

การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบจุดเดียวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการ
ประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม



นางสาวมยุรา ล้วนแสง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

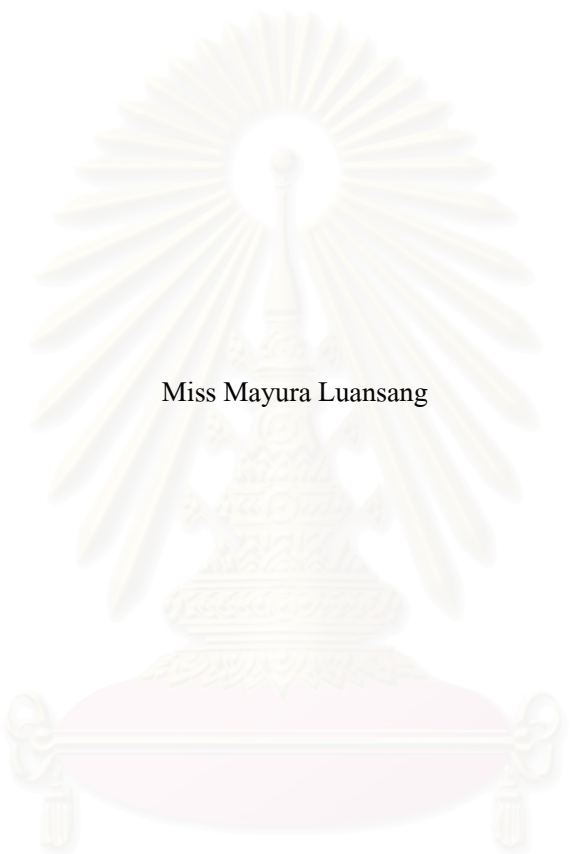
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING THE ACCURACY OF SINGLE POINT POSITIONING GPS USING MINQUE PROCEDURE
FOR AN ESTIMATION OF VARIANCE COVARIANCE MATRIX



Miss Mayura Luansang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

มยุรา ถ้วนแจ้ง : การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบจุดเดียวด้วยจีพีเอส โดย
การใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (IMPROVING
THE ACCURACY OF SINGLE POINT POSITIONING GPS USING MINQUE
PROCEDURE FOR AN ESTIMATION OF VARIANCE COVARIANCE MATRIX)

อ. ที่ปรึกษา : ศศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, จำนวนหน้า 73 หน้า.

จากการที่ปัจจุบัน การรังวัดพิักด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับงานที่
ต้องการความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสูง ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าพิักที่มีความถูกต้องสูงจำเป็นต้องมี
การกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองสโตคาสติกให้ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริงให้มาก
ที่สุด เทคนิคการคำนวณหาค่าต่างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถขจัดค่า
คลาดเคลื่อนต่างๆ ได้หลายตัว อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนบางตัวที่หลงเหลืออยู่ในข้อมูลจีพีเอส ซึ่งมีผล
ทำให้ค่าพิักที่คำนวณได้ยังมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ ยังมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ผลลัพธ์มีค่าความถูกต้อง
และความน่าเชื่อถือสูงขึ้นด้วยการปรับปรุงแบบจำลองสโตคาสติก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การเลือกใช้
แบบจำลองสโตคาสติกที่เหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงด้วยจีพีเอส ซึ่งทำการคำนวณ
ปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยการใช้แบบจำลองสโตคาสติก 3 กรณี คือ การให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัว
เท่ากัน การให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม และการให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่
ประมาณค่าได้จากการใช้วิธีการที่เรียกว่า MINQUE (Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation)

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลถูกนำมาจัดแบ่งเป็นช่วงระยะเวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที
และ 60 นาที ข้อมูลแต่ละชุดจะถูกประมวลผลด้วยแบบจำลองสโตคาสติก 3 กรณีดังกล่าวข้างต้น แล้วนำ
ผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละแบบจำลองสโตคาสติกมาเปรียบเทียบกับค่าพิักอ้างอิงที่ได้จากการประมวลผลด้วยบริการ
AUSPOS ผลการทดสอบสมมติฐานในกรณีศึกษาี้ แสดงให้เห็นว่าระหว่างแบบจำลองสโตคาสติกทั้งสาม
กรณีให้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....
ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิติศ.....ศ.ก. มยุรา.....คำพิ/
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4670440621 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD : GPS / PRECISE POINT POSITIONING / STOCHASTIC MODEL / LEAST-SQUARE /
MINQUE

MAYURA LUANSANG : IMPROVING THE ACCURACY OF SINGLE POINT
POSITIONING GPS USING MINQUE PROCEDURE FOR AN ESTIMATION OF
VARIANCE COVARIANCE MATRIX. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR.
CHALERMCHON SATIRAPOD, 73 pp.

Nowadays, GPS has become an important tool for high accuracy positioning applications. In order to ensure high accuracy positioning results, both the functional model and the stochastic model must be correctly defined. Data differencing techniques are extensively used for constructing the functional model because they can eliminate many biases. However, some unmodelled biases still remain in the GPS observables that cause errors in the coordinate results. It is, however possible to further improve the accuracy and reliability of GPS results through an enhancement of the stochastic model. This research aims to investigate an appropriate stochastic model used in Least-squares processing for the GPS Precise Point Positioning technique. Three different stochastic models; Equal weight for all measurements, weight dependent on a satellite elevation and weight estimated from the MINQUE (Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation) method, have been implemented in the Least-squares processing. The 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 three different weighting schemes, and the results obtained from each stochastic model were compared with the reference coordinates processing from the AUSPOS service. Based on the hypothesis test performed in this study, the three stochastic models produce results that are not statistically different.

Department Survey Engineering Student's signature Mayura Luansang
Field of study Survey Engineering Advisor's signature Chalermchon Satirapod
Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาดัง ๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรเพชญ์ ชื่นนิธิไพศาล ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณนายภักตพงศ์ หอมเนียม นายสมชาย เกรียงไกรวสิน และ นาย นรสิทธิ์ นิลเพชรพลอย ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าในการให้คำอธิบายความหมายในโปรแกรมต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิจัย รวมถึงคำแนะนำและกำลังใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

ท้ายนี้ขอมอบความดีในวิทยานิพนธ์นี้แด่บิดา-มารดา พี่ชาย-น้องชายของข้าพเจ้า และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.4. ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5.วิธีดำเนินการและลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	3
 บทที่ 2 แนวเหตุผลและแนวคิดที่สำคัญ	
2.1. แนวคิดเกี่ยวกับการประมวลผลจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูง (Precise Point Positioning : PPP)	4
2.2 . แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	6
2.2.1 วิธีการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	7
2.2.2 ค่าประมาณเริ่มต้นในวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	9
2.3. แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองสโตคาสติก.....	10
2.3.1 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตเท่ากัน	10
2.3.2 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม (Satellite Elevation)	10
2.3.3 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกต จากการประมาณค่าเศษเหลือด้วยวิธีการ MINQUE.....	11
 บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล	
3.1. ข้อมูลนำเข้า.....	14
3.2. ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณ.....	15
3.3. การประมวลผลข้อมูล.....	16
 บทที่ 4 การประมวลผลข้อมูลและการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้	
4.1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด.....	19

4.1.1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้ แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน.....	21
4.1.2. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้ แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของ ดาวเทียม.....	34
4.1.3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้ แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วย วิธี MINQUE.....	47
4.2 การเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั้งสามกรณี.....	60
4.3 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องระหว่างข้อมูลแต่ละชุด.....	62
4.3.1 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องทางราบ	63
4.3.2 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องทางตั้ง	65
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	70
รายการอ้างอิง	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียม/ค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมของหน่วยงาน IGS IGS (2007)	15
ตารางที่ 3.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมง ผ่าน บริการ AUSPOS ในแต่ละวัน.....	16
ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณ ดาวเทียม.....	17
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบ ให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	21
ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบ ให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	24
ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติก แบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	26
ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติก แบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	28
ตารางที่ 4.5 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติก แบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	30
ตารางที่ 4.6 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อย ที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	32
ตารางที่ 4.7 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้ น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม.....	34
ตารางที่ 4.8 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบ ให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม.....	37

[illegible]

ตารางที่ 4.18	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE.....	58
ตารางที่ 4.19	ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม (หน่วย – เมตร).....	60
ตารางที่ 4.20	ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (หน่วย – เมตร)	62
ตารางที่ 4.21	ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม.....	64
ตารางที่ 4.22	ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE	64
ตารางที่ 4.23	ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE	65
ตารางที่ 4.24	ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม	66
ตารางที่ 4.25	ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE	66
ตารางที่ 4.26	ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE	67

[illegible]

รูปที่ 4.27	กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE.....	52
รูปที่ 4.28	กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE.....	53
รูปที่ 4.29	กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE	54
รูปที่ 4.30	กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE.....	55
รูปที่ 4.31	กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE.....	56
รูปที่ 4.32	กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE	57
รูปที่ 4.33	กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE	58

รูปที่ 4.34	กราฟแท่งแสดงค่าRMSE ทางราบในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณทั้ง 3 กรณี	60
รูปที่ 4.35	กราฟแท่งแสดงค่าRMSE ทางค้งในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณทั้ง 3 กรณี	61



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่ปัจจุบัน การรังวัดพิกัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการรังวัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ในการคำนวณค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสจำเป็นต้องมีการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Functional Model หรือ Mathematical Model) และแบบจำลองสโตคาสติก (Stochastic Model) ให้ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริงให้มากที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น อธิบายถึงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ระหว่างค่าสังเกตจากการรังวัดจีพีเอสกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ส่วนแบบจำลองสโตคาสติก อธิบายถึงรูปแบบทางสถิติของค่าสังเกตที่ได้จากการรังวัด (Leick, 1995)

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ จะนิยมใช้เทคนิคการคำนวณหาค่าต่าง (Data Differencing Techniques) เพื่อลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ เช่น ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีความคลาดเคลื่อนบางตัวที่ไม่สามารถจำลองค่าได้ (Unmodelled biases or Residuals) หลงเหลืออยู่ในข้อมูล และมีผลทำให้ค่าพิกัดที่คำนวณได้ยังมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ในทางทฤษฎีเราสามารถปรับปรุงค่าพิกัดให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นได้โดยอาศัยการกำหนดแบบจำลองสโตคาสติก ให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น (Satirapod, 2001)

โดยทั่วไปแล้ว ในการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least - Squares Adjustment) มักให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน โดยเมทริกซ์ของค่าน้ำหนัก (Weight Matrix) ในส่วนของแบบจำลองสโตคาสติก จะใช้เฉพาะค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่าสังเกตเพื่อความสะดวกในการคำนวณ ทำให้แบบจำลองสโตคาสติกที่ได้ยังไม่ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากนัก ดังนั้น เพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากขึ้น ในการกำหนดแบบจำลองสโตคาสติกให้ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น จึงควรมีการศึกษาถึงการนำค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของค่าสังเกต มาใช้ร่วมกับค่าความแปรปรวนของค่าสังเกตในเมทริกซ์ของค่าน้ำหนักด้วย

จากงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (ภักพงศ์ หอมเนียม, 2547) จากเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ ซึ่งได้ทำการพัฒนาโปรแกรม และทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ โดยใช้ค่าแก้วงโคจรและนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงจากหน่วยงาน IGS (International GPS Service) ได้ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบอยู่ที่ประมาณ 95 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่อง การประเมินความถูกต้องของข้อมูลจีพีเอสความถี่เดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูง โดยใช้แบบจำลองค่าสังเกตไอโอโนสเฟียร์ฟรี โค้ด และเฟส (สมชาย เกรียงไกรวสิน, 2547) งานวิจัยทั้งสองเรื่องนี้ทำการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธี Extended Kalman Filter เพื่อหาค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่รับสัญญาณ และใช้แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

สำหรับงานวิจัยเรื่องนี้ จะใช้การคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดและใช้แบบจำลองสโตคาสติกโดยพิจารณาเป็น 3 กรณี คือ การให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน การให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม และการให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Variance Covariance Matrix) ที่ประมาณค่าได้จากการใช้วิธีการที่เรียกว่า MINQUE (Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation ; Rao, 1970) แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 3 กรณีข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาถึงการใช้วิธี MINQUE ในการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม เพื่อหาเมทริกซ์ของค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ สามารถกำหนดขอบเขตได้ดังนี้

1.3.1 ใช้หลักการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งข้อมูลจากหน่วยงาน IGS และแบบจำลองเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ จากความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณและความคลาดเคลื่อนจากคลื่นสะท้อน

1.3.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยจากหน่วยงาน IGS คือ ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง และค่าแก้ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง โดยดาวน์โหลดข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

1.3.3 ใช้ข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลการรับ

สัญญาแบบสถิติบนดาฟฟ้าอาคารวิทยานิพนธ์ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่วันที่ 25 ถึง 30 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2545 ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530

1.3.4 ข้อมูลการรับสัญญาณจะถูกตัดแบ่งเป็นชุดข้อมูลตามช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่ ช่วงระยะเวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที 30 นาที และ 60 นาที แล้วนำมาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาจากซอฟต์แวร์ต้นแบบ

1.3.5 ใช้วิธี MINQUE ในการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วมเพื่อหาเมทริกซ์ของน้ำหนักที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้ค่าเศษเหลือที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งให้ค่าสังเกตทุกตัวมีน้ำหนักเท่ากัน มาเป็นค่าประมาณเริ่มต้นของเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม

1.3.6 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการให้เมทริกซ์ของน้ำหนักโดยใช้วิธี MINQUE ประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม กับผลลัพธ์ที่ได้จากการให้น้ำหนักของค่าสังเกตเท่ากัน และผลลัพธ์ที่ได้จากการให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธี MINQUE ในการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วมเพื่อหาเมทริกซ์ของน้ำหนักที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการคำนวณปรับแก้พิกัดจุดเดียว

1.5 วิธีดำเนินการและลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์โดยการใช้วิธี MINQUE ในการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม เพื่อหาเมทริกซ์ของน้ำหนัก และใช้การคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

1.5.3 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้ระหว่างผลลัพธ์จากการใช้วิธี MINQUE กับผลลัพธ์ที่ได้จากการให้น้ำหนักของค่าสังเกตเท่ากัน และผลลัพธ์ที่ได้จากการให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม

1.5.4 สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงาน

บทที่ 2

แนวเหตุผลและแนวคิดที่สำคัญ

การประมวลผลจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูง (Precise Point Positioning : PPP) เป็นวิธีการหาตำแหน่งจุดเดียวโดยใช้ทั้งข้อมูลการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่งและข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง โดยแนวความคิดของ PPP จะเกี่ยวข้องกับการลดความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่ปรากฏในสมการและการแก้สมการเพื่อหาตัวแปรไม่ทราบค่า ได้แก่ ตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ และค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง โดยในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดเกี่ยวกับการประมวลผลจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูง แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือวิธีการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดซึ่งเป็นวิธีการประมวลผลข้อมูล และหัวข้อสุดท้ายพูดถึงแบบจำลองสโตคาสติกที่เลือกใช้ในการประมวลผลข้อมูลในงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการประมวลผลจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูง (Precise Point Positioning : PPP)

โดยปกติการหาตำแหน่งจุดเดียวจะอาศัยทั้งข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่ง ซึ่งมีสมการทางคณิตศาสตร์แสดงในหน่วยระยะทางดังนี้ (Leick, 1995)

$$\begin{aligned} P(Li) &= \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/Li} + \varepsilon \\ \phi(Li) &= \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/Li} + \lambda_i N_i + \varepsilon \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่

$P(Li)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\phi(Li)$ คือ ข้อมูลเฟสที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

ρ 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)
- λ_i คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)
- N_i คือ เลขปริศนาของคลื่นส่ง Li (ลูกคลื่น)
- ε คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวน(Noise) (เมตร)

แนวคิดของ PPP จะเกี่ยวข้องกับการลดความคลาดเคลื่อนต่างๆที่ปรากฏในสมการที่ (2.1) ดังนี้

2.1.1 เทอม dt และ d_{orb} ใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงและค่าแก้नाฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงจากหน่วยงาน IGS (IGS, 2007) โดยใช้ข้อมูลแบบ Final Product ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมในระดับต่ำกว่า 5 เซนติเมตร และ 0.1 นาโนวินาทีตามลำดับ

2.1.2 เทอม d_{trop} ใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบ Saastamoinen model รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จาก Saastamoinen (1973) ร่วมกับ Neill Mapping Function รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จาก Niell (1996) โดยมีสมการของเทอม d_{trop} ดังนี้

$$d_{trop} = d_{dry}^z \cdot m_{dry} + d_{wet}^z \cdot m_{wet} \quad (2.2)$$

โดยที่

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

2.1.3 เทอม $d_{ion/Li}$ ใช้แบบจำลอง Ionosphere-free Combination (L3) โดยสร้างสมการขึ้นจากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูล L1 และ L2 ดังนี้ (Rizos, 1997; Leick, 1995)

$$\begin{aligned} P(L3) &= \frac{f_1^2 \cdot P(L1) - f_2^2 \cdot P(L2)}{f_1^2 - f_2^2} \\ \phi(L3) &= \frac{f_1^2 \cdot \phi(L1) - f_2^2 \cdot \phi(L2)}{f_1^2 - f_2^2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

โดยที่

$P(L3)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการผสมผสานระหว่างข้อมูลการวัดรหัสของคลื่นส่ง L1, L2 (เมตร)

$\phi(L3)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการผสมผสานระหว่างข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1, L2 (เมตร)

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

$\phi(L1), \phi(L2)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2 ตามลำดับ (เมตร)

f_1^2, f_2^2 คือ ความถี่ของคลื่นส่ง L1, L2 ตามลำดับ (Hz)

จากการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนดังที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น ทำให้สามารถคำนวณค่าของเทอม dt, d_{orb}, d_{trop} และ $d_{ion/Li}$ ในสมการ (2.1) ได้ ส่วนเทอมที่เหลือซึ่งได้แก่ ค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ และค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณซึ่งแฝงอยู่ในเทอมของระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ เทอมต่างๆเหล่านี้จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในสมการซึ่งจะต้องทำการประมาณค่าต่อไป โดยการแก้สมการหาค่าตัวแปรดังกล่าวจะใช้วิธีการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นตัวอธิบายถึงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าสังเกตจากการรังวัดข้อมูลจีพีเอสกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (Leick, 1995) ในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดโดยสมการค่าสังเกต (Observation equation)

2.2.1 วิธีการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

วิธีกำลังสองน้อยที่สุดเป็นวิธีการคำนวณที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในงานทางด้านวิศวกรรมสำรวจ ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ค่าผลลัพธ์เป็นเอกภาพ ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส วิธีกำลังสองน้อยที่สุดโดยสมการค่าสังเกตจะเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป (Rizos, 1997) ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

จากสมการ (2.1) ให้ เวกเตอร์ x ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าซึ่งใช้ในการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะได้สมการค่าสังเกตดังนี้

$$l_i = A_i x + v_i; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} l_i &= [l_i(1), l_i(2), \dots, l_i(s)]^T; \\ \text{ซึ่งมี} \quad A_i &= [A_i(1), A_i(2), \dots, A_i(s)]^T; \\ v_i &= [v_i(1), v_i(2), \dots, v_i(s)]^T \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่

- l_i คือ สมการค่าสังเกต ขนาด $s \times 1$
- A_i คือ design matrix ที่สัมพันธ์กับค่าสังเกต l_i
- v_i คือ residual vector ของค่าสังเกต l_i
- s คือ จำนวนของค่าสังเกตที่ทำการรังวัดมา

สำหรับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดในที่นี้ ประกอบด้วย

- ค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ (X, Y, Z)
- ค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง (N)
- และค่าความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับแต่ละช่วงเวลา (dt)

ในการสร้างเมทริกซ์ A_i และ l_i จะต้องอาศัยค่าประมาณเริ่มต้นของพารามิเตอร์ x_0 ซึ่งดูรายละเอียดในหัวข้อการหาค่าประมาณเริ่มต้นในวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เมทริกซ์ A คืออนุพันธ์ย่อย (partial derivative) ของสมการค่าสังเกตเทียบกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าดังที่กล่าวถึงไปแล้วข้างต้น ตัวอย่างเมทริกซ์ A สำหรับการประมวลผลในช่วงระยะเวลาการรับข้อมูล 5 นาที มีดาวเทียม 4 ดวง ขณะเวลาที่ 1 ($i=1$) จะมีค่าดังนี้

$$A_i^p(\phi) = \begin{bmatrix} \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_i^p(P) = \begin{bmatrix} \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\bar{x}_i - X_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{y}_i - Y_i^p}{\rho_i^p} & \frac{\bar{z}_i - Z_i^p}{\rho_i^p} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\rho_i^p = \sqrt{(\bar{x}_i - X_i^p)^2 + (\bar{y}_i - Y_i^p)^2 + (\bar{z}_i - Z_i^p)^2}$$

โดยที่

$A_i^p(\phi)$ คือ design matrix ของข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง

$A_i^p(P)$ คือ design matrix ของข้อมูลการวัดรหัสของคลื่นส่ง

$\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ คือ ค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ ณ ขณะเวลา $i = 1$

X_i^p, Y_i^p, Z_i^p คือ ค่าพิกัดของดาวเทียม p ณ ขณะเวลา $i = 1$

ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดแบบจำลองสโตคาสติกซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป โดยที่เมทริกซ์ค่าน้ำหนัก (Weight matrix : W) เป็นส่วนกลับของค่าความแปรปรวนร่วม (C) ดังสมการ

$$W = C^{-1} \quad (2.7)$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมการ (2.4) และแบบจำลองสโตคาสติกสมการ (2.7) สามารถหาค่าแก้สำหรับค่าประมาณเริ่มต้นของพารามิเตอร์ที่ต้องการ ($\hat{x}$) ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ (Unknown Parameters : x) และเศษเหลือของค่าสังเกต (Residuals of the measurements : $\hat{v}$) ได้ดังนี้

$$\hat{x} = [A^T W A]^{-1} A^T W l \quad (2.8)$$

$$x = x_0 + \hat{x} \quad (2.9)$$

$$\hat{v} = l - A\hat{x} \quad (2.10)$$

ในทางปฏิบัติ การคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมักจะมีกระบวนการวนซ้ำ (iteration) เนื่องจากค่า ($\hat{x}$) ที่ได้จากการคำนวณในรอบแรกมักจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งในกรณีนี้ การคำนวณจะกลับไปใช้สมการ (2.4) และใช้ค่า x ที่คำนวณจากสมการ (2.9) เป็นค่าเริ่มต้น

2.2.2 ค่าประมาณเริ่มต้นในวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ในขั้นตอนก่อนทำการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นหรือค่าโดยประมาณให้กับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (x_0) ในที่นี้คือ

- ค่าเริ่มต้นของค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ (X, Y, Z) ซึ่งได้จากค่าพิกัดโดยประมาณในไฟล์ RINEX
- ค่าเริ่มต้นของค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง (N) ซึ่งกำหนดให้เป็น 0 เมตร
- และค่าเริ่มต้นของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการนาฬิกาเครื่องรับแต่ละช่วงเวลา (dt)

สำหรับค่าเริ่มต้นของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการนาฬิกาเครื่องรับในเมตริกซ์ x สามารถหาค่าโดยประมาณได้จากซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสของคลื่นส่งจากดาวเทียมดวงแรก ศึกษารายละเอียดได้จาก Zumberge et.al. (2000) โดยมีสมการดังนี้

$$R_i = P_i^p - (\rho_i^p - cdt_i^p) \quad (2.11)$$

โดยที่

R_i คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับโดยประมาณ ณ ระยะเวลา i (เมตร)

P_i^p คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสของคลื่นส่งจากดาวเทียม p ณ ระยะเวลา i (เมตร)

ρ_i^p คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างเครื่องรับและดาวเทียม p ณ ขณะเวลา i (เมตร)

c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม p ณ ขณะเวลา i (วินาที)

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองสโตคาสติก

แบบจำลองสโตคาสติก อธิบายถึงรูปแบบทางสถิติของค่าสังเกตที่ได้จากการรังวัด ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น อธิบายถึงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าสังเกตจากการรังวัดจีพีเอสกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (Leick, 1995) ซึ่งปัจจุบันนี้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสโดยใช้แบบจำลองปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ นั้น สามารถกำจัดค่าคลาดเคลื่อนไปได้หลายชนิด แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนบางตัวหลงเหลืออยู่ ทำให้ค่าพิกัดที่คำนวณได้ยังมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ ซึ่งการจะปรับปรุงให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูงขึ้น สามารถทำได้ด้วยการกำหนดแบบจำลองสโตคาสติกที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด สำหรับงานวิจัยเรื่องนี้ได้เลือกกรณีศึกษาโดยใช้แบบจำลองสโตคาสติก 3 แบบดังนี้

2.3.1 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตเท่ากัน

เมื่อ σ^2 คือค่าความแปรปรวนของค่าสังเกต โดยสามารถแสดงในรูปเมทริกซ์ของ variance-covariance matrix ได้ดังนี้

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad \text{โดยที่ } \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 \quad (2.12)$$

โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง (σ_{ph}) มีค่า 0.002 เมตร และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้อมูลการวัดรหัสของคลื่นส่ง (σ_{pr}) มีค่า 0.2 เมตร

2.3.2 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม (Satellite Elevation)

โดยมีสมการของค่าความแปรปรวน σ^2 ดังนี้ (Gerdan, 1995)

$$\sigma^2 = \frac{1}{\sin E} \quad (2.13)$$

เมื่อ σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนค่าสังเกต และ E คือ มุมสูงของดาวเทียม โดยสามารถแสดงในรูปเมทริกซ์ของ variance-covariance matrix ได้ดังนี้

$$C = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sin E_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sin E_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sin E_n} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

2.3.3 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกต จากการประมาณค่าเศษเหลือด้วยวิธีการ MINQUE

จาก Gauss-Markov Model : ค่าสังเกต n ค่า และตัวไม่ทราบค่า t ตัว

$$l = Ax + v \quad (2.15)$$

$$C = W^{-1} = \sum_{i=1}^k \theta_i T_i \quad (2.16)$$

โดยที่

l คือ เวกเตอร์ค่าต่างของค่าสังเกต ขนาด $n \times 1$

A คือ เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ ขนาด $n \times t$

x คือ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ขนาด $t \times 1$

v คือ เวกเตอร์ค่าตรวจแก้ค่าสังเกต ขนาด $n \times 1$

C คือ เมทริกซ์ variance-covariance matrix ของค่าสังเกต

W คือ เมทริกซ์ของน้ำหนักของค่าสังเกต

$\theta_1^{\wedge}, \theta_2^{\wedge}, \dots, \theta_k^{\wedge}$ คือ ค่า variance-covariance component ของค่าสังเกตที่จะนำมาทำการประมาณค่า

$T_1, T_2, \dots, T_k$ คือ Accompanying Matrices ศึกษาได้จาก Wang et al. (1998)

k คือ จำนวนของ variance-covariance component

Rao (1970,1971) ได้พัฒนาวิธีการที่เรียกว่า MINQUE ขึ้นมา จากฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) ของ $\theta_i (i=1,2,...,k)$ เช่น $g_1\theta_1 + g_2\theta_2 + ... + g_k\theta_k$ จะเป็นฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic function) $l^T M l$ ได้ ก็ต่อเมื่อเมทริกซ์ M สามารถหาได้จากเงื่อนไข

$$Tr\{MCMC\} = \min \quad ; \quad MA = 0 \quad (2.17)$$

$$\text{จะได้ } Tr\{MT_i\} = g_i \quad (2.18)$$

จากสมการ (2.17) และ (2.18) สามารถหาค่าประมาณของ variance-covariance component ได้ดังนี้

$$\hat{\theta} = (\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, ..., \hat{\theta}_k) = S^{-1}q \quad (2.19)$$

$$\text{เมื่อ } S = \{S_{ij}\} \quad ; \quad S_{ij} = Tr\{RT_i RT_j\} \quad (2.20)$$

$$\text{และ } q = \{q_i\} \quad ; \quad q_i = l^T RT_i R l \quad (2.21)$$

$$\text{โดยที่ } R = WQ_v W \quad (2.22)$$

$$\text{และเมทริกซ์ residuals cofactor matrix ที่ปรับแก้แล้ว } Q_v = W^{-1} - A(A^T P A)^{-1} A^T \quad (2.23)$$

เมทริกซ์ R สามารถเขียนใหม่ในรูป partitioned matrix ได้ดังนี้

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{m1} & R_{m2} & \dots & R_{mm} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

โดยที่ m คือ จำนวน observation epoch ใน 1 ช่วงการรับสัญญาณ

จากความสัมพันธ์ระหว่าง v และ l

$$\text{จะได้ } v = -Q_v W l \quad (2.25)$$

$$WQ_v W v = -WQ_v W l = W v \quad (2.26)$$

จากสมการ (2.25) และ (2.26) สามารถเขียนสมการ (2.21) ได้ใหม่ดังนี้

$$q_i = l^T RT_i R l = v^T RT_i R v = v^T W T_i W v \quad (2.27)$$

จากสมการ (2.19), (2.20), (2.21) และ (2.22) จะเห็นว่าค่าประมาณของ variance-covariance component ขึ้นอยู่กับเมทริกซ์ C ซึ่งรวมถึงค่า variance-covariance component ในตัวมันเองด้วย ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนการวนซ้ำ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของ $\theta_i = \theta_i^0$ จากสมการ (2.19) ก็จะได้ค่าประมาณเริ่มต้นของ θ^1 และสำหรับการวนซ้ำรอบที่ $(j+1)^{th}$ โดยใช้ค่าประมาณจากรอบก่อนหน้านี้ $\theta^{^j}$ เป็นค่าเริ่มต้น จะได้ค่าประมาณใหม่เป็น

$$\theta^{^{j+1}} = S^{-1}(\theta^{^j})q(\theta^{^j}) \quad ; \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (2.28)$$

$$\text{ถ้าค่าของ } \hat{\theta} \text{ ถู้เข้า จะได้ } S(\hat{\theta})\hat{\theta} = q(\hat{\theta}) \quad (2.29)$$

$$\text{ดังนั้น } Tr\left\{R(\hat{\theta})T_i\right\} = I^T R(\hat{\theta})T_i R(\hat{\theta})I \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (2.30)$$

บทที่ 3

ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล โดยในส่วนของข้อมูลนำเข้าจะกล่าวถึงรายละเอียดและที่มาของข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลวงโคจรดาวเทียมรายละเอียดสูงที่ใช้ในงานวิจัย ตามด้วยหัวข้อคำพิถัด ณ ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณที่มีความถูกต้องสูงเพื่อใช้เป็นค่าพิถัดอ้างอิงในการประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแต่ละวิธี สุดท้ายคือหัวข้อการประมวลผลข้อมูล ซึ่งกล่าวถึงชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล และวิธีการที่นำมาใช้ประมวลผลข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของผลลัพธ์โดยรายละเอียดในหัวข้อต่าง ๆ มีดังนี้

3.1 ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย ได้จากการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 ที่บริเวณหาดฟ้าติ้ววิทยานิเวศน์ ซึ่งตั้งอยู่ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างวันที่ 25 ถึง 30 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ในแต่ละวันเป็นข้อมูลการรับสัญญาณตั้งแต่เวลา 00:00:00-24:00:00 ในระบบเวลา UTC โดยกำหนดอัตราการบันทึกข้อมูลเป็น 30 วินาที และนำมาบันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ RINEX

ในส่วนของข้อมูลอีพีเมอร์สละเอียดหรือข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงชนิด Final Product ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมในระดับต่ำกว่า 5 เซนติเมตรและ 0.1×10^{-9} วินาทีตามลำดับ โดยข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปแบบไฟล์ SP3 ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดรูปแบบไฟล์เพิ่มเติมได้จาก NGS (2007) ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแสดงค่าตำแหน่งดาวเทียมในระบบพิถัด ECEF บนพื้นหลักฐาน ITRF คณะผู้วิจัยได้ทำการดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ http://jgscb.jpl.nasa.gov/components/products_cb.html และได้ทำการประมาณค่าจากข้อมูลทุกๆ 15 นาทีไปเป็นทุกๆ 30 วินาที โดยใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงด้วยสมการ Lagrange polynomial ด้วยการใช้อนุกรมดิกรีที่เหมาะสมซึ่งให้ผลลัพธ์ของวงโคจรดาวเทียมที่ได้มีความละเอียดถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อรักษาระดับความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมเดิม รายละเอียดเพิ่มเติมเรื่องนี้ศึกษาได้จาก ภัคพงศ์ หอมเนียม และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2546)

ตาราง 3.1 แสดงรายละเอียดเปรียบเทียบข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมที่ให้บริการและระยะเวลาที่เราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลหลังจากเวลาที่ทำการรับวัดสัญญาณดาวเทียม มีหน่วยงานที่ชื่อว่า International GPS Service (IGS) รวบรวมและเพิ่มเติมได้จาก IGS (2007) คอยจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้ดาวน์โหลดบนอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียม/ค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (2007)

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

3.2 ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณ

สำหรับค่าพิกัด ณ ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณที่จะใช้เป็นค่าอ้างอิงในการหาความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ได้จากการส่งข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 25 ตุลาคม เวลา 6:36:55 น. ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2545 เวลา 6:39:00 น. ไปประมวลผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากบริการของทาง AUSPOS เนื่องจากค่าความถูกต้องที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิติตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า 10 มิลลิเมตรทางราบ และ 10-20 มิลลิเมตรทางตั้ง (Geoscience, 2007) และ เกลิมชนม์ สติระพจน์ (2546) ได้กล่าวไว้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากบริการของ AUSPOS นั้นมีความน่าเชื่อถือกว่าบริการอื่นๆ

ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้อยู่บนพื้นหลักฐาน ITRF2000 และใช้ค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 7 วัน โดยมีค่าพิกัดทาง X เท่ากับ -1132144.021 เมตร ค่าพิกัดทาง Y เท่ากับ 6092492.728 เมตร และ ค่าพิกัดทาง Z เท่ากับ 1515132.443 เมตร (ภักพวงศ์ หอมเนียม, 2547)

ตารางที่ 3.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมงผ่านบริการ 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

3.3 การประมวลผลข้อมูล

งานวิจัยนี้ จะศึกษาการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่มีอัตราการบันทึกข้อมูลเป็น 30 วินาที และเปรียบเทียบการประมวลผลข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมต่าง ๆ กัน ได้แก่ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ดังนั้นข้อมูลการรับสัญญาณทั้ง 24 ชั่วโมง จะถูกแบ่งย่อยออกเป็นชุดๆตามช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม ยกตัวอย่างเช่น การประมวลผลข้อมูลช่วงเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที ข้อมูลจากทั้ง 24 ชั่วโมงจะถูกตัดออกเป็นชุดๆ ชุดละ 5 นาที ได้จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด 288 ชุด โดยที่ข้อมูลแต่ละชุดต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมชุดเดียวกันตลอดเวลา 5 นาทีเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 4 ดวง ดังนั้นหากดาวเทียมดวงใดในกลุ่มมีสัญญาณขาดหายไปในระยะช่วงเวลา 5 นาที ดาวเทียมดวงนั้นก็จะถูกตัดออกไปไม่นำมาใช้ในการคำนวณ ในตาราง 3.3 แสดงจำนวนชุดข้อมูลในแต่ละวันนำมาใช้ในการประมวลผล

ตาราง 3.3 แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม

ช่วงการข้อมูลการรับสัญญาณ 5 นาที						
วันที่....ตุลาคม	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	288	288	288	288	288	288
จำนวนชุดข้อมูลที่ตัดทิ้ง	6	5	0	0	6	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	282	283	288	288	282	288
ช่วงการข้อมูลการรับสัญญาณ 10 นาที						
วันที่....ตุลาคม	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	144	144	144	144	144	144
จำนวนชุดข้อมูลที่ตัดทิ้ง	4	7	0	1	3	1
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	140	137	144	143	141	143
ช่วงการข้อมูลการรับสัญญาณ 15 นาที						
วันที่....ตุลาคม	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	96	96	96	96	96	96
จำนวนชุดข้อมูลที่ตัดทิ้ง	3	4	1	0	3	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	93	92	95	96	93	96
ช่วงการข้อมูลการรับสัญญาณ 30 นาที						
วันที่....ตุลาคม	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	48	48	48	48	48	48
จำนวนชุดข้อมูลที่ตัดทิ้ง	4	4	1	1	2	0
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	44	44	47	47	46	48
ช่วงการข้อมูลการรับสัญญาณ 60 นาที						
วันที่....ตุลาคม	25	26	27	28	29	30
จำนวนชุดข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง	24	24	24	24	24	24
จำนวนชุดข้อมูลที่ตัดทิ้ง	2	3	1	1	2	2
จำนวนชุดข้อมูลคงเหลือที่ใช้ในงานวิจัย	22	21	23	23	22	22

การประมวลผลข้อมูลทำการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีตามแบบจำลองสโตคาสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ

- กรณีแรก การให้น้ำหนักของค่าสังเกตเท่ากัน
- กรณีที่สอง การให้น้ำหนักของค่าสังเกตตามค่ามุมสูงของดาวเทียม และ
- กรณีสุดท้าย คือ การให้น้ำหนักของค่าสังเกตด้วยการประมาณค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสามกรณีมาทำการทดสอบทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบว่าค่าความถูกต้องที่ได้จากแต่ละวิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประมวลผลข้อมูลและการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้

ค่าพิกัดอ้างอิงและผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นค่าพิกัดที่อยู่บนพื้นหลักฐาน ITRF2000 แต่เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าพิกัดทั้งหมดจึงถูกแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดแผนที่ UTM และนำค่าที่ได้มาหาค่าต่างกับค่าพิกัดอ้างอิงเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ทั้งทางราบและทางตั้ง

4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุดทั้งสามกรณี จะถูกนำมาลบกับค่าพิกัดอ้างอิงของเครื่องรับสัญญาณที่ได้จากการส่งไปประมวลผลกับ AUSPOS เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้ โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ทั้งทางราบ (Horizontal Error - dH) และทางตั้ง (Vertical Error - dV) โดยค่าคลาดเคลื่อนทางราบสามารถหาได้ดังนี้

$$dH = \sqrt{dE^2 + dN^2} \quad (4.1)$$

โดยที่

dE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก (เมตร)

dN คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออกเหนือ (เมตร)

ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางตั้งในแต่ละช่วงการรับสัญญาณแสดงในรูปแบบตารางและกราฟ โดย

MAX(+/-) คือ ค่าสัมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)

MEAN คือ ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)

STD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)

RMSE คือ Root Mean Square Error ของค่าคลาดเคลื่อนของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวัน (เมตร)

สำหรับค่า RMSE คำนวณค่าได้จาก

$$RMSE_E = \sqrt{\frac{dE^2}{n}}, RMSE_N = \sqrt{\frac{dN^2}{n}} \quad (4.2)$$

$$RMSE_H = \sqrt{RMSE_E^2 + RMSE_N^2} \quad (4.3)$$

$$RMSE_V = \sqrt{\frac{dV^2}{n}} \quad (4.4)$$

โดยที่

$RMSE_E$, $RMSE_N$, $RMSE_H$ และ $RMSE_V$ คือ Root Mean Square Error ของค่าคลาดเคลื่อนทางตะวันออก, ทางเหนือ, ทางราบและทางตั้งของทุกชุดข้อมูลในแต่ละวันตามลำดับ
n คือ จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดในแต่ละวัน

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

$$Accuracy_H = 1.7308 \times RMSE_H \quad (4.5)$$

$$Accuracy_V = 1.9600 \times RMSE_V \quad (4.6)$$

โดยที่

$Accuracy_H$ คือ ความถูกต้องทางราบของผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

$Accuracy_V$ คือ ความถูกต้องทางตั้งของผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

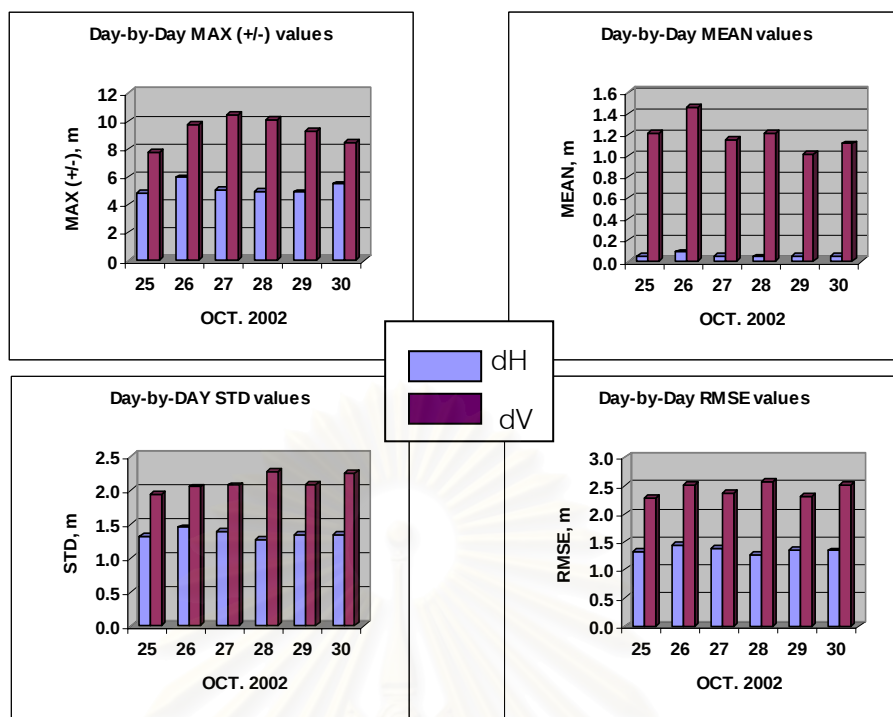
4.1.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลอง สโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

หัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลตลอดทั้ง 6 วัน ด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน โดยจะแสดงผลเปรียบเทียบตามช่วงเวลาที่ตัดแบ่งข้อมูล 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที

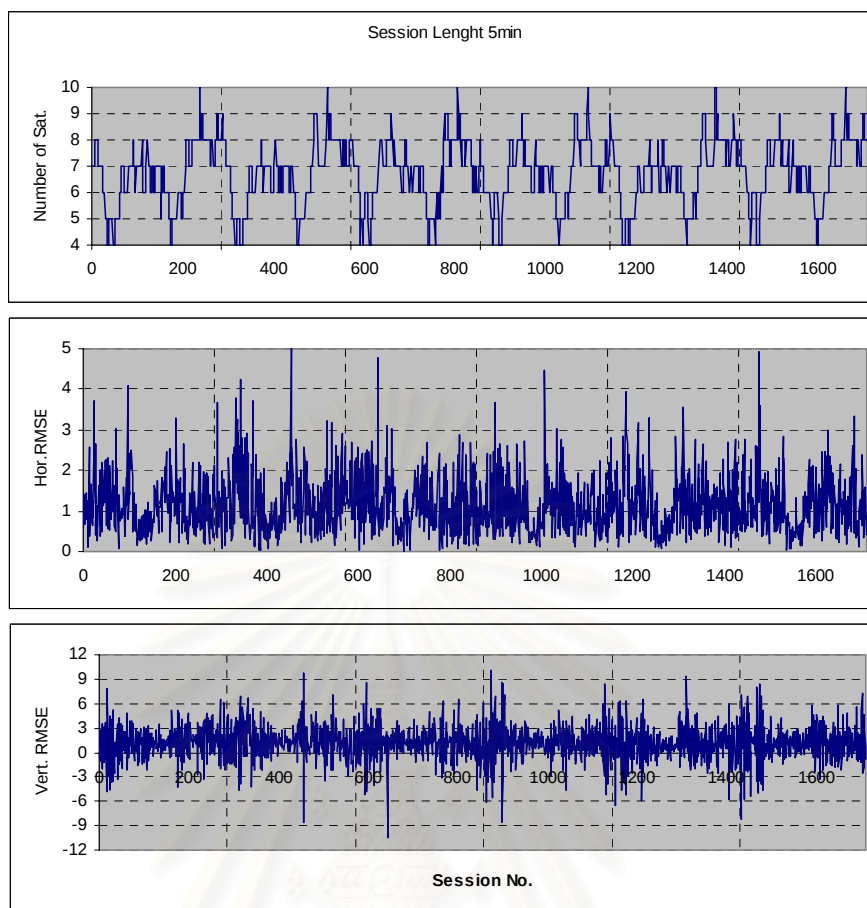
สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที แสดงในตารางที่ 4.1 รูป 4.1 และรูป 4.2 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที แสดงในตารางที่ 4.2 รูป 4.3 และรูป 4.4 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที แสดงในตารางที่ 4.3 รูป 4.5 และรูป 4.6 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที แสดงในตารางที่ 4.4 รูป 4.7 และรูป 4.8 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที แสดงในตารางที่ 4.5 รูป 4.9 และรูป 4.10 และสรุปค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทุกช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม แสดงในตารางตารางที่ 4.6 และรูป 4.11 ตามลำดับ

ตาราง 4.1 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	4.87	7.75	0.05	1.22	1.32	1.94	1.32	2.28
26 ตุลาคม 2545	5.93	9.77	0.09	1.46	1.45	2.05	1.45	2.52
27 ตุลาคม 2545	5.06	10.44	0.05	1.15	1.39	2.07	1.39	2.37
28 ตุลาคม 2545	4.93	10.09	0.04	1.22	1.27	2.27	1.27	2.57
29 ตุลาคม 2545	4.89	9.27	0.05	1.01	1.35	2.09	1.35	2.32
30 ตุลาคม 2545	5.47	8.42	0.05	1.12	1.34	2.26	1.34	2.51



รูปที่ 4.1 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน



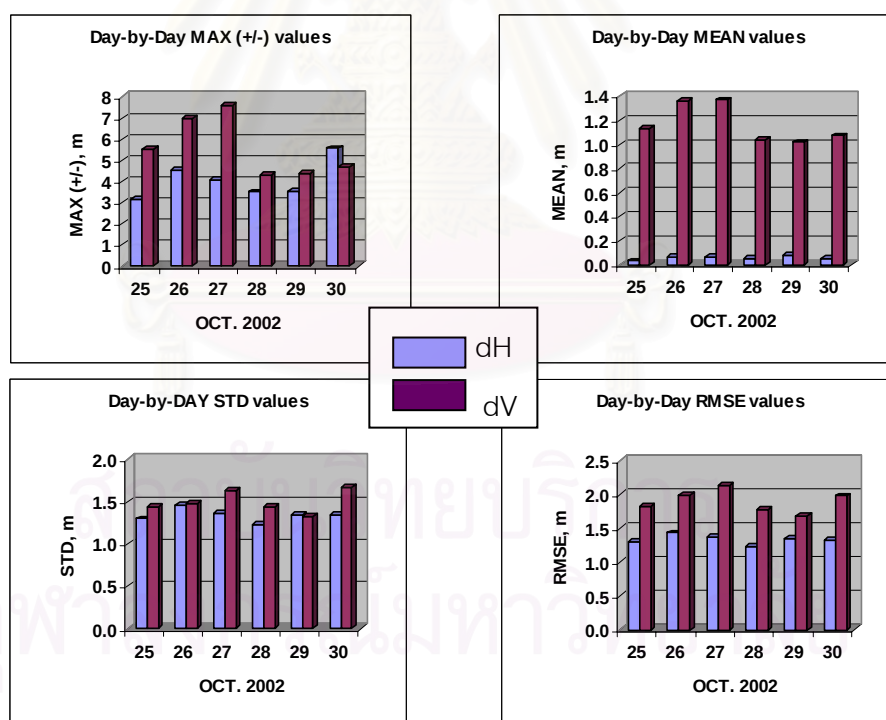
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 5 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

ในรูปที่ 4.2 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

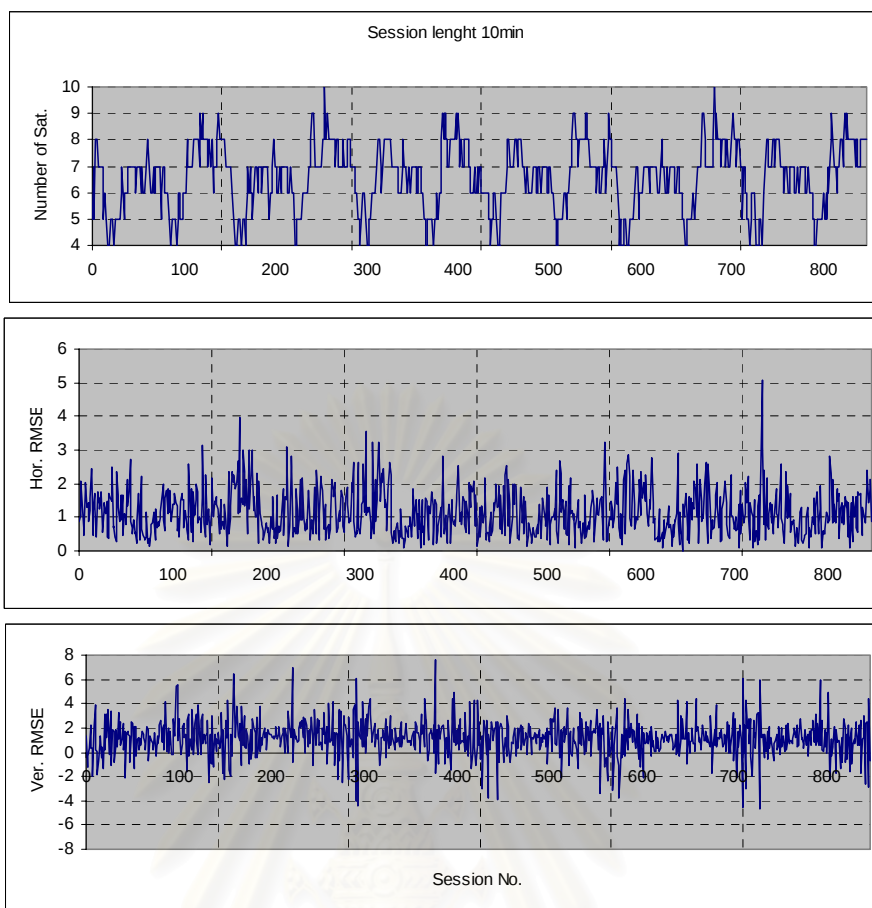
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 5.93 เมตรและ 10.44 เมตรตามลำดับโดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.09 เมตรและ 1.46 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.45 เมตรและ 2.27 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.45 เมตรและ 2.52 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	3.17	5.51	0.03	1.13	1.30	1.44	1.29	1.82
26 ตุลาคม 2545	4.52	7.00	0.06	1.37	1.45	1.48	1.43	1.98
27 ตุลาคม 2545	4.09	7.62	0.07	1.37	1.37	1.64	1.36	2.13
28 ตุลาคม 2545	3.50	4.30	0.05	1.03	1.23	1.44	1.22	1.76
29 ตุลาคม 2545	3.53	4.40	0.08	1.02	1.35	1.33	1.34	1.67
30 ตุลาคม 2545	5.56	4.72	0.05	1.07	1.34	1.67	1.33	1.97



รูปที่ 4.3 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน



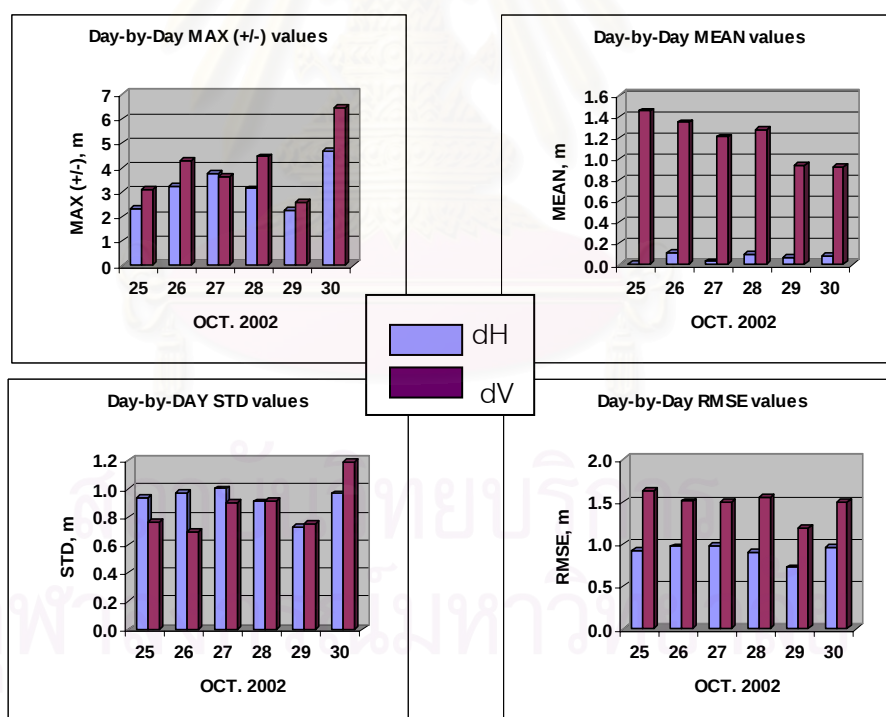
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

ในรูปที่ 4.4 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

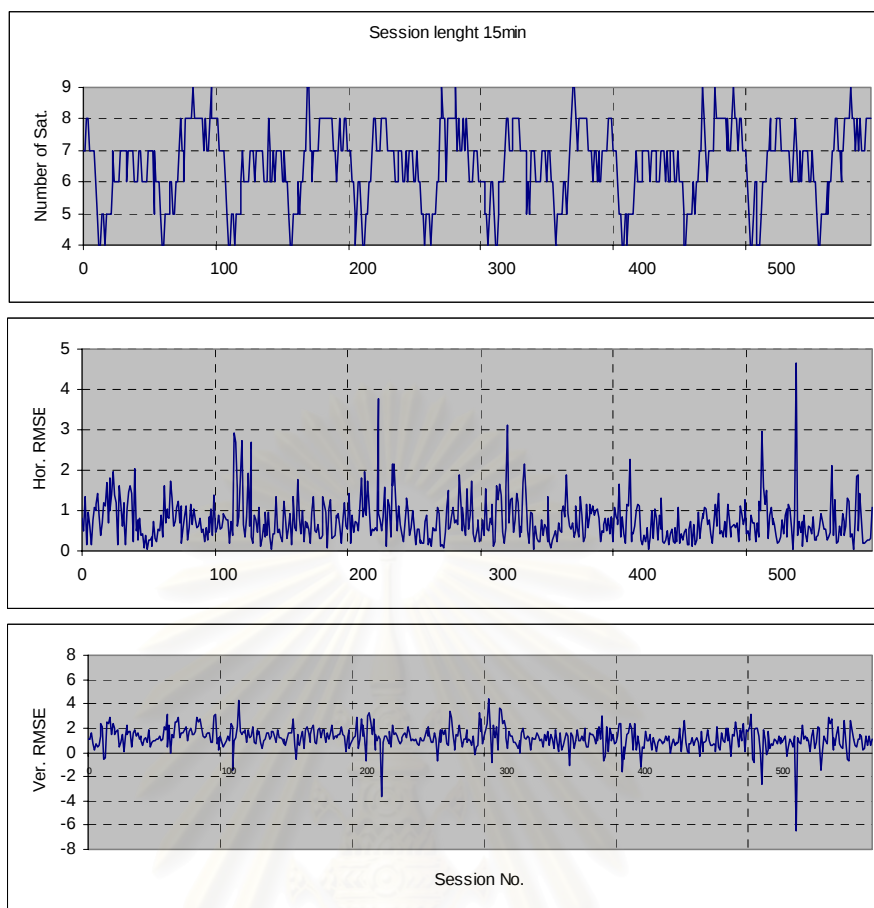
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 5.56 เมตรและ 7.62 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.08 เมตรและ 1.37 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.45 เมตรและ 1.67 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.43 เมตรและ 2.13 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.31	3.13	0.01	1.45	0.93	0.76	0.93	1.64
26 ตุลาคม 2545	3.22	4.27	0.11	1.34	0.97	0.69	0.97	1.51
27 ตุลาคม 2545	3.77	3.62	0.03	1.21	1.00	0.90	0.99	1.50
28 ตุลาคม 2545	3.13	4.45	0.09	1.27	0.91	0.91	0.91	1.56
29 ตุลาคม 2545	2.28	2.57	0.06	0.93	0.72	0.75	0.72	1.20
30 ตุลาคม 2545	4.66	6.48	0.08	0.93	0.97	1.19	0.96	1.50



รูปที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน



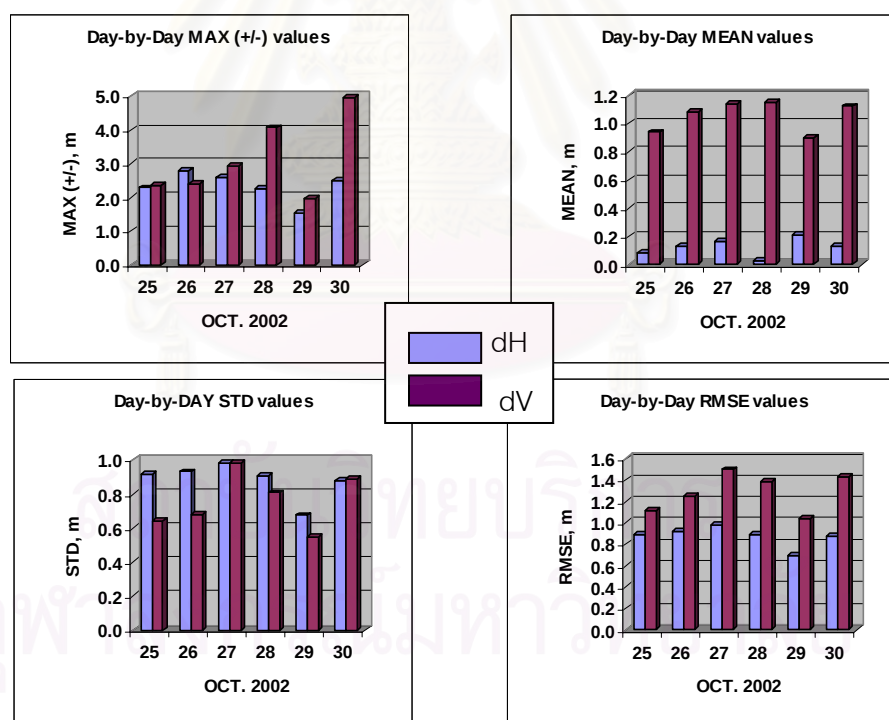
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

ในรูปที่ 4.6 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

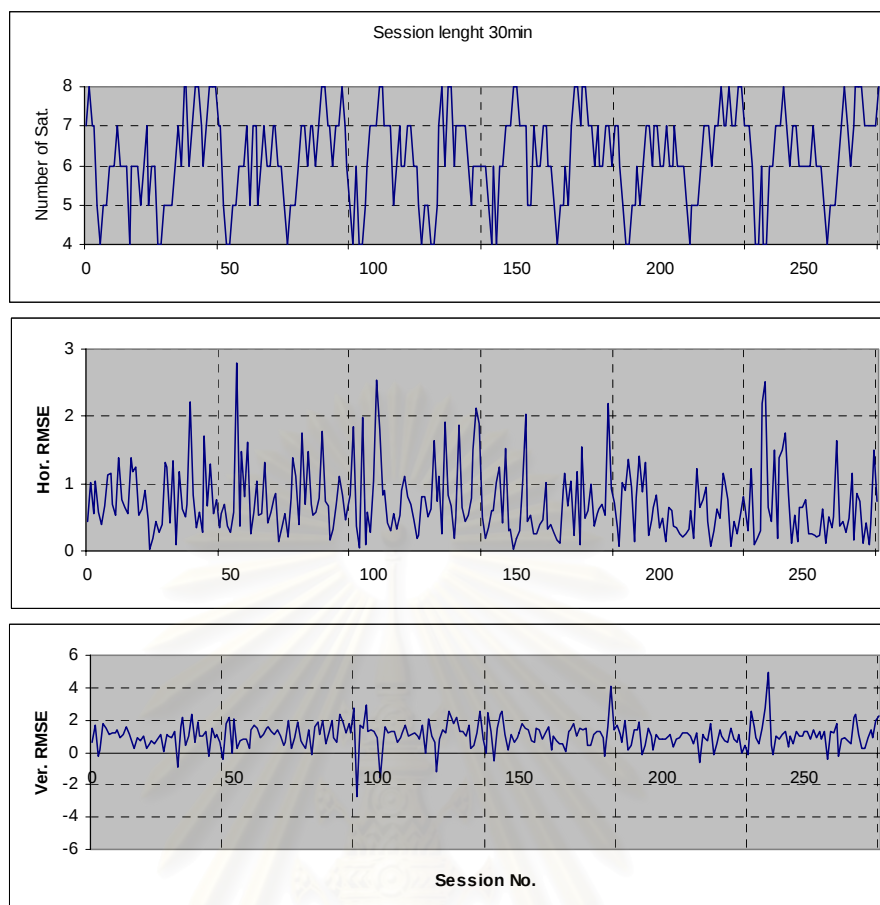
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 4.66 เมตรและ 6.48 เมตรตามลำดับโดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.09 เมตรและ 1.45 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.00 เมตรและ 1.19 เมตรตามลำดับ ส่วนค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.99 เมตรและ 1.64 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.28	2.37	0.08	0.94	0.91	0.64	0.89	1.11
26 ตุลาคม 2545	2.79	2.39	0.13	1.08	0.93	0.68	0.92	1.26
27 ตุลาคม 2545	2.60	2.95	0.17	1.14	0.98	0.99	0.99	1.50
28 ตุลาคม 2545	2.25	4.06	0.03	1.15	0.90	0.81	0.89	1.38
29 ตุลาคม 2545	1.54	1.97	0.21	0.90	0.67	0.55	0.70	1.05
30 ตุลาคม 2545	2.50	4.97	0.13	1.12	0.88	0.89	0.88	1.43



รูปที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน



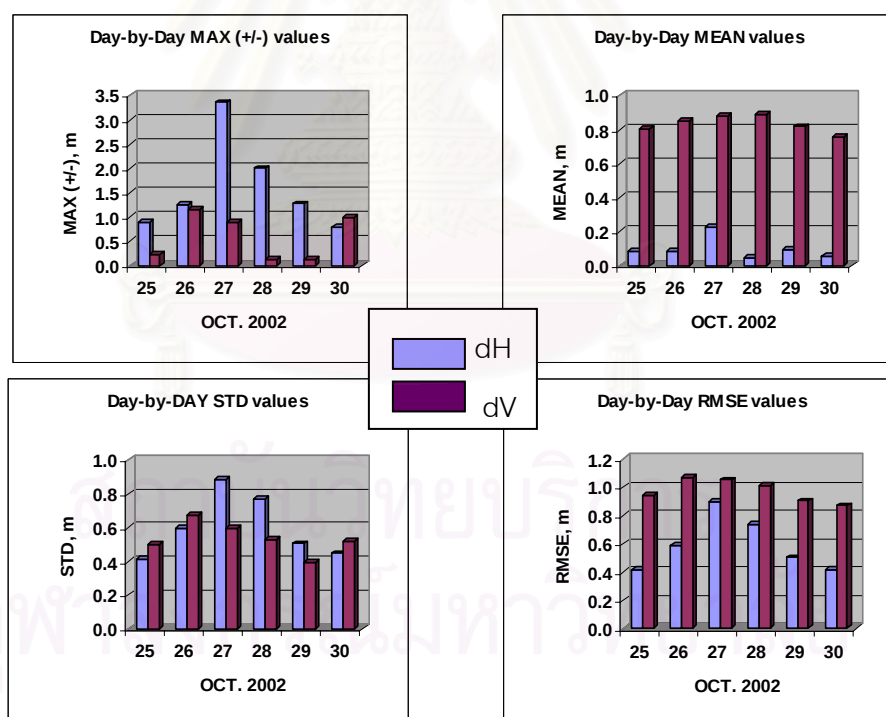
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

ในรูปที่ 4.8 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

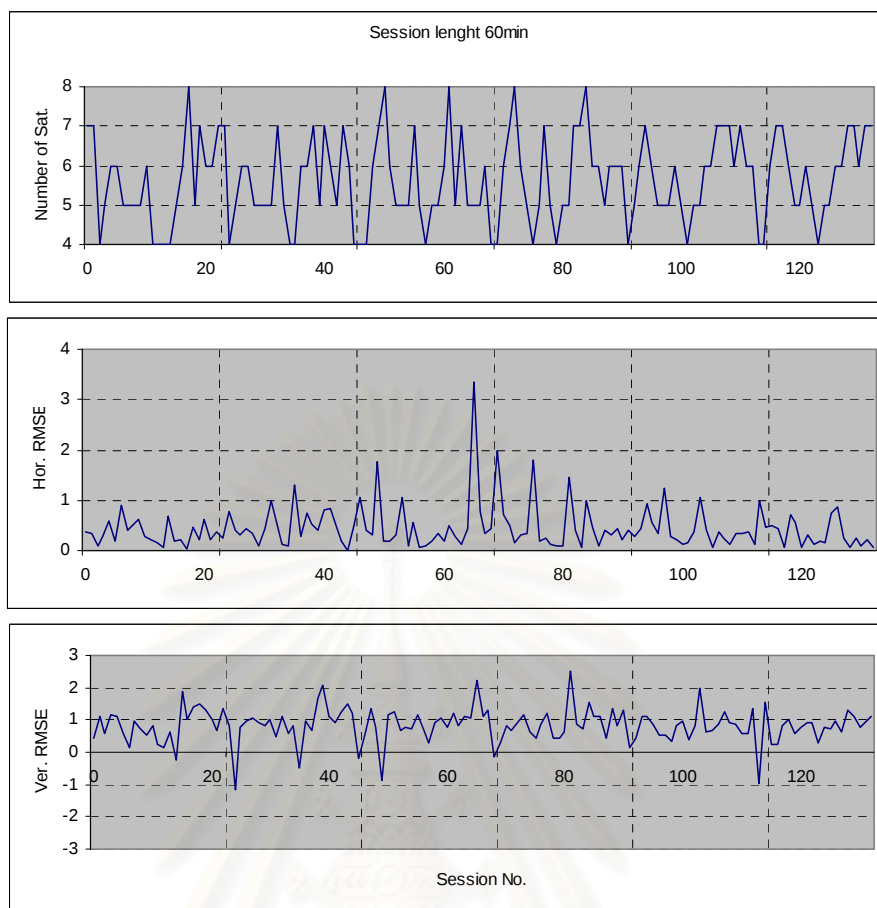
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 2.79 เมตรและ 4.97 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.21 เมตรและ 1.15 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.98 เมตรและ 0.99 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.99 เมตรและ 1.50 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	0.89	0.22	0.08	0.81	0.41	0.50	0.41	0.94
26 ตุลาคม 2545	1.26	1.16	0.08	0.85	0.60	0.68	0.59	1.07
27 ตุลาคม 2545	3.36	0.88	0.23	0.88	0.88	0.60	0.89	1.05
28 ตุลาคม 2545	2.00	0.13	0.05	0.89	0.77	0.53	0.74	1.01
29 ตุลาคม 2545	1.27	0.13	0.10	0.82	0.51	0.39	0.50	0.90
30 ตุลาคม 2545	0.79	0.99	0.06	0.76	0.45	0.52	0.42	0.87



รูปที่ 4.9 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

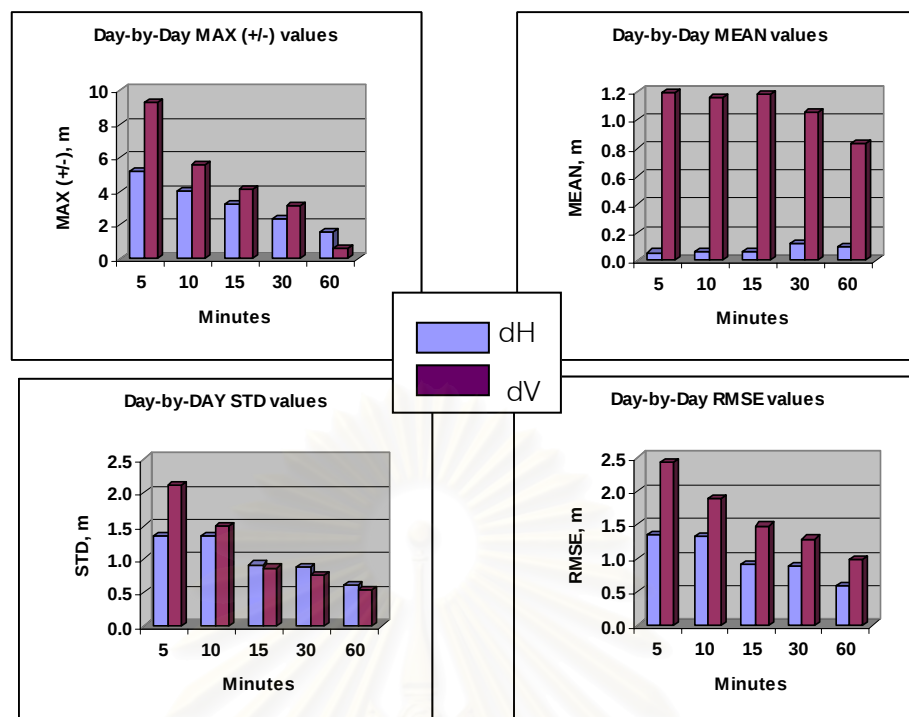
ในรูปที่ 4.10 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.9 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 3.36 เมตรและ 1.16 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.23 เมตรและ 0.88 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.88 เมตรและ 0.06 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.89 เมตรและ 1.07 เมตรตามลำดับ

จากกราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.10 และค่าทางสถิติของผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.5 พบว่ารูปกราฟทั้ง 6 วันมีลักษณะคล้ายคลึงกันและค่าทางสถิติทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาใกล้เคียงกันของแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่าทางสถิติของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลารับสัญญาณที่แสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11 ได้จากการนำค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมาทำการหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.6 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณควมเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

ช่วงเวลาในการ รับสัญญาณ	ค่าทางสถิติในแต่ละช่วงการรับสัญญาณ							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
5 นาที	5.19	9.29	0.06	1.20	1.35	2.11	1.35	2.43
10 นาที	4.06	5.59	0.06	1.16	1.34	1.50	1.33	1.89
15 นาที	3.23	4.09	0.06	1.19	0.92	0.87	0.91	1.48
30 นาที	2.33	3.12	0.12	1.05	0.88	0.76	0.88	1.29
60 นาที	1.60	0.59	0.10	0.83	0.60	0.54	0.59	0.98



รูปที่ 4.11 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

จากรูปที่ 4.11 จะพบว่า สำหรับค่าคลาดเคลื่อนทางราบเมื่อใช้ช่วงเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพิ่มขึ้น แนวโน้มของค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งเมื่อใช้ช่วงเวลาในการรับสัญญาณนานขึ้น แนวโน้มของค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ยกเว้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงในกราฟแท่งในแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 ที่พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนบางอย่างที่ยังคงเหลืออยู่ และค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งอาจเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

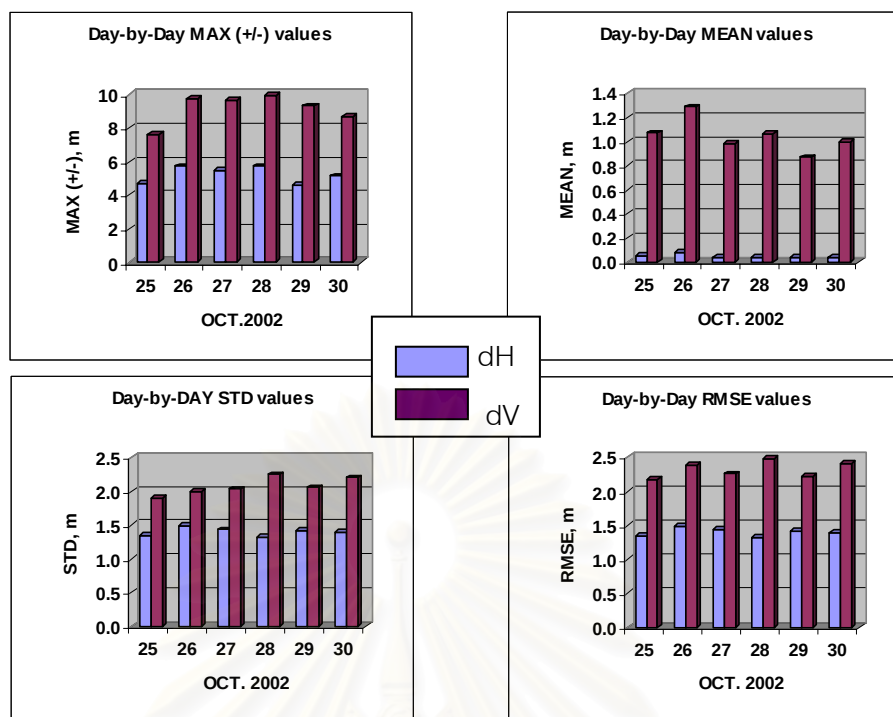
4.1.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

หัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลตลอดทั้ง 6 วัน ด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน โดยจะแสดงผลเปรียบเทียบตามช่วงเวลาที่ตัดแบ่งข้อมูล 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที

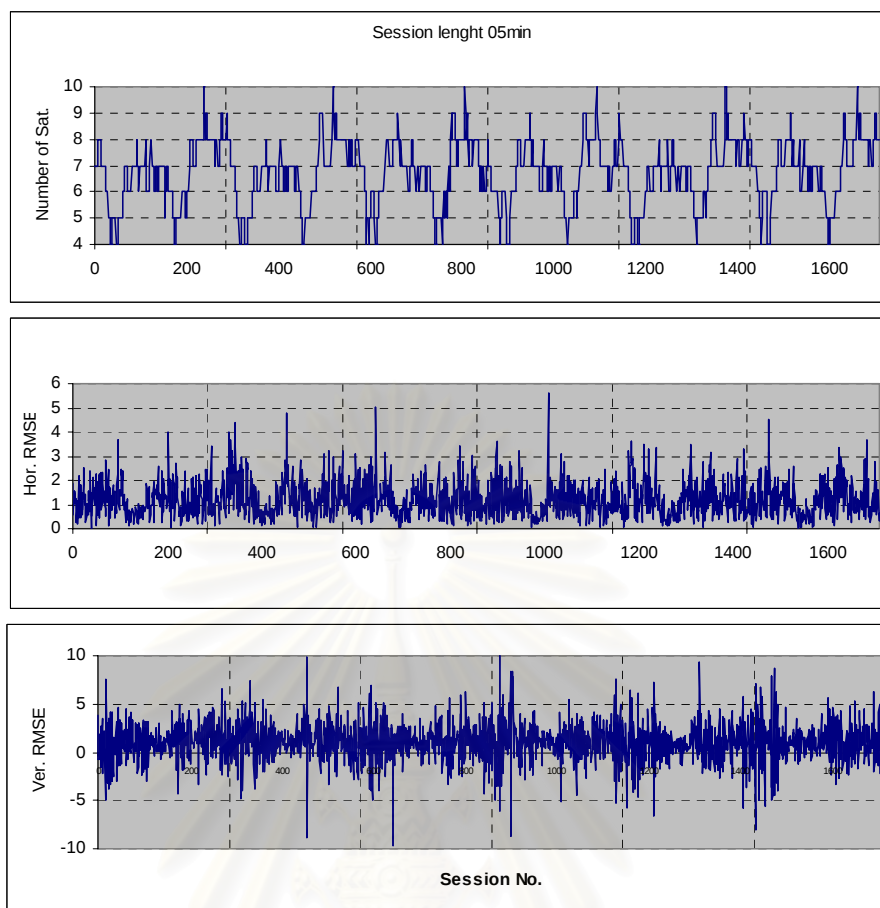
สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที แสดงในตารางที่ 4.7 รูป 4.12 และรูป 4.13 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที แสดงในตารางที่ 4.8 รูป 4.14 และรูป 4.15 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที แสดงในตารางที่ 4.9 รูป 4.16 และรูป 4.17 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที แสดงในตารางที่ 4.10 รูป 4.18 และรูป 4.19 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที แสดงในตารางที่ 4.11 รูป 4.20 และรูป 4.21 และสรุปค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทุกช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม แสดงในตารางที่ 4.12 รูป 4.22 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	4.74	7.61	0.05	1.07	1.35	1.89	1.35	2.17
26 ตุลาคม 2545	5.72	9.81	0.08	1.29	1.49	2.01	1.49	2.38
27 ตุลาคม 2545	5.48	9.71	0.03	0.99	1.43	2.03	1.43	2.26
28 ตุลาคม 2545	5.74	9.98	0.04	1.07	1.33	2.25	1.33	2.49
29 ตุลาคม 2545	4.58	9.34	0.04	0.87	1.41	2.06	1.41	2.23
30 ตุลาคม 2545	5.16	8.73	0.04	1.00	1.40	2.21	1.40	2.42



รูปที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม



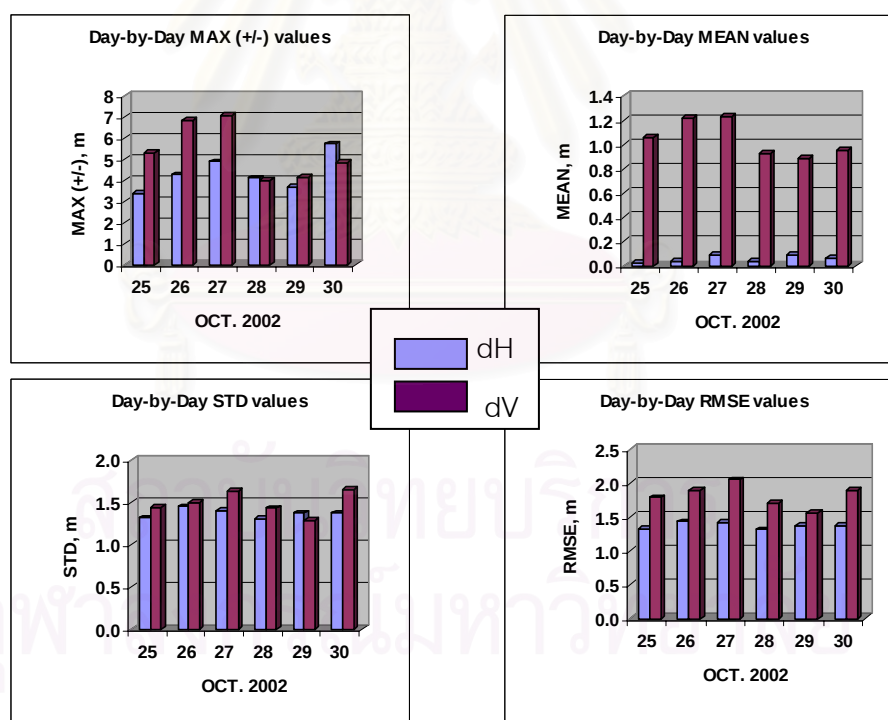
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 5 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

ในรูปที่ 4.13 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

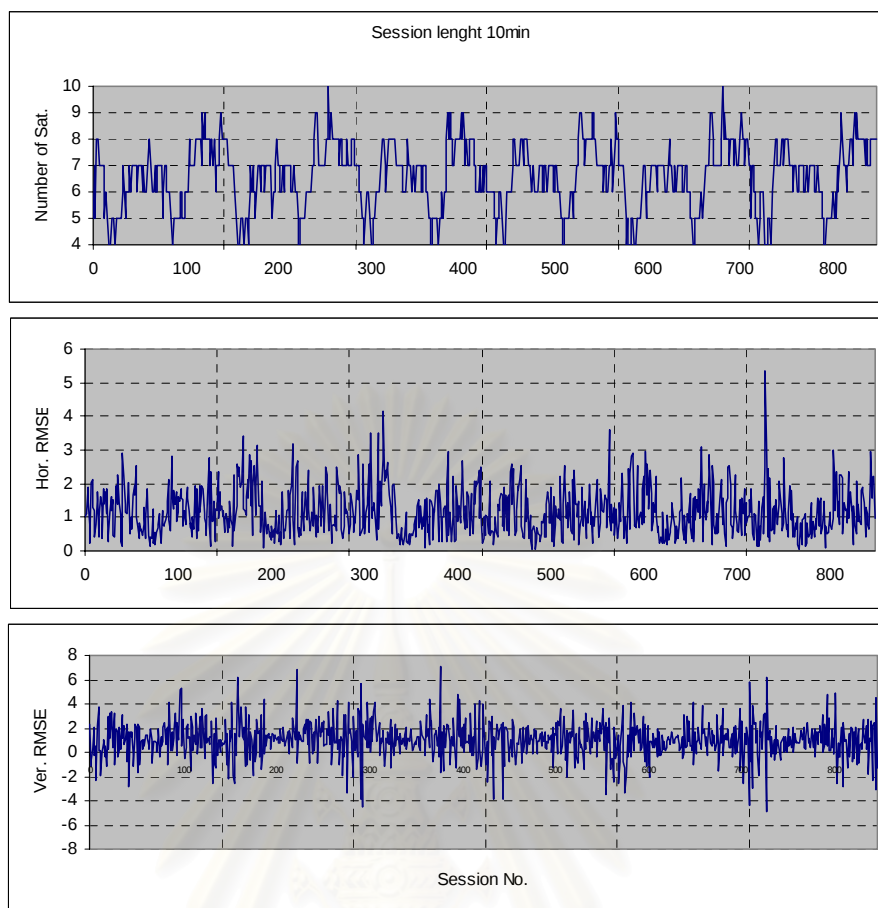
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 5.74 เมตรและ 9.98 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.08 เมตรและ 1.29 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.49 เมตรและ 2.03 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.49 เมตรและ 2.49 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	3.40	5.29	0.02	1.05	1.32	1.45	1.32	1.78
26 ตุลาคม 2545	4.27	6.85	0.04	1.22	1.46	1.50	1.43	1.90
27 ตุลาคม 2545	4.90	7.08	0.09	1.23	1.41	1.64	1.41	2.05
28 ตุลาคม 2545	4.11	3.98	0.03	0.93	1.32	1.44	1.31	1.70
29 ตุลาคม 2545	3.68	4.17	0.09	0.89	1.38	1.29	1.37	1.56
30 ตุลาคม 2545	5.73	4.86	0.06	0.96	1.38	1.65	1.37	1.90



รูปที่ 4.14 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม



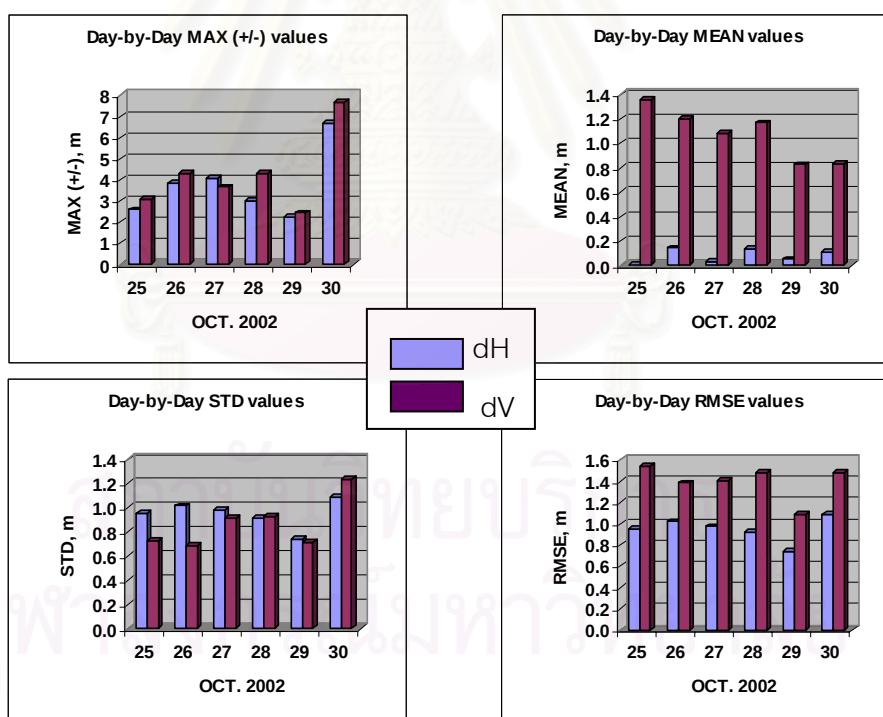
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

ในรูปที่ 4.15 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

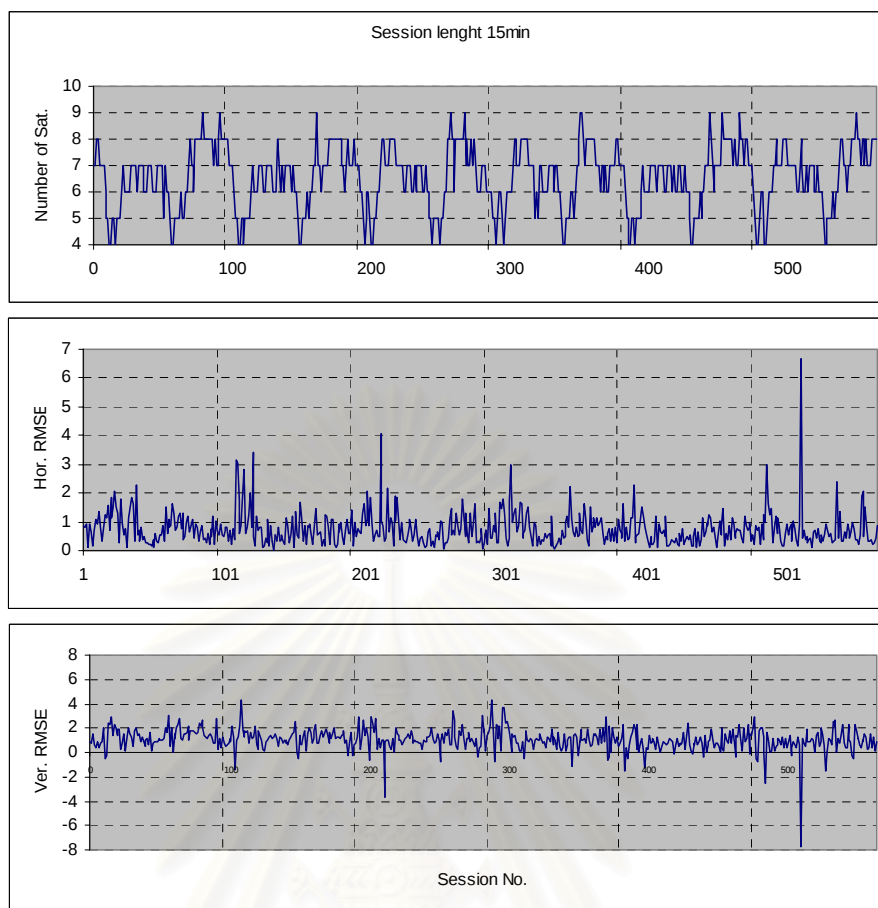
จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.14 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 5.73 เมตรและ 7.08 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.09 เมตรและ 1.23 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.46 เมตรและ 1.65 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.43 เมตรและ 2.05 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.59	3.09	0.01	1.36	0.95	0.72	0.95	1.54
26 ตุลาคม 2545	3.85	4.30	0.14	1.20	1.01	0.69	1.02	1.39
27 ตุลาคม 2545	4.08	3.65	0.03	1.08	0.98	0.91	0.97	1.40
28 ตุลาคม 2545	3.03	4.31	0.14	1.17	0.92	0.93	0.92	1.49
29 ตุลาคม 2545	2.27	2.43	0.05	0.83	0.74	0.72	0.74	1.09
30 ตุลาคม 2545	6.70	7.70	0.11	0.83	1.08	1.23	1.08	1.48



รูปที่ 4.16 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม



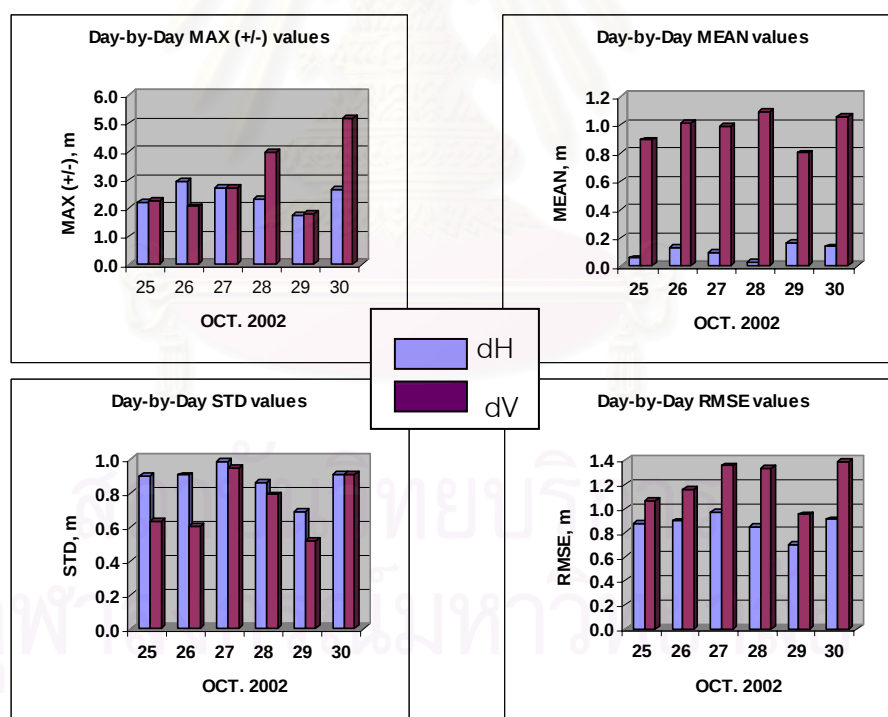
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

ในรูปที่ 4.17 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

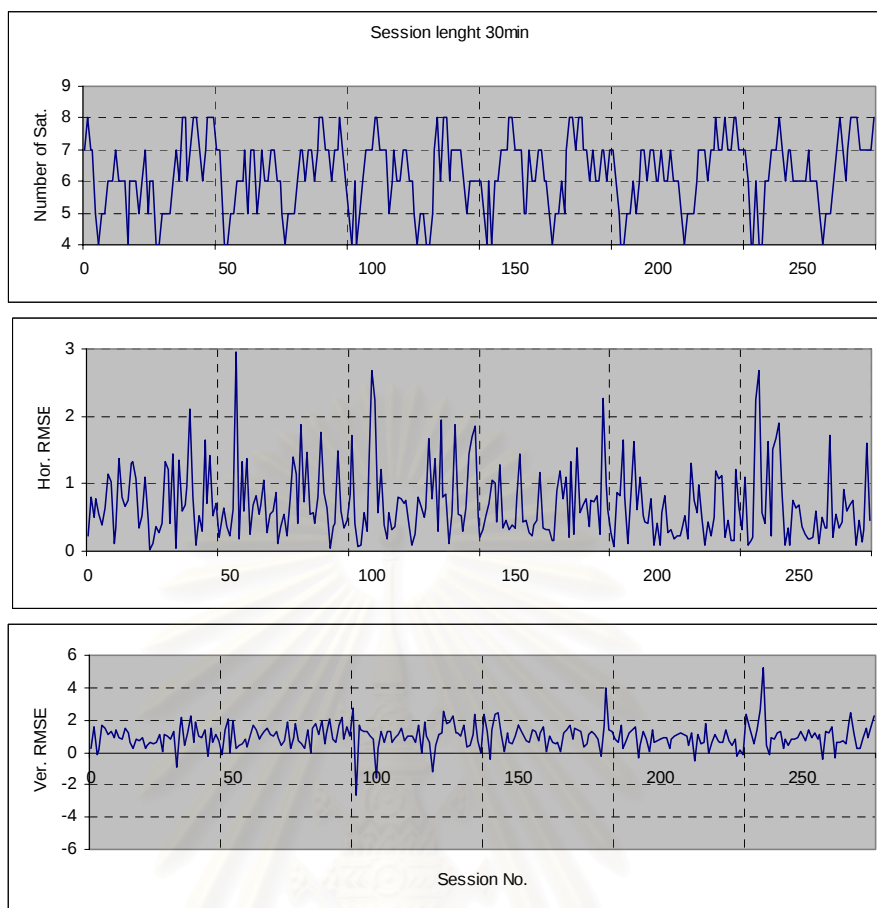
จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.16 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 6.70 เมตรและ 7.70 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.14 เมตรและ 1.36 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.08 เมตรและ 1.23 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.08 เมตรและ 1.54 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.18	2.26	0.05	0.89	0.90	0.64	0.87	1.07
26 ตุลาคม 2545	2.95	2.06	0.13	1.01	0.91	0.61	0.90	1.16
27 ตุลาคม 2545	2.72	2.72	0.10	0.99	0.99	0.95	0.97	1.35
28 ตุลาคม 2545	2.33	3.99	0.02	1.09	0.86	0.79	0.85	1.33
29 ตุลาคม 2545	1.72	1.82	0.16	0.80	0.69	0.52	0.70	0.95
30 ตุลาคม 2545	2.68	5.19	0.14	1.06	0.91	0.91	0.91	1.39



รูปที่ 4.18 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม



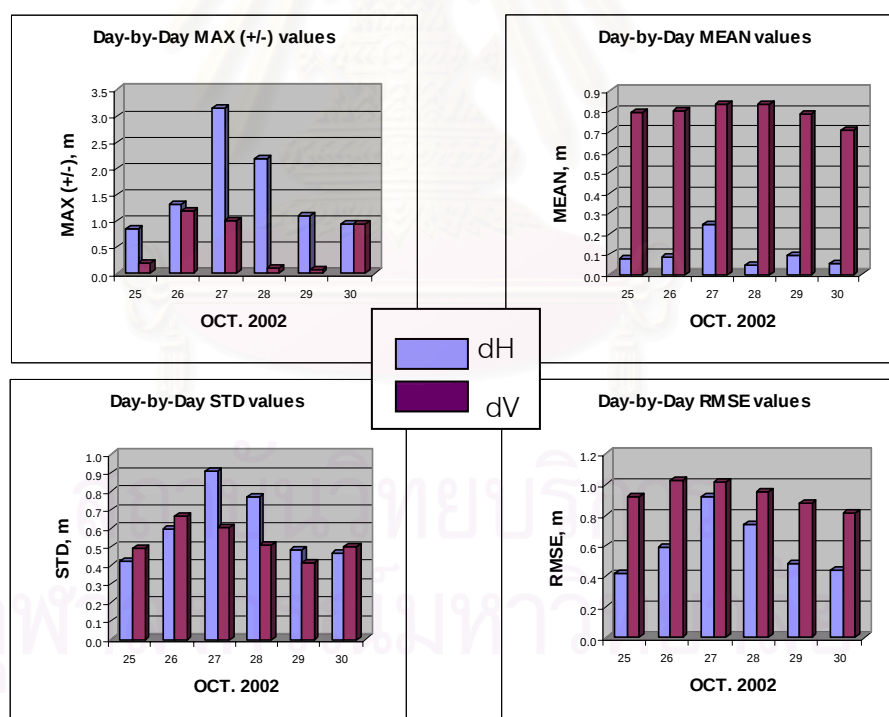
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

ในรูปที่ 4.19 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

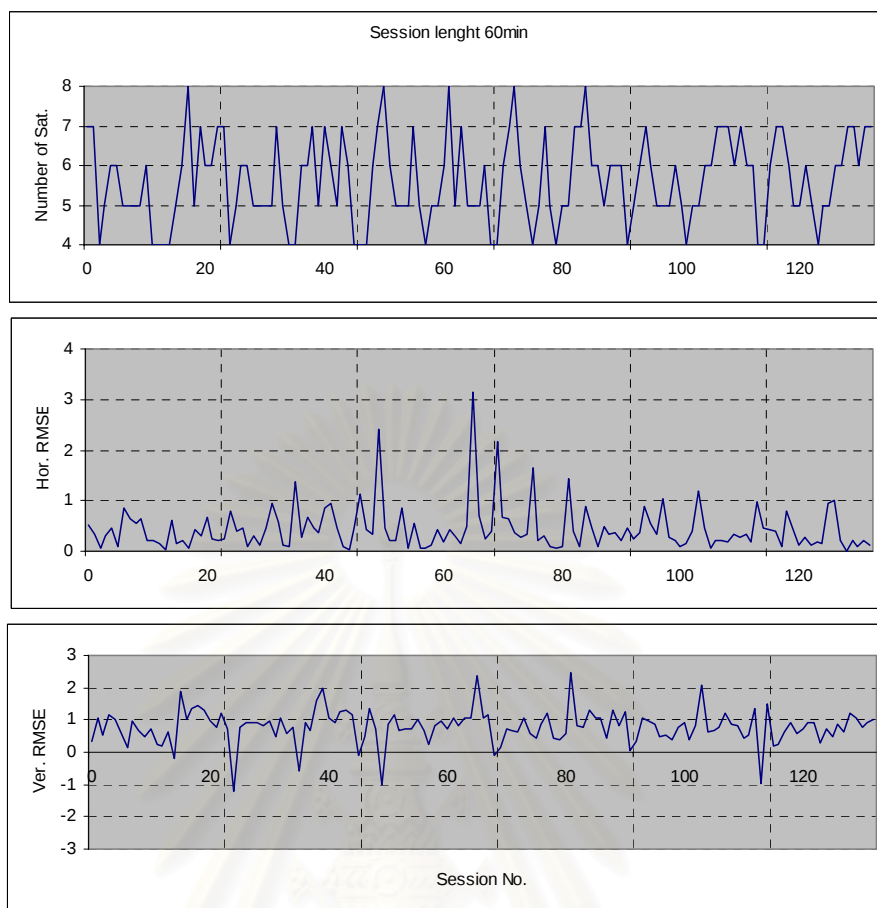
จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.18 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 2.95 เมตรและ 5.19 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.16 เมตรและ 1.09 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.99 เมตรและ 0.95 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.97 เมตรและ 1.39 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	0.85	0.20	0.08	0.79	0.42	0.49	0.42	0.93
26 ตุลาคม 2545	1.33	1.19	0.08	0.80	0.60	0.66	0.59	1.03
27 ตุลาคม 2545	3.15	1.01	0.25	0.83	0.91	0.61	0.93	1.02
28 ตุลาคม 2545	2.18	0.08	0.04	0.83	0.77	0.51	0.74	0.95
29 ตุลาคม 2545	1.10	0.06	0.09	0.78	0.49	0.42	0.48	0.88
30 ตุลาคม 2545	0.93	0.95	0.06	0.71	0.47	0.50	0.44	0.82



รูปที่ 4.20 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

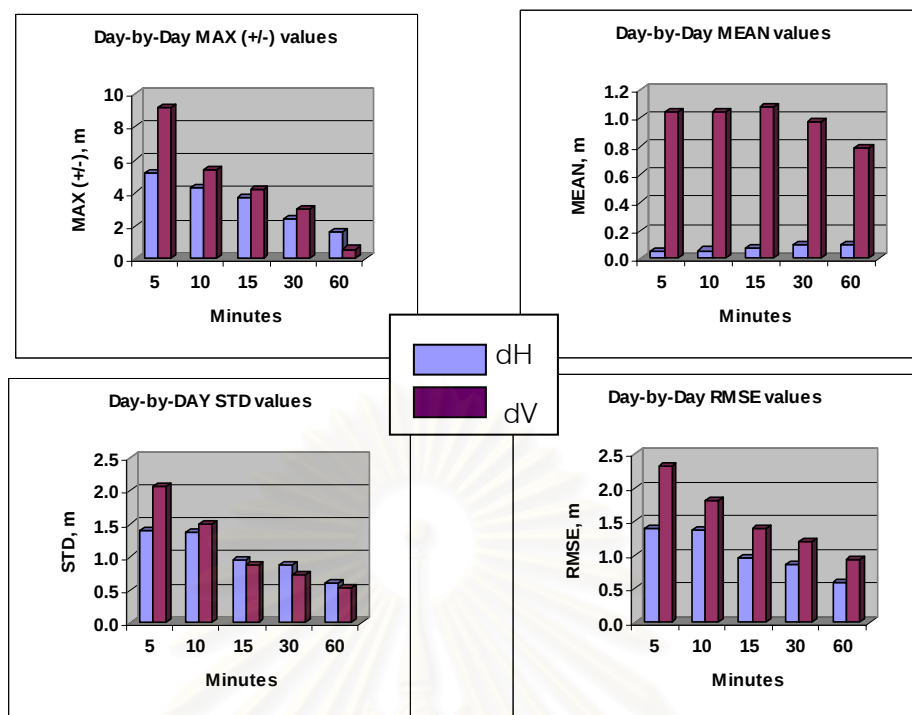
ในรูปที่ 4.21 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.20 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 2.18 เมตรและ 1.19 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.25 เมตรและ 0.83 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.91 เมตรและ 0.66 เมตรตามลำดับ ส่วนค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.93 เมตรและ 1.03 เมตรตามลำดับ

จากกราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียมในรูปที่ 4.12 ถึงรูปที่ 4.21 และค่าทางสถิติของผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.11 พบว่ารูปกราฟทั้ง 6 วัน มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และค่าทางสถิติทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาใกล้เคียงกันของแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่าทางสถิติของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณที่แสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.22 ได้จากการนำค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมาทำการหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.12 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

ช่วงเวลาในการ รับสัญญาณ	ค่าทางสถิติในแต่ละช่วงการรับสัญญาณ							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
5 นาที	5.24	9.19	0.05	1.05	1.40	2.07	1.40	2.32
10 นาที	4.35	5.37	0.06	1.04	1.38	1.49	1.37	1.81
15 นาที	3.75	4.25	0.08	1.08	0.95	0.87	0.95	1.40
30 นาที	2.43	3.01	0.10	0.97	0.88	0.74	0.87	1.21
60 นาที	1.59	0.58	0.10	0.79	0.61	0.53	0.60	0.94



รูปที่ 4.22 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม

จากรูปที่ 4.22 จะพบว่า สำหรับค่าคลาดเคลื่อนทางราบเมื่อใช้ช่วงเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพิ่มขึ้น แนวโน้มของค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งเมื่อใช้ช่วงเวลาในการรับสัญญาณนานขึ้น แนวโน้มของค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ยกเว้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงในกราฟแท่งในแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 ที่พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนบางอย่างที่ยังคงเหลืออยู่ และค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งอาจเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

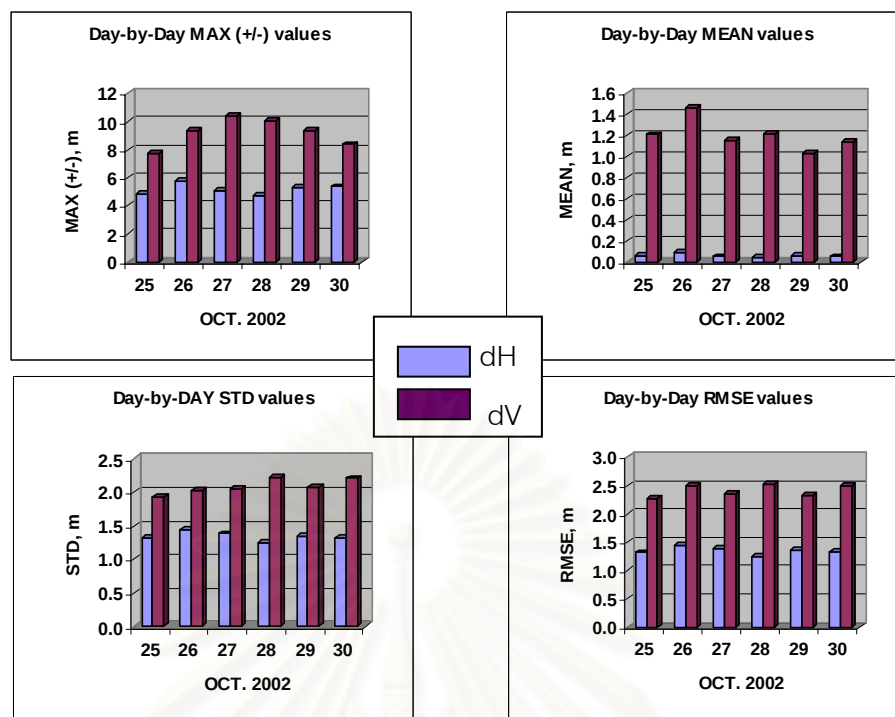
4.1.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

หัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลตลอดทั้ง 6 วัน ด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน โดยจะแสดงผลเปรียบเทียบตามช่วงเวลาที่ตัดแบ่งข้อมูล 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที

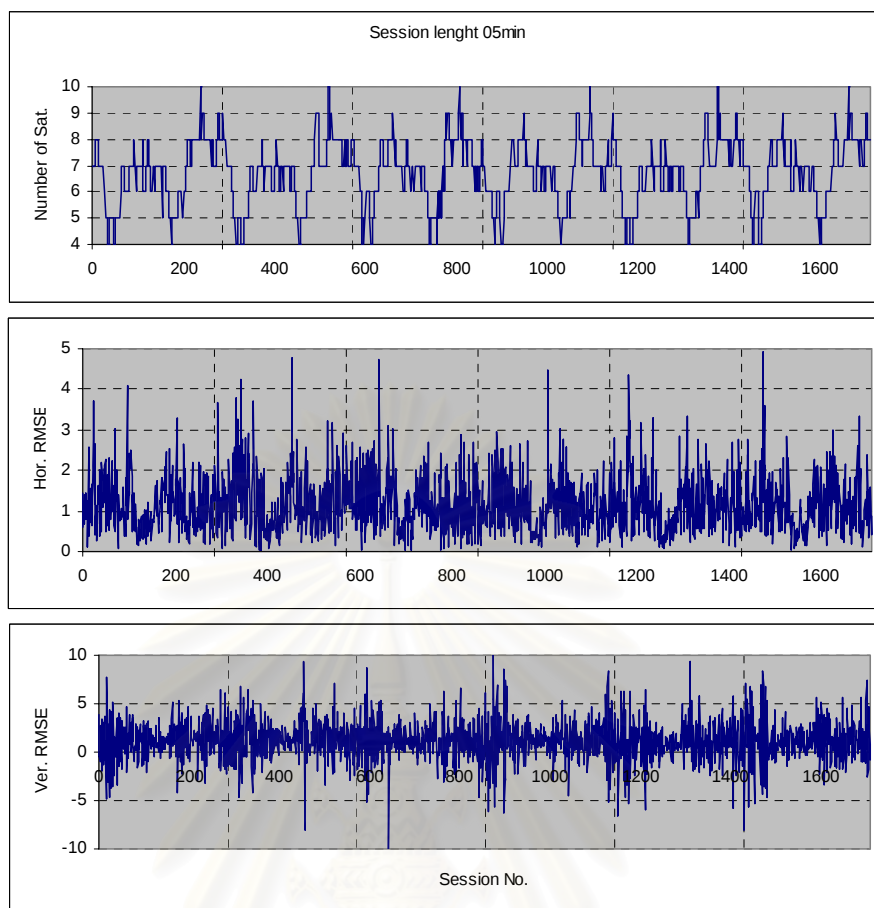
สำหรับค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลชุดข้อมูลตลอดทั้ง 6 วันที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที แสดงในตารางที่ 4.13 รูป 4.23 และรูป 4.24 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที แสดงในตารางที่ 4.14 รูป 4.25 และรูป 4.26 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที แสดงในตารางที่ 4.15 รูป 4.27 และรูป 4.28 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที แสดงในตารางที่ 4.16 รูป 4.29 และรูป 4.30 ที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที แสดงในตารางที่ 4.17 รูป 4.31 และรูป 4.32 และสรุปค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลทุกช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม แสดงในตารางที่ 4.7 และรูป 4.33 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลในช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	4.87	7.75	0.05	1.21	1.32	1.93	1.31	2.28
26 ตุลาคม 2545	5.73	9.39	0.09	1.46	1.45	2.02	1.45	2.49
27 ตุลาคม 2545	5.05	10.40	0.05	1.16	1.38	2.05	1.38	2.35
28 ตุลาคม 2545	4.76	10.09	0.04	1.22	1.25	2.22	1.25	2.53
29 ตุลาคม 2545	5.30	9.37	0.06	1.03	1.35	2.08	1.35	2.32
30 ตุลาคม 2545	5.37	8.39	0.05	1.14	1.33	2.21	1.33	2.48



รูปที่ 4.23 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE



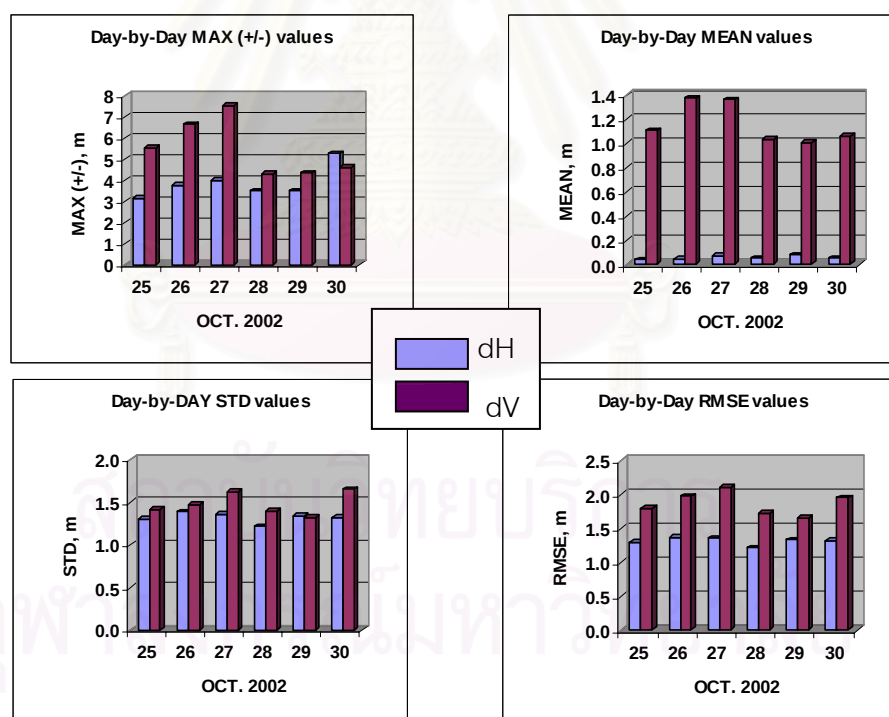
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 5 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

ในรูปที่ 4.24 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

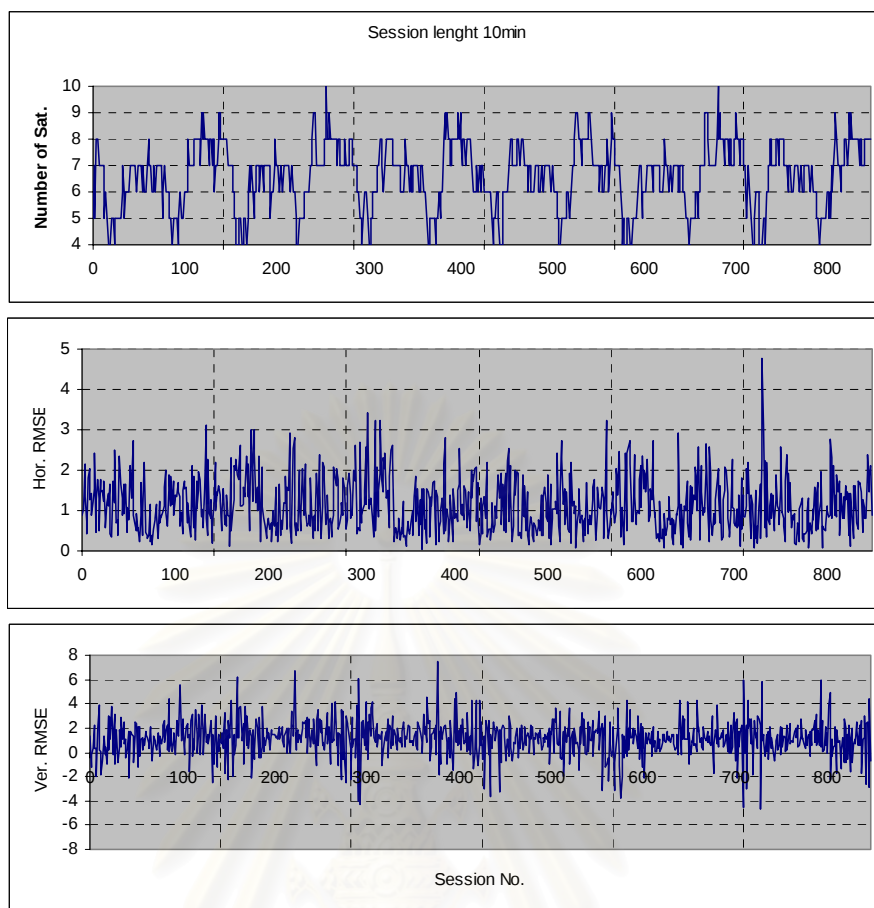
จากตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.23 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 5.73 เมตรและ 10.40 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.09 เมตรและ 1.46 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.45 เมตรและ 2.22 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.45 เมตรและ 2.53 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	3.15	5.55	0.04	1.11	1.30	1.42	1.30	1.80
26 ตุลาคม 2545	3.76	6.67	0.05	1.38	1.39	1.47	1.37	1.98
27 ตุลาคม 2545	3.98	7.53	0.07	1.36	1.36	1.63	1.36	2.12
28 ตุลาคม 2545	3.49	4.28	0.05	1.03	1.22	1.41	1.21	1.73
29 ตุลาคม 2545	3.50	4.35	0.08	1.01	1.34	1.33	1.34	1.67
30 ตุลาคม 2545	5.28	4.61	0.05	1.07	1.32	1.66	1.31	1.96



รูปที่ 4.25 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE



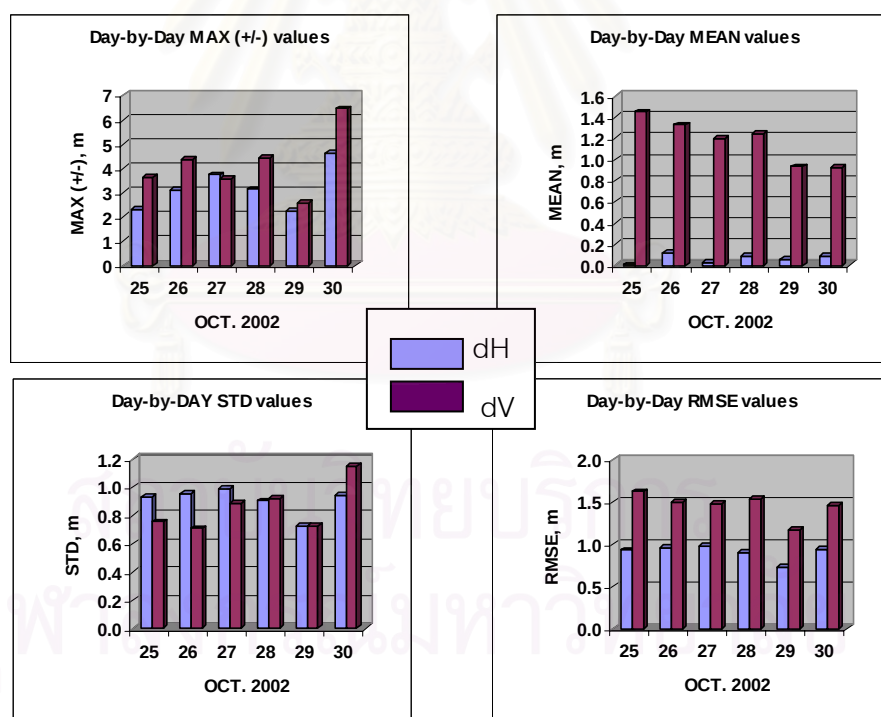
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

ในรูปที่ 4.26 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

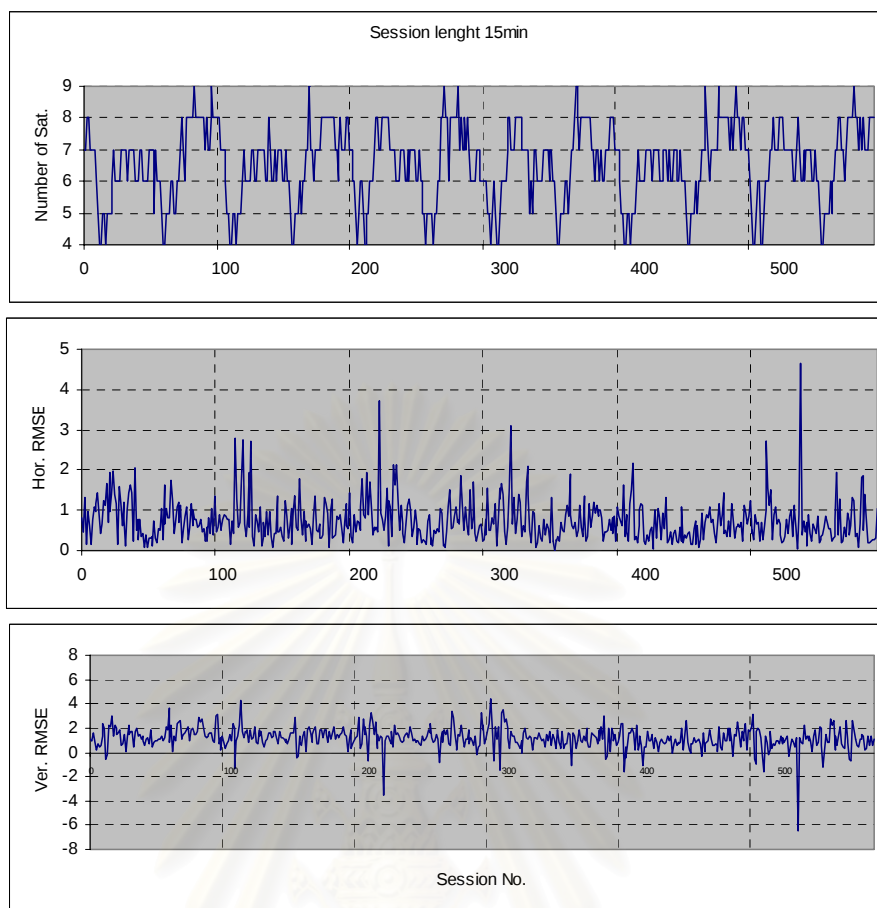
จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.25 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 5.28 เมตรและ 7.53 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.08 เมตรและ 1.38 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.39 เมตรและ 1.66 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 1.37 เมตรและ 2.12 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.30	3.62	0.00	1.45	0.94	0.75	0.93	1.63
26 ตุลาคม 2545	3.11	4.35	0.11	1.32	0.96	0.71	0.96	1.50
27 ตุลาคม 2545	3.73	3.55	0.03	1.20	0.99	0.89	0.98	1.48
28 ตุลาคม 2545	3.14	4.43	0.08	1.25	0.90	0.92	0.90	1.54
29 ตุลาคม 2545	2.26	2.56	0.06	0.93	0.73	0.73	0.73	1.18
30 ตุลาคม 2545	4.64	6.45	0.09	0.92	0.94	1.15	0.94	1.47



รูปที่ 4.27 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE



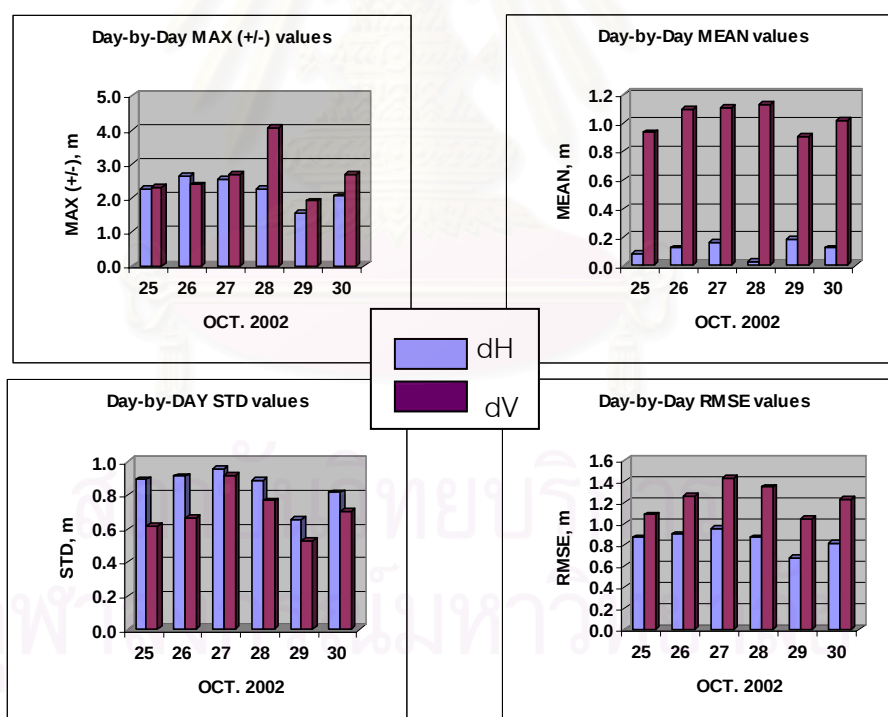
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

ในรูปที่ 4.28 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

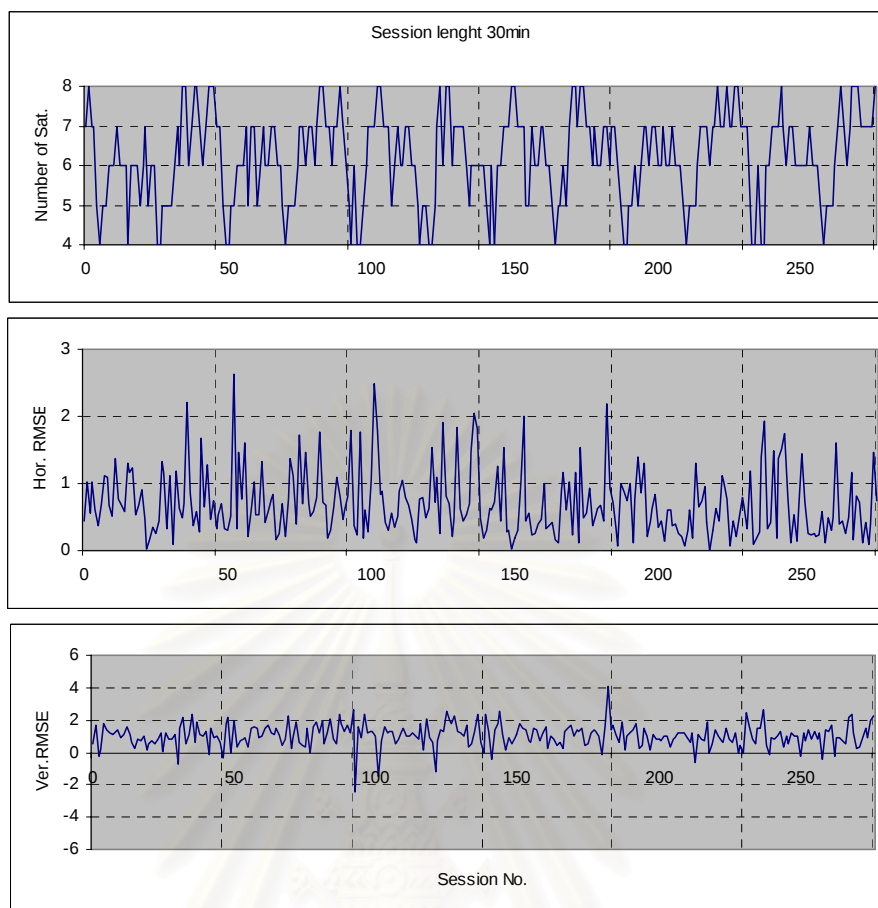
จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.27 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 4.64 เมตรและ 6.45 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.11 เมตรและ 1.45 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.99 เมตรและ 1.15 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.98 เมตรและ 1.63 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	2.28	2.32	0.08	0.93	0.90	0.61	0.87	1.09
26 ตุลาคม 2545	2.64	2.38	0.12	1.09	0.91	0.67	0.90	1.26
27 ตุลาคม 2545	2.55	2.68	0.16	1.11	0.96	0.92	0.96	1.43
28 ตุลาคม 2545	2.25	4.05	0.02	1.13	0.89	0.77	0.87	1.35
29 ตุลาคม 2545	1.54	1.91	0.18	0.91	0.66	0.53	0.68	1.04
30 ตุลาคม 2545	2.05	2.69	0.12	1.02	0.82	0.70	0.82	1.23



รูปที่ 4.29 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE



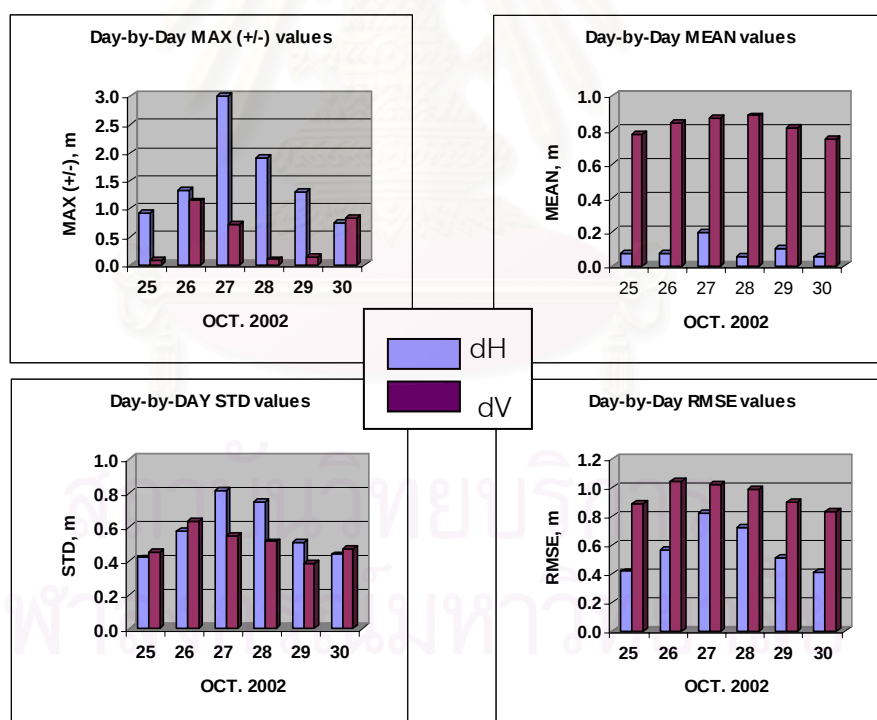
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

ในรูปที่ 4.30 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

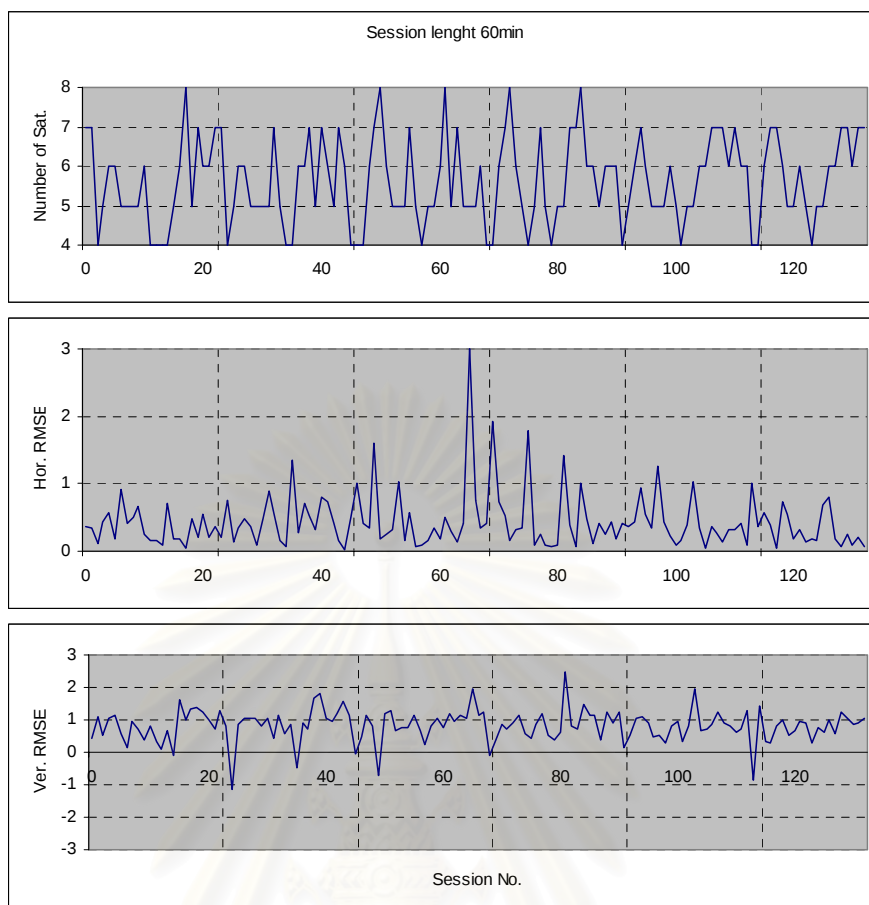
จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.29 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 2.64 เมตรและ 4.05 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.18 เมตรและ 1.13 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.96 เมตรและ 0.92 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.96 เมตรและ 1.43 เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

วันที่	ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
25 ตุลาคม 2545	0.92	0.09	0.08	0.77	0.42	0.45	0.42	0.89
26 ตุลาคม 2545	1.32	1.14	0.08	0.84	0.58	0.64	0.57	1.04
27 ตุลาคม 2545	3.00	0.73	0.19	0.87	0.82	0.55	0.82	1.02
28 ตุลาคม 2545	1.92	0.10	0.05	0.88	0.75	0.51	0.72	1.00
29 ตุลาคม 2545	1.29	0.13	0.10	0.81	0.51	0.39	0.51	0.90
30 ตุลาคม 2545	0.75	0.84	0.06	0.75	0.44	0.47	0.41	0.84



รูปที่ 4.31 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

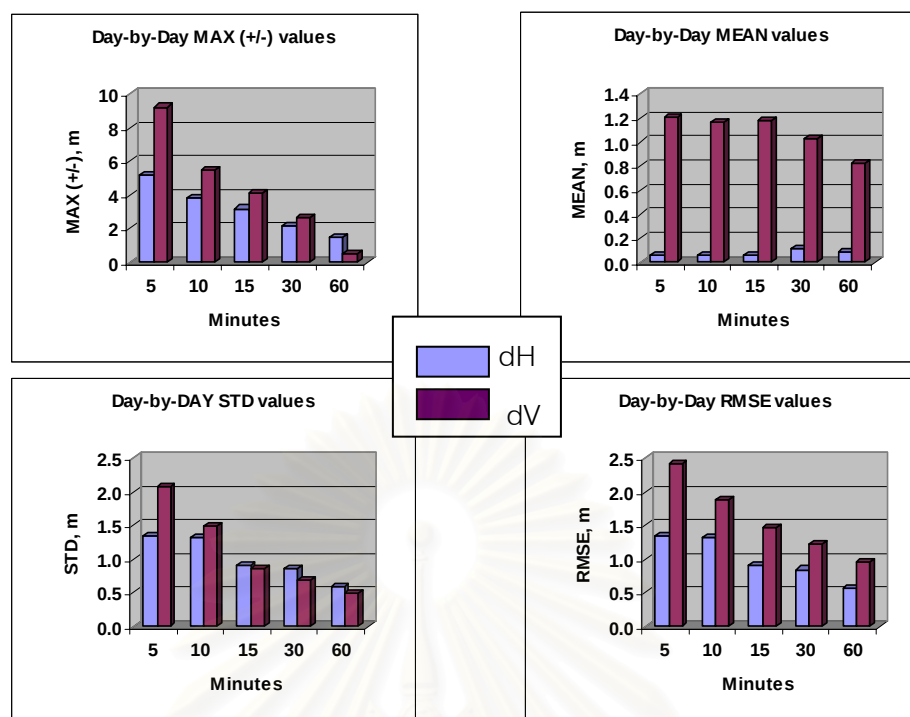
ในรูปที่ 4.32 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ในขณะที่กราฟย่อยรูปกลางและล่าง แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลตามลำดับ

จากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.31 พบว่าค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วัน มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดประมาณ 3.00 เมตรและ 1.14 เมตรตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกันในแต่ละวันและจำนวนดาวเทียมของชุดข้อมูลนั้นมีน้อยดวง สำหรับค่าเฉลี่ยทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.19 เมตรและ 0.88 เมตรตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.82 เมตรและ 0.64 เมตรตามลำดับ สุดท้ายค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งมีค่าประมาณ 0.82 เมตรและ 1.04 เมตรตามลำดับ

จากกราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE ในรูปที่ 4.23 ถึงรูปที่ 4.32 และค่าทางสถิติของผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 4.13 ถึงตารางที่ 4.17 พบว่ารูปกราฟทั้ง 6 วันมีลักษณะคล้ายคลึงกัน และค่าทางสถิติทั้ง 6 วันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงค่าคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาใกล้เคียงกันของแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่าทางสถิติของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณที่แสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.33 ได้จากการนำค่าทางสถิติของข้อมูลทั้ง 6 วันมาทำการหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.18 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณควมเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

ช่วงเวลาในการ รับสัญญาณ	ค่าทางสถิติในแต่ละช่วงการรับสัญญาณ							
	MAX(+/-) (เมตร)		MEAN (เมตร)		STD (เมตร)		RMSE (เมตร)	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV	dH	dV
5 นาที	5.18	9.23	0.06	1.20	1.35	2.09	1.35	2.41
10 นาที	3.86	5.50	0.05	1.16	1.32	1.48	1.31	1.88
15 นาที	3.20	4.16	0.06	1.18	0.91	0.86	0.91	1.47
30 นาที	2.22	2.67	0.11	1.03	0.85	0.70	0.85	1.23
60 นาที	1.53	0.50	0.09	0.82	0.59	0.50	0.57	0.95



รูปที่ 4.33 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE

จากรูปที่ 4.33 จะพบว่า สำหรับค่าคลาดเคลื่อนทางราบเมื่อใช้ช่วงเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเพิ่มขึ้น แนวโน้มของค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งเมื่อใช้ช่วงเวลาในการรับสัญญาณนานขึ้น แนวโน้มของค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ยกเว้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงในกราฟแท่งในแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 ที่พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งแสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนบางอย่างที่ยังคงเหลืออยู่ และค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งอาจเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั้งสามกรณี

การเปรียบเทียบความถูกต้องทางราบและทางดิ่งของผลลัพธ์สรุปรวมทั้ง 6 วันของการประมวลผลทั้งสามกรณีแสดงในตาราง 4.19 รูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.35 ตามลำดับ โดยที่

กรณีที่ 1 เป็นการประมวลผลด้วยวิธี กำลังสองน้อยที่สุดโดยให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน

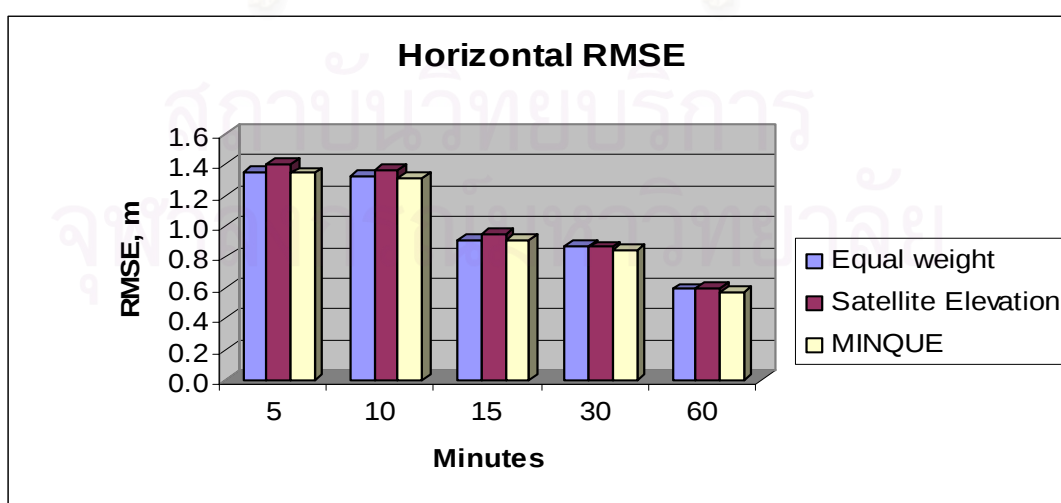
กรณีที่ 2 เป็นการประมวลผลด้วยวิธี กำลังสองน้อยที่สุดโดยให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม

กรณีที่ 3 เป็นการประมวลผลด้วยวิธี กำลังสองน้อยที่สุดโดยให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความ

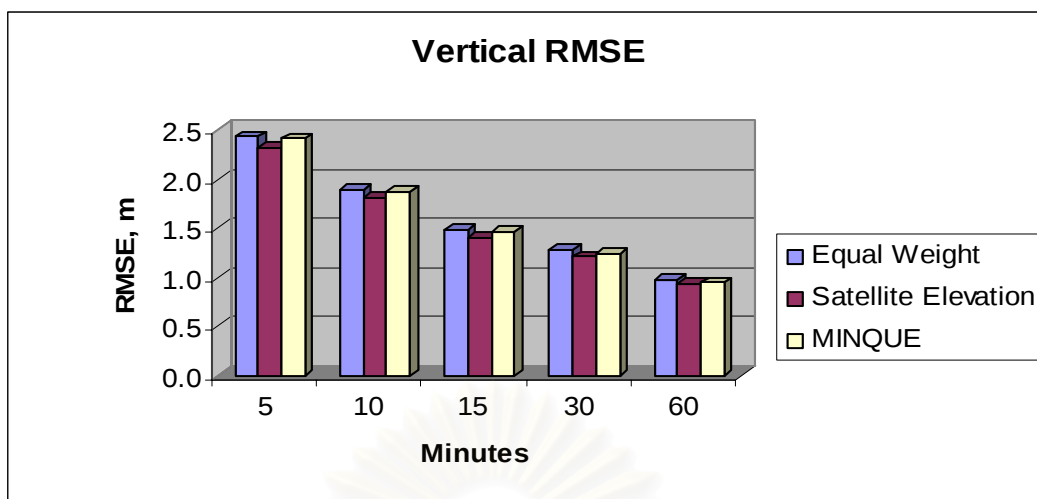
แปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

ตารางที่ 4.19 ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม (หน่วย – เมตร)

ช่วงการรับสัญญาณ	กรณีที่ 1 น้ำหนักเท่ากัน		กรณีที่ 2 มุมสูงดาวเทียม		กรณีที่ 3 วิธี MINQUE	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV
5 นาที	1.35	2.43	1.40	2.32	1.35	2.41
10 นาที	1.33	1.89	1.37	1.81	1.31	1.88
15 นาที	0.91	1.48	0.95	1.40	0.91	1.47
30 นาที	0.88	1.29	0.87	1.21	0.85	1.23
60 นาที	0.59	0.98	0.60	0.94	0.57	0.95



รูปที่ 4.34 กราฟแท่งแสดงค่า RMSE ทางราบในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณทั้ง 4 กรณี



รูปที่ 4.35 กราฟแท่งแสดงค่า RMSE ทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณทั้ง 4 กรณี

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.34 และ 4.35 เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีที่แสดงไว้ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางราบของข้อมูลทั้งสามชุดมีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่า 1.50 เมตรในระยะเวลาการรับสัญญาณเพียง 5 นาที และมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเป็นเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อรับสัญญาณเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่ได้มีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.60 เมตร สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ในการรับสัญญาณดาวเทียมเป็นเวลา 5 นาที ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้อยู่ในระดับประมาณ 2.50 เมตรและมีค่าลดลงเรื่อยๆเช่นกันเมื่อใช้เวลาในการรับสัญญาณนานขึ้น เมื่อรับสัญญาณครบ 1 ชั่วโมง ค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งที่ได้อยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เมตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทางราบระหว่างข้อมูลทั้งสามชุด พบว่ากรณีที่สาม ซึ่งเป็นการให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ให้ค่าความถูกต้องดีที่สุดในทุกช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งระหว่างข้อมูลทั้งสามชุด พบว่ากรณีที่สอง ซึ่งเป็นการให้น้ำหนักโดยใช้มุมสูงของดาวเทียม ให้ค่าความถูกต้องดีที่สุดในทุกช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม

สำหรับความถูกต้องทางราบและทางดิ่งของผลลัพธ์ที่ประมวลผลด้วยวิธีการข้างต้นทั้ง 3 กรณีที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์คำนวณได้จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 ดังแสดงในตาราง 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (หน่วย – เมตร)

ช่วงการรับสัญญาณ	กรณีที่ 1 น้ำหนักเท่ากัน		กรณีที่ 2 มุมสูงดาวเทียม		กรณีที่ 3 วิธีMINQUE	
	dH	dV	dH	dV	dH	dV
5นาที	2.34	4.76	2.42	4.59	2.33	4.38
10นาที	2.30	3.71	2.36	3.57	2.27	3.48
15นาที	1.58	2.91	1.63	2.77	1.57	2.70
30นาที	1.52	2.52	1.50	2.38	1.47	2.31
60นาที	1.03	1.91	1.03	1.84	0.99	1.72

4.3 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องระหว่างข้อมูลแต่ละชุด

เพื่อหาค่าต่างของค่าความถูกต้องระหว่างข้อมูลแต่ละชุดที่ให้แบบจำลองสโตคาสติกต่างกัน มีนัยสำคัญหรือไม่ จึงต้องทำการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสมมติฐาน (Hypotheses testing) ถ้าผลการทดสอบที่ได้บ่งชี้ว่าค่าต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ ก็หมายความว่าแบบจำลองสโตคาสติกทุกแบบให้ค่าความถูกต้องไม่แตกต่างกัน แต่หากผลการทดสอบที่ได้บ่งชี้ว่าค่าต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญ ก็จะสรุปได้ว่าแบบจำลองสโตคาสติกแบบใดให้ค่าความถูกต้องดีที่สุด รายละเอียดของการทดสอบสมมติฐานมีดังนี้ (Shao, 1976)

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}} \quad 4.7$$

$$\sigma_{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)} = \sqrt{\sigma_{\bar{X}_1}^2 + \sigma_{\bar{X}_2}^2} \quad 4.8$$

โดยกำหนดให้

$\bar{X}_1$ คือ ค่าเฉลี่ยมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักค่าสังเกตเท่ากัน

$\bar{X}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองสโตคาสติกโดยใช้มุมสูงดาวเทียมหรือใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

$\sigma_{x_1}^2$ คือ ค่า RMSE ของข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักค่าสังเกตเท่ากัน

$\sigma_{x_2}^2$ คือ ค่า RMSE ของข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองแบบจำลองสโตคาสติกโดยใช้มุมสูงดาวเทียมหรือใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

และทำการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ถ้า $Z_{\alpha=0.05} = 1.96$ โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 = \text{ค่าต่างไม่มีนัยสำคัญ} \quad \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0$$

$$H_a = \text{ค่าต่างมีนัยสำคัญ} \quad \bar{X}_1 - \bar{X}_2 \neq 0$$

แล้วจึงทำการทดสอบโดยแทนค่าต่างๆในสมการ 4.7 และสมการ 4.8 และนำค่า Z ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับ $Z_{\alpha=0.05} = 1.96$ ถ้าค่า Z น้อยกว่า 1.96 จะยอมรับ H_0 แต่ถ้าค่า Z มากกว่า 1.96 จะปฏิเสธ H_0 โดยแสดงผลการทดสอบสมมติฐานแบ่งเป็นกรณีย่อยๆได้ดังหัวข้อข้างล่างนี้

4.3.1 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องทางราบ

ผลการทดสอบทางสถิติของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางราบระหว่างแต่ละกรณีการให้น้ำหนักค่าสังเกต ปรากฏดังตารางที่ 4.21, 4.22 และ 4.23

- ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมมองของดาวเทียม

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมมองของดาวเทียม

เวลา	Z	$\bar{X}_1$ (มม.)	$\bar{X}_2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_1}^2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_2}^2$ (มม.)	ผลสรุป
5นาทีก	0.005	0.056	0.047	1.352	1.402	ยอมรับ Ho
10นาทีก	0.001	0.058	0.056	1.330	1.368	ยอมรับ Ho
15นาทีก	-0.011	0.064	0.079	0.914	0.948	ยอมรับ Ho
30นาทีก	0.020	0.124	0.100	0.876	0.866	ยอมรับ Ho
60นาทีก	0.000	0.098	0.099	0.593	0.599	ยอมรับ Ho

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางราบระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมมองของดาวเทียม ในแต่ละช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ปรากฏออกมาว่ายอมรับ Ho หมายความว่าแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันกับแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักจากมุมมองของดาวเทียมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

เวลา	Z	$\bar{X}_1$ (มม.)	$\bar{X}_3$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_1}^2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_3}^2$ (มม.)	ผลสรุป
5นาทีก	0.000	0.056	0.057	1.352	1.346	ยอมรับ Ho
10นาทีก	0.002	0.058	0.055	1.330	1.314	ยอมรับ Ho
15นาทีก	0.001	0.064	0.062	0.914	0.907	ยอมรับ Ho
30นาทีก	0.008	0.124	0.115	0.876	0.849	ยอมรับ Ho
60นาทีก	0.007	0.098	0.093	0.593	0.575	ยอมรับ Ho

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางราบระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ในแต่ละช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ปรากฏออกมาว่ายอมรับ H_0 หมายความว่า แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันกับแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักจากการใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

เวลา	Z	$\bar{X}_2$ (มม.)	$\bar{X}_3$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_2}^2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_3}^2$ (มม.)	ผลสรุป
5 นาที	-0.005	0.047	0.057	1.402	1.346	ยอมรับ H_0
10 นาที	0.001	0.056	0.055	1.368	1.314	ยอมรับ H_0
15 นาที	0.013	0.079	0.062	0.948	0.907	ยอมรับ H_0
30 นาที	-0.012	0.100	0.115	0.866	0.849	ยอมรับ H_0
60 นาที	0.007	0.099	0.093	0.599	0.575	ยอมรับ H_0

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางราบระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ในแต่ละช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ปรากฏออกมาว่ายอมรับ H_0 หมายความว่า แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมกับแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักจากการใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.3.2 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องทางดิ่ง

ผลการทดสอบทางสถิติของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางดิ่งระหว่างแต่ละกรณีการให้น้ำหนักค่าสังเกต ปรากฏดังตารางที่ 4.24, 4.25 และ 4.26

- ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม

เวลา	Z	$\bar{X}_1$ (มม.)	$\bar{X}_2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_1}^2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_2}^2$ (มม.)	ผลสรุป
5นาทีก	0.044	1.195	1.046	2.428	2.324	ยอมรับ Ho
10นาทีก	0.046	1.165	1.044	1.891	1.814	ยอมรับ Ho
15นาทีก	0.054	1.188	1.078	1.483	1.398	ยอมรับ Ho
30นาทีก	0.044	1.053	0.975	1.287	1.209	ยอมรับ Ho
60นาทีก	0.031	0.832	0.790	0.975	0.938	ยอมรับ Ho

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางดิ่งระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม ในแต่ละช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ปรากฏออกมาว่ายอมรับ Ho หมายความว่าแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันกับแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

เวลา	Z	$\bar{X}_1$ (มม.)	$\bar{X}_3$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_1}^2$ (มม.)	$\sigma_{\bar{X}_3}^2$ (มม.)	ผลสรุป
5นาทีก	-0.002	1.195	1.204	2.428	2.409	ยอมรับ Ho
10นาทีก	0.002	1.165	1.159	1.891	1.875	ยอมรับ Ho
15นาทีก	0.005	1.188	1.177	1.483	1.466	ยอมรับ Ho
30นาทีก	0.012	1.053	1.031	1.287	1.235	ยอมรับ Ho
60นาทีก	0.009	0.832	0.821	0.975	0.948	ยอมรับ Ho

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางดิ่งระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ในแต่ละช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ปรากฏออกมาว่ายอมรับ H_0 หมายความว่า แบบจำลองสโตคาสติกที่ให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันกับแบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักจากการใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบสมมติฐาน (ค่าความถูกต้องทางดิ่ง) ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

เวลา	Z	$\bar{X}_2$ (มม.)	$\bar{X}_3$ (มม.)	$\sigma^2_{\bar{X}_2}$ (มม.)	$\sigma^2_{\bar{X}_3}$ (มม.)	ผลสรุป
5 นาที	-0.047	1.046	1.204	2.324	2.409	ยอมรับ H_0
10 นาที	-0.044	1.044	1.159	1.814	1.875	ยอมรับ H_0
15 นาที	-0.049	1.078	1.177	1.398	1.466	ยอมรับ H_0
30 นาที	-0.033	0.975	1.031	1.209	1.235	ยอมรับ H_0
60 นาที	-0.023	0.790	0.821	0.938	0.948	ยอมรับ H_0

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางดิ่งระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ในแต่ละช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ปรากฏออกมาว่ายอมรับ H_0 หมายความว่า แบบจำลองสโตคาสติกที่ให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมกับแบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักจากการใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

บทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยในหัวข้อการปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบจุดเดียวที่ให้ ความละเอียดสูงด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความ แปรปรวนร่วม สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ค่าความละเอียดสูงที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนา ต่อด้วยโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.5 โดยทำการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้ จากการเก็บข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตสองความถี่ บนคาบฟ้าอาคารวิทยนิเวศน์ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่วันที่ 25 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2545 โดยทำการ ประมวลผลข้อมูลเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณ ดาวเทียมที่ต่างกัน ได้แก่ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที และเปรียบเทียบความ ถูกต้องของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลารับสัญญาณดาวเทียมที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลัง สองน้อยที่สุดโดยใช้แบบจำลองสโตคาสติกที่ต่างกัน 3 แบบ คือ

- แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน
- แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม
- และแบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ ประมาณค่าจากวิธี MINQUE

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบให้น้ำหนักค่า สังเกตทุกตัวเท่ากัน พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องทางราบของช่วง ระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 2.34 เมตร, 2.30 เมตร, 1.58 เมตร, 1.52 เมตรและ 1.03 เมตรตามลำดับ ความถูกต้องทางดิ่งของช่วง ระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 4.76 เมตร, 3.71 เมตร, 2.91 เมตร, 2.52 เมตรและ 1.91 เมตรตามลำดับ

5.1.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ความถูกต้องทางราบของช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 2.42 เมตร, 2.36 เมตร, 1.63 เมตร, 1.50 เมตรและ 1.03 เมตรตามลำดับ ความถูกต้องทางดิ่งของช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 4.59 เมตร, 3.57 เมตร, 2.77 เมตร, 2.38 เมตรและ 1.84 เมตรตามลำดับ

5.1.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ความถูกต้องทางราบของช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 2.64 เมตร, 2.57 เมตร, 1.78 เมตร, 1.67 เมตรและ 1.13 เมตรตามลำดับ ความถูกต้องทางดิ่งของช่วงระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 30 นาทีและ 60 นาที มีค่า 4.38 เมตร, 3.48 เมตร, 2.70 เมตร, 2.31 เมตรและ 1.72 เมตรตามลำดับ

5.1.4 เปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดโดยให้น้ำหนักตามแบบจำลองสโตคาสติกสามกรณีข้างต้น สำหรับค่าความถูกต้องทางราบ พบว่าแบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE ให้ค่าความถูกต้องดีที่สุด สำหรับค่าความถูกต้องทางดิ่ง พบว่าแบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักโดยใช้มุมสูงของดาวเทียมให้ค่าความถูกต้องดีที่สุด

5.1.5 ผลการทดสอบทางสถิติของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยให้น้ำหนักตามแบบจำลองสโตคาสติกสามกรณีข้างต้น เมื่อทำการทดสอบทางสมมติฐานด้วยการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสโตคาสติกแต่ละแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้แบบจำลองสโตคาสติกใดก็ได้ตามความต้องการ

5.1.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลแต่ละวิธีซึ่งสอดคล้องกันยืนยันว่า ความถูกต้องของผลลัพธ์มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม โดยระยะเวลาดที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียมที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น โดยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ความถูกต้องทางราบมีค่าน้อยกว่า 2.50 เมตร เมื่อรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 5 นาที และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมเป็น 60 นาที ค่าความถูกต้องทางราบของผลลัพธ์ลดลงเหลือประมาณ 1 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลการวัดรหัสและวัดเฟสของคลื่นส่งจากเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ และมุ่งเน้นที่การปรับปรุงแบบจำลองสโตคาสติก ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม และแบบจำลองสโตคาสติกซึ่งให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE นอกเหนือจากการใช้แบบจำลองสโตคาสติกโดยให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันซึ่งใช้กันทั่วไป ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติของค่าต่างของค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสโตคาสติกทั้งสามกรณีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงควรมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อหาแบบจำลองสโตคาสติกอื่นๆที่เหมาะสมยิ่งกว่านี้ ซึ่งจะทำการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงมีความถูกต้องสูงขึ้นกว่าเดิมได้

นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมวลผลได้ด้วยการเพิ่มฟังก์ชันเพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนอื่นๆเข้ามารวมในซอฟต์แวร์ด้วย เช่น การตรวจจับคลื่นสะท้อน (Multipath) และการตรวจจับคลื่นหลุด (Cycle Slip) ซึ่งมีผลทำให้ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลมีความคลาดเคลื่อนส่วนหนึ่งแฝงอยู่ และส่งผลให้ค่าพิกัดที่ได้มีความผิดเพี้ยนไป หากมีการตรวจสอบข้อมูลในส่วนนี้ร่วมด้วยได้ ค่าพิกัดผลลัพธ์จะมีความถูกต้องสูงขึ้น

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

- 5.3.1 ทำให้เข้าใจถึงหลักการหาตำแหน่งแบบจุดเดียวความละเอียดสูง
- 5.3.2 แบบจำลองสโตคาสติกซึ่งให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE เป็นแบบจำลองสโตคาสติกอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณปรับแก้ในการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงได้
- 5.3.3 ได้แนวทางในการเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการรับสัญญาณดาวเทียมในระดับความถูกต้องที่ต้องการ เช่น หากต้องการความถูกต้องทางราบของค่าพิกัดในระดับต่ำกว่า 2.50 เมตร ทำการรับสัญญาณดาวเทียมเป็นระยะเวลา 5 นาทีก็เพียงพอ
- 5.3.4 ได้ซอฟต์แวร์ต้นแบบสำหรับการหาตำแหน่งแบบจุดเดียวความละเอียดสูงซึ่งทำการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อในอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546. การเปรียบเทียบการให้บริการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2546 หน้า GPS & SV 39-53. 18 - 20 พฤศจิกายน 2546 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ.
- ภักพงษ์ หอมเนียม และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546. การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส. การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2546. หน้า GPS & SV 14-25. 18 - 20 พฤศจิกายน 2546 ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ.
- ภักพงษ์ หอมเนียม. 2547. การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาดำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชาย เกียรติไกรวสิน. 2549. การประเมินความถูกต้องของการหาดำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงกับข้อมูลจีพีเอสความถี่เดียว โดยใช้แบบจำลองค่าสังเกตของรหัสและเฟสที่ปราศจากผลของไอโอโนสเฟียร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- GeoScience. 2007. Auspos – Online GPS processing service web site [Online]. Available from : <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl> [2007, February 1].
- Gerdan, George P. 1995. A Comparison of Four Methods of Weighting Double Difference Psuedorange Measurements. TRAN TASMAN SURVEYOR. 1(1) : 60-66.
- IGS. 2007. IGS Products. [Online]. Available from : <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> [2007, February 1].
- Leick, A. 1995. GPS Satellite Surveying. 2 nd ed. New York : John Wiley & Sons.
- NGS. 2007. SP3 format [Online]. Available from : http://www.ngs.noaa.gov/GPS/SP3_format.html [2007, February 1].
- Niell, A. E. 1996. Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelength. J. Geophys. 101(B2): 3227-3246.
- Rao, C.R., 1970. Estimation of heterogeneous variances in linear models. Journal of American Statistical Association. 65:161-172. Cited in Stirapod, C. 2002. Improving the GPS Data Processing Algorithm for Precise Static Relative Positioning. PhD thesis. School

of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia.

- Rao, C.R., 1971. Estimation of variance and covariance components - MINQUE. Journal of Multivariate Analysis 1:257-275. Cited in Stirapod, C. 2002. Improving the GPS Data Processing Algorithm for Precise Static Relative Positioning. PhD thesis. School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia.
- Rizos, C. 1997. Principles and Practice of GPS surveying. Monograph 17. School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales.
- Saastanoinen, J. 1973. Contribution to the theory of atmospheric refraction. Bulletin Geodesique. 107 : 13-34.
- Shao, Stephan P. 1976. Statistics for Business and Economics. Columbus : Merrill Publishing Company.
- Stirapod, C., 2001. Improving the Accuracy of Static GPS Positioning with a New Stochastic Modelling Procedure. Proceedings of the 14th Inst. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation. September 2001: 2196-2205.
- Zumberge, J.F., M. M. Watkins, and F. H. Webb. 1997. Characteristics and Application of Precise GPS Clock Solutions Every 30 Seconds. Navigation: J. the Inst. Of Navigation. 44(4) : 449-456.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นางสาวมยุรา ล้วนเส้ง
วันเดือนปีเกิด: 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2523
คุณวุฒิทางการศึกษา:
 พ.ศ. 2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรม
 สำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์การทำงาน:

พ.ศ. 2546-2549 ผู้ช่วยสอนภาคสนามวิชาสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

บทความตีพิมพ์

1. เกลิมชนม์ สติระพจน์และมยุรา ล้วนเส้ง. 2549. การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่ง
 แบบจุดเดียวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความ
 แปรปรวนร่วม. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย
 ปีที่ 7 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2549 : 48-53

2. มยุรา ล้วนเส้ง และ เกลิมชนม์ สติระพจน์. 2549. การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่ง
 แบบจุดเดียวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความ
 แปรปรวนร่วม. การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2549. ณ
 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี 5 - 8 พฤศจิกายน 2549

การบรรยาย

มยุรา ล้วนเส้ง และ เกลิมชนม์ สติระพจน์. 2549. การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่ง
 แบบจุดเดียวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความ
 แปรปรวนร่วม. การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2549. ณ
 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี 5 - 8 พฤศจิกายน 2549