

การประเมินผลการจำลองอุณหภูมิอากาศในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยจาก
แบบจำลองสภาพอากาศควบคู่แบบจำลองพื้นผิวดิน

EVALUATION OF TEMPERATURE SIMULATION OVER NORTHERN
THAILAND FROM NUMERICAL WEATHER MODEL COUPLED WITH
LAND SURFACE MODEL

ธีรพันธุ์ แซ่ซึ้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินผลการจำลองอุณหภูมิอากาศในบริเวณภาคเหนือของ
ประเทศไทยจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่แบบจำลองพื้นผิวดิน

ผู้วิจัย ชีรพันธุ์ แซ่เซ็ง

สาขาวิชา การสอนวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ภาควิมิ รัตน์จิราณกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา รัตน์จิราณกุล

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์ชัย พรหมโนภาส)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ภาควิมิ รัตน์จิราณกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา รัตน์จิราณกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลณัฐ พลวัน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การประเมินผลการจำลองอุณหภูมิอากาศในบริเวณภาคเหนือของ
ประเทศไทยจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่แบบจำลองพื้นผิวดิน

ผู้วิจัย : นายธีรพันธุ์ แซ่โซ้ง

สาขาวิชา : การสอนวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย

: อาจารย์ ดร.ภาณุมิ รัตนจิรานุกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา รัตนจิรานุกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้จำลองค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันและค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยจำนวน 9 สถานี ช่วงระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ.2552 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 ด้วยแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting (WRF)) ควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน 4 ตัวเลือก ได้แก่ เทอร์มอลดิฟฟิวนซ์ (Thermal Diffusion Land Surface) โนอาร์แลนด์เซอร์เฟซ (Noah Land Surface) และ อาร์ ยู ซี แลนด์เซอร์เฟซ (RUC Land Surface) โดยนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดด้วยสถิติสำหรับการวิจัยคือค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ค่าความเอนเอียง (Bias) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square error; RMSE) ผลการวิจัยพบว่า ตัวเลือก RUC land-surface สามารถจำลองค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันและอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ได้ดีที่สุด ส่วนค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ตัวเลือก Noah land-surface ให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด

คำสำคัญ : แบบจำลองสภาพอากาศ, แบบจำลองพื้นผิวดิน, ภาคเหนือของประเทศไทย

The Title : Evaluation of Temperature Simulation Over Northern Thailand From
Numerical Weather Model Coupled With Land Surface Model

The Author : Theerapun Saesong

Program : Master of Science Program in Science teaching

Thesis Advisors: : Dr. Parkpoom Rutchiranukun Chairman
: Assistant Professor Dr. Sujitra Rutchiranukun Member

ABSTRACT

This research simulated minimum, maximum and average daily temperatures from nine observation stations in northern Thailand from December 2009 to November 2010 by applying the Weather Research and Forecasting (WRF) model together with four alternatives of the land-surface models, which included the thermal diffusion land-surface model, the Noah land-surface model, and the RUC land-surface model. The results were then statistically compared with the observation data by means of correlation, bias and root mean square error. The research results revealed that the RUC land-surface model could best simulate the maximum and average daily temperatures, whereas the Noah land-surface model could best simulate the minimum daily temperatures to the observation data.

Keywords : Weather Simulation Model, Land-Surface Model, Northern Thailand

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในระดับบัณฑิตศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จากหลายส่วนจึงทำให้ผู้ศึกษาผ่านการเรียนการสอนและวิจัยในระยะเวลาที่บัณฑิตวิทยาลัยกำหนด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อาจารย์ ดร.ภาณุภูมิ รัตนจิรานุกูลและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา รัตนจิรานุกูล ที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์ชัย พรหมโนภาส ในการเป็นประธานสอบและแนะนำวิธีการที่ดีในการทำวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ในการให้ทุนสนับสนุนบุคลากรของมหาวิทยาลัยในการเรียนในระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อเพิ่มพูนความรู้ในการปฏิบัติงานในหน้าที่ ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยา ภาคเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศพื้นผิวดินเพื่อนำมาใช้งานเทียบข้อมูล ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิดรวมถึงให้กำลังใจในการเรียนตลอดมา ขอขอบคุณ คุณเชียง ถนอมวรกุลและคุณยี่ ถนอมวรกุลที่คอยให้การดูแลสนับสนุนทุนตลอดระยะเวลาที่เรียน ขอขอบคุณคุณลัดดา กวิศุภเกียรติ์ที่ให้คำแนะนำความช่วยเหลือในการตรวจข้อความของเนื้อหาให้เหมาะสมตามหลักภาษาไทย และขอขอบคุณทุกคน ทุกภาคส่วน ที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จได้

ธีรพันธุ์ แซ่เซ้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	4
ข้อตกลงเบื้องต้น	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ลักษณะภูมิประเทศ	5
ลักษณะภูมิอากาศ	7
สมการเฉพาะที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข	8
แบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting Model)	14
แบบจำลองพื้นผิวดิน (Land-surface modeling)	15
สถิติสำหรับการวิจัย (Correlation, Root mean square)	16
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
รูปแบบการวิจัย	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	25
การวิเคราะห์ข้อมูล	27
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	29
ตอนที่ 1 ผลการจำลองอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ...	29
ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการจำลองอุณหภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลอง	
สภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน	44
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	48
สรุปผลการวิจัย	48
อภิปรายผล	48
ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	51
ประวัติผู้วิจัย	53
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก ตัวอย่างโค้ดที่ใช้ในการทำงานกับโปรแกรมGrADS	55
ภาคผนวก ข ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลข้อมูล	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกพื้นที่ทางภูมิศาสตร์การปกครองของภาคเหนือ 9 จังหวัด	6
2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลที่ศึกษาของ STD Noah และ RUC ในแบบจำลองสภาพอากาศ (WRF)	15
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันของ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553	44
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันของ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553	45
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553	46

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ภาพแผนที่ประเทศไทย	5
3.1 ขอบเขตของแบบจำลองสภาพอากาศในWRF	24
3.2 ส่วนประกอบของแบบจำลอง WRF	26
3.3 ตัวอย่างหน้าโปรแกรม WRF Domain	27
4.1 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่	29
4.2 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเชียงราย	30
4.3 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเพชรบูรณ์	30
4.4 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดแพร่	31
4.5 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน	31
4.6 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดพะเยา	32
4.7 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดลำปาง	32
4.8 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดลำพูน	33
4.9 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดน่าน	33
4.10 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเชียงราย	35
4.12 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเพชรบูรณ์	35
4.13 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดแพร่	36
4.14 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน	36
4.15 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดพะเยา	37
4.16 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดลำปาง	37
4.17 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดลำพูน	38
4.18 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดน่าน	38
4.19 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่	39
4.20 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเชียงราย	40
4.21 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดเพชรบูรณ์	40
4.22 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดแพร่	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.23 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน	41
4.24 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดพะเยา	42
4.25 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดลำปาง	42
4.26 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดลำพูน	43
4.27 ค่าอุณหภูมิต่ำเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 สถานี ตรวจวัดจังหวัดน่าน	43

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันสภาวะภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก อันมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อน (Global Warming) โดยสังเกตได้จากการที่อุณหภูมิของโลกมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาต่าง ๆ มลภาวะจากก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานความร้อนที่สะท้อนจากโลกกลับสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งในปี พ.ศ. 2531 นักวิทยาศาสตร์โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) และองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นเป็นผลของภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) โดยมี สาเหตุจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซมีเทน (CH_4) และโอโซน (O_3) รวมถึงไอน้ำ (H_2O) ในชั้นบรรยากาศ มีความเข้มข้นมากขึ้น ก๊าซเหล่านี้รวมเรียกว่าก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) (พัชรี แสนจันทร์, 2554, น. 4) ก๊าซดังกล่าวนี้ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม บ้างเกิดจากไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคขนส่ง หรือเมื่อภาคอุตสาหกรรมมีกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากการใช้ไฟฟ้าหรือการกระทำใดๆ ที่มีลักษณะเป็นการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ก๊าซดังกล่าวมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนบางส่วนไว้ในโลก โดยไม่ปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศ ดังนั้น ด้วยลักษณะที่คล้ายกับหลักการของเรือนกระจกที่ใช้ปลูกพืช จึงมักเรียกกันว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ช่วงเวลาที่ผ่านมาไม่กี่ปีนี้ โลกได้ตระหนักต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพ ภูมิอากาศของโลกอย่างรวดเร็วและรุนแรงอย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน จึงมีผลกระทบต่อการ ดำรงชีพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (ตุลยวรรธน์ สุทธิแพทย์, 2550, น. 1-3) จึงจำเป็นจะต้องปรับตัวเพื่อเอาตัวรอดจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในแต่ละปี สิ่งมีชีวิตบางสายพันธุ์ที่ไม่สามารถปรับตัวได้ก็มีโอกาสที่จะสูญพันธุ์ไปจากโลกนี้ เช่น สัตว์ที่กำลังได้รับความเดือดร้อนหรือผลกระทบจากภาวะโลกร้อนโดยตรงในขณะนี้ก็คือสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณ

น้ำแข็งขั้วโลกอย่างเช่นนกเพนกวินและหมีขั้วโลกสำหรับมนุษย์ผู้ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้นก็ย่อมได้รับผลกระทบด้วยเช่นกัน สิ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คือสภาพอากาศที่รุนแรงขึ้นทุกปี ที่ใดแห่งแล้งก็จะแห้งแล้งอย่างรุนแรง ขาดน้ำสะอาดที่จะใช้บริโภคและไม่มีน้ำพอที่จะใช้ทำการเกษตรกรรม ในขณะที่เดียวกันถึงเวลาหน้าฝน ฝนก็ตกลงมาในปริมาณมากจนเกินความต้องการของระบบเกษตรกรรม ส่งผลทำให้เกิดอุทกภัยอย่างหนัก ผลผลิตทางการเกษตรเกิดความเสียหายในวงกว้าง พืชผลที่ผลิตได้มีจำนวนน้อยลง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา ส่งผลกระทบในด้านของสุขภาพของมนุษย์ และส่งผลกระทบในระบบเศรษฐกิจกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากสภาวะนี้เช่นเดียวกับทุกประเทศทั่วโลก แต่เมื่อศึกษาจากปัจจัยต่าง ๆ แล้วพบว่ากลุ่มประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทยเป็นกลุ่มประเทศทางการเกษตรโดยส่วนใหญ่เมื่อเกิดผลกระทบนี้เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลเป็นอย่างมากต่อประชากรของกลุ่มคนไปทั่วทุกพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบทางด้านระบบนิเวศวิทยา ด้านของสุขภาพ และรวมถึงระบบเศรษฐกิจ และประเทศไทยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนนี้ ในแต่ละปีเกิดความเปลี่ยนแปลงทางด้านสภาพภูมิอากาศ ฝนตกในปริมาณที่ไม่คงที่ ไม่สามารถจัดการระบบการชลประทานได้ จะเห็นได้ว่าทิศทางการเจริญเติบโตและความเจริญก้าวหน้าในทุกด้านมักจะสวนทางกับสภาพแวดล้อมเสมอ ยิ่งมีการพัฒนามากเท่าไร ธรรมชาติก็ยิ่งเสื่อมโทรมลงเท่านั้น(กรรณิการ์ เสาวรานนท์, 2553, น. 4)

ดังนั้นวิธีที่ใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่นิยมและยอมรับกันมาก คือ การใช้แบบจำลองระบบภูมิอากาศของโลก (Global Climate Models: GCMs) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่รวมเอาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิของบรรยากาศและสมุทรศาสตร์เข้าไว้ในการคำนวณ แต่การจำลองระบบภูมิอากาศของโลกที่ดำเนินการในปัจจุบันมีความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่มากนัก ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคและวิธีการของแบบจำลองการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Model: RCMs) ซึ่งเป็นแบบจำลองภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูงในพื้นที่ขนาดเล็ก ด้วยวิธีการลดขนาด (Downscaling) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ 1. การลดขนาดโดยวิธีการทางสถิติ (Statistic Downscaling) 2. การลดขนาดโดยวิธีการพลวัต (Dynamic Downscaling) 3. การผสมกันจากทั้งวิธีสถิติและพลวัต (Statistic and Dynamic Downscaling) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553) ดังเช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยในช่วงระยะเวลา 4-5 ปีที่ผ่านมาได้มีการจำลองสภาพ

ภูมิอากาศในอนาคตขึ้น โดยศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลก แห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SEA START RC) ได้ร่วมมือกับทางหน่วยงาน Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) ประเทศออสเตรเลีย ศึกษาและจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศในภูมิภาคลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างขึ้น อันรวมถึง ประเทศไทยทั้งหมดด้วย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM) (McGregor and Dix, 2001)(สุกร ชินวรรณ, 2552, น. 1)

ด้วยเหตุดังกล่าวแล้วข้างต้นเป็นแรงจูงใจให้ผู้วิจัยมีสนใจที่จะทำการศึกษาข้อมูล แบบจำลองการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Model: RCMs) เพื่อให้ ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากที่สุดและให้ผู้สนใจในด้านนี้ได้มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์หรือใช้สำหรับ กิจกรรมในด้านอื่น ๆ ต่อไป ประเด็นที่สำคัญก็คือ การดำเนินการศึกษาโดยการจำลองสถานการณ์ อนาคตขึ้นนั้น ยังคงมีความไม่แน่นอนอยู่สูง ทั้งนี้เนื่องจากการมองภาพออกไปในอนาคตใน ระยะเวลาที่ยาวมาก ประกอบกับข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ กันอยู่ในปัจจุบันนี้ ดังนั้น แนวทางการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคและอนุ ภูมิภาคที่มีความละเอียดสูงนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาโดยการจำลองสถานการณ์ใน อนาคตขึ้นให้หลากหลาย ทั้งนี้อาจจะทำได้โดยการใช้เครื่องมือและข้อมูลจากโกลบอล ไชคูเลชั่น โมเดล (Global Circulation Model) ที่แตกต่างกัน และนำสถานการณ์จำลองที่มีความละเอียดสูง เหล่านั้นมาหาค่าเฉลี่ย หรือนำมาพิจารณาร่วมกันเพื่อหาข้อสรุปถึงทิศทางและระดับของการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1 เพื่อจำลองอุณหภูมิอากาศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2552-2553
- 2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพผลการจำลองอุณหภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. สามารถหาค่าเชิงตัวเลขที่เหมาะสมจากแบบจำลองภูมิอากาศเมื่อเทียบกับค่าจริงจาก การเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา

2. สามารถใช้แบบจำลองสภาพอากาศเพื่อการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต แทนการเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน

3. การใช้แบบจำลองในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าการตั้งสถานีเพื่อเก็บข้อมูล

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านพื้นที่

ศึกษาเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือตั้งแต่ละติจูดที่ 20.25 องศาใต้ถึงละติจูดที่ 17 องศาเหนือ และระหว่างลองจิจูดที่ 97.22 องศาตะวันออกถึง 101.22 องศาตะวันออก

2. ขอบเขตด้านข้อมูลที่ใช้

เดือนธันวาคม 2552 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2553 ของแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting Model (WRF)) กับข้อมูลพื้นผิวดิน 9 สถานี ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

3. ขอบเขตด้านเวลา

ผู้ทำการวิจัยจะทำการศึกษาข้อมูลจาก Weather Research and Forecasting Model (WRF) ในปี พ.ศ. 2553 เพื่อเทียบกับข้อมูลพื้นผิวดินตามสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงปี เดียวกัน

ข้อตกลงเบื้องต้น

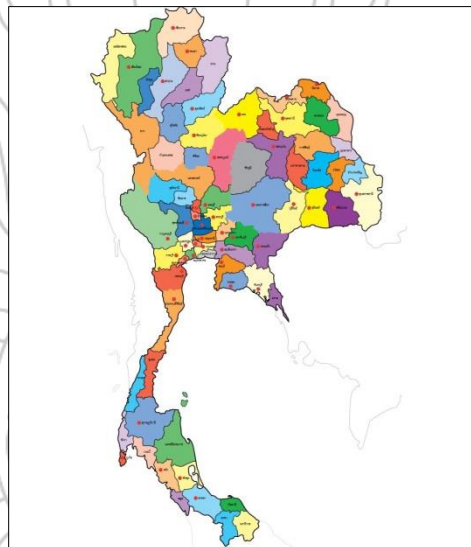
ข้อมูลเชิงตัวเลขที่หาได้โดยแบบจำลองสภาพอากาศเป็นข้อมูลตั้งต้นที่เกิดจากไฟล์ Final (fnl) ของหน่วยงาน National Center for Atmospheric Research (NCAR)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศ



ภาพที่ 2.1 ภาพแผนที่ประเทศไทย

ที่มา: จิรพันธุ์ หิรัญ, 2540.

ประเทศไทยมีลักษณะทางภูมิประเทศเป็นแบบภูเขา การจำแนกรูปร่างของประเทศในทางภูมิศาสตร์การเมือง เพื่อให้เกิดความสะดวกในการติดต่อประสานงานและการให้บริการด้านต่างๆ แก่ประชาชนได้อย่างทั่วถึง หลายหน่วยงานจึงได้แบ่งประเทศไทยออกเป็นภูมิภาค บางหน่วยงานแบ่งเป็น 4 ภูมิภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ บางหน่วยงานแบ่งเป็น 5 ภูมิภาค โดยเพิ่มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับการแบ่งภาคทางภูมิศาสตร์อาศัยปัจจัยทางภูมิศาสตร์เป็นเกณฑ์สำคัญในการแบ่ง ประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพได้แก่ ลักษณะภูมิ

ประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ และปัจจัยทางวัฒนธรรมได้แก่ ภาษา ขนบธรรมเนียมประเพณี ความเชื่อ ค่านิยม การแต่งกาย และการกินอยู่เป็นต้น โดยใช้เขตการปกครองของจังหวัดเป็นเกณฑ์การกำหนดขอบเขต โดยแบ่งประเทศไทยเป็น 6 ภูมิภาค ภาคเหนือมี 9 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ พะเยา และแม่ฮ่องสอน เป็นภูมิภาคที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นอันดับสองรองจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือของประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณตอนบนสุดของประเทศ โดยตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 17 องศา 9 ลิปดา บริเวณรอยต่อระหว่าง ตำบลปากน้ำ อำเภอฟิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์กับอำเภอพรมพิจิตร จังหวัดพิษณุโลก ถึงละติจูดที่ 20 องศา 28 ลิปดา อยู่บริเวณแนวเขตแดนระหว่างตำบลเกาะช้าง อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย กับประเทศสหภาพเมียนมาร์ และอยู่ระหว่างแม่ฮ่องสอนละติจูดที่ 97 องศา 20 ลิปดา บริเวณฝั่งแม่น้ำสาละวิน ตำบลแม่ง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ถึงละติจูดที่ 101 องศา 21 ลิปดา อยู่บริเวณแนวเขตแดนระหว่างตำบลภูฟ้า อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่านกับแขวงไชยบุรี ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ขนาดพื้นที่แต่ละจังหวัดของภาคเหนือ

ภาคเหนือตามเกณฑ์การจำแนก ทางภูมิศาสตร์ดังกล่าวข้างต้นประกอบด้วยเขตการปกครอง 9 จังหวัด คือ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ พะเยา ลำพูน และแม่ฮ่องสอน มีพื้นที่ทั้งหมด 93,670.850 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 58,556,781.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 18.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่มากที่สุด รองลงมาคือจังหวัดลำปาง และแม่ฮ่องสอน ตามลำดับ ส่วนจังหวัดที่มีพื้นที่น้อยที่สุดคือ ลำพูน ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกพื้นที่ทางภูมิศาสตร์การปกครองของภาคเหนือ 9 จังหวัด

ที่	จังหวัด	พื้นที่(ตารางกิโลเมตร)	คิดเป็นร้อยละ
1	เชียงใหม่	20,107.057	21.5
2	ลำพูน	4,505.882	4.8
3	ลำปาง	12,533.961	13.4
4	อุตรดิตถ์	7,838.592	8.3
5	แพร่	6,538.598	7.0
6	น่าน	11,472.072	12.2

ที่	จังหวัด	พื้นที่(ตารางกิโลเมตร)	คิดเป็นร้อยละ
7	พะเยา	6,335.060	6.8
8	เชียงราย	11,678.369	12.5
9	แม่ฮ่องสอน	12,681.259	13.5
รวม		93,690.850	100

ที่มา: วิโรจน์ เอี่ยมเจริญ, 2542, น.6

ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย

ประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ ภูมิอากาศ ของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้นหรือภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Aw) ตามการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเกิปปิน ในขณะที่ภาคใต้และทางตะวันออกสุดของภาคตะวันออกเฉียงใต้เป็นเขตภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Am) ทั่วประเทศมีอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 19-38 องศาเซลเซียส อากาศจะร้อนที่สุดช่วงกลางเดือนเมษายน หลังจากนั้น ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ประเทศไทยเข้าสู่ฤดูฝนและฤดูหนาวตามลำดับ พื้นที่ทั้งประเทศได้รับปริมาณฝนอย่างเพียงพอ ยกเว้นบางพื้นที่เท่านั้น แต่ระยะเวลาของฤดูฝนและปริมาณฝนมีความแตกต่างกันไปตามภูมิภาคและระดับความสูง

ลักษณะภูมิอากาศของภาคเหนือ

ภาคเหนือ เป็นภูมิภาคที่อยู่ด้านบนสุดของไทย มีลักษณะภูมิประเทศอันประกอบไปด้วยเทือกเขาสลับซับซ้อน ต่อเนื่องมาจากทิวเขาฉานโยมาในประเทศพม่าและประเทศลาว ภาคเหนือมีภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา เหมือนกับพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ การที่มีพื้นที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลและมีเส้นละติจูดอยู่ตอนบนทำให้สภาพอากาศของภาคเหนือเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างเห็นได้ชัด เช่น มีฤดูหนาวที่หนาวเย็นกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ทางด้านประวัติศาสตร์ของภาคเหนือมีความสัมพันธ์ทางวัฒนธรรมกับอาณาจักรล้านนา

สมการเฉพาะที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข

แบบจำลองภูมิอากาศเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการจำลองกระบวนการทางกายภาพของบรรยากาศ มหาสมุทร และพื้นดินโดยใช้หลักการสมดุลของพลังงานโลก คือ พลังงานที่โลกได้รับในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นสั้น สมดุลกับการส่งถ่ายพลังงานออกไปนอกบรรยากาศโลกในสภาพรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว (Far-infrared)

การพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลกต้องใช้ข้อมูลและความเชี่ยวชาญหลายสาขารวมทั้ง เครื่องประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้แบบจำลองภูมิอากาศโลกถูกพัฒนาขึ้นมาโดยสถาบันชั้นนำของโลก เช่น National Center for Atmospheric Research (NCAR), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Goddard Institute of Space Studies (GISS) ของสหรัฐอเมริกา, Hadley Center for Climate Prediction and Research ของสหราชอาณาจักร และ Max Planck Institute ของเยอรมันนี เป็นต้น

เนื่องจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกมีพื้นที่แสดงผลขนาดใหญ่ ความละเอียดตั้งแต่ระดับ 150 กิโลเมตรขึ้นไป จึงเหมาะสำหรับใช้ในการศึกษาภูมิอากาศในระดับทวีป การศึกษาผลกระทบ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคหรือประเทศขนาดเล็กที่มีพื้นที่ไม่มากนัก จึงต้องย่อส่วน (Downscale) แบบจำลองภูมิอากาศโลกให้แสดงผลที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น โดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่นิยมใช้กันมี 2 วิธี คือ

1. การย่อส่วนด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical downscaling) เป็นวิธีการซึ่งใช้กระบวนการทาง สถิติเพื่อย่อส่วนหรือลดขนาดผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (Spak et al, 2007) โดยจะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวทำนาย (Predictor) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก และตัวถูกทำนาย (Predictand) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดโดยตรง ในช่วงเวลาที่สัมพันธ์กัน ด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น-ไม่เชิงเส้น (Linear and Non-Linear Regression) เป็นต้น สำหรับหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันความสัมพันธ์ เพื่อใช้ประมาณค่า ข้อมูลภูมิอากาศภูมิภาคจากข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก ข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถวิเคราะห์ ได้รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ข้อจำกัด คือ ผลลัพธ์ที่ได้ ยังคงอ้างอิงกับแบบจำลองภูมิอากาศโลก เนื่องจากไม่ได้นำผลของฟิสิกส์บรรยากาศในแต่ละพื้นที่เข้า มาพิจารณาด้วย

2. การย่อส่วนด้วยวิธีการพลวัต (Dynamical Downscaling) หรือการใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค (Regional Climate Model หรือ RCM) เป็นวิธีการที่มีความละเอียดสูง อาศัย

หลักการ (Mearns et al, 1999) ซึ่งนำเอากระบวนการทางฟิสิกส์บรรยากาศที่มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิประเทศของแต่ละบริเวณ มาคำนวณหาค่าตัวแปรสภาพภูมิอากาศในระดับความละเอียดที่สูงขึ้นในเชิงพื้นที่และเวลา โดยอาศัยเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) และเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) จากข้อมูลของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถ ศึกษาภูมิอากาศภูมิภาคในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศซับซ้อน (complex terrain) ได้ เช่น ภูมิประเทศที่เป็นภูเขา หรือภูมิประเทศที่เป็นเกาะ เป็นต้น ข้อจำกัด คือ จำเป็นต้องใช้เครื่องประมวลผล ที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้เวลาในการประมวลผลนาน

แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคเป็นแบบจำลอง non-hydrostatic ซึ่งอาศัยชุดสมการทางฟิสิกส์บรรยากาศภายใต้กรอบอ้างอิงหมุน (rotating frame of reference) โดยพิจารณาว่าอากาศ เป็นของไหลที่สามารถอัดและขยายตัวได้ และพิกัดในแนวดิ่งปรับค่าตามลักษณะความสูงของภูมิประเทศ (terrain-following coordinates) ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับชุดสมการในแบบจำลอง อุทกสถิตย (hydrostatic model) (Anthes and Warner, 1978)

ในการประมาณค่าทางอุทกสถิตย ต้องพิจารณาผลที่เกี่ยวข้องทั้งในแนวนอนและแนวดิ่ง กล่าวคือการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในดิ่งมีความสอดคล้องกับการพัดสอบ (convergence) ของมวล อากาศในแนวนอน โดยพิจารณาทั้งแนวโน้มของความกดอากาศที่ผิวพื้นและการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง สำหรับสมการที่เป็นแบบ non-hydrostatic จะมีการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป สมการที่เกี่ยวข้อง จะถูกแยกพิจารณาออกเป็นการกระจายของความกดอากาศในทั้งสามมิติและ โมเมนตัมในแนวดิ่ง สมการแนวโน้มของความกดอากาศสามารถหาได้จากกฎของก๊าซในอุดมคติ (ideal gas law) และ สมการความต่อเนื่องของมวลอากาศ (mass continuity equations) และจะพิจารณาผลการรบกวน (perturbation) ของความกดอากาศ ในชุดสมการด้วย

การพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (numerical weather prediction) ใช้หลักการทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ สมการเฉพาะที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข เรียกว่า primitive equation ซึ่งจะใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของอากาศ และ thermodynamics ในบรรยากาศ (Dudhia, 1993) โดยหามาจากกฎการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ประกอบด้วย 5 สมการสำคัญ คือ

1. สมการพยากรณ์ความดัน จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$C_p \frac{DT}{Dt} = \frac{1}{\rho} \frac{Dp}{Dt} + \dot{q} \quad (1)$$

และจากกฎของก๊าซในอุดมคติ เมื่อพิจารณาในเทอมของปริมาตรจำเพาะจะได้ว่า

$$p\alpha = RT$$

เมื่อ $\alpha = \frac{1}{\rho}$ จะสามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$p = R\rho T$$

$$\frac{Dp}{Dt} = R \frac{D(\rho T)}{Dt}$$

$$\frac{Dp}{Dt} = RT \frac{D\rho}{Dt} + R\rho \frac{DT}{Dt}$$

(2)

นำ $\frac{1}{p}$ คูณเข้าไปในสมการที่(2) จะได้ว่า

$$\frac{1}{p} \frac{Dp}{Dt} = \frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} + \frac{1}{T} \frac{DT}{Dt}$$

(3)

แทนค่าสมการความต่อเนื่องและสมการ(1) ลงในสมการ(3) สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\frac{1}{p} \frac{Dp}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\dot{q}}{c_p T} + \frac{1}{c_p \rho T} \frac{DP}{Dt}$$

(4)

$$\frac{1}{p} \frac{Dp}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\dot{q}}{c_p T} + \frac{R}{c_p p} \frac{DP}{Dt}$$

$$\frac{1}{p} \frac{Dp}{Dt} \left(1 - \frac{R}{C_p} \right) = -\nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\dot{q}}{c_p T}$$

(5)

เนื่องจาก $1 - \frac{R}{C_p} = \frac{C_v}{C_p} = \frac{1}{\gamma}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{Dp}{Dt} = -\gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\gamma p \dot{q}}{c_p T}$$

(6)

$$\frac{D(p_0 - p')}{Dt} = -\gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\gamma p \dot{q}}{c_p T}$$

(7)

$$\frac{\partial p'}{\partial t} + u \frac{\partial p'}{\partial x} + v \frac{\partial p'}{\partial y} + \sigma \frac{\partial p'}{\partial \sigma} - \rho_{0gw} = -\gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\gamma p \dot{q}}{c_p T}$$

(8)

$$\frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - \rho_{0gw} = -\gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\gamma p \dot{q}}{c_p T}$$

(9)

$$\frac{\partial p'}{\partial t} + \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} - \rho_{0gw} = -\mathbf{v} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p \dot{q}}{c_p T}$$

(10)

$$\text{เมื่อ } \dot{\sigma} = \frac{D\sigma}{Dt} = -\frac{\rho_0 g}{p^*} w - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} u - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} v$$

2. สมการพยากรณ์ลมในแนวแกน X สมการการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวราบสามารถหาได้โดยการพิจารณาผลของแรงที่มากระทำกับมวลของอากาศ ประกอบด้วย แรงโคริโอลิส(Coriolis Force) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก แรงเกรเดียน(Pressure Gradient Force) เป็นแรงที่เกิดจากบริเวณที่มีความดันแตกต่างกันและ eddy terms ซึ่งเป็นกระแสอากาศแปรปรวน(Jacobson,1999) เมื่อรวมแรงต่างๆเข้าด้วยกัน สามารถหาสมการการเคลื่อนที่ได้จากสมการ

$$\frac{Dv}{Dt} = -f(k \times v) - \frac{1}{\rho} \nabla p + D \quad (11)$$

โดยที่ $f = 2\Omega \sin \phi$ เรียกว่า Coriolis parameter และ D เป็น Eddy term

จากสมการ (11) เราสามารถหาสมการการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ได้ดังสมการ

$$\frac{Du}{Dt} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + D_u \quad (12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial u}{\partial \sigma} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + D_u \quad (13)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v \cdot \nabla u = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + D_u \quad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v \cdot \nabla u = fv - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) + D_u \quad (15)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = fv - v \cdot \nabla u + D_u \quad (16)$$

3. สมการพยากรณ์ลมในแนวแกน Y ทำนองเดียวกันกับการหาสมการพยากรณ์ลมในแกน x เราจะสามารถหาสมการการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ได้ดังสมการ

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -fv - v \cdot \nabla v + D_v \quad (17)$$

4. สมการพยากรณ์ลมในแนวดิ่ง การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวดิ่งสามารถหาได้ โดยการพิจารณาผลของแรงที่มากระทำกับมวลของอากาศ ประกอบไปด้วย แรงดึงดูดของโลก แรงเกรเดียน และ eddy term ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งได้ดังสมการ

$$\frac{Dw}{Dt} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + D_w \quad (18)$$

กำหนดให้ $\alpha = \frac{1}{\rho}$ จะได้ว่า

$$\frac{Dw}{Dt} = -g - \alpha \frac{\partial p}{\partial z} + D_w \quad (19)$$

พิจารณาผลของ Perurbation, $\alpha = \alpha_0 + \alpha'$, $p = p_0 + p'$ จะได้

$$\frac{Dw}{Dt} = -g - (\alpha_0 + \alpha') \frac{\partial (p_0 + p')}{\partial z} + D_w \quad (20)$$

จากสมการอุทกสถิต $\alpha_0 \frac{\partial p_0}{\partial z} = -g$ แทนลงในสมการ (20) จะได้

$$\frac{Dw}{Dt} + \alpha' \frac{\partial p'}{\partial z} + \alpha_0 \frac{\partial p'}{\partial z} + \alpha' \frac{\partial p_0}{\partial z} = D_w \quad (21)$$

$$\frac{Dw}{Dt} + \alpha \frac{\partial p'}{\partial z} - g \frac{\alpha'}{\alpha_0} = D_w \quad (22)$$

$$\frac{Dw}{Dt} + \alpha \frac{\partial p'}{\partial z} - g \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} = D_w \quad (23)$$

จากสมการ(23) เขียนให้อยู่ในเทอมของ ρ จะได้

$$\frac{Dw}{Dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} - g \frac{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}}{\frac{1}{\rho_0}} = D_w \quad (24)$$

$$\frac{Dw}{Dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \frac{\rho'}{\rho} = D_w \quad (25)$$

เนื่องจาก

$$-\frac{\rho'}{\rho} = \frac{\rho_0}{\rho} - 1 = \frac{p_0 T}{p T_0} - 1 = \frac{p_0}{p} \left(\frac{T}{T_0} - \frac{p}{p_0} \right) = \frac{p_0}{p} \left(\frac{T'}{T_0} - \frac{p'}{p_0} \right)$$

สามารถเขียนสมการ(25) ให้อยู่ในรูป Perturbation ของอุณหภูมิและความดัน ได้ดังสมการ

$$\frac{Dw}{Dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} - g \frac{p_0}{p} \left(\frac{T'}{T_0} - \frac{p'}{p_0} \right) = Dw \quad (26)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + v \cdot \nabla_w + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} - g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} + g \frac{p'}{p} = Dw \quad (27)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + v \cdot \nabla_w - \frac{\rho_0 g}{\rho_p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} - g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} + g \frac{p'}{p} = Dw \quad (28)$$

เนื่องจาก $1 - \frac{R}{c_p} = \frac{1}{\gamma}$ แทนลงในสมการ (28) จะได้

$$\frac{\partial w}{\partial t} + v \cdot \nabla_w - \frac{\rho_0 g}{\rho_p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} - g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} + g \left(\frac{R}{c_p} + \frac{1}{\gamma} \right) \frac{p'}{p} = Dw \quad (29)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\rho_0 g}{\rho_p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{g}{\gamma} \frac{p'}{p} = -v \cdot \nabla_w + g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} - \frac{gR}{c_p} \frac{p'}{p} + Dw \quad (30)$$

5. สมการพยากรณ์อุณหภูมิ

จากสมการที่(1) จะได้

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{1}{c_p \rho} \frac{Dp}{Dt} \frac{dq}{c_p} \quad (31)$$

จากสมการ(6) ถึง(9) แทนลงในสมการ(31) จะได้ว่า

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -v \cdot \nabla_T \frac{1}{c_p \rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + v \cdot \nabla p' - \rho_0 g w \right) + \frac{\dot{q}}{c_p} \quad (32)$$

ดังนั้นในแบบจำลองดังนั้นในแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค ซึ่งเป็นแบบจำลอง Non-hydrostatic และพิกัดในแนวดิ่งเป็นแบบ ρ -Coordinates จะพยากรณ์ความดันของอากาศ ความเร็วลมทั้งในแนวราบและแนวดิ่งและอุณหภูมิ ด้วยชุดสมการ

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial p'}{\partial t} + \gamma \rho \nabla \cdot \mathbf{v} - \rho_0 g_w &= -\mathbf{v} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p \dot{q}}{c_p t} \\
 \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p'}{\partial x} \right) &= f_v - \mathbf{v} \cdot \nabla u + D_u \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p'}{\partial y} \right) &= f_u - \mathbf{v} \cdot \nabla v + D_v \\
 \frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\rho_0 g}{\rho p^*} \frac{\partial p'}{\partial \rho} + \frac{g}{\gamma} \frac{p'}{p} &= -\mathbf{v} \cdot \nabla w + g \frac{p_0}{p} \frac{T'}{T_0} - \frac{g R}{c_p} \frac{p'}{p} + D_w \\
 \frac{\partial T}{\partial t} - \mathbf{v} \cdot \nabla T \frac{1}{c_p \rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - \rho_0 g_w \right) &+ \frac{\dot{q}}{c_p}
 \end{aligned} \tag{33}$$

แบบจำลองสภาพอากาศ(Weather Research and Forecasting Model)

รูปแบบการวิจัยและพยากรณ์อากาศ เป็นระบบพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขที่ออกแบบมาสำหรับการวิจัยในชั้นบรรยากาศและการพยากรณ์การปฏิบัติงานด้านภูมิอากาศ มันมีสองแกนพลวัต ระบบการดูดซึมข้อมูลและสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์เพื่ออำนวยความสะดวกในการคำนวณแบบขนานและการขยายระบบ แบบจำลองนี้ ให้บริการแอปพลิเคชันอุตุนิยมวิทยาหลากหลายตั้งแต่ระดับเมตรไปจนถึงหลายพันกิโลเมตร ความพยายามในการพัฒนาแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting Model) เริ่มขึ้นในช่วงหลังของปี ค.ศ. 1990 และเป็นหุ้นส่วนที่ร่วมมือกันของ National Center for Atmospheric Research (NCAR) การบริหารมหาสมุทรและบรรยากาศแห่งชาติ (แสดงโดยศูนย์แห่งชาติเพื่อการพยากรณ์สิ่งแวดล้อม (NCEP) และห้องปฏิบัติการระบบพยากรณ์ (FSL)) สำนักงานอากาศของกองทัพอากาศ (AFWA) ห้องปฏิบัติการวิจัยทางทะเล มหาวิทยาลัยโอคลาโฮมาและสำนักงานการบินแห่งชาติ (FAA) เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการพยากรณ์อากาศตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาในระยะเวลาสั้น (ไม่เกิน 7 วัน) มีการพัฒนาเพิ่มเติมให้เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศระดับภูมิภาคมา

ตั้งแต่ พ.ศ. 2546 โดยมีหน่วยงาน National Center for Atmospheric Research ของสหรัฐอเมริกา เป็นหน่วยงานหลัก (Leung, 2006) มีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภูมิภาคแล้ว อย่างไรก็ตามเนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างสภาพลมฟ้าอากาศ (Weather) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางบรรยากาศที่เกิดขึ้น ณ สถานที่ใดสถานที่หนึ่ง ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง กับภูมิอากาศ (Climate) ซึ่งเป็นค่าทางสถิติระยะยาวของลมฟ้าอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบว่าแบบจำลองที่ พัฒนาขึ้นเพื่อการพยากรณ์อากาศ จะสามารถใช้คาดการณ์ภูมิอากาศได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด ก่อนที่จะนำแบบจำลอง Weather Research and Forecasting Model (WRF) ไปใช้เพื่อคาดการณ์การ เปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในประเทศไทยต่อไป(คุชฎี สุขวัฒน์และสุกัญญาณี ชะวีญชาญ, 2550)

แบบจำลองพื้นผิวดิน(Land-surface modeling)

รังสีทั้งหมดที่ถูกดูดซับโดยผิวดินมีความสมดุลโดยการปล่อยความร้อน รังสี อินฟราเรดไปยังชั้นบรรยากาศ การสูญเสียความร้อนแฝงที่เกี่ยวข้องกับการระเหย การคาย สูญเสีย ความร้อนที่เหมาะสมและการแพร่กระจายของพลังงานลงไปในดิน

Comparison of the STD, Noah and RUC Land surface schemes in WRF			
	Vegetation	Soil	Snow
STD	N/A	5 layer temperature, but no moisture and frozen soil	N/A
Noah	One vegetation type in one grid cell without dynamic vegetation and carbon budget	4 layer temperature, but no moisture and frozen soil	1 layer snow lumped with the top soil layer No liquid water fixed snow density
RUC	One vegetation type in one grid cell without dynamic vegetation and carbon budget	6 layer temperature, but no moisture and frozen soil	2 layer snow No liquid water fixed snow density

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อมูลการศึกษาของ STD Noah และ RUC ในแบบจำลอง สภาพอากาศ (WRF)

ดังนั้นพื้นฐานของแบบจำลองพื้นผิวดิน (Land Surface Options) ซึ่งประกอบด้วย ตัวเลือกรูปแบบเทอร์มอล ดิฟฟิวชัน สกิม (Thermal diffusion scheme) คือ ใช้วิธีการแบ่งชั้นของ ดินออกเป็น 5 ชั้น เพื่อทำการคำนวณหาค่าอุณหภูมิในแต่ละชั้น แต่ไม่มีความชื้นและดินเยือกแข็ง ตัวเลือกรูปแบบโนอาห์แลนด์เซอร์เฟส (Noah Land-Surface Model) (Well Tested For WRF-NMM, Used Operationally at NCEP) คือ ใช้วิธีการแบ่งชั้นของดินออกเป็น 4 ชั้น เพื่อทำการคำนวณหาค่า อุณหภูมิในแต่ละชั้นรวมถึงใช้ความชื้นและดินแช่แข็งรวมถึงก้อนหิมะ 1 ชั้นที่มีชั้นดินชั้นบนไม่มี ของเหลวที่เป็นน้ำ หิมะมีความหนาแน่นคงที่และตัวเลือกรูปแบบอาร์ ยู ซี แลนด์เซอร์เฟส (RUC Land-Surface Model (Preliminarily tested for WRF-NMM)) คือ ใช้วิธีการแบ่งชั้นของดินออกเป็น 6 ชั้นรวมถึงใช้ความชื้นและดินแช่แข็งรวมถึงการแบ่งหิมะออกเป็นอีก 2 ชั้น โดยที่ไม่มีของเหลวที่เป็นน้ำ หิมะมีความหนาแน่นคงที่

สถิติสำหรับการวิจัย (Correlation, Root mean square)

สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (หรือข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป) ตัวอย่างการศึกษาความสัมพันธ์เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุ และความดัน โลหิต ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการศึกษา กับ พฤติกรรมการดูแลสุขภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของเด็กกับวิธีการอบรมเลี้ยงดูเด็ก เป็นต้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใดนั้นจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์ ซึ่งโดยวิธีการทางสถิติมีอยู่หลายวิธี การใช้สถิติตัวใดขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรหรือระดับของการวัดในตัวแปรนั้นๆ ในการวัด ความสัมพันธ์แต่ละแบบจะต้องมีการทดสอบนัยสำคัญก่อน จึงจะสรุปได้ว่าตัวแปรคู่ใดมี ความสัมพันธ์กันจริงหรือไม่ มากน้อยเพียงใด สำหรับการแปลผลจะมองในแง่ของความเกี่ยวพัน ความสอดคล้องการแปรผันร่วมกัน หรือไปด้วยกัน แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุและ อีกตัวแปรเป็นผล (หรือไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปรไหนเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม) เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก เราไม่สามารถบอกได้ว่าส่วนสูงหรือน้ำหนักตัวใด เป็นเหตุ และตัวใดเป็นผล บอกได้เพียงว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีขนาดของความสัมพันธ์ กันมากน้อยเพียงใดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะใช้สัญลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ กลุ่มตัวอย่าง และ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้วัด ขนาดของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรมี 2 ลักษณะคือ $-1 \leq r \leq 1$ และ $0 \leq r \leq 1$

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(o_i - \bar{o})}{\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right) \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \right)}$$

เมื่อค่า X_i คือค่าอนุกรมจากการวิเคราะห์ของแบบจำลอง

$\bar{X}$ คือค่าอนุกรมจำลองเฉลี่ย

O_i คือค่าอนุกรมจากการเก็บของสถานี

$\bar{O}$ คือค่าอนุกรมที่เก็บได้เฉลี่ย

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงแต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้ (Hinkle, 1998, p.118)

ค่า r ระดับของความสัมพันธ์

.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

.70 - .90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

.50 - .70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

.30 - .50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ

.00 - .30 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย+,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์โดยที่หาก r มีเครื่องหมาย+ หมายถึงการมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย) r มีเครื่องหมาย- หมายถึงการมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ) ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะ $0 \leq r \leq 1$ ซึ่งจะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้ได้อย่างเหมาะสมกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเท่านั้น ดังนั้น ในการคำนวณหากพบว่าค่า $r=0$ การตีความหมายว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันอาจไม่ถูกต้องเนื่องจากอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันในลักษณะอื่นที่ไม่ใช่เชิงเส้น

(เช่น เส้นโค้ง ฯลฯ) ดังนั้น ในการสรุปจึงควรสรุปว่าข้อมูล 2 ชุดไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น จึงจะถูกต้องชัดเจนกว่า

ค่าความเอนเอียง(Bias)

ในสถิติ bias (หรือฟังก์ชัน bias) ของตัวประมาณความแตกต่างระหว่างค่าที่คาดหวังของตัวประมาณค่านี้และค่าที่แท้จริงของพารามิเตอร์ที่จะถูกประเมิน ตัวประมาณหรือกฎการตัดสินใจที่มีค่าไบอัสเป็นศูนย์จะเรียกว่าไม่มีอคติ

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - o_i)$$

เมื่อค่า X_i คือค่าอนุกรมจากการวิเคราะห์ของแบบจำลอง

O_i คือค่าอนุกรมจากการเก็บของสถานี

รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square error; RMSE)

ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง(Root Mean Square error; RMSE) คือการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง ถ้าค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองนั้นสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง (Pindyck, 1998) และหากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเลยในการประมาณค่าของแบบจำลองโดยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง สามารถคำนวณได้ (ชไมพร รุ่งทรัพย์รังสี 2555, น. 36) ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^s - Y_t^a)^2}$$

เมื่อกำหนดค่า Y_t^s = ค่าประมาณจากแบบจำลอง

Y_t^a = ค่าจริง

T = จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมาณแบบจำลอง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการหาประสิทธิภาพฟังก์ชันของแบบจำลองว่าฟังก์ชันไหนของแบบจำลองสภาพอากาศที่มีความใกล้เคียงกับค่าภาคพื้นดินดีที่สุดโดยใช้ตัวแปรในการศึกษาคืออุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนของปี พ.ศ. 2553 ซึ่งฟังก์ชันที่ใช้ทั้งหมดที่จะทำการศึกษามีฟังก์ชันปัจจุบันมีการนำแบบจำลองสภาพอากาศในระดับภูมิภาคมาใช้เพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้แบบจำลองโลกเพราะการใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคมีความใกล้เคียงกับค่าจริงในระดับภาคพื้นเมื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

ศุภกร ชีววรรณ (2551) ได้ทำการศึกษาการคาดการณ์สภาพอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทย: ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นการจำลองสภาพอากาศรายวันที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียด 0.22° หรือประมาณ 25×25 กิโลเมตรโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย ประเทศอังกฤษ และใช้ชุดข้อมูล Global dataset ECHAM4 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ โดยใช้รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่ม สูงขึ้นตามการคาดการณ์แบบ IPCC SRES A2 โดยผลสรุปของข้อมูลในช่วง ค.ศ. 1980-1989/2010-2039/2070-2099 สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต มีแนวโน้มที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย แต่พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิมนี้จะแผ่ขยายครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นระยะเวลาที่มีอากาศร้อนในรอบปีหรือฤดูร้อนจะยืดยาวขึ้นมาก และในทางกลับกันพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีขอบเขตลดลงไปจากเดิม และระยะเวลาที่มีอากาศเย็นก็จะหดสั้นลงอย่างชัดเจนในอนาคต ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทั่วทุกภาคของประเทศไทย ทั้งในด้านปริมาณและการกระจายตัวของพื้นที่ที่มีจำนวนฝนตกเพิ่มมากขึ้น แต่จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยในแต่ละปีในเกือบทุกพื้นที่ยังคงใกล้เคียงกับที่เคยเป็นมาในอดีต

สมเกียรติ อภิพัฒน์วิสุ วชิร สามวังและปรีชา สุขกล้า (2555) ศึกษาการประเมินความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก เพื่อให้เห็นภาพฉายสภาพภูมิอากาศในอนาคต (Future Climate Projection) จึงมีประโยชน์ต่อการเตรียมมาตรการบรรเทาความรุนแรง หรือ การปรับตัวในสิ่งแวดล้อมใหม่ เหตุการณ์จำลองภูมิอากาศในอนาคต มีความไม่แน่นอน (Uncertainty) ปรากฏอยู่ในข้อมูล ทำให้การเลือกพิจารณามาตรการหรือการปรับตัว มีความเสี่ยงว่าเหตุการณ์ที่ คาดการณ์ไว้ว่าจะไม่เกิดขึ้น ปัจจัยของความไม่แน่นอนในข้อมูลเหตุการณ์จำลองภูมิอากาศ เป็นผลสะสมของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นซึ่งได้แก่ 1) การตั้ง

สมมุติฐาน ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่ปล่อยขึ้นในชั้นบรรยากาศในอนาคต 2) การจำลองเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ด้วยแบบจำลอง General Circulation Model (GCM) และ 3) การย่อส่วน (Downscaling) แบบจำลอง Global Climate Model (GCM) เพื่อให้ผลที่ได้มีความละเอียดเพียงพอต่อการศึกษา เช่น ระดับภูมิภาค ระดับลุ่มน้ำ เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลย่อส่วน/ลดขนาดสถิติเพื่อลดขนาด GCM ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก GFDLR30 ของ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) ภายใต้ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ของสหรัฐอเมริกา ให้มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยให้มีขนาดของหน่วยแยกตาราง (Grid Resolution) 0.5° ละติจูด $\times 0.5^\circ$ ลองจิจูดหรือมีพื้นที่ประมาณ 50×50 ตารางกิโลเมตร กำหนดปีฐานในช่วง ค.ศ. 1965 – 1990 และปีอนาคตในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 และ ค.ศ. 2040 – 2059 ซึ่งเมื่อพิจารณาในช่วงปี ค.ศ. 2040-2059 พบว่าฝนรายปีมีปริมาณ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ ฝนรายปีเฉลี่ยในปัจจุบัน โดยมีโอกาสร้อยละ 50 ที่ฝนรายปีจะ เพิ่มขึ้นมากกว่าหรือเท่ากับ 18.0 มิลลิเมตร การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ที่ใช้ข้อมูลจากแบบจำลองโลก GFDL-R30 ของ NOAA ในภาพฉายอากาศแบบ A2 เท่านั้น ทำให้การประเมินความเสี่ยงไม่ครอบคลุมไปถึงแบบจำลองอื่น ดังนั้น หากได้มีการประเมินความเสี่ยงจากข้อมูลของแบบจำลองอื่น เช่น ECHAM5 HadCM3 RegCM เป็นต้น และในภาพฉายอากาศแบบอื่นด้วย เช่น A1 B1 B2 และ A1B เป็นต้น จะช่วยให้การประเมินความเสี่ยงครอบคลุมแบบจำลองและกรณีภาพฉายที่มากขึ้น

จักรกฤษณ์ เรียมรักษ์ (2550) ศึกษาคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ของ IPCC 2007 ทั้งหมด 23 แบบ ได้จำลองค่าอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในช่วงศตวรรษที่ 20 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่สามารถตรวจสอบได้จริงในช่วงเวลาเดียวกัน 4 แบบจำลองที่เหมาะสม ได้แก่ IPSLCM4, MIROC3.2 (medres), GISS-ER, PCM และได้แบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงสุด (A2 Scenario) และกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด (B1 Scenario) ผลของแบบจำลองพบว่า ไม่เกิน ค.ศ. 2100 อุณหภูมิเฉลี่ยผิวพื้นจะเพิ่มขึ้น 1.0 - 2.1 องศาเซลเซียส ในกรณี B1 และ 2.1-3.8 องศาเซลเซียส ในกรณี A2 ปริมาณน้ำฝนโดยรวมของภูมิภาคจะเพิ่มขึ้น 125-240 มิลลิเมตร ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้น 0.35-1.52 เมตร ในกรณี B1 และ 0.53-1.95 เมตร ในกรณี A2

คุณฐิติ ศุขวัฒน์และสุกัญยาณี ะวิญชาญ (2550) ทดสอบและปรับปรุงแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2000 - 2004 โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา และ National Centers for Environmental Prediction, USA และกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนที่ต่างกัน 3 วิธี คือ Kain-Fritsch (KF), Bett-Miller-Janjic (BM) และ Grell-Deveny Ensemble (GR) ผลการทดลองแสดงว่าวิธี KF ให้ผลการคาดการณ์อุณหภูมิดีกว่าวิธีอื่น แต่การวิเคราะห์ผลในส่วนปริมาณน้ำฝนพบว่าการคาดการณ์ของแบบจำลองต่ำกว่าความเป็นจริงมากในช่วงฤดูฝน ส่วนอุณหภูมิแบบจำลองสามารถคาดการณ์แนวโน้มได้ แต่ค่าอุณหภูมิรายเดือนต่ำกว่าความเป็นจริงมาก ในส่วนของอัตราเร็วลมและความกดอากาศนั้น การคาดการณ์โดยแบบจำลองมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก ซึ่งกล่าวได้ว่าแบบจำลอง WRF รุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถใช้ในการคาดการณ์อุณหภูมิได้ แต่ยังไม่อาจใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝนของประเทศไทยได้

ทิพย์วรรณ ทอดแสน ไอศวรรย์ ชื่นกาญจน์ สุจิรา กิตติราษฎร์ กนกศรี ศรีนภากรและสุรเจตต์ บุญญารุณเนตร (2557) ได้พัฒนาระบบคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นจากแบบจำลอง WRF (Weather Research and Forecasting Model) เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำในการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นจากแบบจำลอง WRF ที่ความละเอียด 3x3 กิโลเมตรโดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 1 สิงหาคม ถึง 30 พฤศจิกายน 2556 กับข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมรายวันจากการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาและสสนก. จำนวน 477 สถานี และพบว่าการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้า 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน มีความถูกต้องอยู่ที่ ร้อยละ 69, 66 และ 62 ตามลำดับ ของจำนวนสถานีตรวจวัดทั้งหมด และความผิดพลาดลดลงเมื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตรต่อวัน โดยพื้นที่ที่สอดคล้องมากที่สุดได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ภาคตะวันออก และภาคใต้ฝั่งตะวันออก

นิริวัฒน์ ชูสกุล (2555) ศึกษาความเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของสภาวะอากาศและปริมาณน้ำฝนต่อการปลูกข้าวของประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศได้ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำฝนที่จะตกลงมายังภาคพื้นดินของประเทศไทย จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2513-2543 ด้วยระยะเวลา 30 ปี มีแนวโน้มสอดคล้องกับสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน

(C.S.Nandozi et al, 2555) ทดลอง ประสิทธิภาพแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาค และการคาดการณ์ตามฤดูกาลปริมาณฝนและอุณหภูมิพื้นผิวของประเทศยูกันดา จากผลการศึกษาเป็นการศึกษาปี ค.ศ. 1961-1990 เพื่อคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2070-2100 เปรียบเทียบข้อมูลจาก

แบบจำลอง 2 แบบ ได้แก่ Global Climate Models (GCMs) และ Regional Climate Model (RCM) ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันในสามฤดูกาลที่ค่อนข้างได้ผลใกล้เคียงกับค่าภาคพื้นคือ Regional Climate Model (RCM) คือช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม ซึ่งมีโอกาสที่อุณหภูมิพื้นผิวจะเพิ่มมากขึ้น 0.9°C และปริมาณน้ำฝน 0.2 mm. day^{-1} และในช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน จะมีผลที่ต่างจากปีของข้อมูลคืออุณหภูมิพื้นผิวจะต่ำลง 0.9°C และปริมาณน้ำฝนจะต่ำลง 0.7 mm. day^{-1} และสำหรับฤดูแล้งมีถุนายน-สิงหาคม คาดว่าอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนจะลดลง 0.3°C และ 0.4 mm. day^{-1} ตามลำดับ

(Benjamin Bechtel and other, 2555) ได้ศึกษาการลดระยะทางเพื่อศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเมือง: กรณีศึกษาเมืองฮัมบูร์กประเทศเยอรมนี เป็นการศึกษาระยะไกลผ่านดาวเทียมของอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ซึ่งจะขึ้นกับขนาดพื้นที่ความละเอียดระดับกลางและในระดับสูง และในการเก็บค่าที่ดีสามารถเก็บได้วันละสี่ครั้งซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าค่าของปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Islands (UHI)) ดีหรือไม่ ในภาคเหนือของเยอรมนี ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature (LST)) ขนาด 3300 พิกเซล เทียบเท่า 6,700 เมตร สำหรับปรากฏการณ์เกาะความร้อน การตรวจสอบการแก้ปัญหานี้คือขยายเกินไปก็ควรจะเทียบเคียงแทนความกว้างของสื่อบล็อก: มักจะไม่เกิน 100 เมตร ดังนั้นควรเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 2,000 ซึ่งมีความละเอียดสูงขึ้นในการศึกษา ดังนั้นผลที่ได้คือสามารถใช้ได้ทุก ๆ 15 นาทีและที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ความสูง 100 เมตร อธิบายความแปรปรวน ($R^2: 0.71$) และรากที่ค่อนข้างต่ำหมายถึงข้อผิดพลาดของตาราง (RMSE: 2.2 K) สำหรับความละเอียดที่ต่ำกว่าความละเอียดเชิงพื้นที่ ดำเนินการได้ดียิ่งขึ้น (500 เมตร จะได้ $R^2: 0.80$, RMSE: 1.8 K และสำหรับ 1,000 เมตร จะได้ $R^2: 0.82$, RMSE: 1.6 K)

(Manat Srivanit and Kazunori Hokao, 2555) สำรวจระยะไกลด้วยข้อมูลอินฟราเรดความร้อนเพื่อการศึกษาภูมิอากาศ และสิ่งแวดล้อมเมืองกับการประยุกต์ใช้ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยการเลือกใช้ประโยชน์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท ทีเอ็ม สามช่วงเวลาในปี ค.ศ. 1994 2000 และ 2009 เพื่อประเมินปรากฏการณ์เกาะความร้อนพื้นผิวเมืองจากการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิที่สูงของความร้อนพื้นผิวเมือง มีรูปแบบกระจายไปตามพื้นที่ต่าง ๆ โดยมีความสัมพันธ์มากกับประเภทของสิ่งปกคลุมดิน พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในกรุงเทพมหานครมีค่าประมาณ 26.01 ± 5.89 องศาเซลเซียส ในปี

1994 ความแตกต่างนี้ได้เพิ่มขึ้นไปเป็น 37.76 ± 2.84 องศาเซลเซียส ในปี 2000 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็น 39.79 ± 2.91 องศาเซลเซียส ในปี ค.ศ. 2009 ตามลำดับ

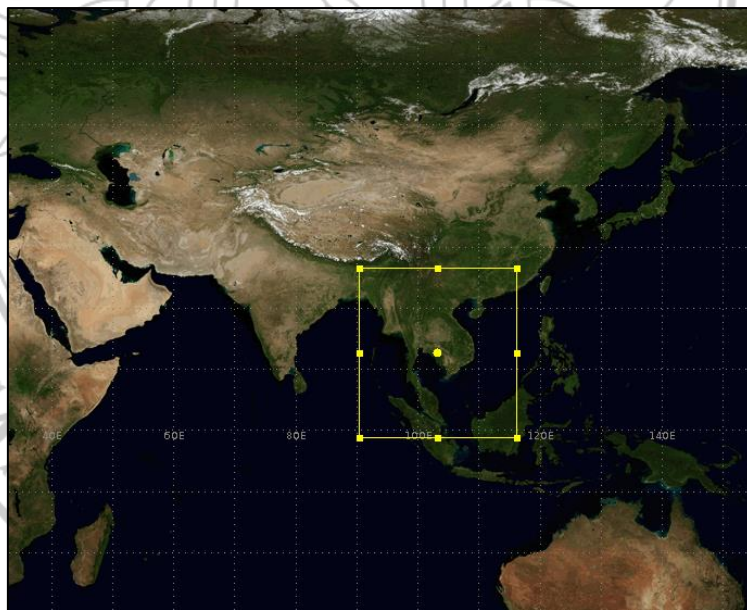


บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบจำลอง Weather Research And Forecasting model (WRF) ซึ่งเป็นการพัฒนาโดยหน่วยงาน National Center for Atmospheric Research (NCAR) เป็นหน่วยงานในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแบบจำลองสภาพอากาศขนาดภูมิภาค (Regional) หรือแบบจำกัดพื้นที่ (limited-area) โดยมีกัณฑ์ตามแนวดิ่งปรับตามความสูงของภูมิประเทศ ข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ NCAR ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะแบบจำลอง Weather Research And Forecasting model (WRF) ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม GrADS (Grid Analysis and Displaying System) ที่เป็นเชิงตัวเลข



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตของแบบจำลองสภาพอากาศใน WRF

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือและวิธีการในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (computer) จำนวน 2 ชุด

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operator System)

เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาจากเว็บไซต์

1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows Operator System) เพื่อใช้วิเคราะห์ผลที่เป็นตัวเลขซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operator System)

2. ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operator System.(Cen OS))และระบบปฏิบัติการวินโดวส์(Windows Operator System) ซึ่งทั้งสองปฏิบัติการเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ที่เป็นฮาร์ดแวร์

3. โปรแกรมWeather Research and Forecasting(WRF) เป็นโปรแกรมที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operator System)และเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะสภาพภูมิอากาศ

4. โปรแกรม Grid Analysis and Display System (GrADS) เป็นโปรแกรมสำหรับแปลงข้อมูลทั้งหมดออกมาเป็นแบบเชิงตัวเลขหรือแบบเชิงกราฟิกเพื่อดูค่าหรือเปรียบเทียบค่า

การจำลองสภาพภูมิอากาศด้วยแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting)

1. ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

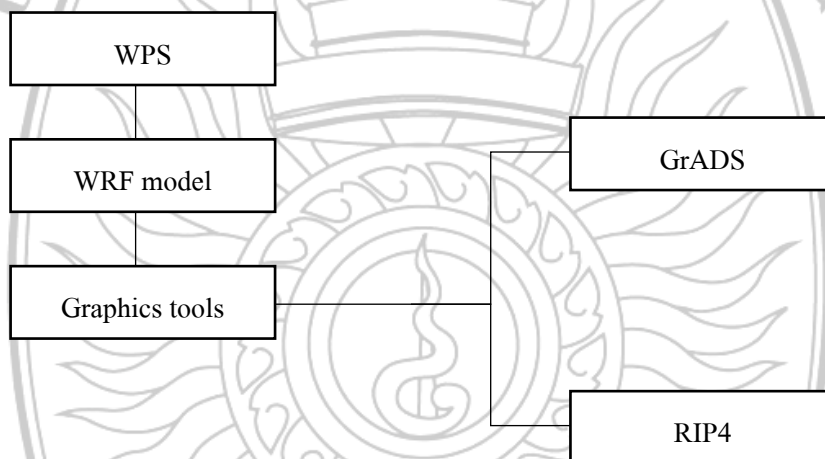
1.1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศภาคพื้นดินในการวิจัยเป็นข้อมูลการสำรวจของกรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย

1.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Gridded Atmospheric Data) จากข้อมูลจำลองโลก CCSM3 ได้แก่ ความกดอากาศระดับน้ำทะเล (Sea Level Pressure) ลม(Wind) อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความชื้นของดิน (Soil Moisture)

และ อุณหภูมิของดิน (Soil Temperature) เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Forcing Data) สำหรับเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองสภาพอากาศ

2. การทำงานของแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting)

แบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting) เป็นแบบจำลองสภาพอากาศขนาดภูมิภาค (Regional) โดยพิกัดในแนวดิ่งปรับตามความสูงของภูมิประเทศ ซึ่งพัฒนาโดยหน่วยงาน National Center for Atmospheric Research (NCAR) ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะอากาศ ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ๆ หลายโปรแกรมรวมกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานเป็นไปตามภาพที่ 3.2 (ภาคภูมิ รัตนจิราณกุล และสุจิตรา รัตติจิราณกุล, 2561, น. 14-15)



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบของแบบจำลอง WRF

1. The WRF Preprocessing System (WRF) มี 3 ขั้นตอนได้แก่

- 1.1 Domain selection เป็นขั้นตอนในการกำหนดพื้นที่ในการศึกษา
- 1.2 Initial Data เป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศลงบนกริดเซลล์ที่ไม่มีข้อมูล
- 1.3 Interpolate Data เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลที่มีอยู่บนกริดเซลล์มาคำนวณลงบนกริดเซลล์ที่ไม่มีข้อมูล

2. WRF Model เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่คำนวณตัวแปรต่าง ๆ ในบรรยากาศ โดยอาศัยสมการพื้นฐานทางฟิสิกส์บรรยากาศที่มีอยู่ในแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะสำคัญได้แก่

Non-hydrostatic พิกัดในแนวดิ่งปรับตามความสูงของภูมิประเทศและสามารถเลือกพื้นผิวดิน (Physics Option) ให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำการศึกษา

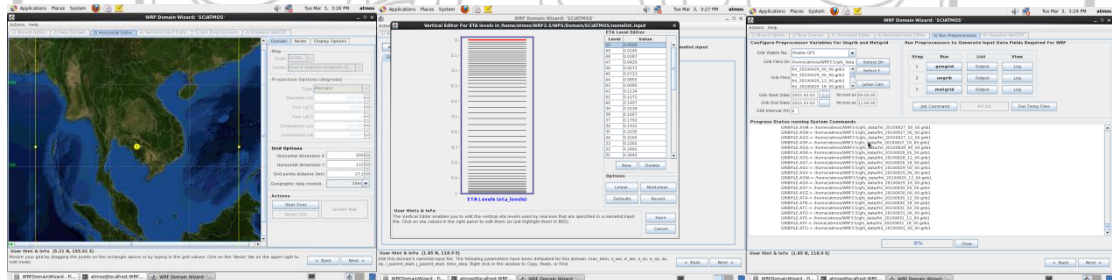
3. Graphics tools เป็นขั้นตอนในการแสดงผลข้อมูลที่ได้มาจากแบบจำลองของWRF ซึ่งผู้วิจัยสามารถเลือกได้ว่าจะให้แสดงผลออกมาแบบGrADSหรือRIP4

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. รวบรวมข้อมูลสภาพอากาศที่ตรวจวัดจากดาวเทียมตรวจสภาพอากาศจาก National Center for Atmospheric Research (NCAR) สหรัฐอเมริกา เช่น อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน อุณหภูมิสูงสุดรายวัน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน

2. กำหนดพื้นที่ในการศึกษา ตั้งแต่บริเวณทะเลจีนใต้จนถึงทะเลอันดามัน ซึ่งครอบคลุมบริเวณประเทศไทยในช่วง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – พฤศจิกายน พ.ศ. 2553

3. นำข้อมูลที่ได้จากเว็บไซต์มาทำการ Run WRF Domain Wizard ใน Linux Operating system



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างหน้าโปรแกรม WRF Domain

4. กำหนดตัวเลือกพื้นผิวดิน (Land Surface Options) หรือ (sf_surface_physics) ให้กับโปรแกรมซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของงานวิจัย โดยจะเปลี่ยนตัวเลือกเป็นWithout land surface,Thermal diffusion land surface, Noah land-surface และ RUC land-surface ในแต่ละครั้งของการทำงานของโปรแกรมตามลำดับ

5. นำข้อมูลจาก Weather Research And Forecasting model (WRF) ที่ทำการรันเสร็จ มาประมวลผลอีกครั้งในWindows Operating System ด้วยโปรแกรมGrid Analysis and Display

System (GrADS) ซึ่งในตัวเลือกของ Without land surface, Thermal diffusion land surface, Noah land-surface และ RUC land-surface จะได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน

6. วิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ค่าความเอนเอียง (Bias) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square error; RMSE) ของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตัวเลือกในแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่เป็นค่าพื้นผิวดิน

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ



บทที่ 4

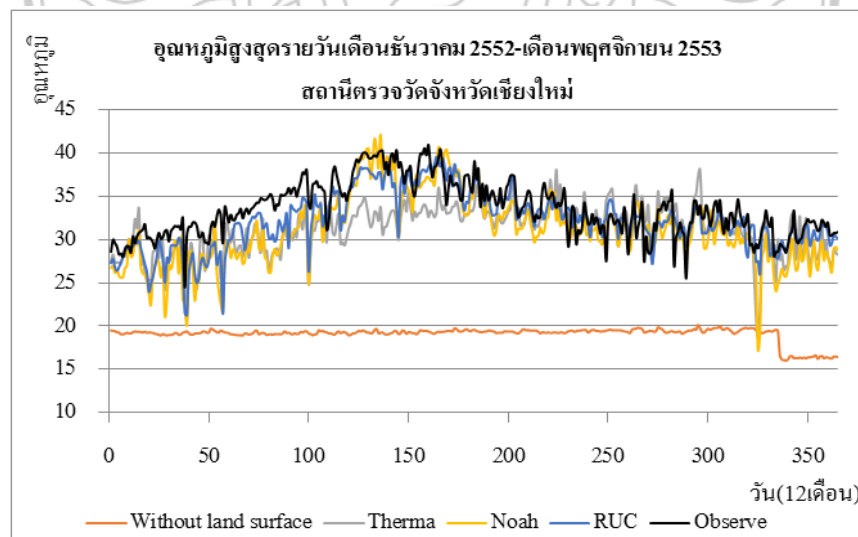
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้จำลองอุณหภูมิจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน ทั้ง 4 ตัวเลือก ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ช่วงระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 และทดสอบประสิทธิภาพผลการจำลองโดยการเปรียบเทียบข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้ผลดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการจำลองอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน

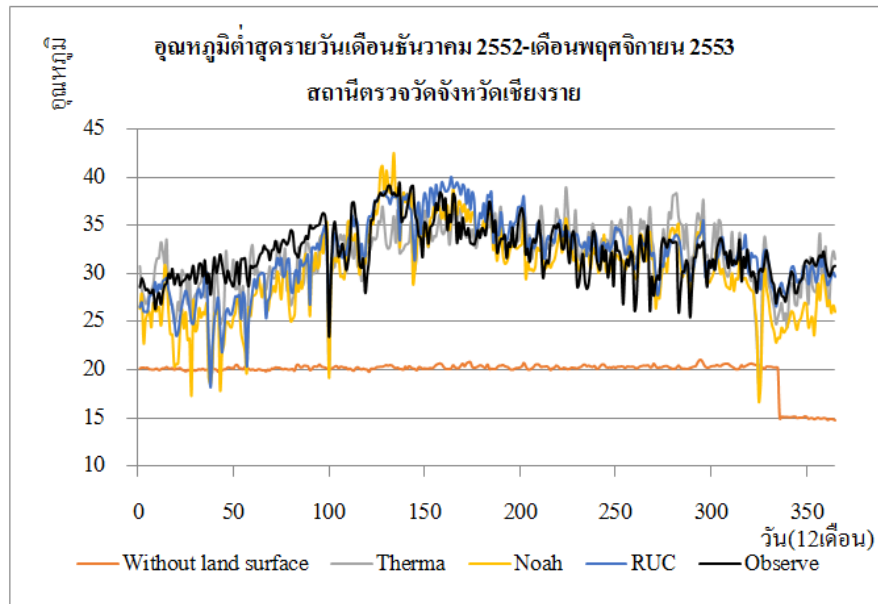
อุณหภูมิสูงสุดรายวัน

การจำลองอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน ทั้ง 4 ตัวเลือก ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ดังรูปที่ 4.1 - 4.9 พบว่า ผลการจำลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ในรูปแบบใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดทั้ง 3 ตัวเลือก ยกเว้นตัวเลือกที่ไม่ใช่แบบจำลองพื้นผิวดินมีค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด

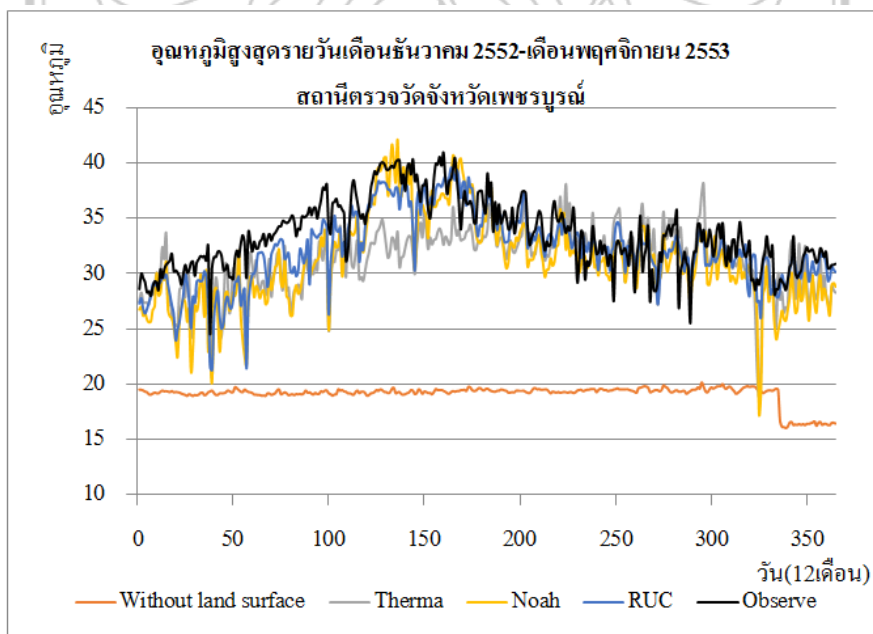


ภาพที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553

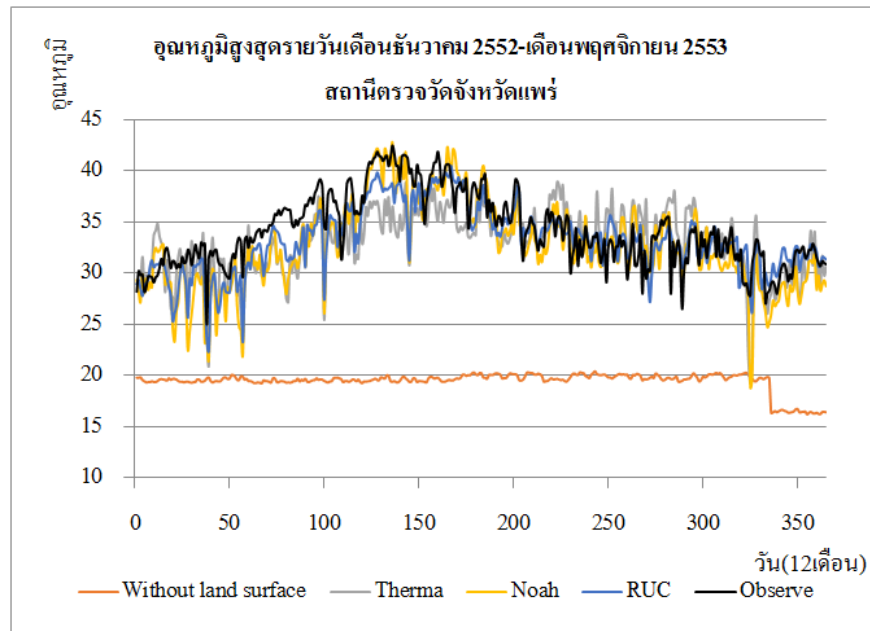
สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่



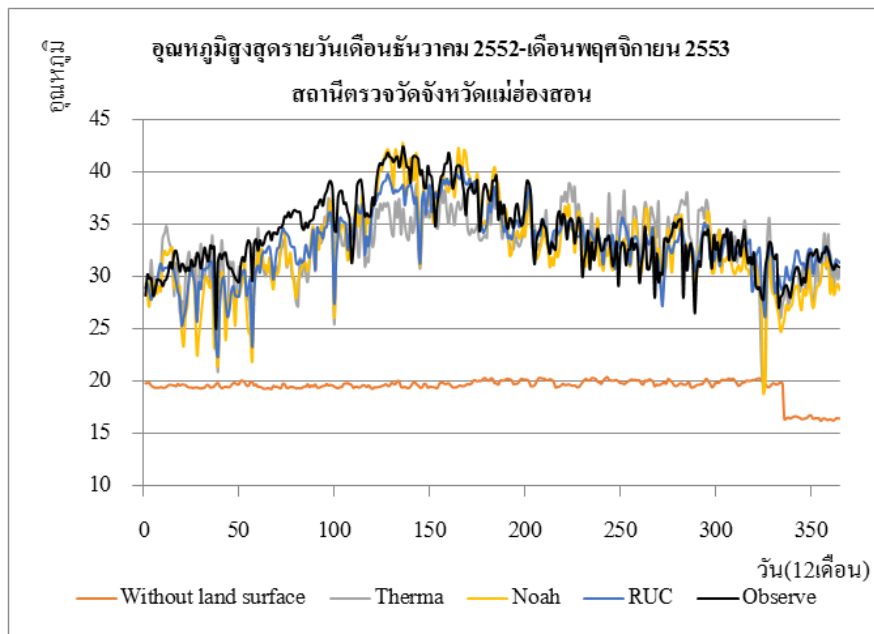
ภาพที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่



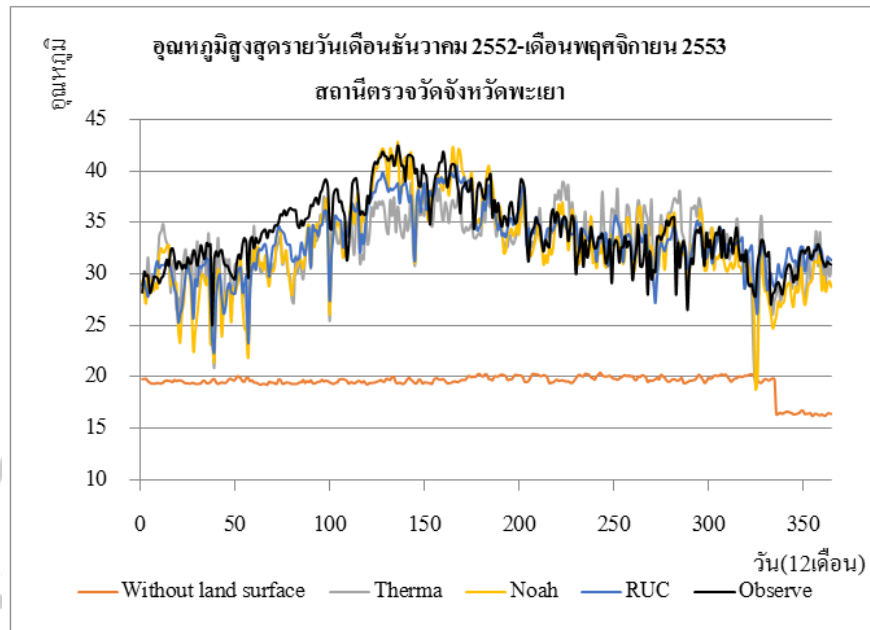
ภาพที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเพชรบูรณ์



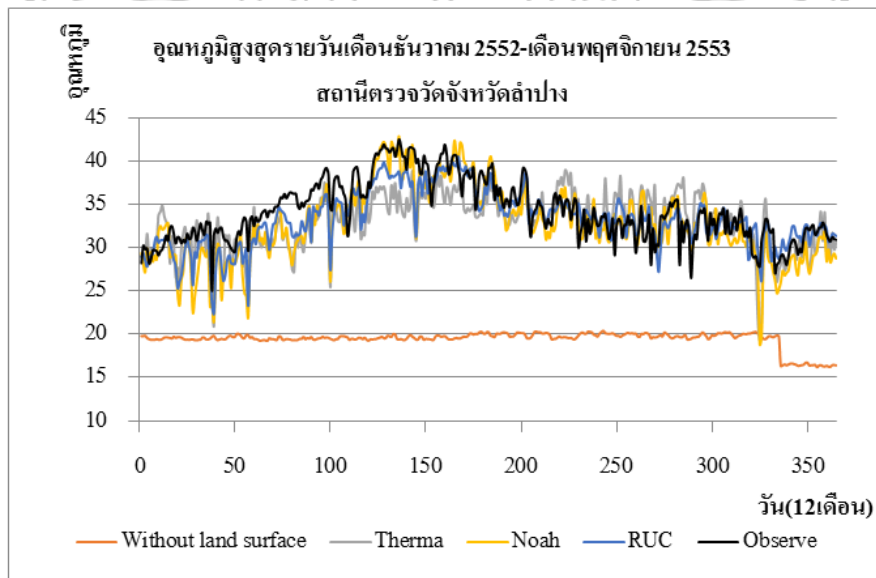
ภาพที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิกำลังสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดแพร่



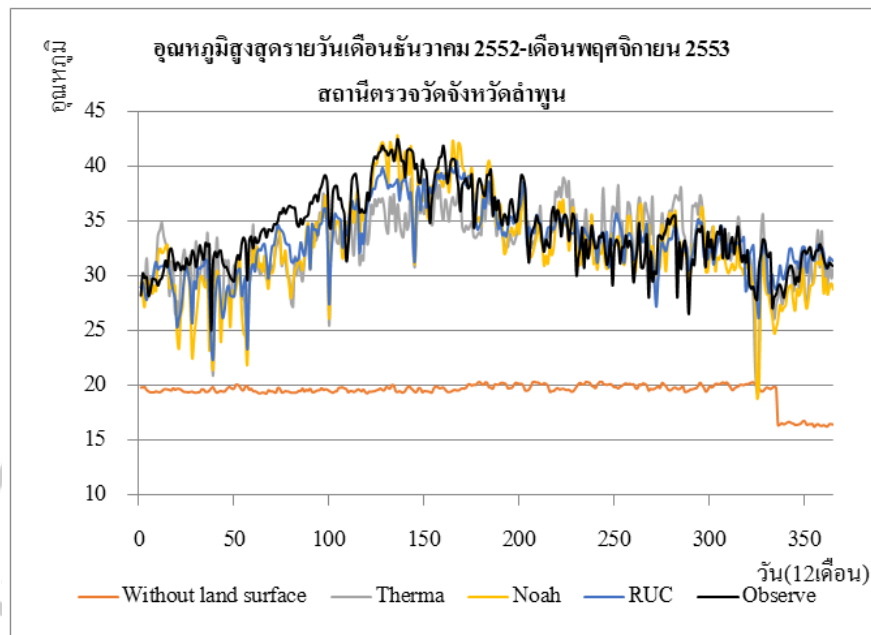
ภาพที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิกำลังสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน



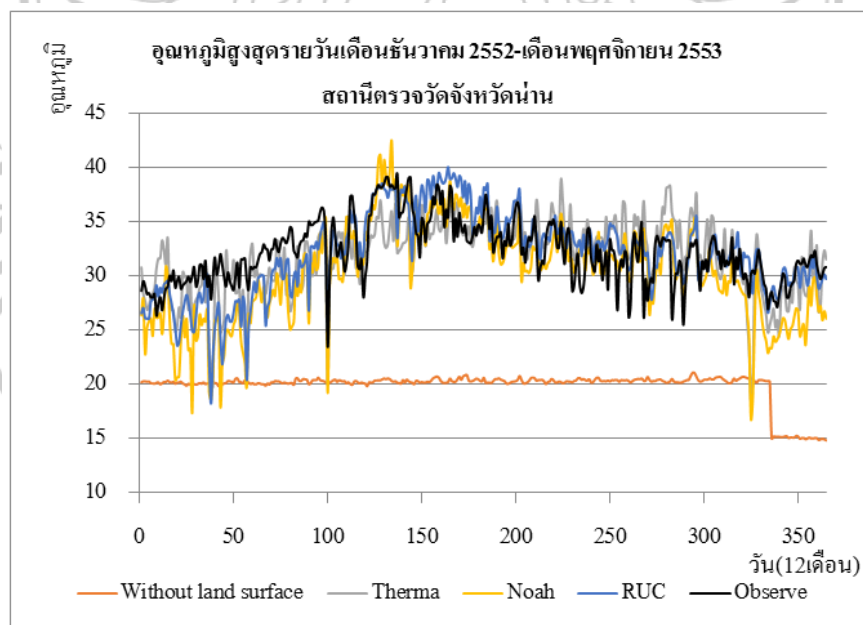
ภาพที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดพะเยา



ภาพที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดลำปาง



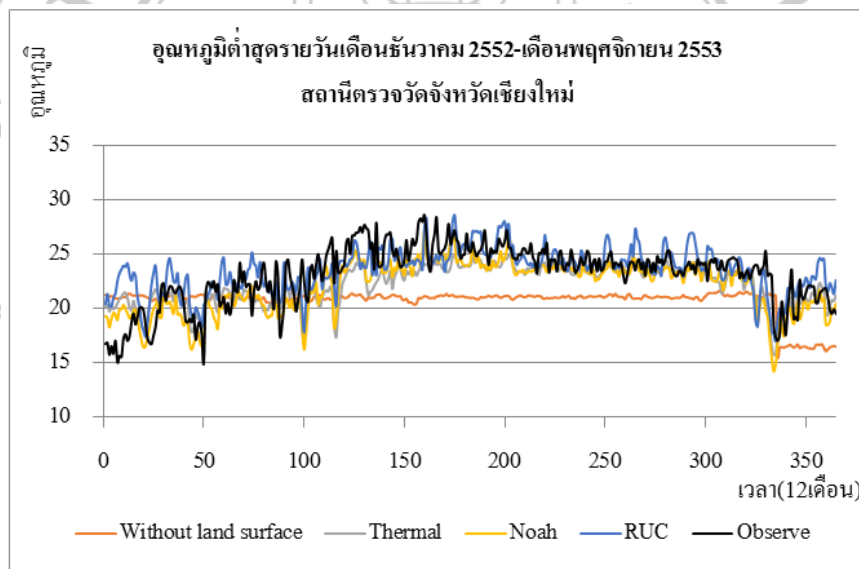
ภาพที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดลำพูน



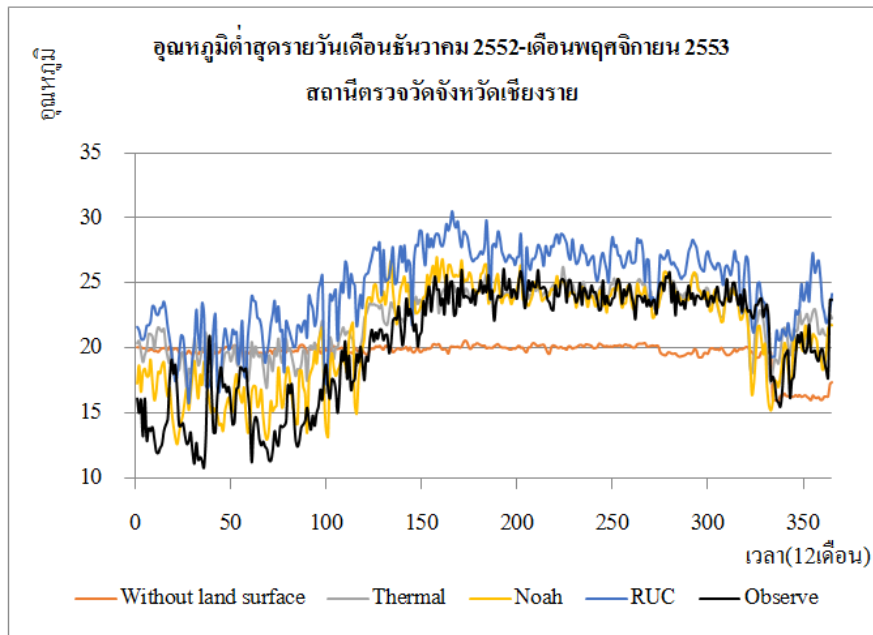
ภาพที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดน่าน

อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน

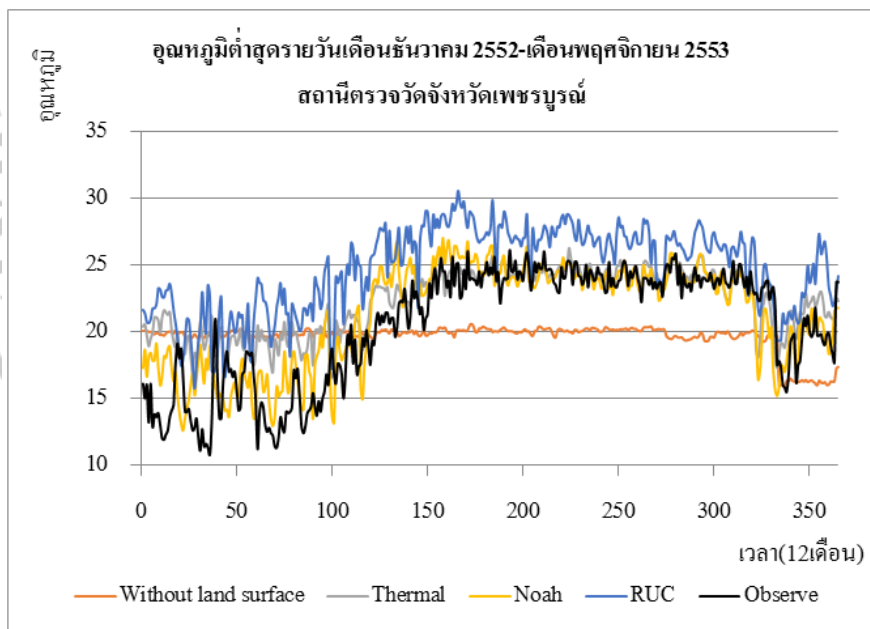
การจำลองอุณหภูมิต่ำสุดรายวันจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน ทั้ง 4 ตัวเลือก ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ดังรูปที่ 4.10-4.18 พบว่า ผลการจำลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ในรูปแบบใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด ทั้ง 3 ตัวเลือก ยกเว้นตัวเลือกที่ไม่ใช่แบบจำลองพื้นผิวดิน ซึ่งมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดในช่วงฤดูหนาว



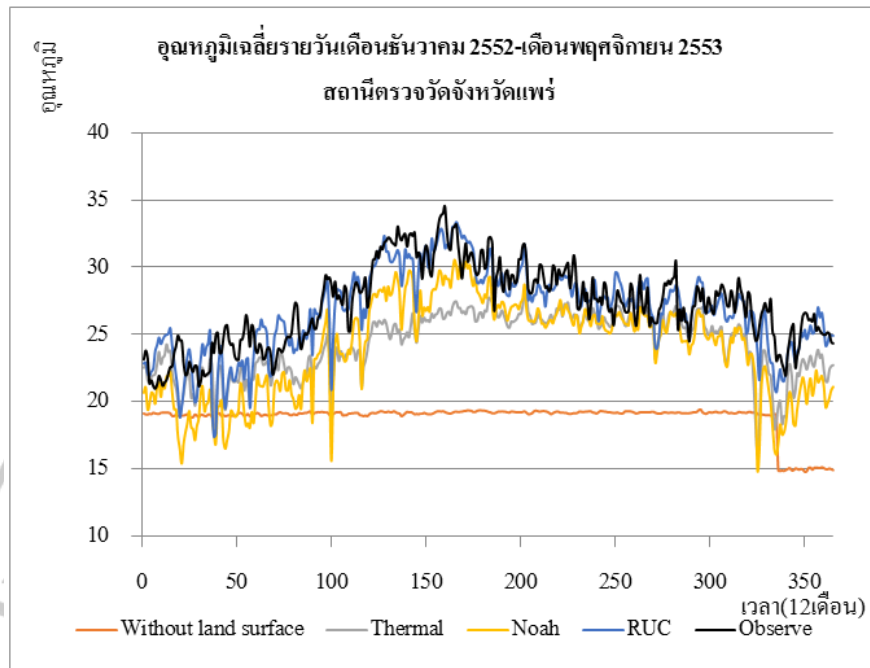
ภาพที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่



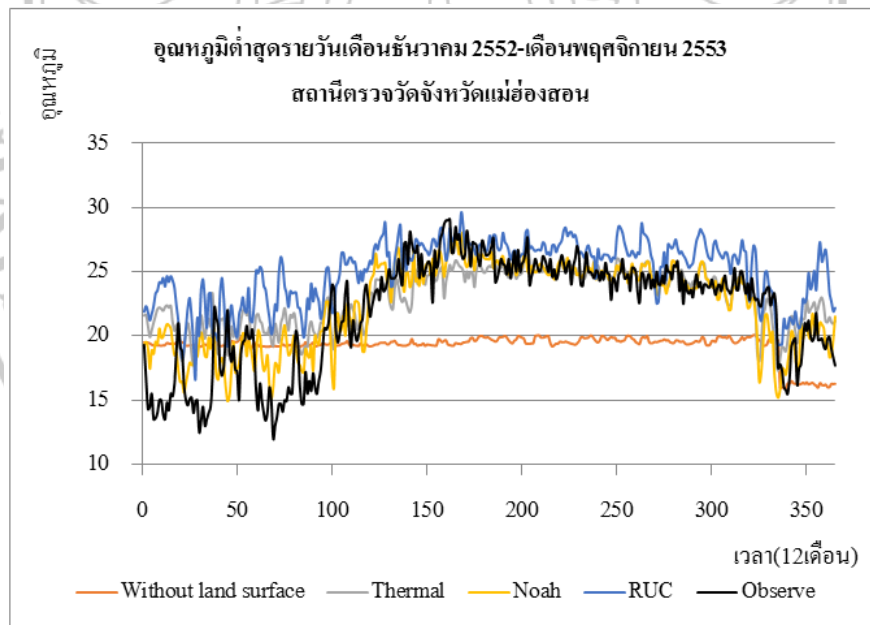
ภาพที่ 4.11 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่



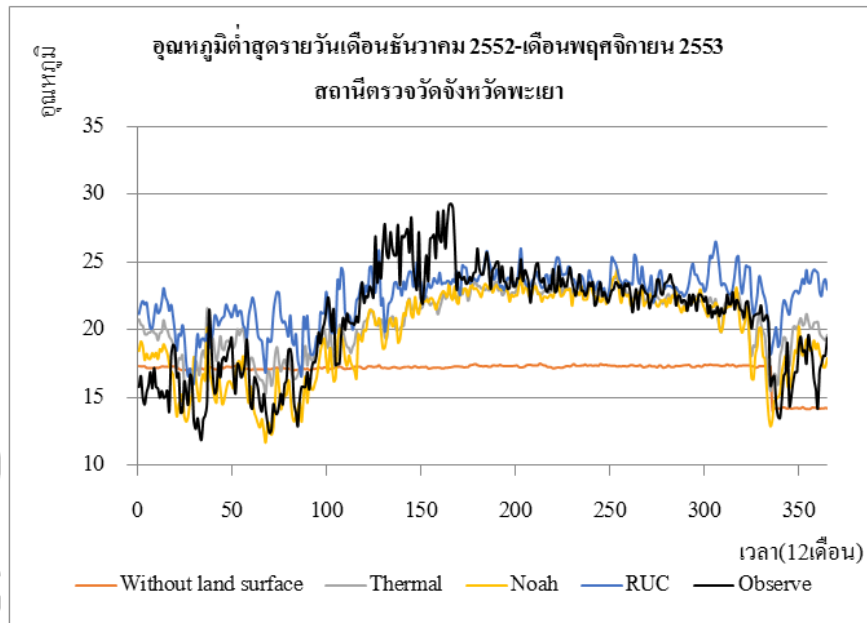
ภาพที่ 4.12 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเพชรบูรณ์



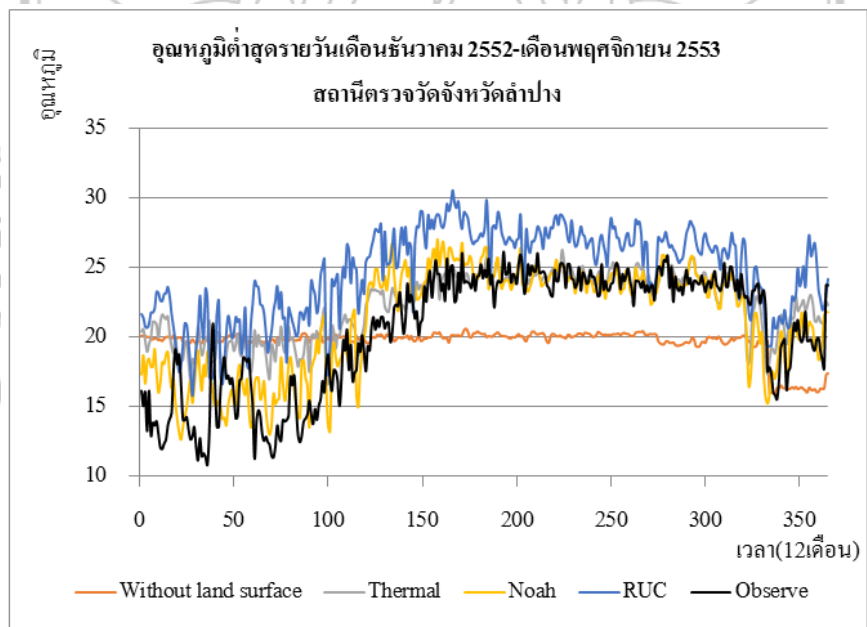
ภาพที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดแพร่



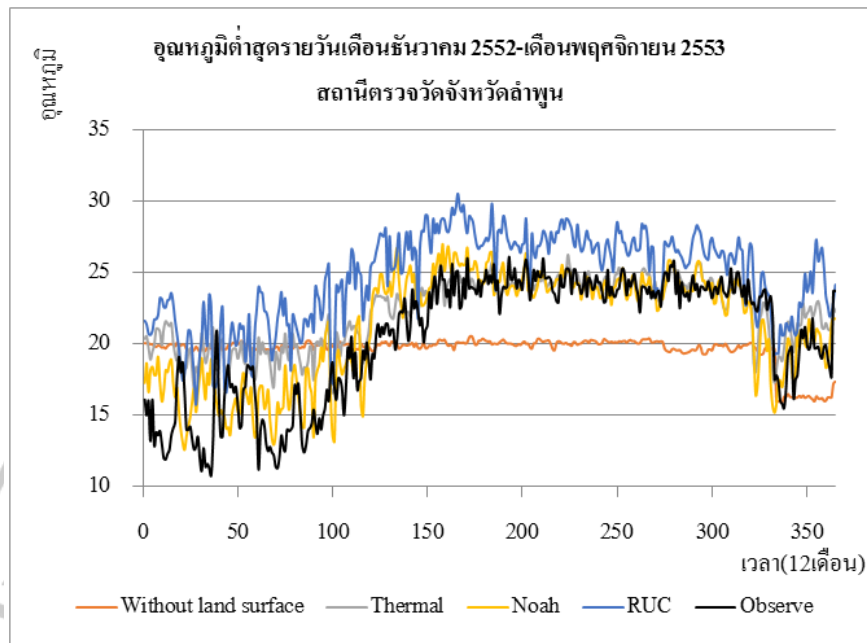
ภาพที่ 4.14 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน



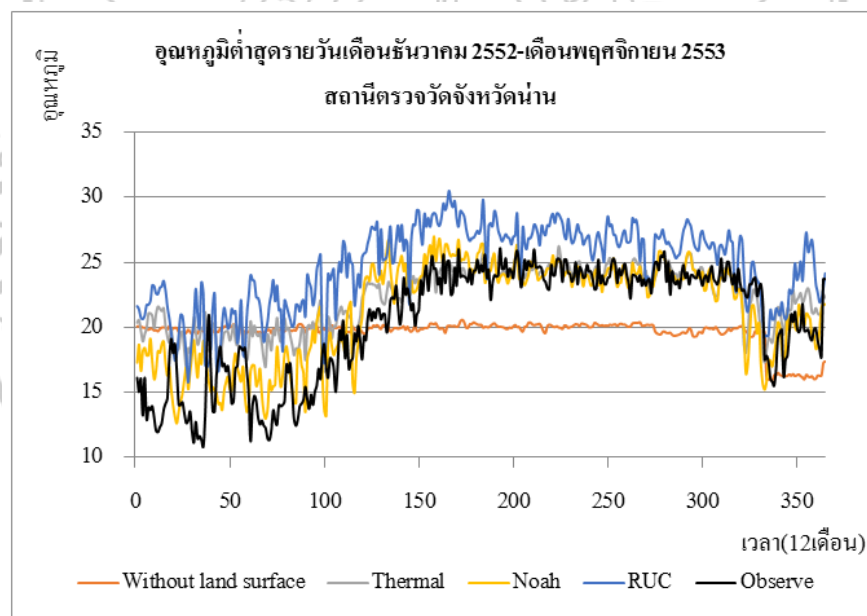
ภาพที่ 4.15 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดพะเยา



ภาพที่ 4.16 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดลำปาง



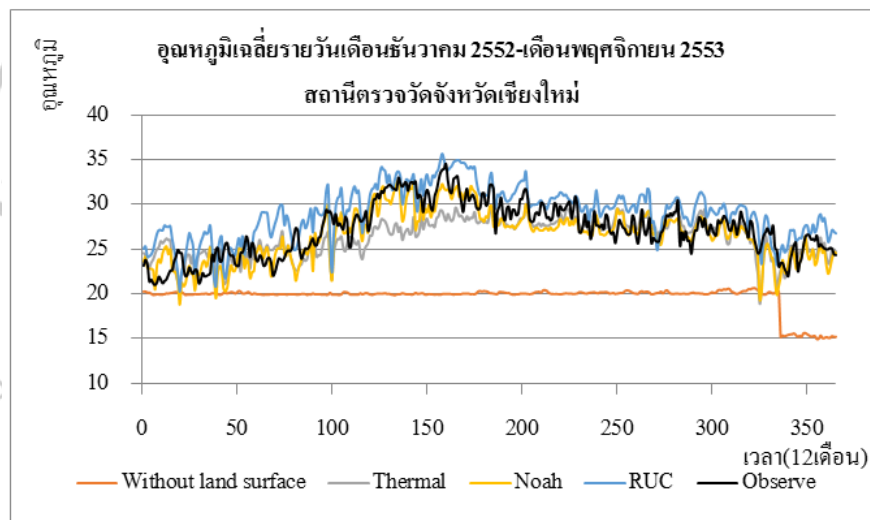
ภาพที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิค่าสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดลำพูน



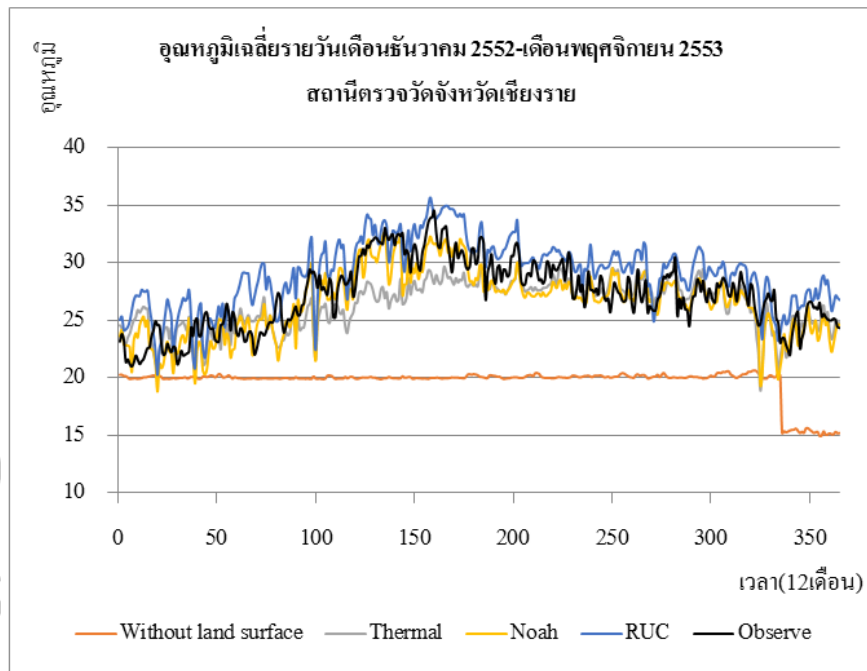
ภาพที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิค่าสุดรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดน่าน

อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน

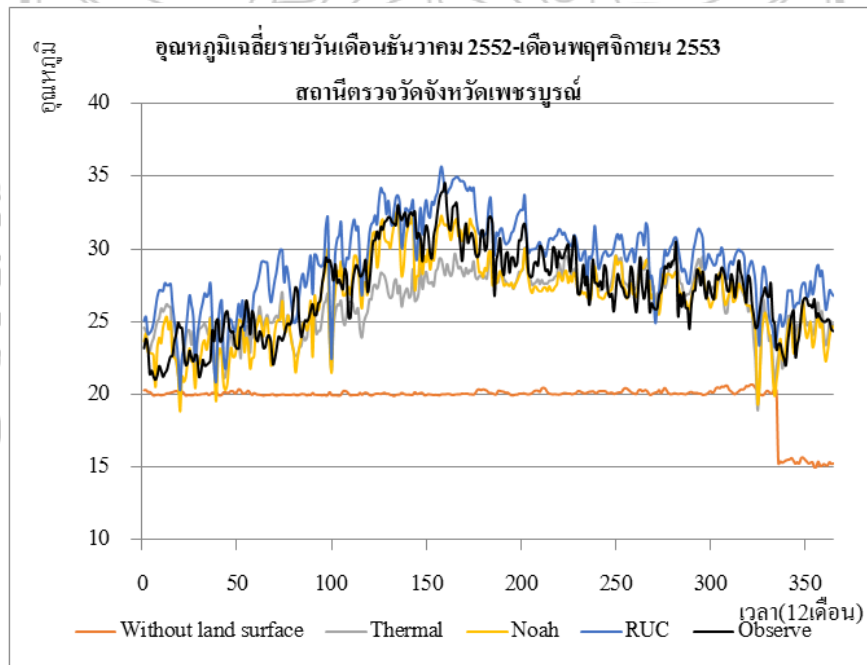
การจำลองอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน ทั้ง 4 ตัวเลือก ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ดังรูปที่ 4.19-4.27 พบว่า ผลการจำลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ในรูปแบบใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด ทั้ง 3 ตัวเลือก ยกเว้นตัวเลือกที่ไม่ใช่แบบจำลองพื้นผิวดิน ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด



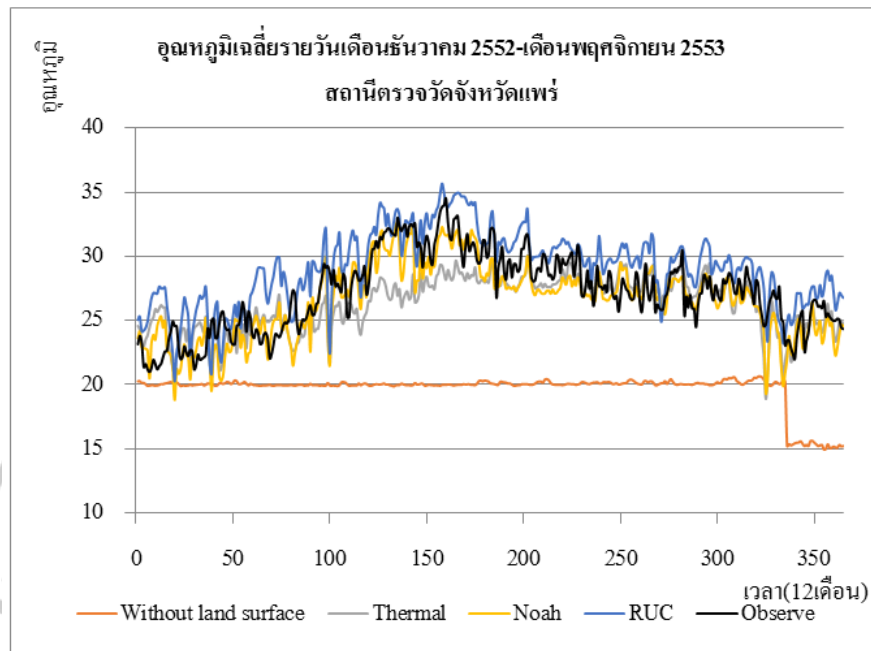
ภาพที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่



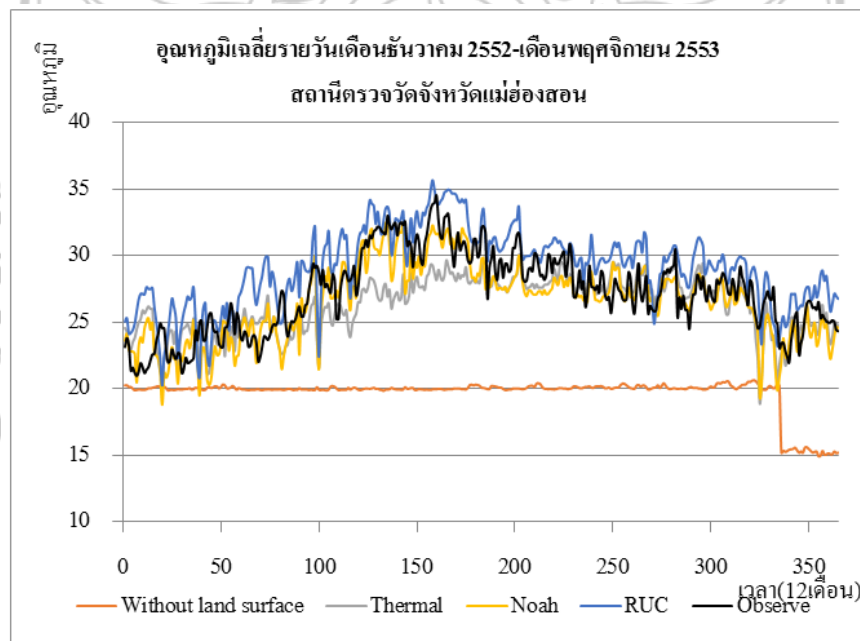
ภาพที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่



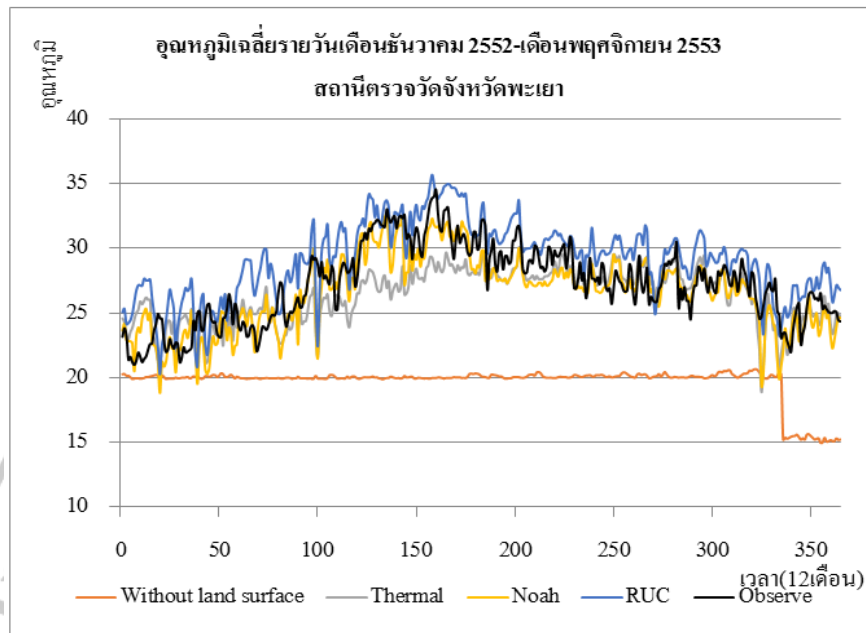
ภาพที่ 4.21 ค่าอุณหภูมิรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดเพชรบูรณ์



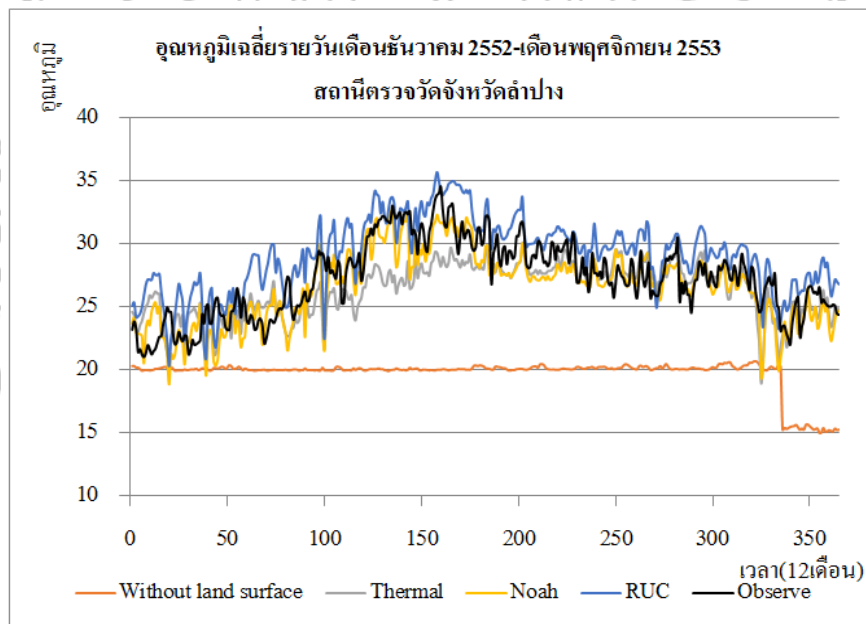
ภาพที่ 4.22 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดแพร่



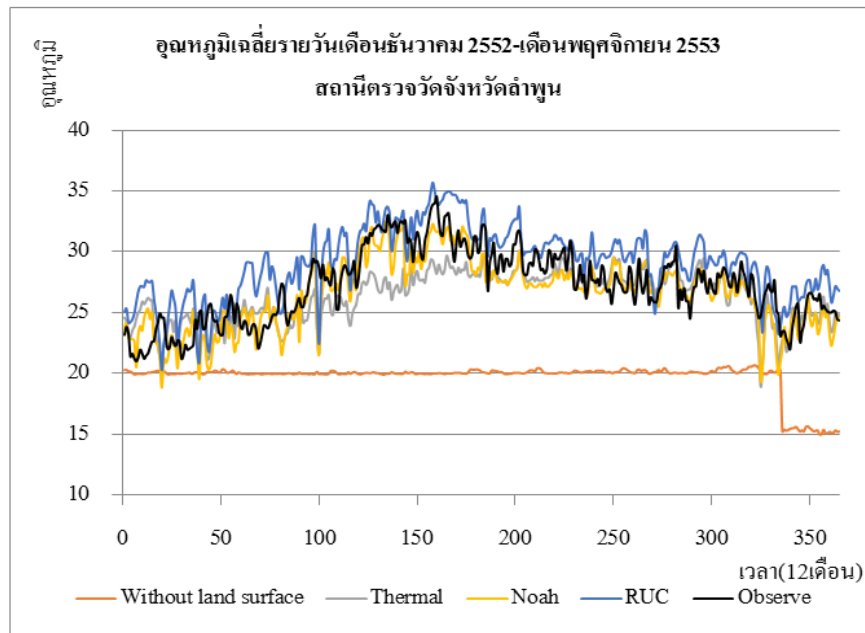
ภาพที่ 4.23 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน



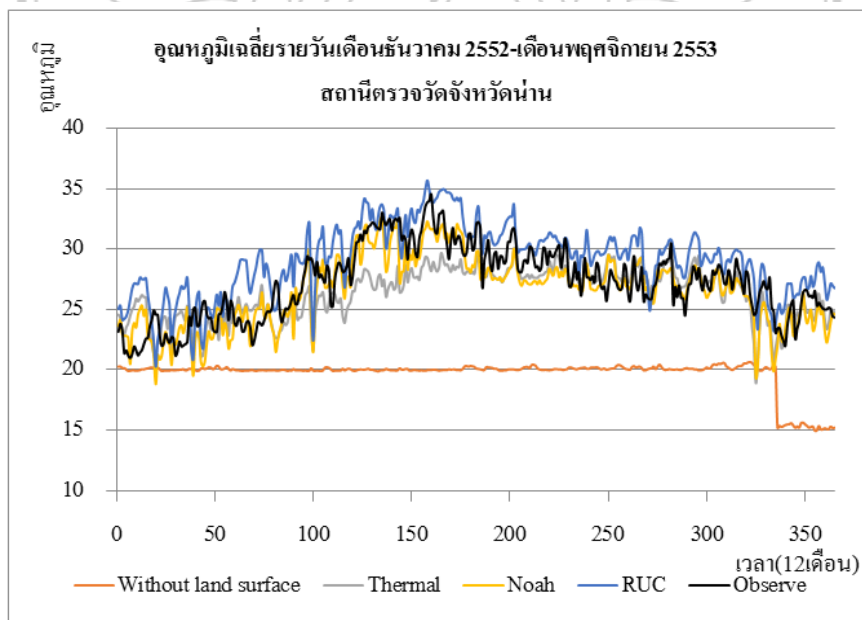
ภาพที่ 4.24 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดพะเยา



ภาพที่ 4.25 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดลำปาง



ภาพที่ 4.26 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดลำพูน



ภาพที่ 4.27 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันเดือนธันวาคม 2552-เดือนพฤศจิกายน 2553
สถานีตรวจวัดจังหวัดน่าน

**ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการจำลองอุณหภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศ
ควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน**

การทดสอบประสิทธิภาพผลการจำลองอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองสภาพอากาศ
ควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน โดยการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ค่าความเอนเอียง
(Bias) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square error; RMSE)
ซึ่งแบ่งเป็นการวิเคราะห์ช่วงละ 3 เดือน ได้ผลดังนี้

อุณหภูมิสูงสุดรายวัน

**ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – เดือน
พฤศจิกายน พ.ศ. 2553**

LSM	Correlation				Bias ($^{\circ}\text{C}$)				RMSE ($^{\circ}\text{C}$)			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
Without (LS)	0.21	0.01	0.06	0.23	12.36	18.06	13.71	13.29	3.55	18.3	13.99	3.68
Thermal diffusion	0.28	0.3	0.25	0.5	3.61	5.56	1.04	1.58	2.15	6.3	3.06	1.79
Noah	0.51	0.53	0.47	0.57	4.4	2.53	2.04	2.8	2.28	3.81	3.16	1.91
RUC	0.63	0.49	0.57	0.46	3.25	2.29	0.81	0.92	1.98	3.52	2.34	1.49

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม
พ.ศ. 2552- เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุดคือตัวเลือก
RUC land-surface ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ใกล้เคียงกับทฤษฎีว่าด้วยทิศทางของข้อมูล
โดยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.63, 0.49, 0.57, 0.46 ซึ่งเป็นทิศทางของข้อมูลทางด้าน
บวกและเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง ค่าความเอนเอียง (Bias) ของข้อมูล

เท่ากับ 3.25, 2.29, 0.81, 0.92 ซึ่งค่าความเอนเอียงเป็นบวกแสดงว่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลตรวจวัดและรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 1.98, 3.52, 2.34, 1.49 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีการกระจายไปจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าตัวเลือกอื่น

อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

LSM	Correlation				Bias ($^{\circ}\text{C}$)				RMSE ($^{\circ}\text{C}$)			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
Without (LS)	0.32	0.14	0.36	0.81	-2.95	3.78	4.66	3.30	1.98	4.95	4.82	1.92
Thermal diffusion	0.49	0.62	0.43	0.73	-3.04	1.26	0.42	0.05	2.04	2.75	1.14	1.40
Noah	0.84	0.65	0.53	0.77	-1.04	0.48	0.39	0.87	1.77	2.56	1.08	1.47
RUC	0.66	0.43	0.39	0.69	-4.84	-1.70	-1.41	-2.05	2.44	3.43	2.03	1.72

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2552- เดือนพฤศจิกายน 2553ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุดคือตัวเลือก Noah land-surface ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ใกล้เคียงกับทฤษฎีว่าด้วยทิศทางของข้อมูล โดยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.84, 0.65, 0.53, 0.77 ซึ่งเป็นทิศทางของข้อมูลทางด้านบวกและเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ค่าความเอนเอียง (Bias) ของข้อมูลเท่ากับ -1.04, 0.48,

0.39, 0.87 ซึ่งค่าความเอนเอียงเป็นบวกแสดงว่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันจากแบบจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลตรวจวัด ยกเว้นในช่วงฤดูหนาวซึ่งมีค่าเป็นลบแสดงว่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลตรวจวัด และรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 1.77, 2.56, 1.08, 1.47 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีการกระจายไปจากค่าเฉลี่ยน้อยกว่าตัวเลือกอื่น

อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

LSM	Correlation				Bias ($^{\circ}\text{C}$)				RMSE ($^{\circ}\text{C}$)			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
Without (LS)	0.36	0.04	0.1	0.63	3.73	10.22	8.44	7.49	4.23	10.59	8.65	2.73
Thermal diffusion	0.15	0.35	0.39	0.47	-1.34	3.23	0.64	0.54	3.14	4	1.84	0.74
Noah	0.23	0.87	0.88	0.94	-0.63	1.4	1.13	1.59	4.02	2.66	1.86	1.26
RUC	0.22	0.89	0.86	0.86	-3.35	-0.62	-0.85	-1.31	4.94	2.55	1.79	1.14

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2552- เดือนพฤศจิกายน 2553ที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุดคือตัวเลือก Noah land-surface ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ใกล้เคียงกับทฤษฎีว่าด้วยทิศทางของข้อมูล โดยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.23, 0.87, 0.88, 0.94 ซึ่งเป็นทิศทางของข้อมูลทางด้านบวกและเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ค่าความเอนเอียง (Bias) ของข้อมูลเท่ากับ -0.63, 1.4,

1.13, 1.59 ซึ่งค่าความเอนเอียงเป็นบวกแสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลตรวจวัด ยกเว้นในช่วงฤดูหนาวซึ่งมีค่าเป็นลบแสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลตรวจวัด และรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 4.02, 2.66, 1.86, 1.26 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีการกระจายไปจากค่าเฉลี่ยน้อย



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการจำลองและศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน

จากการจำลองค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดินทั้ง 3 ตัวเลือก ได้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากกว่าผลการจำลองที่ไม่ได้ใช้แบบจำลองพื้นผิวดิน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการจำลองจำลองอุณหภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการจำลองอุณหภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดินทั้ง 3 ตัวเลือก ตัวเลือก RUC land-surface สามารถจำลองค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันได้ดีที่สุด ส่วนตัวเลือก Noah land-surface สามารถจำลองอุณหภูมิต่ำสุดรายวันและอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันได้ดีที่สุด

อภิปรายผล

งานวิจัยเรื่องการประเมินผลการจำลองอุณหภูมิอากาศในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยจากแบบจำลองสภาพอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดินผู้วิจัยได้จำลองอุณหภูมิอากาศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยและทดสอบประสิทธิภาพผลการจำลองอุณหภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองอากาศควบคู่กับแบบจำลองพื้นผิวดิน โดยแบ่งแบบจำลองอุณหภูมิอากาศเป็นช่วง ๆ

ละ 3 เดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 - เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 โดยที่ผู้วิจัยจะใช้ตัวเลือกพื้นผิวดินแบบ Thermal Diffusion Noah Land Surface และ RUC Land Surface ในการหาค่าความสัมพันธ์ของแบบจำลองสภาพอากาศ (Weather Research and Forecasting) โดยสามารถหาความสัมพันธ์ของตัวเลือกของแบบจำลองทั้ง 3 ตัวโดยใช้ค่าสถิติสำหรับการวิจัยสหสัมพันธ์ (Correlation) ค่าความเอนเอียง (Bias) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) ตัวเลือกของแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยคือ Noah Land Surface และ RUC Land Surface ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของ คุชกูร์ สุขวัดน์, สุกันยาณี ยะวิญชาญ. (2550) ได้ทำการทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2000 - 2004 โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา และ National Centers for Environmental Prediction, USA และทำการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนที่ต่างกัน 3 วิธี คือ Kain-Fritsch (KF), Bett-Miller-Janjic (BM) และ Grell-Deveny Ensemble (GR) ผลการทดลองแสดงว่าวิธี KF ให้ผลการคาดการณ์อุณหภูมิดีกว่าวิธีอื่น แต่การวิเคราะห์ผลในส่วนปริมาณน้ำฝนพบว่าผลการคาดการณ์ของแบบจำลองต่ำกว่าความเป็นจริงมากในช่วงฤดูฝน ส่วนอุณหภูมิแบบจำลองสามารถคาดการณ์แนวโน้มได้ แต่ค่าอุณหภูมิรายเดือนต่ำกว่ามากความเป็นจริงมาก ในส่วนของอัตราเร็วลมและความกดอากาศนั้น การคาดการณ์โดยแบบจำลองมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก ซึ่งกล่าวได้ว่าแบบจำลองสภาพอากาศ (WRF) รุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถใช้ในการคาดการณ์อุณหภูมิได้ แต่ยังไม่อาจใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝนของประเทศไทยได้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ได้เกิดปัญหาในบางขั้นตอนของการทดลองและมีการค้นพบองค์ความรู้เพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมและเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาความสัมพันธ์ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยผู้วิจัยเลือกอุณหภูมิที่ใช้ศึกษาเปรียบเทียบ ยังมีตัวแปรเปรียบเทียบอื่นที่จะใช้เปรียบเทียบเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลพื้นผิวดินที่เก็บโดยกรมอุตุนิยมวิทยา
2. ผู้ที่สนใจจะศึกษาโปรแกรม Weather Research and Forecasting Model (WRF) ในการวิเคราะห์ลักษณะภูมิอากาศในประเทศไทยควรตั้งค่าในส่วนตัวเลือกพื้นผิวดิน (Land Surface

Options (sf_surface_physics)) เป็น Noah-MP Land Surface Model หรือ RUC Land Surface Model ซึ่งเป็น Land Surface options ที่มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

3. ในการนำข้อมูล FNL มาใช้ควรดาวน์โหลดข้อมูลลำดับที่อยู่ก่อนข้อมูลที่เราจะนำไปใช้ประโยชน์ประมาณ 3 เดือน ดังเช่น ข้อมูลที่จะใช้คือเดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 แต่ข้อมูลที่ต้องดาวน์โหลดมาคือตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 เพื่อให้ข้อมูลของผู้วิจัยที่ได้มีความผิดพลาดน้อยที่สุดจากการทำงานของระบบปฏิบัติการ



บรรณานุกรม

- จักรกฤษณ์ เรียมรักษ. (2550). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในศตวรรษที่ ๒๑. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ.
- จิรพันธุ์ หิรัญ. (2540). แผนที่ประเทศไทย. 20 มิถุนายน 2562. จากเว็บไซต์:
<https://sites.google.com/site/thailand162540/phaenthi-prathesthiy>
- ชไมพร รุ่งทรัพย์รังสี. (2555). การพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินยูโร โดยแบบจำลองอาร์มา. เชียงใหม่: คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศุภฤกษ์ สุวัฒน์และสุกัญญาณี ะวิญชาญ. (2550). การทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง *Weather Research and Forecasting (WRF)* ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ศุภยวรรธน์ สุทธิแพทย์. (2550). ภาวะโลกร้อนกับผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต. เชียงใหม่ : สาขาคลินิกช้างและสัตว์ป่า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทิพย์วรรณ ทอดแสน, ไอลวรรย์ ชันกาญจน์, ศุภิรา กิตติราษฎร์, กนกศรี ศรีนันทกรและสุรเจตส์ บุญญาอรุณเนตร. (2514). การวิเคราะห์ความแม่นยำในการคาดการณ์น้ำฝนระยะสั้นสำหรับประเทศไทยจากแบบจำลองสภาพอากาศ *WRF*. กรุงเทพฯ: สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร.
- บัญชา ชนบุญสมบัติ. (2546). *Know How & Know Why: ลมฟ้าอากาศ*. กรุงเทพฯ: พิมพ์ลักษณ์, (พิมพ์ครั้งที่ 3).
- พัชรี แสงจันทร์. (2544). ภาวะโลกร้อนกับงานวิจัยในนาข้าว. ขอนแก่น: สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ภาณุมิ รัตนจิราณุกุลและสุจิตรา รัตนจิราณุกุล. (2561). การประเมินศักยภาพพลังงานลมบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในอนาคตด้วยแบบจำลองภูมิอากาศความละเอียดสูง. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- วัลย์ชัย พรหมโนภาส. (2545). การจำลองสภาพอากาศประเภทจำกัดพื้นที่สำหรับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. (2540). *อุตุนิยมวิทยา*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: อักษราพิพัฒน์.

- สมเกียรติ อภินิพนวิศว์, วชิร สามวังและปรีชา สุขกล้า. (2555). การประเมินความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก. พิษณุโลก: สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน.
- สิทธิเดช ศรีน้อย. (2546). การจำลองสภาพอากาศเชิงตัวเลขบริเวณเทือกเขาถนนธงชัย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศุภกร ชินวรรณ. (2551). การคาดการณ์สภาพอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทย: ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวพันธุ์ นิลายน. (2536). อุตุนิยมวิทยา. (พิมพ์ครั้งที่2). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Bechtel, B., Zakšek, K. & Hoshyaripour, G. (2012). *Downscaling Land Surface Temperature in an Urban Area: A Case Study for Hamburg, Germany*: Remote Sensing.
- Choosakul, N. (2012). Variations of Weather and Precipitation in the Period of 30 Years on the Rice Farming of Thailand. *Science and Technology RMUTT Journal*, 17 – 28.
- Dudhia, J. (1993). A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Monthly Weather Review*. 1993, 1493-1513.
- Hinkle, D. E, William, W. and Stephen, G. J. (1998). *Applied Statistics for the Behavior Sciences*. 4th ed. New York: Houghton Mifflin, 1998.
- Nandozi C.S. & majaliwa, j.g.m. (2012) regional climate model performance and prediction of seasonal rainfall and surface temperature of uganda. *African Crop Science Journal*, 20, 213 – 225
- Overgaard, J., Rosbjerg, D. & Butts, M. B. (2006). *Land-surface modelling in hydrological perspective – areview*. Biogeosciences Discussions, 2006(2), 1815–1848.
- Van Pelt, S. C., Beersma, J. J., Buishand, T. A., van den Hurk, B. J. J. M. & Kabat, P. (2012). Future changes in extreme precipitation in the Rhine basin based on global and regional climate model simulations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 4517 – 4530.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล นายธีรพันธุ์ แซ่โซ้ง

วัน เดือน ปีเกิด 19 เมษายน 2526

ที่อยู่ปัจจุบัน 2 หมู่ 6 ตำบลโป่งแยง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50180

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ. 2550 ลูกจ้างชั่วคราว ปฏิบัติกรเจ้าหน้าที่ฟิสิกส์
ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2551-2561 พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งนักวิชาการศึกษา
ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2562 พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ ประจำ
ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโค้ดที่ใช้ในการทำงานกับโปรแกรมGRADS

ชื่อไฟล์ timeseries.gs

```
function main(args)
infile=subwrd(args,1)
var=subwrd(args,2)
outfile=subwrd(args,3)
lon= subwrd(args,4)
lat= subwrd(args,5)

'open ' infile
'set t 1 last'
say lon
say lat
'set lon'lon
'set lat'lat
'set fwrite'outfile
'set gxout fwrite'
'd'var
'disable fwrite'
```

ภาคผนวก ข

ชุดคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลข้อมูล



ข้อมูลพื้นฐาน

CenOS

release 6.5 (Final)

Kernel Linux 2.6.32-431.el6.x86_64

GNOME 2.28.2

Hardware

Memory: 7.6 GiB

Processor 0: Intel(R) Core(TM) i5-4570 CPU @ 3.20GHz

Processor 1: Intel(R) Core(TM) i5-4570 CPU @ 3.20GHz

Processor 2: Intel(R) Core(TM) i5-4570 CPU @ 3.20GHz

Processor 3: Intel(R) Core(TM) i5-4570 CPU @ 3.20GHz

System Status

Available disk space: 143.5 GiB