

การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน
ในการประมวลผลเส้นฐานในประเทศไทย



นายประพจน์ เฉลิมวัฒน์ชัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

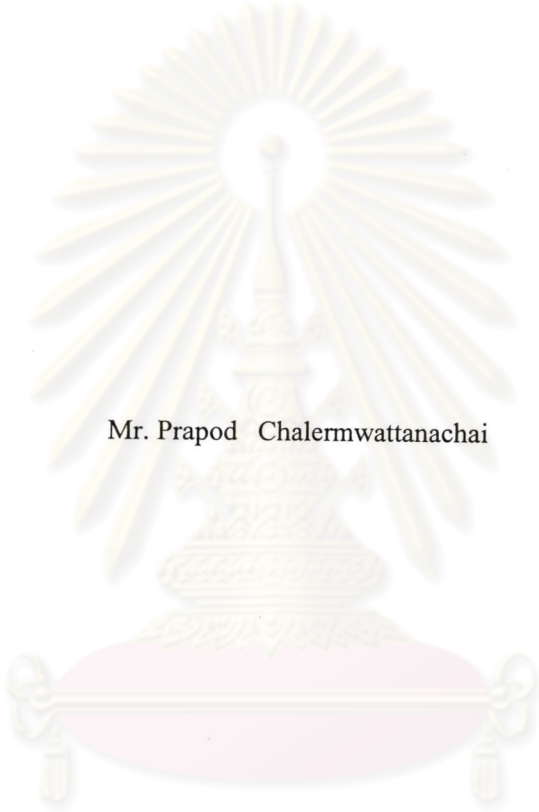
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6395-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARATIVE STUDY OF USING DIFFERENT STANDARD TROPOSPHERIC
MODELS FOR BASELINE PROCESSING IN THAILAND



Mr. Prapod Chalermwattanachai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6395-6

ประพจน์ เกลิมวัฒน์ชัย : การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกันในการประมวลผลเส้นฐานในประเทศไทย (COMPARATIVE STUDY OF USING DIFFERENT STANDARD TROPOSPHERIC MODELS FOR BASELINE PROCESSING IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. เกลิมชนม์ สติระพจน์ , จำนวนหน้า 77 หน้า. ISBN 974-17-6395-6

วิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสได้เป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานด้านต่างๆ ที่ต้องการความถูกต้องทางด้านตำแหน่งสูง เช่น การรังวัดควบคุม งานสำรวจทางด้านวิศวกรรม ในการทำงานรังวัดดาวเทียมที่ให้ค่าความถูกต้องสูงจำเป็นต้องมีการลดค่าความคลาดเคลื่อนให้มากที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนที่มีผลต่อความถูกต้องทางด้านตำแหน่งที่สำคัญอันหนึ่งคือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ส่วนคือ ไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ ในส่วนผู้ใช้เครื่องรับแบบสองความถี่ เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นขึ้นกับความถี่และการใช้คลื่นผสมที่ปราศจากไอโอโนสเฟียร์สามารถที่จะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ออกไปได้ ในส่วนของค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยทั่วไปจะใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ในการลดค่าคลาดเคลื่อนเหล่านี้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะหาแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่เก็บในประเทศไทย ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบเส้นฐานทั้งขนาดสั้น (< 20 กิโลเมตร) และขนาดกลาง (20-100 กิโลเมตร) นอกจากนี้ข้อมูลแต่ละเส้นฐานยังแบ่งออกเป็นสองกรณีคือพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันกับพื้นที่ต่างระดับกัน ข้อมูลในแต่ละเส้นฐานได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคพื้นดินของแต่ละสถานี ในการหาค่าพิกัดที่ถูกต้องสูงสำหรับทุกสถานี ได้ใช้ซอฟต์แวร์ Bernese (Version 4.2) ในการคำนวณค่าพิกัดอ้างอิง จากนั้นจึงทำการประมวลผลข้อมูลทุกชุดด้วยซอฟต์แวร์ SKI-Pro (Version 2.5) โดยใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ดังนี้ แบบจำลอง Saastamoinen แบบจำลอง Hopfield แบบจำลอง Simplified Hopfield model และการไม่ใช้แบบจำลองใดๆ จากนั้นจึงทำการคำนวณค่าต่างพิกัดระหว่างค่าพิกัดที่ได้กับค่าพิกัดอ้างอิง ผลโดยรวมแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองมาตรฐานทั้งสามไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ Saastamoinen และ Hopfield ให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่เหลือ ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถูกต้องของเส้นฐานที่ได้รับกับข้อมูลสภาพอากาศภาคพื้นดินแสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา2547.....

4470394221 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD : GPS , STANDARD TROPOSPHERIC MODELS , BERNESE SOFTWARE

PRAPOD CHALERMWATTANACHAI : COMPARATIVE STUDY OF USING DIFFERENT STANDARD TROPOSPHERIC MODELS FOR BASELINE PROCESSING IN THAILAND. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. DR. CHALERMCHON SATIRAPOD, 77 pp. ISBN 974 -17- 6395-6

GPS Surveying technique has long been adopted as a valid method for most applications that require high accuracy positioning results such as control surveying, engineering surveying. In high accuracy GPS surveying, it is necessary to mitigate errors as much as possible. One of the errors that has an impact on positioning accuracy is due to the atmospheric delay consisting of two main layers, ionosphere and troposphere. With regard to the dual-frequency user, the ionospheric delay is frequency-dependent and the ionosphere-free combination can be formed in order to eliminate this delay. For the tropospheric delay, standard tropospheric models are generally used to correct for this delay.

This research aims to determine the most appropriate tropospheric model for processing of the data collected in Thailand. In this study, both short (< 20 kilometers) and medium (20-100 kilometers) length baseline data sets were tested. In addition, each baseline data set is further divided into two scenarios, flat terrain and height different terrain. Each baseline data set was collected in static mode for 24 hours. Moreover, ground meteorological data at each station were collected. In order to obtain accurate coordinates for all stations, the Bernese software was used to compute the reference coordinates. Subsequently, all data sets were processed with the SKI software version 2.5 using the following tropospheric models, Saastamoinen model, Hopfield model, Simplified Hopfield model and no model applied. Then, the discrepancies between the obtained coordinates and the reference coordinates were calculated. Overall results indicate that there are no statistically significant differences in the performance of the three tropospheric models. However, the use of the Saastamoinen and Hopfield model tends to produce more reliable results than the use of the other model. The results obtained from a study of relationship between obtainable baseline accuracies and the ground meteorological data reveals that there is no statistically significant correlation between the two data sets.

Department Survey Engineering..... Student's signature *C. Prad*
 Field of study Survey Engineering..... Advisor's signature *Chalermchon Satirapod*
 Academic year2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณจักรินทร์ มงคลพิทักษ์สุข ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานภาคสนาม งานงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ หัวหน้าและผู้ช่วยหัวหน้าอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ ที่ได้ให้การสนับสนุนในการใช้พื้นที่ในการปฏิบัติงานภาคสนาม งานงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดชำโสม , ผู้อำนวยการโรงเรียนท่าใหม่ , ผู้อำนวยการโรงพยาบาลวังจันทร์ และ ผู้อำนวยการโรงเรียนพนัสพิทยาคาร ที่ได้ให้การสนับสนุนในการใช้พื้นที่ในการปฏิบัติงานภาคสนาม งานงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดาของข้าพเจ้าและเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ตลอดจนคุณศรีรัตน์ เฉลิมวัฒนชัย ที่สนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. แนวเหตุผล ทฤษฎีสำคัญ หรือสมมุติฐาน.....	2
1.4. ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.5. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	6
1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ความคลาดเคลื่อนในงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส.....	8
2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนจากดาวเทียม.....	8
2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องรับ.....	9
2.3 ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากการหักเหในชั้นบรรยากาศ.....	9
2.4 ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	10
2.5 แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์.....	11
บทที่ 3 การปฏิบัติงานในสนาม.....	14
3.1 การวางแผนเบื้องต้น.....	15
3.2 การเตรียมการก่อนการปฏิบัติงาน.....	19
3.3 การปฏิบัติงานในสนาม.....	20
บทที่ 4 การประมวลผลและวิเคราะห์.....	21
4.1 การประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese.....	21
4.2 ความยาวเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese.....	25
4.3 ค่าพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese.....	26
4.4 การประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ SKI - PRO.....	27
4.5 การหาค่า Root Mean Square Error (RMSE).....	46
4.6 การทดสอบค่าทางสถิติ.....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation).....	52
บทที่ 5 บทสรุป.....	65
5.1 ผลจากงานวิจัย.....	65
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย.....	66
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	67
5.4 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก	
ก. อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ณ สถานที่ในการทำงานแต่ละจุดที่ทำการรังวัด..	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	77

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรที่มีผลต่อการหาค่าพิกัดในเส้นฐานแต่ละขนาด.....9
3.1	ตำแหน่งของหมุดที่ใช้ในงานรังวัดดาวเทียมในเส้นฐานขนาดสั้น.....15
3.2	ตำแหน่งของหมุดที่ใช้ในงานรังวัดดาวเทียมในเส้นฐานขนาดกลาง.....16
3.3	ขนาดเส้นฐาน วันเวลา และสภาพพื้นที่ในการปฏิบัติงาน..... 20
4.1	แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2002)22
4.2	วิธีการคำนวณค่าเลขปริศนา.....24
4.3	ผลจากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับ กัน ด้วยซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง)25
4.4	ผลจากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับ กัน ด้วยซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง)25
4.5	ผลของค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรรี จากการประมวลผลเส้นฐาน ขนาดสั้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese ณ. โรงเรียนท่าใหม่และยอดเขาพระบาทพลวง (24 ชั่วโมง).....26
4.6	ผลของค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรรี จากการประมวลผลเส้นฐาน ขนาดกลางโดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese ณ. โรงเรียนพนัสพิทยาคารและยอดเขา พระบาทพลวง (24 ชั่วโมง).....26
4.7	ผลของค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรรีที่นำข้อมูลการรังวัดไป ประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS ณ. ขนาดเส้นฐานขนาดสั้น ของหมุด โรงเรียนวัดชำโสม จ.จันทบุรี.....27
4.8	ผลของค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรรีที่นำข้อมูลการรังวัดไป ประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS ณ. ขนาดเส้นฐานขนาดกลาง ที่หมุด โรงพยาบาลวังจันทร์ จ.ระยอง.....27
4.9	ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI- PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน)29

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI- PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับเดียวกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	30
4.11 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	32
4.12 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI- PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	32
4.13 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรงรี ของเส้นฐาน ขนาดสั้น ด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่ แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐาน ขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน).....	34
4.14 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรงรี ของเส้นฐาน ขนาดสั้นด้วย โปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่ แตกต่างกันรวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐาน ขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน)	35
4.15 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรงรี ของเส้นฐาน ขนาดสั้น ด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	36
4.16 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรงรี ของเส้นฐาน ขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	36

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.17	ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน).....	38
4.18	ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับต่างกัน).....	39
4.19	ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	41
4.20	ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลอง มาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	41
4.21	ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรวงรี ของเส้นฐาน ขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน)	43
4.22	ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรวงรี ของเส้นฐาน ขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน)	44
4.23	ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรวงรี ของเส้นฐาน ขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐาน ขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.24	ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและความสูงเหนือทรงรี ของเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง.....	45
4.25	การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese	47
4.26	การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese	47
4.27	การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese	48
4.28	การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese	48
4.29	ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน.....	50
4.30	ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน.....	50
4.31	ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน.....	50
4.32	ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน.....	51
4.33	ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางตั้ง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน.....	51
4.34	ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางตั้ง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน.....	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.35 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางตั้ง ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน.....	51
4.36 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางตั้ง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน.....	52
4.37 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก ($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน โทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดสั้น (ต่างระดับกัน)	54
4.38 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก ($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน โทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดสั้น (ระดับใกล้เคียงกัน)	55
4.39 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก ($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน โทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดกลาง (ต่างระดับกัน)	56
4.40 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก ($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน โทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดกลาง (ระดับใกล้เคียงกัน)	57
4.41 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT)กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$) และผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน.....	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.42 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT)กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$) และผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดสั้น ระดับใกล้เคียงกัน.....	61
4.43 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT)กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$) และผลต่างทางด้านความสูง(Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูงของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน.....	62
4.44 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT)กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$) และผลต่างทางด้านความสูง(Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูงของเส้นฐานขนาดกลาง ระดับใกล้เคียงกัน.....	63
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างของอุณหภูมิ ผลต่างของความดันบรรยากาศในขณะรังวัด กับค่าผลต่างพิกัดฉาก.....	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	แผนภาพแสดงตำแหน่งการรับสัญญาณดาวเทียม ในช่วงเส้นฐานขนาดสั้น15
3.2	แผนภาพแสดงตำแหน่งการรับสัญญาณดาวเทียม ในช่วงเส้นฐานขนาดกลาง16
3.3	สถานที่รับสัญญาณดาวเทียมบนยอดเขาพระบาทพลวง จ.จันทบุรี17
3.4	สถานที่รับสัญญาณดาวเทียมโรงเรียนวัดชำโสม จ.จันทบุรี ช่วงเส้นฐานขนาดสั้น17
3.5	สถานที่รับสัญญาณดาวเทียมโรงเรียนท่าใหม่ จ.จันทบุรี ช่วงเส้นฐานขนาดสั้น18
3.6	สถานที่รับสัญญาณดาวเทียมโรงพยาบาลวังจันทร์ จ.ระยอง ช่วงเส้นฐานขนาดกลาง18
3.7	สถานที่รับสัญญาณดาวเทียมโรงเรียนพนัสพิทยาคาร จ.ชลบุรี ช่วงเส้นฐานขนาดกลาง19
4.1	ผังแสดงขั้นตอนการประมวลผลด้วยข้อมูลซอฟต์แวร์ Bernese22
4.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดสั้น (ระดับใกล้เคียงกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน31
4.3	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน31
4.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดกลาง (ระดับใกล้เคียงกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน40
4.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน40