

การประมวลผลและวิเคราะห์

หลังจากขั้นตอนการปฏิบัติงานภาคสนามเสร็จสิ้นลง โดยได้ข้อมูลดาวเทียมแล้วจะเป็นขั้นตอนของการประมวลผลพื้นฐานและในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม SKI-PRO version 2.50 สำหรับการประมวลผลพื้นฐานและซอฟต์แวร์ Bernese ที่นำมาใช้ในการอ้างอิงในการประมวลผลพื้นฐาน ซึ่งมีรายละเอียดการประมวลผลนี้

4.1 การประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese

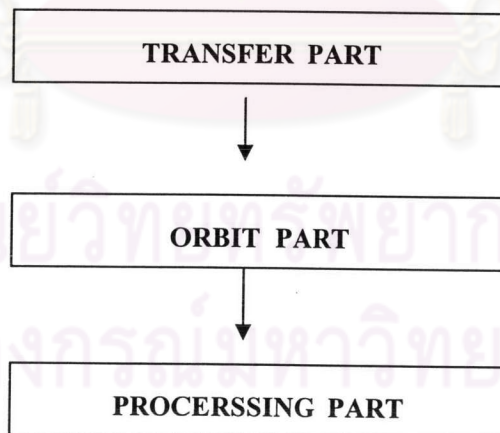
เนื่องจากซอฟต์แวร์ Bernese เป็นซอฟต์แวร์ที่เป็นที่ยอมรับกันว่าให้ค่าความถูกต้องสูงและเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย ซึ่งซอฟต์แวร์นี้จะมีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแก้ค่าการหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และชั้นโทรโพสเฟียร์ถูกต้องมากกว่า มีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนจาก Phase center offset ของเครื่องรับสัญญาณ รวมถึงค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่ละเอียดถูกต้องกว่า ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้อีพีสมอริสส่งกระจาย (broadcast ephemerides) เนื่องจากซอฟต์แวร์ SKI-PRO และ ซอฟต์แวร์ Bernese จะทำการคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียมโดยใช้สมการในการหาตำแหน่ง ณ เวลาที่ต้องการ ซึ่งสามารถหาอ่านรายละเอียดในการหาตำแหน่งได้จาก (Hofmann-Wellenhof et al, 2001) ซึ่งทั้งสองโปรแกรมนี้ใช้เป็นสมการเดียวกันเพื่อคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียม ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ในขณะที่ อีพีเมอริสละเอียด (precise ephemerides) ผลที่ได้จะเป็นข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นตำแหน่งของดาวเทียมทุก ๆ 15 นาที เนื่องจากโปรแกรม SKI-PRO และ ซอฟต์แวร์ Bernese ใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการหาตำแหน่งของดาวเทียม ณ เวลาที่ต้องการที่ตำแหน่งเดียวกัน จึงทำให้ข้อมูลที่นำเข้าสู่ชุดเดียวกันแต่ผลลัพธ์ที่ได้จะแตกต่างกันออกไป และที่สำคัญค่าความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมที่จะส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของพื้นฐานจะมีค่าไม่มากนัก ซึ่งค่าความละเอียด (Accuracy) ของอีพีสมอริสส่งกระจาย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้ (IGS, 2005)

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS (IGS, 2005)

Products	Accuracy	Latency	Updates	Interval
Broadcast ephemeris	~260 cm.	Real time	--	daily
Predicted (Ultra rapid)	~25 cm.	Real time	twice daily	15 min
Rapid	5 cm.	17 hours	Daily	15 min
Final	< 5 cm.	~13 days	Weekly	15 min

ในส่วนของเส้นฐานขนาดสั้นจะมีระยะเส้นฐานในช่วง 11 – 17 กิโลเมตร จะมีค่าคลาดเคลื่อนของเส้นฐานอยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ในส่วนเส้นฐานขนาดกลางจะมีระยะเส้นฐานในช่วง 68 – 70 กิโลเมตร ค่าคลาดเคลื่อนของเส้นฐานอยู่ในช่วงที่ไม่เกิน 8 มิลลิเมตร (ดูได้จากตารางที่ 2.1 ในบทที่ 2) ด้วยเหตุนี้จึงได้นำซอฟต์แวร์ Bernese มาเป็นตัวอ้างอิงในงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียดในการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese ดังนี้

ในการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese นี้จะทำการประมวลผลข้อมูลโดยใช้ชุดข้อมูลเดียวกันที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลจากโปรแกรม SKI-PRO รวมถึงค่าพิกัดฉากที่ถูกต้องเป็นจุดอ้างอิงในเส้นฐานขนาดสั้นและเส้นฐานขนาดกลาง เพื่อนำผลที่ได้นี้มาใช้เป็นค่าอ้างอิง ซึ่งซอฟต์แวร์ Bernese ที่นำมาใช้จะเป็นเวอร์ชัน 4.20 ซึ่งสามารถทำงานบน Windows2000 และ WindowsXP ซึ่งมีขั้นตอนในการทำงานดังแผนผังในรูปที่ 4.1 และมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการประมวลผลด้วยข้อมูลซอฟต์แวร์ Bernese

4.1.1 Transfer part

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการแปลงรูปแบบของข้อมูลที่ได้รับจากงานในสนาม ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะของฮาร์ดแวร์นั้น ๆ ให้มาอยู่ในรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลจีพีเอส ซึ่งเรียกว่า RINEX (Receiver – Independent Exchange Format) และจากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูล RINEX มาเป็นรูปแบบของซอฟต์แวร์ Bernese เอง ดังนั้นในขั้นตอนนี้เป็นการแปลงรูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมที่อยู่ในรูปแบบ RINEX ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Leica ให้มาอยู่ในรูปแบบ RINEX ของซอฟต์แวร์ Bernese โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese ในการแปลงข้อมูล

4.1.2 Orbit part

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้าง Standard orbit จาก อีพีสเมอริสส่งกระจาย (broadcast) นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอื่น ๆ อีกคือ Earth rotation parameter (Pole file) และ Satellite problem file

Earth rotation parameter file : c04_2003.erp

Satellite problem file : sat_2003.crx

4.1.3 Processing part

ในขั้นตอนนี้เป็นการประมวลผลเส้นฐานทุกเส้น โดยในการประมวลผลเส้นฐานจะมีการกำหนดค่าพิกัดของหมุด 1 จุดเป็นสถานีควบคุมในแต่ละเส้นฐานดังนี้ เส้นฐานขนาดสั้น กำหนดหมุดที่โรงเรียนวัดชำโสม ส่วนเส้นฐานขนาดกลางจะ กำหนดหมุดที่โรงพยาบาลวังจันทร์ โดยมีค่าพิกัดของหมุดที่กำหนด บนพื้นหลักฐาน WGS-84 ดังนี้

โรงเรียนวัดชำโสม	Latitude	=	12° 41' 56.89619"
	Longitude	=	102° 05' 06.27192"
	Height	=	34.1056 เมตร
โรงพยาบาลวังจันทร์	Latitude	=	12° 56' 22.14622"
	Longitude	=	101° 31' 45.14528"
	Height	=	10.4905 เมตร

โดยมีรายละเอียดของการประมวลผลดังนี้

4.1.3.1 Single point positioning ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประมวลผลของตำแหน่งจุดเดี่ยว และหาค่าแก้ไขพิกัดของเครื่องรับ โดยจะให้ความถูกต้องถึง 1 μ s

4.1.3.2 Forming baseline ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างเส้นฐานขึ้นโดยใช้ Single difference observation ซึ่งเป็นการนำข้อมูลระหว่างเครื่องรับมาลบกัน

4.1.3.3 Phase preprocessing ในขั้นนี้จะเป็นการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดและทำการตรวจสอบ Cycle slip และถ้ามีจะทำการแก้ไขด้วย

4.1.3.4 Processing ในขั้นตอนนี้จะเป็นการใช้การคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares adjustment) โดยจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 รอบดังนี้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2540)

ในส่วนของเส้นฐานขนาดสั้น

- รอบที่หนึ่ง จะเป็นการใช้ Ambiguity – free L_3 solution ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการคำนวณค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนจริง (Real number) และใช้คลื่น L_3 ที่เกิดจากการผสมผสานกันของคลื่น L_1 และ L_2 โดยจะมีผลทำให้สามารถจัดค่าการหักเหจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปได้ ในการประมวลผลรอบนี้จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลทั้งหมด
- รอบที่สอง จะเป็นการคำนวณค่าเลขปริศนาและเก็บค่าไว้ โดยใช้ QIF (Quasi Ionosphere – Free) สำหรับทุกเส้นฐาน โดย Rothacher and Mervae (1996) ได้แสดงตารางแนะนำในการเลือกวิธีการคำนวณค่าเลขปริศนาดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 วิธีการคำนวณค่าเลขปริศนา

	Baseline Length		
	Short < 10 km	Middle 10 – 100 km	Long 100 – 2000 km
Short session	SEARCH	SEARCH	-
Long session	QIF or SIGMA $L_1 \& L_2$	QIF	QIF or SIGMA Mealb. – Wuebb.

- รอบที่สาม จะเป็นการหาผลสุดท้ายโดยการใช้ Ionosphere – free (L_3) Solution และใช้ค่าเลขปริศนาที่คำนวณได้ในรอบที่สองมารวมด้วย (Rizos, 1997) โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$L_3 = \alpha_1 \phi_{(L1)} + \alpha_2 \phi_{(L2)} \quad (4.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \approx 2.546 \quad \alpha_2 = \frac{-f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \approx -1.984$$

โดยที่ f_1, f_2 คือ ความถี่ของคลื่นสัญญาณ L_1 และ คลื่นสัญญาณ L_2 (MHz)
 $\phi_{(L1)}, \phi_{(L2)}$ คือ ชูโดเรนท์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง L_1 และ L_2 ตามลำดับ

ในส่วนของเส้นขนาดกลาง

จะทำการประมวลผลเพียงรอบเดียวคือรอบที่สามของเส้นฐานขนาดสั้นมาเป็นรอบแรก ของเส้นฐานขนาดกลาง โดยใช้ Ionosphere – free (L_3) Solution ซึ่งเปรียบเทียบกับ SKI-PRO เพียงแต่การใช้แบบจำลองโทรโพสเฟียร์จะเป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation)

4.2 ความยาวเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese

หลังจากที่ทำการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese ในทุกเส้นฐานเรียบร้อยแล้ว สามารถแสดงผลความยาวของเส้นฐาน ได้ดังตารางที่ 4.3 ถึง 4.4

จากตารางที่ 4.3 ถึง 4.4 จะแสดงผลของความยาวของเส้นฐานขนาดสั้นและเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ค่าระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกันจากซอฟต์แวร์ Bernese ผลลัพธ์ที่ได้ในสดมภ์ (Column) แรกจะเป็นช่วงของขนาดเส้นฐาน ส่วนในสดมภ์ที่สองจะเป็นความยาวของเส้นฐานที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese โดยใช้วิธี Parameter Estimation และส่วนในสดมภ์ที่สามยังแสดงถึงค่าความผิดพลาดในการรังวัด ในรูปแบบของ Root Mean Square Error (RMSE)

ตารางที่ 4.3 ผลจากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน ด้วยซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง)

ช่วงขนาดเส้นฐาน	ความยาวเส้นฐาน (เมตร)	RMSE (เมตร)
ขนาดสั้น ระดับใกล้เคียงกัน	11129.8724	0.0021
ขนาดสั้น ต่างระดับกัน	17732.1845	0.0017

ตารางที่ 4.4 ผลจากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน ด้วยซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง)

ช่วงขนาดเส้นฐาน	ความยาวเส้นฐาน (เมตร)	RMSE (เมตร)
ขนาดกลาง ระดับใกล้เคียงกัน	68493.4332	0.0020
ขนาดกลาง ต่างระดับกัน	70294.0768	0.0027

4.3. ค่าพิกัดฉากจากซอฟต์แวร์ Bernese

หลังจากที่ทำการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese ในทุกเส้นฐานเรียบร้อยแล้ว สามารถแสดงผลค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และค่าความสูงเหนือทรวงรี ของแต่ละจุดในทุกเส้นฐาน ได้ดังตารางที่ 4.5 ถึง ตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 จะแสดงผลค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และค่าความสูงเหนือทรวงรี ในช่วงของเส้นฐานขนาดสั้น ในพื้นที่ที่มีค่าระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน ซึ่งในแถวแรกจะเป็นพื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน และในแถวที่สองจะเป็นพื้นที่ที่มีความต่างระดับ ส่วนในสดมภ์แรกและสดมภ์ที่สองจะแสดงถึงค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม คือ ระยะเวลาเหนือ (N) ระยะเวลาตะวันออก (E) ส่วนสดมภ์ที่สามจะแสดงถึง ค่าความสูงเหนือทรวงรี (h) ในสดมภ์ถัดมาแสดงถึงค่า RMSE จากการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese

ตารางที่ 4.5 ผลของค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และค่าความสูงเหนือทรวงรี จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้น โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese ณ. โรงเรียนท่าใหม่และยอดเขาพระบาทพลวง (24 ชั่วโมง)

เส้นฐานขนาดสั้น					
ค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม (เมตร)		ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	RMSE (เมตร)		
ระยะเวลาเหนือ	ระยะเวลาตะวันออก		ระยะเวลาเหนือ	ระยะเวลาตะวันออก	ความสูงเหนือทรวงรี
1397561.6936	827650.8314	-1.8547	0.0017	0.0016	0.0097
1421202.1691	843951.1360	980.8502	0.0016	0.0012	0.0086

ตารางที่ 4.6 ผลของค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม และค่าความสูงเหนือทรวงรี จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese ณ. โรงเรียนพนัสพิทยาคารและยอดเขาพระบาทพลวง (24 ชั่วโมง)

เส้นฐานขนาดสั้น					
ค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม (เมตร)		ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	RMSE (เมตร)		
ระยะเวลาเหนือ	ระยะเวลาตะวันออก		ระยะเวลาเหนือ	ระยะเวลาตะวันออก	ความสูงเหนือทรวงรี
1487880.4495	735044.6296	-17.9030	0.0011	0.0026	0.0060
1421201.9486	843952.1505	980.4107	0.0007	0.0027	0.0049

4.4 การประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม SKI- PRO

ในการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI- PRO นี้จะใช้ข้อมูล 2 ชุด คือ ข้อมูลเส้นฐานขนาดสั้น และ ข้อมูลเส้นฐานขนาดกลาง โดยแบ่งเป็นพื้นที่ที่ระดับที่ใกล้เคียงกันและพื้นที่ที่ต่างระดับกัน จากนั้นทำการตัดข้อมูลออกเป็นช่วง ๆ โดยที่เส้นฐานขนาดสั้นเลือกช่วงข้อมูลช่วงละ 2 ชั่วโมง ส่วนเส้นฐานขนาดกลางเลือกช่วงข้อมูลช่วงละ 3 ชั่วโมง ทั้งนี้ในการประมวลผลเส้นฐานจำเป็นจะต้องทราบค่าพิคคของจุดอ้างอิงให้ดีในระดับหนึ่ง เนื่องจากค่าพิคคของจุดอ้างอิงที่ผิดไปทุก 20 เมตรจะส่งผลให้เส้นฐานคลาดเคลื่อนไป 1 ส่วนในล้านส่วน (part per million) (Hofmann-Wellenhof et al, 2001; Rizos, 1997) ดังนั้นจึงได้ทำการส่งข้อมูลที่ได้จากการรังวัดไปประมวลผลกับบริการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS สำหรับรายละเอียดของบริการดังกล่าวสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2546) ค่าพิคคฉากที่ได้จากบริการดังกล่าวนั้นมีค่าความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการประมวลผลเส้นฐานต่อไปได้

ตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8 ผลที่ได้จากการนำข้อมูลการรังวัด ณ. หมุดควบคุม ที่อยู่ในรูปแบบ RINEX ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่นำไปประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS ในสดมภ์แรกคือสถานที่ตั้งที่เป็นจุดควบคุม ส่วนสดมภ์ถัดมาเป็นค่าพิคคฉากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรวงรีที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS

ตารางที่ 4.7 ผลของค่าพิคคฉากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรวงรีที่นำข้อมูลการรังวัดไปประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS ณ. ขนาดเส้นฐานขนาดสั้น ของหมุดโรงเรียนวัดชำโสม จ. จันทบุรี

สถานที่	ค่าพิคคฉากยูทีเอ็ม (เมตร)		ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)
	ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	
โรงเรียนวัดชำโสม	1405849.5269	835095.3930	34.1056

ตารางที่ 4.8 ผลของค่าพิคคฉากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรวงรีที่นำข้อมูลการรังวัดไปประมวลผลข้อมูลจีพีเอส AUSPOS ณ. ขนาดเส้นฐานขนาดกลาง ที่หมุดโรงพยาบาลวังจันทร์ จ. ระยอง

สถานที่	ค่าพิคคฉากยูทีเอ็ม (เมตร)		ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)
	ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	
โรงพยาบาลวังจันทร์	1431800.5181	774417.6579	10.4905

4.4.1 การประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้น

ในการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้น สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ คือเส้นฐานในช่วง 0 – 20 กิโลเมตร มีการกำหนดจุดให้โรงเรียนวัดชำโสมและโรงเรียนท่าใหม่เป็นระดับที่ใกล้เคียงกัน ส่วนพื้นที่ต่างระดับพิจารณาเลือกเส้นฐานระหว่างยอดเขาพระบาทพลวงและโรงเรียนวัดชำโสม โดยเลือกโรงเรียนวัดชำโสมเป็นสถานีอ้างอิง

สำหรับโปรแกรม SKI-PRO จะเลือก Solution type เป็น Iono free fix ซึ่งเป็นวิธีที่เริ่มจากการ fix ambiguity ในคลื่น L_1 & L_2 ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำคลื่น L_1 & L_2 มาสร้างเป็นคลื่น L_3 (รายละเอียดสามารถดูได้ใน Rizos, 1997) โดยแทนค่าเลขปริศนา (ambiguity) ที่เป็นเลขจำนวนเต็มในคลื่น L_1 & L_2 ก่อนสร้าง L_3 จากนั้นจะทำการเลือกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์มาใช้ในการลดค่าการหักเหครั้งนี้รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ

จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นโดยใช้โปรแกรม SKI – PRO V. 2.50 ในแต่ละแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง ๆ ช่วงละ 2 ชั่วโมง จะแสดงผลในตารางที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งในสคัมภ์แรกเป็นจำนวนชั่วโมงที่ทำการประมวลผลข้อมูล สคัมภ์ที่สองและสคัมภ์ที่สามเป็นเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดในการประมวลผลข้อมูล ในสคัมภ์ที่สี่เป็นความยาวของเส้นฐานในแต่ละแบบจำลอง รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SKI-PRO และแสดงผลการทดสอบทางสถิติ (เวลาในตารางเป็นเวลาในการรังวัด) ส่วนตารางที่ 4.11 และ 4.12 จะแสดงถึงผลลัพธ์ของการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นในพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO V. 2.50 ในแต่ละแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานที่จำนวน 24 ชั่วโมง และผลเปรียบเทียบระหว่างซอฟต์แวร์ Bernese และ โปรแกรม SKI – PRO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

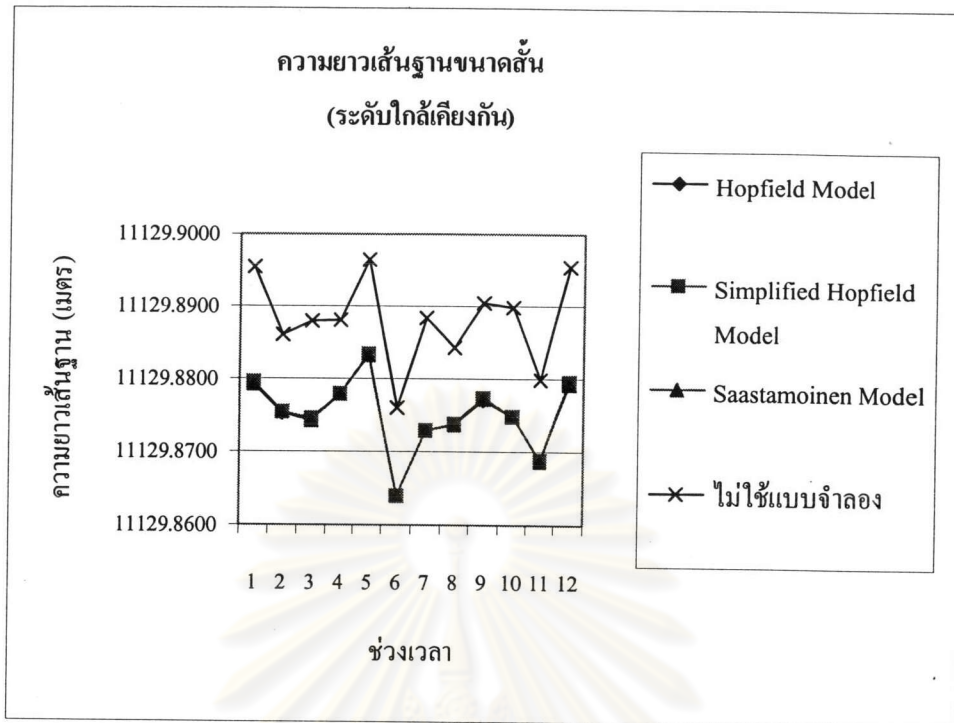
ตารางที่ 4.9 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI-PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน)

จำนวนชั่วโมง	เวลาเริ่มต้น	เวลาสิ้นสุด	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
			Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
2	10:30	12:30	11129.8792	11129.8795	11129.8793	11129.8954
2	12:30	14:30	11129.8753	11129.8755	11129.8754	11129.8861
2	14:30	16:30	11129.8742	11129.8745	11129.8742	11129.8880
2	16:30	18:30	11129.8779	11129.8780	11129.8779	11129.8881
2	18:30	20:30	11129.8832	11129.8834	11129.8832	11129.8965
2	20:30	22:30	11129.8639	11129.8640	11129.8639	11129.8760
2	22:30	00:30	11129.8729	11129.8730	11129.8729	11129.8884
2	00:30	02:30	11129.8737	11129.8738	11129.8737	11129.8842
2	02:30	04:30	11129.8771	11129.8774	11129.8772	11129.8905
2	04:30	06:30	11129.8749	11129.8749	11129.8749	11129.8898
2	06:30	08:30	11129.8687	11129.8688	11129.8687	11129.8799
2	08:30	10:30	11129.8792	11129.8795	11129.8793	11129.8954
		ค่ามากที่สุด	11129.8832	11129.8834	11129.8832	11129.8965
		ค่าน้อยที่สุด	11129.8639	11129.8640	11129.8639	11129.8760
		ค่าเฉลี่ย	11129.8750	11129.8752	11129.8751	11129.8882
		ผลต่างระหว่างค่ามากและค่าน้อย	0.0193	0.0194	0.0193	0.0205
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0051	0.0051	0.0051	0.0062

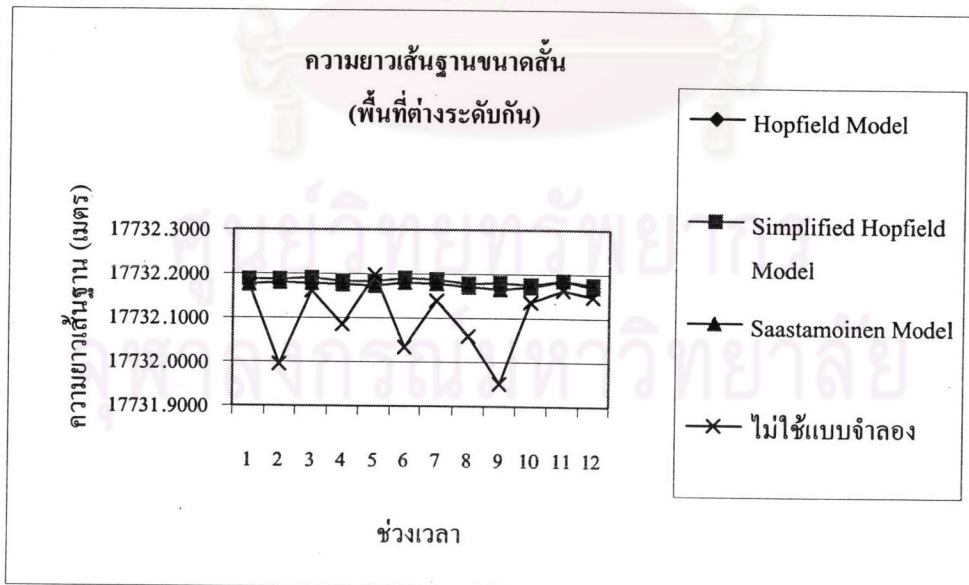
ตารางที่ 4.10 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน)

จำนวน ชั่วโมง	เวลา เริ่มต้น	เวลา สิ้นสุด	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
			Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
2	10:30	12:30	17732.1760	17732.1880	17732.1760	17732.1746
2	12:30	14:30	17732.1806	17732.1873	17732.1807	17731.9954
2	14:30	16:30	17732.1791	17732.1908	17732.1792	17732.1605
2	16:30	18:30	17732.1753	17732.1836	17732.1754	17732.0845
2	18:30	20:30	17732.1720	17732.1831	17732.1721	17732.1971
2	20:30	22:30	17732.1794	17732.1895	17732.1794	17732.0346
2	22:30	00:30	17732.1777	17732.1878	17732.1778	17732.1387
2	00:30	02:30	17732.1717	17732.1791	17732.1717	17732.0593
2	02:30	04:30	17732.1662	17732.1805	17732.1662	17731.9513
2	04:30	06:30	17732.1697	17732.1748	17732.1697	17732.1372
2	06:30	08:30	17732.1861	17732.1854	17732.1862	17732.1645
2	08:30	10:30	17732.1700	17732.1752	17732.1700	17732.1490
		ค่ามากที่สุด	17732.1861	17732.1908	17732.1862	17732.1971
		ค่าน้อยที่สุด	17732.1662	17732.1748	17732.1662	17731.9513
		ค่าเฉลี่ย	17732.1753	17732.1838	17732.1754	17732.1039
		ผลต่างระหว่างค่ามากที่สุดและค่าน้อย	0.0199	0.0160	0.0200	0.2458
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0056	0.0054	0.0057	0.0781

จากการประมวลผลความยาวของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน โดยใช้โปรแกรม SKI - PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำมาทดสอบทางสถิติพบว่า แบบจำลองมาตรฐานทุกแบบจำลองจะให้ผลการทดสอบทางสถิติที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการไม่ใช้แบบจำลองจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 และยังสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese ต่อไป



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช่แบบจำลองมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช่แบบจำลองมาตรฐาน

ตารางที่ 4.11 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI-PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
	Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
	11129.8727	11129.8734	11129.8727	11129.9776
ความยาวเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese	11129.8724			
ผลต่างค่าความยาวเส้นฐานระหว่าง Bernese และ SKI-PRO	-0.0003	-0.0010	-0.0003	-0.1052

ตารางที่ 4.12 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้นด้วยโปรแกรม SKI-PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
	Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
	17732.1775	17732.1865	17732.1775	17732.1371
ความยาวเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese	17732.1845			
ผลต่างค่าความยาวเส้นฐานระหว่าง Bernese และ SKI-PRO	0.007	-0.002	0.007	0.0474

จากตารางที่ 4.11 – 4.12 จะแสดงผลความยาวของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน และพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวน 24 ชั่วโมง) โดยการใช้โปรแกรม SKI-PRO โดยผลการเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง) พบว่า การใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์จะให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่าการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์

จากตารางที่ 4.13 ถึง 4.14 จะแสดงถึงค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรวงรี ในช่วงเส้นฐานขนาดสั้น ในพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวนเปรียบเทียบ

ช่วงละ 2 ชั่วโมง) โดยในแถวแรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ ในแถวที่สองมาคือ ค่าพิกัดจากในยูทีเอ็ม คือ ระยะเหนือ (N) , ระยะตะวันออก (E) และยังคงแสดงถึงค่าความสูงเหนือทรงรี (h) ในแถวที่สามถึงแถวที่สิบสี่ คือ ผลของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI-PRO V.250 และยังคงแสดงถึงผลทดสอบทางสถิติ

จากตารางที่ 4.15 ถึง 4.16 จะแสดงถึงค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรงรี ในช่วงเส้นฐานขนาดสั้น ในพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวนเปรียบเทียบ 24 ชั่วโมง) โดยในแถวแรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ ในแถวที่สองมาคือ ค่าพิกัดจากในยูทีเอ็ม คือ ระยะเหนือ (N) , ระยะตะวันออก (E) และยังคงแสดงถึงค่าความสูงเหนือทรงรี (h) จากโปรแกรม SKI – PRO ในแต่ละแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองใดๆ ในแถวที่สามคือ ค่าพิกัดจากในยูทีเอ็ม คือ ระยะเหนือ (N) , ระยะตะวันออก (E) และยังคงแสดงถึงค่าความสูงเหนือทรงรี (h) จากซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวนเปรียบเทียบที่ 24 ชั่วโมง) ในแถวที่สี่คือ ผลต่างของค่าพิกัดระหว่างซอฟต์แวร์ Bernese กับ โปรแกรม SKI – PRO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดภาคพื้นดินและความสูงเหนือทอร์รี่ ของเส้นฐานขนาดเส้นด้วยซอฟต์แวร์ SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกันรวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ (พื้นที่ระดับเส้นฐานขนาดเส้น (พื้นที่ระดับค่าปกติเดียวกัน))

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูง เหนือทอร์รี่ (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูง เหนือทอร์รี่ (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูง เหนือทอร์รี่ (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูง เหนือทอร์รี่ (เมตร)
	1397561.6907	827650.8245	-1.8834	1397561.6906	827650.8244	-1.8890	1397561.6908	827650.8244	-1.8835	1397561.6809	827650.8111	-1.8525
	1397561.6853	827650.8363	-1.8851	1397561.6853	827650.8361	-1.8915	1397561.6854	827650.8363	-1.8853	1397561.6764	827650.8300	-1.8494
	1397561.6906	827650.8321	-1.8492	1397561.6903	827650.8320	-1.8546	1397561.6905	827650.8322	-1.8494	1397561.6784	827650.8249	-1.8241
	1397561.6919	827650.8250	-1.8369	1397561.6918	827650.8251	-1.8420	1397561.6919	827650.8251	-1.8370	1397561.6837	827650.8190	-1.8145
	1397561.6885	827650.8210	-1.8705	1397561.6883	827650.8209	-1.8759	1397561.6885	827650.8210	-1.8707	1397561.6787	827650.8118	-1.8493
	1397561.7013	827650.8357	-1.8765	1397561.7013	827650.8356	-1.8817	1397561.7013	827650.8358	-1.8766	1397561.6911	827650.8288	-1.8515
	1397561.6921	827650.8325	-1.8809	1397561.6919	827650.8327	-1.8863	1397561.6920	827650.8325	-1.8810	1397561.6831	827650.8193	-1.8538
	1397561.6955	827650.8274	-1.8569	1397561.6955	827650.8273	-1.8622	1397561.6954	827650.8274	-1.8571	1397561.6862	827650.8219	-1.8303
	1397561.6919	827650.8264	-1.8553	1397561.6916	827650.8262	-1.8610	1397561.6918	827650.8263	-1.8555	1397561.6792	827650.8202	-1.8346
	1397561.6875	827650.8344	-1.8658	1397561.6874	827650.8346	-1.8705	1397561.6875	827650.8345	-1.8659	1397561.6779	827650.8227	-1.8391
	1397561.6971	827650.8331	-1.8417	1397561.6969	827650.8332	-1.8469	1397561.6970	827650.8331	-1.8419	1397561.6883	827650.8260	-1.8210
	1397561.6907	827650.8245	-1.8834	1397561.6906	827650.8244	-1.8890	1397561.6908	827650.8244	-1.8835	1397561.6809	827650.8111	-1.8525
ค่ามากที่สุด	1397561.7013	827650.8363	-1.8369	1397561.7013	827650.8361	-1.8420	1397561.7013	827650.8363	-1.8370	1397561.6911	827650.8300	-1.8145
ค่าน้อยที่สุด	1397561.6853	827650.8210	-1.8851	1397561.6853	827650.8209	-1.8915	1397561.6854	827650.8210	-1.8853	1397561.6764	827650.8111	-1.8538
ค่าเฉลี่ย	1397561.6919	827650.8294	-1.8655	1397561.6918	827650.8294	-1.8709	1397561.6919	827650.8294	-1.8656	1397561.6821	827650.8206	-1.8394
ผลต่างระหว่างค่ามากและค่าน้อย	0.0160	0.0153	0.0482	0.0160	0.0152	0.0495	0.0159	0.0153	0.0483	0.0147	0.0189	0.0393
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0043	0.0052	0.0172	0.0044	0.0052	0.0173	0.0043	0.0052	0.0171	0.0045	0.0065	0.0141

ตารางที่ 4.14 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดภาคพื้นดินและความสูงเหนือทรวงรีของเส้นฐานขนาดต้นด้วยซอฟต์แวร์ SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐาน โทร โพลีเออร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน โทร โพลีเออร์ (พื้นที่ตั้งระดับกัน)

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)
	1421202.1750	843951.1030	980.9027	1421202.1775	843951.1091	981.0265	1421202.1750	843951.1031	980.9019	1421202.2517	843951.0359	980.2758
	1421202.1592	843951.1467	980.8408	1421202.1593	843951.1465	980.9634	1421202.1593	843951.1468	980.8405	1421202.0901	843950.9779	980.0841
	1421202.1622	843951.1386	980.8378	1421202.1663	843951.1423	980.9536	1421202.1622	843951.1387	980.8375	1421202.1881	843951.1469	980.0131
	1421202.1623	843951.1328	980.8204	1421202.1643	843951.1334	980.9330	1421202.1623	843951.1328	980.8202	1421202.1042	843951.1416	979.9961
	1421202.1611	843951.1285	980.8166	1421202.1655	843951.1299	980.9369	1421202.1612	843951.1286	980.8164	1421202.1849	843951.2300	979.9768
	1421202.1682	843951.1304	980.8217	1421202.1709	843951.1333	980.9377	1421202.1683	843951.1304	980.8215	1421202.2208	843950.8534	979.8697
	1421202.1723	843951.1262	980.7656	1421202.1765	843951.1268	980.8769	1421202.1724	843951.1261	980.7653	1421202.1661	843951.1311	980.1065
	1421202.1626	843951.1297	980.7756	1421202.1633	843951.1308	980.8913	1421202.1627	843951.1297	980.7753	1421202.0956	843951.0876	980.1641
	1421202.1555	843951.1306	980.7795	1421202.1616	843951.1358	980.8976	1421202.1556	843951.1305	980.7793	1421202.0506	843950.9752	979.9245
	1421202.1537	843951.1424	980.7647	1421202.1553	843951.1382	980.8716	1421202.1538	843951.1423	980.7644	1421202.1643	843951.1228	980.1842
	1421202.1762	843951.1304	980.8195	1421202.1717	843951.1326	980.8574	1421202.1762	843951.1304	980.8193	1421202.1800	843951.1472	980.2118
	1421202.1662	843951.1263	980.7191	1421202.1671	843951.1244	980.8172	1421202.1663	843951.1263	980.7189	1421202.2778	843951.0134	979.6034
ค่ามากที่สุด	1421202.1762	843951.1467	980.9027	1421202.1775	843951.1465	981.0265	1421202.1762	843951.1468	980.9019	1421202.2778	843951.2300	980.2758
ค่าน้อยที่สุด	1421202.1537	843951.1262	980.7191	1421202.1553	843951.1244	980.8172	1421202.1538	843951.1261	980.7189	1421202.0506	843950.8534	979.6034
ค่าเฉลี่ย	1421202.1645	843951.1305	980.8053	1421202.1666	843951.1319	980.9136	1421202.1646	843951.1305	980.8050	1421202.1645	843951.0719	980.0342
ผลต่างระหว่างค่ามากที่สุดและค่าน้อย	0.0225	0.0437	0.1836	0.0222	0.0374	0.2093	0.0224	0.0437	0.1830	0.2272	0.3766	0.6724
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0072	0.0108	0.0475	0.0066	0.0095	0.0561	0.0072	0.0107	0.0474	0.0686	0.1036	0.1826

ตารางที่ 4.15 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดค่าพิกัดความสูงเหนือทรวงรี ของเส้นฐานขนาดสั้น ด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐาน โทร โพลีเพียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน โทร โพลีเพียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)
พิกัดจาก Bemese	1397561.6944	827650.8302	-1.8677	1397561.6930	827650.8307	-1.8614	1397561.6944	827650.8301	-1.8682	1397561.6805	827650.6885	-1.8628
ผลต่างค่าพิกัดระหว่าง Bemese และ SKI - PRO	-0.0008	0.0012	0.0130	0.0006	0.0007	0.0067	-0.0008	0.0013	0.0135	0.0131	0.1429	0.0081

ตารางที่ 4.16 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดค่าพิกัดความสูงเหนือทรวงรี ของเส้นฐานขนาดสั้น ด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐาน โทร โพลีเพียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน โทร โพลีเพียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดสั้น (พื้นที่ต่างระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงรี (เมตร)
พิกัดจาก Bemese	1421202.1641	843951.1342	980.8181	1421202.1693	843951.1321	980.9200	1421202.1641	843951.1342	980.8179	1421202.2068	843951.0472	980.1988
ผลต่างค่าพิกัดระหว่าง Bemese และ SKI - PRO	0.0050	0.0018	0.0321	-0.0002	0.0039	-0.0698	0.0050	0.0018	0.0323	-0.0377	0.0888	0.6514

จากตารางที่ 4.13 จากการประมวลผลค่าพิกัดฉากของระยะเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน (ช่วงละ 2 ชั่วโมง) โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำมาทดสอบทางสถิติพบว่า การใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ และการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลการทดสอบทางสถิติที่ใกล้เคียงกัน และยังสามารถนำผลลัพธ์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese ต่อไป

จากตารางที่ 4.14 จากการประมวลผลค่าพิกัดฉากของระยะเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน (ช่วงละ 2 ชั่วโมง) โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำมาทดสอบทางสถิติพบว่า การใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลการทดสอบทางสถิติที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป และยังสามารถนำผลลัพธ์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese ต่อไป

จากตารางที่ 4.15 – 4.16 จากการประมวลผลค่าพิกัดฉากของระยะเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวน 24 ชั่วโมง) โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำผลลัพธ์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง) พบว่าทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันมากที่สุด เมื่อเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์

4.4.2 การประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง

ในการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ซึ่งก็คือ ขนาดเส้นฐานในช่วง 20 – 100 กิโลเมตร วิธีที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลเส้นในเส้นฐานดังกล่าวคือ Ionosphere – free solution ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลที่ดีสำหรับเส้นฐานขนาดยาว โดยใช้หลักการเกี่ยวกับการประมวลผลเส้นฐานขนาดสั้น เนื่องจากเส้นฐานมีขนาดยาว จึงทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ มากตามขนาดของความยาวเส้นฐาน จึงไม่สามารถ Fix ambiguity ได้ ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการคำนวณค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนจริง (Real number) และการในประมวลผลดังกล่าวนี้ใช้หลักการเกี่ยวกับการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese ในการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI-PRO สำหรับเส้นฐานขนาดกลางสามารถที่จะทำการประมวลผลเส้นฐานได้โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดหรือเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล เนื่องจากในโปรแกรม SKI-PRO จะทำการประมวลผลด้วยวิธีดังกล่าวเองอัตโนมัติ เมื่อเส้นฐานนั้นยาวเกินกว่า 20 กิโลเมตร

จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลางโดยใช้โปรแกรม SKI – PRO V. 2.50 ของแต่ละแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐาน โดยทำการเลือกช่วงข้อมูลออกเป็นช่วง ๆ ช่วงละ 3 ชั่วโมง จะแสดงผลในตารางที่ 4.17 ถึง 4.18 ซึ่งใน

สคมภ์แรกเป็นจำนวนชั่วโมงที่ทำการประมวลผลข้อมูล สคมภ์ที่สองและสคมภ์ที่สามเป็นเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดในการประมวลผลข้อมูล ในสคมภ์ที่สี่เป็นความยาวของเส้นฐานในแต่ละแบบจำลอง รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม SKI – PRO และผลทดสอบทางสถิติ (เวลาในตารางเป็นเวลาในการรันวัด)

ในตารางที่ 4.19 ถึง 4.20 จะแสดงถึงความยาวเส้นฐานขนาดกลาง ในพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวนเปรียบเทียบ 24 ชั่วโมง) โดยในแถวแรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ ในแถวที่สองมาคือ ความยาวเส้นฐานในแต่ละแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองใด ๆ ในแถวที่สามคือ ความยาวเส้นฐานที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวนเปรียบเทียบที่ 24 ชั่วโมง) ในแถวที่สี่คือ ผลต่างของความยาวเส้นฐานระหว่างซอฟต์แวร์ Bernese กับ โปรแกรม SKI – PRO

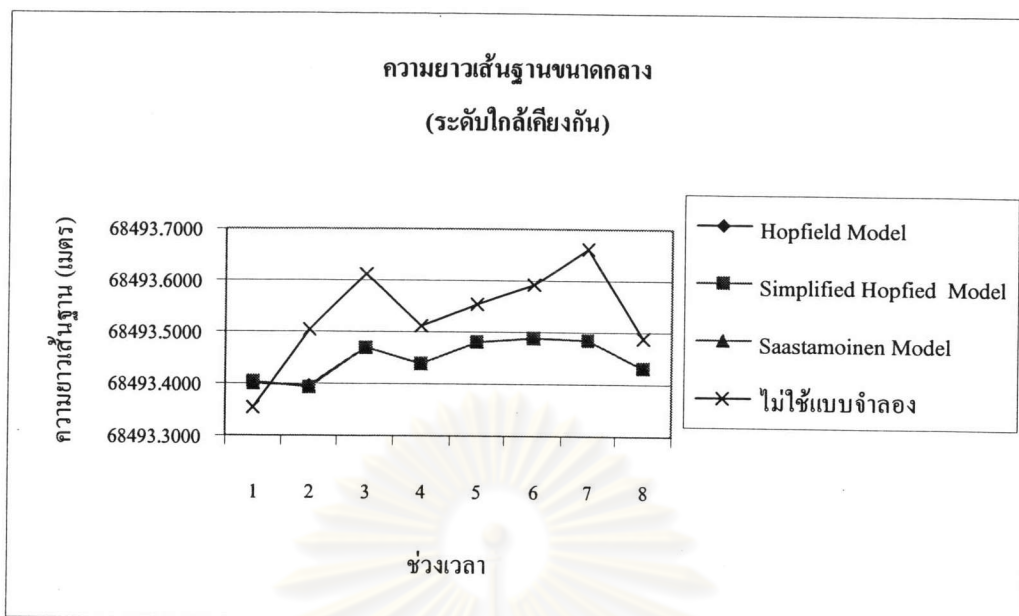
ตารางที่ 4.17 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน)

จำนวน ชั่วโมง	เวลา เริ่มต้น	เวลา สิ้นสุด	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
			Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้ แบบจำลอง
3	08:00	11:00	68493.4016	68493.4031	68493.4015	68493.3520
3	11:00	14:00	68493.3946	68493.3942	68493.3951	68493.5027
3	14:00	17:00	68493.4692	68493.4685	68493.4696	68493.6115
3	17:00	20:00	68493.4372	68493.4373	68493.4374	68493.5111
3	20:00	23:00	68493.4791	68493.4794	68493.4793	68493.5524
3	23:00	02:00	68493.4876	68493.4871	68493.4878	68493.5926
3	02:00	05:00	68493.4847	68493.4841	68493.4852	68493.6624
3	05:00	08:00	68493.4298	68493.4297	68493.4299	68493.4899
		ค่ามากที่สุด	68493.4876	68493.4871	68493.4878	68493.6624
		ค่าน้อยที่สุด	68493.3946	68493.3942	68493.3951	68493.3520
		ค่าเฉลี่ย	68493.4480	68493.4479	68493.4482	68493.5343
		ผลต่างระหว่างค่ามากที่สุดและค่าน้อย	0.0930	0.0929	0.0927	0.1725
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0374	0.0370	0.0374	0.0947

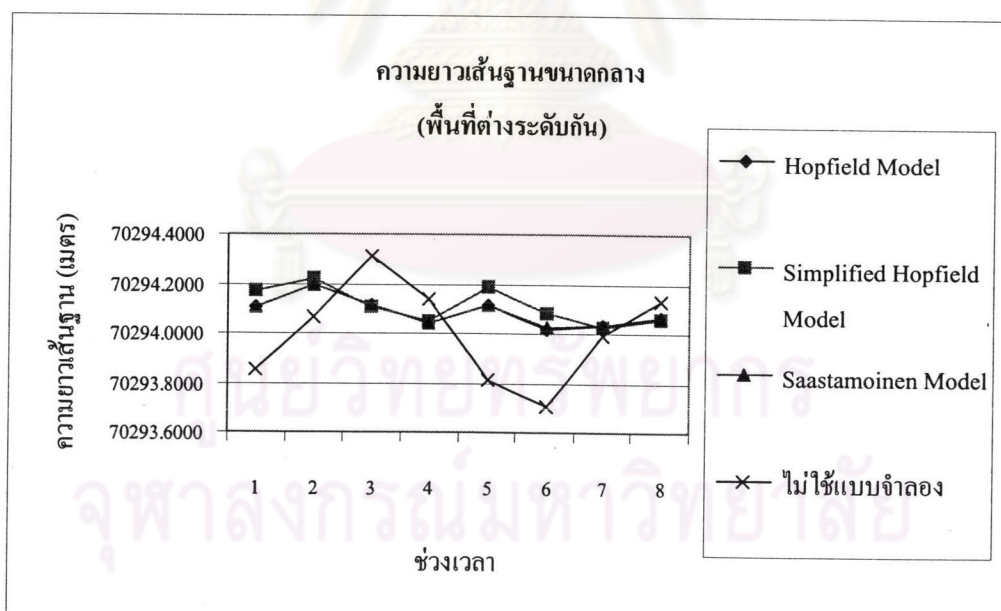
ตารางที่ 4.18 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน)

จำนวน ชั่วโมง	เวลา เริ่มต้น	เวลา สิ้นสุด	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
			Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
3	08:00	11:00	70294.1074	70294.1755	70294.1072	70293.8513
3	11:00	14:00	70294.1987	70294.2184	70294.1992	70294.0618
3	14:00	17:00	70294.1157	70294.1021	70294.1158	70294.3085
3	17:00	20:00	70294.0429	70294.0489	70294.0428	70294.1417
3	20:00	23:00	70294.1141	70294.1867	70294.1141	70293.8140
3	23:00	02:00	70294.0204	70294.0808	70294.0210	70293.7075
3	02:00	05:00	70294.0299	70294.0252	70294.0303	70293.9957
3	05:00	08:00	70294.0643	70294.0574	70294.0642	70294.1294
		ค่ามากที่สุด	70294.1987	70294.2184	70294.1992	70294.3085
		ค่าน้อยที่สุด	70294.0204	70294.0252	70294.0210	70293.7075
		ค่าเฉลี่ย	70294.0867	70294.1119	70294.0868	70294.0012
		ผลต่างระหว่างค่ามากที่สุดและค่าน้อย	0.1783	0.1932	0.1782	0.6010
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0593	0.0722	0.0593	0.1993

จากการประมวลผลความยาวของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำมาทดสอบทางสถิติพบว่า แบบจำลองมาตรฐานทุกแบบจำลองจะมีผลการทดสอบทางสถิติที่ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการไม่ใช้แบบจำลองจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.4 - 4.5 และยังสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese ต่อไป



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช่แบบจำลองมาตรฐาน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน) ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช่แบบจำลองมาตรฐาน

ตารางที่ 4.19 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
	Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
	68493.4408	68493.4405	68493.4410	68493.5311
ความยาวเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese	68493.4332			
ผลต่างค่าความยาวเส้นฐานระหว่าง Bernese และ SKI-PRO	-0.0076	-0.0073	-0.0078	-0.0979

ตารางที่ 4.20 ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานขนาดกลาง ด้วยโปรแกรม SKI – PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	ความยาวของเส้นฐาน (เมตร)			
	Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
	70294.0780	70294.0801	70294.0781	70294.1555
ความยาวเส้นฐานจากซอฟต์แวร์ Bernese	70294.0768			
ผลต่างค่าความยาวเส้นฐานระหว่าง Bernese และ SKI-PRO	-0.0012	-0.0033	-0.0013	-0.0787

จากตารางที่ 4.19 – 4.20 จะแสดงผลความยาวของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน และพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวน 24 ชั่วโมง) โดยการใช้โปรแกรม SKI-PRO ผลการเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง) พบว่า การใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์จะให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากกว่าการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์

จากตารางที่ 4.21 ถึง 4.22 จะแสดงถึงค่าพิกัดจากยูทีเอ็ม และค่าความสูงเหนือทอร์รี ในช่วงเส้นฐานขนาดกลาง ในพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวนเปรียบเทียบ

3 ชั่วโมง) โดยในแถวแรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ ในแถวที่สองคือ ค่าพิกัดจากยูทีเอ็ม คือ ระยะเหนือ (N) , ระยะตะวันออก (E) และยังคงค่าความสูงเหนือทรงรี (h) ในแถวที่สามถึงแถวที่สี่ คือ ผลของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดจากด้วยโปรแกรม SKI-PRO V.250 และ แสดงผลทดสอบทางสถิติ

จากตารางที่ 4.23 ถึง 4.24 จะแสดงถึงค่าพิกัดจากยูทีเอ็มและค่าความสูงเหนือทรงรี ในช่วงเส้นฐานขนาดกลาง ในพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวนเปรียบเทียบ 24 ชั่วโมง) โดยในแถวแรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานของโทรโพสเฟียร์ ในแถวที่สองมาคือ ค่าพิกัดจากในยูทีเอ็ม คือ ระยะเหนือ (N) , ระยะตะวันออก (E) และยังคงค่าความสูงเหนือทรงรี (h) จาก โปรแกรม SKI – PRO ในแต่ละแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองใด ๆ ในแถวที่สามคือ ค่าพิกัดจากในยูทีเอ็ม คือ ระยะเหนือ (N) , ระยะตะวันออก (E) และยังคงค่าความสูงเหนือทรงรี (h) จากซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวนเปรียบเทียบที่ 24 ชั่วโมง) ในแถวที่สี่คือ ผลต่างของค่าพิกัดจากระหว่างซอฟต์แวร์ Bernese กับ โปรแกรม SKI – PRO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดค่าที่เชื่อมและค่าความสูงเหนือทงรี ของเส้นฐานขนาดต้นด้วยซอฟต์แวร์ SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับระดับใกล้เคียงกัน

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทงรี (เมตร)
	1487880.4569	735044.6954	-17.8781	1487880.4571	735044.6929	-17.8834	1487880.4572	735044.6959	-17.8780	1487880.5392	735044.9002	-17.7109
	1487880.4287	735044.6757	-17.9187	1487880.4285	735044.6758	-17.9229	1487880.4289	735044.6751	-17.9187	1487880.4770	735044.5557	-17.9776
	1487880.4343	735044.5458	-17.8295	1487880.4340	735044.5466	-17.8341	1487880.4345	735044.5455	-17.8293	1487880.5140	735044.4125	-17.7482
	1487880.4762	735044.6597	-18.0177	1487880.4763	735044.6595	-18.0232	1487880.4764	735044.6596	-18.0176	1487880.5480	735044.6344	-17.8757
	1487880.4610	735044.5655	-17.9678	1487880.4607	735044.5647	-17.9724	1487880.4612	735044.5654	-17.9683	1487880.5560	735044.5738	-17.9156
	1487880.4771	735044.5740	-17.9234	1487880.4768	735044.5744	-17.9279	1487880.4773	735044.5740	-17.9234	1487880.5579	735044.5069	-17.8457
	1487880.4655	735044.5626	-17.9184	1487880.4653	735044.5635	-17.9233	1487880.4656	735044.5620	-17.9190	1487880.5290	735044.3442	-17.8579
	1487880.4560	735044.6442	-17.9680	1487880.4560	735044.6443	-17.9732	1487880.4562	735044.6442	-17.9679	1487880.5210	735044.6331	-17.8481
ค่ามากที่สุด	1487880.4771	735044.6954	-17.8295	1487880.4768	735044.6929	-17.8341	1487880.4773	735044.6959	-17.8293	1487880.5579	735044.9002	-17.7109
ค่าน้อยที่สุด	1487880.4287	735044.5458	-18.0177	1487880.4285	735044.5466	-18.0232	1487880.4289	735044.5455	-18.0176	1487880.4770	735044.3442	-17.9776
ค่าเฉลี่ย	1487880.4570	735044.6154	-17.9277	1487880.4568	735044.6152	-17.9326	1487880.4572	735044.6152	-17.9278	1487880.5303	735044.5701	-17.8475
ผลต่างระหว่างค่ามากและค่าน้อย	0.0484	0.1496	0.1882	0.0483	0.1463	0.1891	0.0484	0.1504	0.1883	0.0809	0.5560	0.2667
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0176	0.0594	0.0581	0.0177	0.0587	0.0583	0.0176	0.0595	0.0582	0.0268	0.1678	0.0853

ตารางที่ 4.22 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดมากุทีเอ็มและความสูงเหนือทรวงี ของเส้นฐานขนาดต้นด้วยซอฟต์แวร์ SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน)

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรวงี (เมตร)
	1421201.9241	843952.1766	980.3795	1421201.9222	843952.2426	980.5178	1421201.9240	843952.1764	980.3795	1421201.9227	843951.9374	979.3336
	1421201.9310	843952.2718	980.2902	1421201.9380	843952.2905	980.4101	1421201.9309	843952.2723	980.2901	1421201.8386	843952.1342	979.5182
	1421201.9265	843952.1856	980.3631	1421201.9350	843952.1707	980.4870	1421201.9264	843952.1858	980.3629	1421201.8941	843952.3933	979.4753
	1421201.9709	843952.1197	980.3077	1421201.9682	843952.1228	980.4464	1421201.9709	843952.1197	980.3080	1421201.9550	843952.2361	979.3504
	1421201.9239	843952.1835	980.3718	1421201.9181	843952.2533	980.5103	1421201.9239	843952.1835	980.3716	1421201.9264	843951.8954	979.5772
	1421201.9531	843952.0935	980.3509	1421201.9517	843952.1518	980.4804	1421201.9530	843952.0941	980.3509	1421201.9479	843951.7901	979.6162
	1421201.9423	843952.1007	980.3874	1421201.9489	843952.0946	980.5075	1421201.9424	843952.1011	980.3876	1421201.9227	843952.0764	979.7088
	1421201.9589	843952.1387	980.3538	1421201.9589	843952.1291	980.4882	1421201.9588	843952.1386	980.3537	1421201.9456	843952.2178	979.5764
ค่ามากที่สุด	1421201.9709	843952.2718	980.3874	1421201.9682	843952.2905	980.5178	1421201.9709	843952.2723	980.3876	1421201.9550	843952.3933	979.7088
ค่าน้อยที่สุด	1421201.9239	843952.0935	980.2902	1421201.9181	843952.0946	980.4101	1421201.9239	843952.0941	980.2901	1421201.8386	843951.7901	979.3336
ค่าเฉลี่ย	1421201.9413	843952.1588	980.3506	1421201.9426	843952.1819	980.4810	1421201.9413	843952.1589	980.3505	1421201.9191	843952.0851	979.5195
ผลต่างระหว่างค่ามากและค่าน้อย	0.0470	0.1783	0.0972	0.0501	0.1959	0.1077	0.0470	0.1782	0.0975	0.1164	0.6032	0.3752
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0179	0.0585	0.0344	0.0175	0.0712	0.0363	0.0179	0.0585	0.0344	0.0378	0.2010	0.1292

ตารางที่ 4.23 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดภายในที่เื่อมและความสูงเหนือทรงรีของเส้นฐานขนาดกลางด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ระดับใกล้ถึง) จำนวน 24 ชั่วโมง

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)
พิกัดจาก Bemese	1487880.4540	735044.6226	-17.9188	1487880.4537	735044.6228	-17.9233	1487880.4541	735044.6224	-17.9189	1487880.5265	735044.5691	-17.8620
ผลต่างค่าพิกัดกรระหว่าง Bemese และ SKI - PRO	1487880.4495	735044.6296	-17.9030	1487880.4495	735044.6296	-17.9030	1487880.4495	735044.6296	-17.9030	1487880.4495	735044.6296	-17.9030
	-0.0045	0.0070	0.0158	-0.0042	0.0068	0.0203	-0.0046	0.0072	0.0159	-0.0770	0.0605	-0.0410

ตารางที่ 4.24 ผลที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดภายในที่เื่อมและความสูงเหนือทรงรีของเส้นฐานขนาดกลางด้วยโปรแกรม SKI - PRO ที่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ สำหรับเส้นฐานขนาดกลาง (พื้นที่ต่างระดับกัน) จำนวน 24 ชั่วโมง

	Hopfield Model			Simplified Hopfield Model			Saastamoinen Model			ไม่ใช้แบบจำลอง		
	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)	ระยะเหนือ (เมตร)	ระยะ ตะวันออก (เมตร)	ความสูงเหนือทรงรี (เมตร)
พิกัดจาก Bemese	1421201.9420	843952.1498	980.3625	1421201.9462	843952.1501	980.4895	1421201.9420	843952.1500	980.3623	1421201.9024	843952.2379	979.5675
ผลต่างค่าพิกัดกรระหว่าง Bemese และ SKI - PRO	1421201.9486	843952.1505	980.4107	1421201.9486	843952.1505	980.4107	1421201.9486	843952.1505	980.4107	1421201.9486	843952.1505	980.4107
	0.0066	0.0007	0.0482	0.0024	0.0004	-0.0788	0.0066	0.0005	0.0484	0.0462	-0.0874	0.8432

จากตารางที่ 4.21 – 4.22 จากการประมวลผลค่าพิกัดจากของระยะเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (ช่วงละ 3 ชั่วโมง) โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำมาทดสอบทางสถิติพบว่า การใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลการทดสอบทางสถิติที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป และยังสามารถนำผลลัพธ์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese ต่อไป

จากตารางที่ 4.23 – 4.24 จากการประมวลผลค่าพิกัดจากของระยะเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน (จำนวน 24 ชั่วโมง) โดยใช้โปรแกรม SKI – PRO และเลือกใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ แล้วนำผลลัพธ์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Bernese (จำนวน 24 ชั่วโมง) พบว่า ทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ จะให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันมากที่สุด เมื่อเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์

4.5 การหาค่า Root Mean Square Error (RMSE)

ในการทดสอบผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI-PRO นี้ จะเป็นการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO โดยเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณมีสูตรดังต่อไปนี้ และสามารถแสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบ แสดงดังตารางที่ 4.26 ถึง 4.29

สูตรที่แสดงต่อไปนี้จะเป็นการหาค่าความผิดพลาดของค่าพิกัดจากของแต่ละแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ในโปรแกรม SKI-PRO ที่เปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese ว่ามีความแตกต่างกันน้อยเพียงใด เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิงผลต่อไป (FGDC, 1998) ดังสมการต่อไปนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - N)^2}{n}} \quad (4.1)$$

โดยกำหนดให้

N_i = ค่าพิกัดจากของระยะเหนือ แต่ละแบบจำลองจากโปรแกรม SKI-PRO

N = ค่าพิกัดจากระยะเหนือที่อ้างอิงจากซอฟต์แวร์ Bernese

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ในส่วนของพิกัดของระยะตะวันออก และ ค่าความสูงเหนือทรงรี ก็ทำในทำนองเดียวกันตามสูตรข้างต้น

จากการหาค่า RMSE แต่ละแกน สามารถที่จะหาค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง ที่จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ได้ตามสูตร ดังนี้ (FGDC, 1998)

$$RMSE_H = \sqrt{(RMSE_N)^2 + (RMSE_E)^2} \quad (4.2)$$

$$RMSE_V = RMSE_h \quad (4.3)$$

ในตารางที่ 4.25 ถึง 4.28 จะแสดงถึงผลลัพธ์ของการหาค่า RMSE ของแกนราบและแกนตั้ง หลังจากการประมวลผลค่าพิกัดจากเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากโปรแกรม SKI-PRO ของแต่ละแบบจำลองมาตรฐานรวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ของเส้นฐานขนาดสั้น และขนาดกลาง ในพื้นที่ที่มีระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ที่ต่างระดับกัน ที่จำนวนเปรียบเทียบ 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วนำค่าพิกัดจากนั้นมาทำการเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese ตามสูตรที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.25 การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese

แบบจำลอง	ทางราบ (เมตร)	ทางตั้ง (เมตร)
Saastamoinen	0.007	0.019
Hopfield	0.007	0.019
Simplified Hopfield	0.007	0.023
ไม่ใช้แบบจำลอง	0.017	0.020

ตารางที่ 4.26 การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากซอฟต์แวร์ Bernese

แบบจำลอง	ทางราบ (เมตร)	ทางตั้ง (เมตร)
Saastamoinen	0.014	0.064
Hopfield	0.014	0.064
Simplified Hopfield	0.012	0.083
ไม่ใช้แบบจำลอง	0.135	0.835

ตารางที่ 4.27 การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากจากซอฟต์แวร์ Bernese

แบบจำลอง	ทางราบ (เมตร)	ทางตั้ง (เมตร)
Saastamoinen	0.060	0.060
Hopfield	0.060	0.060
Simplified Hopfield	0.060	0.062
ไม่ใช่แบบจำลอง	0.188	0.097

ตารางที่ 4.28 การหาค่า RMSE ค่าพิกัดจากแต่ละแกน ณ.เส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน โดยการนำผลค่าพิกัดจากจากโปรแกรม SKI-PRO มาเปรียบเทียบกับผลพิกัดจากจากซอฟต์แวร์ Bernese

แบบจำลอง	ทางราบ (เมตร)	ทางตั้ง (เมตร)
Saastamoinen	0.058	0.068
Hopfield	0.058	0.068
Simplified Hopfield	0.076	0.078
ไม่ใช่แบบจำลอง	0.204	0.899

4.6 การทดสอบค่าทางสถิติ

ในการทดสอบผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI-PRO นี้จะเป็นการหาค่าความแตกต่างของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese โดยใช้ข้อมูลจากซอฟต์แวร์ที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าความแตกต่างของค่า RMSE มีระดับนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งวิธีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์นี้จะใช้วิธีการทางสถิติคือ การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing) ถ้าผลการทดสอบที่ได้บ่งชี้ว่าค่าความแตกต่างดังกล่าวมีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ ก็จะไม่นำแบบจำลองมาตรฐานที่ได้นำมาใช้เป็นแบบจำลองมาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทยเป็นแบบจำลองอ้างอิงต่อไป แต่ถ้าผลการทดสอบที่ได้บ่งชี้ว่าไม่มีค่าความแตกต่างในระดับนัยสำคัญก็จะนำแบบจำลองมาตรฐานนั้นมาใช้เป็นแบบจำลองอ้างอิงต่อไป โดยมีรายละเอียดของการทดสอบสมมุติฐานดังนี้

จากผลของการประมวลผลที่ได้ นั่นคือค่า RMSE ซึ่งเปรียบเสมือนกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยทำการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งวิธีที่ทำการทดสอบทางสถิติคือ F – test และทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 % ซึ่งแสดงได้ดังสมการดังนี้ (Fisher and Yates, 1963)

$$F = \frac{(RMSE_{H_1}^2)^2}{(RMSE_{H_2}^2)^2} \quad (4.4)$$

โดยกำหนดให้

$RMSE_{H_1}^2$ = ค่า RMSE ที่ได้จากแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่อ้างอิง
เปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese ที่มีค่าน้อยสุด

$RMSE_{H_2}^2$ = ค่า RMSE ที่ได้จากแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่เปรียบเทียบกับ
ซอฟต์แวร์ Bernese ภายในกลุ่มเดียวกัน

ในการทดสอบค่าทางสถิติจะใช้ F-test ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ค่า

$$F_{\alpha/2=0.025} = 3.4737, F_{1-\alpha/2=0.975} = 0.2879 \quad (\text{เส้นฐานขนาดสั้น})$$

$$F_{\alpha/2=0.025} = 4.9949, F_{1-\alpha/2=0.975} = 0.2002 \quad (\text{เส้นฐานขนาดกลาง})$$

โดยทำการทดสอบสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

จากนั้นจึงทำการทดสอบในแต่ละแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ โดยแทนค่าต่าง ๆ
ในสมการที่ (4.4) และนำค่า F ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับช่วงเส้นฐานขนาดสั้นและขนาด
กลาง ตามลำดับ คือ ในช่วงเส้นฐานขนาดสั้น $F_{\alpha/2=0.025} = 3.4737, F_{1-\alpha/2=0.975} = 0.2879$
ในช่วงเส้นฐานขนาดกลาง $F_{\alpha/2=0.025} = 4.9949, F_{1-\alpha/2=0.975} = 0.2002$ ถ้าค่า F ที่คำนวณได้
อยู่ระหว่าง 0.2879 ถึง 3.4737 และ ถ้าค่า F ที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 0.2002 ถึง 4.9949 จะยอมรับ
ค่า H_0 แต่ถ้าค่า F อยู่นอกเหนือค่าดังกล่าว จะปฏิเสธ H_0

เมื่อนำค่า F ที่คำนวณได้ในเส้นฐานแต่ละช่วงของแบบจำลองมาตรฐานต่าง ๆ มา
เปรียบเทียบกับค่า กับ $F_{\alpha/2=0.025} = 3.4737, F_{1-\alpha/2=0.975} = 0.2879$ และ $F_{\alpha/2=0.025} =$
 $4.9949, F_{1-\alpha/2=0.975} = 0.2002$ ซึ่งถ้าค่า F อยู่ระหว่างนี้ช่วงที่กำหนดจึงยอมรับ H_0
สามารถสรุปได้ว่าค่าต่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และ
สามารถสรุปได้ว่าค่าต่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

ในการทดสอบค่าทางสถิตินั้นจะทำการการเปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง
มาตรฐานรวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานที่เส้นฐานขนาดสั้นและขนาดกลาง ในพื้นที่ที่ระดับ
ใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกันมาเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese ในกรณีเช่นเดียวกัน ว่าค่า
ต่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยการนำค่าที่กักฉากในแต่ละแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่กักฉาก
ของซอฟต์แวร์ Bernese ตามสมการที่ 4.1 เพื่อศึกษาว่าแบบจำลองชนิดใดในโปรแกรม SKI-PRO
ให้ค่า RMSE น้อยที่สุด แล้วนำแบบจำลองมาตรฐานที่เหลือมาทำการทดสอบทางสถิติ โดยให้

แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่มีค่า RMSE น้อยที่สุดเป็นตัวอ้างอิง ค่าในตารางที่แสดงจะนำค่า RMSE ที่ได้เปลี่ยนเป็นค่าความแปรปรวนจากนั้นทำการทดสอบทางสถิติดังกล่าว ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 4.29 ถึง 4.36

ตารางที่ 4.29 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00005		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00005		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00005		ค่าอ้างอิง
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.00032	0.1512	ปฏิเสธ H_0

ตารางที่ 4.30 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Simplified Hopfield	0.00014		ค่าอ้างอิง
Saastamoinen	0.00020	0.7347	ยอมรับ H_0
Hopfield	0.00020	0.7347	ยอมรับ H_0
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.01823	0.0079	ปฏิเสธ H_0

ตารางที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00360		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00360		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00360		ค่าอ้างอิง
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.03534	0.1019	ปฏิเสธ H_0

ตารางที่ 4.32 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางราบ ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00336		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00336		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00578	0.5824	ยอมรับ H_0
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.04162	0.0808	ปฏิเสธ H_0

ตารางที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางคิง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00036		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00036		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00053	0.6824	ยอมรับ H_0
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.00040	0.9025	ยอมรับ H_0

ตารางที่ 4.34 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางคิง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00410		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00410		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00689	0.5946	ยอมรับ H_0
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.69556	0.0059	ปฏิเสธ H_0

ตารางที่ 4.35 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางคิง ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ระดับใกล้เคียงกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00360		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00360		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00384	0.9365	ยอมรับ H_0
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.00941	0.3826	ยอมรับ H_0

ตารางที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ F – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ตำแหน่งทางคิ่ง ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน

แบบจำลอง	ค่าความแปรปรวน	F – test	ผลการทดสอบ
Saastamoinen	0.00462		ค่าอ้างอิง
Hopfield	0.00462		ค่าอ้างอิง
Simplified Hopfield	0.00608	0.7600	ยอมรับ H_0
ไม่ใช่แบบจำลองใดๆ	0.80820	0.0057	ปฏิเสธ H_0

จากผลการทดสอบสมมุติฐานกับทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ในส่วนของเส้นฐานขนาดสั้นและเส้นฐานขนาดกลาง ทั้งพื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน โดยพิจารณาค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่คำนวณได้จากการทดสอบทางสถิติ ในส่วนของตำแหน่งทางราบและตำแหน่งทางคิ่ง ดังตารางที่ 4.29 ถึง ตารางที่ 4.36 พบว่าในส่วนตำแหน่งทางราบผลลัพธ์ของค่าความแปรปรวนในทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ ไม่มีค่าความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกแบบจำลองมาตรฐาน ในส่วนตำแหน่งทางคิ่งผลลัพธ์ของค่าความแปรปรวนในทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ไม่มีค่าความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกแบบจำลองมาตรฐานเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese กว่าแบบจำลองอื่นๆ คือ Saastamoinen Model และ Hopfield Model

4.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation)

นอกจากจะนำผลของค่าพิกัดฉากมาทำการทดสอบทางสถิติ เพื่อหาข้อสรุปว่าแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ชนิดใดสอดคล้องมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Bernese แล้ว ยังจะนำผลของค่าความต่างของความดันบรรยากาศและผลต่างอุณหภูมิในระหว่างจุด 2 จุด ขณะที่ทำการรังวัด ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละเส้นฐาน ในพื้นที่ที่แตกต่างกันมาทำการทดสอบว่าจะมีความสัมพันธ์กับผลต่างของค่าพิกัด ที่ได้จากการประมวลด้วยโปรแกรม SKI - PRO มากน้อยเพียงใด โดยใช้สมการของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยมีสูตรดังสมการดังนี้ (Miltun and Arnold, 2004)

$$r = \frac{\Sigma(M - \bar{M})(N - \bar{N})}{\sqrt{\Sigma(M - \bar{M})^2 \cdot \Sigma(N - \bar{N})^2}} \quad (4.5)$$

โดยที่

- r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- M, N = คู่ลำดับของผลต่างพิกัดฉากกับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างจุด 2 จุด และคู่ลำดับของผลต่างพิกัดฉากกับผลต่างของความดันบรรยากาศระหว่างจุด 2 จุด ในการรังวัด
- $\overline{M}, \overline{N}$ = ผลต่างของอุณหภูมิและความดันบรรยากาศระหว่างจุด 2 จุด ในการรังวัด
- r = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1
- ถ้าค่า r = +1 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์แบบตามกัน
- r = 0 แสดงว่าตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน
- r = -1 แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์แบบกลับกัน

ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะทำการหาค่าในส่วนของค่าต่างของค่าพิกัดฉาก และส่วนต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดสั้นและเส้นฐานขนาดกลาง ทั้งในส่วน of พื้นที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน ในทุกแบบจำลองมาตรฐาน รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ในทุกช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ โดยจะนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและความดันบรรยากาศเฉลี่ยในขณะรังวัดของตำแหน่งทั้งสอง โดยใช้ตำแหน่งโรงเรียน วัดชำ โสมเป็นจุดเปรียบเทียบของเส้นฐานขนาดสั้น และโรงพยาบาลวังจันทร์เป็นจุดเปรียบเทียบของเส้นฐานขนาดกลาง จะแสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 4.37 ถึง 4.40

ในสดมภ์แรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานที่ใช้ ในสดมภ์ที่สองและสดมภ์ที่สี่ จะแสดงถึงความสัมพันธ์ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิ ผลต่างของค่าพิกัดฉาก, ผลต่างระหว่างอุณหภูมิผลต่างทางด้านความสูง และ ค่าผลต่างระหว่างความดันบรรยากาศ ผลต่างของค่าพิกัดฉากค่า, ผลต่างระหว่างความดันบรรยากาศกับผลต่างทางด้านความสูง ในสดมภ์ที่สามและสดมภ์ที่ห้า จะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้ตามสมการที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.37 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกต์ฉาก($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกต์ฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดสั้น (ต่างระดับกัน)

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	0.3760	($\Delta P, \Delta N$)	0.1127
	($\Delta T, \Delta E$)	0.2707	($\Delta P, \Delta E$)	-0.3174
	($\Delta T, \Delta h$)	0.4845	($\Delta P, \Delta h$)	-0.4388
Simplified Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	0.2712	($\Delta P, \Delta N$)	0.1615
	($\Delta T, \Delta E$)	0.2333	($\Delta P, \Delta E$)	-0.3709
	($\Delta T, \Delta h$)	0.3716	($\Delta P, \Delta h$)	-0.3630
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	0.2377	($\Delta P, \Delta N$)	0.1922
	($\Delta T, \Delta E$)	0.1144	($\Delta P, \Delta E$)	-0.3635
	($\Delta T, \Delta h$)	0.4809	($\Delta P, \Delta h$)	-0.4354
ไม่ใช้แบบจำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	0.1523	($\Delta P, \Delta N$)	0.0183
	($\Delta T, \Delta E$)	-0.1278	($\Delta P, \Delta E$)	-0.2562
	($\Delta T, \Delta h$)	-0.1509	($\Delta P, \Delta h$)	-0.2011

หมายเหตุ ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
 ΔP คือ ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
 ΔN คือ ค่าผลต่างของค่าพิกต์ทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
 ΔE คือ ค่าผลต่างของค่าพิกต์ทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
 Δh คือ ค่าผลต่างของค่าพิกต์ทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.38 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดสั้น (ระดับใกล้เคียงกัน)

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	0.5081	($\Delta P, \Delta N$)	-0.2388
	($\Delta T, \Delta E$)	0.3009	($\Delta P, \Delta E$)	-0.4410
	($\Delta T, \Delta h$)	0.4490	($\Delta P, \Delta h$)	-0.0873
Simplified - Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	-0.4966	($\Delta P, \Delta N$)	0.1595
	($\Delta T, \Delta E$)	0.3013	($\Delta P, \Delta E$)	-0.4588
	($\Delta T, \Delta h$)	0.4542	($\Delta P, \Delta h$)	-0.0956
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	0.4884	($\Delta P, \Delta N$)	-0.2241
	($\Delta T, \Delta E$)	0.3096	($\Delta P, \Delta E$)	-0.4505
	($\Delta T, \Delta h$)	0.4598	($\Delta P, \Delta h$)	-0.0867
ไม่ใช้แบบ จำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	0.1900	($\Delta P, \Delta N$)	0.1720
	($\Delta T, \Delta E$)	0.1652	($\Delta P, \Delta E$)	-0.1660
	($\Delta T, \Delta h$)	0.3320	($\Delta P, \Delta h$)	-0.2801

หมายเหตุ	ΔT	คือ	ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
	ΔP	คือ	ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
	ΔN	คือ	ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
	ΔE	คือ	ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
	Δh	คือ	ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.39 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกติกฉาก($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกติกฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโปสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดกลาง (ต่างระดับกัน)

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
Hopfield	$(\Delta T, \Delta N)$	0.4243	$(\Delta P, \Delta N)$	-0.3535
	$(\Delta T, \Delta E)$	-0.5302	$(\Delta P, \Delta E)$	-0.2195
	$(\Delta T, \Delta h)$	-0.1287	$(\Delta P, \Delta h)$	-0.1553
Simplified Hopfield	$(\Delta T, \Delta N)$	0.4398	$(\Delta P, \Delta N)$	-0.2934
	$(\Delta T, \Delta E)$	-0.6486	$(\Delta P, \Delta E)$	0.0984
	$(\Delta T, \Delta h)$	0.0830	$(\Delta P, \Delta h)$	0.0659
Saastamoinen	$(\Delta T, \Delta N)$	0.4032	$(\Delta P, \Delta N)$	-0.3776
	$(\Delta T, \Delta E)$	-0.5179	$(\Delta P, \Delta E)$	0.2685
	$(\Delta T, \Delta h)$	0.1290	$(\Delta P, \Delta h)$	0.1520
ไม่ใช้แบบ จำลองใด ๆ	$(\Delta T, \Delta N)$	0.3687	$(\Delta P, \Delta N)$	-0.3146
	$(\Delta T, \Delta E)$	0.2363	$(\Delta P, \Delta E)$	0.2735
	$(\Delta T, \Delta h)$	0.5786	$(\Delta P, \Delta h)$	0.5197

หมายเหตุ	ΔT	คือ	ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
	ΔP	คือ	ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
	ΔN	คือ	ค่าผลต่างของค่าพิกติกฉากเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
	ΔE	คือ	ค่าผลต่างของค่าพิกติกฉากตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
	Δh	คือ	ค่าผลต่างของค่าพิกติกฉากความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.40 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกติกจาก($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างความดันบรรยากาศ(ΔP) กับผลต่างของค่าพิกติกจาก ผลต่างทางด้านความสูง ในทุกแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานใด ๆ ที่เส้นฐานขนาดกลาง (ระดับใกล้เคียงกัน)

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	-0.2637	($\Delta P, \Delta N$)	-0.0645
	($\Delta T, \Delta E$)	-0.5570	($\Delta P, \Delta E$)	0.3521
	($\Delta T, \Delta h$)	0.0587	($\Delta P, \Delta h$)	-0.1997
Simplified Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	-0.2705	($\Delta P, \Delta N$)	-0.0632
	($\Delta T, \Delta E$)	-0.5501	($\Delta P, \Delta E$)	0.3522
	($\Delta T, \Delta h$)	0.0609	($\Delta P, \Delta h$)	-0.1970
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	-0.2653	($\Delta P, \Delta N$)	-0.0648
	($\Delta T, \Delta E$)	-0.5590	($\Delta P, \Delta E$)	0.3498
	($\Delta T, \Delta h$)	0.0595	($\Delta P, \Delta h$)	-0.2022
ไม่ใช้แบบ จำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	-0.1767	($\Delta P, \Delta N$)	-0.2767
	($\Delta T, \Delta E$)	-0.6640	($\Delta P, \Delta E$)	0.1162
	($\Delta T, \Delta h$)	-0.1807	($\Delta P, \Delta h$)	-0.5534

หมายเหตุ ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
 ΔP คือ ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด
 ΔN คือ ค่าผลต่างของค่าพิกติกทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
 ΔE คือ ค่าผลต่างของค่าพิกติกทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
 Δh คือ ค่าผลต่างของค่าพิกติกทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ในการทดสอบผลที่ได้จากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อหาค่าความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งวิธีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์นี้จะใช้วิธีการทางสถิติคือ การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis testing) ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนข้อมูลน้อยกว่า 50 ข้อมูล โดยมีรายละเอียดของการหาค่าเพื่อทำการทดสอบสมมุติฐานดังนี้ (Miltun and Arnold, 2004)

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (4.3)$$

โดยที่ t = ระดับนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$n-2$ = degree of freedom

r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

จากผลของการประมวลผลที่ได้ นั่นคือค่า t ซึ่งวิธีที่ทำการทดสอบทางสถิติคือ T - test และทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 %

ในการทดสอบค่าทางสถิติจะใช้ T - test ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์

$$T_{\alpha/2=-0.025} = -2.228, \quad T_{\alpha/2=0.025} = 2.228 \quad (\text{เส้นฐานขนาดสั้น})$$

$$T_{\alpha/2=-0.025} = -2.447, \quad T_{\alpha/2=0.025} = 2.447 \quad (\text{เส้นฐานขนาดกลาง})$$

จากนั้นจึงทำการทดสอบในแต่ละแบบจำลอง และนำค่า t ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าทางสถิติดังกล่าว ถ้าค่า t ที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง -2.228 ถึง 2.228 ของเส้นฐานขนาดสั้น แสดงว่ายอมรับค่าซึ่งหมายถึงผลต่างอุณหภูมิและผลต่างความดันบรรยากาศ นั้นไม่มีความสัมพันธ์ต่อค่าพิกัดฉาก ถ้าค่า t ที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง -2.447 ถึง 2.447 ของเส้นฐานขนาดกลาง แสดงว่ายอมรับค่าซึ่งหมายถึงผลต่างอุณหภูมิและผลต่างความดันบรรยากาศ นั้นไม่มีความสัมพันธ์ต่อค่าพิกัดฉาก แต่ถ้าค่า t อยู่นอกเหนือค่าดังกล่าวแสดงว่าไม่ยอมรับค่า ซึ่งแสดงถึงผลต่างอุณหภูมิและผลต่างความดันบรรยากาศ จะมีความสัมพันธ์ต่อค่าพิกัดฉาก

ในการทดสอบค่าทางสถิตินั้นจะทำการการเปรียบเทียบค่า t ของแต่ละแบบจำลองมาตรฐานโทรโปสเฟียร์รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานของค่าพิกัดฉาก ในช่วงเส้นฐานขนาดสั้นและขนาดกลาง ในพื้นที่ที่ระดับใกล้เคียงกันและพื้นที่ต่างระดับกัน ว่ามีค่าต่างนัยสำคัญหรือไม่ โดยการนำ t มาทำการทดสอบ T - test ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 4.41 – 4.44

ในสดมภ์แรกจะแสดงถึงแบบจำลองมาตรฐานที่ใช้ สดมภ์ที่สองและสดมภ์ที่ห้า จะแสดงถึงความสัมพันธ์ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิกับผลต่างของค่าพิกัดยูทีเอ็ม, ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ

กับผลต่างของค่าความสูงเหนือทรงรี และ ค่าผลต่างระหว่างความดันบรรยากาศกับผลต่างของค่าพิกัดฉากยูทีเอ็ม , ผลต่างระหว่างความดันบรรยากาศกับผลต่างของค่าความสูงเหนือทรงรี สดมภ์ที่สามจะแสดงถึงค่า r ที่ได้จากสมการ 4.3 ส่วนสดมภ์ที่สี่และสดมภ์ที่เจ็ด จะแสดงถึงผลการทดสอบทางสถิติ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.41 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T – test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก ($\Delta N, \Delta E$)

ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP)กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดสั้น พื้นที่ต่างระดับกัน

แบบจำลอง	ความสัมพัทธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test	ความสัมพัทธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	1.2832	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	0.3587	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	0.8892	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-1.0584	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.7514	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-1.5442	ยอมรับ
Simplified	($\Delta T, \Delta N$)	0.8910	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	0.5175	ยอมรับ
Hopfield	($\Delta T, \Delta E$)	0.7587	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-1.2630	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.2657	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-1.2319	ยอมรับ
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	0.7739	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	0.6193	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	0.3642	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-1.2339	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.7345	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-1.5294	ยอมรับ
ไม่ใช่ แบบจำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	0.4873	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	0.0579	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-0.4075	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-0.8381	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	-0.4827	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.6492	ยอมรับ

หมายเหตุ ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด ΔE คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ΔP คือ ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด Δh คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ΔN คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.42 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T - test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$) ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP)กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดสั้น ระดับใกล้เคียงกัน

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	1.8655	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.7777	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	0.9978	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-1.5538	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.5890	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.2771	ยอมรับ
Simplified Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	-1.8092	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	0.5109	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	0.9992	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-1.6194	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.6122	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.3037	ยอมรับ
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	1.7699	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.7272	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	1.0296	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-1.5957	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.6374	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.2752	ยอมรับ
ไม่ใช้แบบจำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	0.6120	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	0.5521	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	0.5297	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-0.5323	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.1130	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.9227	ยอมรับ

หมายเหตุ ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด ΔE คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ΔP คือ ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด Δh คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ΔN คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.43 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T - test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$)

ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP)กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดกลาง พื้นที่ต่างระดับกัน

แบบจำลอง	ความสัมพัทธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test	ความสัมพัทธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	1.1478	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.9257	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-1.5317	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	-0.5511	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	-0.3179	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.3851	ยอมรับ
Simplified Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	1.1995	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.7518	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-2.0873	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	0.2422	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	0.2040	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	0.1618	ยอมรับ
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	1.0792	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.9989	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-1.4830	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	0.6828	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	0.3186	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	0.3767	ยอมรับ
ไม่ใช้ แบบจำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	0.9716	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.8188	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	0.5957	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	0.6965	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	1.7377	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	1.4900	ยอมรับ

หมายเหตุ ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด ΔE คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
 ΔP คือ ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด Δh คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด
 ΔN คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.44 ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติโดยใช้ T - test ระดับนัยสำคัญที่ 5% กรณีใช้ผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) กับผลต่างค่าพิกัดฉาก($\Delta N, \Delta E$)

ผลต่างทางด้านความสูง (Δh) และผลต่างของความดันบรรยากาศ(ΔP)กับผลต่างของค่าพิกัดฉาก ผลต่างทางด้านความสูง ของเส้นฐานขนาดกลาง ระดับใกล้เคียงกัน

แบบจำลอง	ความสัมพัทธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test	ความสัมพัทธ์ระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว	ระดับนัยสำคัญของค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	T- test
Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	-0.6696	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.1583	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-1.6428	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	0.9215	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	0.1440	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-0.4992	ยอมรับ
Simplified Hopfield	($\Delta T, \Delta N$)	-0.6882	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.1551	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-1.6135	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	0.9218	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	0.1495	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	0.4922	ยอมรับ
Saastamoinen	($\Delta T, \Delta N$)	-0.6740	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.1591	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-1.6514	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	1.0078	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	0.1460	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-1.7022	ยอมรับ
ไม่ใช้ แบบจำลอง	($\Delta T, \Delta N$)	-0.4397	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta N$)	-0.7053	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta E$)	-2.1752	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta E$)	0.2866	ยอมรับ
	($\Delta T, \Delta h$)	-0.4500	ยอมรับ	($\Delta P, \Delta h$)	-1.8190	ยอมรับ

หมายเหตุ ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด ΔE คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางตะวันออกระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ΔP คือ ค่าผลต่างความดันบรรยากาศขณะรังวัดระหว่างจุด 2 จุด Δh คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางความสูงระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ΔN คือ ค่าผลต่างของค่าพิกัดทางเหนือระหว่างจุดรังวัด 2 จุด

ตารางที่ 4.45 จะแสดงถึงผลสรุปจากการทดสอบทางสถิติ โดยในสดมภ์แรกจะแสดงแบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ในสดมภ์ที่สองจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับผลต่างค่าพิกัดฉาก และผลต่างความดันบรรยากาศกับค่าผลต่างพิกัดฉาก ส่วนสดมภ์ที่สามจะแสดงถึงผลการทดสอบของแต่ละแบบจำลอง รวมถึงการไม่ใช้แบบจำลองมาตรฐานว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่

ตารางที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างของอุณหภูมิ ผลต่างของความดันบรรยากาศ ในขณะรังวัดกับค่าผลต่างพิกัดฉาก

ช่วงเส้นฐาน	ความสัมพันธ์ของผลต่างของตัวแปรทั้งสอง	ผลการทดสอบ			
		Hopfield Model	Simplified Hopfield Model	Saastamoinen Model	ไม่ใช้แบบจำลอง
เส้นฐานขนาดสั้น (ต่างระดับกัน)	อุณหภูมิกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
	ความดันกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
เส้นฐานขนาดสั้น (ระดับใกล้เคียงกัน)	อุณหภูมิกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
	ความดันกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
เส้นฐานขนาดกลาง (ต่างระดับกัน)	อุณหภูมิกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
	ความดันกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
เส้นฐานขนาดกลาง (ระดับใกล้เคียงกัน)	อุณหภูมิกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X
	ความดันกับค่าพิกัดฉาก	X	X	X	X

หมายเหตุ X คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน
✓ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน

จากผลการทดสอบสมมุติฐานที่ได้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.45 ดังนี้ สรุปได้ว่า อุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่แตกต่างกันจะไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ทั้งนี้ เนื่องจากว่า จำนวนกลุ่มข้อมูลที่ทำการรังวัดมานั้นมีจำนวน 12 ข้อมูล ในส่วนของเส้นฐานขนาดสั้น และจำนวนข้อมูล 8 ข้อมูล ในส่วนของเส้นฐานขนาดกลาง เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการทดสอบผลทางสถิติแล้วนั้น ทำให้ช่วงของการทดสอบนั้นมีจำนวนช่วงของการทดสอบที่กว้างอันเนื่องจากค่า degree of freedom จึงส่งผลให้ อุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่แตกต่างกันจะไม่มี ความสัมพันธ์ต่อค่าพิกัดฉาก