

การหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส



นายสำเนียง สุธระ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

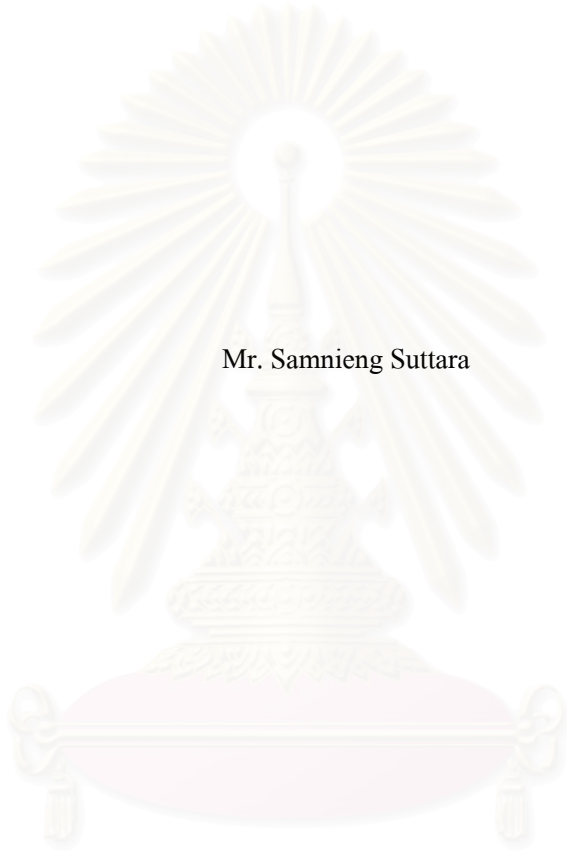
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DETERMINATION OF PRECIPITABLE WATER VAPOR CONTENT USING GPS
OBSERVATION**



Mr. Samnieng Suttara

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

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
สาขาวิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

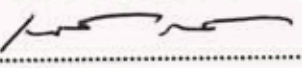
การหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส
นายสำเนียง สุตระ
วิศวกรรมสำรวจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์

คณะกรรมการศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

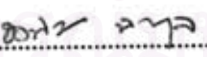

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกரியงไกรเพชร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล)

สำเนียง สุตะระ : การหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส
(DETERMINATION OF PRECIPITABLE WATER VAPOR CONTENT USING GPS
OBSERVATION) อ. ที่ปรึกษา : ศศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 71 หน้า.

ปริมาณความชื้นในบรรยากาศถือเป็นตัวแปรหลักในการพยากรณ์อากาศ ซึ่งสามารถศึกษาการแปรเปลี่ยนของสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูกาลได้ โดยปกติค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศสามารถรังวัดได้โดยตรงจากเครื่องมือโคเวเฟรดิโอมิเตอร์ อย่างไรก็ตามราคาของชุดเครื่องมือดังกล่าวยังถือว่าสูงมากหากต้องการที่จะติดตั้งในทุกสถานที่ตามที่ต้องการ เนื่องจากราคาของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบสองความถี่นั้นถูกกว่าเครื่องมือโคเวเฟรดิโอมิเตอร์ประมาณสิบเท่า ดังนั้นทางเลือกอีกทางในการหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ คือการแปลงค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ในข้อมูลจีพีเอสมาเป็น ค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจีพีเอสสามช่วงด้วยกันคือตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2544, วันที่ 4 พฤศจิกายน ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2545 และวันที่ 2 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากจีพีเอส ในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลได้เลือกใช้ แบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มาตรฐานที่ต่างกันสามแบบจำลอง คือแบบจำลอง Saastamoinen แบบจำลอง Modified Hopfield และแบบจำลอง Essen and Froome พบว่าค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากจีพีเอสที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันที่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามก็ตามค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Essen and Froome เป็นค่าที่ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ
สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต *Suri*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Chelom Sthiporn*

4670554521 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD : GPS / PRECIPITABLE WATER VAPOR CONTENT/TROPOSPHERICE

SAMNIENG SUTTARA : DETERMINATION PRECIPITABLE WATER VAPOR

CONTENT USING GPS OBSERVATION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.

CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph. D., 71 pp.

The Precipitable Water Vapor (PWV) content is the main variable for weather forecasting and can be used to study the variation of climate in any season. Normally, the PWV content can be measured directly from Microwave Radiometer. However, the cost of this instrument is still far too expensive to install at any locations. Since the cost of a dual-frequency GPS receiver is about ten times less expensive than the Microwave Radiometer, an alternative way to determine the PWV content is to convert the tropospheric bias contaminated in GPS data to the PWV content. In this study, we used three periods of GPS data, August 6 to October 31, 2001, November 4 to December 28, 2002 and March 2 to March 31, 2004. In order to investigate a sensitivity of GPS-derived PWV values, three standard tropospheric models, namely Saastamoinen model, Modified Hopfield model, and Essen and Froome model were used in the data processing step. It was found that there are no significant differences in the GPS-derived PWV values. However, It should be noted that based on the results in this investigation. The use of Essen and Froome model tends to produce the best estimated PWV values.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Survey Engineering

Student's signature

Field of study Survey Engineering

Advisor's signature

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เณิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว และให้กำลังใจข้าพเจ้ามาโดยตลอด และขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกียรติเกรียงเพชร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และอาจารย์ ดร.ชงทิส ฉายากุล ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ Prof. Teruyuki Kato, Earthquake Research Institute, University of Tokyo และ Prof. Tamio Takamura, Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลจีพีเอสและข้อมูลไมโครเวฟเรดาร์โอมิเตอร์สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ขอขอบพระคุณ Prof. Michio Hashizume ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยประสานขอข้อมูลต่างๆ และให้ความช่วยเหลือในหลายด้าน

ขอขอบพระคุณ บริษัท ทีโอปคอนอินสทรูमेंต์(ไทยแลนด์) จำกัด ที่อนุญาตให้ข้าพเจ้าศึกษาตลอดหลักสูตร

สุดท้ายนี้ขอขอบความดีของวิทยานิพนธ์เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดาและคณาจารย์ทุกท่านและข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำย่อ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 แนวเหตุผลและความคิดที่สำคัญ.....	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	10
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	10
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	11
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (Precipitable Water Vapor, PWV)	
2.1 ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางและจีพีเอส (THE NEUTRAL ATMOSPHERE AND GPS).....	14
2.2 การหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (PWV).....	16
บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	
3.1 ข้อมูลจีพีเอส.....	19
3.1.1 ข้อมูลจีพีเอส สถานีกรุงเทพมหานคร.....	19
3.1.2 ข้อมูลจีพีเอส สถานีศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย.....	22
3.2 ข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์.....	24
3.3 ข้อมูลความกดอากาศพื้นผิว.....	27
บทที่ 4 การประมวลผลข้อมูล	
4.1 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าความเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ (ZTD).....	29
4.2 การคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส (PWV).....	29

4.3 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์โดยใช้แบบจำลองมาตรฐานที่ต่างกัน.....	31
4.3.1 แบบจำลอง Saastamoinen	31
4.3.2 แบบจำลอง Modified Hopfield	32
4.3.3 แบบจำลอง Essen and Froome	33
4.4 การหาค่าปริมาณความชื้นในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมีเตอร์(MWR).....	34
บทที่ 5 ผลการประมวลผล	
5.1 ผลการประมวลผล.....	35
5.2 การทดสอบค่าต่าง.....	45
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
6.1 บทสรุป.....	48
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
รายการอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก	
ก. การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศด้วยซอฟต์แวร์ Bernese.....	52
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	71

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	รายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2006) 2
ตารางที่ 3.1	คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Ashtech รุ่น Z-Xtreme..... 20
ตารางที่ 3.2	คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble รุ่น 4000SSE 24
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดของข้อมูลการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส..... 24
ตารางที่ 3.4	คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ รุ่น Radiometrics WVR-1100..... 26
ตารางที่ 5.1	ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้น บรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2544..... 35
ตารางที่ 5.2	ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2544..... 36
ตารางที่ 5.3	ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้น บรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2545..... 40
ตารางที่ 5.4	ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2545..... 40
ตารางที่ 5.5	ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้น บรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2547..... 43
ตารางที่ 5.6	ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2547..... 43
ตารางที่ 5.7	ผลการทดสอบสมมุติฐานของปี พ.ศ.2544..... 46
ตารางที่ 5.8	ผลการทดสอบสมมุติฐานของปี พ.ศ.2545..... 46
ตารางที่ 5.9	ผลการทดสอบสมมุติฐานของปี พ.ศ.2547..... 47

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	เครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ Radiometrics รุ่น WVR-1100.....	4
รูปที่ 1.2	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble รุ่น 4000SSE และเสาอากาศ.....	4
รูปที่ 1.3	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Ashtech รุ่น Z-Xtreme และเสาอากาศ.....	5
รูปที่ 1.4	แผนผังแสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน โดยสังเขป.....	12
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างการแปลงข้อมูลของรูปแบบ Ashtech จากข้อมูลดิบเป็นข้อมูล B, E, S	21
รูปที่ 3.2	ตัวอย่างการแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบ RINEX โดยใช้โปรแกรม RINEX2.....	21
รูปที่ 3.3	ลักษณะการติดตั้งการรับข้อมูลของเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ที่สถานีศรีสำโรง.....	22
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างการแปลงข้อมูลของรูปแบบ Trimble จากข้อมูลดิบเป็นนามสกุล DAT โดยใช้โปรแกรม GPLoad	23
รูปที่ 3.5	ตัวอย่างการแปลงข้อมูลจากนามสกุล DAT เป็นรูปแบบ RINEX โดยใช้โปรแกรม Trimble Geomatics Office(TGO).....	23
รูปที่ 3.6	ลักษณะการติดตั้งการรับข้อมูลของเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ที่สถานีศรีสำโรง.....	25
รูปที่ 3.7	ตัวอย่างข้อมูลค่าปริมาตรความชื้นในบรรยากาศโดยการวัดด้วยไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ รุ่น Radiometrics WVR-1100.....	27
รูปที่ 3.8	ตัวอย่างข้อมูลความกดอากาศพื้นผิวจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่สถานีสุโขทัย.....	28
รูปที่ 4.1	เรขาคณิตของแบบจำลอง Modified Hopfield	33
รูปที่ 4.2	ค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ระหว่างค่าที่ไม่มีการขจัดค่าคลาดเคลื่อน (จุดสีน้ำเงินเข้ม) และค่าที่มีการขจัดค่าคลาดเคลื่อนทิ้ง (จุดสีฟ้า).....	34
รูปที่ 5.1	การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์(MWR)ของเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2544.....	37
รูปที่ 5.2	การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์(MWR)ของเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2544.....	38
รูปที่ 5.3	การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์(MWR)ของเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2544.....	39
รูปที่ 5.4	การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์(MWR)ของเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2545.....	41

รูปที่ 5.5	การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดาร์ (MWR) ของเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2545.....	42
รูปที่ 5.6	การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดาร์ (MWR) ของเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2547.....	44
รูปที่ ก-1	วิธีการเปิดซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2.....	54
รูปที่ ก-2	การเข้าถึงเมนูหลักของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 โดยการพิมพ์ G หรือ g	54
รูปที่ ก-3	ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 จะสร้าง Driveชั่วคราวทั้งหมดที่ Drive	55
รูปที่ ก-4	เมนูหลักของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2.....	55
รูปที่ ก-5	ลักษณะเมนูย่อยของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2.....	56
รูปที่ ก-6	การเปลี่ยนข้อมูลทั่วไปใน Dataset ในซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2.....	57
รูปที่ ก-7	การสร้าง CAMPAIGN หรือสร้างชื่องานใหม่โดยใช้เมนู 1.1.....	58
รูปที่ ก-8	การเลือก CAMPAIGN ที่ต้องประมวลผลโดยพิมพ์ s ข้างหน้า CAMPAIGN.....	59
รูปที่ ก-9	การสร้าง Folder ATM, DATPAN, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW และ STA	59
รูปที่ ก-10	การกำหนด Sessions โดยใช้เมนู 1.3.....	60
รูปที่ ก-11	การสร้างค่าพิกัดโดยใช้เมนู 1.4.1.....	60
รูปที่ ก-12	การนำข้อมูลค่าพิกัดมาใช้ในการย่อชื่อหมุด.....	61
รูปที่ ก-13	การย่อชื่อหมุดให้เหลือสี่และสองตัวอักษร.....	61
รูปที่ ก-14	การนำข้อมูล RINEX และข้อมูลค่าพิกัดมาแปลงเป็นข้อมูล Bernese	62
รูปที่ ก-15	การจัดระเบียบของวงโคจรดาวเทียม (Tabular orbit) โดยใช้เมนู 3.2.....	62
รูปที่ ก-16	การสร้างวงโคจรดาวเทียมมาตรฐาน (Standard orbit) โดยใช้เมนู 3.3.....	63
รูปที่ ก-17	การคำนวณหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning) โดยใช้เมนู 4.2.....	63
รูปที่ ก-18	การคำนวณหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single difference) โดยใช้เมนู 4.3.....	64
รูปที่ ก-19	การตรวจสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลุด (Cycle slip).....	64
รูปที่ ก-20	ข้อมูลที่ใช้ในขบวนการคำนวณปรับแก้ของเมนู 4.5.....	65
รูปที่ ก-21	ตัวอย่างการตั้งชื่อการบันทึกข้อมูลของค่าคลาดเคลื่อนรวมทางคิ่งในชั้นบรรยากาศ.....	66

รูปที่ ก-22	การประมวลผลรอบที่หนึ่งโดยใช้คลื่น L3.....	66
รูปที่ ก-23	การประมวลผลรอบที่สองโดยใช้คลื่น L1 และ L2 โดยใช้ QIF	67
รูปที่ ก-24	การประมวลผลรอบที่สามโดยใช้คลื่น L3 โดยใช้ค่าเลขปริศนาที่คำนวณได้จากใน รอบที่สอง.....	67
รูปที่ ก-25	การเลือกแบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์..	68
รูปที่ ก-26	ตัวอย่างข้อมูลของค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศที่ได้จาก Bernese.....	69



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

DOY	: Day Of Year
GLONASS	: GLObal NAVigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
IGS	: International GPS Services
IWV	: Integrated Water Vapor
MWR	: Microwave Radiometer
P-code	: Precision-code
PRN	: Pseudo Random Noise
Ps	: Surface Pressure
Pv	: Partial pressure of water vapor
PWV	: Precipitable Water Vapor
QIF	: Quasi Ionosphere-Free
RINEX	: Receiver INdependent EXchange
Rv	: Specific gas constant for water vapor
SHD	: Slant Hydrostatic Delay
SWD	: Slant Wet Delay
TGO	: Trimble Geomatics Office
Tm	: Mean Temperature
Ts	: Surface Temperature
ZHD	: Zenith Hydrostatic Delay
ZTD	: Zenith Total Delay
ZWD	: Zenith Wet Delay

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ได้ขยายตัวอย่างรวดเร็วเป็นผลให้มีงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้อย่างมาก เพื่อมารองรับความต้องการในการใช้จีพีเอสอย่างหลากหลาย ดังเช่น งานทางด้าน การสำรวจรังวัด งานทางด้าน การขนส่ง การนำหนตลอดจนการตรวจจับแผ่นดินไหว แต่ในการวัดปริมาณทุกชนิดย่อมมีค่าความคลาดเคลื่อนรวมอยู่ในค่าที่วัดได้เสมอในงานรังวัดดาวเทียมก็เช่นเดียวกัน ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเราสามารถจำแนกสาเหตุของค่าความคลาดเคลื่อนได้เป็น 3 สาเหตุคือ

1. สาเหตุจากดาวเทียมได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหรือวงโคจรดาวเทียมและค่าความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมมีสาเหตุมาจากวงโคจรดาวเทียมที่มาจากข้อมูลดาวเทียมในสัญญาณที่รับได้นั้นเป็นวงโคจรที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าโดยอาศัยรูปจำลองของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม รูปจำลองที่ใช้อาจจะไม่ถูกต้องหรือไม่ละเอียดเพียงพอเมื่อเทียบกับแรงจริงๆ ที่กระทำต่อดาวเทียมในขณะที่ทำการวัด ดังนั้นตำแหน่งของดาวเทียมจากอีพีเมอร์ริสดาวเทียมที่ส่งกระจายลงมาพร้อมสัญญาณดาวเทียมนั้น จึงไม่ถูกต้องสามารถลดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมได้โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่คำนวณหาได้หลังจากที่ดาวเทียมนั้นได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้นๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวถูกจัดทำโดยหน่วยงาน IGS และข้อมูลดังกล่าวก็สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ตโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า International GPS Service (IGS) ได้คอยจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้เรา ดาวน์โหลดได้บนอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ตารางที่ 1.1 แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลที่ให้บริการและระยะเวลาที่เราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลหลังจากเวลาที่เรทำการรังวัด (สำหรับ broadcast ephemeris แสดงให้เห็นรายละเอียดเพื่อใช้เปรียบเทียบเท่านั้น)

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2006)

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

ในงานวิจัยนี้จะทำการดาวน์โหลดข้อมูล Final Orbit ซึ่งไฟล์จะมีนามสกุล .Sp3 มาใช้ในการคำนวณ ในส่วนของความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมจะเกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่แตกต่างกัน โดยข้อมูลความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ในข้อมูลดาวเทียมที่ส่งลงมาที่สัญญาณ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลัก เช่นเดียวกับวงโคจรดาวเทียม เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมได้จากข้อมูล ของหน่วยงาน IGS เช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม

2. สาเหตุจากเครื่องรับสัญญาณ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนนาฬิกาของเครื่องรับและค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการล่าช้าของการรับสัญญาณที่เข้ามาของตัวเครื่องรับ เป็นต้น ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากนาฬิกาที่อยู่ในตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เพราะเป็นแค่ นาฬิกาธรรมดาทั่วไป ที่ทำจากควอตซ์ ที่มีความถูกต้องไม่สูงมากนักทำให้การจับเวลาที่มีความคลาดเคลื่อนไป สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้ได้โดยการคำนวณปรับแก้เช่นเดียวกันกับการปรับแก้วงโคจร

3. สาเหตุจากการแพร่กระจายของสัญญาณ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลุด (Cycle slip) ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นสะท้อน (Multipath error) และค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) และ โทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นผิวของโลกตั้งแต่ 70 ถึง 1,000 กิโลเมตร ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีขนาดตั้งแต่ เดซิเมตรจนถึง 20 เมตร การขจัดค่าคลาดเคลื่อนทำได้โดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ และใช้แบบจำลองมาตรฐานชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ส่วนชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

เป็นชั้นบรรยากาศที่ติดอยู่กับพื้นโลกจนถึงระดับความสูงประมาณ 40 กิโลเมตร (Leick, 1995) เป็นชั้นที่มีอากาศ ละอองน้ำและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น ฝน เมฆ พายุ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้คลื่นเดินทางช้ากว่าความเป็นจริง ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีขนาดตั้งแต่ 2 เมตรเมื่อตำแหน่งของดาวเทียมอยู่ในแนวตั้งของเครื่องรับจนกระทั่ง 20 เมตรเมื่อตำแหน่งของดาวเทียมอยู่ใกล้เคียงกับแนวราบ เราสามารถจัดค่าคลาดเคลื่อนนี้ได้ โดยใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ เนื่องจากการหักเหในชั้นโทรโพสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับความกดดันอุณหภูมิค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ก็จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (Precipitable Water Vapor, PWV) และ ค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการพยากรณ์อากาศ ถ้าหากเรารู้ค่าเหล่านี้ก็จะสามารถนำไปประกอบการพยากรณ์อากาศได้ เครื่องมือที่สามารถวัดค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่ให้ค่าความถูกต้องสูงคือไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (Microwave radiometer, MWR) จากรูปที่ 1.1 ประกอบแต่ราคาของเครื่องดังกล่าวสูงมาก ราคาของเครื่องวัดไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ยี่ห้อ Radiometrics ราคาประมาณเครื่องละ 4.8 ถึง 8 ล้านบาท (Robert, 2005) สูงกว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสประมาณ 10 เท่า ในขณะที่ราคาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ชนิดสองความถี่ทำงานรังวัดแบบสถิติมีราคาประมาณเครื่องละ 5 ถึง 8 แสนบาท (เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549) ถ้าหากการคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ ด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส ได้ผลใกล้เคียงกับเครื่องวัดไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ก็จะทำให้การพยากรณ์อากาศมีความถูกต้องโดยที่ใช้งบประมาณน้อยลง

งานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวกับการหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ และหาค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง (Zenith Tropospheric Total Delays, ZTD) มีอยู่มากมายซึ่งการหาค่ามักจะใช้แบบจำลอง การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบใดแบบหนึ่ง เช่นงานวิจัยของ Jin et al. (2004) เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งที่ใช้แบบจำลอง สโตคาสติก ที่แตกต่างกัน แต่การปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ใช้แบบจำลองเพียงแบบจำลองเดียวคือแบบจำลอง Saastamoinen และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Liou and Yang (1998) ทำการวิจัยหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอสที่ประเทศไต้หวัน ก็ใช้แบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เพียงแบบจำลองเดียวคือแบบจำลอง Saastamoinen แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้แบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สามแบบจำลองด้วยกันคือ แบบจำลอง Saastamoinen แบบจำลอง Modified Hopfield และแบบจำลอง Essen and Froome ซึ่งมีอยู่ในซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 และใช้ข้อมูลการวัดด้วยเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์รุ่น Radiometrics WVR-1100 มาเป็นตัวเปรียบเทียบข้อมูลการรังวัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส รุ่น Trimble 4000SSE จากรูปที่ 1.2 ประกอบ โดยตั้งรับสัญญาณที่

สถานีศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย และข้อมูลการรังวัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส รุ่น Ashtech Z-Xtreme จากรูปที่ 1.3 ประกอบซึ่งตั้งรับสัญญาณที่สถานีกรุงเทพมหานคร นำข้อมูลทั้งสองสถานีมาประมวลผลร่วมกันแล้วนำค่ามาเปรียบเทียบว่าการใช้แบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่ต่างกันแบบจำลองใดที่ให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลการวัดด้วยเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์มากที่สุด



รูปที่ 1.1 เครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ Radiometrics รุ่น WVR-1100 (www.radiometrics.com)



รูปที่ 1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble รุ่น 4000SSE และเสาอากาศ



รูปที่ 1.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Ashtech รุ่น Z-Xtreme และเสาอากาศ

1.2 แนวเหตุผลและความคิดที่สำคัญ

จากการวิเคราะห์ทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณบนภาคพื้นดินกับดาวเทียมจีพีเอสก็จะมีค่าความคลาดเคลื่อนติดมาด้วยทุกครั้ง ดังนั้นเราจะต้องขจัดค่าของความคลาดเคลื่อนออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อจะได้ค่าพิกัดของตำแหน่งของเครื่องรับที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง การที่จะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนออกก็มีวิธีที่แตกต่างกันออกไป ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนประกอบ คือ ส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบเปียก ซึ่งในสองส่วนนี้สามารถที่จะหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศได้ ในการขจัดค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นนี้สามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้ใช้สามแบบจำลองด้วยกันคือ

1. แบบจำลอง Saastamoinen (Saastamoinen, 1973)
2. แบบจำลอง Modified Hopfield (Goad and Goodman, 1974)
3. แบบจำลอง Essen and Froome (Rothacher et al., 1986)

เนื่องจากข้อมูลการรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสที่นำมาใช้ในการคำนวณ มี 2 ชนิด คือ ข้อมูลซูดเรนจ์ (Pseudorange measurement) และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 ข้อมูลซูดเรนจ์ (Pseudorange measurement)

ซูดเรนจ์ คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ในการวิเคราะห์ทางเครื่องรับจะสร้างรหัส PRN (Pseudo Random Noise) ซึ่งใช้ในดาวเทียมขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้จากการรับสัญญาณ รหัสที่สร้างขึ้นจะเลื่อนไปมาจนกระทั่งมีสหสัมพันธ์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้รับ ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสอง คือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากดาวเทียมในขณะที่รหัสสร้างขึ้นใน

เครื่องรับ โดยการเอาความเร็วของคลื่นส่งวิทยุคูณกับเวลาจะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ โดยเหตุที่รหัสที่ส่งจากดาวเทียมได้มาจากนาฬิกาของดาวเทียม ในขณะที่รหัสที่สร้างขึ้นในเครื่องรับก็ได้มาจากนาฬิกาเครื่องรับ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของเวลาอันเนื่องมาจากความแตกต่างของนาฬิกาทั้งสองไม่ได้ จึงทำให้ซูโดเรนจ์ที่วัดได้นี้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริง ระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับนอกจากนั้น ซูโดเรนจ์ยังมีผลกระทบเนื่องจากการหักเหของคลื่น ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ และชั้นโทรโพสเฟียร์โดยตรงอีกด้วยโดยมีสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัส และมีหน่วยเป็นระยะทางดังสมการ (1.1)

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

โดยที่

- $P(Li)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)
 ρ คือ ระยะทางการรังวัดระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (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)
 ε คือ ความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน (เมตร) เป็นต้น

1.2.2 ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement)

เฟสของคลื่นส่งหาได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่งที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับหรือหาค่าต่างกับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมาเอง โดยที่เราจะทราบเพียงส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มลูกหรือเรียกว่า เฟส ในส่วนของจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกหรือที่เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) สามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยมีสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งดังสมการ (1.2) (Leick, 1995; Rizos, 1997; Teunissen and Kleusberg, 1998)

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

โดยที่

- $\Phi(Li)$ คือ ชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)
 ρ คือ ระยะทางการรังวัดระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (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)
 λi คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)
 Ni คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง Li (เมตร)
 ε คือ ความคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน (เมตร) เป็นต้น

ถ้าหากพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเดินทาง ของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ การวัดระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมจีพีเอส โดยการวัดทั้งแบบชูโดเรนจ์และแบบเฟสของคลื่นส่งก็จะสามารถหาค่าความแตกต่างระหว่าง ระยะทางที่ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนแล้วและระยะทางการรังวัดได้ จากสมการที่ (1.3) โดยที่กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับจัดโดยวิธีการหาค่าต่าง ในส่วนของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม ถูกปรับแก้โดยการใช้วงโคจรดาวเทียมแบบละเอียดสูงชนิด Final ของหน่วยงาน International GPS Service (IGS) ซึ่งคงเหลือเฉพาะค่าความคลาดเคลื่อนรวมในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และค่าความคลาดเคลื่อนรวมในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

$$R = \rho + \varepsilon_i + \varepsilon_t \quad (1.3)$$

เมื่อ

- ρ คือ ระยะทางการรังวัดระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (เมตร)

R คือ ระยะทางที่ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาแล้วระหว่างความเที่ยมกับเครื่องรับ
สัญญาณจีพีเอส (เมตร)

ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวมในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวมในชั้นบรรยากาศ โทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$$\varepsilon_t = \varepsilon_h + \varepsilon_w \quad (1.4)$$

เมื่อ

ε_w คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเปียก (เมตร)

ε_h คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแห้ง (เมตร)

ถ้าหากรู้ค่าวงโคจรของดาวเทียม และรู้ตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสก็จะสามารถหา
ระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้ ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้น
บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบกับคลื่นสัญญาณแบบสองความถี่ ค่า
ความคลาดเคลื่อนแห้งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลในชั้นบรรยากาศ ค่าระยะทางเรขาคณิตระหว่าง
ดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้จากการรังวัด ดังนั้นค่าที่ยังไม่รู้มีอยู่ค่าเดียว คือ ค่า
ความคลาดเคลื่อนเปียกจึงสามารถคำนวณได้จากสมการ (1.3) และ (1.4)

ค่าความคลาดเคลื่อนรวมในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สามารถแบ่งได้สองชนิด ได้แก่

1. ค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบแห้ง (Zenith Hydrostatic Delays, ZHD) สามารถคำนวณได้
จากสมการ (1.5) (Bevis et al., 1992) โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$\text{ZHD} = 2.277 \frac{P_s}{f(\phi, H)} \quad (1.5)$$

เมื่อ

$$f(\phi, H) = 1 - 0.0026 \cdot \cos(2\phi) - 0.00028H$$

P_s คือ ความกดอากาศพื้นผิว (มิลลิบาร์)

ϕ คือ ละติจูด (เรเดียน)

H คือ ค่าความสูง (กิโลเมตร)

2. ค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียก (Zenith Wet Delays, ZWD) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1.6) (Bevis et al., 1992) โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$ZWD = 10^{-6} (k_2' \int \frac{P_v}{T} dz + k_3 \int \frac{P_v}{T^2} dz) \quad (1.6)$$

เมื่อ

$$k_2' = (17 \pm 10) \text{ เคลวิน/มิลลิบาร์}$$

$$k_3 = (3.776 \pm 0.03) * 10^5 \text{ เคลวิน}^2/\text{มิลลิบาร์}$$

P_v คือ ความกดอากาศย่อยของบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

ความกดอากาศย่อยของบรรยากาศ (P_v) ไม่สามารถหาค่านี้ได้เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดจึงไม่สามารถแทนค่าความกดอากาศย่อยของบรรยากาศลงในสมการที่ (1.6) ได้ ดังนั้นจะต้องคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียก จากสมการที่ (1.7) (Bevis et al., 1992) และคำนวณหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศได้จากสมการที่ (1.8) (Bevis et al., 1992)

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad (1.7)$$

เมื่อ

ZTD คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง (มิลลิเมตร)

$$PWV = \pi * ZWD \quad (1.8)$$

เมื่อ

PWV คือ ค่าปริมาณความชื้นในชั้นบรรยากาศ (มิลลิเมตร)

โดยสมการที่ (1.8) ค่า π คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่า PWV และค่า ZWD อย่างไรก็ดี (Bevis et al., 1992) ได้ให้ค่าทั่วไปสำหรับสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเท่ากับ 0.15 ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ค่าดังกล่าวในการแปลงค่า ZWD มาเป็น PWV

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง ด้วยการประมวลผลข้อมูลการรังวัดจากดาวเทียมจีพีเอส โดยใช้แบบจำลอง การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน 3 แบบจำลอง คือ

- Saastamoinen (Saastamoinen, 1973)
- Modified Hopfield (Goad and Goodman, 1974)
- Essen and Froome (Rothacher et al., 1986)

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบ และประเมินความถูกต้องของค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ จากข้อมูลการรังวัดด้วยจีพีเอส

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ใช้ข้อมูลจากการตั้งรับสัญญาณ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากค่าที่เก็บไว้แล้วที่สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย และสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีกรุงเทพมหานคร โดยข้อมูลได้รับความอนุเคราะห์จาก ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเก็บข้อมูลโดยใช้หลักการวิธีรังวัด แบบสถิติ ตั้งค่าเวลาในการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที แล้วทำการแปลงข้อมูลจากรูปแบบของ Trimble และ รูปแบบของ Ashtech เป็น รูปแบบ RINEX

1.4.2 ใช้ข้อมูลจากการรับสัญญาณดาวเทียมที่ทำการแปลงเป็นรูปแบบ RINEX มาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese Version 4.2 คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ใช้วิธีการปรับแก้ด้วยแบบจำลอง Saastamoinen แบบจำลอง Modified Hopfield และแบบจำลอง Essen and Froome

1.4.3 คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ที่ได้จากการประมวลผลตามหัวข้อ 1.3.1

1.4.4 เปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่คำนวณได้ด้วยค่าการรังวัดจากดาวเทียมจีพีเอส กับการวัดจากเครื่องมือโครเวฟเรดิโอมิเตอร์

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนของการรังวัดและการหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่ารังวัดจากดาวเทียมจีพีเอส

1.5.2 ดำเนินการขอข้อมูลการวัดปริมาณความชื้นที่วัดจากไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์และค่ารังวัดจากเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งจะต้องเป็นข้อมูลเวลาเดียวกัน จากภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.3 นำข้อมูลจากการรังวัด ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส มาคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ด้วย ซอฟต์แวร์ Bernese Version 4.2 โดยใช้แบบจำลอง Saastamoinen แบบจำลอง Modified Hopfield และ แบบจำลอง Essen and Froome

1.5.4 คำนวณปริมาณความชื้นในบรรยากาศ

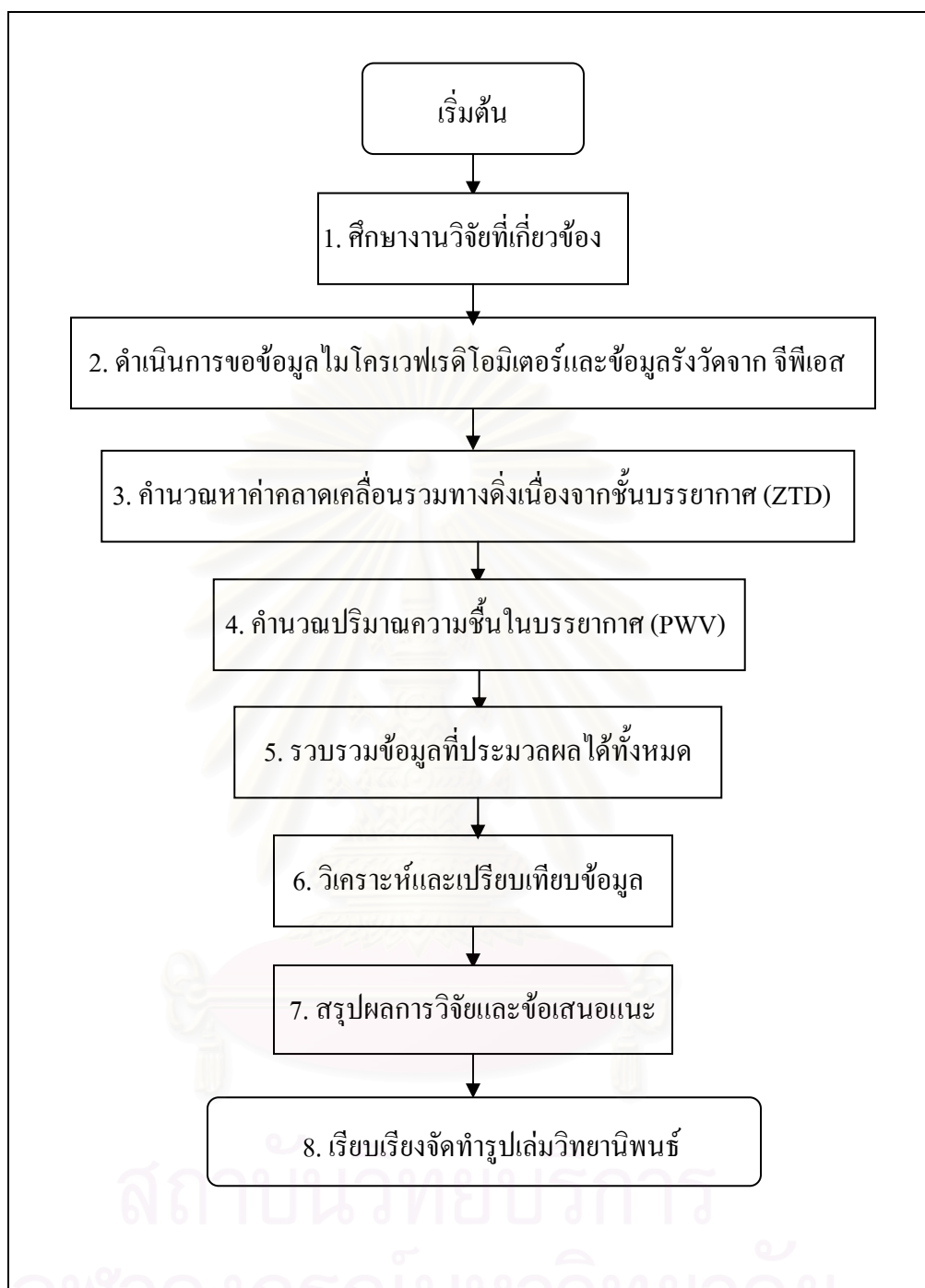
1.5.5 รวบรวมข้อมูลที่ประมวลผลได้ทั้งหมด

1.5.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการคำนวณด้วยค่าการรังวัดจากดาวเทียมจีพีเอส กับการวัดปริมาณจากไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์

1.5.7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5.8 เรียบเรียง จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.4 แผนผังแสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน โดยสังเขป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 วิธีการหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศโดยประมวลผลด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส

1.6.2 ค่าความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยใช้แบบจำลอง Saastamoinen แบบจำลอง Modified Hopfield และ แบบจำลอง Essen and Froome

1.6.3 เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบ หาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ ด้วยค่าการรังวัดจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส กับการวัดด้วยเครื่องมือโครเวฟเรดิโอมิเตอร์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (Precipitable Water Vapor, PWV)

ปริมาณความชื้นในชั้นบรรยากาศ คือ จำนวนหน่วยของความชื้นระหว่างจุด 2 จุด เมื่อนำมาพิจารณาในแง่ของการรังวัดข้อมูลด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส จุด 2 จุด นั้น จึงหมายถึงการสื่อสารระหว่างดาวเทียม และเครื่องรับสัญญาณ งานวิจัยนี้จะนำเสนอเทคนิคในการปรับแก้ค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ และความสัมพันธ์ที่มีกับสภาพบรรยากาศ นอกจากนั้นยังปรากฏในส่วนของการทดลองเพื่อชี้ให้เห็นถึงความสามารถ และข้อจำกัดของเทคนิคในการวัดหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศอีกด้วย

2.1 ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางและจีพีเอส (THE NEUTRAL ATMOSPHERE AND GPS)

ในการคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส นั้น สัมพันธ์กับการหักเห และความคลาดเคลื่อนของสัญญาณซึ่งมีตัวแปรของความหนาแน่นของไอออนอสเฟียร์ส่งผ่านมาในชั้นบรรยากาศ สำหรับความคลาดเคลื่อนของสัญญาณที่ผ่านมาในชั้นบรรยากาศ สามารถนิยามในรูปอินทิเกรตของการหักเหของสัญญาณที่ผ่านมาในชั้นบรรยากาศ ได้ดังนี้ (Braun, 2004)

$$\Delta L = 10^{-6} \int_s [77.6 \left(\frac{P}{T}\right) + 3.73 \times 10^5 \left(\frac{e_w}{T^2}\right)] ds \quad (2.1)$$

เมื่อ

ΔL คือ ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณที่ผ่านมาในชั้นบรรยากาศ

S คือ ระยะทางจากดาวเทียมจีพีเอสถึงเครื่องรับสัญญาณ

P คือ ความดันอากาศ (มิลลิบาร์)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

e_w คือ ความดันของไอน้ำ (มิลลิบาร์)

ค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในพจน์แรกของการอินทิเกรต เรียกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนทางเอียงแบบแห้งของสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศ (Slant Hydrostatic Delay, *SHD*) ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในพจน์ที่สอง เรียกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนทางเอียงแบบเปียกของสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศ (Slant Wet Delay, *SWD*) ดังนั้นผลรวมที่ได้ของทั้งสองพจน์ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

รวมทางโค้งของสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศ ($STD=SHD+SWD$) ค่าอินทิเกรตในสมการที่ (2.1) นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศและระยะทางของสัญญาณเมื่อมุมของการรับสัญญาณลดลงก็จะทำให้ระยะทางของสัญญาณเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากดาวเทียมอยู่ในตำแหน่งแนวโค้ง จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$ZTD = ZHD + ZWD = \frac{SHD}{m_h(\theta)} + \frac{SWD}{m_w(\theta)} \quad (2.2)$$

เมื่อ

ZTD คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางโค้ง (เมตร)

ZHD คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางโค้งแบบแห้ง (เมตร)

ZWD คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางโค้งแบบเปียก (เมตร)

ดังนั้น ZTD จึงเท่ากับค่าอินทิเกรตทางโค้งของสมการที่ (2.4) ZHD และ ZWD เท่ากับค่าอินทิเกรตทางโค้งของทั้งสองพจน์ในสมการ (2.4) $m_h(\theta)$ และ $m_w(\theta)$ เรียกว่า Hydro mapping function และ Wet mapping function ค่าทั้งสองนี้วิเคราะห์และถูกกำหนดขึ้นโดย (Davis et al., 1985; Neill, 1996) บนพื้นฐานระหว่างอัตราส่วนของ $1/\sin(\theta)$

$$m(\theta) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}{\sin(\theta) + \frac{a}{\sin(\theta) + \frac{b}{\sin(\theta) + c}}} \quad (2.3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่ (2.7) คำนวณจากสภาพบรรยากาศมาตรฐาน ของสหรัฐอเมริกา ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้แปรผันไปตาม ตำแหน่ง, วัน, เวลาและความสูง (Rocken et al., 2001; Neill, 2001) ได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณสำหรับเวลาและตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจง ด้วยแบบจำลองของภูมิอากาศ ปริมาณความชื้นและความเปียกขึ้นนั้นใกล้เคียงกันแต่ไม่เหมือนกัน ค่าความเปียกขึ้นนั้นมากกว่าเล็กน้อยและแปรผันกว่าปริมาณความชื้น ความแตกต่างสัมพันธ์กับความสูงและบรรยากาศ สำหรับปริมาณความชื้นซึ่งวัดด้วยค่า Precipitable Water Vapor (PWV) ในหน่วยของระยะทางคูหัวข้อ 2.2 ที่มุม 10 องศา มีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 6 มิลลิเมตร และที่มุม 5 องศา ปริมาณความชื้นมีค่าประมาณ 10 มิลลิเมตร

ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ของจีพีเอสค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ถูกกำหนดให้ขึ้นอยู่กับเวลาที่แปรผันของดาวเทียมหรือไม่ก็ความคลาดเคลื่อนของเวลา (Bar-Sever et al., 1998) และ (Davis et al., 1993) ค่า ZHD สามารถคำนวณได้โดยใช้การวัดความดันบรรยากาศบนพื้นผิวโลก (Davis et al., 1985; Saastamoinen, 1973) และยังสามารถใช้ได้กับค่า SHD ได้อีกด้วยโดยใช้ $m_h(\theta)$ Mapping function

เหตุเพราะปริมาณของไอน้ำในชั้นบรรยากาศกับค่าการวัดความชื้นบนพื้นผิวโลกนั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้นค่า ZWD รวมถึง ณ.จุดใดๆ ด้วย จึงไม่สามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำโดยใช้ค่าจากการวัดบนพื้นผิวโลก ค่า ZWD ที่ถูกนำมาใช้ในสมการจึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น (Rocken, 1988) ผลลัพธ์จากการประมาณค่าในหลายๆ ช่วงเวลานำเสนอได้ดังสมการ (2.4)

$$ZWD = (3.73 \times 10^5)(10^{-6}) \int \frac{e_w}{T^2} dz = (3.73 \times 10^5)(10^{-6}) R_v \int \frac{\rho_v}{T} dz \quad (2.4)$$

เมื่อ

R_v คือ ค่าคงที่ของไอน้ำ

ρ_v คือ ความหนาแน่นของไอน้ำ

2.2 การหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (PWV)

ปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (PWV) นิยามด้วย ค่าอินทิเกรต ความหนาแน่นของไอน้ำ (IWV) หารด้วยความหนาแน่นของน้ำในสถานะของเหลว (ρ) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าอินทิเกรตในแนวตั้งของตำแหน่งที่หาค่า

$$PWV = \frac{1}{\rho} IWV = \frac{1}{\rho} \int \rho_v dz = \frac{1}{\rho R_v} \int \frac{e_w}{T} dz \quad (2.5)$$

หน่วยของ IWV เป็น กิโลกรัมต่อตารางเมตร หน่วยของ PWV จึงมีหน่วยเป็นระยะทาง อัตราส่วนของสมการที่ (2.4) และ (2.5) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\pi = \frac{PWV}{ZWD} = \frac{\frac{1}{\rho R_v} \int \frac{e_w}{T} dz}{(3.73 \times 10^5)(10^{-6}) \int (e_w / T^2) dz} = \frac{1}{0.373 \rho R_v} T_m \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$T_m = \frac{\int \frac{e_w}{T} dz}{\int \frac{e_w}{T^2} dz}$$

อัตราส่วนของ ค่าอินทิเกรตทางดิ่งในสมการที่ (2.6) เรียกว่า อุณหภูมิเฉลี่ย (T_m) (Bevis et al., 1992) ใช้ค่าประมาณ 9,000 ข้อมูล ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้มาจากค่าอุณหภูมิเฉลี่ย T_m และ ค่าอุณหภูมิบนพื้นผิวโลก (T_s)

$$T_m = 70.2 + 0.72 \times T_s \quad (2.7)$$

สำหรับการใช้สมการ (2.7) ณ ตำแหน่งใดๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีความผิดพลาดไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และสมการ (2.8) แสดงถึงความสัมพันธ์ของ ZWD กับ PWV

$$PWV = \frac{IWV}{\rho} = \pi \times ZWD \quad (2.8)$$

อัตราส่วนของ PWV กับ ZWD หรือค่า (π) มีค่าประมาณ 0.15 ดังนั้นถ้า PWV มีค่า 1 มิลลิเมตร ค่า ZWD จะมีค่าประมาณ 6.5 มิลลิเมตร

จากวิธีการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าจีพีเอส เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำในทุกสภาพอากาศที่จะวัดปริมาณความชื้นในอากาศ (Rocken et al., 1995; Rocken et al., 1997) เครื่องมืออื่น เช่น ไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) ก็สามารถวัดปริมาณความชื้นในอากาศได้แม่นยำกว่าประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (Revercombe et al., 2003) ในเชิงเปรียบเทียบนั้นกล่าวได้ว่าค่าที่ได้จากจีพีเอสมีความผิดพลาด 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งปริมาณความชื้นในบรรยากาศอยู่ในช่วง 10 ถึง 50 มิลลิเมตรและค่าเฉลี่ยที่ 30 มิลลิเมตร

ความแตกต่างเชิงเทคนิคของการหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศ ระหว่างค่ารังวัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS) และเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) เครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์อาศัยการแพร่กระจายจากไอน้ำในบรรยากาศเพื่อวัดค่า Brightness temperature ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในบรรยากาศ ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสอาศัยความหน่วงของสัญญาณและระยะทางเพื่อหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศ

อนึ่งยังคงมีความแตกต่างของปริมาณความชื้นในอากาศซึ่งได้จาก MWR กับ GPS ในอีกแง่หนึ่ง กล่าวคือ มุมของลำแสงจากเครื่อง MWR ซึ่งมีช่วงแคบอยู่ในระหว่าง 5 ถึง 10 องศา นั้นชี้ให้เห็นว่า เครื่อง MWR จะสามารถวัดปริมาณความชื้นในอากาศด้วยตัวเองได้โดยตรง แต่ในทางตรงกันข้าม GPS นั้นใช้การเก็บข้อมูลในมุมที่เบยขึ้นเกินกว่า 5 หรือ 10 องศาขึ้นไป และด้วยมุมที่มีช่วงกว้างนั่นเองจึงทำให้ได้ปริมาณของบรรยากาศที่มีจำนวนมาก ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรที่หลากหลาย และเมื่อมีตัวแปรที่หลากหลายในบรรยากาศยังผลให้การประมาณหาปริมาณความชื้นในอากาศเหนือเครื่องรับสัญญาณอาจจะไม่แม่นยำนัก และเพื่อสนับสนุนการแก้ไขปัญหาในการหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าจากจีพีเอส จากความนิยมในแต่ละทิศทางเปิดโอกาสให้ศึกษารายละเอียดของตัวแปรอันหลากหลายในชั้นบรรยากาศ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศครั้งนี้มีด้วยกันสามชนิด คือข้อมูลการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งข้อมูลมีด้วยกันสองสถานีคือสถานีศรีสำโรง ตั้งอยู่ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัยและสถานีกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลการรังวัด จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ตั้งรับอยู่ที่สถานีศรีสำโรง ซึ่งเป็นที่เดียวกันกับการตั้งรับข้อมูลการ รังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และข้อมูลค่าความกดอากาศพื้นผิวจากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งตั้งรับ ข้อมูลที่สถานีสุโขทัยซึ่งตั้งอยู่ในตัวเมืองจังหวัดสุโขทัย รายละเอียดของข้อมูลมีดังนี้

3.1 ข้อมูลจีพีเอส

ข้อมูลจีพีเอสที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีอยู่สองสถานีด้วยกันคือสถานีศรีสำโรงและสถานี กรุงเทพมหานคร ซึ่งข้อมูลมีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ถึงปี พ.ศ.2547 แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้มานั้นบาง ช่วงเวลาไม่สมบูรณ์ซึ่งเกิดจากเครื่องรับสัญญาณเก็บข้อมูลไม่ต่อเนื่อง ซึ่งโดยปกติหนึ่งวันเครื่องรับ สัญญาณจะเก็บข้อมูลยี่สิบสี่ชั่วโมงแต่ช่วงที่มีปัญหาเครื่องรับสัญญาณจะเก็บข้อมูลแค่หนึ่งชั่วโมง เท่านั้น ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกช่วงเวลาที่สถานีฐานทั้งสองเปิดเครื่องพร้อมกันทั้งสองสถานีและ คำนึงถึงช่วงเวลาที่มิข้อมูลจากเครื่อง MWR ด้วย ดังนั้นข้อมูลที่นำมาใช้ทั้งหมดมีด้วยกันสามช่วงเริ่ม ตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ,วันที่ 4 พฤศจิกายน ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2545 และ วันที่ 2 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 รวมทั้งหมดประมาณ 6 เดือนซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

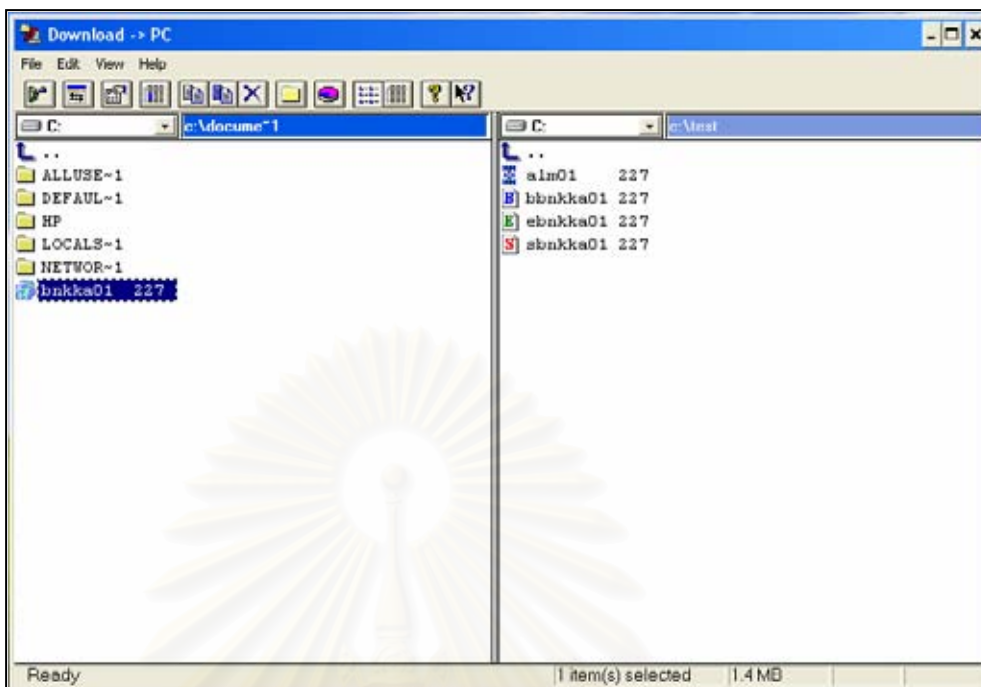
3.1.1 ข้อมูลจีพีเอส สถานีกรุงเทพมหานคร

เป็นข้อมูลที่รับสัญญาณ ด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ เป็นเครื่องรับ Ashtech รุ่น Z-Xtreme ทำการรังวัดเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที ค่าพิกัดของสถานีโดยประมาณที่ลองจิจูด 100.607 องศาเหนือ และละติจูด 13.668 องศาตะวันออก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และคุณลักษณะเฉพาะของ เครื่องรับสัญญาณแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลดิบในรูปแบบของ Ashtech ชื่อของ ข้อมูลจะเป็นชื่อเดียวกับชื่อสถานี นามสกุลจะเป็นจำนวนวันของปี (Day of year) จะต้องแปลงข้อมูล

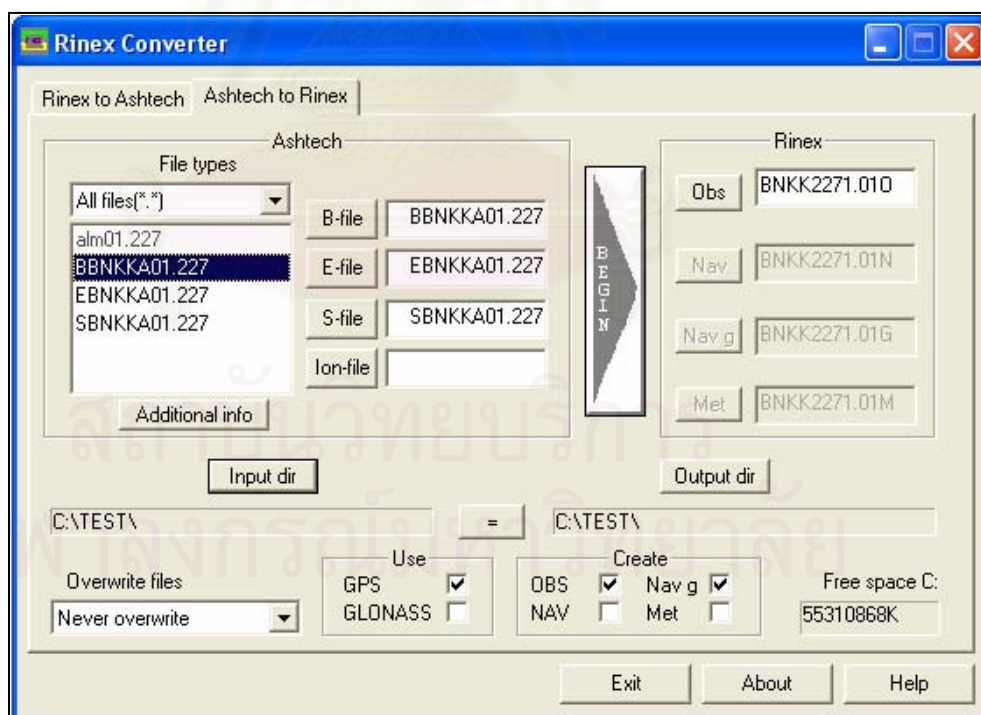
จากข้อมูลดิบจากหนึ่งข้อมูลเป็นสี่ข้อมูลโดยชื่อข้อมูลทั้งสี่จะมีค่า A, B, E, S นำหน้าตามลำดับและจะเป็นนามสกุลจำนวนวันของปีคงเดิม โดยใช้โปรแกรม Download เวอร์ชัน 3.20 ตัวอย่างโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 3.1 และจะต้องแปลงข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลรูปแบบ RINEX โดยใช้โปรแกรม RINEX2 ตัวอย่างโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Ashtech รุ่น Z-Xtreme

คุณลักษณะเฉพาะ	ค่าตัวเลข
ขนาด	กว้าง 7.75 นิ้ว, ยาว 8.75 นิ้ว, สูง 3 นิ้ว
น้ำหนัก	3.5 ปอนด์
อุณหภูมิในการใช้งาน	-30° เซลเซียส ถึง +55° เซลเซียส
ความคลาดเคลื่อนในการวัดแบบสถิต	ทางราบ 5 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน ทางตั้ง 10 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน
ความคลาดเคลื่อนในการวัดแบบจลน์	ทางราบ 10 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน ทางตั้ง 20 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน
การรับสัญญาณ	12 ช่องสัญญาณ, แบบสองความถี่ (L1/L2), P-code และ Carrier phase
ความถี่ในการเก็บข้อมูล	0.6 ถึง 999 วินาที



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการแปลงข้อมูลของรูปแบบ Ashtech จากข้อมูลดิบเป็นข้อมูล B, E, S



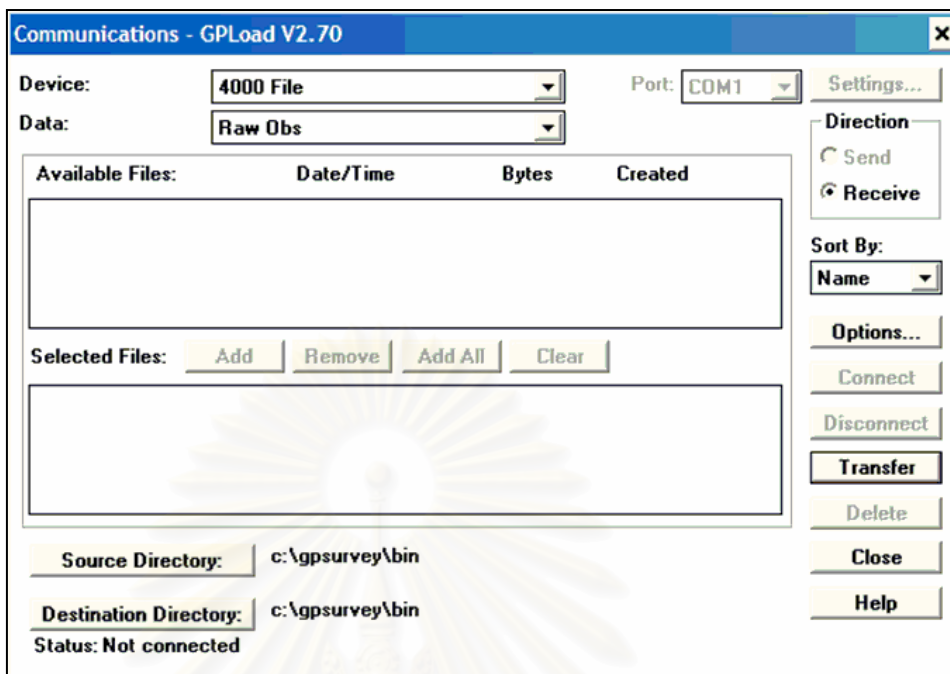
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบ RINEX โดยใช้โปรแกรม RINEX2

3.1.2 ข้อมูลจีพีเอส สถานีศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

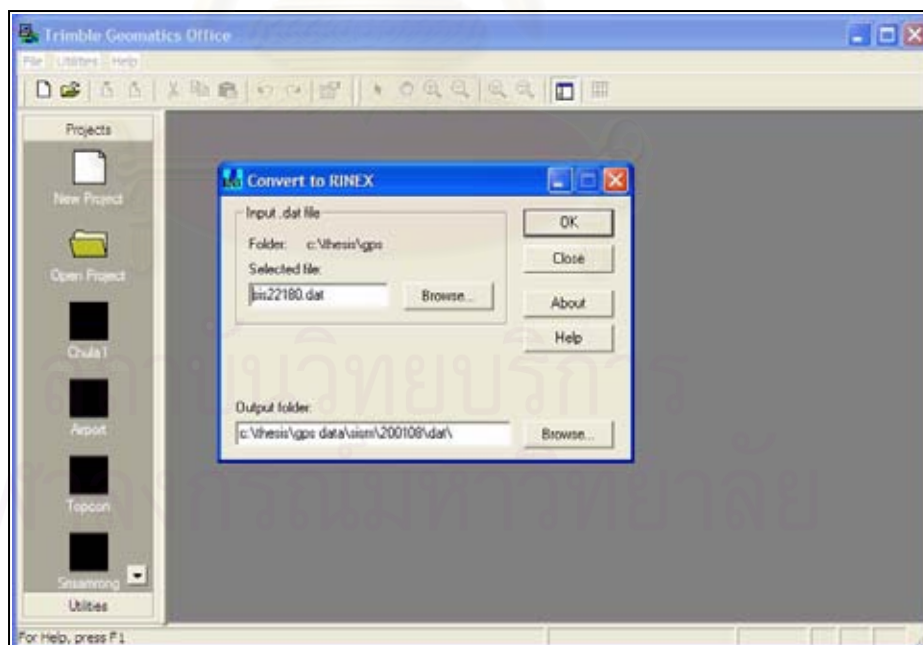
เป็นข้อมูลที่ได้รับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ เป็นเครื่องรับ Trimble รุ่น 4000SSE ทำการรังวัดเก็บข้อมูลทุกๆ 30 วินาที ลักษณะการติดตั้งอยู่ในรูปที่ 3.3 ค่าพิกัดของสถานี โดยประมาณที่ค่าลองจิจูด 99.862 องศาเหนือ และค่าละติจูด 17.161 องศาตะวันออก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องรับสัญญาณแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลดิบในรูปแบบของ Trimble ชื่อของข้อมูลจะเป็นชื่อเดียวกับชื่อสถานีและตามด้วยจำนวนวันของปี นามสกุลจะเป็น R และตามด้วยปีที่ทำการรังวัด จะต้องแปลงข้อมูลจากข้อมูลดิบเป็นข้อมูลนามสกุล DAT โดยใช้โปรแกรม GPLoad เวอร์ชัน 2.70 ตัวอย่างโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 3.4 หลังจากนั้นก็แปลงข้อมูลไปเป็นรูปแบบ RINEX อีกครั้งโดยใช้โปรแกรม Trimble Geomatics Office (TGO) ตัวอย่างโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 ลักษณะการติดตั้งงานรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่สถานีศรีสำโรง



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการแปลงข้อมูลของรูปแบบ Trimble จากข้อมูลดิบเป็นนามสกุล DAT โดยใช้โปรแกรม GPLoad



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการแปลงข้อมูลจากนามสกุล DAT เป็นรูปแบบ RINEX โดยใช้โปรแกรม Trimble Geomatics Office (TGO)

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble รุ่น 4000SSE

คุณลักษณะเฉพาะ	ค่าตัวเลข
ขนาด	กว้าง 9.8 นิ้ว, ยาว 11 นิ้ว, สูง 4 นิ้ว
น้ำหนัก	6.8 ปอนด์
อุณหภูมิในการใช้งาน	-20° เซลเซียส ถึง +55° เซลเซียส
ความคลาดเคลื่อนในการวัดแบบสถิต	ทางราบ 5 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน ทางตั้ง 10 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน
ความคลาดเคลื่อนในการวัดแบบจลน์	ทางราบ 20 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน ทางตั้ง 20 มม. + 1ppm x ความยาวเส้นฐาน
การรับสัญญาณ	9 ช่องสัญญาณ, แบบสองความถี่ (L1/L2), P-code และ Carrier phase
ความถี่ในการเก็บข้อมูล	0.5 ถึง 15 วินาที

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของข้อมูลการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

สถานี การตั้งรับ สัญญาณ	รุ่นเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียมจีพีเอส	ความถี่ในการ เก็บข้อมูล	ค่าลองจิจูด (° เหนือ)	ค่าละติจูด (° ตะวันออก)	ค่าระดับน้ำ ทะเลปานกลาง (เมตร)
กรุงเทพฯ	Ashtech , Z-Xtreme	30 วินาที	100.607	13.668	0
ศรีสำโรง	Trimble, 4000SSE	30 วินาที	99.862	17.161	50

3.2 ข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR)

เครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ที่ใช้เก็บข้อมูลเป็นเครื่องรุ่น WVR-1100 ซึ่งในประเทศไทยได้มีการติดตั้งเครื่องมือนี้เพียงแห่งเดียว คือที่สถานีศรีสำโรงในจังหวัดสุโขทัย ลักษณะการติดตั้งดูในรูปที่ 3.6 โดยข้อมูลที่รับได้จะเป็นข้อมูลที่เก็บในช่วงเวลาเดียวกันกับข้อมูลจีพีเอส ความถี่ในการเก็บข้อมูลทุกๆ 75 วินาที และจะเริ่มเก็บข้อมูลโดยทำมุมกับแนวราบตั้งแต่ 30 องศา 45, 60, 90, 120, 135 และ 150

ซึ่งข้อมูลก็นำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบคือค่าที่ทำมุมกับแนวราบ 90 องศา เนื่องจากค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่คำนวณได้จากค่าการรังวัดจากจีพีเอส เป็นค่าที่ได้ทางแนวตั้ง ตัวอย่างข้อมูลแสดงไว้ในรูปที่ 3.7 โดยข้อมูลจะแสดงวันและเวลาในการวัดค่าซึ่งค่าที่นำมาใช้เปรียบเทียบคือค่าที่ตรงกับแนว VapCM ซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร และค่า ELact เท่ากับ 90 องศา รายละเอียดของเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ รุ่น Radiometrics WVR-1100 แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 โดยทั่วไปเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์สามารถใช้วัดค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศได้ค่าความถูกต้องในระดับที่ดีกว่า 5% (Braun, 2004)



รูปที่ 3.6 ลักษณะการติดตั้งการรับข้อมูลของเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ที่สถานีศรีสำโรง

ตารางที่ 3.4 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ รุ่น Radiometrics WVR-1100

คุณลักษณะเฉพาะ	ค่าตัวเลข
ความถี่	23.8-31.4 GHz
มุมในการรับ	ทั่วท้องฟ้า
ความคลาดเคลื่อน	0.30 เคลวิน
ความละเอียด (Resolution)	0.25 เคลวิน
ความถี่ในการเก็บข้อมูล	0 ถึง 700 เคลวิน
ขนาด	50 x 28 x 76 เซนติเมตร
น้ำหนัก	21 กิโลกรัม
อัตราการแกว่ง	3 องศา ต่อ วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RETRIEVAL COEFFICIENTS:

Vapor c0 = .019 c1 = 21.100 c2 = -12.200

Liquid c0 = -.009 c1 = -.170 c2 = .621

Mean atm temp vapor = 278.040 liquid = 273.450

Cosmic background temp = 2.730

Vapor to path delay conversion factor = 6.50

Radio phase delay c0 = .000 c1 = .000 c2 = .000

date	time	TbSky23	TbSky31	TkBB	VapCM	LiqCM	DelCM	AZact	ELact	Tau23	Tau31	Tamb
07/04/01	09:23:28	158.27	98.50	309.85	12.255	.1206	79.66	.0	149.8	.8323	.4366	303.6
07/04/01	09:24:42	127.72	81.55	309.88	8.590	.1018	55.83	.0	135.0	.6052	.3441	303.5
07/04/01	09:25:56	112.53	74.64	309.91	6.989	.0962	45.43	.0	120.2	.5088	.3087	303.4
07/04/01	09:27:11	102.21	69.81	309.94	<u>6.006</u>	.0916	39.04	.0	<u>90.0</u>	.4484	.2847	303.8
07/04/01	09:28:25	161.05	101.15	309.98	12.563	.1261	81.66	.0	30.1	.8558	.4519	304.3
07/04/01	09:29:40	129.02	83.25	310.02	8.664	.1059	56.32	.0	45.0	.6138	.3530	304.7
07/04/01	09:30:54	113.01	75.22	310.07	7.014	.0975	45.59	.0	59.9	.5117	.3117	304.6
07/04/01	09:32:09	102.94	71.21	310.12	6.010	.0952	39.07	.0	90.0	.4526	.2916	304.4
07/04/01	09:33:23	160.52	101.20	310.19	12.465	.1271	81.02	.0	149.8	.8513	.4521	304.1
07/04/01	09:34:37	130.01	86.14	310.27	8.618	.1142	56.02	.0	135.0	.6205	.3683	304.0
07/04/01	09:35:52	114.25	77.11	310.33	7.058	.1022	45.87	.0	120.2	.5193	.3212	304.0
07/04/01	09:37:07	103.26	72.09	310.40	5.995	.0976	38.97	.0	90.0	.4544	.2960	303.9
07/04/01	09:38:21	162.35	103.04	310.45	12.665	.1311	82.32	.0	30.1	.8670	.4629	303.9

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศโดยการวัดด้วยไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์รุ่น Radiometrics WVR-1100

3.3 ข้อมูลความกดอากาศพื้นผิว

นอกจากข้อมูลจีพีเอส และ ไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์แล้ว ยังได้ใช้ข้อมูลความกดอากาศพื้นผิวจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่สถานีตั้งอยู่ในจังหวัดสุโขทัยห่างจากสถานีศรีสำโรงที่ทำการเก็บข้อมูลจีพีเอส และข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ประมาณ 20 กิโลเมตร ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 3 ชั่วโมง มาช่วยในการประมาณค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส ข้อมูลที่ได้จะมีเป็นหน่วยเป็น Hectopascal (hPa) โดยที่ 1 hPa จะเท่ากับ 1 มิลลิบาร์ ทางแนวนอนของข้อมูลจะเป็นค่าของเวลา เริ่ม

ตั้งแต่หนึ่งนาฬิกาไปจนถึงยี่สิบสองนาฬิกา และแนวจึงจะเป็นวันที่ รายละเอียดของข้อมูลความกดอากาศพื้นผิวได้จากรูปที่ 3.8

Station: SUKHOTHAI*									
Pressure at msl (Hectopascal)									
August 2002									
Time	0100	0400	0700	1000	1300	1600	1900	2200	Mean
Date									
1	1004.13	1003.83	1004.63	1005.70	1004.30	1001.54	1003.04	1004.77	1003.99
2	1004.35	1004.05	1004.54	1006.26	1004.89	1001.98	1002.64	1005.75	1004.31
3	1005.59	1005.19	1005.78	1005.80	1004.89	1002.18	1001.62	1005.28	1004.54
4	1005.59	1004.90	1003.57	1004.10	1003.37	999.94	1000.55	1003.04	1003.13
5	1002.02	1001.90	1002.18	1003.08	1001.38	1000.16	1000.81	1003.58	1001.89
6	1003.08	1002.36	1003.06	1004.27	1003.28	1001.69	1003.09	1005.34	1003.27
7	1004.70	1004.19	1004.29	1005.67	1004.02	1002.59	1003.48	1005.59	1004.32
8	1005.39	1004.08	1005.17	1007.43	1004.78	1002.64	1003.19	1005.75	1004.80
9	1005.45	1003.76	1005.55	1006.45	1005.18	1003.39	1003.62	1006.14	1004.94
10	1005.99	1004.97	1005.34	1005.96	1005.20	1003.63	1004.04	1006.07	1005.15
11	1005.99	1005.50	1006.56	1007.56	1006.69	1004.73	1005.30	1007.35	1006.21
12	1006.86	1006.55	1007.35	1007.95	1007.40	1004.72	1005.33	1007.16	1006.67
13	1007.29	1005.99	1007.36	1007.26	1006.09	1003.97	1004.66	1007.20	1006.23
14	1006.89	1006.01	1006.96	1006.94	1005.47	1003.59	1004.01	1006.73	1005.83
15	1006.43	1005.54	1005.24	1006.01	1004.58	1003.36	1003.21	1003.98	1004.79
16	1004.31	1003.27	1004.36	1005.00	1003.69	1001.47	1002.08	1003.79	1003.50
17	1003.18	1002.33	1002.90	1004.24	1002.86	1000.98	1001.98	1003.49	1002.75
18	1002.75	1001.75	1002.24	1003.38	1001.69	1000.21	1000.84	1003.61	1002.06
19	1002.78	1001.76	1002.34	1003.14	1001.98	1000.39	1001.28	1003.28	1002.12
20	1003.17	1002.06	1002.85	1004.12	1002.34	1001.26	1002.78	1004.97	1002.94
21	1005.96	1005.04	1006.02	1007.04	1006.32	1005.21	1005.17	1007.26	1006.00
22	1007.25	1006.66	1007.03	1008.50	1007.51	1004.88	1005.47	1008.25	1006.94
23	1008.41	1007.69	1009.02	1010.16	1008.22	1006.15	1006.68	1009.09	1008.18
24	1008.88	1008.15	1008.95	1010.16	1008.81	1006.31	1007.31	1009.45	1008.50
25	1008.83	1007.97	1008.35	1009.02	1007.56	1006.21	1006.60	1009.21	1007.97
26	1008.38	1007.95	1008.55	1008.68	1006.85	1003.91	1004.84	1007.18	1007.04
27	1006.46	1006.45	1006.65	1007.72	1006.14	1003.72	1004.64	1007.34	1006.14
28	1007.25	1007.36	1007.36	1008.39	1007.28	1004.13	1005.86	1008.67	1007.04
29	1008.22	1008.09	1008.49	1009.73	1007.24	1004.79	1005.60	1008.96	1007.64
30	1008.92	1007.49	1007.49	1008.96	1006.16	1002.77	1002.92	1005.47	1006.27
31	1004.65	1004.52	1004.82	1005.94	1003.38	1001.28	1002.30	1004.04	1003.87
MEAN	1005.78	1005.08	1005.65	1006.60	1005.15	1003.03	1003.71	1006.06	1005.13

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลความกดอากาศพื้นผิวจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่สถานีสุโขทัย

บทที่ 4

การประมวลผลข้อมูล

ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของขั้นตอนการหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศทั้งจากข้อมูลการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และจากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ (ZTD)

การวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ (Zenith Total Delay, ZTD) เนื่องจากซอฟต์แวร์ Bernese เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถประมวลผลเส้นฐานที่มีระยะยาวได้ซึ่งให้ค่าความละเอียดสูง และที่สำคัญก็คือ สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศได้ ในการประมวลผลเส้นฐานได้ใช้ข้อมูลจีพีเอสสองสถานี คือสถานีศรีสำโรงและสถานีกรุงเทพมหานคร ความยาวเส้นฐานประมาณ 400 กิโลเมตรในขั้นตอนการประมวลผลได้ทำการ fix ค่าพิกัดของสถานีศรีสำโรง โดยข้อมูลจะต้องแปลงให้เป็นรูปแบบ RINEX(Receiver-Independent Exchange Format) เสียก่อนแล้วจึงแปลงให้อยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ Bernese นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบละเอียดสูงชนิด Final ของหน่วยงาน IGS(International GPS Service) โดยดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ตซึ่งจะมีนามสกุล .sp3 ดังนั้นจะต้องแปลงนามสกุลให้เป็น .pre เพื่อให้อยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ Bernese ในขั้นตอนการเลือกแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ได้ทำการเลือกแบบจำลองสามแบบจำลองโดยเลือกทีละแบบจำลองคือ Saastamoninen, Modified Hopfield และ Essen and Froome แล้วทำการให้แสดงค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งทุกๆหนึ่งชั่วโมง รายละเอียดและขั้นตอนการประมวลผลของการหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศสามารถดูได้ใน ภาคผนวก ก.

4.2 การคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส (PWV)

หลังจากได้ค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ (ZTD) โดยการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 แต่เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศประกอบไป

ด้วยส่วนประกอบหลักสองส่วน คือค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบแห้ง (Zenith Hydrostatic Delay, ZHD) และค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียก (Zenith Wet Delay, ZWD) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ด้วยสมการที่ (4.1)

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad (4.1)$$

(Saastamoninen, 1973) ได้ให้สมการที่ใช้คำนวณค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบแห้ง (ที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร) ไว้ดังสมการที่ (4.2)

$$ZHD = 2.277 \frac{P_s}{f(\phi, H)} \quad (4.2)$$

โดยที่ P_s คือความกดอากาศพื้นผิว มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ และ $f(\phi, H)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3)

$$f(\phi, H) = (1 - 0.0026 \cos 2\phi - 0.00028H) \quad (4.3)$$

โดยที่ ϕ คือค่าละติจูด มีหน่วยเป็นเรเดียน และ H คือค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง มีหน่วยเป็นกิโลเมตร เมื่อนำค่าละติจูดและค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางที่สถานีศรีสำโรง แทนในสมการที่ (4.3) จะได้ค่า $f(\phi, H)$ เท่ากับ 0.998

จากการที่สามารถคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบแห้งได้ในสมการที่ (4.2) และแทนค่าดังกล่าวในสมการที่ (4.1) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียกได้และความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียก กับค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส สามารถหาได้ด้วยสมการที่ (4.4)

$$PWV = \pi * ZWD \quad (4.4)$$

โดยที่ π คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์หลายตัวและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม (Bevis, 1992) ได้ให้ค่าทั่วไปสำหรับสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเท่ากับ 0.15 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่า

ดังกล่าวในการแปลงค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียกมาเป็นค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส

4.3 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์โดยใช้แบบจำลองมาตรฐานที่ต่างกัน

ผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มาตรฐานในซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ที่ต่างกันสามแบบจำลองคือ Saastamoinen Modified Hopfield และ Essen and Froome ตามหัวข้อ 4.1 โดยในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ ที่แตกต่างกันตามแบบจำลองต่างๆ และนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ (4.1) ต่อไป

แบบจำลองมาตรฐานชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

4.3.1 แบบจำลอง Saastamoinen

แบบจำลองนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Saastamoinen ซึ่งได้แบ่งสภาพบรรยากาศแบบแห้งออกเป็นสองส่วน คือส่วน Polytropic Troposphere ซึ่งขยายจากพื้นผิวไปจนถึงความสูงประมาณ 11 ถึง 12 กิโลเมตร และส่วน Isothermal Stratosphere ที่นับต่อเนื่องจากชั้นโทรโพสเฟียร์ไปประมาณ 50 กิโลเมตร ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (Saastamoinen, 1973)

$$\Delta^{\text{Trop}} = \frac{0.002277}{\cos z} \left[p + \left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - \tan^2 z \right] \quad (4.5)$$

โดยที่

Δ^{Trop} คือ ผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งเนื่องจากการหักเหในชั้นโทรโพสเฟียร์ (มิลลิเมตร)

z คือ มุมสูงเหนือศีรษะของดาวเทียม (องศา)

p คือ ความดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

e คือ ความดันไอน้ำ (มิลลิบาร์)

4.3.2 แบบจำลอง Modified Hopfield

แบบจำลองนี้ได้ถูกพัฒนามาจากแบบจำลอง Hopfield ได้มีการทดลองให้ช่วงของความยาวทางตำแหน่งแทนที่ด้วยความสูง โดยรัศมีของโลกคือ R_E และยังให้ค่า $r_d = R_E + h_d$ และ $r = R_E + h$ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้ (Goad and Goodman, 1974)

$$\Delta_d^{\text{Trop}}(z) = \frac{10^{-6} N_{d,0}^{\text{Trop}}}{(r_d - R_E)^4} \int_{r=R_E}^{r=r_d} \frac{r(r_d - r)^4}{\sqrt{r^2 - R_E^2 \sin^2 z_0}} dr \quad (4.6)$$

Δ_d^{Trop} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งแบบแห้ง

$N_{d,0}^{\text{Trop}}$ คือ อิทธิพลของส่วนประกอบแห้ง

z_0 คือ มุมสูงเหนือศีรษะในขณะรังวัด (องศา)

R_E คือ รัศมีของโลก (กิโลเมตร)

r_d คือ ผลรวมของ R_E และ h_d (กิโลเมตร)

r คือ ผลรวมของ R_E และ h (กิโลเมตร)

h คือ ค่าความสูงของจุดที่ตั้งเครื่องรับสัญญาณ (กิโลเมตร)

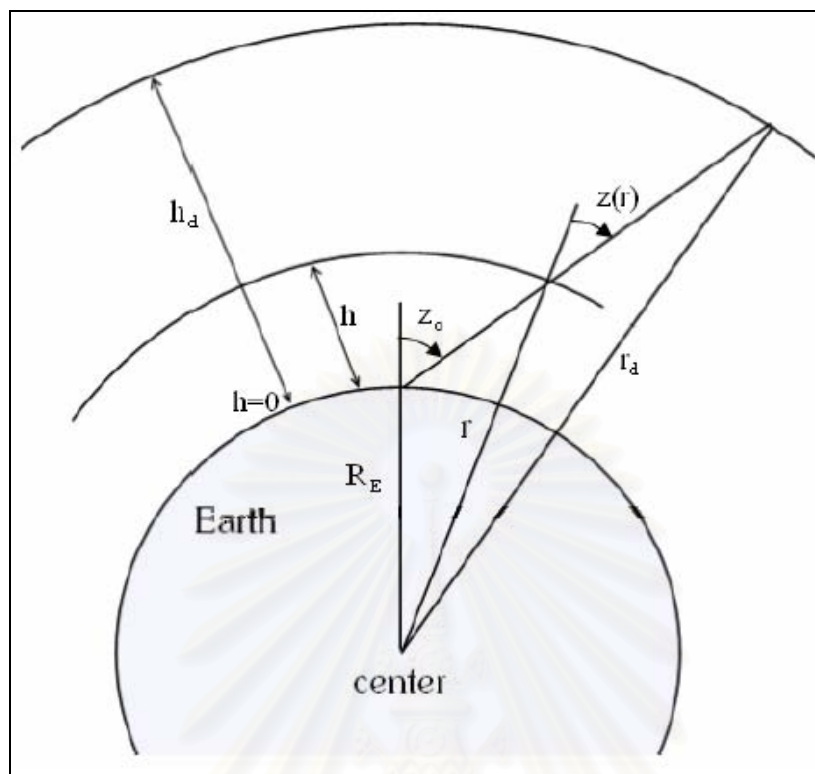
$$\Delta_w^{\text{Trop}}(z) = \frac{10^{-6} N_{w,0}^{\text{Trop}}}{(r_w - R_E)^4} \int_{r=R_E}^{r=r_d} \frac{r(r_w - r)^4}{\sqrt{r^2 - R_E^2 \sin^2 z_0}} dr \quad (4.7)$$

Δ_w^{Trop} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งแบบเปียก

$N_{w,0}^{\text{Trop}}$ คือ อิทธิพลของส่วนประกอบเปียก

r_w คือ ผลรวมของ R_E และ h_w (กิโลเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 เรขาคณิตของแบบจำลอง Modified Hopfield (Goad and Goodman, 1974)

4.3.3 แบบจำลอง Essen and Froome

แบบจำลองนี้ได้พัฒนาขึ้นโดย Essen และ Froome ซึ่งเป็นแบบจำลองพื้นฐานในการพัฒนาของแบบจำลองอื่นๆของการหาค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ มีรายละเอียดดังนี้ (Essen and Froome, 1951)

$$N_{dry,0} = 77.64 \frac{P}{T} \quad (4.8)$$

$$N_{wet,0} = -12.96 \frac{e}{T} + 3.718 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (4.9)$$

$N_{dry,0}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบแห้ง

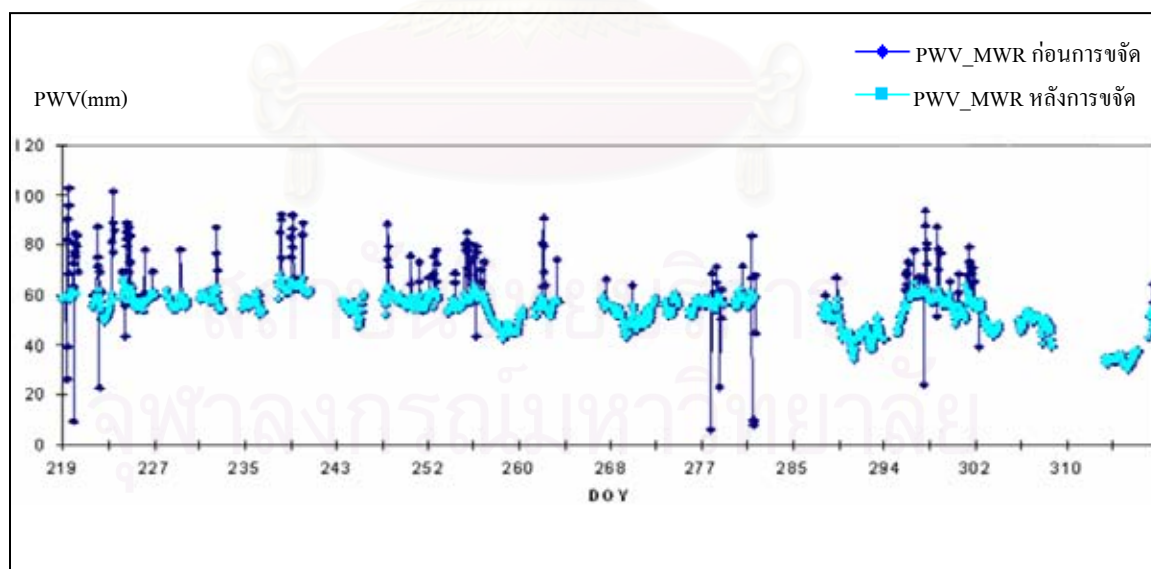
$N_{wet,0}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบเปียก

P คือ ความดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)
 e คือ ความดันไอน้ำ (มิลลิบาร์)

4.4 การหาค่าปริมาณความชื้นในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR)

ข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ จะเป็นค่า Brightness temperature (T_b) ในหน่วยของเคลวิน ที่มีอัตราถี่ทุก 45 วินาที โดยซอฟต์แวร์ที่มาพร้อมกับเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ จะทำการประมาณค่า MWR จากข้อมูลที่วัดได้ร่วมกับฐานข้อมูลและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ในซอฟต์แวร์ รายละเอียดสามารถหาอ่านได้จาก (Schroeder and Westwater, 1991) อย่างไรก็ตามค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ยังมีค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่รวมอยู่ ทำให้ต้องทำการขจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ทิ้งออกไป สาเหตุของการเกิดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่นี้มาจากการรับสัญญาณในช่วงที่มีฝนตกและเม็ดฝนมาเกาะอยู่บริเวณที่รับข้อมูล จึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด (Elgered et al., 1993) รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ระหว่างค่าที่ไม่มีการขจัดค่าคลาดเคลื่อน (จุดสีน้ำเงินเข้ม) และค่าที่มีการขจัดค่าคลาดเคลื่อนทิ้ง (จุดสีฟ้า) แกนราบแสดงข้อมูลตามเวลาในหน่วยของวันในปี (พ.ศ. 2544) และแกนตั้งแสดงค่า PWV หน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 ค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ ระหว่างค่าที่ไม่มีการขจัดค่าคลาดเคลื่อน (จุดสีน้ำเงินเข้ม) และค่าที่มีการขจัดค่าคลาดเคลื่อนทิ้ง (จุดสีฟ้า)

บทที่ 5

ผลการประมวลผล

หลังจากขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล จึงนำผลของค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและหาค่าต่างของค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่ได้จากแบบจำลอง การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ผลการประมวลผล

จากการที่ประมวลผลข้อมูลทั้งหมดสามารถแยกข้อมูลตามรายปีโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 การประมวลผลข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ผลของการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (PWV) ที่ได้จากการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่าจากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์(MWR) แสดงไว้ในรูปที่ 5.1, รูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบแสดงไว้ตารางที่ 5.1 และค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ทั้งสามแบบแสดงไว้ตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2544

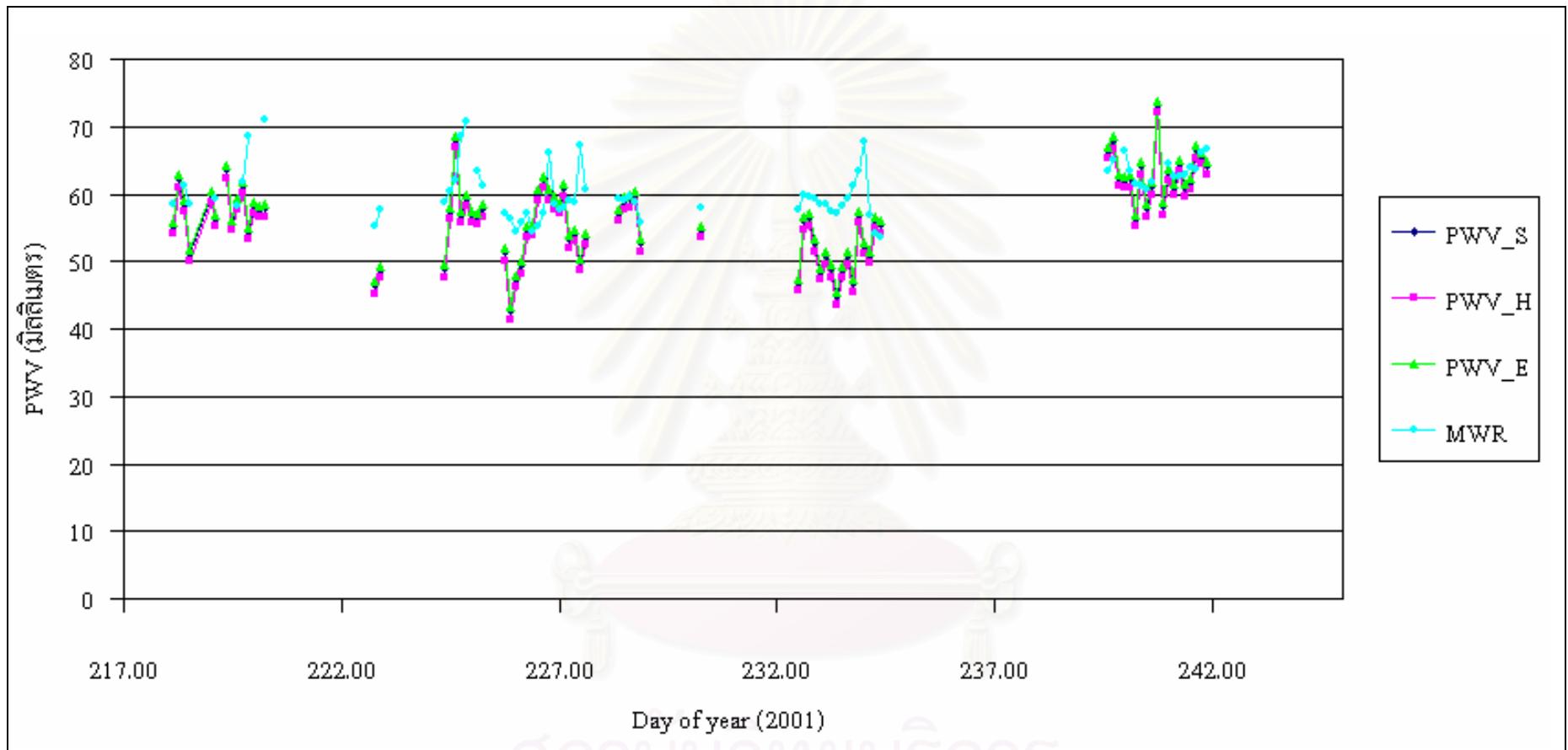
แบบจำลอง	ค่า PWV เฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย (มม.)
Saastamoinen	53.0	7.5
Modified Hopfield	51.4	7.5
Essen and Froome	53.6	7.5
MWR	55.2	6.0

ตารางที่ 5.2 ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2544

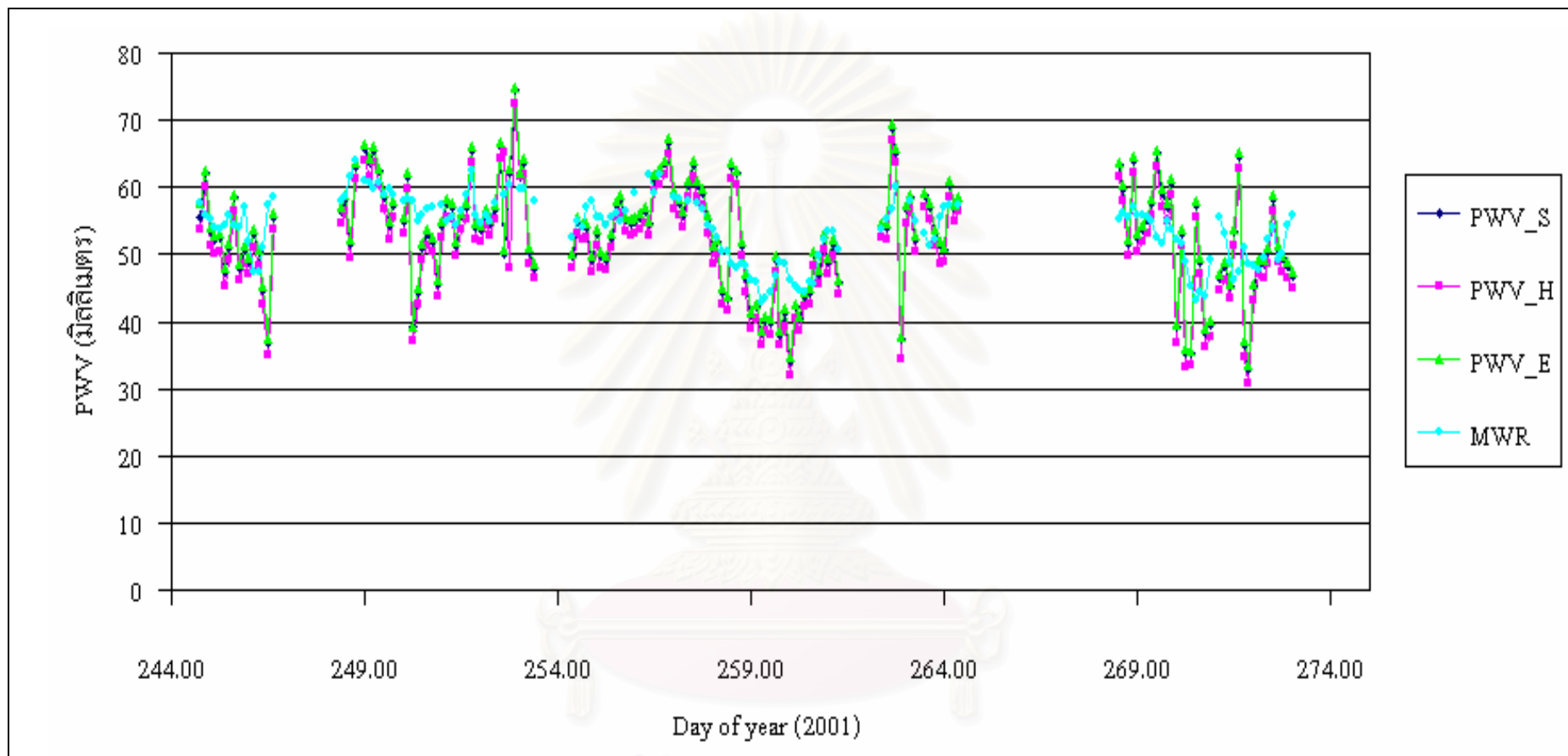
แบบจำลอง	ค่าต่างเฉลี่ยระหว่าง MWR กับ PWV (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าต่างเฉลี่ย (มม.)
Saastamoinen	4.1	2.9
Modified Hopfield	5.0	3.3
Essen and Froome	3.9	2.8



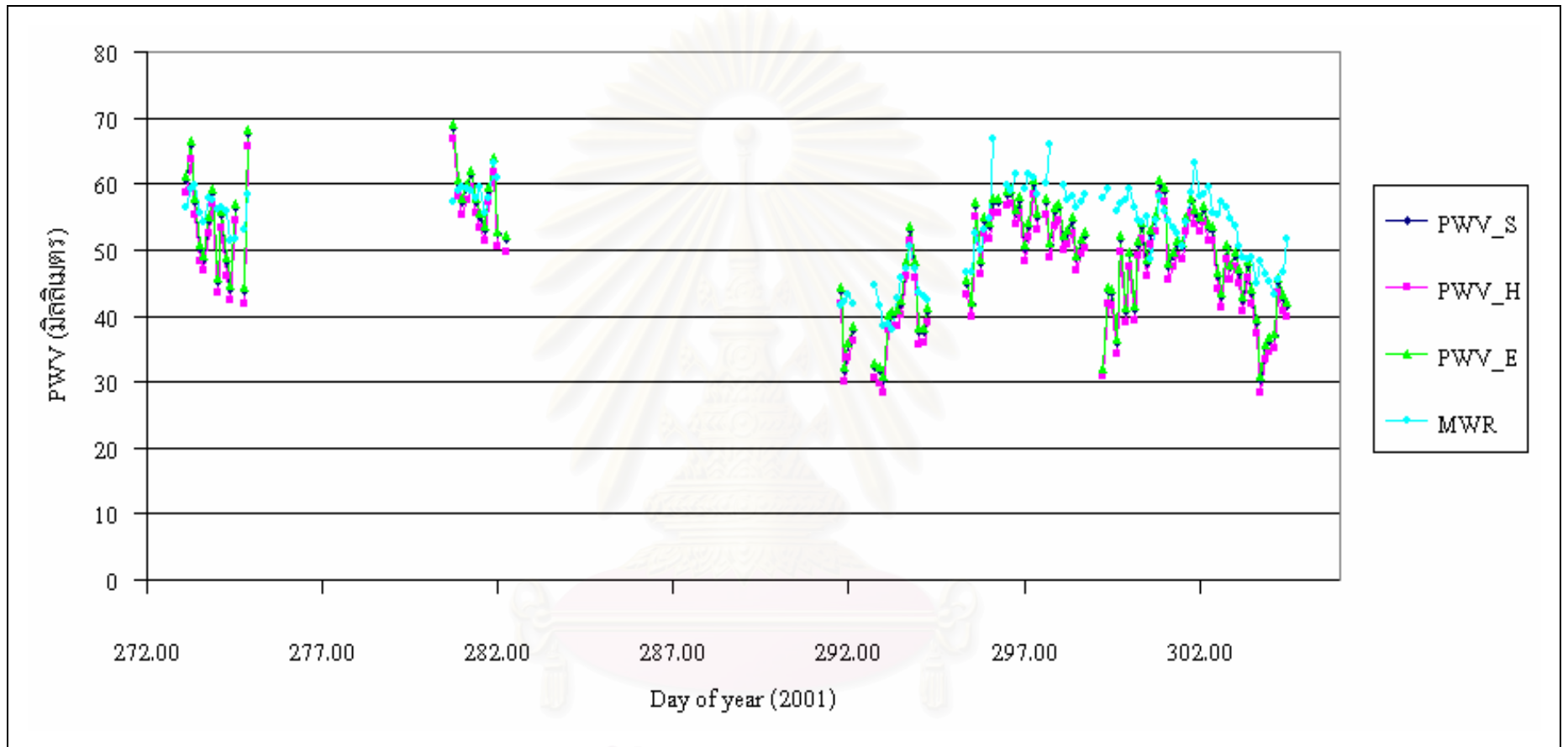
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดาร์ (MWR) ของเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2544



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) ของเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2544



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) ของเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2544

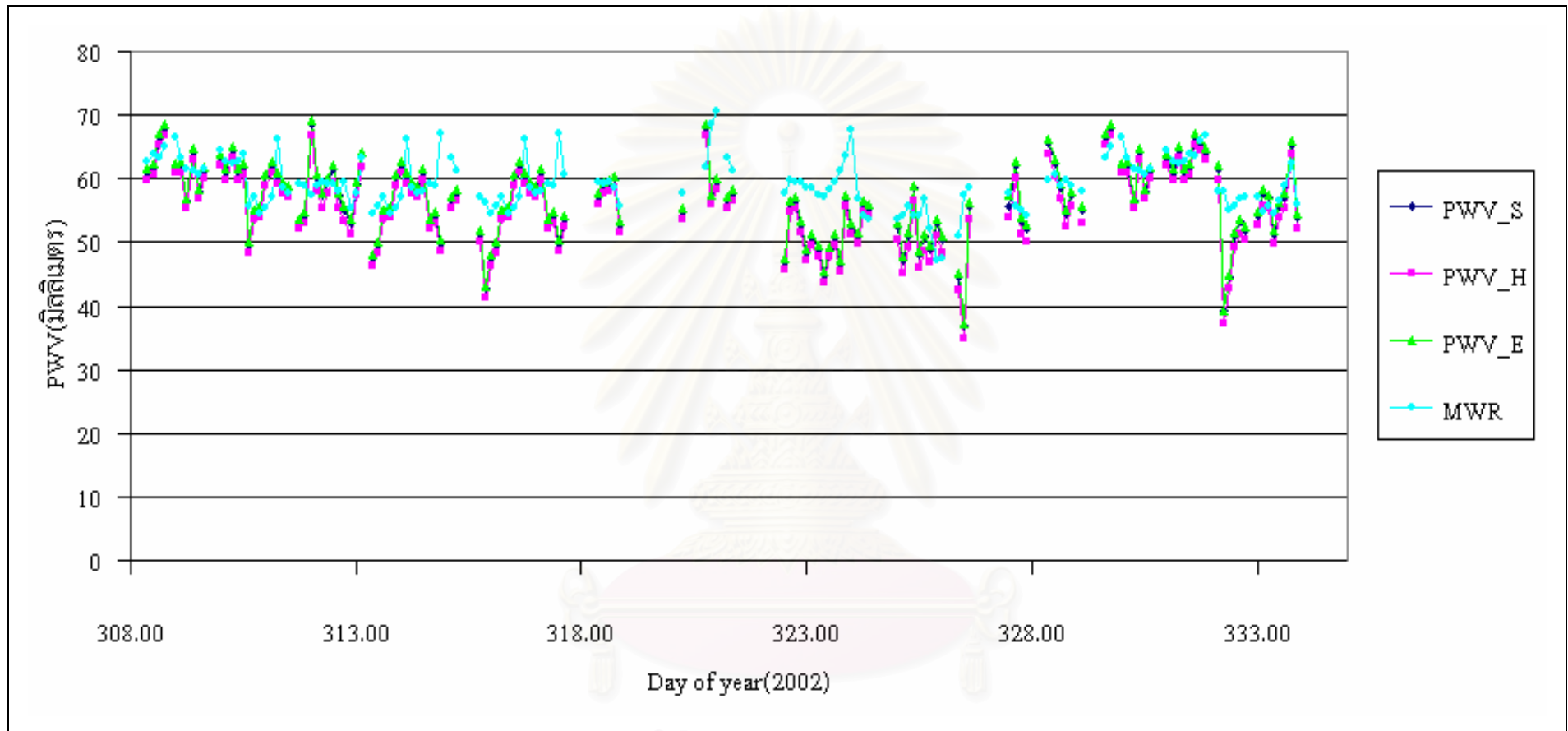
5.1.2 การประมวลผลข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 พฤศจิกายน ถึง 28 ธันวาคม พ.ศ. 2545 ผลของการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (PWV) ที่ได้จากการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่าจากเครื่องมือโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบ แสดงไว้ตารางที่ 5.3 และค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบแสดงไว้ตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2545

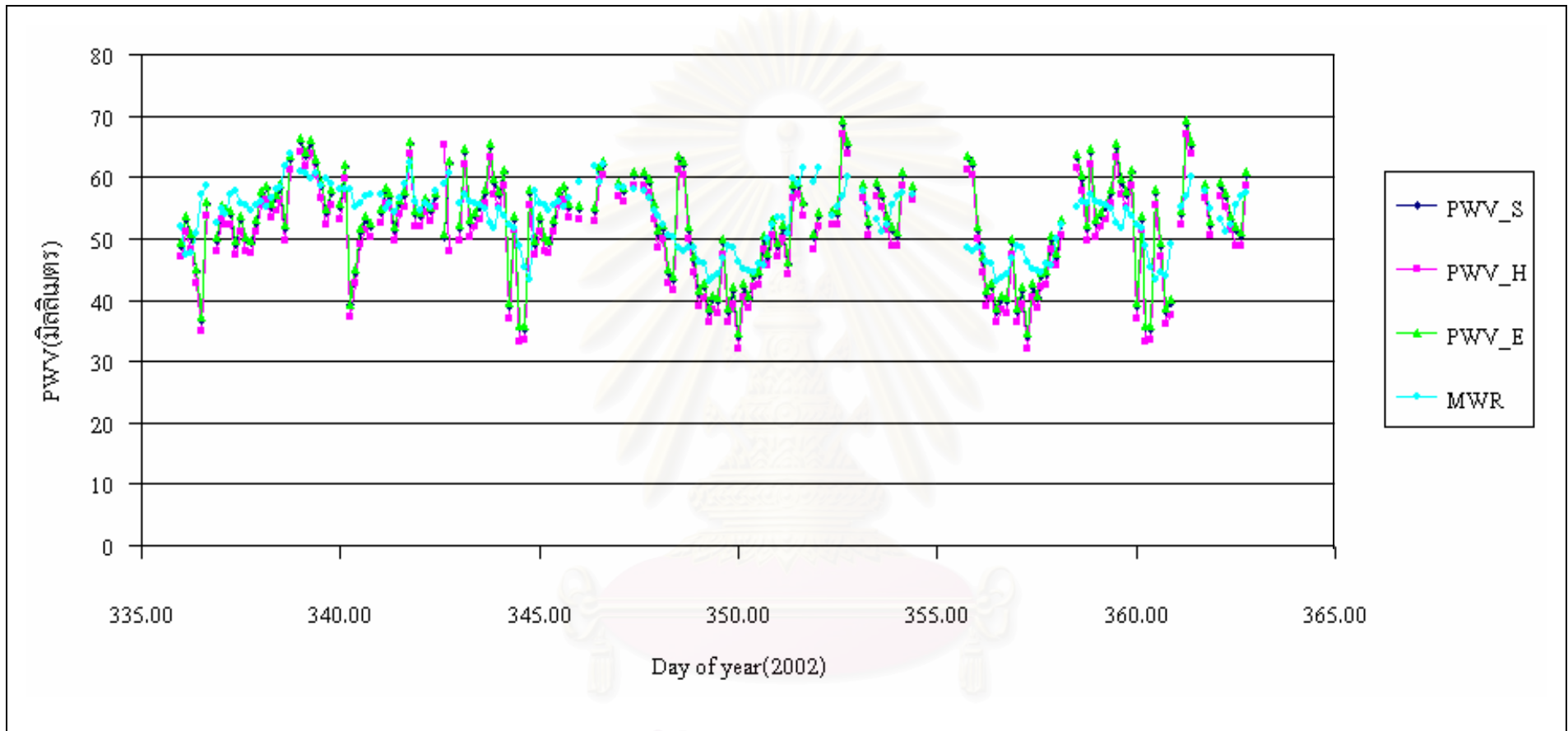
แบบจำลอง	ค่า PWV เฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย (มม.)
Saastamoinen	51.6	8.5
Modified Hopfield	49.7	8.5
Essen and Froome	52.1	8.5
MWR	56.0	5.5

ตารางที่ 5.4 ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2545

แบบจำลอง	ค่าต่างเฉลี่ยระหว่าง MWR กับ PWV (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าต่างเฉลี่ย (มม.)
Saastamoinen	5.1	4.0
Modified Hopfield	5.5	4.1
Essen and Froome	5.0	4.0



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) ของเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2545



รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องมือโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) ของเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2545

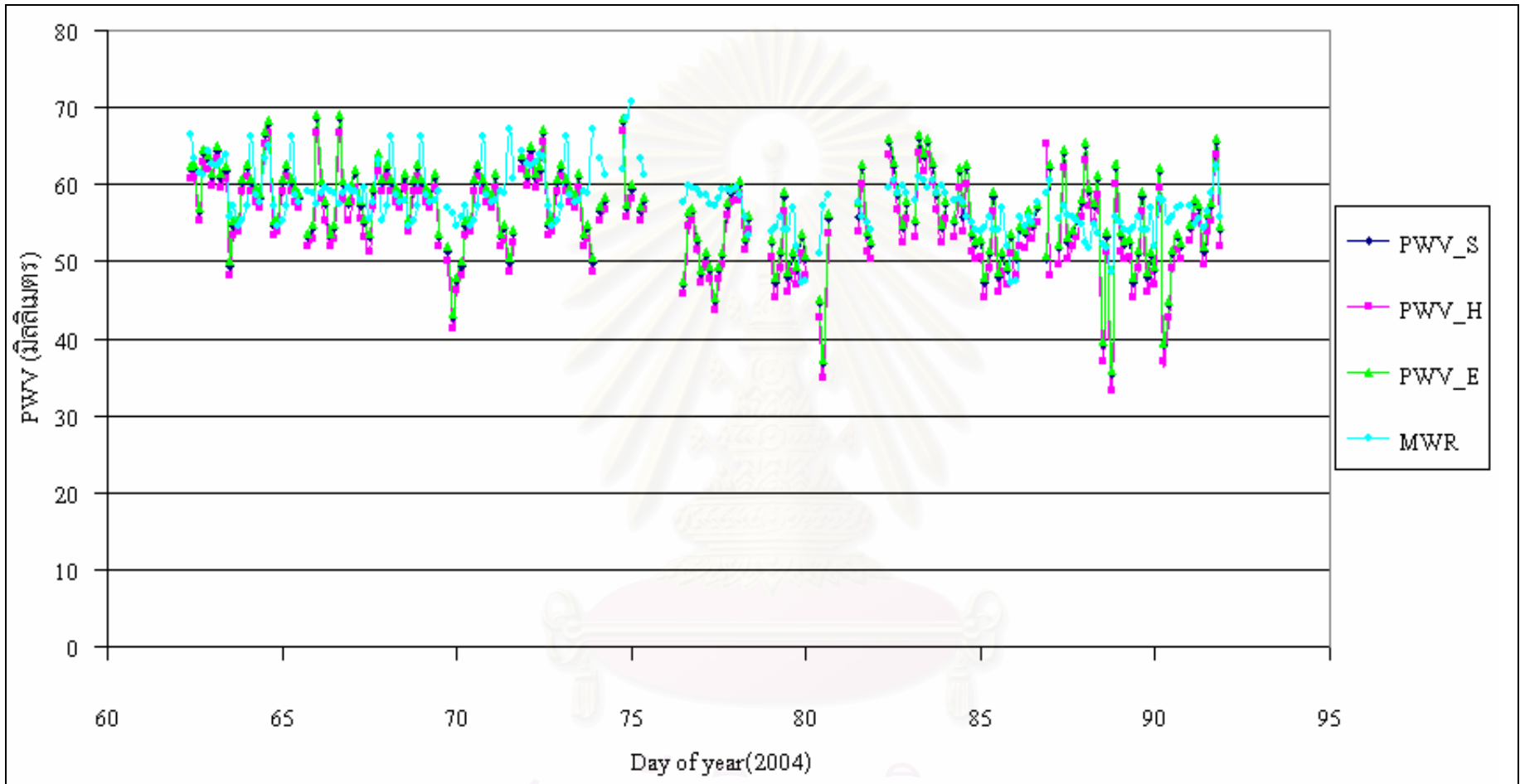
5.1.3 การประมวลผลข้อมูลตั้งแต่วันที่ 2 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 ผลของการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (PWV) ที่ได้จากการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่าจากเครื่องมือโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) แสดงไว้ในรูปที่ 5.6 ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบแสดงไว้ตารางที่ 5.5 และค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบแสดงไว้ตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 ค่าทางสถิติของ PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2547

แบบจำลอง	ค่า PWV เฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย (มม.)
Saastamoinen	54.9	6.0
Modified Hopfield	53.2	6.2
Essen and Froome	55.5	6.0
MWR	57.9	3.9

ตารางที่ 5.6 ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทั้งสามแบบของปี พ.ศ. 2547

แบบจำลอง	ค่าต่างเฉลี่ยระหว่าง MWR กับ PWV (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าต่างเฉลี่ย (มม.)
Saastamoinen	4.6	3.8
Modified Hopfield	5.3	4.2
Essen and Froome	4.4	3.7



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่า PWV ที่ได้จากแบบจำลอง Saastamoinen (PWV_S), แบบจำลอง Modified Hopfield (PWV_H), แบบจำลอง Essen and Froome (PWV_E) กับค่า PWV ที่ได้จากเครื่องมือโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (MWR) ของเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2547

ค่าทางสถิติในตารางที่ 5.1, 5.3 และ 5.5 แสดงให้เห็นว่าค่าต่างเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสามแบบจำลองมีความใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติในตารางที่ 5.2, 5.4 และ 5.6 สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง Essen and Froome ให้ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า MWR กับค่า PWV น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ผลสรุปที่ชัดเจนคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบทางสถิติเพื่อดูว่าค่าที่ได้จากแต่ละแบบจำลองมีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 5.2

5.2. การทดสอบค่าต่าง

ในการประมวลผลข้อมูลในครั้งนี้จะเป็นการวิเคราะห์ค่าต่างของค่า PWV ที่ได้จากการใช้แบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มาตรฐานที่ต่างกันเพื่อหาว่าค่าต่างนั้นมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งวิธีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะใช้วิธีการทางสถิติคือ การทดสอบสมมุติฐาน (Hypotheses testing) โดยสมมุติว่าข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ถ้าผลการทดสอบที่ได้บ่งชี้ว่าค่าต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญก็หมายความว่าแบบจำลองทุกแบบจำลองให้ค่า PWV ที่ไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าผลการทดสอบที่ได้บ่งชี้ว่าค่าต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญก็จะนำมาสรุปว่าแบบจำลอง Essen and Froome ให้ค่า PWV ที่ได้ดีที่สุด และสามารถนำมาสำหรับเป็นแบบจำลองอ้างอิงต่อไป รายละเอียดของการทดสอบสมมุติฐานมีดังนี้

จากการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ค่า $z_{\alpha=0.05} = 1.96$ โดยมีสมมุติฐานดังนี้

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

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

จากนั้นจึงทำการทดสอบในแต่ละแบบจำลองโดยแทนค่าต่างๆ ในสมการ (5.1) และ (5.2) 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

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}} \quad (5.1)$$

$$\sigma_{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)} = \sqrt{\sigma_{\bar{X}_1}^2 + \sigma_{\bar{X}_2}^2} \quad (5.2)$$

โดยกำหนดให้

\bar{X}_1 = ค่า PWV ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Essen and Froome

\bar{X}_2 = ค่า PWV ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Saastamoinen และ Modified Hopfield

$\sigma_{\bar{X}_1}$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า PWV ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Essen and Froome

$\sigma_{\bar{X}_2}$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า PWV ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง Saastamoinen และ Modified Hopfield

ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบสมมุติฐานได้ดังตารางที่ 5.7, 5.8 และ 5.9 ผลการทดสอบสมมุติฐานที่แสดงในตารางที่ 5.7, 5.8 และ 5.9 แสดงให้เห็นว่าค่าต่างระหว่างแบบจำลองไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งก็หมายความว่าแบบจำลองทุกแบบจำลองให้ค่า PWV ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบสมมุติฐานของปี พ.ศ.2544

แบบจำลอง	\bar{X} (มม.)	$\sigma_{\bar{X}}$ (มม.)	Z	ผลสรุป
Essen and Froome	3.9	2.8		แบบจำลองอ้างอิงในการทดสอบ
Saastamoinen	4.1	2.9	0.048	ยอมรับ H_0
Modified Hopfield	5.0	3.3	0.239	ยอมรับ H_0

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบสมมุติฐานของปี พ.ศ.2545

แบบจำลอง	\bar{X} (มม.)	$\sigma_{\bar{X}}$ (มม.)	Z	ผลสรุป
Essen and Froome	5.0	4.0		แบบจำลองอ้างอิงในการทดสอบ
Saastamoinen	5.1	4.0	0.018	ยอมรับ H_0
Modified Hopfield	5.5	4.1	0.087	ยอมรับ H_0

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบสมมุติฐานของปี พ.ศ.2547

แบบจำลอง	\bar{X} (มม.)	$\sigma_{\bar{X}}$ (มม.)	Z	ผลสรุป
Essen and Froome	4.4	3.7		แบบจำลองอ้างอิงในการทดสอบ
Saastamoinen	4.6	3.8	0.038	ยอมรับ H_0
Modified Hopfield	5.3	4.2	0.161	ยอมรับ H_0

จากผลการทดลองสมมุติฐานที่ได้ทั้งหมดค่า Z มีค่าน้อยกว่า 1.96 ทุกค่าจึงยอมรับสมมุติฐาน H_0 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าต่างไม่มีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยในหัวข้อ การหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

6.1. บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงขั้นตอนการหาค่าปริมาณความชื้นในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (PWV) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ในการประมวลผลเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนรวมทางคิ่งโดยใช้แบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกันสามแบบจำลองด้วยกันคือ Saastamoinen, Modified Hopfield และ Essen and Froome ค่าปริมาณความชื้นในชั้นบรรยากาศที่ประมวลผลจากข้อมูลจีพีเอสทั้งสามแบบจำลอง มีค่าใกล้เคียงกันมากแต่เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง Essen and Froome ให้ค่าทางสถิติของค่าต่างระหว่างค่า PWV กับค่า MWR น้อยที่สุดและค่า PWV ที่ได้จากสามแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่า MWR อยู่ระหว่าง 3.9 ถึง 5.5 มิลลิเมตร และค่า PWV เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 49.7 ถึง 55.5 มิลลิเมตร ค่า MWR เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 55.2 ถึง 57.9 มิลลิเมตร ซึ่งผลลัพธ์คล้ายคลึงกันกับงานวิจัยในต่างประเทศ และเมื่อนำค่า PWV แต่ละแบบจำลองมาทดสอบค่าต่าง ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าค่าต่างเฉลี่ยแต่ละแบบจำลองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สามารถที่จะเลือกใช้แบบจำลองใดก็ได้ตามความต้องการ

6.2. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะดังนี้

6.2.1 เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยทั้งข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์และข้อมูลการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เป็นข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องกันตลอดทั้งปี ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จึงมีไม่มากนัก หากมีข้อมูลที่ต่อเนื่องกันตลอดทั้งปีจะทำให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่านี้

6.2.2 ข้อมูลความกดอากาศพื้นผิว (Ps) จากกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นการตั้งวัดค่าที่สถานีในจังหวัดสุโขทัยแต่ข้อมูลไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์และข้อมูลการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ตั้งรับค่าที่สถานีศรีสำโรงซึ่งห่างกันประมาณ 20 กิโลเมตร อาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตำแหน่งของการตั้งรับสถานีที่ต่างกัน

6.2.3 เนื่องจากค่า π ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือ 0.15 เป็นค่าทั่วไปที่ใช้ทั่วโลกซึ่งถ้าหากมีข้อมูลในการหาค่า π ในภูมิภาคนี้หรือในประเทศไทย ผลที่ได้ก็น่าจะมีความถูกต้องมากกว่านี้ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าวิจัยต่อไป

6.2.4 ในงานวิจัยในครั้งนี้ใช้ซอฟต์แวร์ Bernese ในขั้นตอนการประมวลผลหาค่าความคลาดรวมทางดิ่ง (ZTD) แต่ยังมีซอฟต์แวร์อื่นๆ ที่สามารถหาค่าดังกล่าวได้ เช่น ซอฟต์แวร์ GIPSY เป็นต้น ซึ่งก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจในการวิจัยเพื่อหาค่าความแตกต่างของค่า ZTD โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ต่างกัน

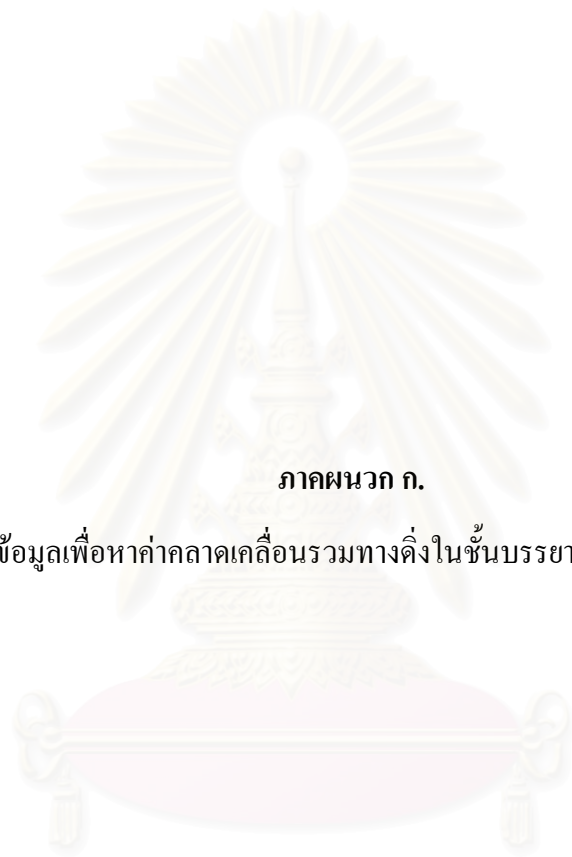


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- Braun, J.J. (2004) *Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor with the Global Positioning System*, Ph.D. Dissertation, Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado, 125pp.
- Bevis, M., S. Businger, T.A. Herring, C. Rocken, R.A. Anthes, and R.H. Ware (1992) GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric using the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research*, 97, 15787-15801.
- Bar-Sever, Y.E., P.M. Kroger, and J.A. Borjesson, Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver, *Journal of Geophysical Research*, 103, 5109-5035, 1998.
- Davis, J.L., G. Elgered, A.E. Niell, and C.E. Kuehn, Ground-based measurement of gradients in the "wet" radio refractivity of air, *Radio Science*, 28, 1003-1018, 1993.
- Davis, J.K., T.A. Herring, I.I. Shapiro, A.E. Rogers, and G. Elgered, Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length, *Radio Science*, 20 (6), 1593-1607, 1985
- Elgered, G., J.L. Davis, T.A. Herring, and I.I. Shapiro (1993) Geodesy by radio interferometry: Water Vapor Radiometry for estimation of the wet delay, *Journal of Geophysical Research*, 96, 6541-6555.
- Essen, L. and Froome, K. D. (1951) The refractive indices and dielectric constants of air and its principal Constituents at 24 GHz., *Proc Phys Soc (London)*, B-64:862-875.
- Goad, C.C. and Goodman, L. (1974) A Modified Hopfield Tropospheric Refraction Correction Model, *Proceedings of the Fall Annual Meeting of the American Geophysical Union*, San Francisco, California.
- IGS. 2006. *IGS Products* [Online]. Available from : <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> [2006, Feb 15].
- Jin, S., Wang, J. and Rizos, C. (2004) Impacts of Stochastic Modelling on GPS-Derived ZTD, *Geomatics Research Australasia*, 81: 19 -29.
- Leick, A. (1995) *GPS Satellite Surveying*, 2nd ed., New York: John Wiley & Son, 560pp.

- Liou, Y. and Yang, M. (1998) GPS Sensing of Precipitable Water Vapor, *Proceedings of the 3rd International Symposium on GPS Technology*, November, 43 -49.
- Niell, A.E., Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal of Geophysical Research*, 101(B), 3227-3246, 1996
- Niell, A.E., Preliminary evaluation of atmospheric mapping functions based on numerical weather models, *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, 476-480, 2001
- Rocken, C., The global positioning system: A new tool for tectonic studies, Ph. D. thesis, University of Colorado, Boulder, 1988.
- Rocken, C., S. Sokolovskiy, J.M. Johnson, and D. Hunt, Improved mapping of tropospheric delays, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18 (7), 1205-1213, 2001.
- Rocken, C., T. Van Hove, J.M. Johnson, F. Solheim, and R.H. Ware, GPS/STORM -GPS sensing of atmospheric water vapor for meteorology, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12, 468-478, 1995.
- Rocken, C., T. Van Hove, and R.H. Ware, Near real-time GPS sensing of atmospheric water vapor, *Geophysical Research Letters*, 24, 3221-3224, 1997.
- Revercombe, H.E., D.D. Turner, D.C. Tobin, R.O. Knuteson, W.F. Feltz, J. Barnard, J. Bosenberg, S. Clough, D. Cook, R. Ferrare, J. Goldsmith, S. Gutman, R. Halthore, B. Lesht, J. Liljegren, H. Linne, J. Michalsky, V. Morris, W. Porch, S. Richardson, B. Schmid, M. Splitt, T. Van Hove, E. Westwater, and D. Whiteman (2003) The ARM program's water vapor intensive
- Rissland, R. *Personal communication*, Radiometrics Corporation, Available from E-mail: rissland@radiometrics.com [2005, Feb 8].
- Saastamoinen, J. (1973) Contribution to the theory of atmospheric refraction, *Bulletin Geodesique*, 107,13-34, 1973. observation periods: Overview, initial accomplishments, and future challenges, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (2), 217-236.
- Schroeder, J., and E. Westwater (1991) *User's guide to WPL Microwave Radiative Transfer Software*, NOAA Tech. Memo ERL WPL-213, 84 pp.
- Sokolovskiy, S., C. Rocken, and A.R. Lowry, Use of GPS for estimation of bending angle of radio waves elevations, *Radio Scinc*, 36 (3), 473-482, 2001.



ภาคผนวก ก.

การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าตลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศด้วยซอฟต์แวร์ Bernese

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

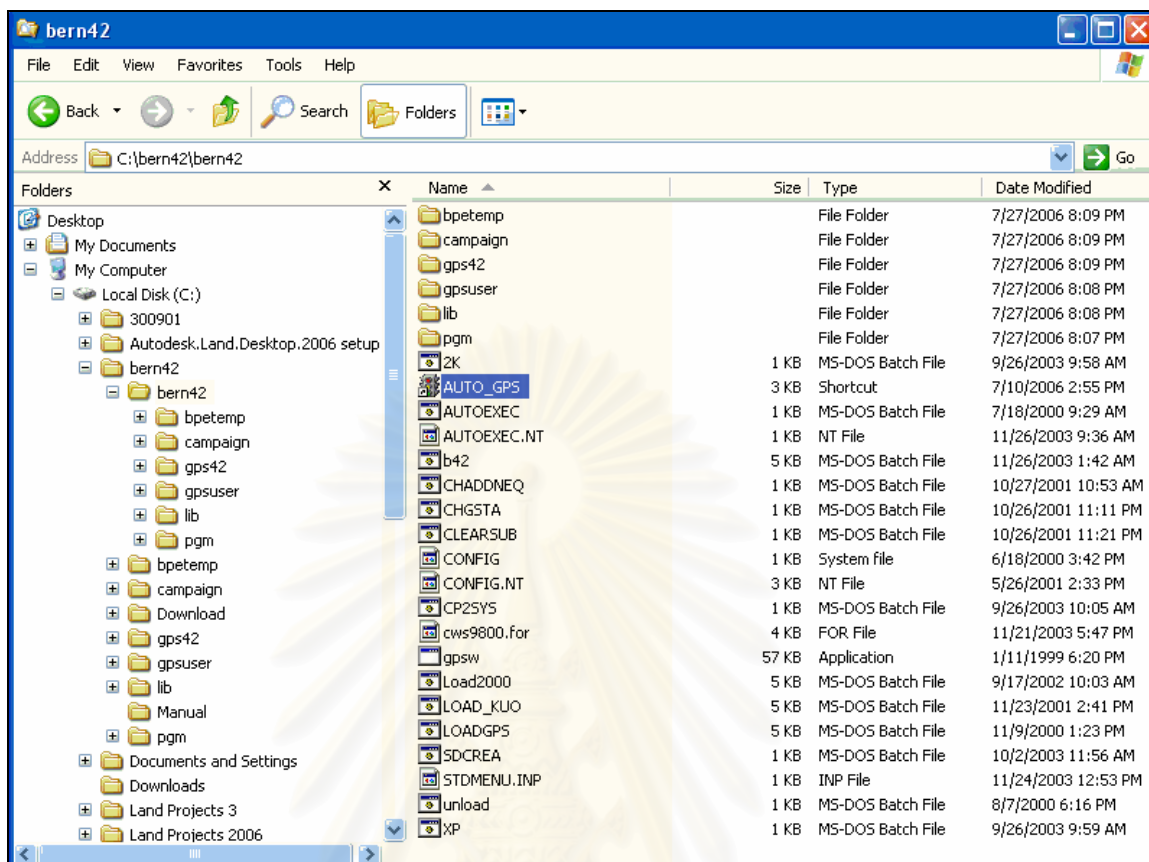
การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศด้วยซอฟต์แวร์ Bernese

การที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมในชั้นบรรยากาศตามแนวตั้ง (Zenith Total Delay, ZTD) ก็เพราะว่าซอฟต์แวร์ Bernese เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถประมวลผลเส้นฐานที่มีระยะยาวและให้ค่าความละเอียดสูง และที่สำคัญก็คือ สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศตามแนวตั้งได้ โดยในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงหลักการทำงานของซอฟต์แวร์ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงาน พร้อมด้วยองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ตามด้วยการใช้งาน โดยจะแสดงรายละเอียดของข้อมูลที่จะต้องใส่ให้กับซอฟต์แวร์ พร้อมทั้งตัวอย่างการใส่ข้อมูลและอธิบายรูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ และในที่สุดท้ายคือคำแนะนำในการใช้ซอฟต์แวร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

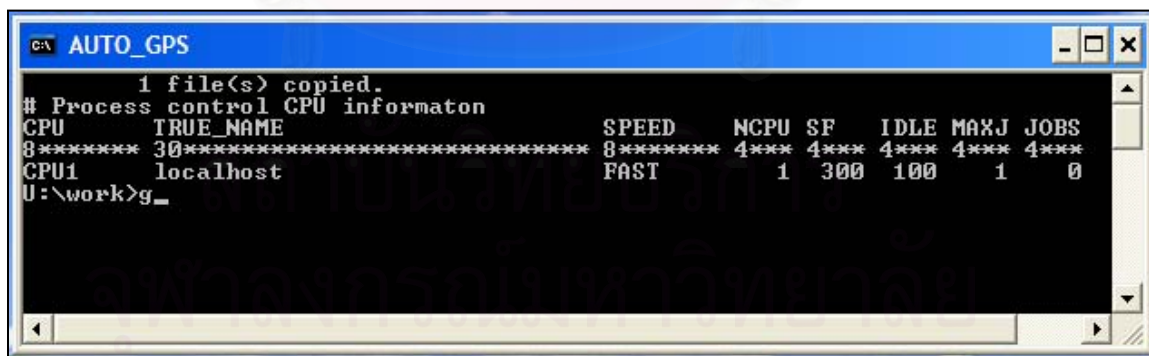
1. วิธีการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2

การเข้าโปรแกรมโดยทั่วไปจะต้องไปดับเบิลคลิกที่ไฟล์ AUTO_GPS แต่ถ้าใช้ปฏิบัติการ Microsoft Windows 2000 ก็ต้องไปดับเบิลคลิกที่ไฟล์ 2K.BAT และถ้าใช้ปฏิบัติการ Microsoft Windows XP ก็จะต้องไปดับเบิลคลิกที่ไฟล์ XP.BAT ก่อนที่จะไปดับเบิลคลิกที่ AUTO_GPS ดังรูปที่ ก-1 หลังจากนั้นก็พิมพ์คำว่า G หรือ g ลงไปแล้วกด Enter ก็จะเข้าไปในเมนูหลักของซอฟต์แวร์ดังรูปที่ ก-2 และซอฟต์แวร์ก็จะสร้าง Drive ขึ้นมาชั่วคราวทั้งหมดหก Drive คือ I, L, P, T, U และ X ดังรูปที่ ก-3 การเข้าเมนูต่างๆ สามารถทำได้โดยพิมพ์ตัวเลขให้ตรงกับเมนูนั้นๆ ดังรูปที่ ก-4 ซึ่งคำสั่งที่ใช้เป็นประจำของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 มีดังนี้

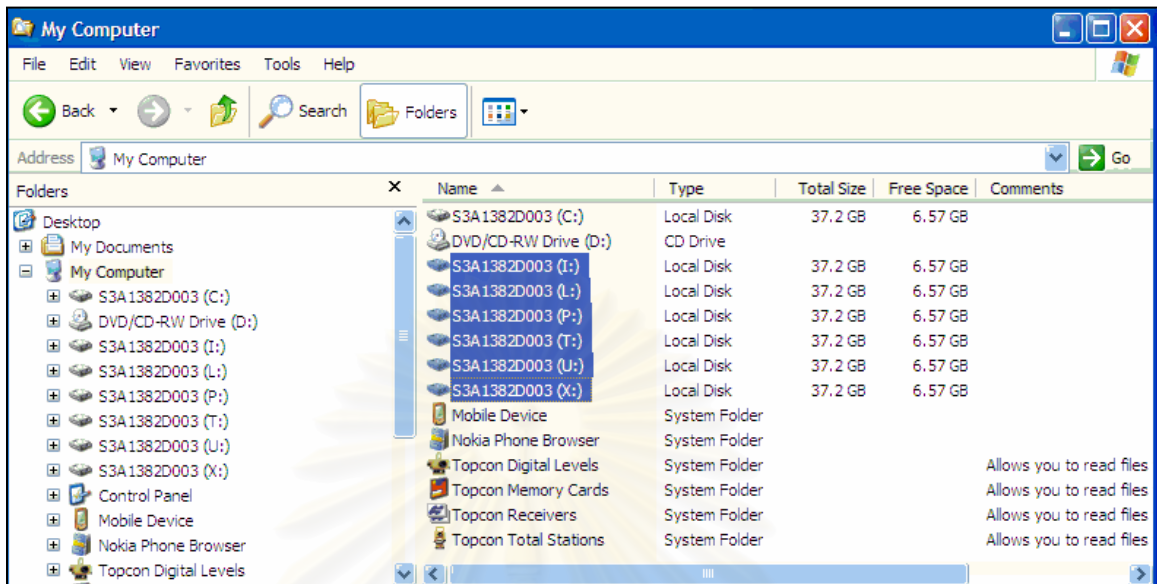
- =X คือ การออกจากเมนูหลัก
- =P คือ การออกจากเมนูย่อยกลับมาเมนูหลัก
- =Q คือ การออกจากเมนูย้อนหลังกลับไปหนึ่งครั้ง
- =H หรือ F1 คือ Help
- Esc คือ การยืนยันในการเลือก



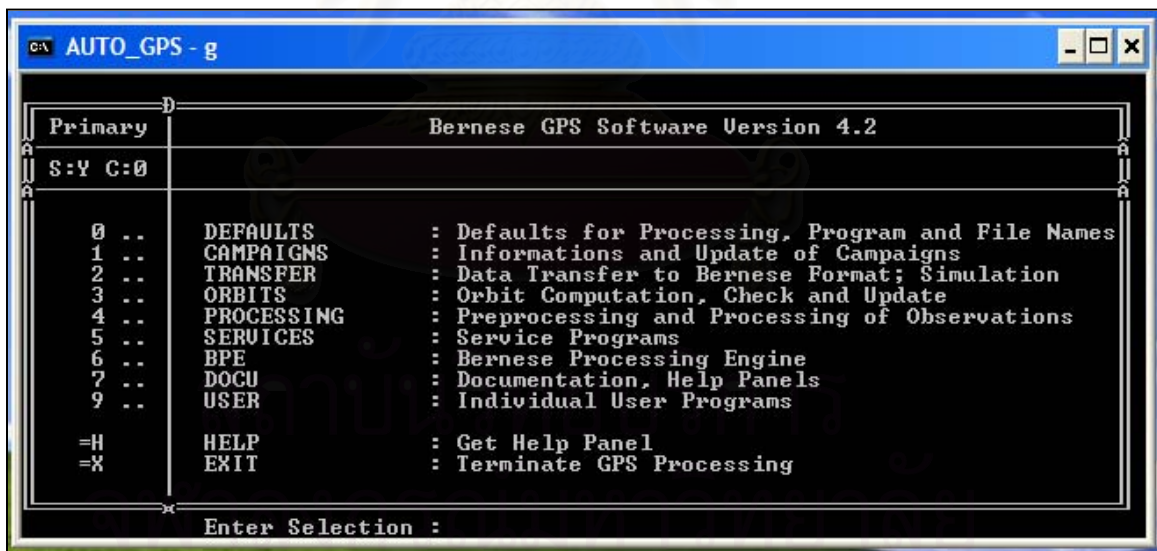
รูปที่ ก-1 วิธีการเปิดซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2



รูปที่ ก-2 การเข้าถึงเมนูหลักของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 โดยการพิมพ์ G หรือ g



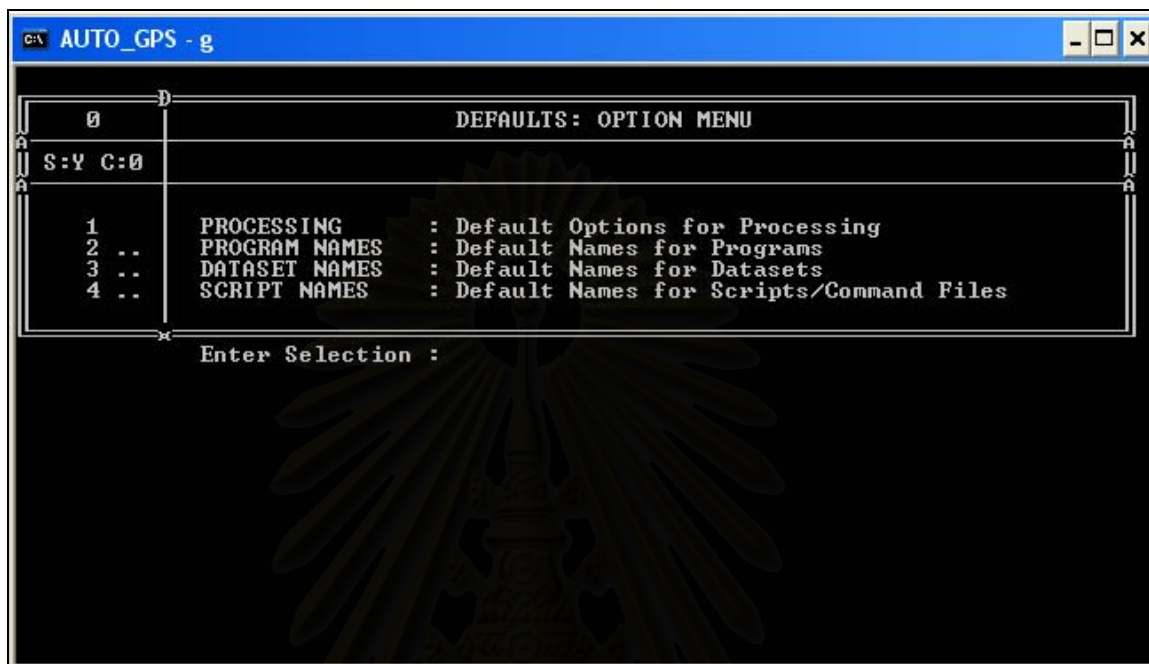
รูปที่ ก-3 ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 จะสร้าง Drive ชั่วคราวทั้งหมดหก Drive



รูปที่ ก-4 เมนูหลักของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2

รูปที่ ก-4 เป็นรูปที่แสดงเมนูหลัก (Primary) ของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ซึ่งมีเมนูหลักตั้งแต่ 0 .. ถึง 9.. และในเมนูหลักก็จะประกอบไปด้วยเมนูย่อยๆ อีกมากมาย ถ้าเราเข้าไปในเมนูย่อย

ตรงช่องของคำว่า Primary ก็จะเปลี่ยนเป็นค่าตัวเลขของเมนูย่อยดังรูปที่ ก-5 และในเมนูที่มีเครื่องหมาย .. ตามหลังแสดงว่ายังมีเมนูย่อยๆ ไปอีก



รูปที่ ก-5 ลักษณะเมนูย่อยของซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2

2. การจัดเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล

ก่อนที่จะเข้าไปประมวลผลข้อมูลจำเป็นจะต้องจัดเตรียมข้อมูลต่างๆ ให้ครบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ข้อมูล RINEX ซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลการรังวัดข้อมูลดิบจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสทั้งสองสถานี คือสถานีกรุงเทพมหานคร และสถานีศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัยโดยปกติข้อมูล RINEX จะมีทั้งหมดสามไฟล์ คือจะมีนามสกุล .G, .N และ .O ซึ่งนามสกุล .G คือข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม GLONASS แบบ Broadcast ephemeris นามสกุล N คือข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส แบบ Broadcast ephemeris และ นามสกุล .O คือข้อมูลค่าสังเกต ในที่นี้จะใช้เฉพาะข้อมูลค่าสังเกตคือนามสกุล .O

2.2 ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบความละเอียดสูง (Precise Orbit) ซึ่งสามารถทำการดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก http://jgscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html โดยข้อมูลที่ได้จะมีนามสกุลเป็น .sp3 ซึ่งจะต้องเปลี่ยนให้เป็นนามสกุล .pre เพราะว่าซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 จะ

อ่านข้อมูลเฉพาะนามสกุล .pre และจะต้องเป็นข้อมูลที่จำนวนวันของปีตรงกับข้อมูล RINEX ตามหัวข้อ 2.1

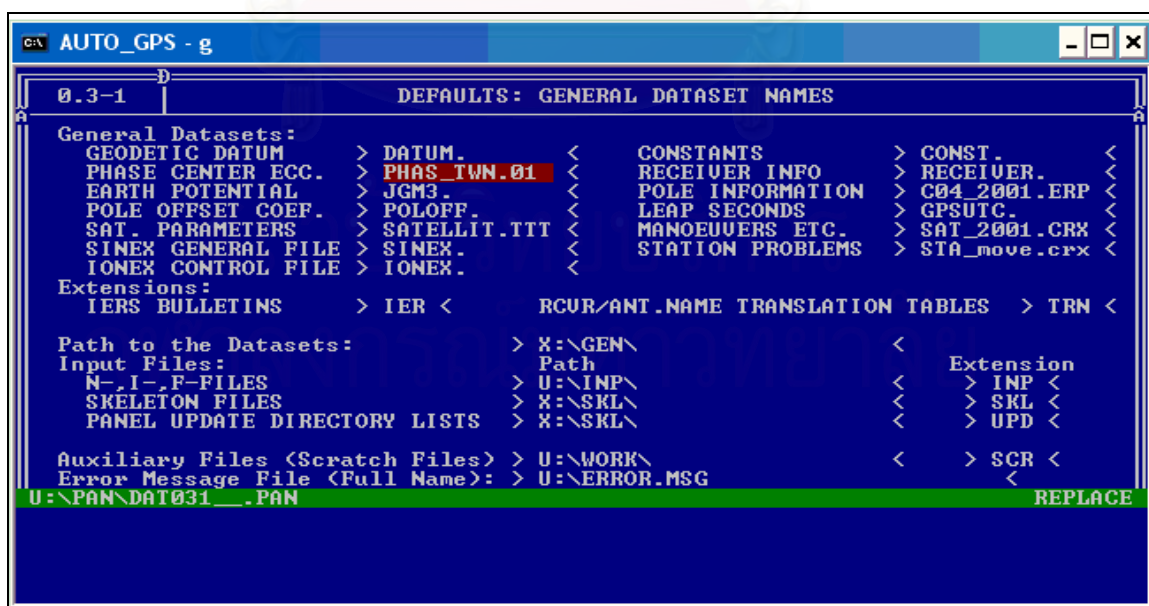
2.3 ข้อมูลทั่วไปใน Datasets ที่จะใส่ให้กับซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ซึ่งจะต้องจัดเตรียมหรือเปลี่ยนแปลงที่เมนู 0.3.1 โดยมีทั้งหมดสี่ข้อมูลด้วยกันคือ

1. ข้อมูล PHASE CENTER ECC. คือข้อมูลเกี่ยวกับค่าแก้ไขเนื่องจากตัวเสาของเครื่องรับซึ่งมีระยะเยื้องจากศูนย์กลางเฟส (Phase center offset) ข้อมูลนี้สามารถแก้ไขข้อมูล และดาวน์โหลดได้จาก <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

2. ข้อมูล SAT. PARAMETERS คือข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวกับดาวเทียมจีพีเอส เช่น ดาวเทียมชื่ออะไร ส่งขึ้นไปเมื่อไหร่ และจะหมดอายุประมาณปีไหน เป็นต้น

3. ข้อมูล POLE INFORMATION เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโลกซึ่งข้อมูลนี้ไม่สามารถแก้ไขได้จะต้องดาวน์โหลดจาก www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSFR/GEN แล้วนำไปเก็บไว้ใน Bern42/GPS42/GEN ซึ่งจะต้องตรงกับข้อมูล RINEX ว่าเป็นปีอะไรและจะต้องไปดาวน์โหลดข้อมูลที่เป็นปีนั้น เช่นตัวอย่างข้อมูลชื่อ C04_2001.ERP แสดงว่าข้อมูลเป็นปี 2001ดังในรูปที่ ก-6

4. ข้อมูล MANOEUVERS ETC. เป็นข้อมูลของดาวเทียมที่มีปัญหาสามารถดาวน์โหลดได้จาก www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSFR/GEN แล้วนำไปเก็บไว้ใน Bern42/GPS42/GEN ซึ่งจะต้องตรวจสอบข้อมูลเหมือนกับข้อมูล POLE INFORMATION

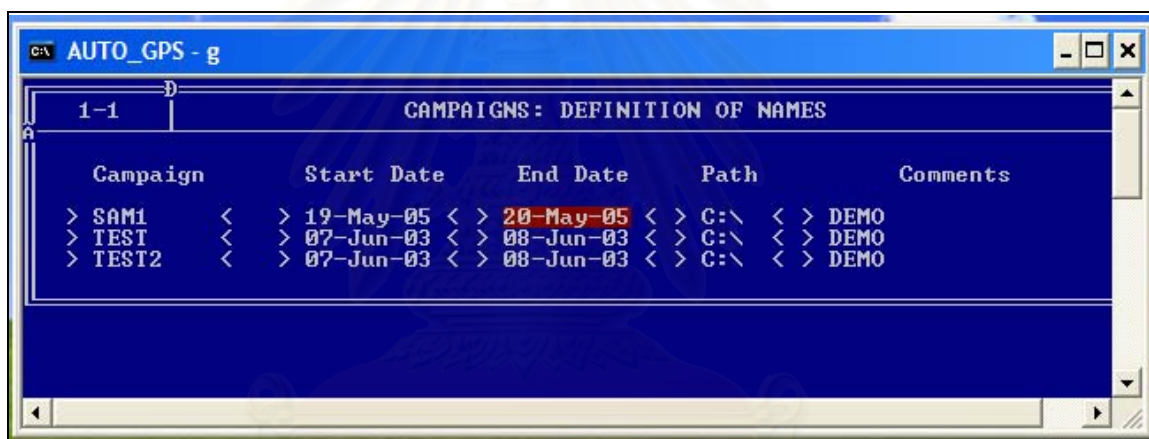


รูปที่ ก-6 การเปลี่ยนข้อมูลทั่วไปใน Dataset ในซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2

ข้อมูลทั้งสี่ข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำไปเก็บไว้ใน Bem42/GPS42/GEN แล้วจะต้องทำการเปลี่ยนชื่อที่ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ที่เมนู 0.3.1 ด้วยดังรูปที่ ก-6

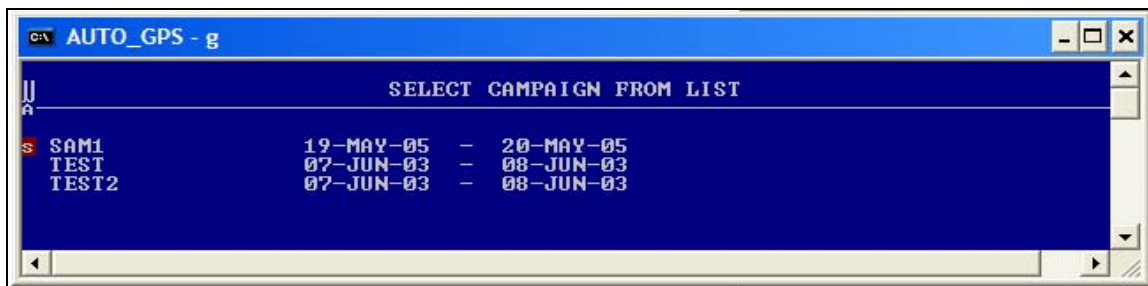
3. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

3.1 การสร้าง CAMPAIGN หรือสร้างชื่องานใหม่โดยใช้เมนู 1.1 ซึ่งสามารถสำเนาหรือลบ CAMPAIGN ได้โดยใช้คำสั่ง F3 เป็นการสำเนา และคำสั่ง F4 เป็นการลบ CAMPAIGN ซึ่งถ้าจะสร้าง CAMPAIGN ใหม่จะต้องใช้คำสั่ง F3 เพื่อสำเนา CAMPAIGN ก่อนแล้วทำการเปลี่ยนชื่อ CAMPAIGN หลังจากนั้นก็กด Esc ก็จะได้ CAMPAIGN ใหม่ตามชื่อที่ต้องการในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งชื่อ CAMPAIGN เป็น วัน เดือน ปี ของข้อมูลการรังวัดเพื่อง่ายในการจัดเก็บ

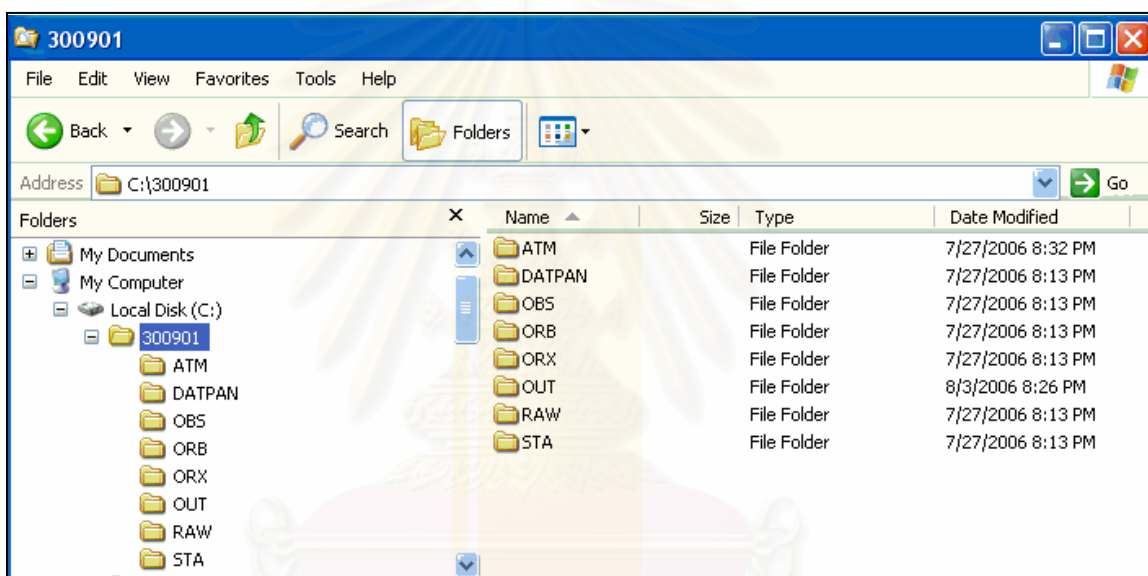


รูปที่ ก-7 การสร้าง CAMPAIGN หรือสร้างชื่องานใหม่โดยใช้เมนู 1.1

3.2 การสร้าง Folder โดยใช้คำสั่งเมนู 1.2 CREATE SUBDIR โดยซอฟต์แวร์จะขึ้น CAMPAIGN ที่สร้างจากหัวข้อ 3.1 หรือถ้าจะเลือก CAMPAIGN อื่นก็เคาะ Spacebar หนึ่งครั้งเพื่อให้ข้อมูลว่างเปล่าแล้วกด ESC หลังจากนั้นซอฟต์แวร์จะแสดง CAMPAIGN ที่มีทั้งหมดให้เลือก การที่จะเลือก CAMPAIGN ที่ต้องการสามารถทำได้โดยพิมพ์ S ที่หน้า CAMPAIGN ที่ต้องการแล้วกด Esc ดังตัวอย่างตามรูปที่ ก-8 ซึ่งซอฟต์แวร์จะสร้างให้ทั้งหมดแปด Folder ด้วยกันคือ ATM, DATPAN, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW และ STA ดังตัวอย่างตามรูปที่ ก-9 หลังจากนั้นก็สำเนาข้อมูล RINEX ไปเก็บไว้ที่ Folder RAW และสำเนาข้อมูล Precise orbit ไปเก็บไว้ที่ Folder ORB



รูปที่ ก-8 การเลือก CAMPAIGN ที่ต้องประมวลผลโดยพิมพ์ s ข้างหน้า CAMPAIGN



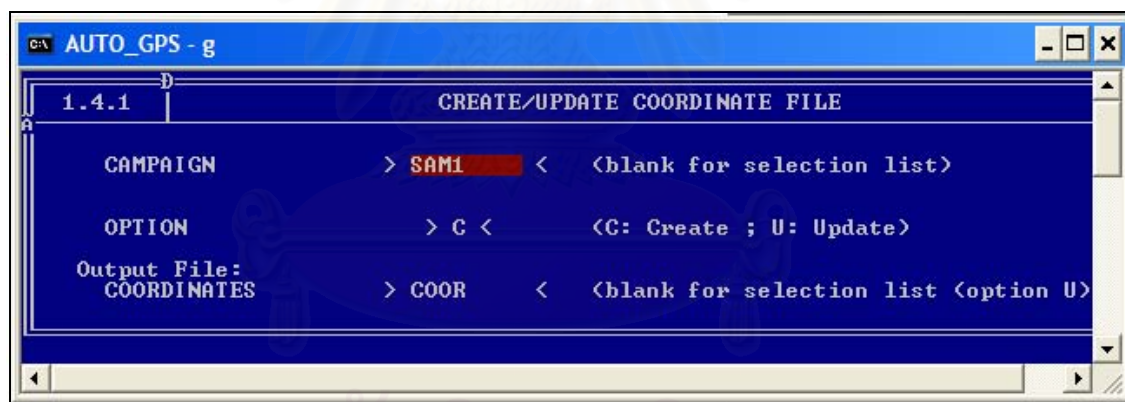
รูปที่ ก-9 การสร้าง Folder ATM, DATPAN, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW และ STA

3.3 การกำหนด Sessions โดยใช้เมนู 1.3 ซึ่งซอฟต์แวร์จะทำการให้เลือก CAMPAIGN ซึ่งโดยปกติชื่อของ CAMPAIGN จะเป็นชื่อที่เคยทำงานครั้งล่าสุดหรือถ้าจะเปลี่ยนCAMPAIGN อื่นก็ เเคาะ Spacebar หนึ่งครั้งเพื่อให้ข้อมูลว่างเปล่าแล้วกด ESC หลังจากนั้นซอฟต์แวร์จะแสดง CAMPAIGN ที่มีทั้งหมดการที่จะเลือก CAMPAIGN ที่ต้องการก็สามารถทำได้โดยพิมพ์ S ที่ CAMPAIGN ที่ต้องการแล้วกด Esc หลังจากนั้นก็จะให้ใส่ Session Number ซึ่งสามารถใส่ชื่อได้ไม่เกิน สี่ตัวอักษรและใส่เวลา วันที่ เดือน ปีที่เริ่มและสิ้นสุดการรันวัดข้อมูล ดังรูปที่ ก-10



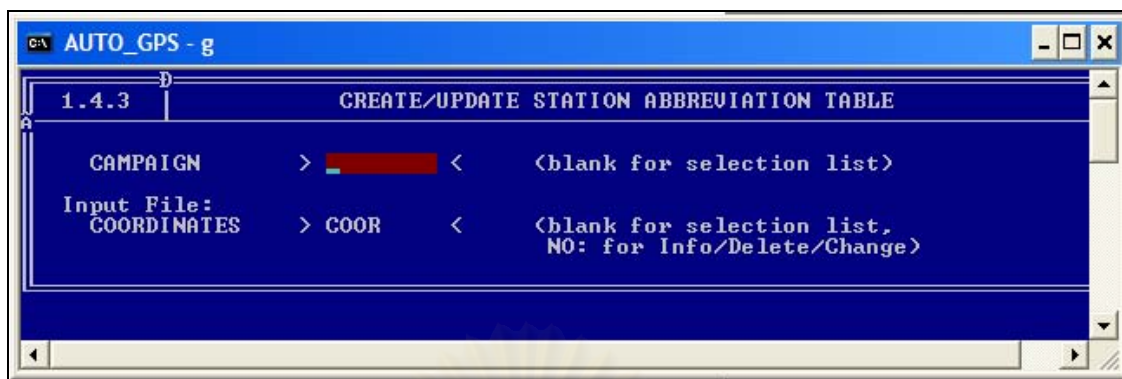
รูปที่ ก-10 การกำหนด Sessions โดยใช้เมนู 1.3

3.4 การสร้างค่าพิกัดโดยใช้เมนู 1.4.1 ซึ่งเมนูนี้ซอฟต์แวร์จะสร้างค่าพิกัดของจุดที่ทำการรังวัด และจะเก็บค่าไว้ใน Folder STA นามสกุล .CRD โดยจะมี Option ให้เลือกคือ C กับ U ซึ่ง C เป็นการสร้างค่าพิกัดใหม่ และ U เป็นการ Update ค่าพิกัด และสามารถตั้งชื่อข้อมูลที่จะเก็บค่าพิกัดไว้ด้วย ดังรูปที่ ก-11



รูปที่ ก-11 การสร้างค่าพิกัดโดยใช้เมนู 1.4.1

3.5 การย่อชื่อหมุดโดยใช้เมนู 1.4.3 Abbreviations โดยนำข้อมูลค่าพิกัดที่เก็บไว้ในหัวข้อ 3.4 ดังรูปที่ ก-12 มาทำการย่อชื่อให้เหลือสี่ตัวอักษรและสองตัวอักษรดังรูปที่ ก-13



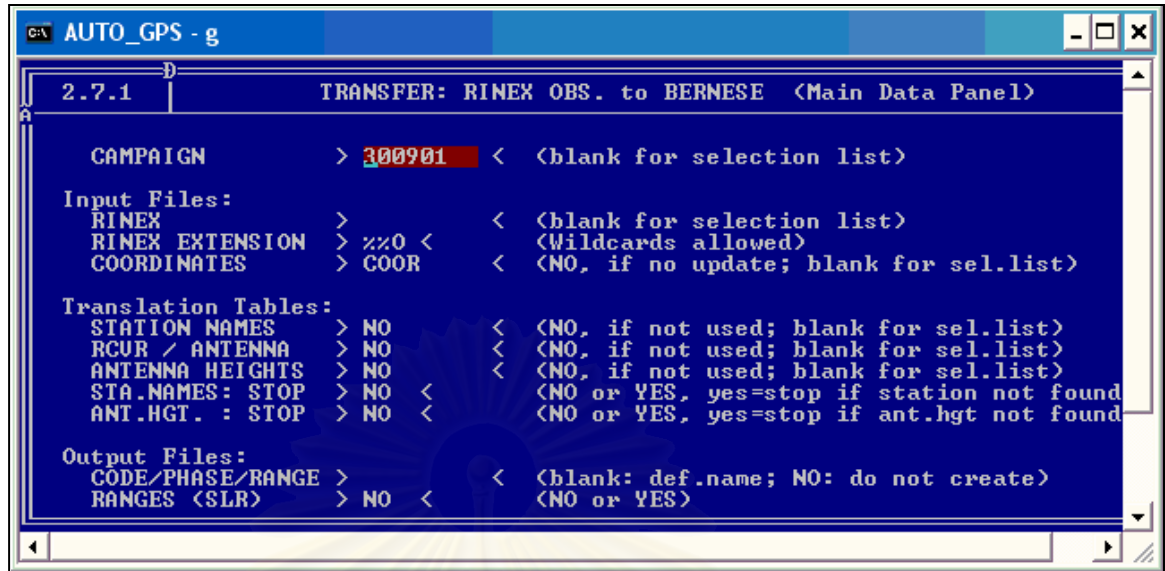
รูปที่ ก-12 การนำข้อมูลค่าพิกัดมาใช้ในการย่อชื่อหมุด



รูปที่ ก-13 การย่อชื่อหมุดให้เหลือสี่และสองตัวอักษร

3.6 การแปลงข้อมูล RINEX เป็นข้อมูล Bernese โดยใช้เมนู 2.7.1 เมื่อแปลงข้อมูลเรียบร้อยแล้วข้อมูลก็จะไปเก็บไว้ที่ Folder OBS ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้แปลงคือข้อมูล RINEX และข้อมูลค่าพิกัด ดังรูปที่ ก-14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



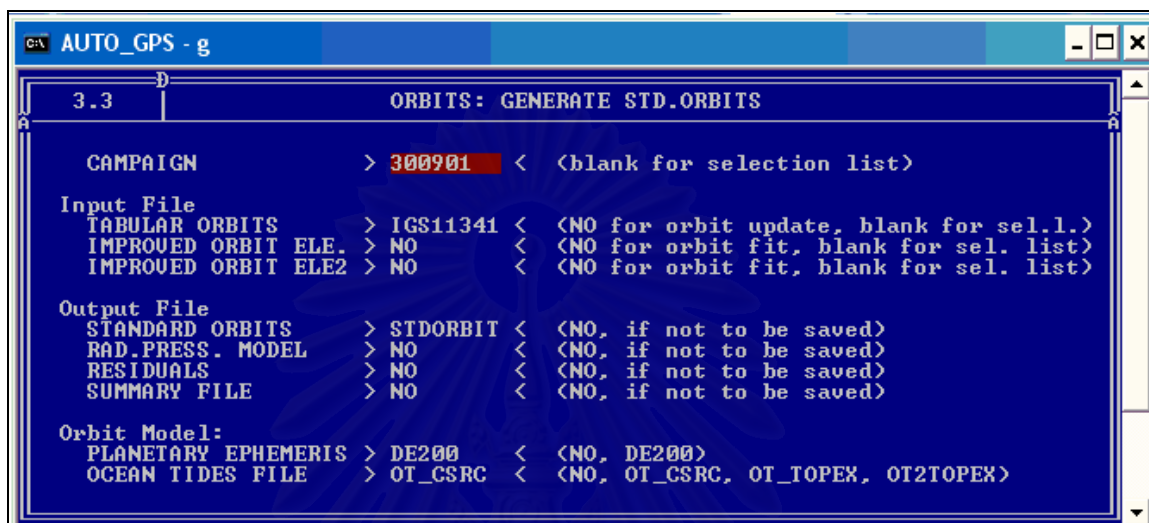
รูปที่ ก-14 การนำข้อมูลRINEX และข้อมูลค่าพิกัดมาแปลงเป็นข้อมูล Bernese

3.7 การจัดระเบียบของวงโคจรดาวเทียม โดยใช้เมนู 3.2 ซึ่งจะต้องเลือกชนิด Ephemeris เป็น Precise และใส่ชื่อของข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบละเอียดสูงส่วน Output Files ที่ TAB.ORBIT ถ้าเว้นว่างไว้ข้อมูลจะถูกเก็บเป็นชื่อเดียวกับชื่อของข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบละเอียดสูง แต่นามสกุลจะเปลี่ยนเป็น .TAB และ SATELLITE CLOCKS ก็จะเก็บข้อมูลเป็นชื่อ SATCLK ดังรูปที่ ก-15 ซึ่งทั้งสองข้อมูลจะถูกเก็บไว้ใน Folder ORB



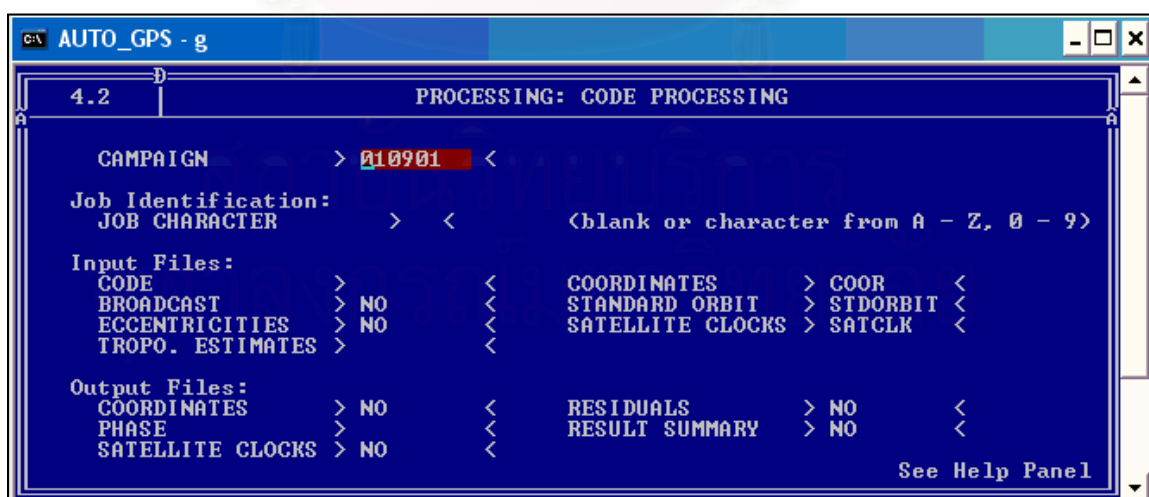
รูปที่ ก-15 การจัดระเบียบของวงโคจรดาวเทียม (Tabular orbit) โดยใช้เมนู 3.2

3.8 การสร้างวงโคจรดาวเทียมมาตรฐาน (Standard orbit) โดยใช้เมนู 4.3 ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้คือ TABULAR ORBITS ที่ได้จากขั้นตอนตามหัวข้อ 3.7 และเมื่อสร้างเสร็จก็จะเก็บเป็นชื่อ STDORBIT ใน Folder ORB เหมือนกับหัวข้อ 3.7 ดังรูปที่ ก-16



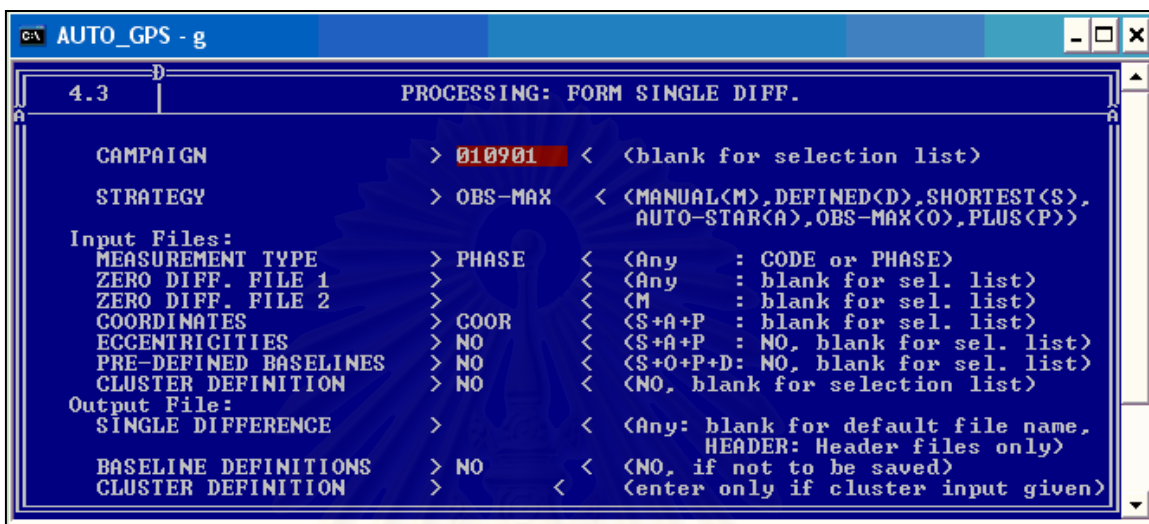
รูปที่ ก-16 การสร้างวงโคจรดาวเทียมมาตรฐาน (Standard orbit) โดยใช้เมนู 3.3

3.9 การคำนวณหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning) โดยใช้เมนู 4.2 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวนี้เป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับและหาค่าแก้ไขนาฬิกาของเครื่องรับโดยจะให้ความถูกต้องถึง 1 μ s ดังรูปที่ ก-17



รูปที่ ก-17 การคำนวณหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (Single point positioning) โดยใช้เมนู 4.2

3.10 การคำนวณหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single difference) โดยใช้เมนู 4.3 ซึ่งเป็นการนำข้อมูลระหว่างเครื่องมาลบกัน ดังรูปที่ ก-18



```

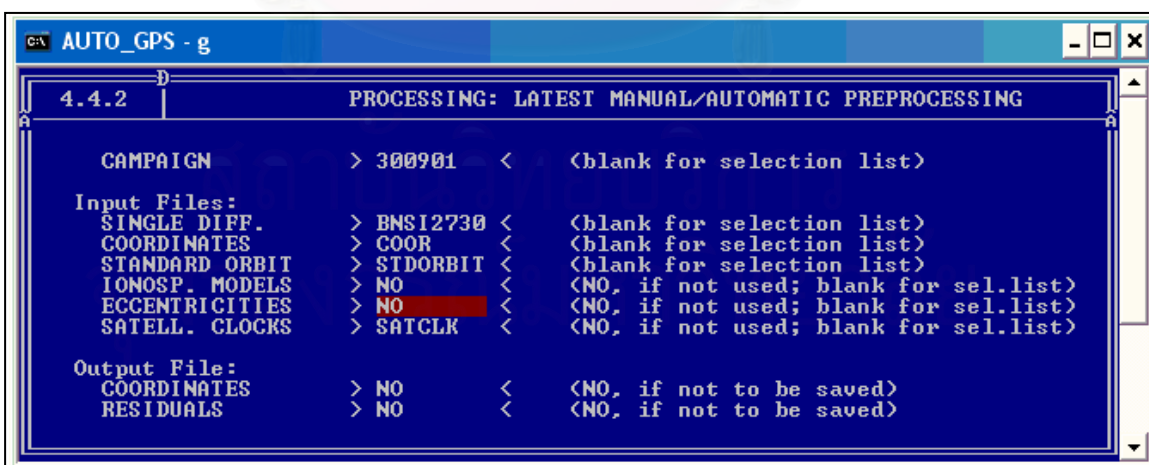
c:\ AUTO_GPS - g
4.3 PROCESSING: FORM SINGLE DIFF.

CAMPAIGN > 010901 < (blank for selection list)
STRATEGY > OBS-MAX < (MANUAL(M), DEFINED(D), SHORTEST(S),
  AUTO-STAR(A), OBS-MAX(O), PLUS(P))
Input Files:
MEASUREMENT TYPE > PHASE < (<Any : CODE or PHASE)
ZERO DIFF. FILE 1 > < (<Any : blank for sel. list)
ZERO DIFF. FILE 2 > < (M : blank for sel. list)
COORDINATES > COOR < (<S+A+P : blank for sel. list)
ECCENTRICITIES > NO < (<S+A+P : NO, blank for sel. list)
PRE-DEFINED BASELINES > NO < (<S+O+P+D: NO, blank for sel. list)
CLUSTER DEFINITION > NO < (NO, blank for selection list)
Output File:
SINGLE DIFFERENCE > < (<Any: blank for default file name,
  HEADER: Header files only)
BASELINE DEFINITIONS > NO < (NO, if not to be saved)
CLUSTER DEFINITION > < (enter only if cluster input given)

```

รูปที่ ก-18 การคำนวณหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single difference) โดยใช้เมนู 4.3

3.11 การตรวจสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลุด (Cycle slip) จากการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งในหัวข้อ 3.10 โดยใช้เมนู 4.4



```

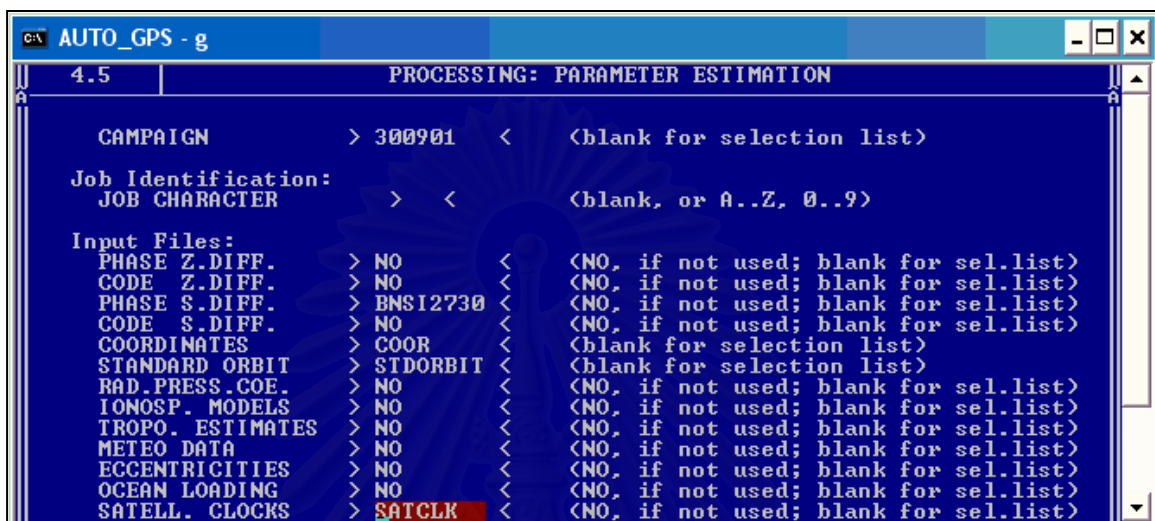
c:\ AUTO_GPS - g
4.4.2 PROCESSING: LATEST MANUAL/AUTOMATIC PREPROCESSING

CAMPAIGN > 300901 < (blank for selection list)
Input Files:
SINGLE DIFF. > BNS12730 < (blank for selection list)
COORDINATES > COOR < (blank for selection list)
STANDARD ORBIT > STDORBIT < (blank for selection list)
IONOSP. MODELS > NO < (NO, if not used; blank for sel. list)
ECCENTRICITIES > NO < (NO, if not used; blank for sel. list)
SATELL. CLOCKS > SATCLK < (NO, if not used; blank for sel. list)
Output File:
COORDINATES > NO < (NO, if not to be saved)
RESIDUALS > NO < (NO, if not to be saved)

```

รูปที่ ก-19 การตรวจสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลุด (Cycle slip)

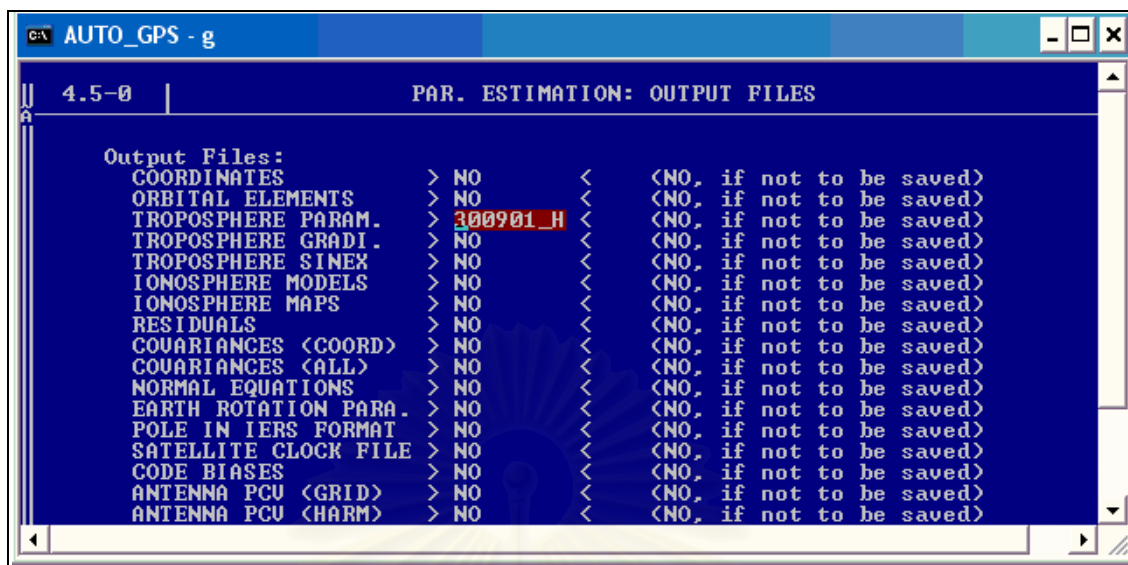
3.12 ขบวนการคำนวณปรับแก้ค่าต่างๆ โดยใช้เมนู 4.5 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการปรับแก้ด้วยวิธีลีสทสแควร์ ข้อมูลที่นำมาคำนวณในขั้นตอนนี้มีด้วยกันสี่ข้อมูลด้วยกันคือ PHASE S. DIFF, COORDINATES, STANDARD ORBIT และ SATELL. CLOCKS ดังรูปที่ ก-20



รูปที่ ก-20 ข้อมูลที่ใช้ในขบวนการคำนวณปรับแก้ของเมนู 4.5

3.13 กำหนดการแสดงค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ ซึ่งข้อมูลที่คำนวณได้จะเก็บใน Folder ATM ตัวอย่างรูปที่ ก-21 เป็นการตั้งชื่อข้อมูลที่จะบันทึกเป็น วัน เดือน ปี และตามด้วยอักษรย่อของแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบ Modified Hopfield

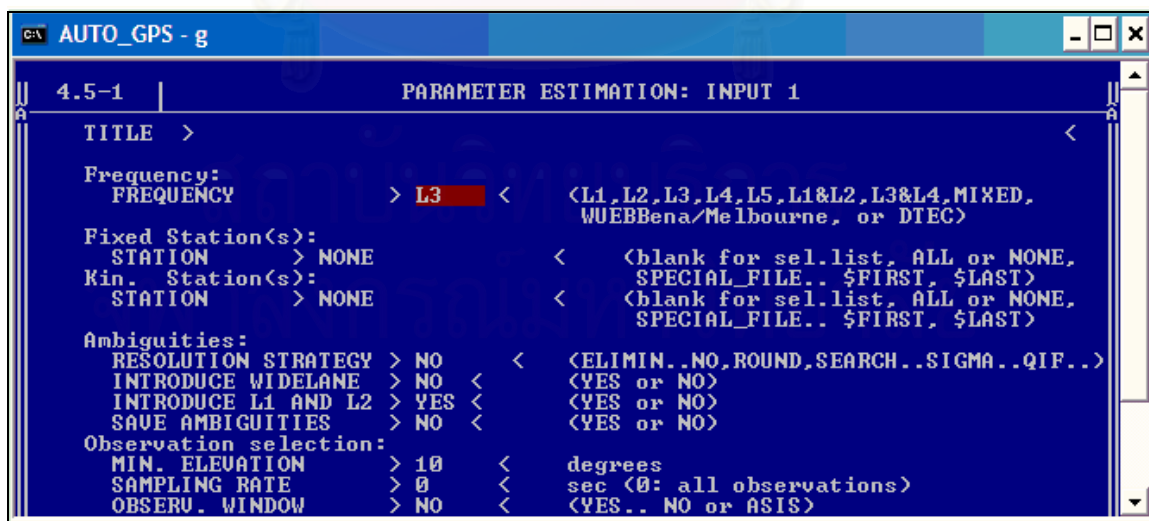
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-21 ตัวอย่างการตั้งชื่อการบันทึกข้อมูลของค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศ

3.14 การเลือกใช้ชนิดของคลื่นในชั้นตอนนี้จะต้องทำการประมวลผลสามรอบด้วยกัน คือ

- รอบที่หนึ่งใช้คลื่น L3 ที่เกิดจากการผสมผสานกันของคลื่น L1 และ L2 การประมวลผลในรอบนี้จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถขจัดค่าคลาดเคลื่อนจากบรรยากาศในชั้นไอโอโนสเฟียร์ออกไปได้ดังรูป ก-22



รูปที่ ก-22 การประมวลผลรอบที่หนึ่งโดยใช้คลื่น L3

- รอบที่สองใช้คลื่น L1 และ L2 ในการคำนวณหาค่าเลขปริศนาและเก็บค่าไว้ในการใช้ประมวลผลในรอบที่สามโดยใช้ QIF (Quasi Ionosphere-Free) Strategy ดังรูปที่ ก-23

```

AUTO_GPS - g
4.5-1 | PARAMETER ESTIMATION: INPUT 1
TITLE > <
Frequency:
  FREQUENCY > L1&L2 < (L1,L2,L3,L4,L5,L1&L2,L3&L4,MIXED,
                        WUEBBena/Melbourne, or DTEC)
Fixed Station(s):
  STATION > NONE < (blank for sel.list, ALL or NONE,
                    SPECIAL_FILE.. $FIRST, $LAST)
Kin. Station(s):
  STATION > NONE < (blank for sel.list, ALL or NONE,
                    SPECIAL_FILE.. $FIRST, $LAST)
Ambiguities:
  RESOLUTION STRATEGY > QIF < (ELIMIN..NO,ROUND,SEARCH..SIGMA..QIF..)
  INTRODUCE WIDELANE > NO < (YES or NO)
  INTRODUCE L1 AND L2 > YES < (YES or NO)
  SAVE AMBIGUITIES > YES < (YES or NO)
Observation selection:
  MIN. ELEVATION > 10 < degrees
  SAMPLING RATE > 0 < sec (0: all observations)
  OBSERU. WINDOW > NO < (YES.. NO or ASIS)
  
```

รูปที่ ก-23 การประมวลผลรอบที่สองโดยใช้คลื่น L1 และ L2 โดยใช้ QIF

- รอบที่สามใช้คลื่น L3 โดยใช้ค่าเลขปริศนาที่คำนวณได้จากในรอบที่สองมารวมด้วย ดังรูปที่ ก-24

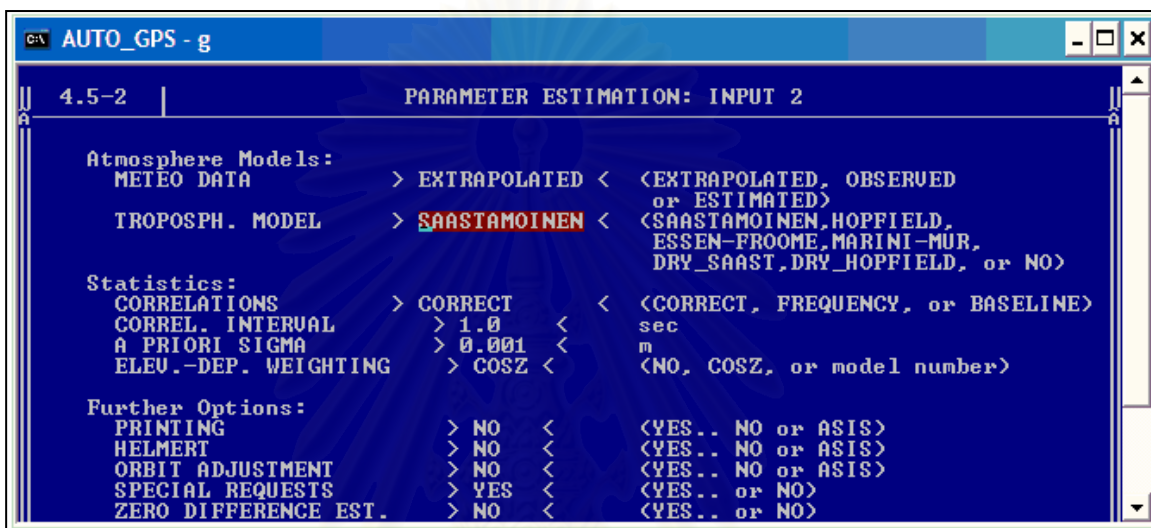
```

AUTO_GPS - g
4.5-1 | PARAMETER ESTIMATION: INPUT 1
TITLE > <
Frequency:
  FREQUENCY > L3 < (L1,L2,L3,L4,L5,L1&L2,L3&L4,MIXED,
                    WUEBBena/Melbourne, or DTEC)
Fixed Station(s):
  STATION > NONE < (blank for sel.list, ALL or NONE,
                    SPECIAL_FILE.. $FIRST, $LAST)
Kin. Station(s):
  STATION > NONE < (blank for sel.list, ALL or NONE,
                    SPECIAL_FILE.. $FIRST, $LAST)
Ambiguities:
  RESOLUTION STRATEGY > NO < (ELIMIN..NO,ROUND,SEARCH..SIGMA..QIF..)
  INTRODUCE WIDELANE > NO < (YES or NO)
  INTRODUCE L1 AND L2 > YES < (YES or NO)
  SAVE AMBIGUITIES > NO < (YES or NO)
Observation selection:
  MIN. ELEVATION > 10 < degrees
  SAMPLING RATE > 0 < sec (0: all observations)
  OBSERU. WINDOW > NO < (YES.. NO or ASIS)
  
```

รูปที่ ก-24 การประมวลผลรอบที่สามโดยใช้คลื่น L3 โดยใช้ค่าเลขปริศนาที่คำนวณได้จากในรอบที่

สอง

3.15 การเลือกแบบจำลองการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์โดยเคาะ Spacebar แบบจำลองก็จะเปลี่ยนไปตามที่เราต้องการ หลังจากนั้นก็กด Esc ดังรูปที่ ก-25 เป็นการเลือกแบบจำลองแบบ Saastamoinen ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองที่ละแบบจำลองคือแบบจำลอง Saastamoinen, Modified Hopfield และ Essen and Froome



รูปที่ ก-25 การเลือกแบบจำลองการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

3.16 ผลข้อมูลของค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งในชั้นบรรยากาศก็จะเก็บไว้ใน Folder ATM โดยในวิจัยในครั้งนี้เราให้ค่าแสดงทุกๆ หนึ่งชั่วโมงแล้วทำการเลือกข้อมูลทุกสามชั่วโมงมาพลอตกราฟ เนื่องจากข้อมูลความกดอากาศพื้นผิว เก็บข้อมูลทุกๆ 3 ชั่วโมง ข้อมูลที่นำมาใช้ในขั้นตอนต่อไปคือข้อมูลในหลักที่ตรงกับคำว่า TOTAL_U เป็นค่า ZTD มีหน่วยเป็นเมตรดิ่งในรูปที่ ก-26

010901_S - Notepad

File Edit Format View Help

01-SEP-05 20:17

A PRIORI MODEL: -1 MAPPING FUNCTION: 3 GRADIENT MODEL: 0 MIN. ELEVATION: 11

STATION NAME	FLG	YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	MOD_U	CORR_U	SIGMA_U	TOTAL_U
BNKK	P	2001	08	31	23	59	56	2001	09	01	01	00	00	2.4071	0.32189	0.00498	2.72903
BNKK	P	2001	09	01	01	00	00	2001	09	01	02	00	00	2.4071	0.28842	0.00379	2.69555
BNKK	P	2001	09	01	02	00	00	2001	09	01	03	00	00	2.4071	0.24905	0.00408	2.65618
BNKK	P	2001	09	01	03	00	00	2001	09	01	04	00	00	2.4071	0.30176	0.00418	2.70889
BNKK	P	2001	09	01	04	00	00	2001	09	01	05	00	00	2.4071	0.25912	0.00373	2.66626
BNKK	P	2001	09	01	05	00	00	2001	09	01	06	00	00	2.4071	0.26371	0.00645	2.67084
BNKK	P	2001	09	01	06	00	00	2001	09	01	07	00	00	2.4071	0.33113	0.00464	2.73826
BNKK	P	2001	09	01	07	00	00	2001	09	01	08	00	00	2.4071	0.30614	0.00432	2.71327
BNKK	P	2001	09	01	08	00	00	2001	09	01	09	00	00	2.4071	0.33946	0.00601	2.74659
BNKK	P	2001	09	01	09	00	00	2001	09	01	10	00	00	2.4071	0.28859	0.00345	2.69572
BNKK	P	2001	09	01	10	00	00	2001	09	01	11	00	00	2.4071	0.30182	0.00359	2.70895
BNKK	P	2001	09	01	11	00	00	2001	09	01	12	00	00	2.4071	0.27225	0.00400	2.67938
BNKK	P	2001	09	01	12	00	00	2001	09	01	12	59	59	2.4071	0.28526	0.00381	2.69240
BNKK	P	2001	09	01	12	59	59	2001	09	01	13	59	59	2.4071	0.30544	0.00716	2.71257
BNKK	P	2001	09	01	13	59	59	2001	09	01	14	59	59	2.4071	0.31324	0.01114	2.72037
BNKK	P	2001	09	01	14	59	59	2001	09	01	15	59	59	2.4071	0.29931	0.00806	2.70644
BNKK	P	2001	09	01	15	59	59	2001	09	01	16	59	59	2.4071	0.24015	0.00640	2.64729
BNKK	P	2001	09	01	16	59	59	2001	09	01	17	59	59	2.4071	0.25581	0.00544	2.66295
BNKK	P	2001	09	01	17	59	59	2001	09	01	18	59	59	2.4071	0.22169	0.00602	2.62883
BNKK	P	2001	09	01	18	59	59	2001	09	01	19	59	59	2.4071	0.20163	0.00626	2.60877
BNKK	P	2001	09	01	19	59	59	2001	09	01	20	59	59	2.4071	0.22480	0.00515	2.63193
BNKK	P	2001	09	01	20	59	59	2001	09	01	21	59	59	2.4071	0.22374	0.00441	2.63087
BNKK	P	2001	09	01	21	59	59	2001	09	01	22	59	59	2.4071	0.22781	0.00438	2.63494
BNKK	P	2001	09	01	22	59	59	2001	09	02	00	00	03	2.4071	0.23763	0.00689	2.64477
SIS2	P	2001	08	31	23	59	56	2001	09	01	01	00	00	2.3994	0.29940	0.00451	2.69876
SIS2	P	2001	09	01	01	00	00	2001	09	01	02	00	00	2.3994	0.26763	0.00333	2.66699
SIS2	P	2001	09	01	02	00	00	2001	09	01	03	00	00	2.3994	0.24231	0.00424	2.64167
SIS2	P	2001	09	01	03	00	00	2001	09	01	04	00	00	2.3994	0.31183	0.00419	2.71119
SIS2	P	2001	09	01	04	00	00	2001	09	01	05	00	00	2.3994	0.28499	0.00342	2.68434
SIS2	P	2001	09	01	05	00	00	2001	09	01	06	00	00	2.3994	0.28004	0.00697	2.67939
SIS2	P	2001	09	01	06	00	00	2001	09	01	07	00	00	2.3994	0.34208	0.00438	2.74143
SIS2	P	2001	09	01	07	00	00	2001	09	01	08	00	00	2.3994	0.32219	0.00352	2.72155
SIS2	P	2001	09	01	08	00	00	2001	09	01	09	00	00	2.3994	0.34370	0.00470	2.74305
SIS2	P	2001	09	01	09	00	00	2001	09	01	10	00	00	2.3994	0.27344	0.00299	2.67280
SIS2	P	2001	09	01	10	00	00	2001	09	01	11	00	00	2.3994	0.28304	0.00317	2.68240
SIS2	P	2001	09	01	11	00	00	2001	09	01	12	00	00	2.3994	0.26378	0.00351	2.66314
SIS2	P	2001	09	01	12	00	00	2001	09	01	12	59	59	2.3994	0.27274	0.00345	2.67210
SIS2	P	2001	09	01	12	59	59	2001	09	01	13	59	59	2.3994	0.29558	0.00779	2.69494
SIS2	P	2001	09	01	13	59	59	2001	09	01	14	59	59	2.3994	0.30866	0.01371	2.70801
SIS2	P	2001	09	01	14	59	59	2001	09	01	15	59	59	2.3994	0.28190	0.00910	2.68125

รูปที่ ก-26 ตัวอย่างข้อมูลของค่าคลาดเคลื่อนรวมทางคิ่งในชั้นบรรยากาศที่ได้จาก Bernese

4. คำแนะนำในการใช้ซอฟต์แวร์

4.1 ในการใช้ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ทุกข้อมูล เช่น ข้อมูล RINEX และข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียดสูงจะต้องหา End of file ของข้อมูลนั้น เสียก่อน

4.2 การที่ใช้ข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียดสูงมาประมวลผลจึงมีความจำกัดของเวลา เพราะข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียดสูงจะต้องรอเวลาประมาณ 15 วันนับจากวันที่มีการรังวัด แต่ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลการรังวัดในปี 2001, 2002 และ 2004 จึงไม่มีปัญหาในการรอข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียดสูง

4.3 ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 เมื่อทำการประมวลผลในเมนูต่างๆ ถ้าหากข้อมูลที่ใส่ไม่ครบหรือการตั้งค่าไม่ตรงกับข้อมูลที่มีอยู่ จะไม่สามารถย้อนกลับมายังเมนูก่อนหน้านั้นได้ การแก้ปัญหาคือจะต้องปิดซอฟต์แวร์แล้วจึงทำการเปิดซอฟต์แวร์และทำการประมวลผลใหม่

4.4 การประมวลผลข้อมูลถ้าหากมีการผิดพลาดต่างๆ สามารถเข้าไปอ่าน และเปิดข้อมูลดูได้จากใน Error Message File ซึ่งก็จะต้องรู้ว่าข้อมูลไปเก็บไว้ที่ไหน สามารถตั้งค่าในการเก็บ Error Message File ได้ในเมนู 0.3.1

4.5 ซอฟต์แวร์ Bernese เวอร์ชัน 4.2 บางครั้งไม่สามารถใส่ค่าตัวเลขได้จากแป้นพิมพ์ Num Lock ที่อยู่ทางด้านขวาของแป้นพิมพ์ วิธีการแก้ไขกระทำได้โดยใช้ปุ่มตัวเลขที่อยู่ตรงกลางของแป้นพิมพ์แทน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นายสำเนียง สุตระ
วันเดือนปีเกิด: 18 มิถุนายน พ.ศ. 2515
ภูมิลำเนา: อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช
คุณวุฒิทางการศึกษา:
 พ.ศ. 2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ประสบการณ์การทำงาน:

พ.ศ. 2540-2542 หัวหน้าช่างสำรวจ
 โครงการก่อสร้างทางด่วนพิเศษสายแจ้งวัฒนะ - บางปะอิน
 บริษัท ร่วมค้า บีบีซีที จำกัด
 พ.ศ. 2543-2550 วิศวกรฝ่ายขาย และสนับสนุนเครื่องมือ
 แแผนกเครื่องมือสำรวจ
 บริษัท ทีโอปคอนอินสทรูเม้นท์ (ไทยแลนด์) จำกัด

ผลงานทางวิชาการ

บทความตีพิมพ์

1. สำเนียง สุตระ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2549. ความอ่อนไหวของค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่ได้จากจีพีเอสจากการใช้แบบจำลองโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน, การประชุมวิชาการ การแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2549. ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซีดีจอมเทียน พัทยา 5 - 8 พฤศจิกายน 2549.
2. สำเนียง สุตระ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549 ความอ่อนไหวของค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่ได้จากจีพีเอสจากการใช้แบบจำลองโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน, วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์, ปีที่ 7 ฉบับที่ 3, 31-37.

การบรรยาย

1. สำเนียง สุตระ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2549. ความอ่อนไหวของค่าปริมาณความชื้นในบรรยากาศที่ได้จากจีพีเอสจากการใช้แบบจำลองโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน. การประชุมวิชาการ การแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2549. ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซีดีจอมเทียน พัทยา 5 - 8 พฤศจิกายน 2549.