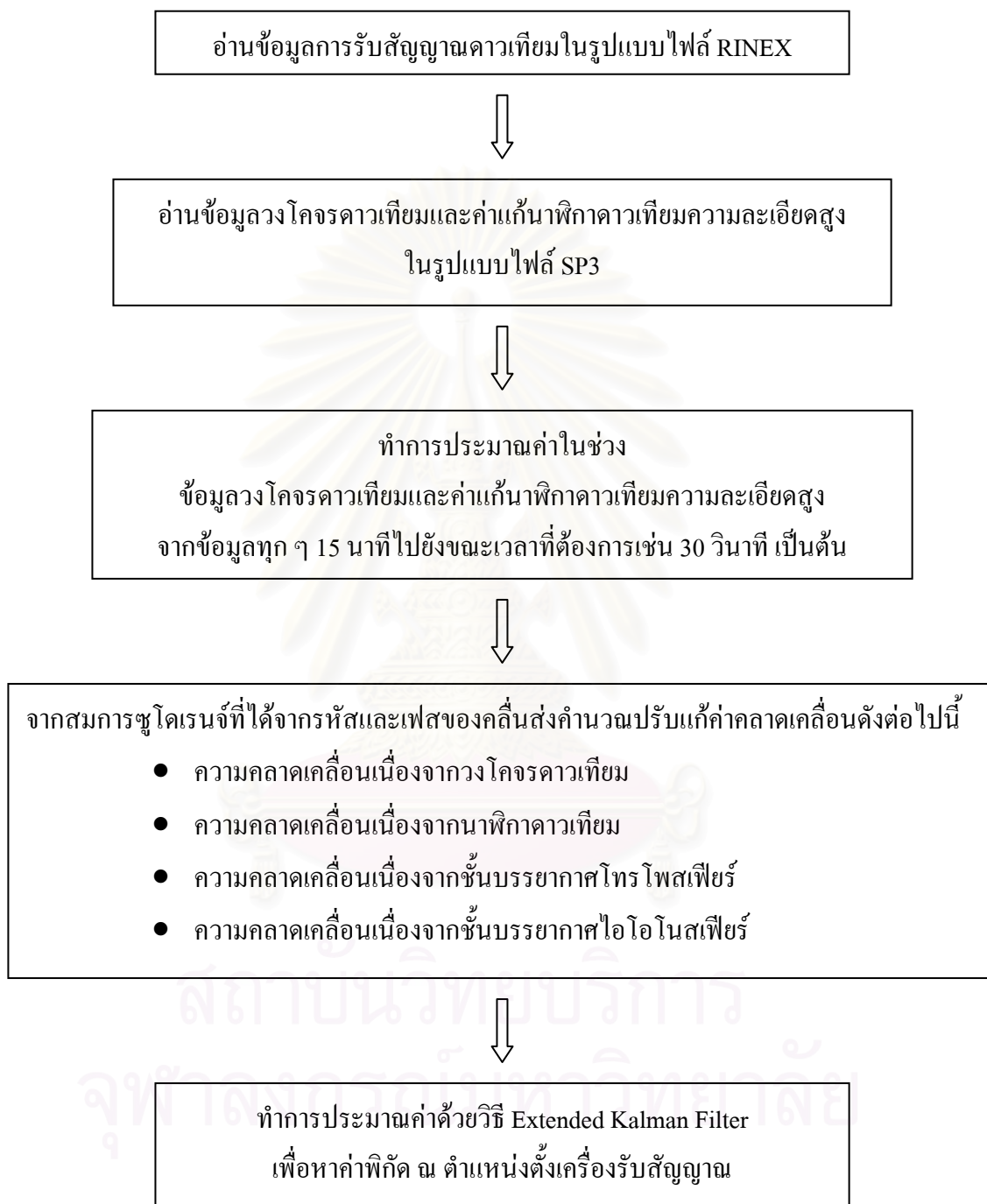
บทที่ 4

ซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง

ซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.0 โดยในบทนี้จะได้อธิบายถึงหลักการทำงานของซอฟต์แวร์ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานพร้อมด้วยองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ ตามด้วยการใช้งานโดยจะแสดงรายละเอียดของข้อมูลนำเข้าที่ต้องป้อนให้กับซอฟต์แวร์พร้อมทั้งตัวอย่างการป้อนข้อมูลและอธิบายรูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ และในส่วนสุดท้ายคือคำแนะนำในการใช้ซอฟต์แวร์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงมีขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มจากการอ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX เพื่อนำข้อมูลชุดโคเรนจ์ที่ได้จากรหัสและเฟสของคลื่นส่งในทุก ๆ ระยะเวลามาจัดเก็บเป็นรูปแบบที่ต้องการนำไปใช้งานต่อไป จากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง เพื่อนำข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมมาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ หลังจากนั้นจะทำการประมาณค่าในช่วงข้อมูลดังกล่าวจากข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีไปยังระยะเวลาที่ต้องการเช่น ทุก ๆ 30 วินาทีเป็นต้น ตามด้วยการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่จะต้องใช้ในการคำนวณในทุก ๆ ระยะเวลา 30 วินาทีเช่น ความเร็วโดยประมาณของดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละระยะเวลา เป็นต้น จากนั้นทำการสร้างสมการค่าสังเกตจากข้อมูลชุดโคเรนจ์ที่ได้จากรหัสและเฟสของคลื่นส่ง จำนวนปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ พร้อมทั้งทำการประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filter เพื่อหาค่าตำแหน่งดาวเทียม ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์

สำหรับซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB จะเป็น script-file ที่มีนามสกุล .m ประกอบไปด้วยไฟล์ที่พัฒนาขึ้นจากซอฟต์แวร์การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงเดิมที่เขียนด้วยโปรแกรม Mathcad สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน Witchayangkoon (2000) และบางส่วนใช้ของ Constellation Toolbox โดยจากไฟล์ทั้งหมดสามารถแบ่งกลุ่มตามหน้าที่ในการทำงานได้ 5 กลุ่มและแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยไฟล์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 สำหรับที่มาของไฟล์จะแทนด้วยสัญลักษณ์ซึ่งมีความหมายดังนี้

- (-) คือไฟล์ที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเอง
- (w) คือไฟล์ที่พัฒนามาจากซอฟต์แวร์การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Mathcad (Witchayangkoon, 2000)
- (c) คือไฟล์ของ Constellation Toolbox

ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์

กลุ่มที่ / หน้าที่	ชื่อไฟล์	ที่มา
กลุ่มที่ 1 ทำหน้าที่อ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX มาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ	Rd_rnx_o.m	(c)
	Rd_rnx_processor.m	(-)
	readRinex.m	(-)
	Refrinex	(c)
	RepNaN.m	(-)
กลุ่มที่ 2 ทำหน้าที่อ่านข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงมาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ	FormSP3.m	(-)
	IntpSP3clk.m	(-)
	ReadSP3.m	(-)
	SP3_processor.m	(-)
กลุ่มที่ 3 ทำหน้าที่ประมาณค่าในช่วงข้อมูลจากหน่วยงาน IGS จากข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีไปยังระยะเวลาที่ต้องการเช่นเวลาทุก ๆ 30 วินาที เป็นต้น	Az.m	(w)
	Azimuth.m	(w)
	Constant_OMC.m	(w)
	Ecef2llh.m	(w)
	LG.m	(w)
	LG_CLK.m	(-)
	LG_interp.m	(-)
	LG_processor.m	(-)
	LG_SP3.m	(w)
LG_XYZ.m	(-)	

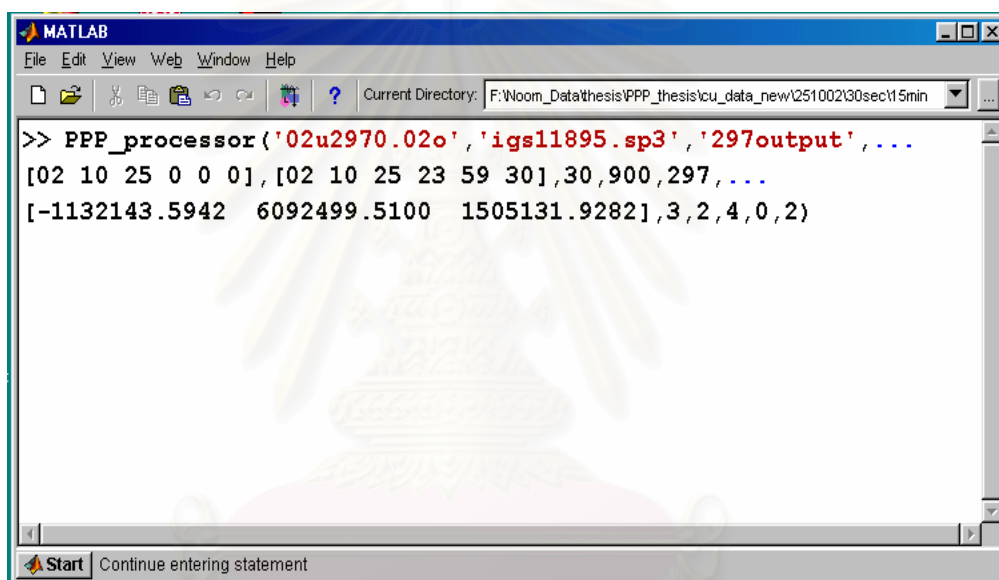
ตารางที่ 4.1 แสดงหน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์ (ต่อ)

กลุ่มที่ / หน้าที่	ชื่อไฟล์	ที่มา
<p>กลุ่มที่ 3</p> <p>ทำหน้าที่ประมาณค่าในช่วงข้อมูลจากหน่วยงาน IGS จากข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีไปยังระยะเวลาที่ต้องการเช่น เวลาทุก ๆ 30 วินาที เป็นต้น</p>	prodd.m	(w)
	SatPo.m	(w)
	SHZD.m	(w)
	SP3_interp.m	(-)
	SVCLK.m	(w)
	SVOFFSUN.m	(w)
	SWZD.m	(w)
	XCLK.m	(w)
	XYZ.m	(w)
<p>กลุ่มที่ 4</p> <p>ทำหน้าที่คำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ และทำการประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filter เพื่อหาค่าพิกัดดาวเทียม</p>	Clkphiall.m	(w)
	EKF.m	(w)
	EKF_processor.m	(-)
	H4DOPs.m	(w)
	MatrixHhZ.m	(w)
	NiellMF.m	(w)
	PhiPPhiT.m	(w)
	Tropo1.m	(-)
typeobs.m	(w)	
<p>กลุ่มที่ 5</p> <p>คือไฟล์ที่ไม่ถูกจัดอยู่ใน 4 กลุ่มก่อนหน้าโดยจะเป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ทั่ว ๆ ไปรวมถึงไฟล์ที่มีการใช้ร่วมกันระหว่างกลุ่มเช่น PPP_processor.m เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่สั่งงานโปรแกรมทั้งหมด หรือ Constant_global.m เป็นไฟล์ของค่าคงที่ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ เป็นต้น</p>	Constant_global.m	(w)
	Ecef2lla.m	(c)
	Err_chk.m	(c)
	Gps2utc.m	(c)
	Gps2sec.m	(c)
	PPP_processor.m	(c)
	Utc2gps.m	(c)
	Utc2leap.m	(c)

สำหรับรายละเอียดการทำงานในแต่ละไฟล์รวมถึงข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ในแต่ละไฟล์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในวิธีใช้ที่อยู่ภายในแต่ละไฟล์ โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของไฟล์หลัก ๆ ที่ใช้ในการทำงานเท่านั้น ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.2. การใช้งานซอฟต์แวร์

การใช้งานซอฟต์แวร์ทำได้โดยการติดตั้งโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.0 ขึ้นไปลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมจะพบกับหน้าต่างคำสั่ง เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมในลักษณะ interactive mode ดังนั้นสามารถพิมพ์คำสั่งสำหรับการประมวลผลได้โดยตรง รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างคำสั่งของโปรแกรม MATLAB ตัวอย่างการพิมพ์คำสั่งและข้อมูลนำเข้าโดยที่เครื่องหมาย ... หมายถึงการขึ้นบรรทัดใหม่ในการพิมพ์คำสั่งเท่านั้น เพื่อให้สามารถเห็นคำสั่งทั้งหมดในหน้าเดียว ซึ่งโดยปกติแล้วเราสามารถพิมพ์คำสั่งเป็นบรรทัดเดียวต่อเนื่องกันไปจนไม่ต้องขึ้นบรรทัดใหม่



```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: F:\Woom_Data\thesis\PPP_thesis\cu_data_new\251002\30sec\15min
>> PPP_processor('02u2970.02o', 'igs11895.sp3', '297output', ...
[02 10 25 0 0 0], [02 10 25 23 59 30], 30, 900, 297, ...
[-1132143.5942 6092499.5100 1505131.9282], 3, 2, 4, 0, 2)
Start Continue entering statement
  
```

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลซอฟต์แวร์

สำหรับคำสั่งที่ใช้มีรูปแบบดังนี้

```

PPP_processor(rinex_file, sp3_file, save_file, sep, lep, obs_rate, session_time, doy, x, trop, type, minsat,
CSD, sp3_type)
  
```

โดยที่ข้อมูลนำเข้ามีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดและตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผล

ชื่อข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด	ตัวอย่างจากรูปที่ 4.2
rinex_file	คือชื่อไฟล์ของข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX	'02u2970.02o'
sp3_file	คือชื่อไฟล์ของข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้ไขนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงในรูปแบบไฟล์ SP3	'igs11895.sp3'
Save_file	คือชื่อไฟล์ที่ใช้ในการเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในชื่อ Save_file.txt	'297output'
sep	คือเวลาเริ่มต้นสำหรับการประมวลผล เป็นเมตริกซ์ขนาด 1x6 มีรูปแบบดังนี้ [ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที วินาที]	[02 10 25 0 0 0]
lep	คือเวลาสิ้นสุดสำหรับการประมวลผล เป็นเมตริกซ์ขนาด 1x6 มีรูปแบบดังนี้ [ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที วินาที]	[02 10 25 0 0 0]
obs_rate	คือเลือกอัตราการบันทึกข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในการประมวลผล เช่น ต้องการข้อมูลทุก ๆ 30 วินาทีหรือข้อมูลทุก ๆ 60 วินาที เป็นต้น	30
session_time	คือช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลเช่น 5 นาที 10 นาที หรือ 15 นาที เป็นต้น โดยการให้ค่ามีหน่วยเป็นวินาที เช่นต้องการประมวลผลข้อมูลตลอด 15 นาทีแปลงเป็นวินาทีเท่ากับ 900 วินาที	900
doy	คือลำดับที่ในหนึ่งปีของวันที่ใช้ในการประมวลผล เช่นวันที่ 1 มกราคมจะมีค่าเท่ากับ 1 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ จะมีค่าเท่ากับ 32 เป็นต้น	297
x	คือค่าพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับโดยประมาณในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็นเมตร เป็นเมตริกซ์ขนาด 1x3 มีรูปแบบดังนี้ [ทิศทางในแกนX, ทิศทางในแกนY, ทิศทางในแกนZ]	[-1132143.5942, 6092499.5100, 1505131.9282]

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดและตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผล (ต่อ)

ชื่อข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด	ตัวอย่างจากรูปที่ 4.2
trop	<p>คือการเลือกวิธีคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ มี 3 กรณีดังนี้</p> <p>trop = 1 เป็นการกำหนดให้เทอม d_{trop} เป็นตัวแปรไม่ทราบค่าอีกหนึ่งตัวที่ต้องทำการประมาณค่าด้วยวิธี EKF</p> <p>trop = 2 เป็นการคำนวณค่า d_{trop} จากแบบจำลอง Saastamoinen เท่านั้น เพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้ในสมการชูโดเรนจ์</p> <p>trop = 3 เป็นการคำนวณค่า d_{trop} จากแบบจำลอง Saastamoinen และ Niell Mapping Function เพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้ในสมการชูโดเรนจ์</p> <p>ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กรณี trop = 3</p>	3
type	<p>คือการกำหนดค่า transition matrix (Φ) มี 2 กรณีดังนี้คือ</p> <p>Type = 1 กำหนดค่าให้กับ transition matrix (Φ)</p> <p>Type = 2 กำหนดให้ transition matrix เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์</p> <p>ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ type = 2</p>	2
minsats	<p>คือจำนวนดาวเทียมน้อยสุดที่ยอมให้ในแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล ในงานวิจัยนี้เลือกใช้จำนวนดาวเทียมน้อยสุดที่ยอมให้คือ 4 ดวง</p>	4
CSD	<p>คือการทำ Cycle Slip Detection and Fixing มี 2 กรณีดังนี้</p> <p>CSD = 0 ไม่มีการทำ Cycle Slip Detection and Fixing</p> <p>CSD = 1 มีการทำ Cycle Slip Detection and Fixing</p> <p>ในงานวิจัยนี้ใช้ CSD = 0</p>	0

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดและตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผล (ต่อ)

ชื่อข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด	ตัวอย่างจากรูปที่ 4.2
SP3_type	คือข้อกำหนดวิธีการประมาณค่าในช่วงกับข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงใน 2 กรณีดังนี้ SP3_type = 1 คือกรณีใช้ข้อมูลชนิด High-rate จากทาง JPL ที่มีข้อมูลวงโคจรทุก ๆ 30 วินาที SP3_type = 2 คือกรณีข้อมูลจากทาง IGS ที่มีข้อมูลวงโคจรดาวเทียมทุก ๆ 15 นาที ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ SP3_type = 2	2

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์จะถูกบันทึกลงบนไฟล์มีนามสกุล .txt ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยมีรายละเอียดของผลลัพธ์ดังนี้

- no. คือหมายเลขชุดข้อมูล
- Start time คือเวลาเริ่มต้นของชุดข้อมูลมีรูปแบบดังนี้คือ ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที
- Last time คือเวลาสิ้นสุดของชุดข้อมูลมีรูปแบบดังนี้คือ ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที
- NumSV คือจำนวนดาวเทียมที่ใช้ตลอดชุดข้อมูล
- X-m คือพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณตามแกน X ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็น เมตร
- Y-m คือพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณตามแกน Y ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็น เมตร
- Z-m คือพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณตามแกน Z ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็น เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

no.	Start time	Last time	NumSV	X-m	Y-m	Z-m
0001	2002 10 25 0 0 0	2002 10 25 0 14 30	7	-1132143.927	6092493.456	1505131.967
0002	2002 10 25 0 15 0	2002 10 25 0 29 30	7	-1132144.218	6092493.617	1505132.018
0003	2002 10 25 0 30 0	2002 10 25 0 44 30	8	-1132144.427	6092493.894	1505132.600
0004	2002 10 25 0 45 0	2002 10 25 0 59 30	8	-1132144.438	6092493.561	1505132.297
0005	2002 10 25 1 0 0	2002 10 25 1 14 30	7	-1132144.501	6092493.066	1505132.025
0006	2002 10 25 1 15 0	2002 10 25 1 29 30	7	-1132144.904	6092494.023	1505132.846
0007	2002 10 25 1 30 0	2002 10 25 1 44 30	7	-1132144.678	6092494.959	1505132.926
0008	2002 10 25 1 45 0	2002 10 25 1 59 30	7	-1132144.968	6092495.950	1505133.430
0009	2002 10 25 2 0 0	2002 10 25 2 14 30	6	-1132145.290	6092497.261	1505133.644
0010	2002 10 25 2 15 0	2002 10 25 2 29 30	5	-1132145.742	6092495.840	1505133.662
0011	2002 10 25 2 30 0	2002 10 25 2 44 30	5	-1132145.793	6092495.451	1505133.721
0012	2002 10 25 2 45 0	2002 10 25 2 59 30	4	-1132145.640	6092494.738	1505133.338
0013	2002 10 25 3 0 0	2002 10 25 3 14 30	4	-1132144.641	6092494.086	1505133.338
0014	2002 10 25 3 15 0	2002 10 25 3 29 30	5	-1132145.188	6092495.741	1505133.781
0015	2002 10 25 3 30 0	2002 10 25 3 44 30	5	-1132145.008	6092495.158	1505133.760
0016	2002 10 25 4 0 0	2002 10 25 4 14 30	4	-1132146.361	6092496.619	1505133.902
0017	2002 10 25 4 15 0	2002 10 25 4 29 30	5	-1132145.056	6092494.671	1505133.777

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์

4.3. คำแนะนำในการใช้ซอฟต์แวร์

4.3.1. ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณได้จากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันตลอดระยะเวลาการรับสัญญาณ กล่าวคือหากประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมตลอดช่วงระยะเวลา 15 นาทีกลุ่มดาวเทียมที่นำมาใช้ในการคำนวณจะต้องเป็นกลุ่มเดียวกันตลอด 15 นาที หากมีดาวเทียมดวงใดที่พ้นขอบฟ้าหรือสัญญาณขาดหายไประหว่าง 15 นาทีดาวเทียมดวงนั้นจะถูกตัดออกไปไม่นำมาใช้ในการคำนวณ ดังนั้นในการนำซอฟต์แวร์ไปใช้งานควรหลีกเลี่ยงการทำงานในช่วงเวลาที่มีดาวเทียมอยู่บนท้องฟ้าเป็นจำนวนน้อย

4.3.2. ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 โดยทำการแปลงรูปแบบไฟล์จาก raw data ไปเป็นไฟล์ในรูปแบบ RINEX เวอร์ชัน 2.0 ด้วยโปรแกรม SKI-pro เวอร์ชัน 2.0 ดังนั้นก่อนนำข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX จากเครื่องรับสัญญาณชนิดอื่นมาใช้ควรตรวจสอบเวอร์ชันและรูปแบบไฟล์นั้น ๆ ก่อน

บทที่ 5

การประมวลผลข้อมูล

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยในส่วนของข้อมูลนำเข้าจะกล่าวถึงรายละเอียดและที่มาของข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงที่ใช้ในงานวิจัย ตามด้วยหัวข้อค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณที่จะอธิบายถึงการได้มาของค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณที่มีความถูกต้องสูงเพื่อที่จะใช้เป็นค่าอ้างอิงในการประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล และสุดท้ายคือหัวข้อผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม พร้อมทั้งเปรียบเทียบและประเมินค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม โดยรายละเอียดในหัวข้อต่าง ๆ มีดังนี้

5.1. ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยได้จากการเก็บข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 บนคานฟ้าอาคารวิทยนิเวศน์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่วันที่ 25 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ในแต่ละวันจะเป็นข้อมูลการรับสัญญาณตั้งแต่เวลา 00:00:00 – 24:00:00 ในระบบเวลา UTC



รูปที่ 5.1 แสดงการตั้งเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมบนคานฟ้าอาคารวิทยนิเวศน์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาการประมวลผลข้อมูลโดยใช้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่มีอัตราการบันทึกข้อมูลเป็น 30 วินาที และเปรียบเทียบการประมวลผลข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมต่าง ๆ กัน ได้แก่ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ดังนั้นจากข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมงจะถูกตัดแบ่งย่อยตามช่วงเวลายกตัวอย่างเช่น การประมวลผลข้อมูลช่วงเวลา 5 นาทีจะทำการตัดข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมงออกเป็นชุด ๆ ละ 5 นาทีได้จำนวน 288 ชุดข้อมูล โดยข้อมูลแต่ละชุดต้องรับสัญญาณดาวเทียมกลุ่มเดียวกันตลอด 5 นาทีเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 4 ดวง เพื่อให้เพียงพอต่อการแก้สมการหาค่าตัวแปร ดังนั้นหากดาวเทียมดวงใดในกลุ่มที่โคจรลับขอบฟ้าหรือสัญญาณขาดหายไปในช่วงระหว่างช่วงเวลา 5 นาที ดาวเทียมดวงนั้นจะถูกตัดออกไปไม่นำมาใช้ในการคำนวณ โดยตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลในแต่ละวันที่มีจำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวง โดยบางช่วงเวลาที่มีจำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวงเนื่องจากหลายสาเหตุได้แก่ จำนวนดาวเทียมบนท้องฟ้ามีจำนวนน้อย ดาวเทียมรับสัญญาณไม่ต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่รับสัญญาณเนื่องจากอาจกำลังโคจรลับขอบฟ้าหรือสัญญาณดาวเทียมถูกรบกวน เป็นต้น สำหรับข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงชนิด final products ในวันที่ทำการรับสัญญาณได้จากการดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html มีชื่อไฟล์ดังนี้ igs11895.sp3, igs11896.sp3, igs11900.sp3, igs11900.sp3 และ igs11902.sp3

ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม

ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที						
วันที่.....เดือน ตุลาคม 2545	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	288	288	288	288	288	288
จำนวนชุดข้อมูลจำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวง	6	5	0	0	6	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	282	283	288	288	282	288
ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที						
วันที่.....เดือน ตุลาคม 2545	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	144	144	144	144	144	144
จำนวนชุดข้อมูลจำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวง	4	3	0	0	3	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	140	141	144	144	141	144

ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละช่วงเวลาการรับ
สัญญาณดาวเทียม (ต่อ)

ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที						
วันที่.....เดือน ตุลาคม 2545	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	96	96	96	96	96	96
จำนวนชุดข้อมูลจำนวนดาวเทียมน้อยกว่า 4 ดวง	3	4	0	0	3	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	93	92	96	96	93	96
ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที						
วันที่.....เดือน ตุลาคม 2545	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	48	48	48	48	48	48
จำนวนชุดข้อมูลจำนวนดาวเทียมน้อยกว่า 4 ดวง	2	3	0	0	2	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	46	45	48	48	46	48
ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที						
วันที่.....เดือน ตุลาคม 2545	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	24	24	24	24	24	24
จำนวนชุดข้อมูลจำนวนดาวเทียมน้อยกว่า 4 ดวง	2	3	1	0	2	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	22	21	23	24	22	24

5.2. ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ

ในส่วนของค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ ได้จากการส่งข้อมูลไปประมวลผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากบริการของทาง AUSPOS เนื่องจากค่าความถูกต้องที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตตลอด 24 ชั่วโมงมีค่า 10 มิลลิเมตรและ 10-20 มิลลิเมตรในทางราบและทางดิ่งตามลำดับ(GeoScience, 2003) และจาก เกลิมชนม์ สติระพจน์ (2546ก) กล่าวว่าข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีข้อได้เปรียบการประมวลผลด้วย AutoGIPSY และ SOPAC ในด้านความสะดวกในการส่งข้อมูลไปประมวลผล

ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากการประมวลผลด้วยบริการ AUSPOS ใช้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2545 เวลา 6:36:55 น. ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2545 เวลา 6:39:00 น. ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละวันจากการส่งข้อมูลไปยังบริการ AUSPOS ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ค่าพิกัดที่ได้อยู่ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลกบนพื้นหลักฐาน ITRF2000 มีหน่วยเป็นเมตร โดยค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณที่

นำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ที่ได้ทั้ง 7 วันมีค่า -1132144.021 เมตร, 6092492.728 เมตร และ 1515132.443 เมตรในทิศทาง ตามแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมง ผ่านบริการ AUSPOS ในแต่ละวัน

วันที่	ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (เมตร)		
	X	Y	Z
25 ตุลาคม 2545	-1132144.024	6092492.738	1505132.451
26 ตุลาคม 2545	-1132144.020	6092492.746	1505132.449
27 ตุลาคม 2545	-1132144.029	6092492.721	1505132.440
28 ตุลาคม 2545	-1132144.010	6092492.716	1505132.436
29 ตุลาคม 2545	-1132144.017	6092492.729	1505132.436
30 ตุลาคม 2545	-1132144.024	6092492.740	1505132.451
31 ตุลาคม 2545	-1132144.020	6092492.707	1505132.437
ค่าเฉลี่ย	-1132144.021	6092492.728	1505132.443

5.3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นค่าตำแหน่งในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก จะนำมาแปลงเป็นค่าระบบพิกัดแผนที่ UTM โซน 47 ด้วยซอฟต์แวร์ SKI-pro และนำผลลัพธ์ที่ได้มาลบกับค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณที่ทราบค่าเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้ โดยแสดงค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ในทางราบ (Horizontal Error) และทางด้านความสูงเหนือรูปทรงรีหรือเรียกว่าค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง (Vertical Error) แทนด้วย dH และ dV ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร โดยค่าคลาดเคลื่อนทางราบสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$dH = \sqrt{dE^2 + dN^2} \quad (5.1)$$

โดยที่

dE คือค่าคลาดเคลื่อนทางตะวันออก (เมตร)

dN คือค่าคลาดเคลื่อนทางเหนือ (เมตร)

ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางคิ่งในแต่ละช่วงข้อมูลการรับสัญญาณแสดงในรูปแบบตารางและรูปภาพโดยใช้ตัวย่อมีความหมายดังนี้

- MAX(+/-) คือค่าสัมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)
 MEAN คือค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)
 STD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)
 RMSE คือ Root Mean Square Error ของค่าคลาดเคลื่อนของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)

สำหรับค่า RMSE คำนวณค่าได้จาก

$$\text{RMSE}_E = \sqrt{\frac{dE^2}{n}}, \text{RMSE}_N = \sqrt{\frac{dN^2}{n}} \quad (5.2)$$

$$\text{RMSE}_H = \sqrt{\text{RMSE}_E^2 + \text{RMSE}_N^2} \quad (5.3)$$

$$\text{RMSE}_V = \sqrt{\frac{dV^2}{n}} \quad (5.4)$$

โดยที่

RMSE_E , RMSE_N , RMSE_H และ RMSE_V คือ Root Mean Square Error ของค่าคลาดเคลื่อนทางตะวันออก, ทางเหนือ, ทางราบและทางคิ่งของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวันตามลำดับ n คือจำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดในแต่ละวัน

การประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐานของ Federal Geographic Data Committee (FGDC) ปี 1998 คำนวณดังนี้

$$\text{Accuracy}_H = 1.7308 \times \text{RMSE}_H \quad (5.5)$$

$$\text{Accuracy}_V = 1.9600 \times \text{RMSE}_V \quad (5.6)$$

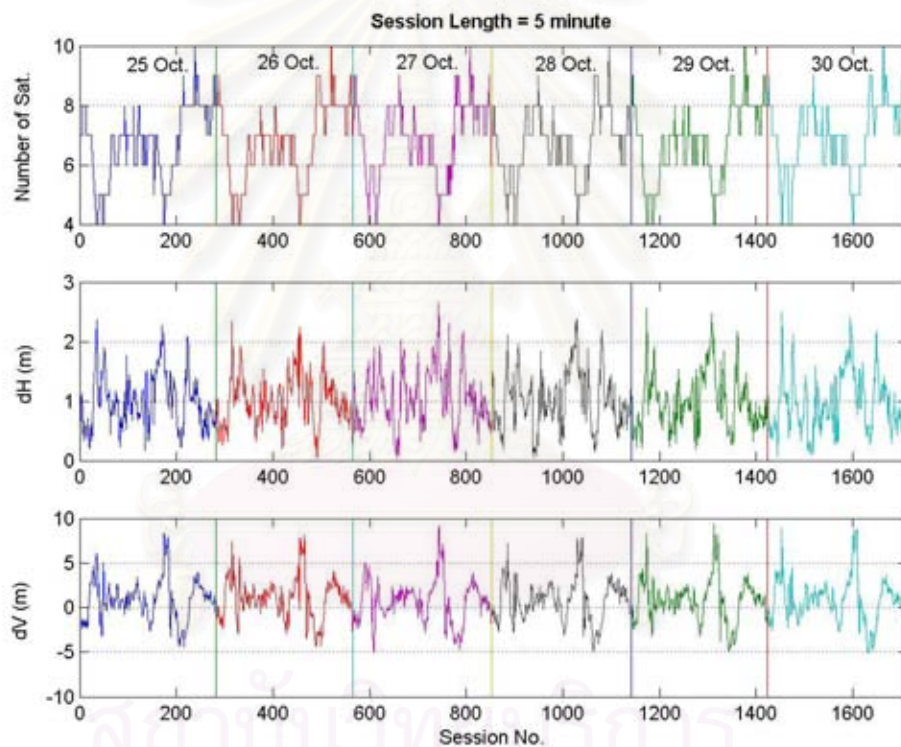
โดยที่

$Accuracy_H$ คือความถูกต้องทางราบของผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

$Accuracy_V$ คือความถูกต้องทางดิ่งของผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.3.1. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที

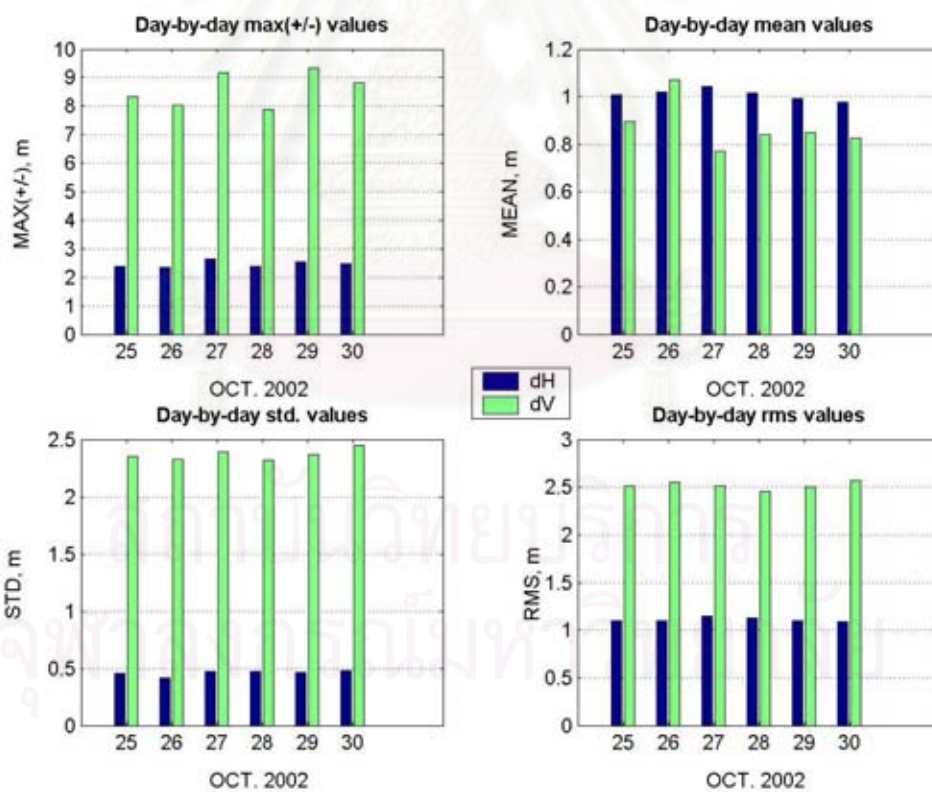
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันแสดงในรูปที่ 5.2 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่างแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับสำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทั้ง 6 วันแสดงในตารางที่ 5.3 และแสดงในรูปแบบกราฟแท่งในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในการประมวลผลชุดข้อมูลของช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที

ตารางที่ 5.3 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที

วันที่	ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.37	8.34	1.01	0.90	0.45	2.35	1.10	2.51
26 ตุลาคม 2545	2.34	8.04	1.02	1.07	0.42	2.33	1.10	2.55
27 ตุลาคม 2545	2.65	9.19	1.04	0.77	0.47	2.40	1.15	2.51
28 ตุลาคม 2545	2.39	7.87	1.02	0.84	0.48	2.32	1.12	2.46
29 ตุลาคม 2545	2.55	9.34	0.99	0.85	0.46	2.36	1.10	2.50
30 ตุลาคม 2545	2.49	8.83	0.98	0.82	0.48	2.45	1.09	2.57
ค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วัน	2.47	8.60	1.01	0.88	0.46	2.37	1.11	2.52

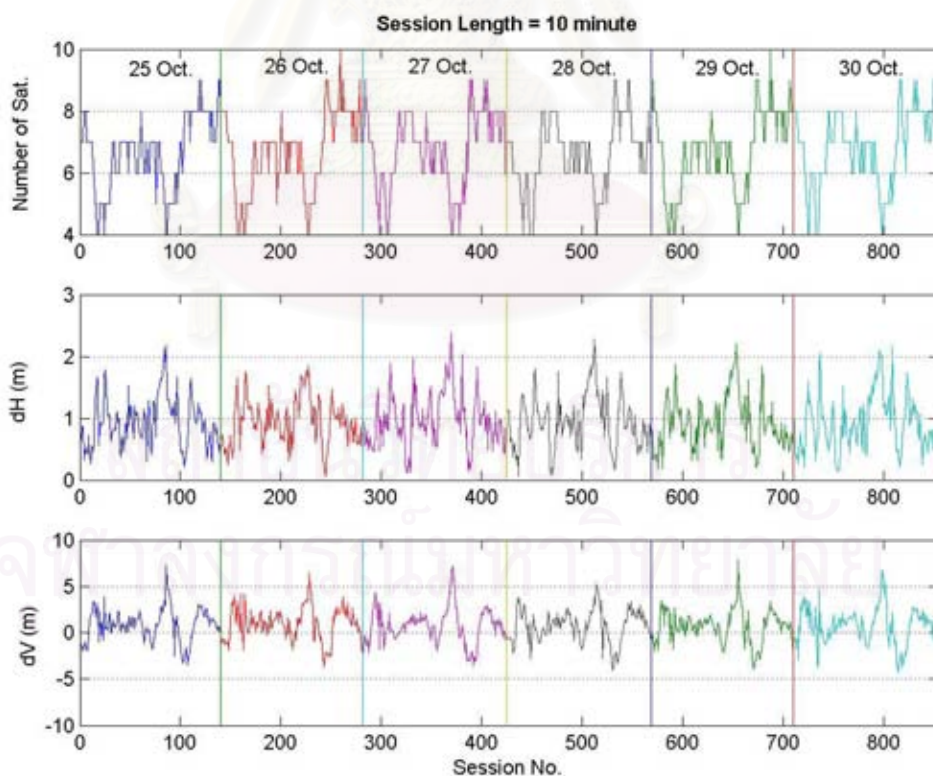


รูปที่ 5.3 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที

จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.2 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับรูปที่ 5.2 จากค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วันพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุด ประมาณ 2.47 เมตรและ 8.60 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีเพียง 4-5 ดวงเท่านั้น ค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1 เมตรและ 0.88 เมตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.46 เมตรและ 2.37 เมตรตามลำดับ ค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.11 เมตรและ 2.52 เมตรตามลำดับ

5.3.2. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที

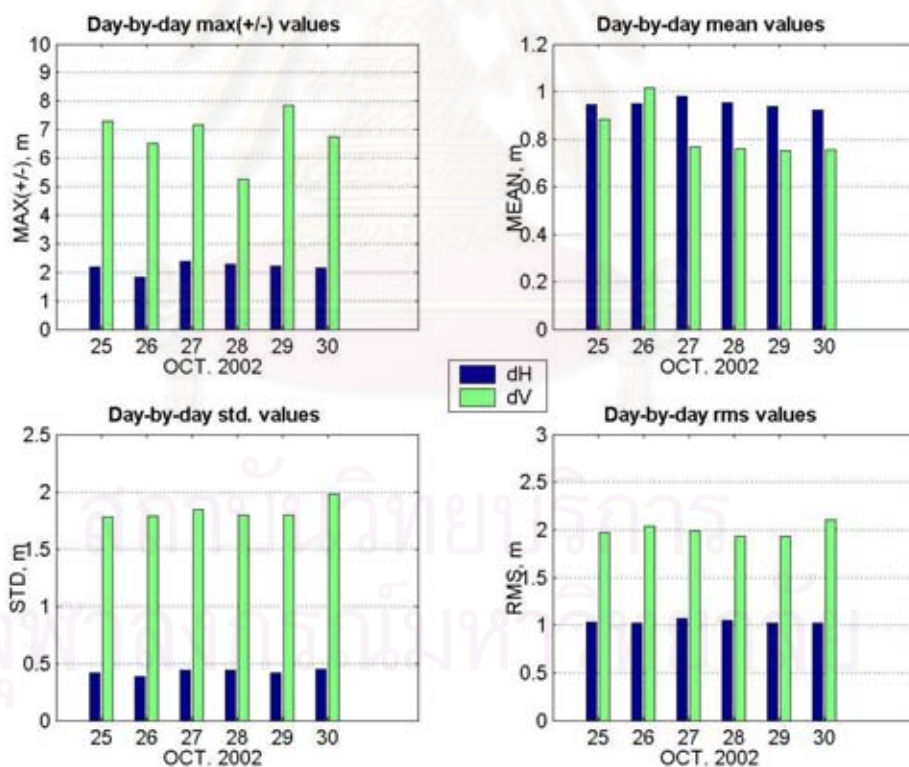
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันแสดงในรูปที่ 5.4 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่างแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทั้ง 6 วันแสดงในตารางที่ 5.4 และแสดงในรูปแบบกราฟแท่งในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที

ตารางที่ 5.4 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที

วันที่	ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.17	7.30	0.94	0.88	0.41	1.78	1.03	1.97
26 ตุลาคม 2545	1.85	6.53	0.95	1.03	0.38	1.79	1.02	2.05
27 ตุลาคม 2545	2.39	7.18	0.98	0.79	0.44	1.84	1.07	1.99
28 ตุลาคม 2545	2.28	5.28	0.95	0.78	0.44	1.80	1.05	1.94
29 ตุลาคม 2545	2.21	7.88	0.94	0.77	0.42	1.80	1.02	1.94
30 ตุลาคม 2545	2.16	6.76	0.92	0.77	0.45	1.98	1.02	2.11
ค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วัน	2.18	6.82	0.95	0.84	0.42	1.83	1.03	2.00

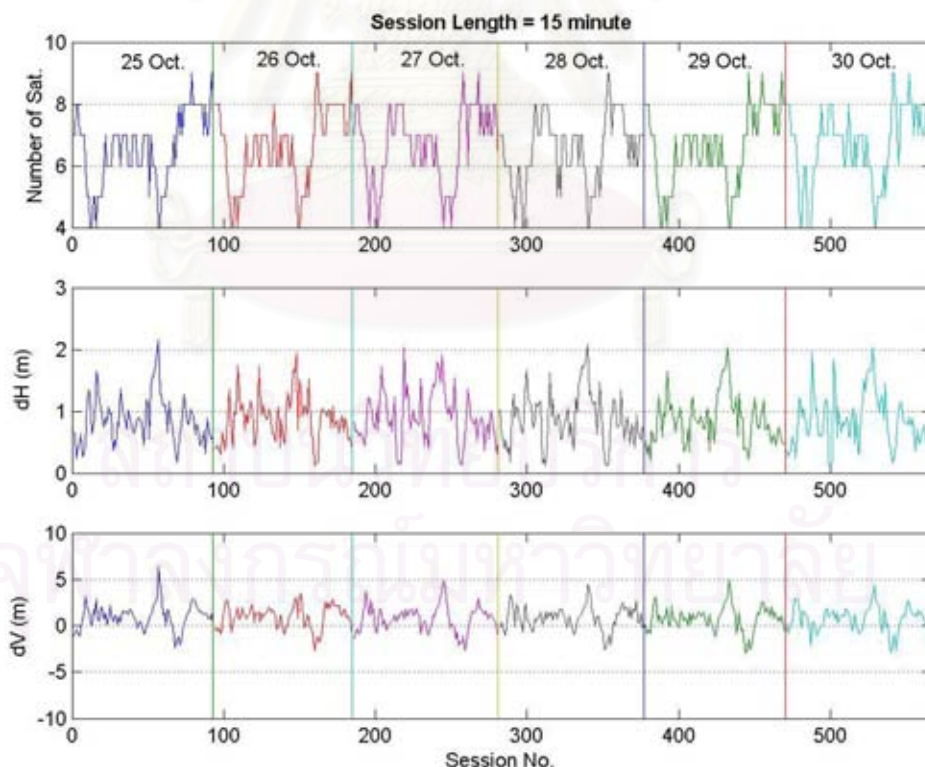


รูปที่ 5.5 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับรูปที่ 5.4 จากค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วันพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุด ประมาณ 2.18 เมตรและ 6.82 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีเพียง 4-5 ดวงเท่านั้น ค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.95 เมตรและ 0.84 เมตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.42 เมตรและ 1.83 เมตรตามลำดับ ค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.03 เมตรและ 2.00 เมตรตามลำดับ

5.3.3. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที

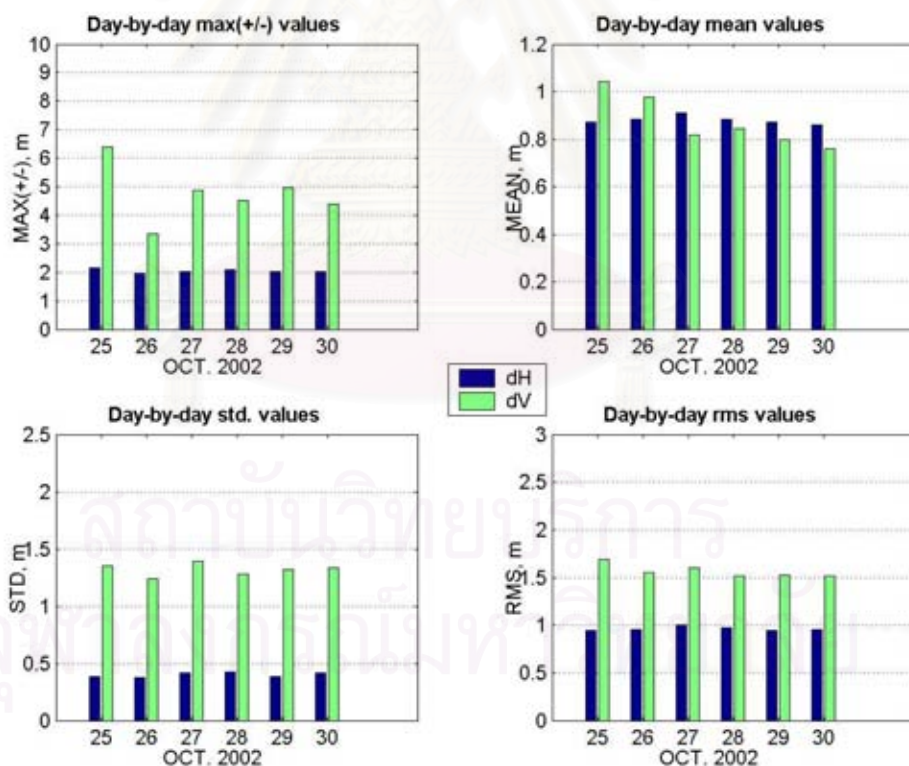
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันแสดงในรูปที่ 5.6 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่างแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทั้ง 6 วันแสดงในตารางที่ 5.5 และแสดงในรูปแบบกราฟแท่งในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที

ตารางที่ 5.5 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที

วันที่	ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.16	6.38	0.87	1.04	0.38	1.35	0.95	1.68
26 ตุลาคม 2545	1.95	3.35	0.88	1.00	0.37	1.24	0.95	1.57
27 ตุลาคม 2545	2.04	4.89	0.91	0.84	0.42	1.39	1.00	1.61
28 ตุลาคม 2545	2.08	4.53	0.89	0.86	0.42	1.28	0.98	1.52
29 ตุลาคม 2545	2.04	4.98	0.87	0.82	0.38	1.32	0.94	1.53
30 ตุลาคม 2545	2.04	4.42	0.86	0.78	0.42	1.33	0.95	1.52
ค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วัน	2.05	4.76	0.88	0.89	0.40	1.32	0.96	1.57

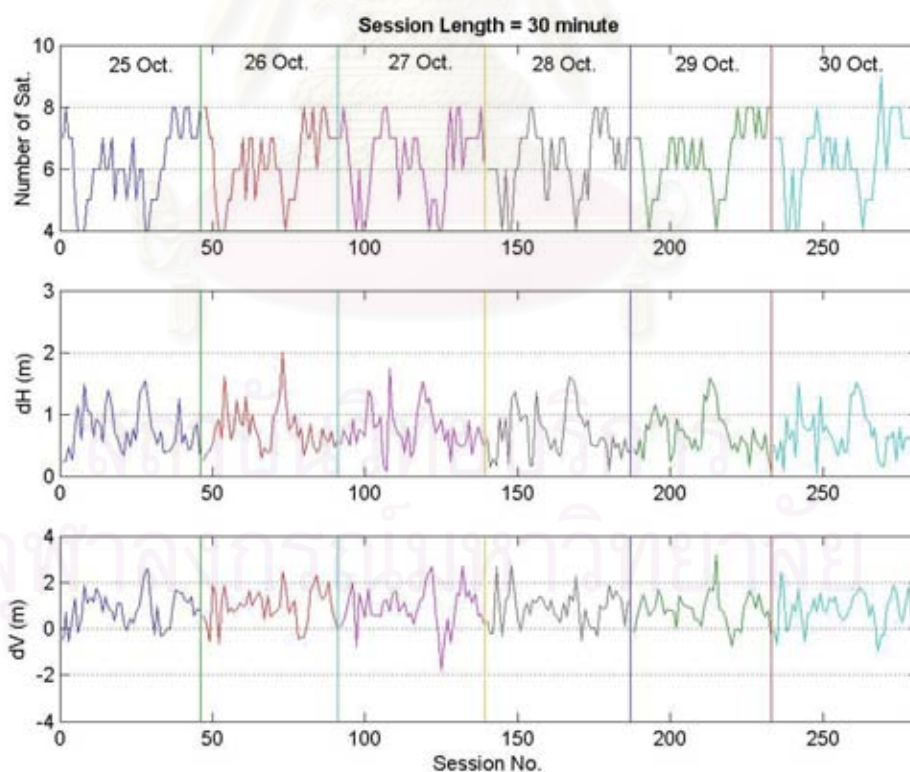


รูปที่ 5.7 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที

จากตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.7 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับรูปที่ 5.6 จากค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วันพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุด ประมาณ 2.05 เมตรและ 4.76 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีเพียง 4-5 ดวงเท่านั้น ค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.88 เมตรและ 0.89 เมตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.40 เมตรและ 1.32 เมตรตามลำดับ ค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.96 เมตรและ 1.57 เมตรตามลำดับ

5.3.4. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที

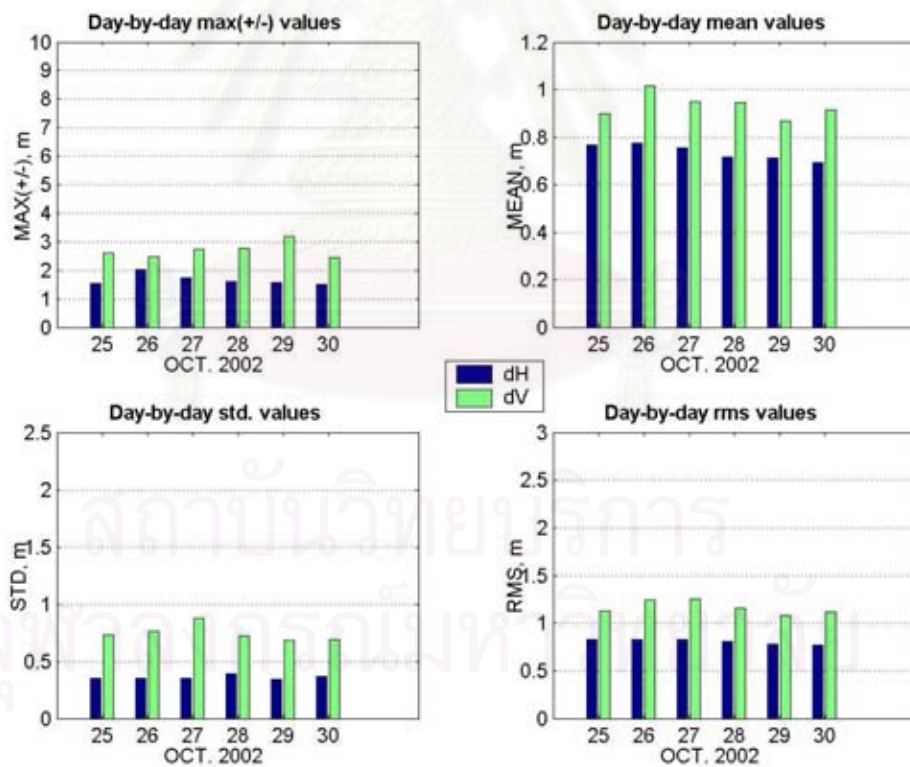
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันแสดงในรูปที่ 5.8 โดยกราฟย่อย รูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลาง และล่างแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทั้ง 6 วันแสดงในตารางที่ 5.6 และแสดงในรูปแบบกราฟแท่งในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที

ตารางที่ 5.6 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที

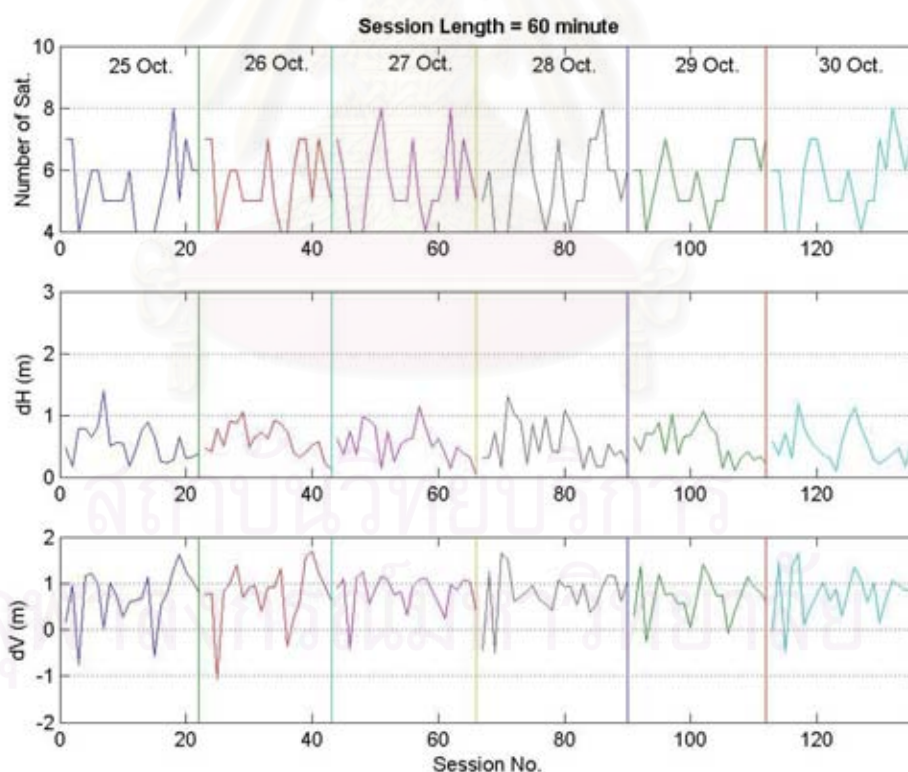
วันที่	ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	1.55	2.60	0.77	0.90	0.35	0.73	0.83	1.13
26 ตุลาคม 2545	2.01	2.47	0.77	1.01	0.35	0.76	0.83	1.24
27 ตุลาคม 2545	1.75	2.73	0.75	0.95	0.35	0.87	0.82	1.26
28 ตุลาคม 2545	1.60	2.78	0.72	0.95	0.39	0.72	0.80	1.16
29 ตุลาคม 2545	1.58	3.20	0.71	0.87	0.35	0.68	0.78	1.08
30 ตุลาคม 2545	1.52	2.44	0.69	0.92	0.37	0.69	0.77	1.12
ค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วัน	1.67	2.70	0.74	0.93	0.36	0.74	0.81	1.17



รูปที่ 5.9 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที

จากตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.9 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับรูปที่ 5.8 จากค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วันพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุด ประมาณ 1.67 เมตรและ 2.70 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีเพียง 4-5 ดวงเท่านั้น ค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.74 เมตรและ 0.93 เมตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.36 เมตรและ 0.74 เมตรตามลำดับ ค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.81 เมตรและ 1.17 เมตรตามลำดับ

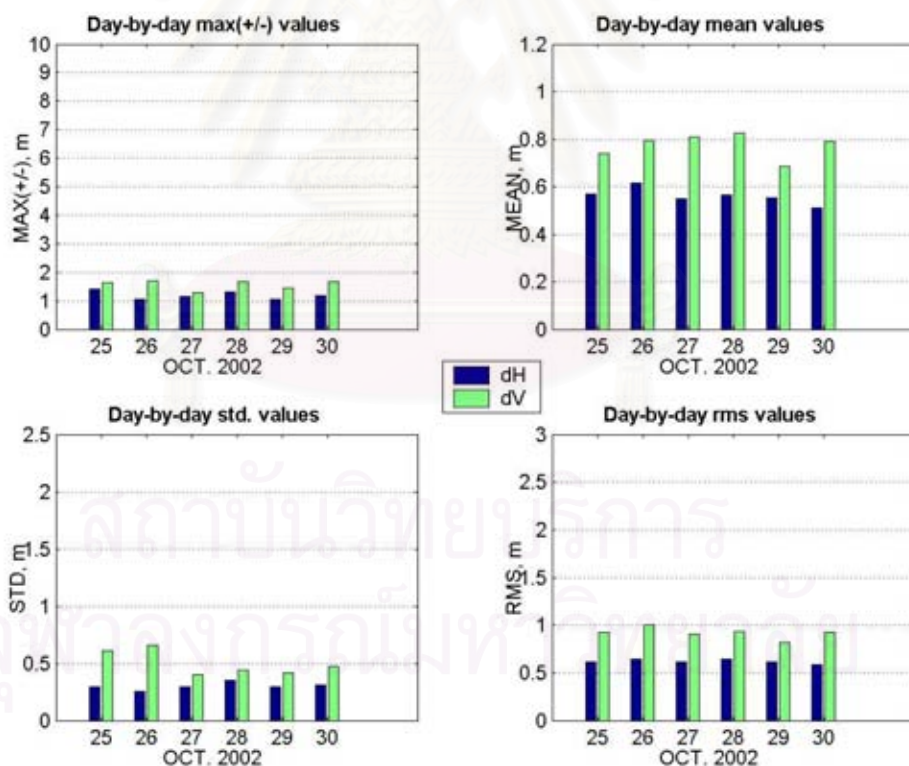
5.3.5. ผลลัพธ์จากการประมวลผลชุดข้อมูลในช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันแสดงในรูปที่ 5.10 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่างแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทั้ง 6 วันแสดงในตารางที่ 5.7 และแสดงในรูปแบบกราฟแท่งในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที

ตารางที่ 5.7 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที

วันที่	ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	1.39	1.65	0.57	0.74	0.29	0.61	0.62	0.93
26 ตุลาคม 2545	1.06	1.71	0.62	0.79	0.26	0.66	0.65	1.00
27 ตุลาคม 2545	1.14	1.27	0.55	0.81	0.30	0.40	0.61	0.91
28 ตุลาคม 2545	1.30	1.67	0.57	0.83	0.35	0.44	0.64	0.93
29 ตุลาคม 2545	1.07	1.43	0.55	0.69	0.29	0.42	0.61	0.82
30 ตุลาคม 2545	1.18	1.68	0.51	0.79	0.31	0.47	0.58	0.93
ค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วัน	1.19	1.57	0.56	0.78	0.30	0.50	0.62	0.92



รูปที่ 5.11 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที

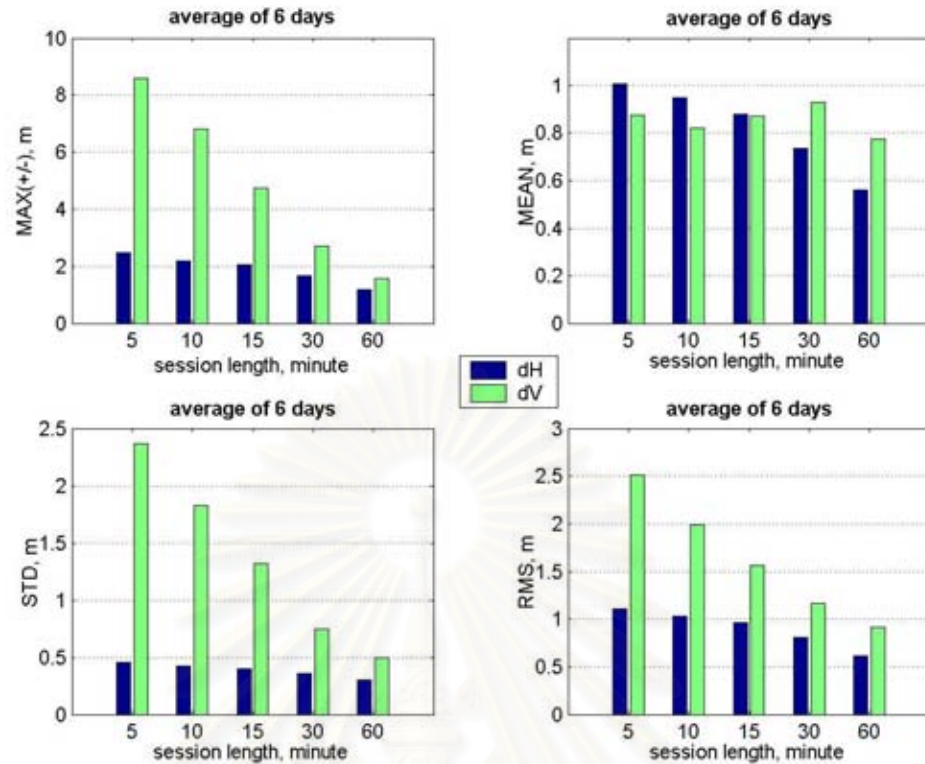
จากตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.11 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับรูปที่ 5.10 จากค่าเฉลี่ยทั้ง 6 วันพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 1.19 เมตรและ 1.57 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีเพียง 4-5 ดวงเท่านั้น ค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.56 เมตร และ 0.78 เมตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.30 เมตรและ 0.50 เมตรตามลำดับ ค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.62 เมตรและ 0.92 เมตรตามลำดับ

5.3.6. สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลในช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที

จากกราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ในรูปที่ 5.2 ถึงรูปที่ 5.11 และค่าสถิติของผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.7 พบว่ารูปกราฟทั้ง 6 วันมีลักษณะคล้ายคลึงกันและค่าทางสถิติทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกันแสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาเดียวกันของแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกันสาเหตุอาจเนื่องมาจากชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาเป็นของดาวเทียมชุดเดียวกัน โดยช่วงเวลามีค่าคลาดเคลื่อนสูงที่สุดเป็นช่วงที่มีจำนวนดาวเทียมเพียง 4-5 ดวงอันแสดงให้เห็นอิทธิพลของจำนวนดาวเทียมที่มีต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณ ที่แสดงในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.12 หาได้จากการนำค่าทางสถิติตลอดทั้ง 6 วันมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที

ช่วงเวลาในการรับสัญญาณ (นาที)	ค่าทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณ							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
5	2.47	8.60	1.01	0.88	0.46	2.37	1.11	2.52
10	2.18	6.82	0.95	0.84	0.42	1.83	1.03	2.00
15	2.05	4.76	0.88	0.89	0.40	1.32	0.96	1.57
30	1.67	2.70	0.74	0.93	0.36	0.74	0.81	1.17
60	1.19	1.57	0.56	0.78	0.30	0.50	0.62	0.92



รูปที่ 5.12 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที

จากรูปที่ 5.12 จะพบว่าสำหรับค่าคลาดเคลื่อนทางราบเมื่อช่วงเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพิ่มขึ้นแนวโน้มค่าทางสถิติของคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งเมื่อช่วงเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพิ่มขึ้นแนวโน้มค่าทางสถิติของคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลดังแสดงในกราฟย่อยในแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 80 ถึง 90 เซนติเมตร โดยค่าดังกล่าวไม่มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งแสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนบางชนิดที่ยังคงเหลืออยู่และค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม

สำหรับความถูกต้องทางราบและทางดิ่งของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์คำนวณได้จากสมการที่ 5.5 และ 5.6 ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงความถูกต้องทางราบและทางดิ่งของข้อมูลในระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ช่วงเวลาในการรับสัญญาณ (นาทีก)	ความถูกต้องของผลลัพธ์	
	ทางราบ (เมตร)	ทางดิ่ง (เมตร)
5	1.92	4.93
10	1.79	3.92
15	1.66	3.08
30	1.39	2.28
60	1.07	1.80

จากตารางที่ 5.9 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมกับความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ โดยที่ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความถูกต้องทั้งทางราบและทางดิ่งมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจากความถูกต้องที่ได้ในตารางที่ 5.9 สามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการตั้งเครื่องรับสัญญาณว่าต้องรับสัญญาณนานเท่าใดจึงจะเพียงพอต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น หากต้องการความถูกต้องทางราบประมาณ 2 เมตร จะใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 5 นาที หรือหากต้องการความถูกต้องทางราบประมาณ 1.50 เมตรต้องใช้เวลาในการรับสัญญาณนาน 30 นาที เป็นต้น

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยในหัวข้อ การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

6.1. ผลจากงานวิจัย

จากซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.0 โดยทำการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้จากการเก็บข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิต บนดาวฟ้าอาคารวิทยนิเวศน์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่วันที่ 25 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2545 และทำการประมวลผลข้อมูลโดยเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมที่ต่างกันได้แก่ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1.1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นพบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องทางราบของช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีมีค่า 1.92 เมตร, 1.79 เมตร, 1.66 เมตร, 1.39 เมตรและ 1.07 เมตรตามลำดับ ความถูกต้องทางดิ่งของช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีมีค่า 4.93 เมตร, 3.92 เมตร, 3.08 เมตร, 2.28 เมตรและ 1.80 เมตรตามลำดับ

6.1.2. ผลลัพธ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม โดยระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น โดยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องทางราบมีค่าน้อยกว่า 2 เมตรใช้ระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 5 นาทีซึ่งคิดว่าที่ตั้งเป้าหมายไว้ก่อนเริ่มงานวิจัย

6.1.3. จากรูปที่ 5.2, รูปที่ 5.4, รูปที่ 5.6, รูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.10 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีจำนวนดาวเทียมที่นำไปใช้ในการประมวลผลเพียง 4-5 ดวงและเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกันตลอดทั้ง 6 วันอันแสดงถึงอิทธิพลของจำนวนดาวเทียมที่มีต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่คำนวณได้ เนื่องมาจากจำนวนดาวเทียมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีสมการค่าสังเกตเพิ่มขึ้น

ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นการออกงานสนามหากต้องการความถูกต้องผลลัพธ์ที่ดีควรเลือกช่วงเวลาที่มิจำนวนดาวเทียมบนท้องฟ้าให้มากที่สุด

6.2. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจากเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น โดยในการทำงานรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสนอกจากเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่แล้วยังมีเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียว ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบความถี่เดียว เพื่อศึกษาถึงระดับความถูกต้องที่ได้ต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546ก. การเปรียบเทียบการให้บริการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2546. หน้า GPS & SV 39-53. 18 - 20 พฤศจิกายน 2546 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546ข. การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2537. ยี่ห้อเดซี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2545. เอกสารประกอบการบรรยายโครงการฝึกอบรมการสำรวจรังวัดดาวเทียม GPS. (ม.ป.ท.), (อัคราเนา)
- ภักพงค์ หอมเนียม และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546. การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส. การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2546. หน้า GPS & SV 14-25. 18 - 20 พฤศจิกายน 2546 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ.
- สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร. 2533. เส้นโครงแผนที่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- GeoScience. 2003. Auspos – Online GPS processing service web site [Online]. Available from : <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl> [2003, April 15].
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtegger, H. and Collins, J. 2001. GPS Theory and Practice. 5th ed. New York : Springer-Verlag Wien.
- IGS. 2002. IGS Products [Online]. Available from : <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> [2002, March 27].
- Kouba, J.. 2002. A Guide to Using International GPS Service (IGS) Products. Available from : http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/IGSProducts_user_v17.pdf [2003, March 8].
- Leick, A. 1995. GPS Satellite Surveying. 2nd ed. New York : John Wiley & Son.
- NGS. 2002. SP3 format [Online]. Available from : http://www.ngs.noaa.gov/GPS/SP3_format.html [2002, March 27].

- Niell, A. E. 1996. Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelength. J. Geophys 101(B2) : 3227-3246.
- Rizos, C. 1997. Principles and Practice of GPS surveying. Monograph 17. School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales.
- Teunissen, P. J. G. and Kleusberg, A. 1998. GPS for Geodesy. 2nd ed. New York : Springer-Verlag.
- Witchayangkoon, B. 2000. Elements of GPS Precise Point Positioning. Doctoral dissertation, Department of Spatial Information Science and Engineering, Graduate School, University of Maine.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- ชื่อ:** นายภักพงษ์ หอมเนียม
- วันเดือนปีเกิด:** 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2521
- คุณวุฒิทางการศึกษา:**
 พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ประสบการณ์การทำงาน:**
 พ.ศ. 2546-2547 ผู้ช่วยวิจัยด้าน GPS
 หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีข้อมูลภาพเชิงภูมิศาสตร์
 ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 พ.ศ. 2543-2544 อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลงานทางวิชาการ

บทความตีพิมพ์

1. Satirapod C., Trisirisatayawong I., and **Homniam P.** (2003) Establishing Ground Control Points for High-Resolution Satellite Imagery Using GPS Precise Point Positioning, The IEEE International Geoscience and Remote Sensing Conference 2003 (IGARSS 2003), Toulouse, France. 21-25 July.
2. **ภักพงษ์ หอมเนียม** และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546, การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2546 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 18-20 พฤศจิกายน.

การบรรยาย

1. **ภักพงษ์ หอมเนียม** และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546, การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 18-20 พฤศจิกายน.