

การประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบัน  
โดยใช้สถานีจีพีเอสแบบถาวรในประเทศไทย

นายสมเกียรติ อนงค์ไธษา

ศูนย์วิทยุโทรพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NEAR-REAL TIME ESTIMATES OF PRECIPITABLE WATER VAPOR  
USING PERMANENT GPS STATIONS IN THAILAND



Mr.Somkiat Anonglekha

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University



สมเกียรติ อนงค์เลขา : การประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบันโดยใช้สถานีจีพีเอสแบบถาวรในประเทศไทย. (Near-Real Time Estimates of Precipitable Water Vapor Using Permanent GPS Stations in Thailand)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 70 หน้า.

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water Vapor, PWV) เป็นตัวแปรสำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปัจจุบันการวัดปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ นอกจากการใช้เครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยา เช่น เครื่องวิทยุหยั่งอากาศ (Radiosondes, RS) เครื่องวัดรังสีในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Radiometer, MWR) และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite) แล้ว ยังสามารถใช้ข้อมูลจากการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส มาประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศได้ ซึ่งการประมาณค่าให้มีความถูกต้องนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีช่วงเวลาการังวัดยาวนานร่วมกับข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงแบบ Final ซึ่งได้ถูกคำนวณโดยหน่วยงาน International GNSS Service (IGS) หลังจากที่ดาวเทียมได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้น ๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวจะล่าช้ากว่าช่วงเวลาที่ทำการรังวัดประมาณ 13 วัน แต่งานติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรืองานอุตุนิยมวิทยาเป็นงานที่ต้องใช้ข้อมูลตรวจวัดแบบปัจจุบัน ดังนั้นหากสามารถประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบัน ก็จะสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานศึกษานี้ ได้ทำการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบัน โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 และข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีได้ในทันที ประมวลผลที่ช่วงเวลาการังวัดแตกต่างกัน ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final ผลการศึกษา พบว่า มีค่าต่างเฉลี่ย 1.02 มม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.25 มม. ที่ช่วงเวลาการังวัด 24 ชม. และ มีค่าต่างเฉลี่ย 2.88 มม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.73 มม. ที่ช่วงเวลาการังวัด 12 ชม. นอกจากนั้น กราฟการกระจายระหว่างค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและค่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน แสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ในช่วงเวลาที่เกิดฝนตก

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต..... *Sankiat Anongleha*

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... *Chalanthorn Sittayakul*

ปีการศึกษา.....2551.....

## 5070626821: MAJOR SURVEY ENGINEERING

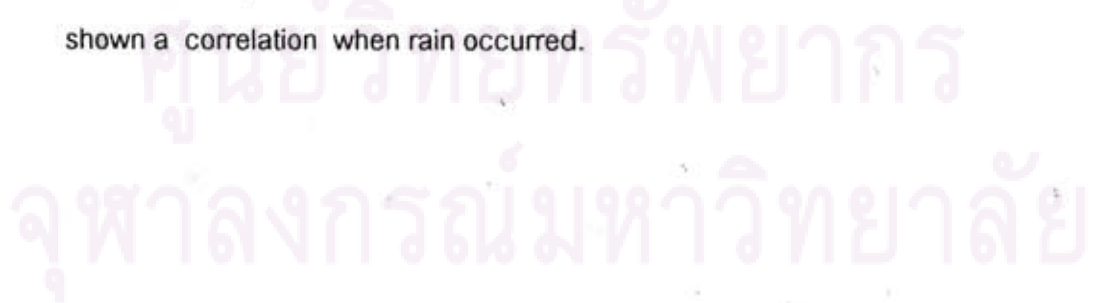
KEYWORDS: GPS DERIVED PWV / PRECIPITABLE WATER VAPOR / PWV

SOMKIAT ANONGLEKHA : NEAR-REAL TIME ESTIMATES OF PRECIPITABLE WATER VAPOR USING PERMANENT GPS STATIONS IN THAILAND.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.,70 pp.

Precipitable Water Vapor (PWV) is a significant variable in climate change study. Currently PWV can be derived from Global Positioning System (GPS) observation data in addition to the specific instruments such as Radiosondes(RS) , Microwave Radiometer (MWR) and Meteorological Satellite. To accurately derive PWV from GPS data, long period of observation time in conjunction with final orbit data have to be applied in the data processing process. This final orbit data can be achieved from International GNSS Service (IGS) with 13 days latency, which is not practical in climate change study or meteorological forecast.

In this study, Bernese 5.0 software has been used to derive near-real time PWV using Ultra rapid orbit data (which is available in real time) with different time windows (observation time) and compare to that using final orbit data with 24 hours time window. The results have shown a 1.02 mm. bias (1.25 mm. SD) with 24 hours time window and a bias of 2.88 mm (2.73 mm. SD) can be achieved with 12 hours time window. Finally the scattered plot between the derived PWV and rainfall measured in the same area shown a correlation when rain occurred.



Department.....Survey Engineering.....Student's Signature.....  
Field of Study.....Survey Engineering .....Advisor's Signature.....  
Academic Year .....2008.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ กรมโยธาธิการและผังเมือง ที่ได้ให้การสนับสนุนเพื่อข้อมูลจีพีเอสเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้เพื่อข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา – มารดาของข้าพเจ้าและเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ที่สนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

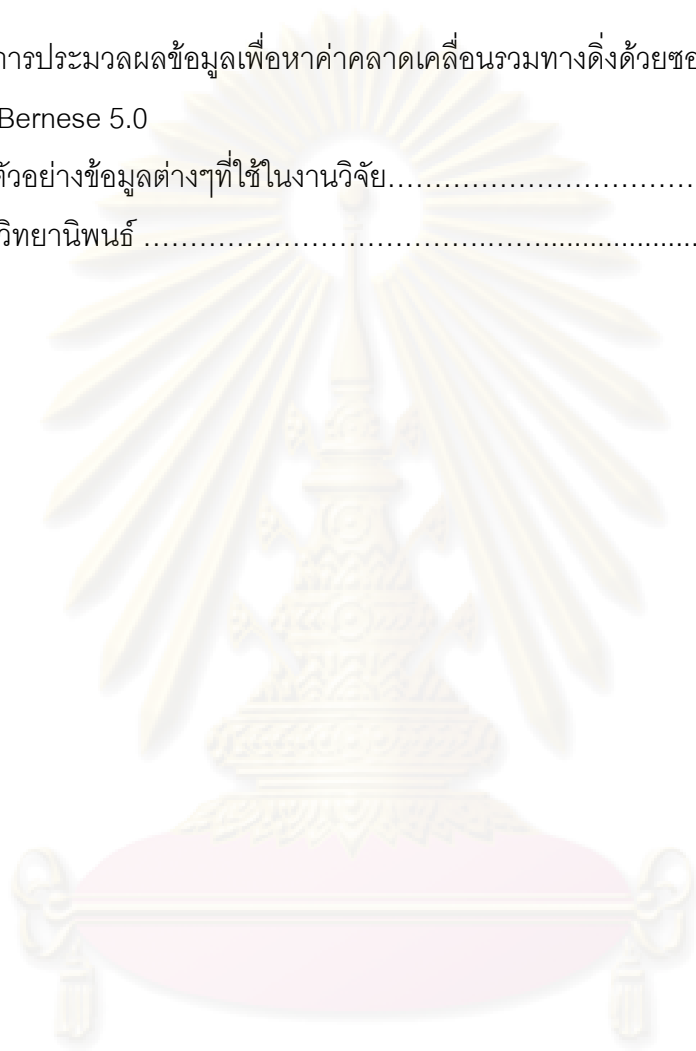
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำย่อ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	4
บทที่ 2 แนวคิดพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดพื้นฐานของงานวิจัย.....	5
2.2 ค่าคลาดเคลื่อนงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส.....	7
2.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic Error or Biases).....	7
2.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error or Noise).....	8
2.3 สมการการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส.....	9
2.3.1 ค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับ (Single Difference , SD).....	10
2.3.2 ค่าต่างครั้งที่สองระหว่างเครื่องรับและระหว่างดาวเทียม (Double Difference ,DD)	11
2.3.3 ค่าต่างครั้งที่สามระหว่าง Epoch (Triple Difference , TD).....	11
2.4 ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	12
2.5 ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและการประมาณค่า.....	15
บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย.....	18

	หน้า
3.1 ข้อมูลจีพีเอส.....	18
3.2 ข้อมูลวงโคจร.....	22
3.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน.....	23
บทที่ 4 การประมวลผลข้อมูล.....	25
4.1 การเตรียมข้อมูลจีพีเอส.....	25
4.2 การเตรียมข้อมูลวงโคจร.....	26
4.3 การเตรียมข้อมูลปริมาณน้ำฝน.....	26
4.4 การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล.....	26
4.5 การเตรียมข้อมูล Earth Orientation Parameter / Pole Information.....	28
4.6 การนำเข้าและแปลงข้อมูลจีพีเอส.....	28
4.7 การนำเข้าและแปลงข้อมูลวงโคจร.....	28
4.8 การกำหนด Session การประมวลผล.....	29
4.9 การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น.....	30
4.10 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าเลขปริศนา.....	30
4.11 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง.....	31
4.12 การประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ.....	32
บทที่ 5 ผลการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
5.1 ผลการเปรียบเทียบค่า PWV.....	38
5.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	40
5.3 การเปรียบเทียบ PWV กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน.....	41
5.4 การเปรียบเทียบค่า PWV ทุกสถานีตามช่วงเวลา.....	46
5.5 การทดสอบค่าทางสถิติ.....	48
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	53
6.1 บทสรุป.....	51
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	51



	หน้า
รายการอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก	55
ก การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งด้วยซอฟต์แวร์.....	56
Bernese 5.0	
ข ตัวอย่างข้อมูลต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย.....	67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	70



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าความถูกต้องของเส้นฐานจากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบต่างๆ (โดยใช้กฎหัวแม่มือ)....6
3.1	แสดงค่าพิกัดของสถานีต่างๆ(WGS84,ข้อมูลจากกรมโยธาฯ).....19
3.2	แสดงจำนวนข้อมูลจีพีเอส (วัน) ที่ใช้ในงานวิจัย..... 21
3.3	แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2007).....22
3.4	แสดงรายละเอียดและที่ตั้งของสถานีตรวจวัดอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา.....24
4.1	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผลด้วย Bernese 5.0.....27
4.2	แสดงรายละเอียดและจำนวน Session ในการประมวลผลข้อมูล.....29
4.3	แสดงค่าพิกัดสถานีต่างๆ (WGS84) ที่ใช้ในขั้นตอนปรับแก้ครั้งสุดท้าย.....31
5.1	ค่าทางสถิติของค่าต่าง PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra-rapid ที่ช่วงเวลาการรังวัด ต่างๆกัน กับแบบ Final ที่ช่วงเวลาการรังวัด 24 ชม. ....38
5.2	แสดงค่าทางสถิติของ PWV ของแต่ละสถานี.....49
5.3	แสดงผลการทดสอบสมมติฐาน.....50
ก-1	Folders และ User Variables ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้.....54
ก-2	Menu Variables ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้.....55

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
3.1 ที่ตั้งของสถานีฐานแบบดาวของกรมโยธาธิการและผังเมือง.....	18
3.2 แสดงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสถานี DPT9.....	19
3.3 แสดง Meteorological Sensor.....	20
3.4 แสดง Web page สำหรับดาวน์โหลดข้อมูล กรมโยธาธิการและผังเมือง.....	21
3.5 แสดงที่ตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา(รูปดาว),สถานีรังวัดดาวเทียม(รูปลูกศร) และวงกลมแสดงรัศมี 25 กม. ....	23
4.1 แสดงขั้นตอนการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ.....	32
4.2 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี CHANTHABURI.....	33
4.3 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี CHIANGMAI.....	33
4.4 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี DPT9.....	34
4.5 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี NAKHONRATCHASIMA.....	34
4.6 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี NAKHONSAWAN.....	35
4.7 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี PRACHUAPKIRIKHAN.....	35
4.8 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี SIAKET.....	36
4.9 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี SURATTHANI.....	36
4.10 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี UDONTHANI.....	37
4.11 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี UTTARADIT.....	37
5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าต่าง PWV เฉลี่ยทุกสถานีที่ช่วงเวลาการรังวัดแตกต่างกัน (U=Ultra-rapid Orbit , H=Hour , F=Final Orbit) .....	39
5.2 กราฟแสดงค่าต่าง PWV เฉลี่ยทุกสถานีที่ช่วงเวลาการรังวัดแตกต่างกัน.....	40
5.3 กราฟการกระจายระหว่างค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจร แบบ Ultra-rapid และแบบ Final ที่ช่วงเวลาการรังวัด 24 hr. ....	41
5.4 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี CHANTHABURI...	42
5.5 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี CHIANG MAI.....	42

5.6 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี NAKHONRATCHASIMA.....	43
5.7 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี NAKHONSAWAN.	43
5.8 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี SURATTHANI.....	44
5.9 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี UDONTHANI.....	44
5.10 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี UTTARADIT.....	45
5.11 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี PRACHUAPKHIRIKHAN.....	45
5.12 กราฟแสดงปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ณ สถานีต่างๆ ตามช่วงเวลา.....	48
ก-1 การเพิ่มชื่อ Campaign ใหม่ใน List of campaigns panel.....	56
ก-2 การ Set active campaign.....	56
ก-3 การสร้าง New campaign directories.....	57
ก-4 การแก้ไข Session Table.....	57
ก-5 การกำหนดค่าให้กับ Current session.....	58
ก-6 การเตรียม EOP file.....	58
ก-7 การแปลงข้อมูลจีพีเอส (RINEX) เป็นรูปแบบ Bernese .....	59
ก-8 การแปลงข้อมูลวงโคจร (SP3) เป็นรูปแบบ Bernese.....	60
ก-9 การทำ Code-based clock synchronization .....	60
ก-10 การสร้าง Baseline file.....	61
ก-11 การทำ Phase Preprocessing.....	61
ก-12 การประมาณค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง.....	62
ก-13 การแก้ไข Process control file.....	63
ก-14 การเรียกใช้ Bernese processing engine.....	63

### คำย่อ

DD	: Double Difference
GLONASS	: GLObal Navigation Satellite System
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
IGS	: International GNSS Service
MWR	: Microwave Radiometer
NGS	: National Geodetic Survey
PWV	: Precipitable Water Vapor
QIF	: Quasi Ionosphere-Free
RINEX	: Receiver INdependent EXchange
Rv	: Specific gas constant for water vapor
RS	: Radiosondes
SBAS	: Satellite Based Augmentation System
SD	: Single Difference
TD	: Triple Difference
ZHD	: Zenith Hydrologic Delay
ZTD	: Zenith Total Delay
ZWD	: Zenith Wet Delay

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและที่มาของงานวิจัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ หน่วยงานระดับประเทศทั่วโลกต่างให้ความสนใจในการติดตามและแก้ไขปัญหา ประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวเช่นกันและจำเป็นต้องเร่งให้มีการศึกษาและจัดเก็บข้อมูลการตรวจวัดด้านภูมิอากาศ ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water Vapor, PWV) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยา เช่น เครื่องวิทยุหยั่งอากาศ (Radiosondes, RS) เครื่องวัดรังสีในวงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Radiometer, MWR) และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite) ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวข้างต้น มีราคาแพง เป็นอุปสรรคสำหรับประเทศกำลังพัฒนาที่จะนำมาใช้งานในจำนวนที่เพียงพอ

ปัจจุบัน ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศสามารถประมาณค่าได้จากข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส (GPS Derived PWV) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีราคาถูกกว่า มีการติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วจำนวนมาก สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศได้ ซึ่งจะช่วยในงานศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในขั้นตอนการประมาณค่าให้มีความถูกต้องนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีช่วงเวลาการรังวัดยาวนานร่วมกับข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงแบบ Final ซึ่งได้ถูกคำนวณโดยหน่วยงาน International GNSS Service (IGS) หลังจากดาวเทียมได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้น ๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวจะล่าช้ากว่าช่วงเวลาทำการรังวัดประมาณ 13 วัน แต่งานติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นงานที่ต้องใช้ข้อมูลตรวจวัดแบบปัจจุบัน ดังนั้นหากสามารถประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้เคียงปัจจุบันก็จะสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้เคียงปัจจุบัน โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 และข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ Real Time ทำการประมวลผลที่ช่วงเวลาการรังวัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ 1 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 8 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final ที่ช่วงเวลาการรังวัด 24 ชม. นอกจากนี้ยังได้

ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน เพื่อศึกษาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ซึ่งจะเป็นแนวทางในการคาดการณ์หรือเตือนภัยจากสภาวะฝนตกหนัก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักทฤษฎีการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

1.2.2 เพื่อศึกษาการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้เคียงปัจจุบันโดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid แทนการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid กับที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final

1.2.4 เพื่อศึกษาหาช่วงระยะเวลาการรังวัดที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลเพื่อให้ค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีความถูกต้องเพียงพอ

1.2.5 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศกับสภาวะฝนตกในพื้นที่เดียวกัน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส ที่ได้จากสถานีดาวของกรมโยธาธิการและผังเมืองจำนวน 10 สถานี ระหว่างเดือน มกราคม – กรกฎาคม พ.ศ. 2550

1.3.2 ประมวลผลโดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid และ แบบ Final

1.3.3 ประมวลผลโดยใช้ช่วงเวลาการรังวัด 1 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 8 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม.

1.3.4 พัฒนาโปรแกรม Script บนซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 เพื่อการประมวลผลข้อมูลแบบอัตโนมัติ

1.3.5 ประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศทุกสถานีแบบรายชั่วโมง

1.3.6 เปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและช่วงเวลาการรังวัดที่แตกต่างกัน

1.3.7 เปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสและการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลจีพีเอส
- 1.4.2 ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสทั้งแบบประมวลผลทีละขั้นและแบบอัตโนมัติ
- 1.4.3 รวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ในงานวิจัยทั้งหมด ประกอบด้วย ข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ข้อมูลอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ข้อมูลวงโคจร และข้อมูลปริมาณน้ำฝน
- 1.4.4 รวบรวมข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นในขั้นตอนการประมวลผล เช่น ข้อมูลพารามิเตอร์การวางตัวของโลก ข้อมูล Antenna Phase Variation ข้อมูล Ocean Loading เป็นต้น
- 1.4.5 ประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น เพื่อตรวจหาและขจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่
- 1.4.6 ประมวลผลข้อมูลเพื่อประมาณค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง
- 1.4.7 คำนวณหาค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่สถานีต่างๆ
- 1.4.8 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้
- 1.4.9 วิเคราะห์ สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักทฤษฎีการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส
- 1.5.2 ได้ข้อสรุปของการนำข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid มาใช้แทนข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final เพื่อประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบัน
- 1.5.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจวัดค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบันโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
- 1.5.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเตือนภัยสภาวะฝนตกหนักโดยอาศัยข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส



## 1.6 งานวิจัยที่ผ่านมา

ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้เคียงปัจจุบัน เช่น Gendt et al. (2001) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้เคียงปัจจุบัน จากข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ในประเทศเยอรมัน โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่มีเทคนิคการคำนวณแตกต่างกัน (GIPSY-OASIS II และ GFZ EPOS-P.V2) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกันในระดับ 1 มม. Baltink et al. (2002) ได้ศึกษาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid (Predicted) และ แบบ Final เปรียบเทียบกับที่ได้จาก RS และ MWR โดยใช้ข้อมูลการรังวัด GPS ในประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าแตกต่างกันประมาณ 1 มม. Baelen et al. (2004) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากจีพีเอสแบบใกล้เคียงปัจจุบัน (คำนวณโดย IGS) กับที่ได้จาก MWR และ RS โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสจากสถานีภาคพื้นดินในประเทศฝรั่งเศส พบว่า มีค่าต่างกัน 0.5 – 2.0 มม. โดยในช่วงเวลากลางวันจะแตกต่างกันมากกว่าในช่วงเวลากลางคืน สำเนียง สุตระ (2549) ได้เปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final กับที่ได้จาก MWR โดยใช้แบบจำลองค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน 3 แบบ พบว่าแตกต่างกันในระดับ 4-5 มม. และแบบจำลอง Essen and Froome ให้ค่าดีที่สุด Nithiwatthn Choosakul (2005) ได้ศึกษาการหาค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Final เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไทย และได้เปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าที่ได้จาก MWR พบว่าต่างกันเฉลี่ย 1.34 มม. (Correlation 0.81)

งานศึกษาในต่างประเทศที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่า สามารถนำข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส มาประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศได้ โดยให้ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกันทั้งการประมวลผลแบบปกติและการประมวลผลแบบใกล้เคียงปัจจุบัน ส่วนงานศึกษาในประเทศไทย ส่วนมากเป็นการประมวลผลแบบปกติ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการประมวลผลแบบใกล้เคียงปัจจุบัน โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสในประเทศไทย เพื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในต่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### แนวคิดพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดพื้นฐานของงานวิจัย

งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาพิกัดของจุดที่ต้องการทราบค่า โดยในขั้นตอนการคำนวณหาค่าพิกัดนั้น ต้องมีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนต่างๆออกไป หนึ่งในค่าคลาดเคลื่อนเหล่านั้น คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ผลที่ได้จากการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนนี้ สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศได้ ในการคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวให้มีความถูกต้องสูงนั้น จำเป็นต้องมีการหาค่าหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนในส่วนอื่นๆออกไปก่อน กล่าวคือ ขจัดค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับและนาฬิกาดาวเทียม โดยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งและสองตามลำดับ (Single and Double Difference) ขจัดค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ด้วยการใช้ข้อมูลแบบ Ionosphere Free (L3) ลดค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมโดยใช้ข้อมูลวงโคจรความละเอียดสูง (Precise Orbit) ลดผลกระทบจากคลื่นหลายวิถีโดยใช้เสาอากาศที่มีคุณสมบัติป้องกันคลื่นหลายวิถีหรือเพิ่มระยะเวลาการรังวัด ลดพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในส่วนของพิกัดสถานีโดยการคำนวณหาค่าไว้ก่อน คงเหลือเฉพาะค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในขั้นตอนการปรับแก้ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่มีความถูกต้องเพียงพอในการนำไปประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศต่อไป

ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise Orbit) ประกอบด้วยข้อมูลค่าพิกัดและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมที่มีความถูกต้องสูง ซึ่งคำนวณจากข้อมูลการรังวัดของสถานีฐานต่างๆทั่วโลก ข้อมูลดังกล่าว แบ่งได้เป็น 4 แบบ (IGS, 2007) กล่าวคือ แบบที่ 1 Final Orbit มีความถูกต้องของวงโคจรดีกว่า 5 ซม. ความถูกต้องของนาฬิกาดาวเทียมดีกว่า 0.1 นาโนวินาที แต่มีความล่าช้าของข้อมูล ประมาณ 13 วัน แบบที่ 2 Rapid Orbit มีความถูกต้องของวงโคจรดีกว่า 5 ซม. ความถูกต้องของนาฬิกาดาวเทียม 0.1 นาโนวินาที มีความล่าช้าของข้อมูล 17 ชั่วโมง แบบที่ 3 Ultra Rapid (Observed half) Orbit มีความถูกต้องของวงโคจรดีกว่า 5 ซม. ความถูกต้องของนาฬิกาดาวเทียมประมาณ 0.2 นาโนวินาที มีความล่าช้าของข้อมูล 3 ชั่วโมง และสุดท้าย แบบที่ 4 Ultra Rapid (Predicted half) Orbit มีความถูกต้องของวงโคจรดีกว่า 10 ซม. ความถูกต้องของ

นาฬิกาดาวเทียมประมาณ 5 นาโนวินาที เป็นข้อมูลแบบ Real Time ไม่มีความล่าช้าของข้อมูล และจากคุณสมบัติเรื่องการเป็นข้อมูลแบบ Real Time นี้เอง ข้อมูลชนิดนี้ จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบัน ส่วนคุณสมบัติด้านความถูกต้องของวงโคจรดาวเทียมที่ด้อยกว่าข้อมูลชนิดอื่นๆ สามารถประเมินผลกระทบเบื้องต้นจากกฎหัวแม่มือ (Rule of Thumb) ดังนี้ (Beser & Parkinson, 1982)

$$\frac{Eb}{Lb} = \frac{Eob}{Lob} \quad (2.1)$$

โดย  $Eb$  คือ ค่าความถูกต้องของเส้นฐาน  
 $Lb$  คือ ความยาวเส้นฐาน  
 $Eob$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม  
 $Lob$  คือ ระยะทุโตเรนจ์ ประมาณ 22,000 กม.

จากสมการ (2.1) จะเห็นได้ว่า ค่าความถูกต้องของเส้นฐาน ขึ้นกับความยาวเส้นฐานและค่าคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม และผลจากการคำนวณโดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนวงโคจรและระยะเส้นฐานต่างๆกันแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความถูกต้องของเส้นฐานจากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบต่างๆ (โดยใช้กฎหัวแม่มือ)

Products	Accuracy orbit	Accuracy of BaseLine (mm.)			
		100 km.	500 km.	1,000 km.	1,500 km.
Broadcast ephemeris	~160 cm.	7.3	36.4	72.7	109.1
Ultra rapid (Predicted half)	~10 cm.	0.5	2.3	4.6	6.8
Ultra rapid (Observed half)	< 5 cm.	0.2	1.1	2.3	3.4
Rapid	< 5 cm.	0.2	1.1	2.3	3.4
Final	< 5 cm.	0.2	1.1	2.3	3.4

จากตาราง 2.1 จะเห็นได้ว่า หากใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra rapid (Predicted half) ซึ่งมีความถูกต้อง วงโคจรประมาณ 10 ซม. ประมวลผลเส้นฐานยาว 1,500 กม.(มากกว่า

ความยาวสูงสุดในงานศึกษานี้) จะได้รับความถูกต้องในระดับ 6.8 มม. และเมื่อพิจารณาให้ความถูกต้องทางดิ่งของพิกัดเครื่องรับซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เท่ากับ 6.8 มม. เช่นกัน และนำไปคูณกับค่า Factor  $\Pi = 0.15$  (Bevis et al., 1992) จะได้ความถูกต้องของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ประมาณ 1.02 มม. ( $0.15 \times 6.8$  มม.) ซึ่งเพียงพอสำหรับการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (Gutman and Benjamin, 2001) แต่ในการประมวลผลจริง อาจมีค่าคลาดเคลื่อนที่ยังคงเหลืออยู่หรือที่ไม่ได้พิจารณาในขั้นตอนการปรับแก้ ซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ประเมินไว้ ในงานวิจัยนี้ จะได้ทดลองประมวลผลจริงเพื่อศึกษาผลลัพธ์และปัญหาต่างๆ

## 2.2 ค่าคลาดเคลื่อนงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

โดยทั่วไป ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส เป็นข้อมูลที่มีค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ แฝงอยู่เสมอ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ เหล่านี้ มีสาเหตุและคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป ในส่วนนี้จะได้อธิบายรายละเอียดของค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังนี้

### 2.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic Error or Biases)

หมายถึง ค่าคลาดเคลื่อนที่มีระบบแบบแผน สามารถตรวจวัดหรือคำนวณได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถขจัดให้หมดไปหรือลดได้ในขั้นตอนการปรับแก้ ค่าคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ ได้แก่

-ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับ (Satellite & Receiver Clock Error) เกิดจากการที่เวลาของนาฬิกาเครื่องรับแตกต่างกับเวลาของนาฬิกาดาวเทียม โดยทั่วไป นาฬิกาของดาวเทียม อ้างอิงกับความถี่แบบอะตอม ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยมากและมีการติดตามปรับแก้เวลาโดยสถานีภาคพื้นดินเป็นระยะๆ ส่วนนาฬิกาเครื่องรับ อ้างอิงกับความถี่แบบควอทซ์ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า ผลจากการอ้างอิงความถี่ที่ต่างกันของนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับ ทำให้ข้อมูลการรังวัดที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนจากการเลื่อนของเวลา (Clock Drift) แฝงอยู่เสมอ การเลื่อนของเวลาเพียง 1 ไมโครวินาที จะส่งผลกับระยะซูดิเรนจ์ ประมาณ 300 ม. ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนในส่วนนี้ จึงเป็นค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่ส่งผลกับความถูกต้องของงานรังวัด

ดาวเทียมจีพีเอสอย่างมาก และสามารถขจัดได้โดยใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง (Single & Double Difference)

-*ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม (Orbital Error)* เกิดจากการไม่ทราบพิกัดที่แท้จริงของดาวเทียมขณะทำการรังวัด เนื่องจาก ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณโดยทั่วไปได้จากการประมาณค่าไว้ล่วงหน้าของสถานีควบคุมภาคพื้นดิน แล้วส่งข้อมูลไปยังดาวเทียมเพื่อเผยแพร่ไปยังผู้ใช้งาน ทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ในข้อมูลการรังวัด ค่าคลาดเคลื่อนในส่วนนี้ส่งผลต่อความถูกต้องของระยะซูดเรนจ์ไม่มากนัก ซึ่งสามารถลดได้โดยใช้ข้อมูลวงโคจรความละเอียดสูง (Precise Orbit) ซึ่งคำนวณได้หลังจากที่ดาวเทียมได้โคจรผ่านบริเวณที่ทำการรังวัดไปแล้ว โดยสถานีติดตามดาวเทียมภาคพื้นดิน

-*ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Error)* เกิดจากการหักเหของคลื่นส่งขณะเดินทางผ่านอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ชั้นบรรยากาศส่วนนี้ ปกคลุมโลกที่ระดับความสูงประมาณ 50 ถึง 1,000 กม.จากพื้นดิน (Hofmann et al.,2001) เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์แผ่กระทบโมเลกุลของอากาศจะเกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอน เกิดประจุไฟฟ้าไปรบกวนการเดินทางของคลื่นส่งจีพีเอส โดยมีผลกระทบแตกต่างกันขึ้นกับความถี่ของคลื่นส่ง และแตกต่างกันในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน ในกรณีทำการรังวัดแบบสัมพัทธ์ จะส่งผลกระทบต่อเส้นฐานที่มีความยาวมาก สามารถขจัดได้โดยการใช้อัลกอริทึมการรังวัดแบบสองความถี่

-*ค่าคลาดเคลื่อนจากการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric Error)* เกิดจากการหักเหของคลื่นส่งขณะเดินทางผ่านอนุภาคที่เป็นกลางของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ชั้นบรรยากาศส่วนนี้ ปกคลุมโลกจากระดับพื้นดิน ถึง ระดับความสูงประมาณ 12 กม. ประกอบด้วยโมเลกุลของอากาศ อนุภาคฝุ่น และไอน้ำ ซึ่งอนุภาคต่างๆเหล่านี้รบกวนการเดินทางของคลื่นส่งจีพีเอส โดยส่งผลเหมือนกันทั้งสองความถี่ สามารถลดค่าคลาดเคลื่อนในส่วนนี้ได้ โดยใช้เทคนิคการรังวัดแบบหาค่าต่าง หรือใช้แบบจำลองค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

-*ค่าคลาดเคลื่อนจากระยะเยื้องศูนย์ของเสาอากาศเครื่องรับและเสาอากาศดาวเทียม* สามารถขจัดได้โดยการวัดสอบหาค่าแก้ก่อน

## 2.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error or Noise)

หมายถึง ค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่มีระบบแบบแผน ไม่สามารถคาดการณ์หรือคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ ค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ได้แก่

-ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด (Cycle Slip Error) เกิดจากความไม่ต่อเนื่องของการรับสัญญาณคลื่นส่งซึ่งอาจเกิดจากการบดบังหรือคลื่นมีกำลังอ่อน สามารถตรวจสอบได้โดยการหาค่าต่างครั้งที่สองและสาม (Double And Triple Difference)

-ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (Multi-path Error) เกิดจากการรับสัญญาณจากคลื่นสะท้อน ทำให้ระยะทางที่ได้คลาดเคลื่อนจากความจริง สามารถลดได้โดยการเลือกใช้เสาอากาศแบบป้องกันคลื่นหลายวิถี หรือเพิ่มช่วงเวลากการรับวัดให้ยาวนานขึ้น

-ค่าคลาดเคลื่อนสุ่มอื่นๆ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่ทราบค่าของเครื่องรับ (Receiver noise) ซึ่งจะแสดงผลให้เห็นในค่าเศษคงเหลือของการคำนวณปรับแก้

## 2.3 สมการการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ประกอบด้วยการวัดข้อมูลสองส่วน คือ การวัดเฟสของรหัส (Code Measurement) และการวัดเฟสของคลื่นส่ง (Phase Measurement) ในการปรับแก้เพื่อหาพิกัดของจุดที่ต้องการทราบค่า จะต้องทำการสร้างสมการค่าสังเกตซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำกรวัด ค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ และค่าระยะทางเรขาคณิต(ระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ) แล้วทำการปรับแก้หาค่าที่ต้องการทราบค่า สามารถเขียนสมการการรังวัดเฟสของรหัส และ เฟสของคลื่นส่ง ของทั้งสองความถี่ได้ดังนี้ (Hofmann et al.,2001)

$$P_{1k}^i = \rho_k^i + c(d^i - d_k) + d_{orb}^i + d_{ktrop}^i + d_{kion}^i + \varepsilon \quad (2.2)$$

$$P_{2k}^i = \rho_k^i + c(d^i - d_k) + d_{orb}^i + d_{ktrop}^i + d_{2kion}^i + \varepsilon \quad (2.3)$$

$$L_{1k}^i = \rho_k^i + c(d^i - d_k) + d_{orb}^i + d_{ktrop}^i - d_{kion}^i + \lambda_1 \cdot N_{1k}^i + \varepsilon \quad (2.4)$$

$$L_{2k}^i = \rho_k^i + c(d^i - d_k) + d_{orb}^i + d_{ktrop}^i - d_{2kion}^i + \lambda_2 \cdot N_{2k}^i + \varepsilon \quad (2.5)$$

โดยที่

$P_{1_k}^i$  คือ ชูโตเรนจ์จากการวัดเฟสของรหัสจากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 1

$P_{2_k}^i$  คือ ชูโตเรนจ์จากการวัดเฟสของรหัสจากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 2

$L_{1_k}^i$  คือ ชูโตเรนจ์จากการวัดเฟสของคลื่นส่งจากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 1

$L_{2_k}^i$  คือ ชูโตเรนจ์จากการวัดเฟสของคลื่นส่งจากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 2

$\rho_k^i$  คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียม  $i$  กับเครื่องรับ  $k$

$c$  คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง

$d^i$  คือ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม  $i$

$d_k$  คือ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ  $k$

$d_{orb}^i$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม  $i$

$d_{trop}^i$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$

$d_{kion}^i$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 1

$d_{2kion}^i$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 2

$\lambda_1$  คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่งความถี่ 1

$\lambda_2$  คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่งความถี่ 2

$N_{1_k}^i$  คือ เลขบริศนา จากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 1

$N_{2_k}^i$  คือ เลขบริศนา จากดาวเทียม  $i$  มายังเครื่องรับ  $k$  ของคลื่นความถี่ 2

$\epsilon$  คือ ความคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน เป็นต้น

มีเทคนิคการคำนวณจำนวนมากเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนในงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส แต่ที่นิยมใช้มากในซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลจีพีเอส คือ การหาค่าต่างของค่ารังวัด ระหว่างเครื่องรับและระหว่างดาวเทียม ซึ่งจะเหมือนกันทั้งการรังวัดเฟสของรหัสและเฟสของคลื่นส่ง ในที่นี้จะแสดงเฉพาะสมการค่าต่างของการวัดเฟสของคลื่นส่ง ดังนี้ (Hofmann et al.,2001)

### 2.3.1 ค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับ (Single Difference , SD)

ค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับได้จาก การนำข้อมูลการรังวัดข้อมูลดาวเทียมดวงเดียวกันจากเครื่องรับต่างเครื่องกันมาลบกัน แสดงได้ดังนี้

$$L_{kl}^i = L_k^i - L_l^i \quad (2.6)$$

$$L_{kl}^2 = L_k^2 - L_l^2 \quad (2.7)$$

หรือ

$$L_{kl}^i = \rho_{kl}^i + c(d_{kl}) + d_{kl trop}^i - d_{kl ion}^i + \lambda_1 \cdot N_{1kl}^i \quad (2.8)$$

$$L_{kl}^2 = \rho_{kl}^2 + c(d_{kl}) + d_{kl trop}^2 - d_{kl ion}^2 + \lambda_2 \cdot N_{2kl}^2 \quad (2.9)$$

โดยความสัมพันธ์นี้ สามารถจัด ค่าความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียมสมมุติว่าถูกขจัดในขั้นนี้ด้วย ซึ่งเป็นจริงในกรณีที่ระยะฐานยาวไม่มากเท่านั้น ในกรณีที่ระยะฐานยาวมาก จึงจำเป็นต้องใช้วงโคจรความละเอียดสูงเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนในส่วนนี้

### 2.3.2 ค่าต่างครั้งที่สองระหว่างเครื่องรับและระหว่างดาวเทียม (Double Difference , DD)

ค่าต่างครั้งที่สองระหว่างเครื่องรับและระหว่างดาวเทียมได้จาก การนำค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับจากดาวเทียมต่างดวงกันมาลบกัน แสดงได้ดังนี้

$$L_{kl}^{ij} = L_{kl}^i - L_{kl}^j \quad (2.10)$$

$$L_{kl}^2 = L_{kl}^i - L_{kl}^j \quad (2.11)$$

หรือ

$$L_{kl}^{ij} = \rho_{kl}^{ij} + d_{kl trop}^{ij} - d_{kl ion}^{ij} + \lambda_1 \cdot N_{1kl}^{ij} \quad (2.12)$$

$$L_{kl}^2 = \rho_{kl}^{ij} + d_{kl trop}^{ij} - d_{kl ion}^{ij} + \lambda_2 \cdot N_{2kl}^{ij} \quad (2.13)$$

โดยความสัมพันธ์นี้ สามารถจัด ค่าความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ



### 2.3.3 ค่าต่างครั้งที่สามระหว่าง Epoch (Triple Difference ,TD)

ค่าต่างครั้งที่สามระหว่าง Epoch ได้จาก การนำค่าต่างครั้งที่สองจาก Epoch ต่างกันมาลบกัน แสดงได้ดังนี้

$$L1_{kl}^{ij}(t2) - L1_{kl}^{ij}(t1) = \rho_{kl}^{ij}(t2) - \rho_{kl}^{ij}(t1) - d1_{klion}^{ij}(t2) - d1_{klion}^{ij}(t1) + SL1_k^i \quad (2.14)$$

$$L2_{kl}^{ij}(t2) - L2_{kl}^{ij}(t1) = \rho_{kl}^{ij}(t2) - \rho_{kl}^{ij}(t1) - d2_{klion}^{ij}(t2) - d2_{klion}^{ij}(t1) + SL2_k^i \quad (2.15)$$

โดยความสัมพันธ์นี้ สามารถจัด ค่าความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เนื่องจาก ค่าคลาดเคลื่อนนี้ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆระหว่าง epoch ต่างจากค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ค่าเลขบริศนาก็สามารถจัดออกได้ในขั้นนี้ คงเหลือค่าของคลื่นหลุด (Cycle Slip,SL) ซึ่งทำให้สามารถหาค่าของคลื่นหลุดได้

### 2.4 ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เกิดจากการหักเหของคลื่นส่งขณะเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง ทำให้เกิดความล่าช้าตามเส้นทาง (Path Delay) โดยส่งผลกระทบเหมือนกันทั้งคลื่น L1 และ L2 ความล่าช้าตามเส้นทาง นิยามได้ดังนี้ (Hopfield,1969)

$$\Delta\rho = \int (n - 1) ds = 10^{-6} \int N^{trop} ds \quad (2.16)$$

โดยที่

$\Delta\rho$  หมายถึง ค่าความล่าช้าตามเส้นทาง

$n$  หมายถึง ดัชนีการหักเห Refractive Index

$ds$  หมายถึง ส่วนย่อยตามเส้นทาง

$N^{trop}$  หมายถึง ค่าการหักเห Refractivity

ค่าการหักเห (Refractivity) สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน (Hopfield,1969) คือ ส่วนแห้ง (Dry or Hydrostatic part) และส่วนเปียก (Wet or Non-hydrostatic part) ดังสมการ (2.17)

$$N^{trop} = N_d^{trop} + N_w^{trop} \quad (2.17)$$

โดยที่

$N_d^{trop}$  หมายถึง ค่าการหักเหส่วนแห้ง เกิดจาก Hydrostatic part

$N_w^{trop}$  หมายถึง ค่าการหักเหส่วนเปียก เกิดจาก Non-hydrostatic part

ประมาณ 90% ของความล่าช้าในชั้นบรรยากาศนี้ เกิดจากส่วนแห้ง (Janes et al., 1989) ส่วนที่เหลือเกิดจากส่วนเปียก ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (PWV) และจากสมการ (2.16) และ (2.17) นำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta\rho = 10^{-6} \int N_d^{trop} ds + 10^{-6} \int N_w^{trop} ds \quad (2.18)$$

Essen and Froome (1951) ได้นิยามค่า  $N_d^{trop}$  และ  $N_w^{trop}$  ไว้ดังนี้

$$N_d^{trop} = 77.64 \frac{P}{T} \quad (2.19)$$

และ

$$N_w^{trop} = -12.96 \frac{e}{T} + 3.718 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (2.20)$$

โดยที่

$p$  คือ ความดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

$T$  คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

$e$  คือ แรงดันไอน้ำย่อย (มิลลิบาร์)

ค่าความล่าช้าตามเส้นทาง (Path Delay) จะขึ้นกับระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ ซึ่งเป็นระยะทางเฉียงตามมุมดาวเทียมแต่ละดวงในช่วงเวลานั้นๆ ในการจะประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ จำเป็นต้องพิจารณาเฉพาะค่าความล่าช้าตามแนวเหนือศีรษะ (Zenith Total Delay, ZTD) ซึ่งทำได้โดยใช้ Mapping Function ซึ่งปัจจุบันมี Mapping Function หลากหลายโมเดล และที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงได้ดังนี้ (Niell, 1996)

$$f(z) = \frac{1}{\cos z} \quad (2.21)$$

โดยที่

$f(z)$  คือ Mapping Function

$z$  คือ Zenith Angle

ดังนั้น

$$\Delta\rho = \Delta\rho_z \times \frac{1}{\cos z} \quad (2.22)$$

โดยที่

$\Delta\rho$  คือ ค่าความล่าช้าตามเส้นทาง Path Delay

$\Delta\rho_z$  คือ ค่าความล่าช้ารวมทางเหนือศีรษะ Zenith Total Delay (ZTD)

ค่าความล่าช้าตามเส้นทาง (Path Delay) สามารถประมาณค่าได้จากโมเดลต่างๆ เช่น Hopfield Model , Saastamoinen Model และ Essen and Froome เป็นต้น แต่ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ แบบจำลอง Saastamoinen ซึ่งแสดงได้ดังนี้ (Saastamoinen, 1973)

$$\Delta\rho = \frac{0.002277}{\cos z} \left[ p + \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) e^{-\tan^2 z} \right] \quad (2.23)$$

โดยที่

$\Delta\rho$  คือ ค่าความล่าช้าตามเส้นทาง Path Delay (มิลลิเมตร)

$p$  คือ ความดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

$T$  คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

$e$  คือ แรงดันไอน้ำย่อย (มิลลิบาร์)

$z$  คือ Zenith Angle (เรเดียน)

แบบจำลอง Saastamoinen ในสมการ (2.23) ได้ใช้ Mapping Function ในการแปลงค่า Zenith Total Delay เป็น Path Delay ไว้แล้ว

## 2.5 ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและการประมาณค่า

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (PWV) หมายถึง ปริมาณไอน้ำทั้งหมดในแนวตั้งตลอดชั้นบรรยากาศเมื่อกลั่นตัวเป็นหยดน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยการวัดเป็นความยาว

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (PWV) นิยามด้วย ค่าอินทิเกรตตามแนวตั้งของความหนาแน่นของไอน้ำ หาด้วยความหนาแน่นของน้ำในสถานะของเหลว ดังนี้ (Bevis et al., 1992)

$$PWV = \frac{1}{\rho_l} \int \rho_v(z) dz \quad (2.24)$$

โดยที่

$\rho_l$  คือ ความหนาแน่นของน้ำในสถานะของเหลว ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_v$  คือ ความหนาแน่นย่อยของไอน้ำ ( $\text{kg/m}^3$ )

ในการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศด้วยจีพีเอส ทำได้โดยการพิจารณาค่า Zenith Total Delay (ZTD) ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง ที่ได้ในขั้นตอนการปรับแก้ ซึ่งค่า ZTD นี้ประกอบด้วยค่าความล่าช้าส่วนแห้ง Zenith Hydrostatic Delay (ZHD) และเปียก Zenith Wet Delay (ZWD) ดังแสดงในสมการ (2.25)

$$ZTD = ZHD + ZWD \quad (2.25)$$

ZHD สามารถคำนวณได้จาก ค่าความดันอากาศเฉลี่ยพื้นผิว ดังนี้ (Bevis et al., 1992)

$$ZHD = \frac{2.2768 P_s}{1 - 2.66 \cos(2\phi) - 2.8 \times 10^{-4} H} \quad (2.26)$$

โดยที่

ZHD คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบแห้ง (มิลลิเมตร)

$P_s$  คือ ความดันอากาศพื้นผิว (มิลลิบาร์)

$\phi$  คือ ละติจูด (เรเดียน)

$H$  คือ ความสูงเหนือ Geoid (เมตร)

ZWD สามารถคำนวณได้จาก ค่าความดันไอน้ำย่อย ดังนี้ (Bevis et al., 1992)

$$ZWD = 10^{-6} (k_2' \int \frac{P_v}{T} dz + k_3 \int \frac{P_v}{T^2} dz) \quad (2.27)$$

โดยที่

ZWD คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแบบเปียก (มิลลิเมตร)

$P_v$  คือ ความดันไอน้ำย่อย (มิลลิบาร์)

$T$  คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

$k_2'$  คือ ค่าคงที่ ( $17 \pm 10$ ) (เคลวิน/มิลลิบาร์)

$k_3$  คือ ค่าคงที่ ( $3.776 \pm 0.03$ )  $\times 10^5$  (เคลวิน<sup>2</sup>/มิลลิบาร์)

แต่ ZWD ไม่สามารถคำนวณให้แม่นยำโดยตรงจากสมการ (7) ได้เนื่องจากข้อจำกัดในการวัดค่า  $P_v$  ดังนั้นจึงคำนวณโดยการนำ ZHD ไปลบออกจาก ZTD จะได้ ZWD ตามความสัมพันธ์ในสมการ (2.25)

PWV สัมพันธ์กับค่า Factor  $\Pi$  และ ZWD (Bevis et al., 1992) ดังนี้

$$PWV = \Pi \times ZWD \quad (2.28)$$

โดย

$$\Pi = \frac{10^6}{\rho_l \cdot R_v \left( \frac{k_3}{T_m} + k_2' \right)} \quad (2.29)$$

และ

$$T_m = \frac{\int \frac{P_v}{T_i} dz}{\int \frac{P_v}{T_i^2} dz} \quad (2.30)$$

โดยที่

$\rho_l$  คือ ความหนาแน่นน้ำในสถานะของเหลว (1,000 กก/ลบ.ม.)

$R_v$  คือ ค่าคงที่ไอน้ำ (416.45 จูล/กก.เคลวิน)

$k_2'$  คือ ค่าคงที่ ( $17 \pm 10$ ) (เคลวิน/มิลลิบาร์)

- $k_3$  คือ ค่าคงที่  $(3.776 \pm 0.03) \times 10^5$  (เคลวิน<sup>2</sup>/มิลลิบาร์)  
 $T_m$  คือ อุณหภูมิในแนวตั้งเฉลี่ย (เคลวิน)  
 $P_v$  คือ ความดันไอน้ำย่อย (มิลลิบาร์)  
 $T_i$  คือ อุณหภูมิย่อย (เคลวิน)

ค่า  $\Pi$  ไม่สามารถคำนวณโดยตรงจากสมการ (2.29) เนื่องจากข้อจำกัดในการหาค่า  $T_m$  ซึ่งต้องใช้ข้อมูลความดันไอน้ำย่อย  $P_v$  และ อุณหภูมิย่อย  $T_i$  ดังนั้น งานศึกษานี้จึงใช้ค่า  $\Pi$  เท่ากับ 0.15 ซึ่งเป็นค่าทั่วไป (Bevis et al., 1992)

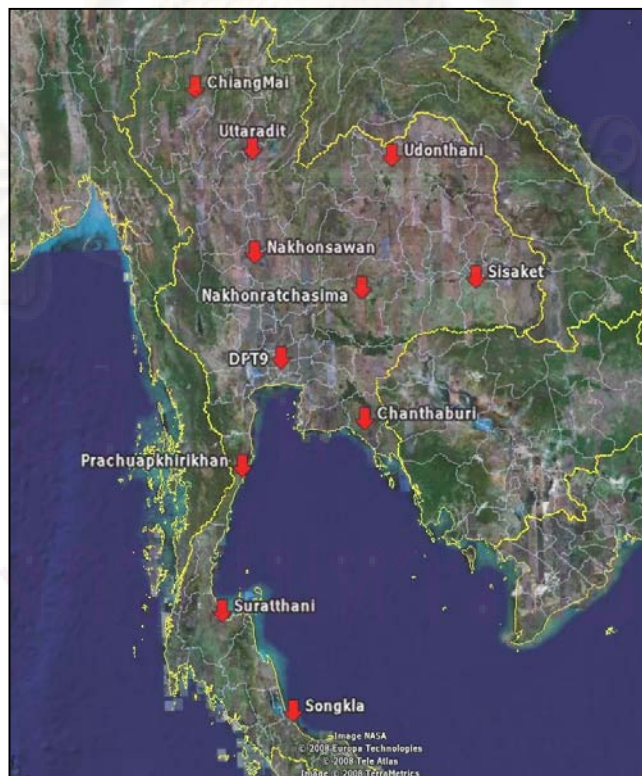
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

#### 3.1 ข้อมูลจีพีเอส

งานวิจัยนี้ ได้ใช้ข้อมูลการรังวัดดาวเทียมระหว่างเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2550 จากสถานีฐานแบบถาวรของกรมโยธาธิการและผังเมืองจำนวน 10 สถานี (จากทั้งสิ้น 11 สถานี โดยไม่ใช้สถานี SONGKHLA เนื่องจากข้อมูลขาดความต่อเนื่อง) ประกอบด้วย สถานี CHANTHABURI, CHIANGMAI, DPT9, NAKHONRATCHASIMA, NAKHONSAWAN, PRACHUAPKIRIKHAN, SISAKET, SURATTHANI, UDONTHANI และ UTTARADIT ทุกสถานี ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบสองความถี่ รุ่น Leica GRX1200 Pro ใช้เสาอากาศ Leica AT504 Choke-ring Antenna รับสัญญาณตลอด 24 ชม. บันทึกข้อมูลทุก 5 วินาที และมุมกันฟ้า 10 องศา มีการติดตั้ง Meteorological Sensor ทำหน้าที่ตรวจวัดข้อมูลความดันอากาศและอุณหภูมิของแต่ละสถานี ตำแหน่งและรายละเอียดของสถานีต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ที่ตั้งของสถานีฐานแบบถาวรของกรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพิกัดของสถานีต่างๆ (WGS84, ข้อมูลจากกรมโยธาฯ)

Name:	Code:	Latitude:	Longitude:	Height:
Chanthaburi	CHAN	12° 36' 37.11708" N	102° 6' 8.67788" E	8.004
Chiang Mai	CHMA	18° 50' 12.60123" N	98° 58' 13.80785" E	310.447
DPT Rama 9	DPT9	13° 45' 24.41165" N	100° 34' 23.51926" E	38.169
Nakhonratchasima	NKRM	14° 59' 14.98044" N	102° 7' 18.54564" E	166.145
Nakhonsawan	NKSW	15° 41' 26.2934" N	100° 6' 50.80343" E	21.406
Prachuapkirikhan	PJRK	11° 48' 41.83502" N	99° 47' 46.84947" E	-11.735
Sisaket	SISK	15° 6' 58.03962" N	104° 17' 8.43333" E	105.105
Songkla	SOKA	7° 12' 24.09759" N	100° 35' 46.03675" E	18.437
Suratthani	SRTN	9° 7' 56.0108" N	99° 19' 52.89986" E	9.949
Udonthani	UDON	17° 24' 45.83426" N	102° 46' 50.53614" E	150.235
Uttaradit	UTTD	17° 37' 48.33693" N	100° 5' 46.83525" E	51.262

สถานีรังวัดดาวเทียมของกรมโยธาธิการและผังเมืองทุกสถานีเป็นสถานีแบบถาวร ส่วนใหญ่ติดตั้งบนชั้นบนสุดของอาคารโยธาธิการจังหวัด มีความมั่นคงและไม่เคลื่อนตัว ลักษณะการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมและ Meteorological Sensor แสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสถานี DPT9





รูปที่ 3.3 แสดง Meteorological Sensor

กรมโยธาธิการและผังเมือง ได้ให้บริการข้อมูลจีพีเอสแบบ On-line ผ่านทาง Internet ตาม URL <http://61.47.18.4/spiderweb/frmIndex.aspx> (ดังแสดงในรูปที่ 3.4 )โดยผู้ใช้งานลงทะเบียนเพื่อขอสิทธิ์ก่อนการดาวน์โหลดข้อมูลไปใช้งาน ขั้นตอนการดาวน์โหลดข้อมูลโดยสังเขป มีดังนี้

- Log in เข้าสู่ระบบ
- ที่เฟรมด้านซ้าย เลือก Jobs -> Create new job
- เลือกลักษณะ Job แบบ Once only
- เลือกวันที่ที่ต้องการข้อมูล
- เลือกขอข้อมูลประเภทที่ต้องการ Obs , Met , Aux , Nav
- เลือก epoch rate
- เลือกสถานที่ที่ต้องการ
- ที่เฟรมด้านซ้าย เลือก Download -> My download

ตัวอย่างข้อมูลจีพีเอสที่ได้จากกรมโยธาธิการและผังเมือง แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.4 แสดง Web page สำหรับดาวนโหลดข้อมูล กรรมโยธาธิการและผังเมือง

จากการรวบรวมข้อมูลการรังวัดจีพีเอส ของสถานีต่างๆ พบว่า บางช่วงเวลาข้อมูลไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเกิดจากเครื่องรับสัญญาณบันทึกข้อมูลไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เฉพาะช่วงเวลาที่ข้อมูลสมบูรณ์จากสถานี DPT9 เนื่องจากถูกใช้เป็นสถานีฐานในขั้นตอนการประมวลผลเส้นฐานแบบตามแนวรัศมี (Radial Baseline) และตัดสถานี SONGKHLA ออกไป เนื่องจาก มีข้อมูลน้อยเกินไป รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนข้อมูลจีพีเอส (วัน) ที่ใช้ในงานวิจัย

สถานี	จำนวนข้อมูล (วัน) ที่ใช้ในงานวิจัย (ปี 2007)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
Chanthaburi	31	28	31	30	31	30	28	-	-	-	-	-
Chiang Mai	31	28	31	30	31	30	31	-	-	-	-	-
DPT Rama 9	31	28	31	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Nakhonratchasima	-	-	5	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Nakhonsawan	31	28	31	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Prachuapkirikhan	-	17	31	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Sisaket	31	28	31	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Songkla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suratthani	31	13	19	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Udonthani	9		10	30	31	30	31	-	-	-	-	-
Uttaradit	31	13	19	30	31	30	31	-	-	-	-	-

### 3.2 ข้อมูลวงโคจร

เพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมในขั้นตอนการประมวลผล จำเป็นต้องใช้ข้อมูลวงโคจรความละเอียดสูงแทนการใช้ข้อมูลแบบนำหนทั่วไป International GNSS Service (IGS) เป็นหน่วยงานโดยความร่วมมือจากมากกว่า 200 องค์กรใน 80 ประเทศ มีสถานีรังวัดดาวเทียมแบบถาวรมากกว่า 300 แห่ง ทำหน้าที่ในการเก็บบันทึกและปรับแก้ข้อมูล และได้ให้บริการข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ แบบ Final , Rapid และ Ultra rapid ข้อมูลแต่ละแบบจะแตกต่างกันในเรื่องของความล่าช้าของข้อมูลและระดับของความถูกต้อง สามารถดาวน์โหลดข้อมูลวงโคจรได้ที่ <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> รายละเอียดข้อมูลที่ให้บริการโดย IGS แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2007)

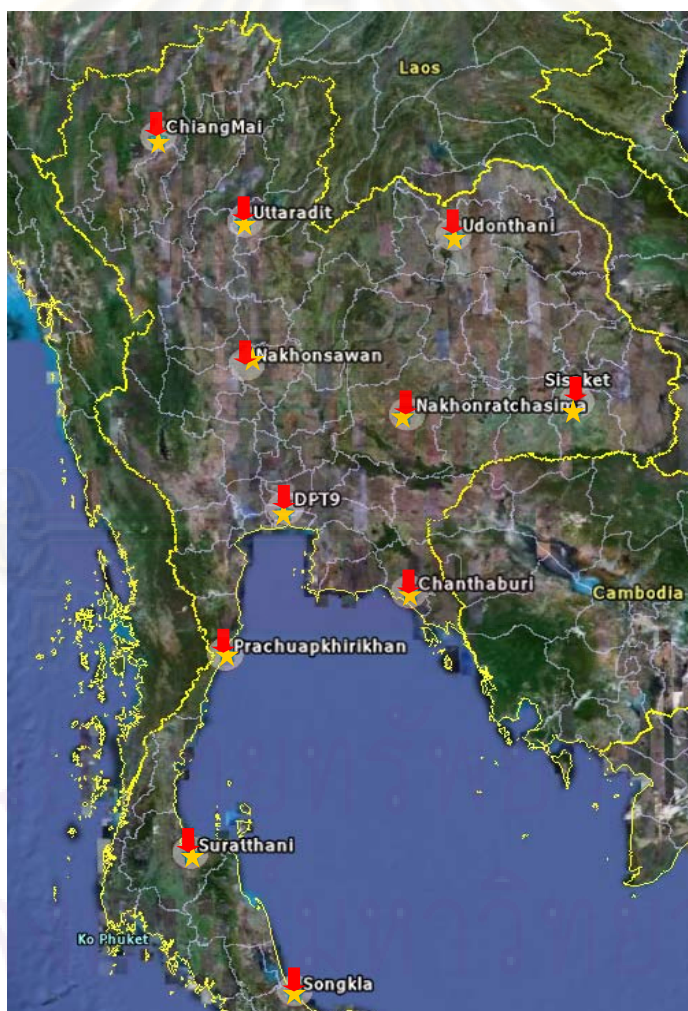
Products	Accuracy orbit	Accuracy Sat. Clocks	Latency	Updates	Interval
Broadcast ephemeris	~160 cm.	~7 ns	Real time	--	daily
Ultra rapid (Predicted half)	~10 cm.	~5 ns	Real time	4 time daily	15 min
Ultra rapid (Observed half)	< 5 cm.	~0.2 ns	3 hours	4 time daily	15 min
Rapid	< 5 cm.	~0.1 ns	17 hours	Daily	15 min
Final	< 5 cm.	< 0.1 ns	~13 days	Weekly	15 min

ข้อมูลวงโคจรที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid (Predicted half) เนื่องจากเป็นข้อมูลแบบ Real Time และมีความถูกต้องของวงโคจรประมาณ 10 ซม. ข้อมูลส่วน Predicted half เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูล Ultra Rapid ซึ่งคำนวณวงโคจรไว้ล่วงหน้า 1 วัน และข้อมูลส่วน Observed half เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูล Ultra Rapid ซึ่งคำนวณวงโคจรย้อนหลังไป 1 วัน ด้วยข้อมูลที่ได้รังวัดจริง โดยข้อมูลส่วนที่คำนวณไว้ล่วงหน้านี้เอง ทำให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณได้ตลอดเวลา ข้อมูลวงโคจรความละเอียดสูง ประกอบด้วยข้อมูลหลัก 2 ส่วน คือ ข้อมูลตำแหน่งและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม โดยข้อมูลตำแหน่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร และ

ข้อมูลค่าแก่นापิกามีหน่วยเป็น มิลลิวินาที ตัวอย่างข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงแสดงในภาคผนวก ข

### 3.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศกับสภาวะการเกิดฝนตก งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณไอน้ำที่คำนวณได้กับปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยเลือกใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันกับสถานีรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ที่ตั้งและรายละเอียดของสถานีตรวจวัดแสดงในรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.5 แสดงที่ตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา(รูปดาว),สถานีรังวัดดาวเทียม(รูปลูกศร)

และวงกลมแสดงรัศมี 25 กม.

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดและที่ตั้งของสถานีตรวจวัดอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

ลำดับ	สถานี	ประเภท	LATITUDE			LONGITUDE			ช่วงเวลาบันทึกข้อมูล		
			ราย ชม.	ราย 3 ชม.	รายวัน-เดือน						
1	CHIANG MAI	สถานีผิวพื้น	18	47	N	98	59	E	1987-present	1981-present	1951-present
2	UTTARADIT	สถานีผิวพื้น	17	37	N	100	6	E		1981-present	1951-present
3	UDON THANI	สถานีผิวพื้น	17	23	N	102	48	E		1981-present	1951-present
4	NAKHON RATCHASIMA	สถานีผิวพื้น	14	58	N	102	5	E		1981-present	1951-present
5	NAKHON SAWAN	สถานีผิวพื้น	15	48	N	100	10	E		1981-present	1951-present
6	CHANTHABURI	สถานีผิวพื้น	12	37	N	102	7	E		1981-present	1951-present
7	PRACHUAP KHIRI KHAN	สถานีผิวพื้น	11	50	N	99	50	E		1981-present	1951-present
8	SURAT THANI	สถานีผิวพื้น	9	7	N	99	21	E		1981-present	1951-present
9	SRISAKET	สถานีเกษตร	15	2	N	104	15	E		1984-present	1984-present
10	SONGKHLA	สถานีผิวพื้น	7	12	N	100	36	E		1951-present	1951-present
11	BANGKOK (KLONG TOEY)	สถานีผิวพื้น	13	42	N	100	34	E		1995-present	1995-present

ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### การประมวลผลข้อมูล

การประมวลผลข้อมูลจีพีเอสเพื่อหาค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ เป็นงานที่มีขั้นตอนจำนวนมากและการคำนวณในแต่ละขั้นตอนต้องพิจารณาตรวจสอบผลการคำนวณว่ามีความละเอียดถูกต้องเพียงพอหรือไม่ ในบทนี้จะได้อธิบายถึงขั้นตอนการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การเตรียมข้อมูลจีพีเอส การเตรียมข้อมูลวงโคจร การเตรียมข้อมูลปริมาณน้ำฝน การเตรียมข้อมูลที่จำเป็นในการประมวลผล การเตรียมข้อมูล Earth Orientation Parameter/Pole Information การนำเข้าและแปลงข้อมูลจีพีเอส การนำเข้าและแปลงข้อมูลวงโคจร การกำหนด Session การประมวลผล การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น การประมวลผลเพื่อหาค่าเลขปริศนา การประมวลผลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง และการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ รายละเอียดในแต่ละขั้นตอน แสดงได้ ดังนี้

#### 4.1 การเตรียมข้อมูลจีพีเอส

ข้อมูลจีพีเอสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลรูปแบบ RINEX มีการจัดเก็บเป็นรายชั่วโมงแยกแต่ละสถานี ก่อนการนำไปใช้งานต้องทำการรวมข้อมูลให้เป็นแบบรายวัน โดยใช้โปรแกรม TEQC (Translation Editing Quality Checking) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ National Geodetic Survey (NGS) ใช้เป็นเครื่องมือหลักในการจัดการข้อมูล RINEX (ชนิด Observation , NAV และ Met ) สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html> โปรแกรม TEQC เป็นเครื่องมือเพื่อการจัดการข้อมูลก่อนการประมวลผล (Pre-processing Tool) ที่รองรับข้อมูล GPS , GLONASS , GALILEO และ SBAS มีการทำงานหลักแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 การแปลงข้อมูลจากเครื่องรับมาเป็นแบบ RINEX รองรับเครื่องรับต่างๆ เช่น Trimble , Leica , Topcon , Ashtec , Navcom , U-blox เป็นต้น กลุ่มที่ 2 การแก้ไขข้อมูล เช่น การตัด-รวมข้อมูล การแก้ไข Header ของไฟล์ RINEX และกลุ่มที่ 3 การตรวจสอบรูปแบบความถูกต้องของข้อมูล

#### 4.2 การเตรียมข้อมูลวงโคจร

ข้อมูลวงโคจรที่ใช้ในงานนี้ เป็นข้อมูลรูปแบบ SP3 และเป็นข้อมูลชนิด Ultra Rapid มีการ Update ทุกๆ 4 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ข้อมูลชุดแรกของแต่ละวันมาประมวลผล ซึ่งชุดของข้อมูลจะแสดงในส่วน Session Identifier ของชื่อไฟล์ เช่น igu14082\_00.SP3 เป็นข้อมูล Ultra Rapid ชุดแรกของวันที่ 2 ใน GPS Week ที่ 1408 และ igs14082.SP3 เป็นข้อมูล Final ของวันที่ 2 ใน GPS Week ที่ 1408 เป็นต้น

ข้อมูลวงโคจร ที่ได้จาก IGS เป็นแบบรายวัน สอดคล้องกับลักษณะที่ใช้ในการประมวลผลอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องมีการจัดการข้อมูลก่อนการประมวลผล

#### 4.3 การเตรียมข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา มีลักษณะการจัดเก็บหลายรูปแบบ กล่าวคือ Text , Excel และ Html และข้อมูลเป็นแบบราย 3 ชั่วโมง อยู่รวมกันหลายสถานี ก่อนนำไปใช้ต้องทำการแยกข้อมูลแต่ละสถานีและเรียงข้อมูลตามวัน-เวลา

#### 4.4 การเตรียมข้อมูลที่จำเป็นในการประมวลผล

ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 เป็นซอฟต์แวร์เพื่องานวิจัย ที่มีรายละเอียดในการคำนวณที่ซับซ้อน ในขั้นตอนการประมวลผล จะต้องใช้ข้อมูลประกอบจำนวนมาก เช่น ข้อมูล Earth Orientation Information ข้อมูล Phase Center Variation ข้อมูล Ocean Loading เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จัดเก็บไว้ใน Folder GEN ภายใต้ Bernese 5.0 รายละเอียดการเตรียมข้อมูลที่จำเป็นต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประมวลผลด้วย Bernese 5.0

ชื่อไฟล์	รายละเอียด	ความจำเป็นในการ Update	Download Site
CONST.	ค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	ไม่	Aiub*
DATUM.	ข้อมูล Datum	เมื่อมี ellipsoid ใหม่	Aiub*
RECEIVER.	ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องรับ	เมื่อมีเครื่องรับชนิดใหม่	Aiub*
PHAS_COD.I01	Relative Antenna Model แบบ ระบุมุม Radome codes	เมื่อมีเสาอากาศชนิด ใหม่หรือมีค่าแก้ไขใหม่	Aiub*
SATELLIT.I01	ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมใช้คู่กับ PHAS_COD.I01	เมื่อมีการส่งดาวเทียม ดวงใหม่	Aiub*
PHAS_COD.I05	Absolute Antenna Model แบบ ระบุมุม Radome codes	เมื่อมีเสาอากาศชนิด ใหม่หรือมีค่าแก้ไขใหม่	Aiub*
SATELLIT.I05	ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมใช้คู่กับ PHAS_COD.I05	เมื่อมีการส่งดาวเทียม ดวงใหม่	Aiub*
SAT____.CRX	ข้อมูลดาวเทียมที่มีปัญหา	เมื่อเกิดปัญหากับดาว เทียม	Aiub*
GPSUTC.	ข้อมูล GPS Leap second	เมื่อมีการปรับแก้เวลา	Aiub*
IAU2000.NUT	ข้อมูล Nutation model coefficients	ไม่	Aiub*
IERS2000.SUB	ข้อมูลย่อยการวางตัวของโลก	ไม่	Aiub*
JGM3.	ข้อมูล Earth Potential Coefficient	ไม่	Aiub*
POLOFF.	ข้อมูล Pole offset coefficients	ไม่	Aiub*
DE200.EPH	ข้อมูลวงโคจรดาวเคราะห์	ไม่	JPL**
____.BLQ	ข้อมูล Ocean Loading	เมื่อใช้สถานีใหม่	OSO***

\*Aiub หมายถึง <http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/GEN>

\*\*JPL หมายถึง <http://www.jpl.nasa.gov>

\*\*\*OSO หมายถึง <http://www.oso.chalmers.se/~loading/>



#### 4.5 การเตรียมข้อมูล Earth Orientation Parameter / Pole Information

ข้อมูล Earth Orientation Parameter สามารถดาวน์โหลดได้จาก IGS เช่นเดียวกับข้อมูลวงโคจร ข้อมูลดังกล่าวจัดเก็บในไฟล์ข้อมูลนามสกุล .erp (เช่น igs14027.erp) ก่อนนำไปใช้ต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นนามสกุล .iep จากนั้นจึงใช้โปรแกรม POLUPD แปลงข้อมูลเป็นรูปแบบ Bernese Pole Format

#### 4.6 การนำเข้าและแปลงข้อมูลจีพีเอส

ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 ใช้ข้อมูลจีพีเอสในรูปแบบเฉพาะ ก่อนการประมวลผลจึงต้องมีการแปลงข้อมูลจากรูปแบบ RINEX เป็นรูปแบบ Bernese โดยใช้โปรแกรม RXOBV3 ในขั้นตอนนี้ ต้องตรวจสอบชื่อ-รหัสของเครื่องรับและ Antenna ให้ถูกต้องตรงกับข้อมูลในไฟล์ PHAS\_COD.I01 หรือ PHAS\_COD.I05 และตรวจสอบการเลือกให้ซอฟต์แวร์ตรวจสอบรหัสของ Radome Antenna ด้วยหรือไม่

#### 4.7 การนำเข้าและแปลงข้อมูลวงโคจร

ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 ใช้ข้อมูลวงโคจรในรูปแบบเฉพาะ ก่อนการประมวลผลจึงต้องมีการแปลงข้อมูลจากรูปแบบ SP3 เป็นรูปแบบ Bernese โดยใช้โปรแกรม PRETAB แปลงข้อมูล SP3 เป็นรูปแบบ TAB (Tabular Format) (ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะสร้าง Clock File เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนประมวลผลขั้นต้นต่อไป) จากนั้น ใช้โปรแกรม ORBGEN แปลงข้อมูล TAB เป็นรูปแบบ STD (Standard format) ในขั้นตอนนี้ ให้ตรวจสอบค่า RMS ของดาวเทียมแต่ละดวง ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1-2 ซม.

#### 4.8 การกำหนด Session การประมวลผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการประมวลผลข้อมูลทุกสถานีพร้อมกันแบบรายวัน โดยในแต่ละวันจะต้องประมวลผลจำนวน 43 sessions ดังนี้

Session 1 ประมวลผลแบบราย 24 ชม.ร่วมกับข้อมูล Final Orbit

Session 2-25 ประมวลผลแบบราย 1 ชม.ร่วมกับข้อมูล Ultra Rapid Orbit

Session 26-33 ประมวลผลแบบราย 3 ชม.ร่วมกับข้อมูล Ultra Rapid Orbit

Session 34-37 ประมวลผลแบบราย 6 ชม.ร่วมกับข้อมูล Ultra Rapid Orbit

Session 38-40 ประมวลผลแบบราย 8 ชม.ร่วมกับข้อมูล Ultra Rapid Orbit

Session 41-42 ประมวลผลแบบราย 12 ชม.ร่วมกับข้อมูล Ultra Rapid Orbit

Session 43 ประมวลผลแบบราย 24 ชม.ร่วมกับข้อมูล Ultra Rapid Orbit

รายละเอียดและจำนวน Session แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดและจำนวน Session ในการประมวลผลข้อมูล

เดือน	จำนวน Session ในการประมวลผลข้อมูล							รวม
	Final Orbit	Ultra Rapid						
	24 ชม.	1 ชม.*	3 ชม.	6 ชม.	8 ชม.	12 ชม.	24 ชม.	
ม.ค. 50	31	744	248	124	93	62	31	1,333
ก.พ. 50	28	-	224	112	84	56	28	532
มี.ค. 50	31	-	248	124	93	62	31	589
เม.ย. 50	30	-	240	120	90	60	30	570
พ.ค. 50	31	-	248	124	93	62	31	589
มิ.ย. 50	30	-	240	120	90	60	30	570
ก.ค. 50	31	-	248	124	93	62	31	589
รวม	212	744	1,696	848	636	424	212	4,772

\* การประมวลผลแบบราย 1 ชม.ให้ผลลัพธ์ชัดเจนว่าไม่สามารถนำมาใช้งานได้ จึงทำการประมวลผลเพียง 1 เดือน

#### 4.9 การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาและขจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด จากคลื่นหลายวิถี หรือจากสาเหตุอื่นๆ การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นประกอบด้วยการใช้โปรแกรมย่อยต่างๆภายในซอฟต์แวร์ Bernese ดังนี้

- CODSPP ประมวลผลข้อมูลรหัสของคลื่นส่ง (Code) เพื่อหาค่าแก้नाฬิกาของเครื่องรับ พร้อมทำการแก้ข้อมูลการรังวัดให้อ้างอิง Epoch Time เดียวกัน (Receiver Clock Synchronization) ในขั้นตอนนี้ได้ตรวจสอบค่า RMS ของผลการปรับแก้มีค่าไม่เกิน 30 ม.
- SNGDIF เพื่อสร้างเส้นฐานโดยในงานวิจัยนี้ได้สร้างเส้นฐานตามแนวรัศมี (Radial Baseline)
- MAUPRP เพื่อตรวจหาและแก้ไขปัญหาคลื่นหลุด
- GPSEST เป็นการปรับแก้เบื้องต้นเพื่อตรวจสอบค่า RMS ว่ามีค่ามากผิดปกติหรือไม่ โดยในขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลแบบ Ionosphere Free (L3) ประมวลผลแบบ Float Solution
- RESRMS เพื่อสร้างไฟล์ข้อมูล Residual Statistics ซึ่งจะถูกใช้ในขั้นตอนต่อไป
- SATMRK เพื่อทำการตัดข้อมูลการรังวัดดาวเทียมดวงที่มีค่า RMS มาก (>4ซม.)

#### 4.10 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าเลขปริศนา

เลขปริศนา หมายถึง ค่าจำนวนเต็มของลูกคลื่นจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ ณ ขณะเวลาที่เครื่องรับเริ่มถือคัสัญญาณจีพีเอสได้ โดยในขั้นตอนการปรับแก้สมการการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส จะต้องหาค่าเลขปริศนาเป็นเลขทศนิยมก่อน แล้วจึงทำการหาค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม (Ambiguity Resolution) อีกครั้ง การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าเลขปริศนา ประกอบด้วยการใช้โปรแกรมย่อยต่างๆภายในซอฟต์แวร์ Bernese ดังนี้

- GPSEST (ครั้งที่ 1) โดยใช้ข้อมูลแบบ Ionosphere Free (L3) เพื่อหาค่าพิกัดเริ่มต้นของสถานี และค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์
- GPSEST (ครั้งที่ 2) โดยใช้คลื่น L1+L2 และผลลัพธ์จากครั้งที่ 1 เพื่อหาค่าเลขปริศนาแบบจำนวนเต็ม ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี QIF (Quasi Ionosphere-Free) เนื่องจากเหมาะสมกับเส้นฐานที่มีความยาวมาก

#### 4.11 การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง

จากค่าจำนวนเต็มเลขปรีศนาที่ได้ ถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการปรับแก้ครั้งสุดท้าย (Final Pass) ด้วยโปรแกรม GPSEST โดยใช้ข้อมูลแบบ Iono Free (L3) ได้ผลลัพธ์ คือ ค่า Zenith Total Delay ซึ่งหมายถึงค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งนั่นเอง ทั้งนี้ในการปรับแก้ครั้งนี้ ได้ทำการตรึงค่าพิกัดของทุกสถานีไว้ ด้วยค่าที่ได้คำนวณไว้ล่วงหน้า (เฉลี่ย 7 วัน) คงเหลือเฉพาะค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เพียงอย่างเดียว ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพิกัดสถานีต่างๆที่ใช้ในขั้นตอนปรับแก้ครั้งสุดท้าย ส่วนตัวอย่างค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง (TOTAL\_U) ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 แสดงไว้ในผนวก ข

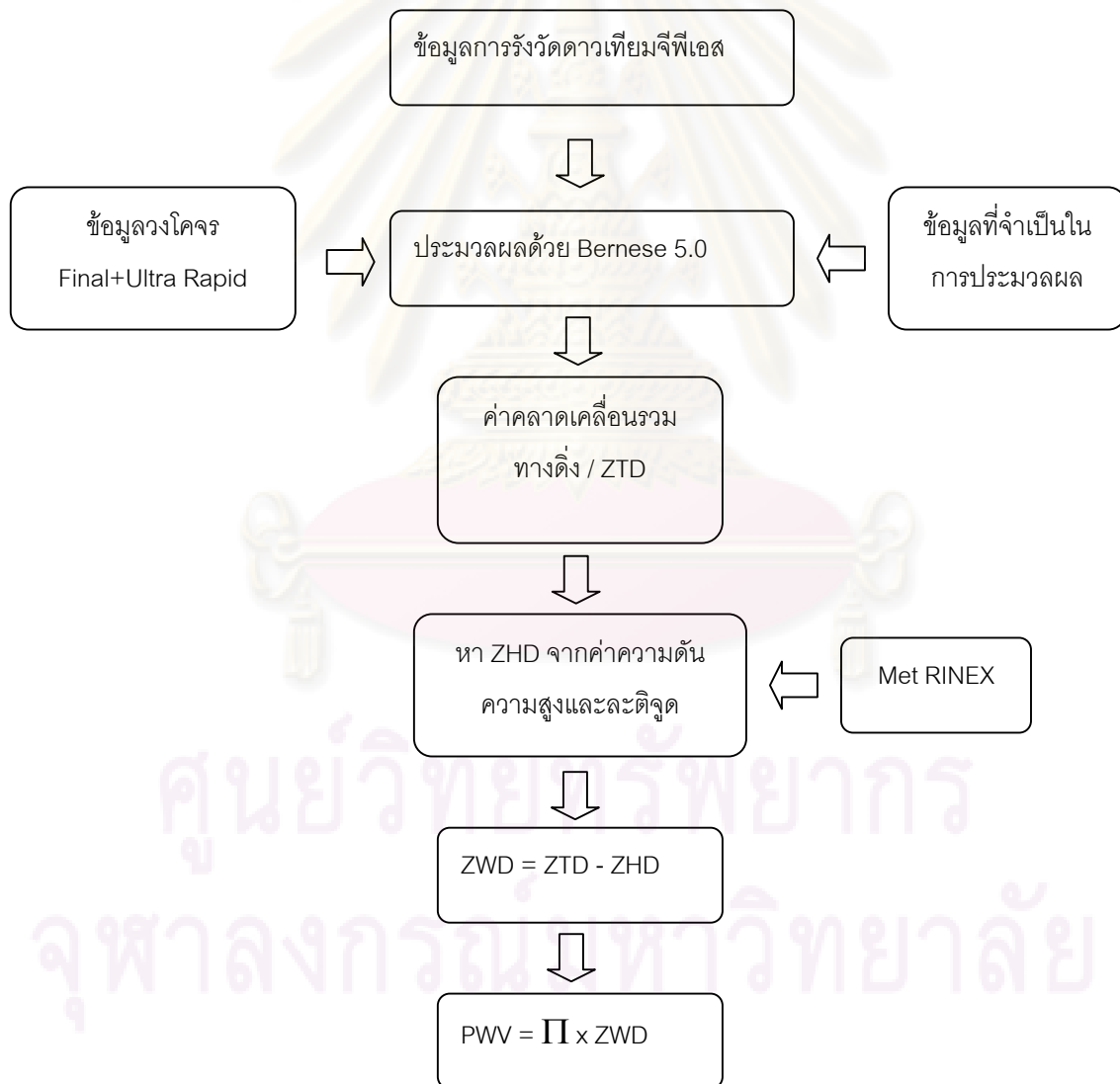
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพิกัดสถานีต่างๆ (WGS84) ที่ใช้ในขั้นตอนปรับแก้ครั้งสุดท้าย

Name:	X	Y	Z	Latitude:	Longitude:	Height:
CHANTHABURI	-1305190.768	6086919.937	1383368.058	12° 36' 37.11544"	102° 06' 08.68904"	7.076
CHIANG MAI	-941627.221	5965072.631	2046364.115	18° 50' 12.60546"	98° 58' 13.81917"	309.55
DPT9	-1136984.121	6091175.863	1506866.951	13° 45' 24.41100"	100° 34' 23.52678"	37.28618
NAKHONRATCHASIMA	-1294112.584	6025298.868	1638806.249	14° 59' 14.97964"	102° 07' 18.55711"	165.2392
NAKHONSAWAN	-1078589.451	6046538.612	1713801.168	15° 41' 26.29335"	100° 06' 50.81286"	20.52717
PRACHUAPKIRIKHAN	-1062387.250	6152904.412	1297009.297	11° 48' 41.83046"	99° 47' 46.85261"	-12.6742
SISAKET	-1519763.411	5968501.076	1652534.958	15° 06' 58.03905"	104° 17' 08.45114"	104.302
SURATTHANI	-1021155.320	6214493.792	1005605.109	09° 07' 56.00270"	99° 19' 52.89587"	9.138568
UDONTHANI	-1346748.301	5936986.684	1896511.442	17° 24' 45.83622"	102° 46' 50.55146"	149.3902
UTTARADIT	-1065932.501	5986321.963	1919422.399	17° 37' 48.33909"	100° 05' 46.84666"	50.39331

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

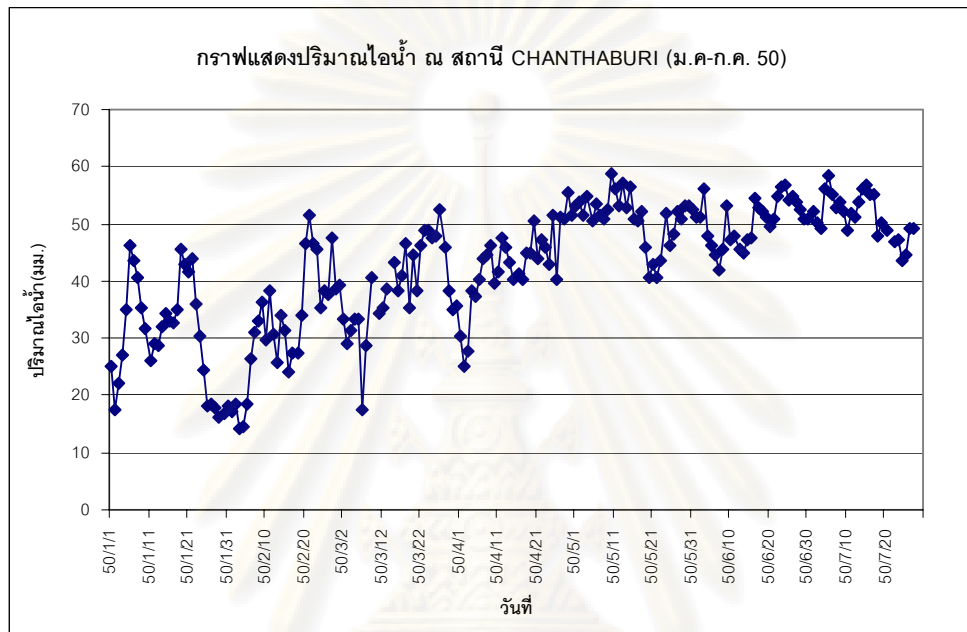
#### 4.12 การประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

ตามรายละเอียดที่ได้แสดงในหัวข้อที่ 2.5 ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศสามารถประมาณค่าได้จากค่าคลาดเคลื่อนส่วนเบี่ยง (ZWD) ตามสมการ 2.28 และค่าคลาดเคลื่อนส่วนเบี่ยงคำนวณได้จากการนำค่าคลาดเคลื่อนส่วนแห้ง (ZHD) ไปหักออกจากค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง (ZTD) ส่วนค่าคลาดเคลื่อนส่วนแห้งคำนวณได้จากข้อมูลความดันอากาศ ละติจูดและความสูงเหนือ Geoid ตามสมการที่ (2.26) และรูปที่ 4.1 ได้แสดงขั้นตอนการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

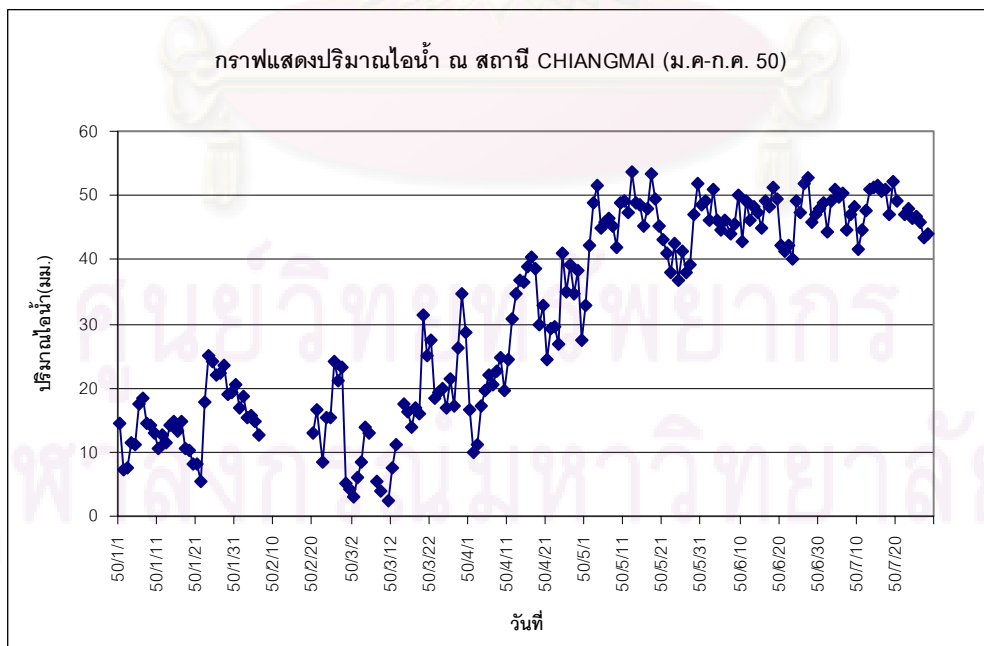


รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

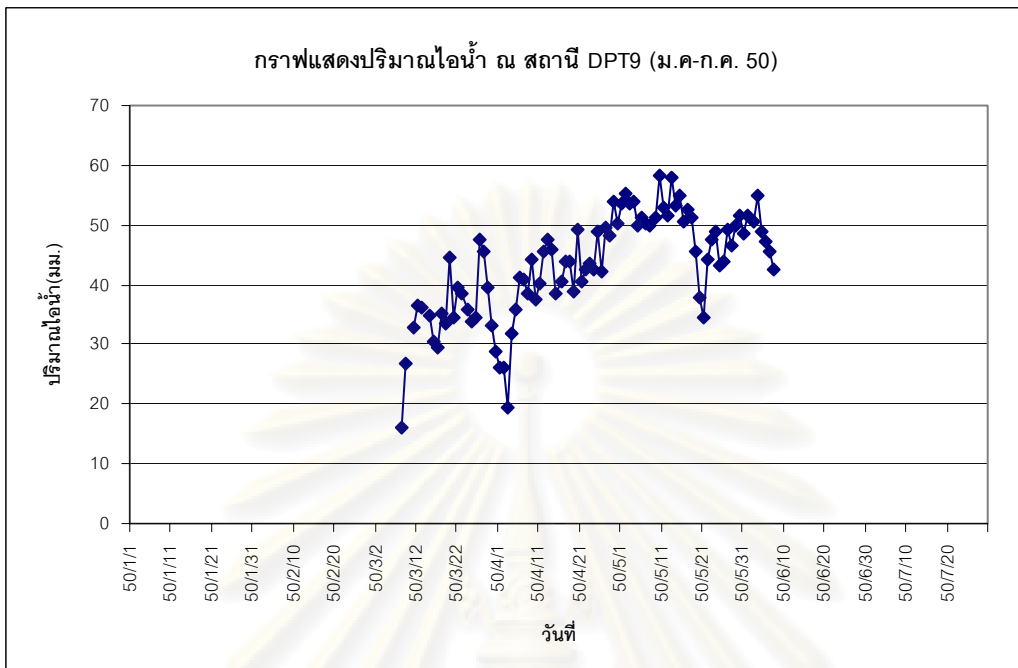
รูปที่ 4.2 - 4.11 ได้แสดงปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลจีพีเอสประมวลผลร่วมกับข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra Rapid ณ สถานีต่างๆ โดยแกนราบแสดงช่วงเวลา (วันที่) และแกนตั้งแสดงค่าปริมาณไอน้ำ (มม.)



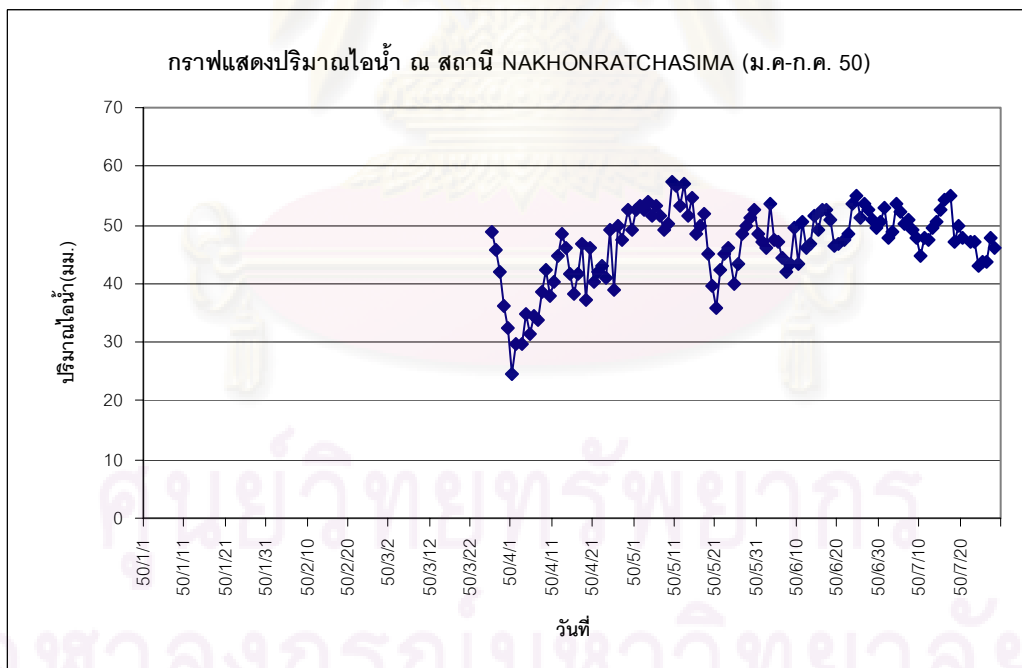
รูปที่ 4.2 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี CHANTHABURI



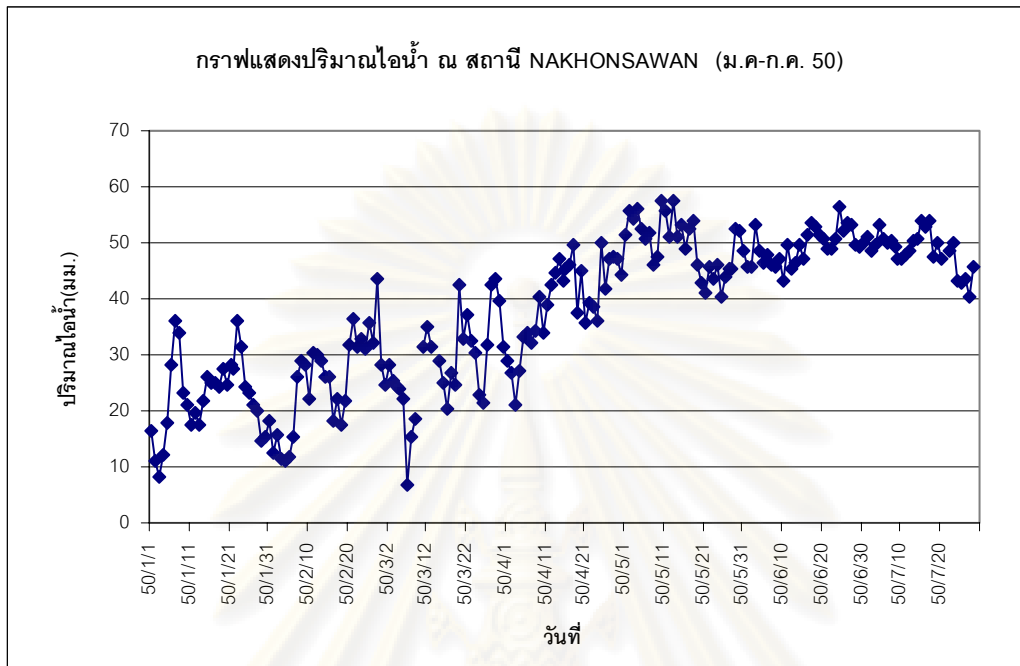
รูปที่ 4.3 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี CHIANGMAI



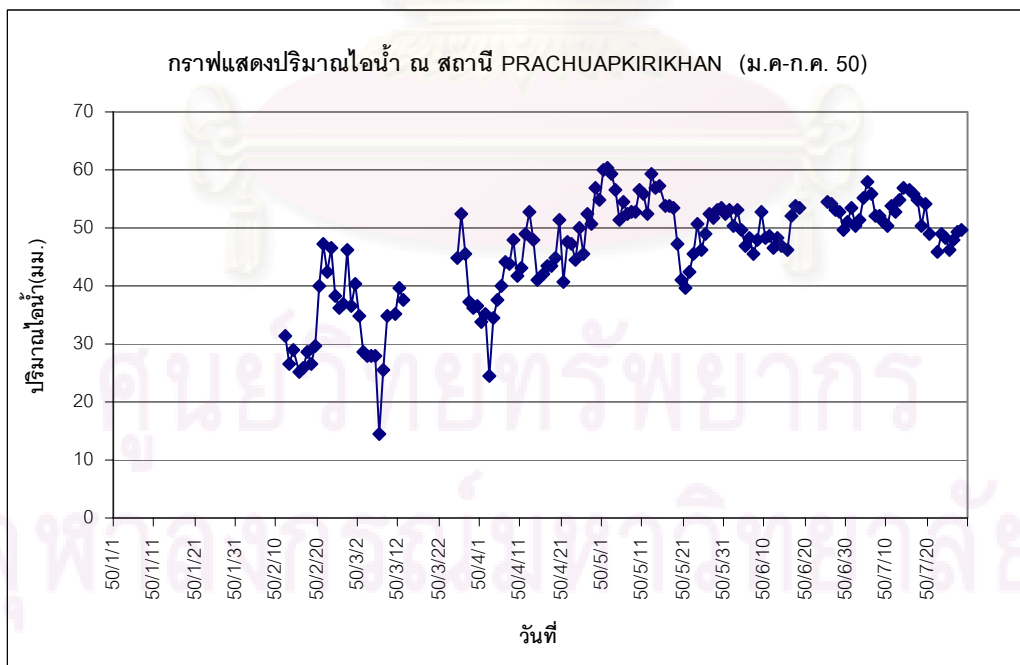
รูปที่ 4.4 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี DPT9



รูปที่ 4.5 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี NAKHONRATCHASIMA

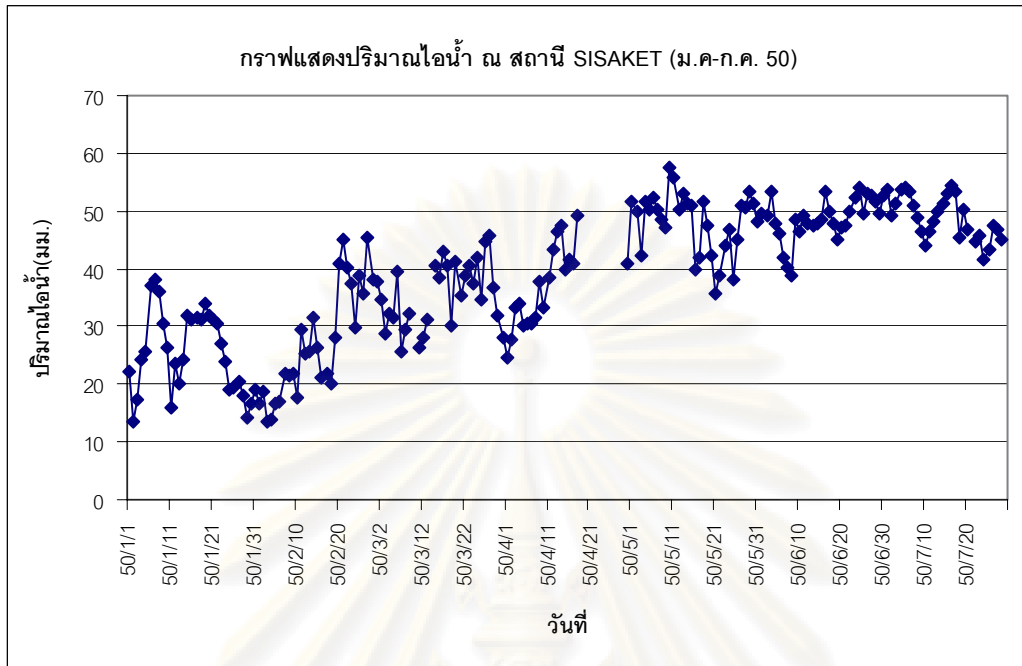


รูปที่ 4.6 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี NAKHONSAWAN



รูปที่ 4.7 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี PRACHUAPKIRIKHAN





รูปที่ 4.8 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี SISAKET



รูปที่ 4.9 ปริมาณไอน้ำ ณ สถานี SURATTHANI



## บทที่ 5

### ผลการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

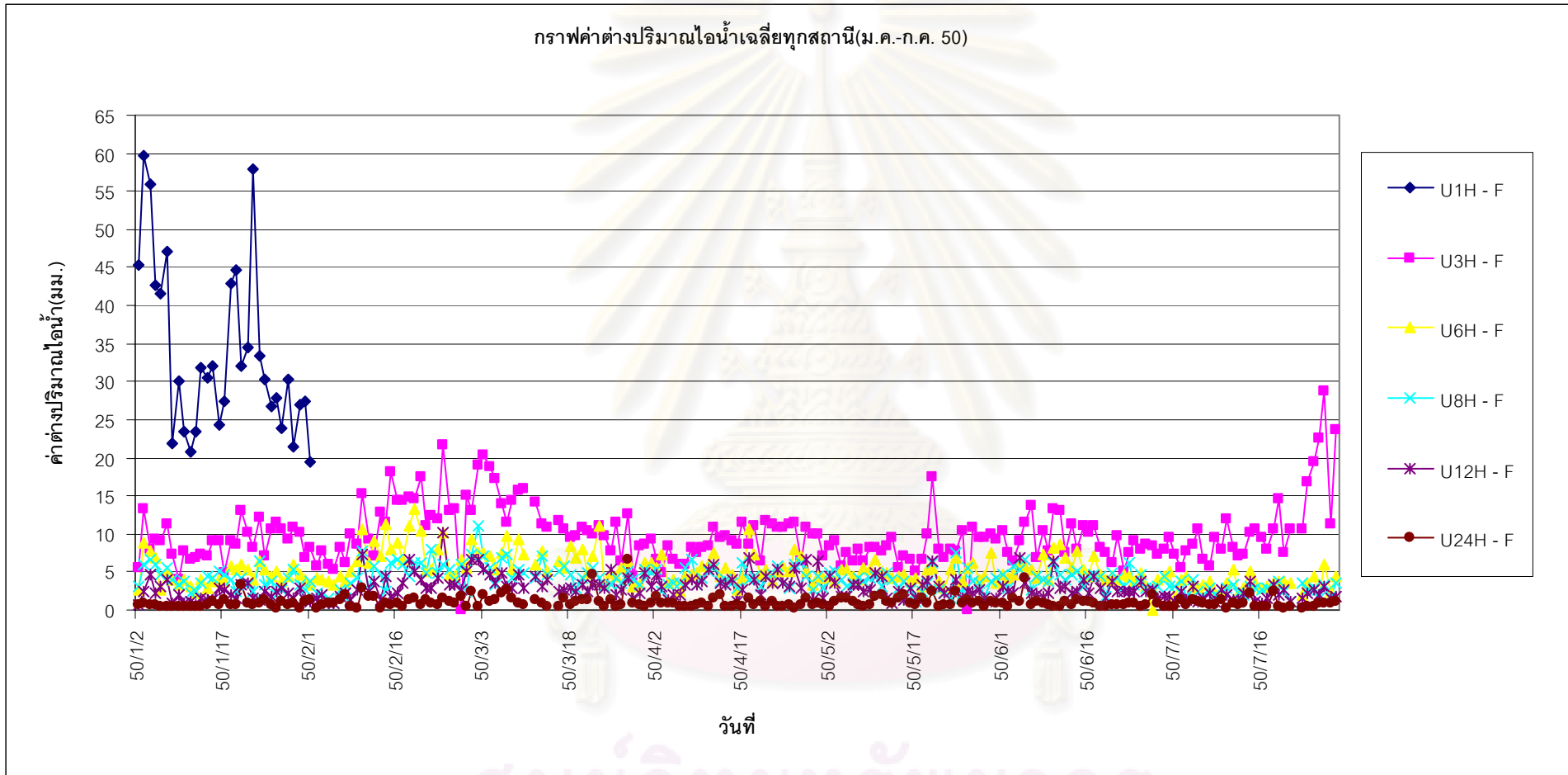
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล คือ ค่า PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Final และ แบบ Ultra Rapid (Predicted Half) สามารถนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลได้ ดังนี้

#### 5.1 ผลการเปรียบเทียบค่า PWV

จากการเปรียบเทียบค่าต่าง PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra Rapid ที่ช่วงเวลาการวิ่งวัด 1 ,3 ,6 ,8 ,12 และ 24 ชม. เทียบกับแบบ Final ที่ช่วงเวลาการวิ่งวัด 24 ชม. พบว่าค่าต่าง PWV เฉลี่ยทุกสถานีมีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลาการวิ่งวัด 1 ชม. (34.90 มม.) และมีค่าลดลงตามช่วงระยะเวลาการวิ่งวัดที่เพิ่มขึ้น และมีค่าน้อยที่สุดที่ช่วงเวลาการวิ่งวัด 24 ชม. (1.02 มม.) ซึ่งค่าต่างเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลาการวิ่งวัดสั้นนั้น เป็นผลมาจากหาค่าจำนวนเต็มเลขปัดเศษไม่ถูกต้อง รายละเอียดค่าทางสถิติและกราฟค่าต่างเฉลี่ยได้แสดงใน ตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าทางสถิติของค่าต่าง PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra-rapid ที่ช่วงเวลาการวิ่งวัดต่างๆกัน กับแบบ Final ที่ช่วงเวลาการวิ่งวัด 24 ชม.

ค่าทางสถิติของค่าต่างปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ(มม.)												
ชื่อสถานี	ช่วงเวลา 1 ชม.		ช่วงเวลา 3 ชม.		ช่วงเวลา 6 ชม.		ช่วงเวลา 8 ชม.		ช่วงเวลา 12 ชม.		ช่วงเวลา 24 ชม.	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
CHANTHABURI	33.70	40.26	9.87	11.01	5.27	5.05	4.07	3.68	2.88	2.78	1.00	1.19
CHIANGMAI	34.26	39.49	9.88	11.82	5.18	4.84	4.09	3.67	2.91	2.78	1.03	1.26
DPT9			8.92	8.25	5.30	4.86	4.16	3.63	3.10	2.77	1.06	1.31
NAKHONRATCHASIMA			9.17	12.62	4.58	4.27	3.69	3.24	2.75	2.62	0.93	1.16
NAKHONSAWAN	32.86	38.85	9.79	11.63	5.19	4.95	4.00	3.60	2.85	2.73	0.97	1.17
PRACHUAPKIRIKHAN			10.54	13.61	5.37	5.12	4.12	3.76	3.11	2.89	1.03	1.24
SISAKET	33.26	38.65	9.94	12.14	5.27	5.09	4.06	3.69	2.83	2.73	1.02	1.20
SURATTHANI	33.80	39.75	10.09	13.03	5.19	5.01	3.99	3.54	2.84	2.72	1.10	1.35
UDONTHANI	42.84	50.00	9.50	13.23	4.58	4.54	3.68	3.39	2.58	2.54	1.03	1.43
UTTARADIT	33.57	39.20	9.91	11.78	5.28	5.04	4.06	3.66	2.90	2.79	1.00	1.22
ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	34.90	40.89	9.76	11.91	5.12	4.88	3.99	3.59	2.88	2.73	1.02	1.25

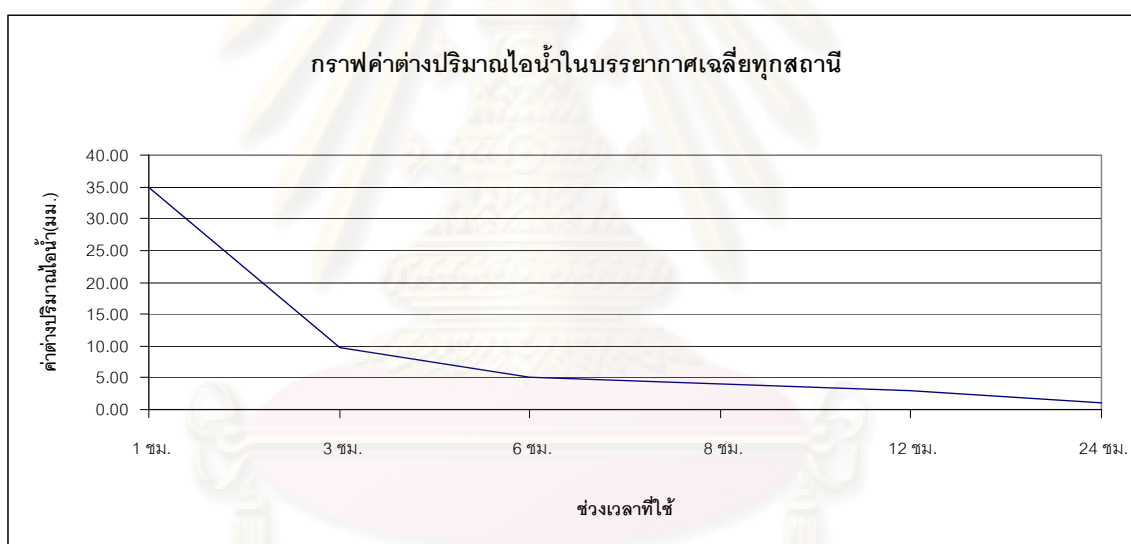


รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าต่าง PWV เฉลี่ยทุกสถานีในช่วงเวลาการรังวัดแตกต่างกัน (U=Ultra-rapid Orbit , H=Hour , F=Final Orbit)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.1 ได้แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าต่าง PWV เฉลี่ยของทุกสถานีในช่วงเวลาการรังวัดแตกต่างกัน กล่าวคือ 1 ชม.(U1H) 3 ชม.(U3H) 6 ชม.(U6H) 8 ชม.(U8H) 12 ชม. (U12) และ 24 ชม.(U24H) โดยแกนราบแสดงเวลา (วันที่) และแกนตั้ง แสดงค่าต่าง PWV (มม.)

ค่า PWV ที่สามารถนำไปใช้งานได้ต้องมีความถูกต้องดีกว่า 2.0 มม. (Gutman and Benjamin ,2001) และเมื่อพิจารณาช่วงระยะเวลาการรังวัดที่ให้ผลลัพธ์ที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ พบว่า มีเพียงช่วงเวลาการรังวัด 24 ชม.ที่สามารถนำไปใช้ได้ มีค่าต่างเฉลี่ย 1.02 มม. ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.25 มม. ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าสามารถนำข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid มาใช้แทนข้อมูลแบบ Final ได้ โดยใช้ระยะเวลาการรังวัดที่ 24 ชม. รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ค่าต่าง PWV เฉลี่ยของทุกสถานี(ระหว่าง ม.ค.-ก.ค. 2550) กับระยะเวลาการรังวัดต่างๆ



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าต่าง PWV เฉลี่ยทุกสถานีในช่วงเวลาการรังวัดแตกต่างกัน

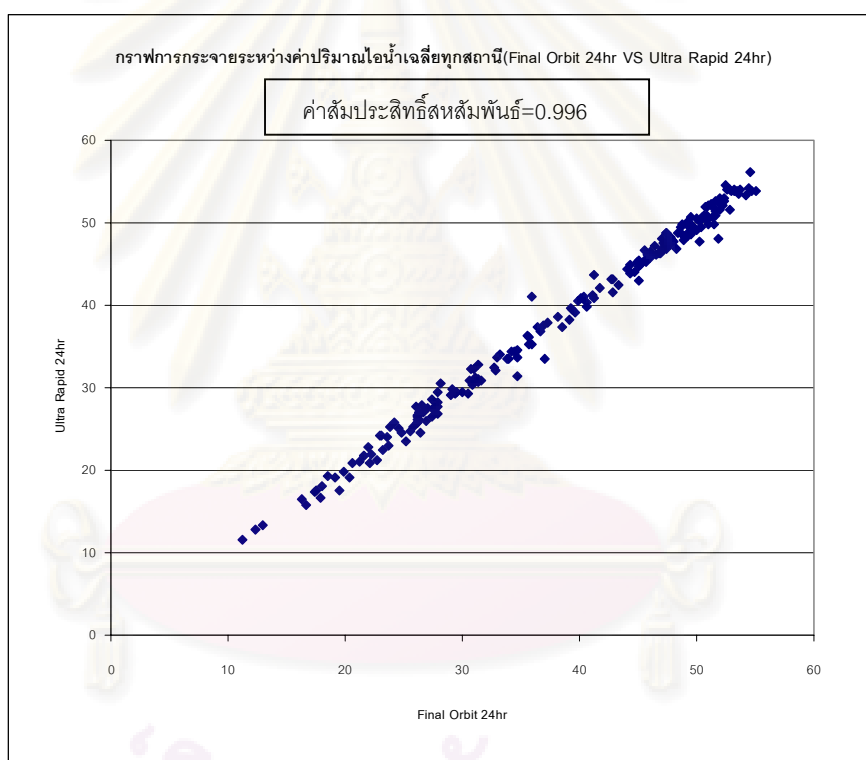
## 5.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่า PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra Rapid กับแบบ Final จึงได้ทำการหาค่าสหสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ดังนี้ (Edwards,1976)

$$r = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum (x^2) - (\sum x)^2] [n \sum (y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (5.1)$$

โดยที่  $r$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
 $n$  คือ จำนวนข้อมูล  
 $y$  คือ ข้อมูลตัวแปรหลัก (PWV ที่ได้จากข้อมูล Final Orbit)  
 $x$  คือ ข้อมูลตัวแปรตาม (PWV ที่ได้จากข้อมูล Ultra Rapid Orbit)

เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล มาแทนค่าในสมการที่ (5.1) จะได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.996 และรูปที่ 5.3 แสดงกราฟการกระจายของ PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Final และ แบบ Ultra Rapid ที่ช่วงเวลาการรังวัด 24 ชั่วโมง

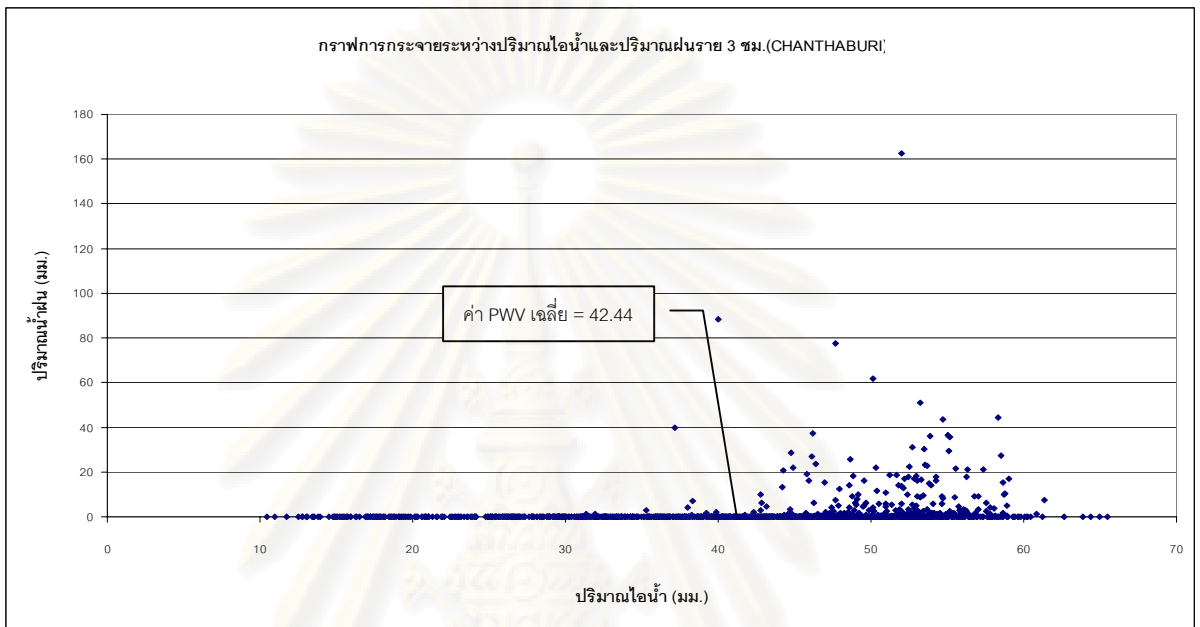


รูปที่ 5.3 กราฟการกระจายระหว่างค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra-rapid และแบบ Final ที่ช่วงเวลาการรังวัด 24 hr.

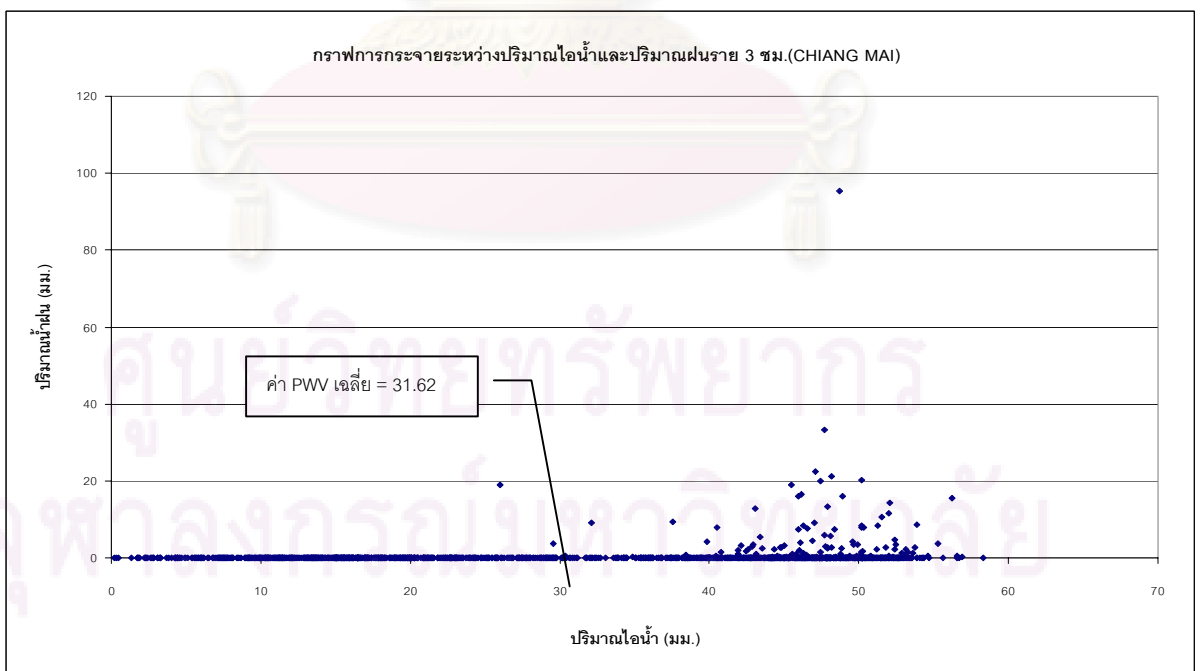
### 5.3 การเปรียบเทียบ PWV กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ บ่งบอกถึงปริมาณน้ำฝนที่จะเกิดขึ้น หากได้รับสภาวะที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิลดต่ำถึงจุดควบแน่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าปริมาณ

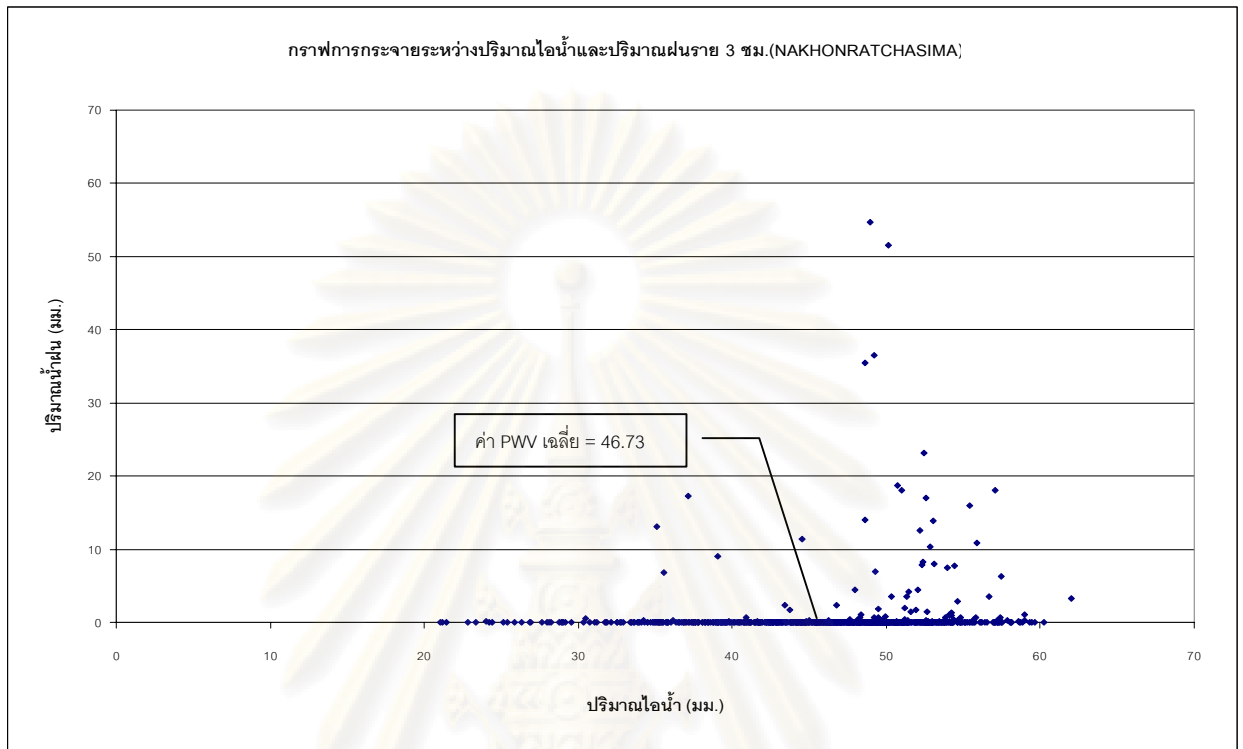
ไอน้ำที่ได้กับปริมาณน้ำฝนจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่เดียวกัน รูปที่ 5.4 - 5.11 แสดงกราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.ณ สถานีต่างๆ



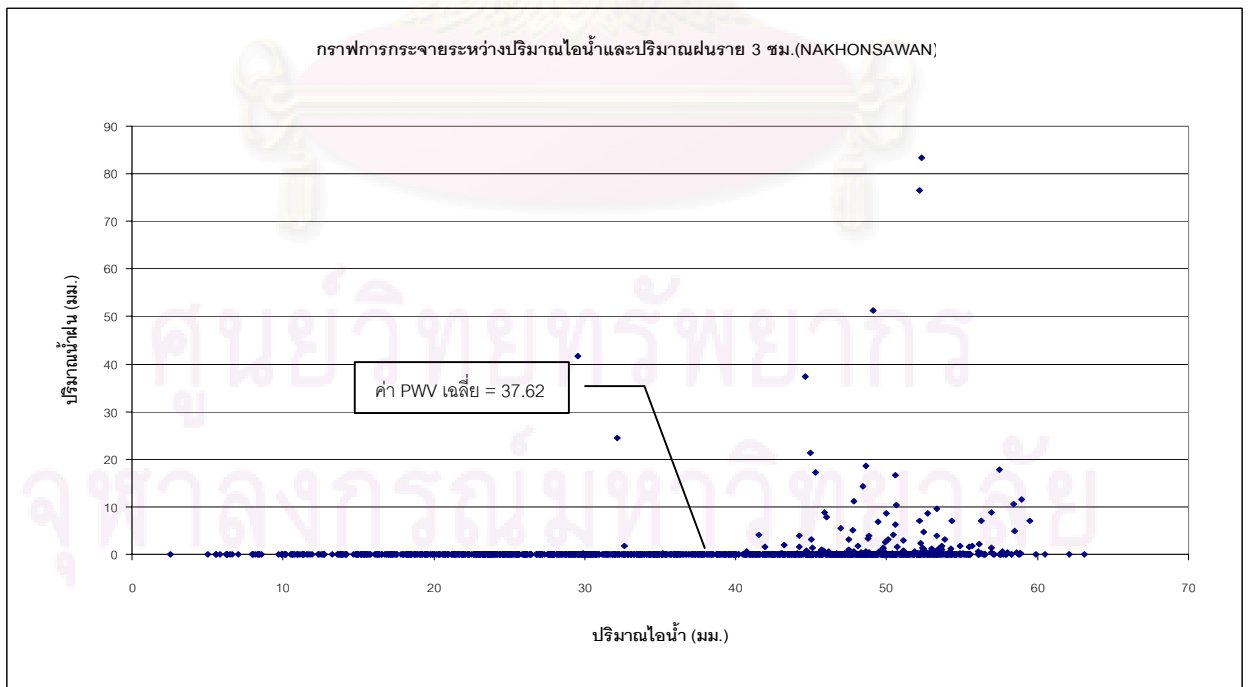
รูปที่ 5.4 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี CHANTHABURI



รูปที่ 5.5 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี CHIANG MAI

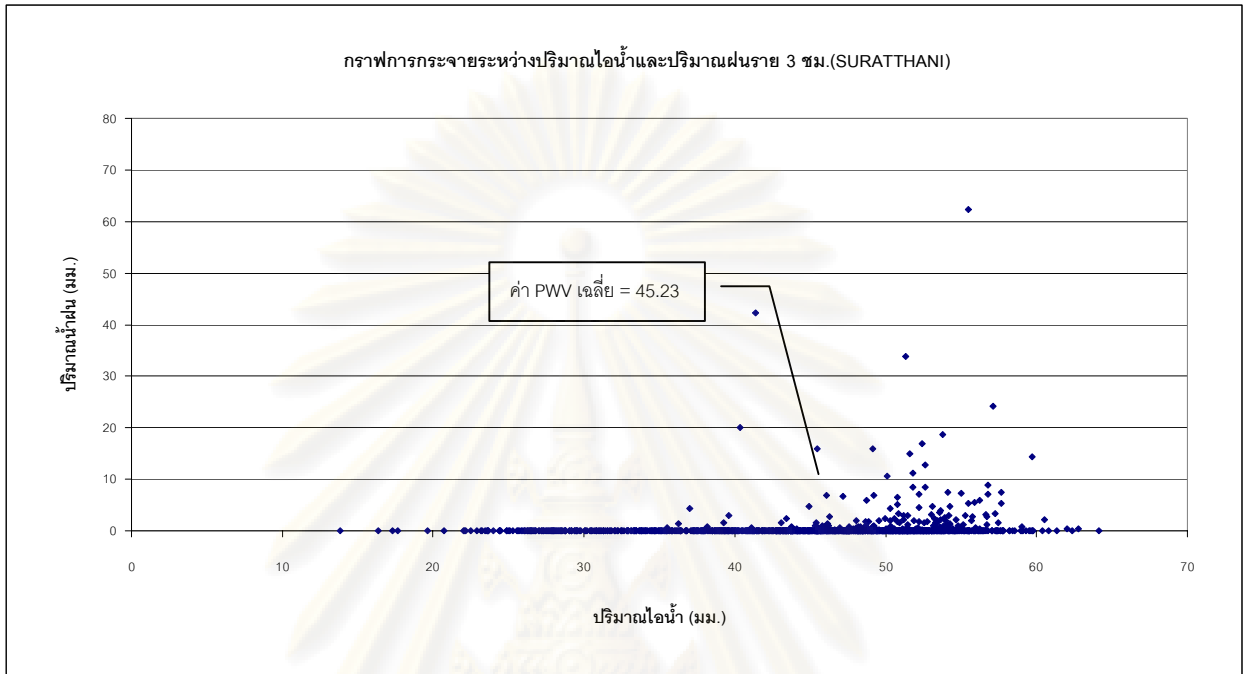


รูปที่ 5.6 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี  
NAKHONRATCHASIMA

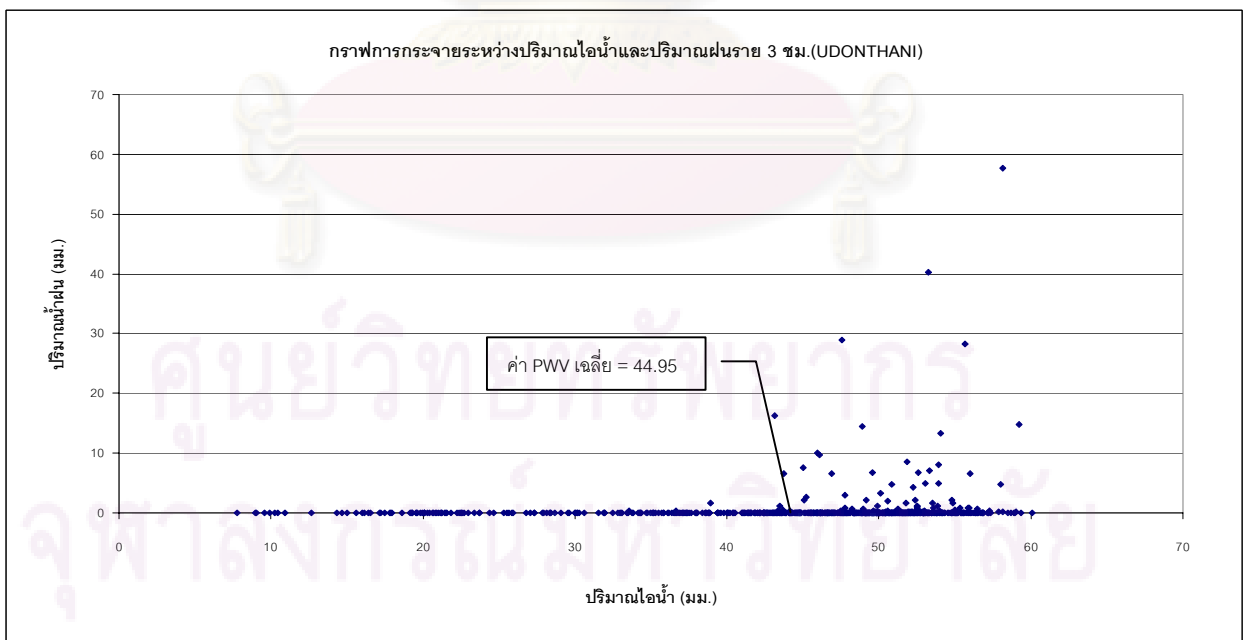


รูปที่ 5.7 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี NAKHONSAWAN

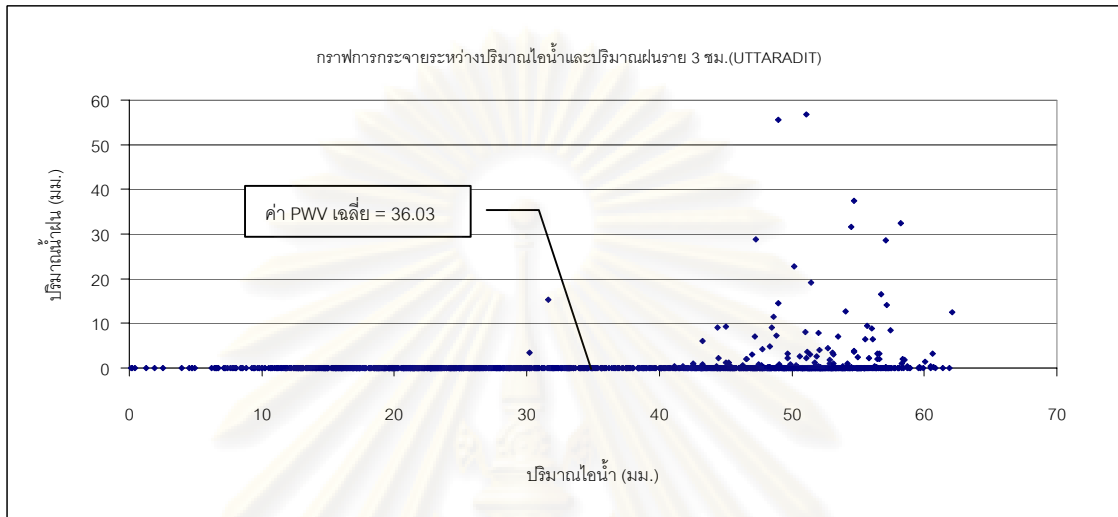




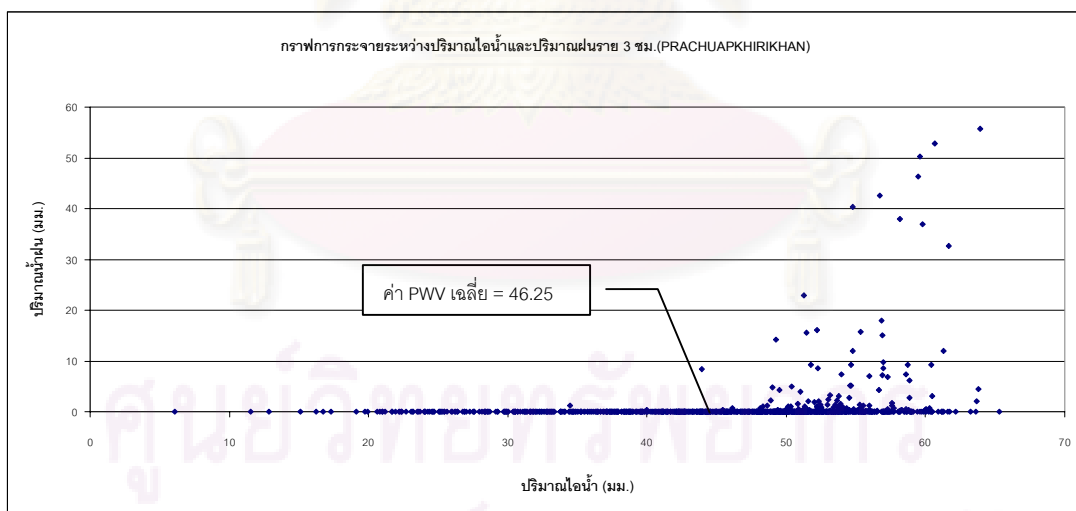
รูปที่ 5.8 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี SURATTHANI



รูปที่ 5.9 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี UDONTHANI



รูปที่ 5.10 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี UTTARADIT



รูปที่ 5.11 กราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม.สถานี  
PRACHUAPKHIRIKHAN

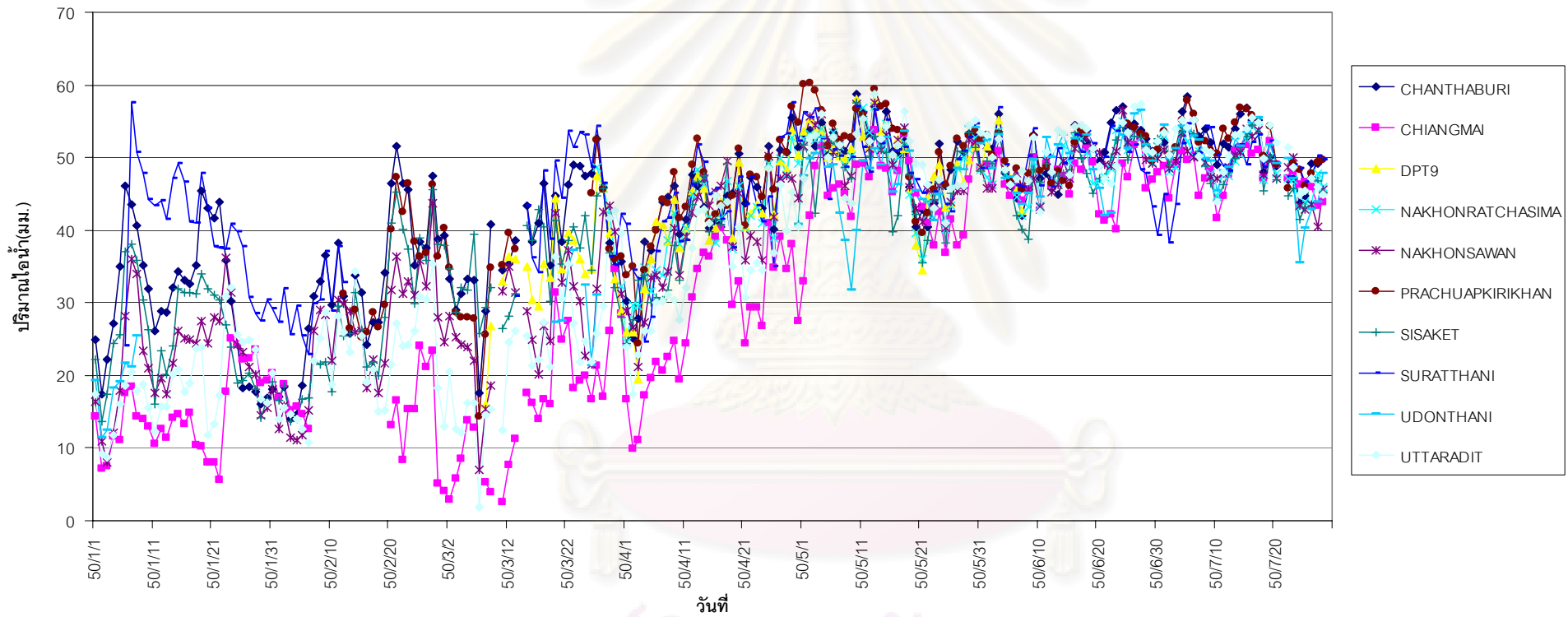
จากกราฟการกระจายระหว่าง PWV และปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม. เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PWV กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน พบว่ามีสหสัมพันธ์กันในช่วงที่เกิดฝนตก นอกจากนั้น กราฟการกระจาย ยังแสดงให้เห็นว่า มีโอกาสเกิดฝนตกในช่วงที่ PWV มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยรวม ซึ่งหากมีการศึกษาร่วมกับข้อมูลอุณหภูมิบรรยากาศหรือข้อมูลความกดอากาศ ก็จะสามารถคาดการณ์การเกิดสภาวะฝนตกได้

#### 5.4 การเปรียบเทียบค่า PWV ทุกสถานีตามช่วงเวลา

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสจำนวน 10 สถานี ตลอดช่วงเวลา 7 เดือน (ม.ค. – ก.ค. 50) ได้แสดงในรูปที่ 5.12 โดยแกนราบแสดงช่วงเวลา (วันที่) และแกนนตั้งแสดงค่าปริมาณไอน้ำ ณ สถานีต่างๆ และจากรูปที่ 5.12 จะเห็นว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากสถานี PRACHUAP KIRIKHAN และ SURATTHANI มีค่าสูงกว่าสถานีอื่นๆ โดยเฉพาะในเดือน ม.ค.-มี.ค. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มิฝนตก(จากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทย) ในพื้นที่ภาคใต้ ที่สถานี CHIANGMAI มีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นๆ ตลอดช่วงเวลาการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับสภาพที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ และเมื่อพิจารณาปริมาณไอน้ำของทุกสถานี พบว่ามีค่าสูงเหมือนกัน นับจากเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้น ของฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไทย ซึ่งหากมีการศึกษาและจัดข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ก็จะเป็นประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือฤดูกาลของประเทศไทย เพื่อให้เป็นข้อมูลสนับสนุนทั้งในเรื่องการวางแผนเพาะปลูกและการรับมือกับมหันตภัยอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟแสดงปริมาณไอน้ำ ณ สถานีต่างๆ(ม.ค-ก.ค. 50)



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ณ สถานีต่างๆ ตามช่วงเวลา

## 5.5 การทดสอบค่าทางสถิติ

โดยทั่วไป การทดสอบทางสถิติจะกระทำโดยการสร้างสมมติฐาน (Hypothesis) เกี่ยวกับการแจกแจงของประชากรแล้วทดสอบจากตัวอย่างที่สุ่มมาว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้หรือไม่ สำหรับสมมติฐาน  $H_0$  ไตๆ จะมีสมมติฐานตรงข้ามกัน คือ  $H_1$  โดยมักเรียก  $H_0$  และ  $H_1$  ว่า สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) และสมมติฐานตรงข้ามหรือทางเลือก (Alternative Hypothesis) ตามลำดับ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการนำข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Ultra Rapid มาใช้แทนแบบ Final ในการประมาณค่า PWV ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้แทนกันได้ (ในช่วงเวลาการรังวัด 24 ชม.) และเพื่อเป็นการยืนยันผลสรุปที่ได้ จึงได้ทำการทดสอบทางสถิติค่าต่าง PWV ที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรทั้งสองแบบ ดังนี้

สมมติให้ค่า PWV มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และต้องการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5% ซึ่งจากกราฟการแจกแจงปกติแบบมาตรฐาน จะได้ค่า  $Z_{\alpha=0.005}=1.96$  และสามารถเขียนสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_{ultra\_rapid} - \mu_{final} = 0 : \text{ค่าต่าง PWV ไม่มีนัยสำคัญ}$$

$$H_1 : \mu_{ultra\_rapid} - \mu_{final} \neq 0 : \text{ค่าต่าง PWV มีนัยสำคัญ}$$

โดยที่  $\mu_{ultra\_rapid}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ย PWV ที่ได้จากวงโคจร Ultra Rapid

$\mu_{final}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ย PWV ที่ได้จากวงโคจร Final

จากนั้นจึงทำการทดสอบโดยการแทนค่าต่างๆ ในสมการ (5.1) และนำค่า  $Z$  ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ  $Z_{\alpha=0.005}=1.96$  ถ้า  $Z$  มีค่าน้อยกว่า 1.96 จะยอมรับ  $H_0$  แต่ถ้าค่า  $Z$  มากกว่า 1.96 จะปฏิเสธ  $H_0$  (Hamilton, 1964)

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma \sqrt{n}} = \frac{(\mu_{ultra\_rapid} - \mu_{final}) - 0}{\sigma \sqrt{1}} = \frac{\mu_{ultra\_rapid} - \mu_{final}}{\sigma} \quad (5.1)$$

โดยที่  $\bar{x}$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (ในที่นี้คือค่าต่าง PWV)

- $\mu$  หมายถึง ค่าเฉลี่ยของประชากร (ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0)
- $\sigma$  หมายถึง ค่า SD ของประชากร  
(ในที่นี้สมมติให้เท่ากับค่า SD ของค่าต่าง PWV)
- $n$  หมายถึง ค่าความอิสระ (ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1)

ค่า PWV ของแต่ละสถานีได้ถูกคำนวณแล้วหาค่าเฉลี่ยพร้อมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าทางสถิติของ PWV ของแต่ละสถานี

ค่าทางสถิติของค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ(มม.)ที่ช่วงเวลาการรังวัด 24 ม.						
ชื่อสถานี	Ultra Rapid Orbit		PWV (Final orbit)		ค่าต่าง PWV	
	$\mu_{ultra\_rapid}$	SD	$\mu_{final}$	SD	$\mu_{ultra\_rapid} - \mu_{final}$	SD
CHANTHABURI	42.44	11.40	41.44	10.22	1.00	1.19
CHIANGMAI	31.62	16.15	30.59	14.90	1.03	1.26
DPT9	43.33	9.40	42.27	8.09	1.06	1.31
NAKHONRATCHASIMA	46.73	7.15	45.80	5.99	0.93	1.16
NAKHONSAWAN	37.62	13.36	36.65	12.19	0.97	1.17
PRACHUAPKIRIKHAN	46.25	9.79	45.21	8.55	1.03	1.24
SISAKET	38.71	11.95	37.69	10.75	1.02	1.20
SURATTHANI	45.23	8.79	44.14	7.44	1.10	1.35
UDONTHANI	44.95	10.69	43.93	9.26	1.03	1.43
UTTARADIT	36.03	15.37	35.03	14.16	1.00	1.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 5.2 ไปแทนค่าในสมการ (5.1) เพื่อหาค่า Z ของข้อมูลแยกตามสถานี จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบสมมติฐาน

ค่าทางสถิติ	$\mu_{ultra\_rapid} - \mu_{final}$	$\sigma$	Z
Chanthaburi	1.00	1.19	0.840
Chiang Mai	1.03	1.26	0.820
DPT9	1.06	1.31	0.808
Nakhonratchasima	0.93	1.16	0.800
Nakhonsawan	0.97	1.17	0.829
Prachuapkirikhan	1.03	1.24	0.833
Sisaket	1.02	1.20	0.846
Suratthani	1.10	1.35	0.811
Udonthani	1.03	1.43	0.715
Uttaradit	1.00	1.22	0.819
ผลสรุป	Z < 1.96 ยอมรับสมมติฐาน $H_0$		

จากตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า สามารถยอมรับสมมติฐานได้ว่าค่าต่าง PWV ที่ได้จากข้อมูล Ultra Rapid ไม่มีความแตกต่างกับที่ได้จากข้อมูลแบบ Final ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อธิบายถึงการประยุกต์ใช้ข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสของสถานีฐานแบบถาวรของกรมโยธาธิการและผังเมืองมาทำการประมาณค่า PWV แบบใกล้เคียงปัจจุบัน โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 ประมวลผลข้อมูลร่วมกับข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra Rapid แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Final ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่า มีค่าต่างเฉลี่ย 1.02 มม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.25 มม. ที่ช่วงเวลการรังวัด 24 ชม. และ มีค่าต่างเฉลี่ย 2.88 มม. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.73 มม. ที่ช่วงเวลการรังวัด 12 ชม. นอกจากนั้น กราฟกระจายระหว่างค่า PWV และค่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เดียวกัน แสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ ในช่วงเวลาที่เกิดฝนตก ผลจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสและข้อมูลวงโคจรแบบ Ultra Rapid มาใช้ในการประมาณค่า PWV แบบใกล้เคียงปัจจุบันได้ ช่วยขจัดข้อจำกัดเรื่องความล่าช้าของข้อมูลวงโคจรแบบ Final ทำให้การนำข้อมูลไปใช้งานได้อย่างรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ อีกทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือ ในงานศึกษาและวิจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะดังนี้

6.2.1 เนื่องจากข้อมูลจีพีเอสที่ได้จากกรมโยธาธิการและผังเมือง เป็นข้อมูลในปี 2550 ซึ่งมีความไม่ต่อเนื่องในบางช่วงเวลา รวมถึงขาดข้อมูลความดันบรรยากาศที่จำเป็นต้องใช้ในการหาค่า ZHD ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลต่อเนื่องได้ทั้งปี หากมีข้อมูลที่ครบถ้วนก็จะช่วยให้ผลการวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น



6.2.2 งานวิจัยนี้ใช้ค่า  $\Pi = 0.15$  ซึ่งเป็นค่าทั่วไปที่ใช้ทั่วโลก มาประมาณค่า PWV จาก ZWD ถ้าหากมีข้อมูลการตรวจวัดอากาศในพื้นที่ประเทศไทยที่เพียงพอในการหาค่า  $\Pi$  ที่เหมาะสมแล้ว ก็จะช่วยให้ค่า PWV ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

6.2.3 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประมาณค่า PWV แบบใกล้ปัจจุบัน (Near-Real Time) โดยทำการประมวลผลหลังจากที่ได้ข้อมูลการรังวัดและข้อมูลวงโคจร โดยอาจมีความล่าช้าประมาณ 0.5-1 ชม. และจากความสามารถที่เพิ่มขึ้นของระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในปัจจุบัน ทำให้มีความเป็นไปได้ในการประมาณค่า PWV แบบปัจจุบัน (Real Time) ซึ่งก็เป็นประเด็นที่มีความน่าสนใจในการวิจัยต่อไป

6.2.4 งานวิจัยนี้ทำการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบเส้นฐาน ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องแม่นยำสูง การประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning) ก็เป็นอีกวิธีที่ให้ความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร ซึ่งก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำเทคนิคนี้มาใช้ในการประมาณค่า PWV



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สำเนียง สุตระกูล. 2549. การหาปริมาณความชื้นในบรรยากาศด้วยค่าการรังวัดจากจีพีเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Baelen, J. V., Aubagnac, J. and Dabus, A. 2005. Comparison of Near-Real time Estimates of Integrated Water Vapor Derived with GPS, Radiosondes and Microwave Radiometer. J. of Atmospheric and Oceanic Technology 22: 201-210
- Baltink, H. K., Marel, H. and Hoesen, A. 2002. Integrated atmospheric water vapor estimates from a regional GPS network. Journal of Geophysical Research 107, D3: 1-8
- Beser, J. and Parkinson, B.W. 1982. The application of NAVSTAR differential GPS in the civilian community. Navigation 29(2): 107-136
- Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A., Rocken, C., Anthes, R. A. and Ware, R. H. 1992. GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. Journal of Geophysical Research 97: 15787-15801
- Edwards, A. L. (1976). An introduction to linear regression and correlation, San Francisco : W. H. Freeman.
- Essen, L. and Froome, K. D. 1951. The refractive indices and dielectric constants of air and its Principal constituents at 24000 Mc/s. in Proceedings of Physical Society, 64(B): 862-875
- Gendt, G., Dick, G., Rius ,A., and Sedo, P. 2001. Comparison of Software and Techniques for Water Vapor Estimation Using German Near Real-time GPS Data. Physics and Chemistry of the Earth 26A: 6-8
- Gutman, S. I. and Benjamin, S. G. 2001. The role of ground-based GPS meteorological observations in numerical weather prediction. GPS Solution 4: 16-24

- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtegger, H. and Collins, J. (2001). GPS Theory and Practice, 5<sup>th</sup> edition. New York: Springer-Verlag.
- Hopfield, H. S. 1969. Two – quartic tropospheric refractivity profile for correction satellite data. Journal of Geophysical Research 4487 – 4499
- IGS. 2007. IGS Products [Online]. Available from:  
<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> [2007, December 27].
- Janes, H. W., Langley R. B. and Newby S. P. 1989. A comparison of several models for the prediction of tropospheric propagation delay. in Proceedings 5<sup>th</sup> International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 777–788.
- Mendenhall, W. (2006). Introduction to probability and statistics, Belmont, Calif. : Thomson-Brooks/Cole.
- Niell, A. E. 1996. Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelength. Journal of Geophysical Research 101(B2): 3227-3246
- Nithiwatthn Choosakul. 2005. Application of Global Positioning System (GPS) Data for Atmospheric Water Vapor Variation in Thailand. Master's Thesis. Department of Earth Sciences, Graduate School, Chulalongkorn University.
- Saastamoinen, J. 1973. Contribution to the theory of atmospheric refraction. Bulletin Geodesique 107: 13-34.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งด้วยซอฟต์แวร์ Bernese 5.0

ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 เป็นเครื่องมือเพื่อการวิจัยด้าน Geodetic ให้ผลการคำนวณที่มีความละเอียดถูกต้องสูง รองรับการประมวลผลข้อมูล GNSS ที่หลากหลายในปัจจุบัน ในภาคผนวกนี้ จะได้แสดงขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ในการประมาณค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง ดังนี้

### ตัวแปรระบบ (System User Variables)

ในขั้นตอนการติดตั้ง โปรแกรมจะทำการสร้าง System User Variables (เกี่ยวกับการอ้างอิง Path ในการเก็บข้อมูล) ให้กับระบบปฏิบัติการ การอ้างอิงถึง System User Variables ภายใน Panel หรือ Interface ต่างๆของโปรแกรม Bernese จะต้องขึ้นต้นด้วย \$ และครอบด้วยวงเล็บปีกกา เช่น \$(P) หมายถึง C:\GPSDATA เป็นต้น รายละเอียดของ Folders และ System User Variables ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ แสดงในตารางที่ ก-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 Folders และ User Variables ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้

Folder	Description	User Variables
BERN50	เก็บไฟล์โปรแกรมหลัก	#{C}
BERN50/ GPS	เก็บข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการประมวลผล	#{X}
BERN50/ GPS/GEN	เก็บข้อมูลที่เป็นในการประมวลผล เช่น Antenna Phase Variation, Receiver Information	
BERN50/ GPS/PGM	เก็บโปรแกรม (.EXE) และ Source code	
GPSDATA	เก็บข้อมูลจีพีเอส	#{P}
GPSDATA/ ATM	เก็บข้อมูล Atmosphere	
GPSDATA/ OBS	เก็บข้อมูลจีพีเอสรูปแบบ Bernese	
GPSDATA/ ORB	เก็บข้อมูลวงโคจร	
GPSDATA/ ORX	เก็บข้อมูลต้นฉบับ Rinex	
GPSDATA/ OUT	เก็บข้อมูลผลการ Process ต่างๆ	
GPSDATA/ RAW	เก็บข้อมูล Rinex ก่อนการแปลง	
GPSDATA/ SOL	เก็บข้อมูล Solution ต่างๆ	
GPSDATA/ STA	เก็บข้อมูลพิกัดสถานีฐาน	
GPSUSER	เก็บข้อมูล Option ในการประมวลของผู้ใช้ รวมถึง Scripts ต่างๆ	#{U}
GPSUSER/ OPT	เก็บ Option ในการประมวลผลแบบอัตโนมัติ ด้วย Bernese Processing Engine (BPE)	
GPSUSER/PAN	เก็บ Option ในการประมวลผล	
GPSUSER/PCF	เก็บข้อมูล Process Control File (PCF)	

## ตัวแปรเมนู (Menu Variables)

ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 มีการใช้งานตัวแปรเมนู เพื่อช่วยให้การควบคุมการประมวลผลมีความสะดวกขึ้น ลดภาระของผู้ใช้ในการ Input ข้อมูลต่างๆที่มีส่วนของชื่อไฟล์ซ้ำกัน เช่น ข้อมูลจีพีเอสหรือวงโคจรที่ใช้ชื่ออ้างอิงกับ GPS Week ในการอ้างอิงถึง Menu Variables ภายใน Panel หรือ Interface ต่างๆของโปรแกรม Bernese จะต้องขึ้นต้นด้วย \$ เช่น \$\$ เป็นการอ้างอิงถึงตัวแปร Session Character เป็นต้น ตัวแปรเมนูที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ ก-2

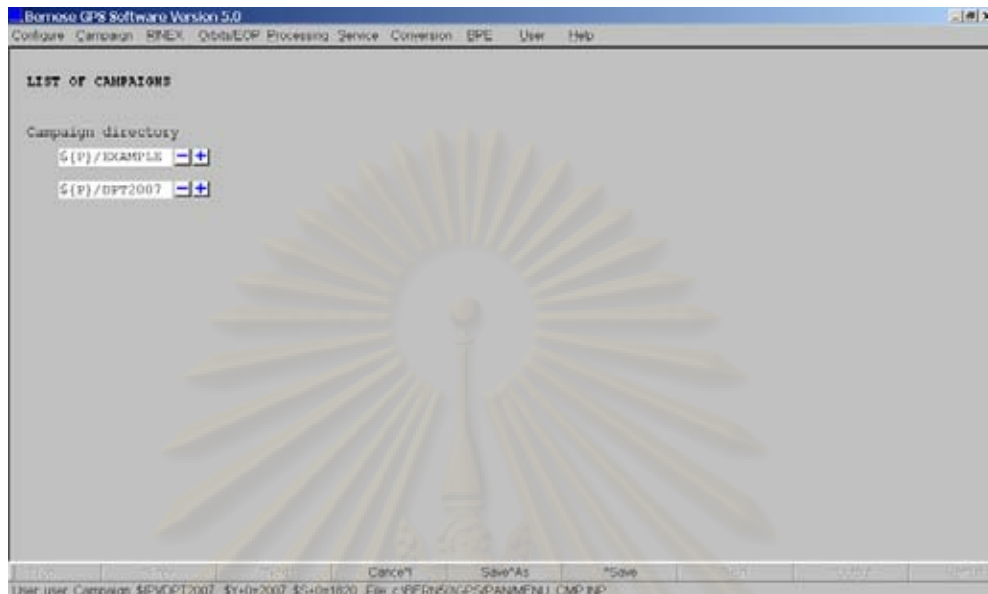
ตารางที่ ก-2 Menu Variables ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้

Without ranges*		With ranges**	Format	Description
\$+n	\$-n	\$+-	DDD	Day of Year (DOY)
\$\$+n	\$\$-n	\$\$+-	DDDS	DOY, Session Charact
\$Y+n	\$Y-n	\$Y+-	YYYY	Year
\$W+n	\$W-n	\$W+-	WWWW	GPS Week
\$M+n	\$M-n	\$M+-	YMMM	Year, Month
\$JD+n	\$JD-n	\$JD+-	DDDDD	Modified Julian Date
\$WD+n	\$WD-n	\$WD+-	WWWWD	GPS Week and Day
\$YD+n	\$YD-n	\$YD+-	YYDDD	Year and DOY
\$YSS+n	\$YSS-n	\$YSS+-	YYDDDS	Year, DOY, Sess. Char
\$YMD_STR+n	\$YMD_STR-n	\$YMD_STR+-	YYYY MM DD	Year, Month, Day
*n=0,1,...9				
*if n=10,...: \$(n), \$\$+(n), ..., \$-(n), \$\$-(n), ...				
** ranges control by VAR_MINUS VAR_PLUS in Menu Variables Panel				

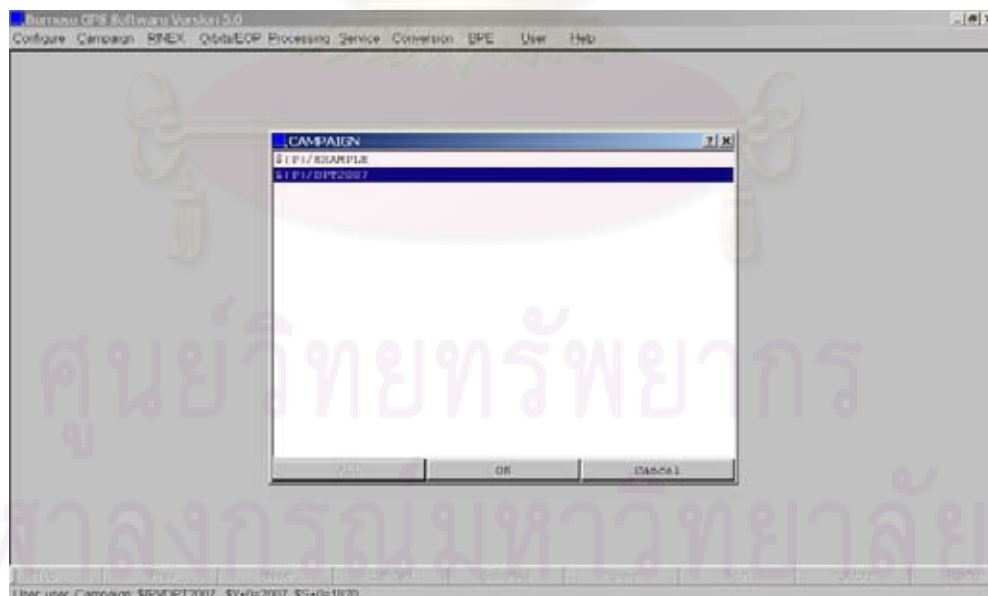
## การสร้าง Campaign

การใช้งาน Bernese 5.0 เริ่มโดยการสร้าง Campaign ซึ่งหมายถึง Work Space สำหรับเก็บรายละเอียดและข้อมูลในการประมวลผล มีขั้นตอน ดังนี้ (รูปที่ ก-1)

- เลือก Menu -> Campaign -> Edit list of campaigns
- คลิกที่ปุ่มเครื่องหมาย + แล้วพิมพ์ชื่อพร้อมที่ตั้งของ Campaign เช่น \${P}/DPT2007



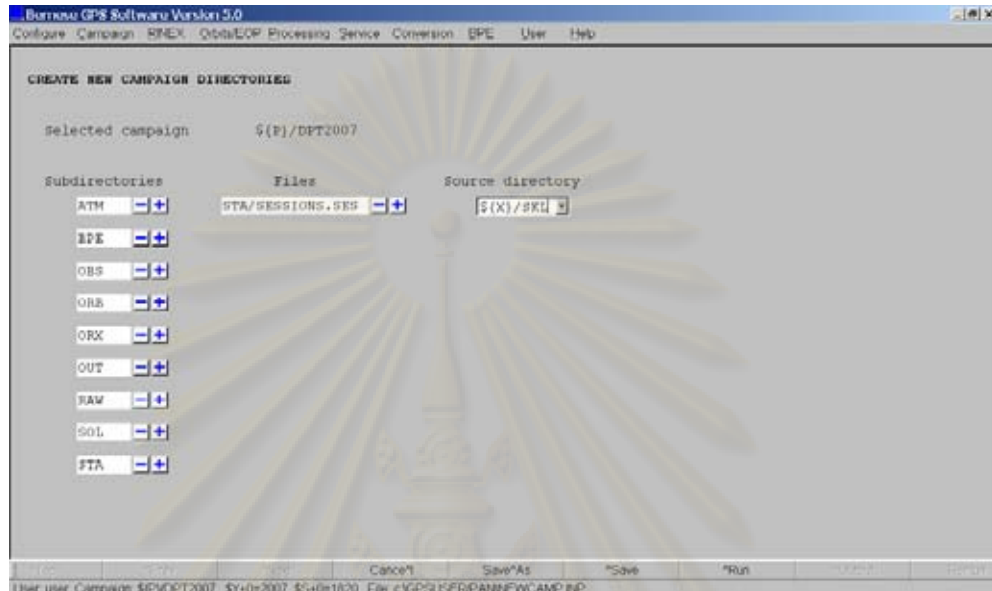
- รูปที่ ก-1 การเพิ่มชื่อ Campaign ใหม่ใน List of campaigns panel
- เลือก Menu -> Campaign -> Select active campaign เพื่อเลือก Campaign ที่จะใช้ในการทำงาน (รูปที่ ก-2)



รูปที่ ก-2 การ Set active campaign



- เลือก Menu ->Campaign->Create new campaign เพื่อสร้าง Work space หรือ Folder ต่างๆ สำหรับเก็บข้อมูลรวมถึง Session file ด้วย จากนั้นคลิกที่ปุ่ม RUN ที่ Bottom bar (รูปที่ ก-3)

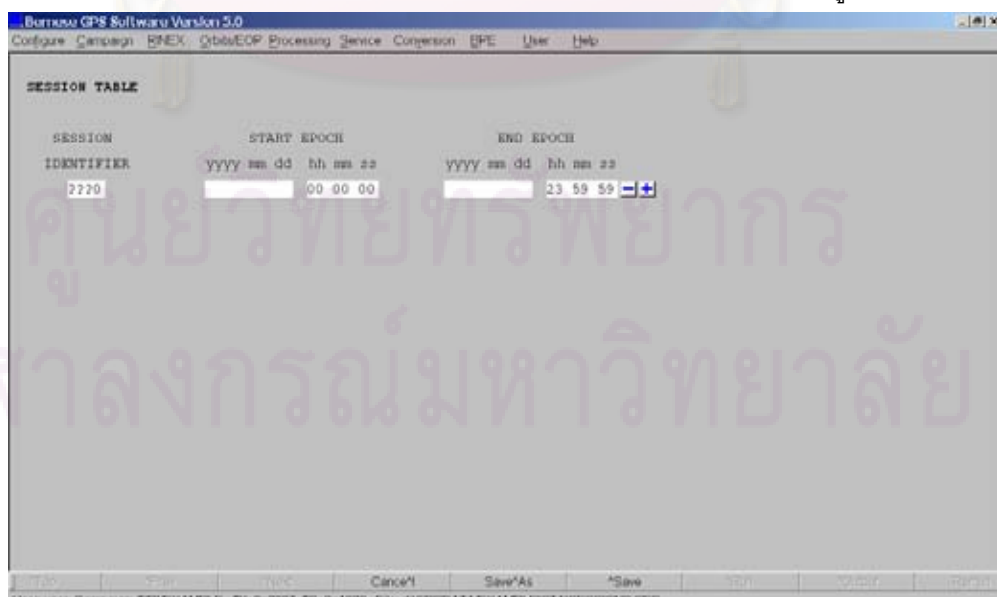


รูปที่ ก-3 การสร้าง New campaign directories

#### การกำหนด Sessions ใน Session Table

Session หมายถึง ช่วงเวลาที่จะทำการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดพร้อมๆกัน Session Table ใช้กำหนด Session ที่จะทำการประมวลผลใน Campaign โดยในแต่ละ Campaign อาจมีมากกว่าหนึ่ง Sessions ก็ได้ การแก้ไข Session Table ทำได้ ดังนี้ (รูปที่ ก-4)

- เลือก Menu ->Campaign->Edit session table แล้วทำการเพิ่มหรือแก้ไขข้อมูล Sessions

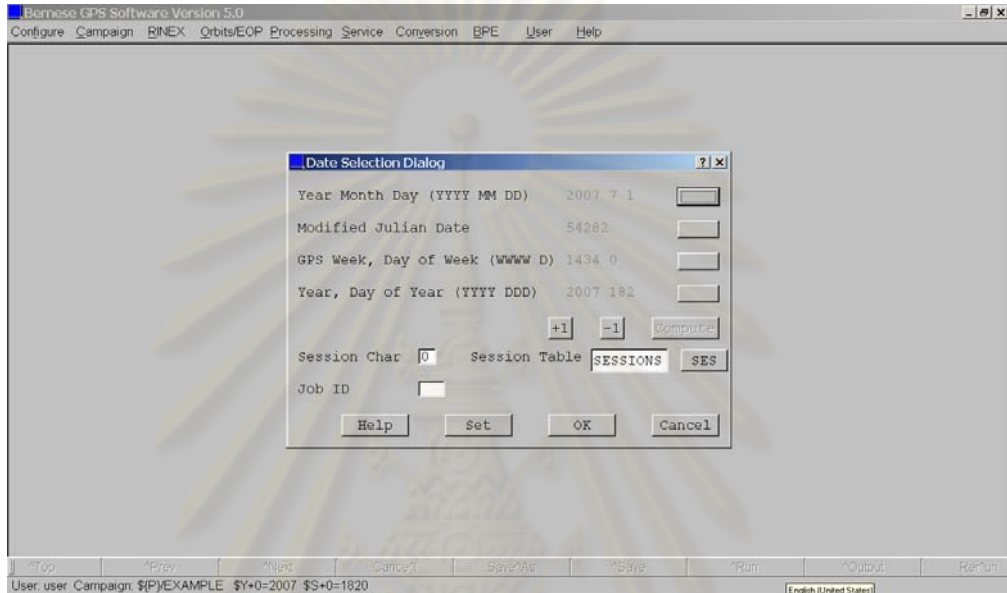


รูปที่ ก-4 การแก้ไข Session Table

### การกำหนดค่าให้ Current sessions

การกำหนด Current session ประกอบด้วย การกำหนดวันที่, Session character, Session table และ Job ID (รูปที่ ก-5)

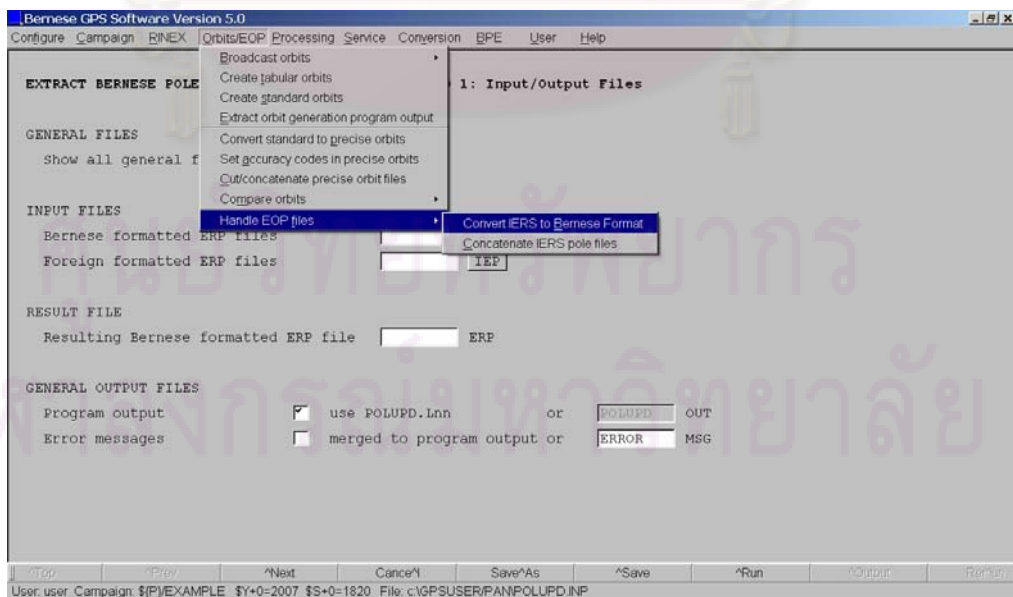
- เลือก Menu ->Configure->Set session/compute date



รูปที่ ก-5 การกำหนดค่าให้กับ Current session

### การเตรียม EOP file

- เลือก Menu ->Orbits/EOP->Handle EOP files->Convert IRES to Bernese format(รูปที่ ก-6)



รูปที่ ก-6 การเตรียม EOP file

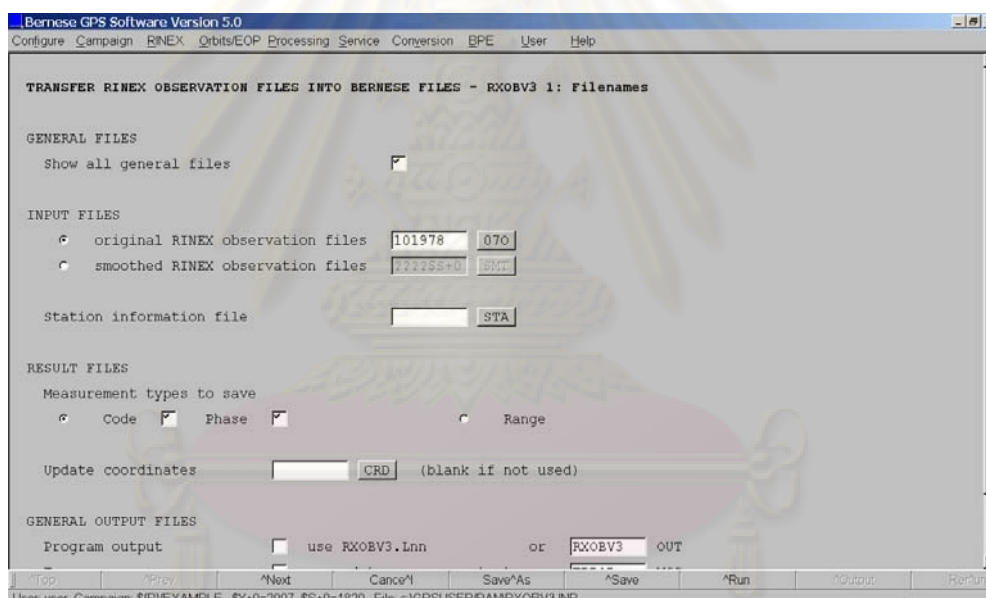
## การเตรียมข้อมูลที่ต้องใช้ในการประมวลผล

การเตรียมข้อมูลที่ต้องใช้ในการประมวลผล ประกอบด้วย การเตรียมข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ใน Folder GEN (C:/BERN50/GPS/GEN) , ข้อมูลจีพีเอส (RINEX) , ข้อมูลวงโคจร (SP3) และข้อมูลพิกัดสถานี ตามรายละเอียดที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.1

### การนำเข้าข้อมูลจีพีเอส (RINEX)

การนำเข้าและแปลงข้อมูลจีพีเอส (RINEX) ให้เป็นรูปแบบ Bernese ทำได้ ดังนี้ (รูปที่ ก-7)

- เลือก Menu ->RINEX->Import RINEX to Bernese format ->Observation files

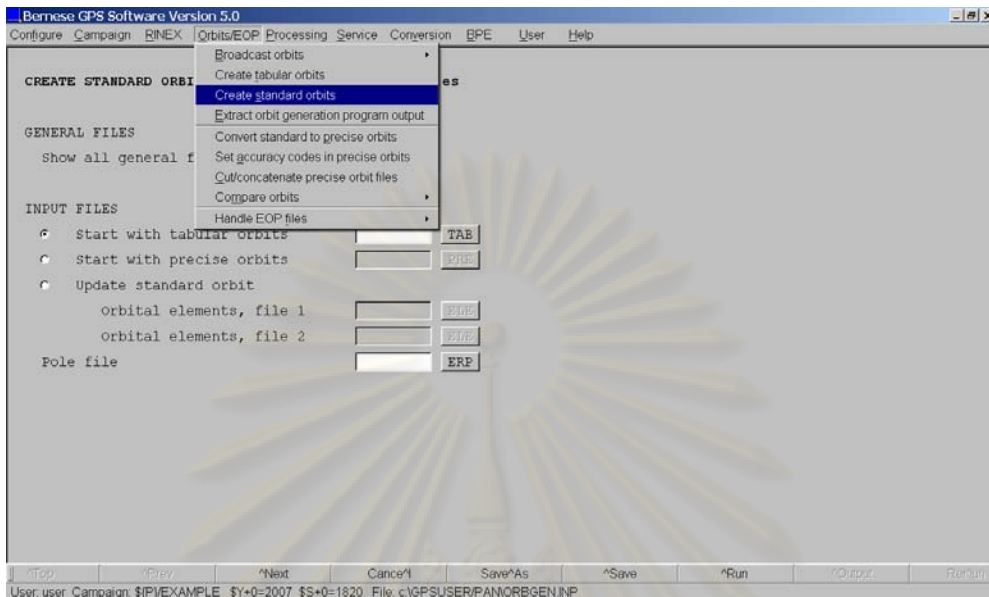


รูปที่ ก-7 การแปลงข้อมูลจีพีเอส (RINEX) เป็นรูปแบบ Bernese

### การนำเข้าข้อมูลวงโคจร (SP3)

การนำเข้าและแปลงข้อมูลวงโคจร (SP3) ให้เป็นรูปแบบ Bernese ทำได้ ดังนี้ (รูปที่ ก-8)

- เลือก Menu ->Orbits/EOP->Create tabular orbits (.TAB)
- เลือก Menu ->Orbits/EOP->Create standard orbits (.STD)

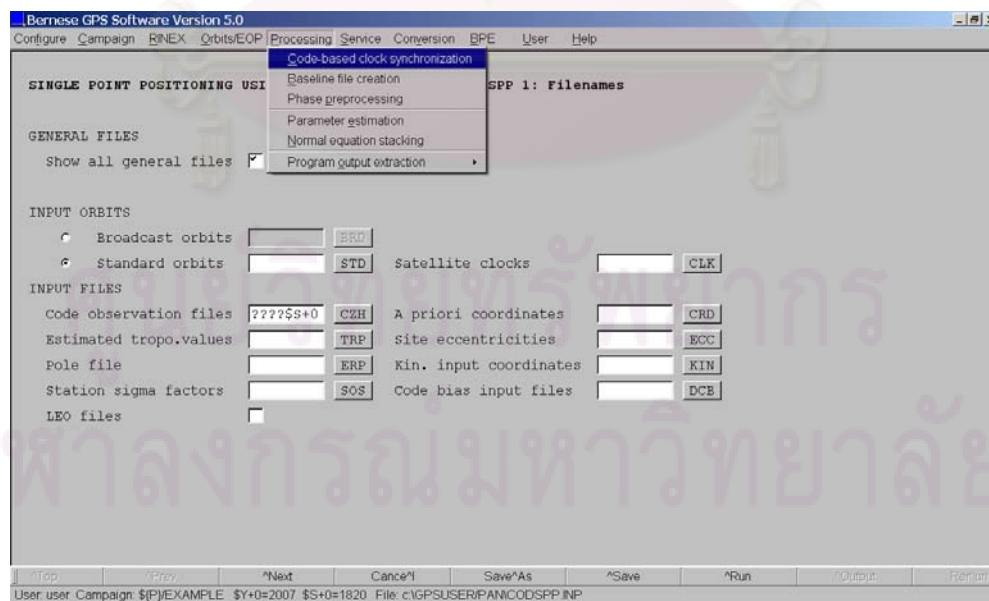


รูปที่ ก-8 การแปลงข้อมูลวงโคจร (SP3) เป็นรูปแบบ Bernese

การทำ Code-based clock synchronization

การทำ Code-based clock synchronization เพื่อปรับแก้ข้อมูลจีพีเอสให้อ้างอิง Time epoch เดียวกัน กับนาฬิกาการดาวเทียม (รูปที่ ก-9)

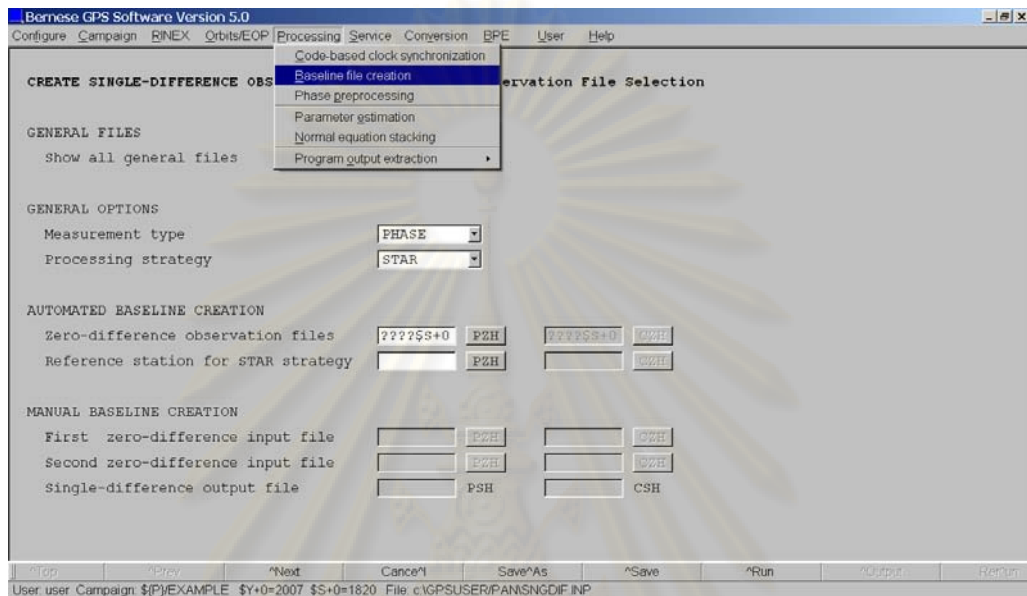
- เลือก Menu ->Processing-> Code-based clock synchronization



รูปที่ ก-9 การทำ Code-based clock synchronization

### การสร้าง Baseline file

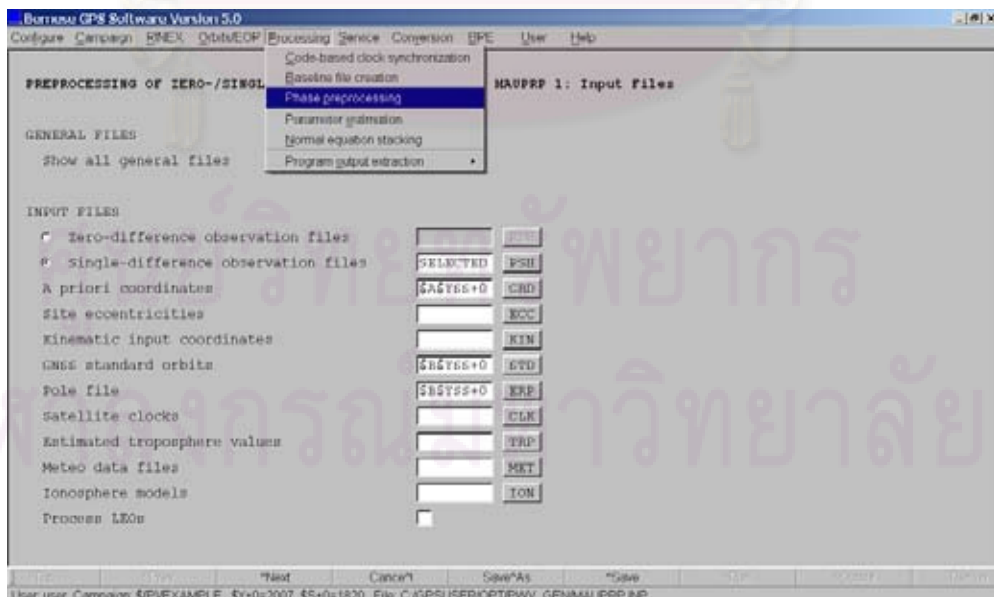
ในขั้นตอนนี้เป็นการจับคู่ สร้างเส้นฐานจากสถานีต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้เลือกสร้างเส้นฐานรูปแบบดาว - เลือก Menu -> Processing-> Baseline file creation (รูปที่ ก-10)



รูปที่ ก-10 การสร้าง Baseline file

### การทำ Phase Preprocessing

การทำ Phase Preprocessing เพื่อแก้ไขค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ในข้อมูลเฟส เช่น แก้ไขปัญหาคลื่นหลุด - เลือก Menu -> Processing-> Phase preprocessing (รูปที่ ก-11)



รูปที่ ก-11 การทำ Phase Preprocessing

## การประมาณค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง

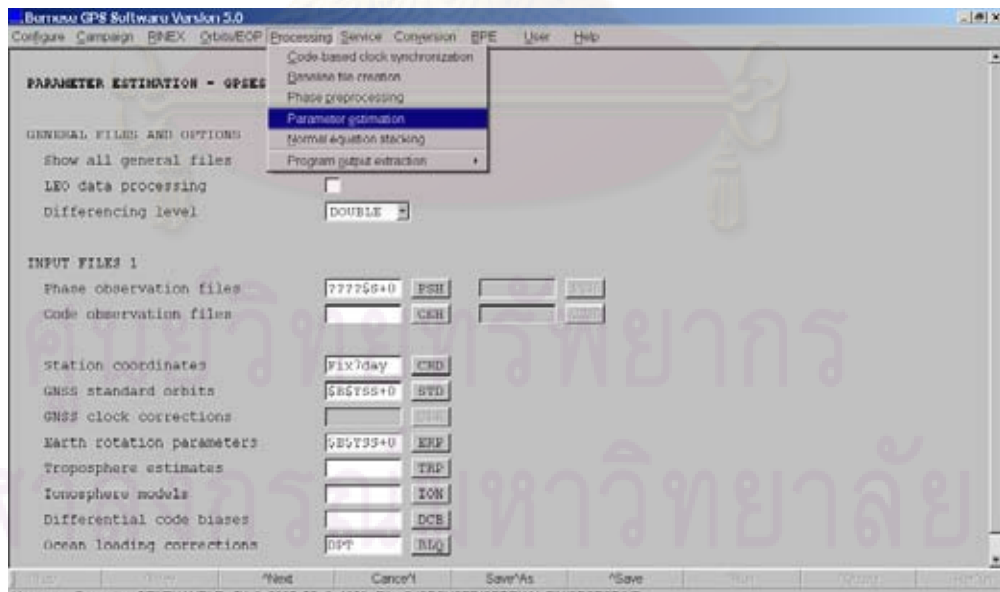
ในขั้นตอนนี้ เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าพิกัดสถานีและค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการหาค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้ (รูปที่ ก-12)

- Menu ->Processing->Parameter Estimation (รอบที่ 1) เป็นการปรับแก้เบื้องต้นเพื่อตรวจสอบค่า RMS ว่ามีค่ามากผิดปกติหรือไม่ โดยในขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลแบบ Iono Free (L3) ประมวลผลแบบ Floating Solution

- Menu ->Processing->Parameter Estimation (รอบที่ 2) โดยใช้ข้อมูลแบบ Iono Free (L3) เพื่อหาค่าค่าพิกัดเริ่มต้นของสถานีและค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

- Menu ->Processing->Parameter Estimation (รอบที่ 3) โดยใช้คลื่น L1+L2 และผลลัพธ์จากครั้งที่ 2 เพื่อหาค่าเลขปริศนาแบบจำนวนเต็ม ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี QIF (Quasi Ionosphere-Free) เนื่องจากเหมาะสมกับเส้นฐานที่มีความยาวมาก

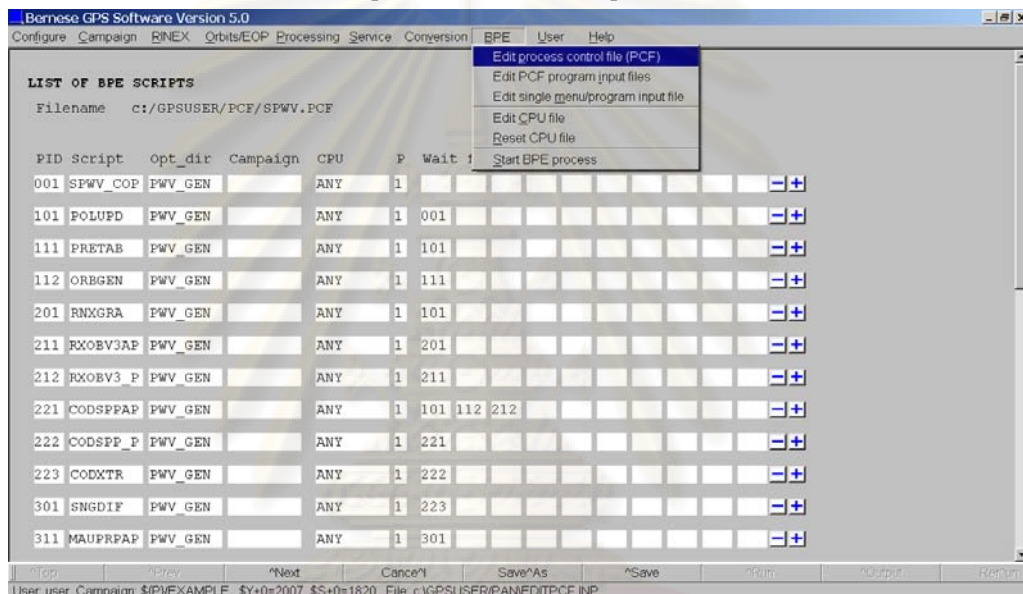
- Menu ->Processing->Parameter Estimation (รอบที่ 4) โดยใช้ข้อมูลแบบ Iono Free (L3) และค่าจำนวนเต็มเลขปริศนาที่ได้จากการประมวลผลรอบที่ 3 ได้ผลลัพธ์คือ ค่าพิกัดสถานีและค่า Zenith Total Delay ซึ่งหมายถึงค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่งนั่นเอง



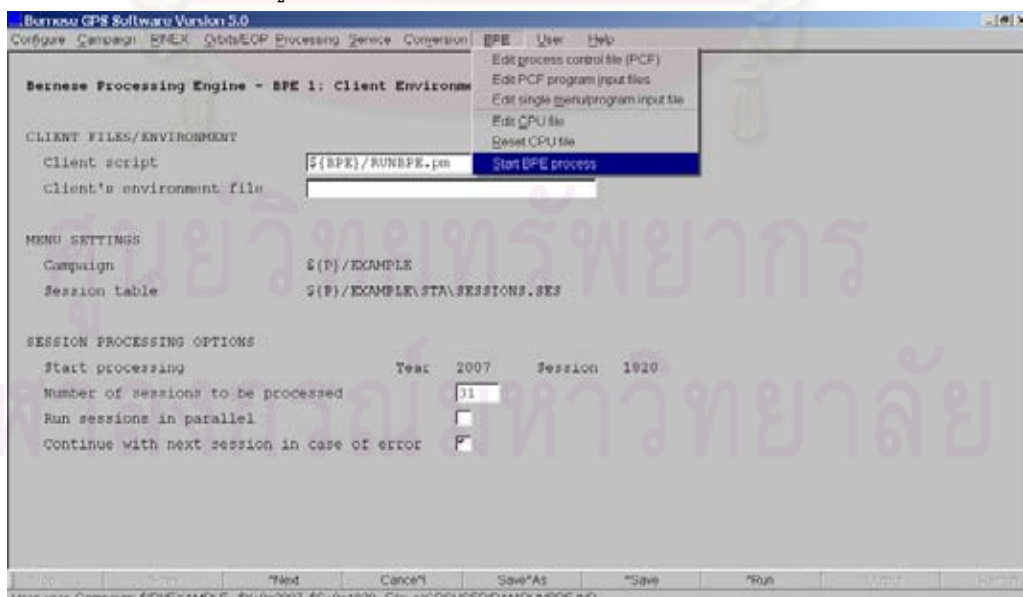
รูปที่ ก-12 การประมาณค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง

## การประมวลผลข้อมูลด้วย Bernese Processing Engine (BPE)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ต้องประมวลผลข้อมูลเป็นจำนวนมากและมีการเรียกใช้โปรแกรมจากเมนูต่างๆหลายขั้นตอน จึงได้ทำการประมวลผลด้วย Bernese processing engine (BPE) เพื่อช่วยลดภาระการทำงานที่ซ้ำๆกัน การใช้งาน BPE เป็นการเรียกใช้โปรแกรมย่อยต่างๆของ Bernese 5.0 ผ่าน Perl Scripts และ Process control file (PCF) รูปที่ ก-14 แสดงรายละเอียดใน Process control file ซึ่งกำหนดลำดับในการประมวลผล , ชื่อ Perl Script file รวมถึง ที่เก็บ Option file สำหรับแต่ละโปรแกรมที่ถูกเรียกใช้ใน script (รูปที่ ก-13 และ ก-14)



รูปที่ ก-13 การแก้ไข Process control file



รูปที่ ก-14 การเรียกใช้ Bernese processing engine

## ภาคผนวก ข ตัวอย่างข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างข้อมูลจีพีเอสชนิด OBS (RINEX Observation Data)

```

2.10      OBSERVATION DATA  G                RINEX VERSION / TYPE
DPT9                                MARKER NAME
DPT9                                MARKER NUMBER
Utai      DPT SURVEY DIV                OBSERVER / AGENCY
462972    LEICA GRX1200PRO  4.03/2.121    REC # / TYPE / VERS
          LEIAT504      NONE                ANT # / TYPE
-1136984.0551 6091176.7425 1506867.1803  APPROX POSITION XYZ
          0.0000      0.0000      0.0000    ANTENNA: DELTA H/E/N
          1      1                                WAVELENGTH FACT L1/2
          4 C1 L1 P2 L2                          # / TYPES OF OBSERV
          5.0000                                INTERVAL
2007  1  1  0  0  0.0000000  GPS          TIME OF FIRST OBS
          14                                LEAP SECONDS
SPIDER V2,1,0,2270          2007 01 01 01:00  COMMENT
                                END OF HEADER

07 1 1 0 0 0.0000000 0 9G 1G11G13G16G19G20G23G25G27
23335731.077 122630087.244 5 23335730.769 95555905.30643
21380677.877 112356213.335 7 21380677.914 87550292.40845

```

ตัวอย่างข้อมูลจีพีเอสชนิด MET (RINEX Meteorological Data)

```

2.10      METEOROLOGICAL DATA                RINEX VERSION / TYPE
DPT9                                MARKER NAME
DPT9                                MARKER NUMBER
          3 PR TD HR                          # / TYPES OF OBSERV
Paroscientific *Met3A DQ100998              0.0 PR SENSOR MOD/TYPE/ACC
Paroscientific *Met3A DQ100998              0.0 TD SENSOR MOD/TYPE/ACC
Paroscientific *Met3A DQ100998              0.0 HR SENSOR MOD/TYPE/ACC
-1136984.0551 6091176.7425 1506867.1803    38.1690 PR SENSOR POS XYZ/H
          2.10      METEOROLOGICAL DATA                COMMENT
SPIDER V2,1,0,2270          2007 03 11 01:00  COMMENT
Measurements recorded in GPS time          COMMENT
                                END OF HEADER

07 3 11 0 0 20 1004.4 27.6 76.7
07 3 11 0 1 20 1004.4 27.6 76.7
07 3 11 0 2 20 1004.4 27.6 76.6

```



ตัวอย่างข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง

```
#cP2001 8 8 0 0 0.00000000 192 ORBIT IGS97 HLM IGS
## 1126 259200.00000000 900.00000000 52129 0.000000000000000
+ 26 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G13G14G17G18G20G21
+ G23G24G25G26G27G28G29G30G31 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 7 8 7 8 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 7 9
++ 9 8 6 8 7 7 6 7 7 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

```
%c G cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.000000000000 0.0000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.0000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

```
/* ULTRA ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:
/* cou esu gfu jpu siu usu
/* REFERENCED TO cou CLOCK AND TO WEIGHTED MEAN POLE:
```

```
/* CLK ANT Z-OFFSET (M): II/IIA 1.023; IIR 0.000
* 2001 8 8 0 0 0.00000000
PG01 -11044.805800 -10475.672350 21929.418200 189.163300 18 18 18 219
PG02 -12593.593500 10170.327650 -20354.534400 -55.976000 18 18 18 219 M
PG03 9335.606450 -21952.990750 -11624.350150 54.756700 18 18 18 219
PG04 -16148.976900 8606.630600 19407.845050 617.997800 18 18 18 219
PG05 13454.631450 20956.333700 9376.994100 308.956400 18 18 18 219
EOF
```

พิกัด X,Y,Z(กม.)

ค่า SD

ค่าแก้ไขพิกษา(msec)

ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนราย 3 ชม. (มม.)

ISTATION_ID	Year	month	day	RAIN0100	RAIN0400	RAIN0700	RAIN1000	RAIN1600	RAIN1900	RAIN2200
327501	2007	3	28	0	0	0	0	0	0	0
327501	2007	3	31	0	0	0	0	0	0	0
327501	2007	4	6	0	0	0	0	0	0	0
327501	2007	4	25	0	0	0	0	0	0	13.3
327501	2007	4	27	0	0	9.4	0	0	0	0
327501	2007	9	11	0.3	0	0.01	2.1	0	0	0
327501	2007	9	20	0	27.1	0.5	1.5	0	0	0
327501	2007	9	23	0	0	0	0	0	0	0
327501	2007	10	5	0	0	0	0	3.3	3.6	0.6
327501	2007	10	6	6.2	0	0	0.9	2.7	4.6	0

ตัวอย่างค่าคลาดเคลื่อนรวมทางดิ่ง (TOTAL U) ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese 5.0

SPWV\_070010: Final coordinate/troposphere results

06-OCT-08 23:04

A PRIORI MODEL: -15 MAPPING FUNCTION: 4 GRADIENT MODEL: 1 MIN. ELEVATION: 10 TABULAR INTERVAL: 1800 / 86400

STATION NAME	FLG	YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	MOD_U	CORR_U	SIGMA_U	TOTAL_U	CORR_N	SIGMA_N	CORR_E	SIGMA_E
CHANTHABURI	A	2007	1	1	0	0	0	2.3052	0.15688	0.01112	2.46213	-0.0002	0.00058	-0.00136	0.00054
CHANTHABURI	A	2007	1	1	0	30	0	2.3052	0.17484	0.01054	2.48009	-0.00022	0.00056	-0.00131	0.00052
CHANTHABURI	A	2007	1	1	1	0	0	2.3052	0.15951	0.01104	2.46475	-0.00024	0.00054	-0.00127	0.00051
CHANTHABURI	A	2007	1	1	1	30	0	2.3052	0.17055	0.00931	2.47579	-0.00025	0.00053	-0.00122	0.00049
CHANTHABURI	A	2007	1	1	2	0	0	2.3052	0.16656	0.00908	2.4718	-0.00027	0.00051	-0.00118	0.00048
CHANTHABURI	A	2007	1	1	2	30	0	2.3052	0.17754	0.00879	2.48278	-0.00029	0.00049	-0.00114	0.00047
CHANTHABURI	A	2007	1	1	3	0	0	2.3052	0.14566	0.00897	2.4509	-0.00031	0.00048	-0.00109	0.00045
CHANTHABURI	A	2007	1	1	3	30	0	2.3052	0.15951	0.00917	2.46476	-0.00032	0.00046	-0.00105	0.00044
CHANTHABURI	A	2007	1	1	4	0	0	2.3052	0.19541	0.00869	2.50065	-0.00034	0.00044	-0.00101	0.00042
CHANTHABURI	A	2007	1	1	4	30	0	2.3052	0.17147	0.00871	2.47672	-0.00036	0.00043	-0.00096	0.00041
CHANTHABURI	A	2007	1	1	5	0	0	2.3052	0.16051	0.00807	2.46575	-0.00037	0.00041	-0.00092	0.0004
CHANTHABURI	A	2007	1	1	5	30	0	2.3052	0.16189	0.00804	2.46713	-0.00039	0.0004	-0.00087	0.00038
CHANTHABURI	A	2007	1	1	6	0	0	2.3052	0.18137	0.00789	2.48662	-0.00041	0.00038	-0.00083	0.00037
CHANTHABURI	A	2007	1	1	6	30	0	2.3052	0.16686	0.00909	2.4721	-0.00043	0.00037	-0.00079	0.00036
CHANTHABURI	A	2007	1	1	7	0	0	2.3052	0.17415	0.00891	2.47939	-0.00044	0.00036	-0.00074	0.00035
CHANTHABURI	A	2007	1	1	7	30	0	2.3052	0.15383	0.00765	2.45907	-0.00046	0.00035	-0.0007	0.00034
CHANTHABURI	A	2007	1	1	8	0	0	2.3052	0.17624	0.00715	2.48149	-0.00048	0.00033	-0.00065	0.00033
CHANTHABURI	A	2007	1	1	8	30	0	2.3052	0.16151	0.00807	2.46675	-0.0005	0.00032	-0.00061	0.00032
CHANTHABURI	A	2007	1	1	9	0	0	2.3052	0.16823	0.00685	2.47347	-0.00051	0.00031	-0.00057	0.00031
CHANTHABURI	A	2007	1	1	9	30	0	2.3052	0.15692	0.00626	2.46216	-0.00053	0.0003	-0.00052	0.0003
CHANTHABURI	A	2007	1	1	10	0	0	2.3052	0.1748	0.00696	2.48004	-0.00055	0.00029	-0.00048	0.00029
CHANTHABURI	A	2007	1	1	10	30	0	2.3052	0.14713	0.00671	2.45238	-0.00056	0.00028	-0.00044	0.00029
CHANTHABURI	A	2007	1	1	11	0	0	2.3052	0.1545	0.00599	2.45974	-0.00058	0.00028	-0.00039	0.00028
CHANTHABURI	A	2007	1	1	11	30	0	2.3052	0.1556	0.00581	2.46084	-0.0006	0.00027	-0.00035	0.00028
CHANTHABURI	A	2007	1	1	12	0	0	2.3052	0.14826	0.00569	2.45351	-0.00062	0.00027	-0.0003	0.00027
CHANTHABURI	A	2007	1	1	12	30	0	2.3052	0.16894	0.00628	2.47418	-0.00063	0.00027	-0.00026	0.00027
CHANTHABURI	A	2007	1	1	13	0	0	2.3052	0.14207	0.00694	2.44732	-0.00065	0.00026	-0.00022	0.00027

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

**ชื่อ:** นายสมเกียรติ์ อนงค์เลขา

**วันเดือนปีเกิด:** 1 กันยายน พ.ศ. 2517

**คุณวุฒิทางการศึกษา:**  
 พ.ศ. 2536 วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ประสบการณ์การทำงาน:**  
 พ.ศ. 2536 - 2545 วิศวกรขาย บริษัท ซีวิล คอนสตรัคชั่น จำกัด  
 พ.ศ. 2545 ถึงปัจจุบัน วิศวกรสำรวจ บริษัท เพนโก เอ็นจิเนียร์ จำกัด

### ผลงานทางวิชาการ

1. สมเกียรติ์ อนงค์เลขา และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2551, การประมาณค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศแบบใกล้ปัจจุบัน โดยใช้สถานีจีพีเอสแบบถาวรในประเทศไทย ,การประชุมวิชาการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2551 เมืองทองธานี กรุงเทพฯ 21-23 มกราคม 2552.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย