



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สัญญาเลขที่ RDG5030031

โครงการ “การทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF)
ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย”

โดย นายดุष्ฎิ ศุขวัฒน์ และนางสาวสุกัญญาณี ยะวิญชาญ

รายงานความก้าวหน้าฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF)
ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย”

คณะผู้วิจัย

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1. นายดุสิต สุขวัฒน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. นางสาวสุกัญญาณี ยะวิญชาญ | กรมอุตุนิยมวิทยา |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Final Report

Verification and Adjustment of the Weather Research and Forecasting Model (WRF) for Climate Change Prediction in Thailand

Researchers

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Dr. Dusadee Sukawat | King Mongkut's University of Technology Thonburi |
| 2. Miss Sugunyanee Yavinchan | Thai Meteorological Department |

Supported by Thailand Research Fund (TRF)

(The views expressed herein do not necessarily reflect those of the TRF)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model) เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศใดประเทศหนึ่ง เพราะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระดับภูมิภาคนั้น มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมจากการเปลี่ยนแปลงระดับโลกอีกหลายอย่าง อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงระดับภูมิภาคมักจะมีผลกระทบมากกว่าการเปลี่ยนแปลงในระดับโลก นอกจากนี้พื้นที่แต่ละส่วนของโลกอาจมีการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่แตกต่างกันได้อย่างมาก แต่เนื่องจากแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคมีการกำหนดกระบวนการต่าง ๆ ที่มีผลต่อภูมิอากาศไว้ในลักษณะของการกำหนดตัวแปรเสริม (parameterization) จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคก่อน ทั้งนี้เพราะแต่ละพื้นที่ของโลกมีกระบวนการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่ต่างกันออกไป

โครงการนี้เป็นการทดสอบการจำลองสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) โดยการเปรียบเทียบผลของการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อน (convective parameterization) 3 วิธีในแบบจำลอง WRF ได้แก่วิธี Kain-Fritsch (KF), Bett-Miller-Janjic (BM) และ Grell-Deveny Ensemble (GR) ในการคาดหมายสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในปี ค.ศ. 2000 ผลปรากฏว่าไม่มีการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนวิธีใดวิธีหนึ่ง ที่ให้ผลการจำลองฝนรายเดือนดีกว่าวิธีอื่นในทุกเดือน อย่างไรก็ตามวิธี KF ให้ผลการคาดหมายอุณหภูมิได้ดีกว่าวิธีอื่น จึงได้เลือกใช้วิธี KF สำหรับการคาดหมายสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยระหว่างปี ค.ศ. 2001 – 2004 ต่อไป

การวิเคราะห์ผลการคาดหมายในช่วง 4 ปีดังกล่าวนี้พบว่าแบบจำลอง WRF รุ่น 2.2.1 ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถใช้คาดหมายอุณหภูมิได้ แต่อาจยังไม่สามารถใช้เพื่อการคาดหมายปริมาณฝน อัตราเร็วลม และความกดอากาศได้ดีนัก ผลการคาดหมายรายเดือนของฝนรวม อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย อัตราเร็วและทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศผิวพื้น ระหว่างปี ค.ศ. 2000 – 2004 ได้บันทึกไว้บนแผ่น DVD เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เพื่อที่จะปรับปรุงแบบจำลอง WRF ให้สามารถใช้ในการคาดหมายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยได้ สิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติมได้แก่ ผลของการกำหนดขนาดของพื้นที่การคาดหมาย (domain) รายละเอียด (resolution) ของแบบจำลองต่อการคาดหมายสภาพภูมิอากาศบริเวณประเทศไทย และผลกระทบของการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับบรรยากาศใกล้พื้นโลก (planetary boundary layer - PBL)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG5030031

ชื่อโครงการ : การทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย : ดุษฎี ศุขวัฒน์¹, สุกันยาณี ยะวิญชาญ²

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ² สำนักพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

email address :

dusadee.suk@kmutt.ac.th

ระยะเวลาโครงการ :

กรกฎาคม 2550 – ตุลาคม 2552

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการทดสอบความสามารถของแบบจำลอง WRF ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย โดยทดลองคาดการณ์ภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2000 - 2004 ใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา และ National Centers for Environmental Prediction, USA ได้ทดสอบการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนที่ต่างกัน 3 วิธี คือ Kain-Fritsch (KF), Bett-Miller-Janjic (BM) และ Grell-Deveny Ensemble (GR) ผลการทดลองแสดงว่าวิธี KF ให้ผลการคาดการณ์อุณหภูมิดีกว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การคาดการณ์ฝนโดยแบบจำลองมีปริมาณต่ำกว่าความเป็นจริงมากในช่วงฤดูฝน สำหรับอุณหภูมินั้นแบบจำลองสามารถทำนายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายเดือนของอุณหภูมิได้ แต่ค่าอุณหภูมिरายเดือนต่ำกว่าความเป็นจริง ในส่วนของอัตราเร็วลมและความกดอากาศนั้น การคาดการณ์โดยแบบจำลองมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก กล่าวโดยสรุปแบบจำลอง WRF รุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถใช้ในการคาดการณ์อุณหภูมิได้ แต่ยังไม่อาจใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยได้ งานวิจัยที่ควรดำเนินการต่อไปเพื่อปรับปรุงแบบจำลองนี้ได้แก่ การกำหนดขนาดของพื้นที่การคาดการณ์ (domain) และรายละเอียด (resolution) ของแบบจำลอง รวมทั้งการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับบรรยากาศใกล้พื้นโลก

คำหลัก : แบบจำลอง WRF การกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อน การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ประเทศไทย

Abstract

Project Code : RDG5030031

Project Title : Verification and Adjustment of the Weather Research and Forecasting Model (WRF) for Climate Change Prediction in Thailand

Investigators : Dusadee Sukawat¹, Sugunyanee Yavinchan²

¹ Department of Mathematics, King Mongkut's University of Technology Thonburi

² Weather Forecast Bureau, Thai Meteorological Department

email address :

dusadee.suk@kmutt.ac.th

Project Duration :

July 2007 – October 2009

The objective of this project is to verify the performance of the WRF model in simulations of climate change in Thailand. A climate prediction over a 5-year period during 2000 – 2004 is done using data from the Thai Meteorological Department and the National Centers for Environmental Prediction, USA. Three different methods of convective parameterization are tested: Kain-Fritsch (KF), Bett-Miller-Janjic (BM) and Grell-Deveny Ensemble (GR). The results show that KF method provides better temperature prediction than the other methods. However, statistical analyses reveal that the prediction of rain amount by the model is much lower than the real amount in the rainy season. For temperature, the model is able to predict the monthly trend of temperature but the monthly value is lower than the real value. In the parts of wind speed and pressure, predictions by the model are rather high compared with the real values. In summary, the version of WRF model used in this study can be used to predict temperature but cannot be used for prediction of rain amount in Thailand. Further researches that should be done to improve this model include determination of the domain size, model resolution and parameterization of planetary boundary layer.

Keywords : WRF model, convective parameterization, climate change prediction, Thailand

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	iv
บทคัดย่อ	v
Abstract	vi
สารบัญ	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF)	3
2.2 การกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆการพาความร้อน	3
2.3 ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)	4
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	7
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	7
3.2 ข้อมูล	7
3.3 พื้นที่ศึกษา	7
3.4 Model Configuration	7
3.5 Hardware and Software	9
3.5 แผนการดำเนินการ	10
3.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	11
4.1 ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ 1 ปี (ค.ศ. 2000) เพื่อใช้ในการคัดเลือกวิธี CP	11
4.2 ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ 5 ปี (ค.ศ. 2000 - 2004)	20
4.3 วิจารณ์ผล	29
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวกที่ 1	37
สหสัมพันธ์ระหว่างฝนจากแบบจำลองและฝนจาก TRMM ของแต่ละพิกัด	37
ภาคผนวกที่ 2	41
Basic Score และ Threat Score ของปริมาณฝน	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกนั้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากสมดุลการแผ่รังสีของบรรยากาศ มหาสมุทร และพื้นดิน ซึ่งสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงนี้ได้โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับโลก (global climate model) แต่สำหรับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระดับที่เล็กลงมาคือการเปลี่ยนแปลงระดับภูมิภาคนั้น มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาเพิ่มอีกหลายอย่าง เช่น ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวพื้นมีผลต่อการกระจายของเมฆและฝน ลักษณะภูมิประเทศและสิ่งปกคลุมดินมีผลต่อการหมุนเวียนของอากาศในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในระดับภูมิภาค มักจะมีความรุนแรงมากกว่าการเปลี่ยนแปลงในระดับโลก (Giorgi, 2005) ดังนั้นจึงไม่อาจใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับโลกในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาคได้โดยตรง แต่ต้องใช้แบบจำลองระดับภูมิภาค (regional climate model) ซึ่งได้รวมปัจจัยที่มีผลต่อภูมิอากาศระดับภูมิภาคไว้แล้วเป็นส่วนมากในลักษณะของตัวแปรเสริม (parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำหนดกระบวนการทางฟิสิกส์ (physical processes) ในแบบจำลอง

อย่างไรก็ตามการที่จะใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ณ บริเวณใด ๆ นั้น จำเป็นต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองนั้นก่อน โดยพิจารณาจากความสามารถของแบบจำลองในการที่จะคาดหมายภูมิอากาศของบริเวณที่ต้องการได้อย่างน่าเชื่อถือ ทั้งนี้เพราะแต่ละพื้นที่ของโลกมีกลไกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่ต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องปรับแก้ตัวแปรเสริมให้เหมาะสมกับภูมิประเทศและภูมิอากาศของแต่ละบริเวณ สำหรับประเทศไทยตัวแปรเสริมที่สำคัญอย่างยิ่งคือตัวแปรเสริมสำหรับเมฆและการพาความร้อน (convective parameterization) ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดฝนในเขตร้อนเช่นประเทศไทย

แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคที่น่าสนใจอย่างมากแบบจำลองหนึ่งคือ WRF (Weather Research and Forecasting) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีวัตถุประสงค์เบื้องต้นสำหรับการพยากรณ์อากาศสั้น (ไม่เกิน 7 วัน) แต่ได้มีการพัฒนาเพิ่มเติมให้เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศระดับภูมิภาคมาตั้งแต่ พ.ศ.2546 โดยมี National Center for Atmospheric Research ของสหรัฐอเมริกาเป็นหน่วยงานหลัก (Leung, L. R., 2006b) ได้มีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแล้ว อย่างไรก็ตามเนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างสภาพลมฟ้าอากาศ (weather) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางบรรยากาศที่เกิดขึ้น ณ สถานที่ใดสถานที่หนึ่ง ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง กับภูมิอากาศ (climate) ซึ่งเป็นค่าทางสถิติระยะยาวของลมฟ้าอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อการพยากรณ์อากาศ จะสามารถใช้คาดหมายภูมิอากาศได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด ก่อนที่จะนำแบบจำลอง WRF ไปใช้เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้ภาพจำลองภูมิอากาศประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง WRF ที่มีการปรับปรุงตัวแปรเสริมสำหรับเมฆให้เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์ภูมิอากาศของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

- 1 ทดสอบความสามารถของแบบจำลอง WRF ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศบริเวณประเทศไทย
- 2 กำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆการพาความร้อนให้เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์ฝนบริเวณประเทศไทย
- 3 สร้างภาพจำลองภูมิอากาศประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง WRF ที่ปรับปรุงแล้ว

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคที่เหมาะสมกับประเทศไทย
2. ได้แบบจำลองสำหรับการพยากรณ์อากาศรายเดือน รายฤดู และรายปี ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

1.4 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

15 กรกฎาคม 2550 – 14 ตุลาคม 2552 รวมเวลาดำเนินงานทั้งสิ้น 2 ปี 3 เดือน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF)

แบบจำลอง WRF ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้เป็นทั้งแบบจำลองสำหรับการวิจัยและแบบจำลองเพื่อใช้ปฏิบัติงานจริงด้านพยากรณ์อากาศ โดยเป็นความร่วมมือกันระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาหลายหน่วยงาน เช่น National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Centers for Environmental Prediction (NCEP), Forecast System Laboratory (FSL), Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS), และ Air Force Weather Analysis (AFWA) แบบจำลองนี้ความสามารถทั้งในการพยากรณ์อากาศเฉพาะพื้นที่ ไปจนถึงการพยากรณ์อากาศในระดับทวีป และเป็นแบบจำลองของบรรยากาศที่มีความทันสมัยมากที่สุดแบบจำลองหนึ่ง โดยได้มีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก ทั้งเพื่อการวิจัยและการปฏิบัติงานจริง

2.2 การกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆการพาความร้อน

เนื่องจากฝนที่เกิดในประเทศไทยส่วนมากเป็นฝนจากเมฆการพาความร้อน โดยเมฆการพาความร้อนคือเมฆที่เกิดจากการที่อากาศร้อนชื้นเคลื่อนตัวสูงขึ้นไปในบรรยากาศ และเย็นตัวลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น จนถึงระดับความสูงที่ไอน้ำในอากาศควบแน่นเป็นเมฆ เมฆชนิดนี้จะครอบคลุมพื้นที่ไม่กว้างนักแต่ทำให้เกิดฝนตกหนักได้ ส่วนเมฆอีกประเภทหนึ่งคือเมฆที่เกิดจากการยกตัวของอากาศเป็นบริเวณกว้าง เมฆชนิดนี้ส่วนมากไม่ทำให้เกิดฝน และหากมีฝนจะเป็นฝนไม่หนัก เนื่องจากเมฆการพาความร้อนมีขนาดเล็กกว่าระยะห่างระหว่างจุดพิกัดในแบบจำลอง จึงไม่สามารถใช้แบบจำลองพยากรณ์การเกิดเมฆนี้ได้ แต่ต้องใช้วิธีการกำหนดตัวแปรเสริมซึ่งเป็นตัวแปรที่ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างและเกี่ยวข้องกับการเกิดเมฆการพาความร้อน แล้วพยากรณ์ตัวแปรเสริมเพื่อวิเคราะห์ว่าจะเกิดเมฆและฝนที่ไหนและเมื่อใด ส่วนฝนจากเมฆที่เกิดจากการยกตัวของอากาศเป็นบริเวณกว้างนั้น มีขนาดใหญ่กว่าระยะห่างระหว่างจุดพิกัดของแบบจำลอง จึงสามารถพยากรณ์ฝนจากเมฆชนิดนี้ได้โดยตรงไม่ต้องใช้การกำหนดตัวแปรเสริมแต่อย่างใด

การกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆการพาความร้อนในแบบจำลอง WRF 3 วิธี ที่ได้นำมาทำการเปรียบเทียบกันในการศึกษานี้คือ Kain-Fritsch, Bett-Miller-Janjic และ Grell-Deveny Ensemble

มีวิธีการหลักอยู่ 2 วิธีในการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อน วิธีแรกใช้การลดความไม่เสถียรเนื่องจากการพาความร้อน โดยการปรับอุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศเข้าสู่สภาวะอ้างอิงที่กำหนดไว้ ส่วนวิธีที่สองใช้การคำนวณความชื้นและพลังงานในบรรยากาศ ทั้งสองวิธีนี้มีการกำหนดไว้ว่าความชื้นส่วนเกินในบรรยากาศ จะกลายเป็นฝน Bett-Miller-Janjic ใช้หลักการของวิธีแรก ส่วน Kain-Fritsch และ Grell-Devenyi Ensemble ใช้หลักการของวิธีที่สอง

2.2.1 Betts-Mille-Janjic Scheme (BM)

วิธีนี้พัฒนาโดย Betts and Miller (1986) และปรับปรุงโดย Janjic (1994) เมฆการพาความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อ

- (1) มี convective available potential energy (CAPE) ในบรรยากาศ
- (2) ความหนาของเมฆมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้
- (3) บรรยากาศมีความชื้นเพียงพอ

อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะอ้างอิง ซึ่งสภาวะอ้างอิงนี้กำหนดจากข้อมูลภูมิอากาศ ความสูงของฐานเมฆ ความสูงของยอดเมฆ และระดับเยือกแข็งในเมฆ ปริมาณฝนกำหนดจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นในบรรยากาศก่อนและหลังการปรับเข้าสู่สภาวะอ้างอิง

2.2.2 Grell-Devenyi Ensemble (GR)

วิธีนี้พัฒนามาจาก Arakawa-Schubert scheme (Arakawa and Schubert, 1974; Grell *et al.* 1995) โดยพิจารณากระแสอากาศไหลขึ้นจากฐานเมฆถึงยอดเมฆ และกระแสอากาศไหลลงจากส่วนกลางของเมฆลงมายังฐานเมฆ มีการผสมของอากาศภายนอกเข้าไปภายในเมฆที่ยอดเมฆและส่วนกลางของเมฆ และอากาศภายในเมฆเคลื่อนที่ออกมาภายนอกทางกระแสอากาศไหลขึ้นที่ยอดเมฆและกระแสอากาศไหลลงที่ฐานเมฆ ฝนเกิดจากความแตกต่างระหว่างการควบแน่นในกระแสอากาศไหลขึ้นกับการระเหยในกระแสอากาศไหลลง ปริมาณฝนขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วลมตามความสูง

2.2.3 Kain-Fritsch Scheme (KF)

วิธีนี้พัฒนาโดย Kain and Fritsch (1993) จากวิธีการของ Fritsch and Chappell (1980) วิธีนี้พิจารณากระแสอากาศไหลขึ้นและไหลลง และการผสมผสานระหว่างเมฆและอากาศภายนอกในทุกระดับความสูง เมฆจะก่อตัวเมื่ออากาศที่เคลื่อนตัวขึ้นไปจนถึงระดับควบแน่นยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ การแลกเปลี่ยนมวลระหว่างเมฆและอากาศโดยรอบใช้เวลา 30–60 นาที ขนาดของเมฆขึ้นอยู่กับความเร็วในแนวตั้งของอากาศและระดับควบแน่นของบรรยากาศ น้ำจากการควบแน่นภายในเมฆบางส่วนจะระเหยไปในกระแสอากาศไหลลง และบางส่วนตกลงมาเป็นฝน ในวิธีนี้ได้รวมการเกิดเมฆการพาความร้อนที่ไม่ก่อให้เกิดฝนไว้ด้วย

2.3 ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)

Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) เป็นดาวเทียมวิจัยที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้เข้าใจการกระจายและการผันแปรของฝนในเขตร้อนได้ดีขึ้น โดยครอบคลุมพื้นที่ทั้งเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนทั้งหมดของโลก ข้อมูลจากดาวเทียมนี้ทำให้ทราบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ไอน้ำ เมฆ และฝน ได้มากขึ้น ดาวเทียมนี้เป็นความร่วมมือระหว่าง NASA และ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) เครื่องตรวจวัดที่ติดตั้งไว้บนดาวเทียมนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 เครื่องตรวจวัดบนดาวเทียม TRMM (NASA, 2011)

	Microwave Radiometer	Radar	Visible and Infrared Radiometer
Frequencies	10.7, 19.3, 21.3, 37.0, and 85.5 GHz	13.8 GHz	0.63, 1.601.6, 3.715.6, 1.03.8.7, 5, and 12 μ m
Resolution	11 km X 8 km field of view at 37 GHz	5-km footprint and 250- m vertical resolution	2.5-km resolution
Scanning	Conically scanning	Cross-track scanning	Cross-track scanning
Swath Width	880-km swath	250-km swath	830-km swath

ข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM มีข้อดีคือมีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง ส่วนข้อจำกัดคือรายละเอียดเชิงเวลาต่ำเพราะให้ข้อมูลแต่ละพื้นที่ของโลกได้เฉพาะในช่วงที่ดาวเทียมผ่านเหนือบริเวณนั้น เพื่อลดข้อจำกัดนี้จึงได้มีการผสานข้อมูลฝนจาก TRMM กับข้อมูลฝนจากดาวเทียมดวงอื่นทั้งแบบโคจรและแบบค้างฟ้า ผลที่ได้คือข้อมูลฝนเขตร้อนทั่วโลกที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 25x25 ตารางกิโลเมตร และรายละเอียดเชิงเวลาทุก 1 ชั่วโมง (Turk et al. 2000) โครงการวิจัยใช้ข้อมูลฝนซึ่งเป็นการผสานผลจากดาวเทียม TRMM, SSMI และ GMS 5 จาก US NAVY (2009) ซึ่งเป็นข้อมูลฝนที่นิยมใช้ในการตรวจสอบฝนจากแบบจำลองพยากรณ์อากาศอย่างแพร่หลาย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการใช้แบบจำลอง WRF จำลองสภาพอากาศในฤดูหนาวของสหรัฐอเมริกาตะวันตกในช่วงเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนตุลาคม 2533 – มีนาคม 2534 โดยใช้รายละเอียดตามแนวราบ (horizontal resolution) 30 กิโลเมตร โดยมีจุดพิกัด (grid point) จำนวน 125 x 150 จุด และแบ่งบรรยากาศออกเป็น 31 ระดับ และใช้ข้อมูลเริ่มต้น (initial condition) และข้อมูลขอบ (boundary condition) จาก NCEP-NCAR Reanalysis ผลการวิจัยพบว่าโดยแบบจำลองให้รูปแบบของฝนที่สอดคล้องกับความเป็นจริง แต่ให้ปริมาณฝนมากกว่าความเป็นจริง ในส่วนของอุณหภูมินั้นโดยทั่วไปแบบจำลองให้ผลที่สอดคล้องกับความเป็นจริงทั้งในด้านรูปแบบและค่าอุณหภูมิ (Done, J. M. et al., 2004)

นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบแบบจำลอง WRF ในการคาดการณ์ฝนฤดูร้อนในตอนกลางของสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำให้เกิดน้ำท่วมระหว่างเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม พ.ศ. 2546 โดยใช้รายละเอียดตามแนวราบ 30 กิโลเมตร โดยมีจุดพิกัดจำนวน 200 x 140 จุด แบ่งบรรยากาศออกเป็น 31 ระดับ และใช้ข้อมูลเริ่มต้นและข้อมูลขอบจาก NCEP-NCAR Reanalysis พบว่าปริมาณฝนจากแบบจำลองต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งอาจมีสาเหตุจากตัวแปรเสริมยังไม่เหมาะสม (Done, J. M. et al., 2005)

ในส่วนของประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ฝนเนื่องจากอิทธิพลของภูเขา นั้น ได้มีการเปรียบเทียบการคาดการณ์ฝนที่เกิดจากอิทธิพลของภูเขาด้วยแบบจำลอง WRF ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกัน การทดลองแรกใช้แบบจำลอง WRF ซึ่งมีรายละเอียด 15 กิโลเมตร และข้อมูลเริ่มต้นจาก NCEP/DOE Reanalysis ศึกษาสภาพอากาศระหว่าง พ.ศ. 2537-2542 การทดลองที่สองใช้รายละเอียด 5 กิโลเมตร ศึกษาสภาพอากาศระหว่าง พ.ศ. 2531-2536 พบว่าแบบจำลอง WRF ให้ผลการคาดการณ์ในภาพรวมที่เชื่อถือได้ และแบบจำลองที่มีรายละเอียดสูงจะให้ผลดีกว่า

แบบจำลองที่มีรายละเอียดต่ำ แต่สำหรับบางพื้นที่แบบจำลองรายละเอียดสูงจะให้ปริมาณฝนที่สูงกว่าความเป็นจริงมากกว่าแบบจำลองที่มีรายละเอียดต่ำกว่า นอกจากนี้แบบจำลอง WRF โดยการยังคาดหมายการผันแปรของฝนรายฤดูและรายปีได้ด้วย (Leung, L. R. et al., 2006a)

แบบจำลอง WRF ได้ใช้ในการจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมจีนในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2541 โดยมีรายละเอียดของแบบจำลองเป็น 30 กิโลเมตร จำนวนจุดพิกัด 73 x 91 จุด และแบ่งบรรยากาศเป็น 31 ระดับ ใช้ข้อมูลเริ่มต้นและข้อมูลขอบจาก NCEP/NCAR Reanalysis โดยในแต่ละกรณีศึกษาใช้ผลจากแบบจำลองในช่วง 4 เดือนระหว่างเดือนพฤษภาคม – สิงหาคม พบว่าแบบจำลองสามารถให้รูปแบบในเชิงพื้นที่ (spatial pattern) และการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา (temporal evolution) ที่สำคัญของฝนฤดูร้อนได้ดี (Liu, S. et al., 2006a) และยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบบจำลอง WRF จำลองเหตุการณ์น้ำท่วมในจีนในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2541 โดยศึกษาผลของการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆที่เกิดจากการพาความร้อน (convective parameterization) สองวิธี คือวิธีของ Kain-Fritsch และวิธีของ Grell-Devenyi พบว่าทั้งสองวิธีสามารถแสดงลักษณะที่สำคัญและการกระจายในเชิงพื้นที่ของการผันแปรรายวันของฝนได้ถูกต้อง แต่มีความแตกต่างกันคือวิธีของ Kain-Fritsch ให้รูปแบบของฝนที่ถูกต้องมากกว่าแต่ให้ปริมาณฝนที่มากกว่าความเป็นจริง ส่วนวิธีของ Grell-Devenyi ให้ปริมาณฝนที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (Liu, S. et al., 2006b)

สำหรับการประเมินความสามารถของแบบจำลอง WRF ในการคาดหมายสภาพอากาศในช่วงเวลานานนั้น ได้มีการทดสอบการคาดหมายสภาพอากาศของทวีปอเมริกาเหนือในช่วง 5 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2543-2547 โดยการพยากรณ์ที่แตกต่างกันสองวิธี วิธีแรกพยากรณ์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 5 ปี โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้น (initial condition) เพียงครั้งเดียว วิธีที่สองพยากรณ์เป็นรายสัปดาห์จนครบ 5 ปี โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นใหม่ทุกสัปดาห์ พบว่าการพยากรณ์เป็นรายสัปดาห์ให้ผลการคาดหมายอุณหภูมิที่ถูกต้องมากกว่า (Lo, J. C. et al., 2007)

ในส่วนของการผลจากการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆที่เกิดจากการพาความร้อน 3 วิธีคือ Betts-Miller-Janjic, Kain-Fritsch, และ Grell นั้น ได้เคยมีการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง MM5 (ซึ่งเป็นต้นแบบของแบบจำลอง WRF) จำลองสถานการณ์มรสุมของทวีปอเมริกาเหนือระหว่าง 15 พฤษภาคม – 2 สิงหาคม 2535 พบว่าการกำหนดตัวแปรเสริมดังกล่าวให้ผลที่แตกต่างกันอย่างมาทั้งในส่วนของฝนและตัวแปรทางภูมิอากาศอื่น ๆ โดยการกำหนดตัวแปรเสริมแต่ละวิธีต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย (Cochis, D. J., et al., 2002)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

1. จำลองภูมิอากาศประเทศไทยโดยใช้การกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อน 3 วิธีในแบบจำลอง WRF ได้แก่ Kain-Fritsch(BM) และ Grell-Deveny Ensemble (GR)
2. คัดเลือกวิธีกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดมาปรับปรุงให้เหมาะสมกับประเทศไทยยิ่งขึ้น
3. จำลองภูมิอากาศประเทศไทยโดยใช้แบบจำลอง WRF ที่มีการปรับปรุงการกำหนดตัวแปรเสริมให้เหมาะสมกับประเทศไทยแล้ว
4. วิเคราะห์ความถูกต้องของการจำลองภูมิอากาศประเทศไทยด้วยแบบจำลอง WRF

3.2 ข้อมูล

ใช้ข้อมูลจาก

1. กรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดอากาศ และอัตราเร็วลม เพื่อใช้ประเมินผลเชิงสถิติของการคาดการณ์จากแบบจำลอง
2. National Centers for Environmental Prediction (NVEP), USA สำหรับข้อมูลเริ่มต้น (initial condition) และข้อมูลขอบ (boundary condition) ของแบบจำลอง
3. National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA สำหรับข้อมูลประกอบของแบบจำลอง เช่น ความสูงต่ำของพื้นที่ ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน และความชื้นในดิน
4. NASA, USA สำหรับข้อมูลจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) เพื่อใช้ในการประเมินผลการคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง

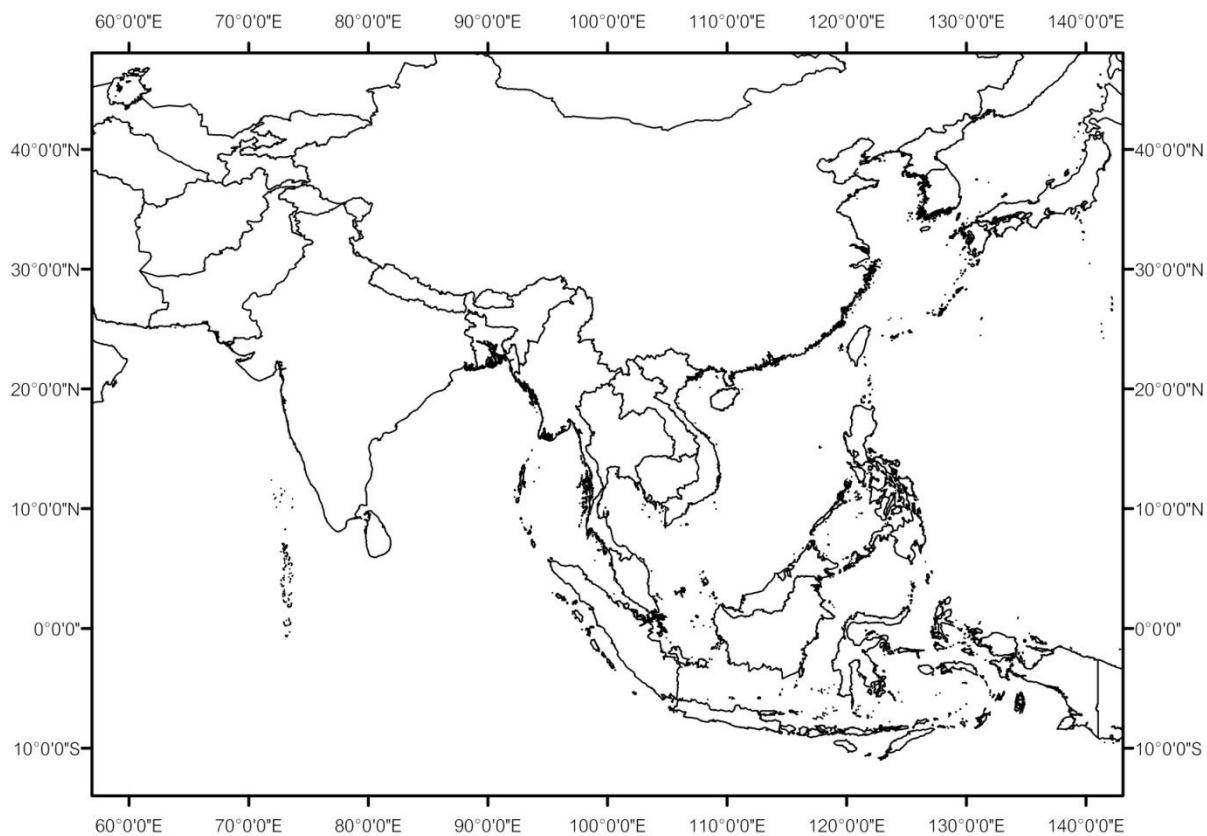
3.3 พื้นที่ศึกษา

บริเวณประเทศไทยทั้งหมด โดยในส่วนของพื้นที่ (domain) สำหรับการคาดการณ์โดยแบบจำลอง WRF นั้นได้กำหนดดังรูปที่ 3.1

3.4 Model Configuration

Horizontal model resolution: 25 x 25 km²
Model grid point; 334 x 268 x 31 points

สำหรับ model options ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พื้นที่ (domain) สำหรับการคาดหมายโดยแบบจำลอง WRF

ตารางที่ 3.1 Model Options

Physics	
Microphysics option (Mp_physics)	WSM 3-class simple ice scheme
Longwave radiation option (ra_lw_physics)	rrtm scheme
Shortwave radiation option (ra_sw_physics)	Dudhia scheme
Minute between radiation physic calls	30
Surface-layer option (sf_sfclay_physics)	Monin-Obukhov scheme
Land Surface option (sf_surface_physics)	Thermal diffusion scheme
Boundary-layer option (bl_pbl_physics)	YSU scheme
Number of soil layers in land surface model (num_soil_layers)	Thermal diffusion scheme
Dynamics	
Turbulence and mixing option (diff_opt)	Evaluated 2 nd order diffusion term on coordinate surface uses kvdif for vertical diff unless PBL option is use
Eddy coefficient option	Horizontal Smagorinsky first order closure

3.4 Hardware and Software

3.4.1 Hardware

IBM Server X3650 Xeon E5355 QC 2.6GHz

8 GB DDR2-667 ECC

300GB SAS 15K 3.5" Drive x 2

UPS APC SMART 1500RM12U (980W)

3.4.2 Software

WRF Model version 2.2.1

WRF Preprocessing System (WPS) version 2.2.1

NCL version 4.3.1

NCARG version 4.4.1

PGI workstation version 7.05

netCDF version 3.6.1

Redhat Enterprise Linux RHEL 5

3.5 แผนการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	กิจกรรม (activities)	ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ (outputs)
6 เดือนที่ 1 (ก.ค. – ธ.ค. 50)	- กำหนดโครงสร้าง (configuration) ของแบบจำลอง - ติดตั้ง software 1-year simulation โดยใช้ convective parameterizations (CP) 3 วิธี	- ได้โครงสร้างของแบบจำลองที่เหมาะสมกับการจำลองสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย - ได้ software ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัย - ได้ผลการจำลองภูมิอากาศ 1 ปี โดยวิธี KF
6 เดือนที่ 2 (ม.ค. – มิ.ย. 51)	1-year simulation โดยใช้ convective parameterizations (CP) 3 วิธี (ต่อ) - วิเคราะห์ผลการจำลองภูมิอากาศที่ได้จาก CP ทั้ง 3 วิธี	- ได้ผลการจำลองภูมิอากาศ 1 ปี โดย BM และ GR - ได้ผลของ KF และ BM ที่มีต่อการจำลองภูมิอากาศ
6 เดือนที่ 3 (ก.ค. – ธ.ค. 51)	- วิเคราะห์ผลการจำลองภูมิอากาศที่ได้จาก CP ทั้ง 3 วิธี(ต่อ) - คัดเลือก CP ที่มีความถูกต้องมากที่สุด - ปรับปรุง CP ที่คัดเลือกไว้ให้เหมาะสมกับประเทศไทยมากยิ่งขึ้น	- ได้ผลของ GR ที่มีต่อการจำลองภูมิอากาศ - ได้ CP สำหรับการปรับปรุงต่อไป - ได้ CP ที่เหมาะสมกับประเทศไทยยิ่งขึ้น
6 เดือนที่ 4 (ม.ค. – มิ.ย. 52)	- based-year simulation โดยใช้ CP ที่ได้ปรับปรุงแล้ว - วิเคราะห์ความถูกต้องของ based-year simulation	- ได้ผลการจำลองภูมิอากาศ based-year โดยใช้ CP ที่เหมาะสมกับประเทศไทย - ได้ความคลาดเคลื่อนของการจำลองภูมิอากาศโดยแบบจำลอง WRF บริเวณประเทศไทย

3.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (based-year simulation) จากแบบจำลอง WRF จำนวน 5 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2000 ถึง ค.ศ. 2004 ดังนี้

ปริมาณและการกระจายของฝน

อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย

อัตราเร็วและทิศทางลม

ความชื้นสัมพัทธ์

ความกดอากาศ

ความเข้มข้นรังสี

สภาพฤดูกาล

โดยมีรูปแบบข้อมูลทั้งในลักษณะ image file และ text file

บทที่ 4

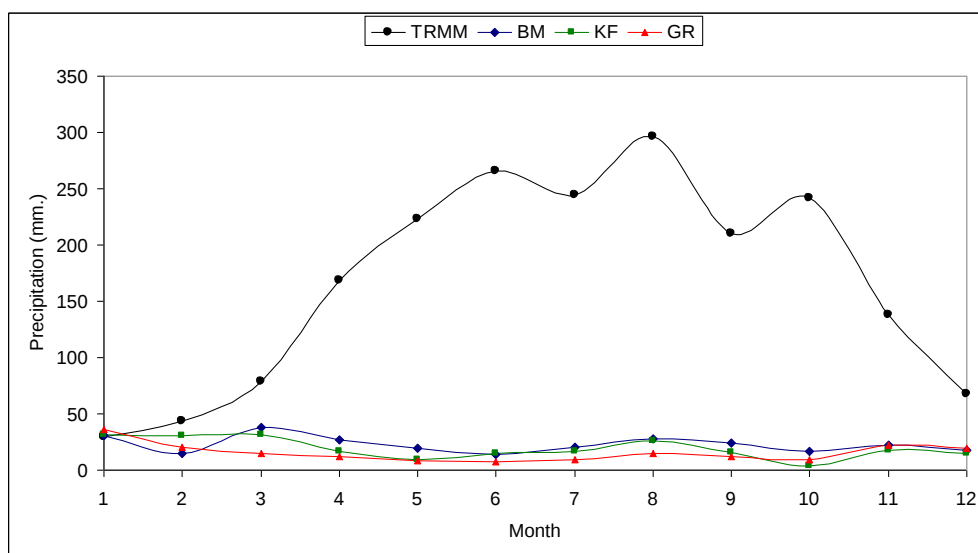
ผลและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ 1 ปี (ค.ศ. 2000) เพื่อใช้ในการคัดเลือกวิธี CP

4.1.1 ฝน

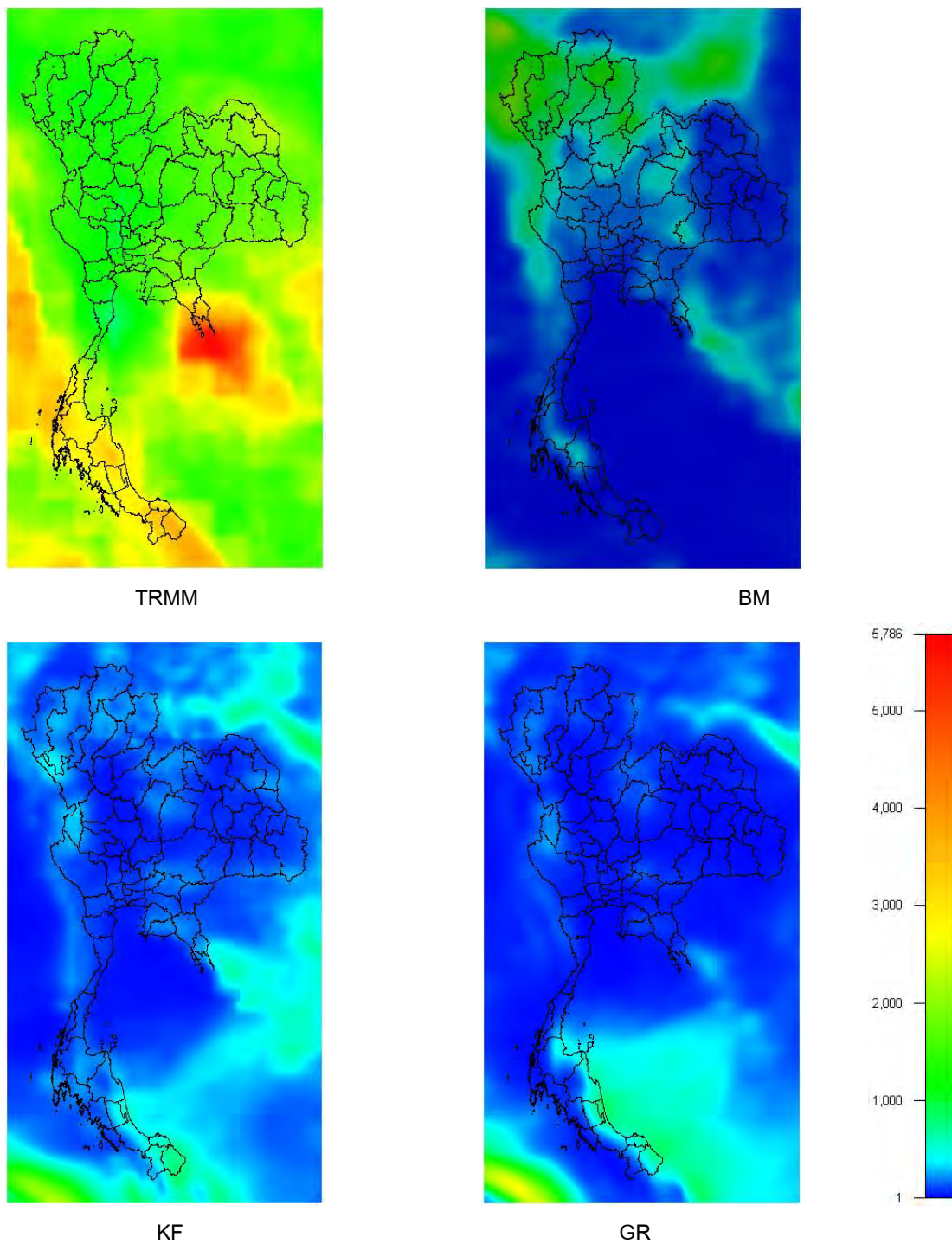
เนื่องจากการตรวจวัดฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นการตรวจวัดเฉพาะจุด ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศในแต่ละจังหวัด ในขณะที่การคาดการณ์ฝนในแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์อากาศเป็นการคาดการณ์ในเชิงพื้นที่ ดังเช่นในการศึกษานี้ใช้รายละเอียดของแบบจำลองเป็น $25 \times 25 = 625$ ตารางกิโลเมตร ดังนั้นฝนที่ได้จากแบบจำลองจึงเป็นค่าเฉลี่ยของฝนในพื้นที่ 625 ตารางกิโลเมตร ไม่ใช่ฝนเฉพาะจุดดังเช่นการตรวจวัดที่สถานีตรวจอากาศ ประกอบกับสถานีอุตุนิยมวิทยาอยู่ห่างกันมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ข้อมูลฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นข้อมูลฝนเฉพาะจุดซึ่งอยู่ห่างกัน ในการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ฝนจากแบบจำลองซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ในการศึกษานี้จึงได้ใช้การประเมินฝนจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measurement Mission – TRMM (NASA, 2008) ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่รายละเอียด $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ในการประเมินฝนจากแบบจำลอง ข้อดีอีกประการหนึ่งของข้อมูลฝนจาก TRMM คือครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมดทั้งพื้นดินและทะเล ทั้งนี้ได้ปรับรายละเอียดของข้อมูล TRMM ให้เท่ากับรายละเอียดของแบบจำลองคือ 25×25 ตารางกิโลเมตร ก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบฝนที่ได้จากแบบจำลอง WRF โดยวิธีกำหนดตัวแปรเสริมของเมฆพาความร้อนด้วยวิธี, Betts-Miller-Janjic (BM), Kain-Fritsch (KF) และ Grell-Devenyi (GR) กับฝนที่ได้จาก TRMM พบว่าปริมาณฝนรวมรายเดือนเฉลี่ยทั้งพื้นที่จากแบบจำลองจะน้อยกว่าปริมาณฝนจาก TRMM มากยกเว้นเฉพาะเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์เท่านั้น (รูปที่ 4.1) ในขณะที่ฝนรวมรายเดือนเฉลี่ยของวิธี BM, KF และ GR ไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.1 ฝนรวมรายเดือนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ (mm)

ฝนรวมรายปีของปี ค.ศ. 2000 จากแบบจำลองโดยวิธี BM, KF และ GR และฝนจาก TRMM ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 2 ฝนรวมรายปี ค.ศ. 2000 (mm)

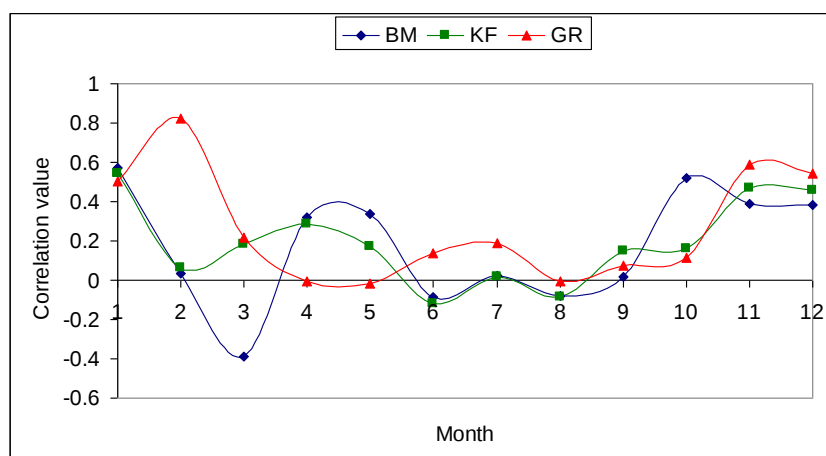
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าฝนจาก TRMM มีปริมาณมากกว่า 2,500 mm ในบริเวณภาคใต้ตั้งแต่ตอนล่างของจังหวัดชุมพร ลงมา และอีกพื้นที่หนึ่งคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือและตอนล่างของจังหวัดจันทบุรี ในขณะที่แบบจำลองทั้ง 3

วิธี ไม่มีบริเวณใดของประเทศไทยมีฝนมากกว่า 2,500 mm โดยวิธี BM ให้ฝนประเทศไทยมากที่สุดทางภาคเหนือ ส่วนวิธี KF ให้ฝนประเทศไทยมากที่สุด บริเวณจังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส สำหรับวิธี GR ให้ฝนประเทศไทยมากที่สุด บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา พัทลุง ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส

สหสัมพันธ์เฉลี่ยทั้งพื้นที่ระหว่างฝนรวมรายเดือนจากแบบจำลองทั้ง 3 วิธี กับฝนจาก TRMM ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 ส่วนสหสัมพันธ์ระหว่างฝนจากแบบจำลองทั้ง 3 วิธี กับฝนจาก TRMM ของแต่ละพิกัดในพื้นที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 1

ตารางที่ 4.1 สหสัมพันธ์เฉลี่ยทั้งพื้นที่ระหว่างฝนรวมรายเดือนจากแบบจำลองทั้ง 3 วิธี กับฝนจาก TRMM

CP	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
BM	0.570	0.034	-0.387	0.321	0.340	-0.086	0.024	-0.082	0.015	0.523	0.386	0.385
KF	0.544	0.063	0.183	0.286	0.172	-0.122	0.015	-0.084	0.151	0.158	0.466	0.457
GR	0.504	0.82	0.215	-0.008	-0.015	0.138	0.189	-0.005	0.077	0.115	0.587	0.543



รูปที่ 4.3 สหสัมพันธ์เฉลี่ยทั้งพื้นที่ระหว่างฝนรวมรายเดือนจากแบบจำลองทั้ง 3 วิธี กับฝนจาก TRMM

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาจากสหสัมพันธ์ ไม่มีวิธีกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนวิธีใด ที่ให้ผลในการพยากรณ์ฝนดีกว่าวิธีอื่นในทุกเดือน

นอกเหนือจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการพยากรณ์ฝนโดยใช้ตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนทั้ง 3 วิธี และฝนจาก TRMM แล้ว ยังได้ทำการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ฝนโดยใช้ Bias Score และ Threat Score ด้วยเช่นกัน ดังแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 2 ซึ่งผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมนี้แสดงว่าไม่มีวิธีกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนวิธีใด ให้ผลดีกว่าวิธีอื่นในทุกกรณี

การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองด้วยวิธีกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนทั้ง 3 วิธี และฝนจากดาวเทียม TRMM แสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง WRF รุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้ (Version 2.2.1) มีความคลาดเคลื่อนอย่างมากในการ

คาดการณ์ปริมาณฝนระยะยาวบริเวณประเทศไทย และการพยากรณ์เพื่อทดสอบเป็นเวลา 1 ปีนั้นพบว่าไม่มีวิธีกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนวิธีใดที่ให้ผลดีกว่าวิธีอื่นสำหรับการพยากรณ์ฝน

4.1.2 อุนหภูมิ

ความถูกต้องของแบบจำลองในการคาดการณ์อุณหภูมิอากาศระดับ 2 เมตร ดำเนินการโดยวิเคราะห์ Mean Square Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) และสหสัมพันธ์ ระหว่างผลการตรวจ ณ สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 70 สถานี กับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง ณ จุดพิกัดที่ใกล้เคียงที่สุดกับสถานีตรวจอากาศนั้น ๆ ตัวแปรด้านอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ถึง 4.4 และรูปที่ 4.4 ถึง 4.9

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน

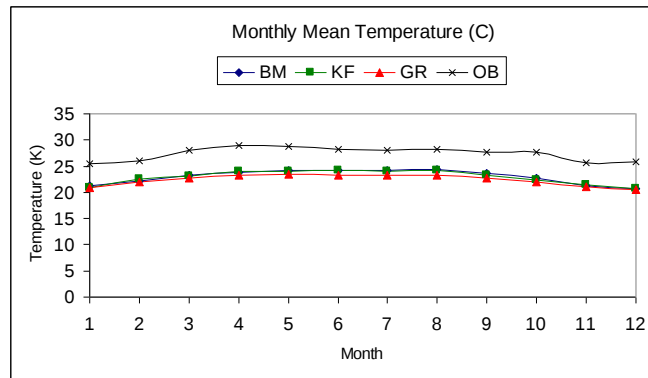
Index	BM	KF	GR
MSE	26.780	23.447	28.279
MAE	5.007	4.723	5.174
RMSE	5.175	4.842	5.318
CORRELTION	0.744	0.787	0.739

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน

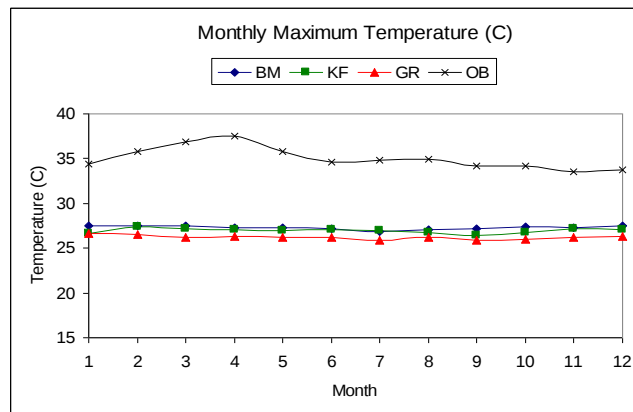
Index	BM	KF	GR
MSE	25.620	19.574	26.089
MAE	4.874	4.286	4.983
RMSE	5.061	4.424	5.107
CORRELTION	0.233	0.425	0.391

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน

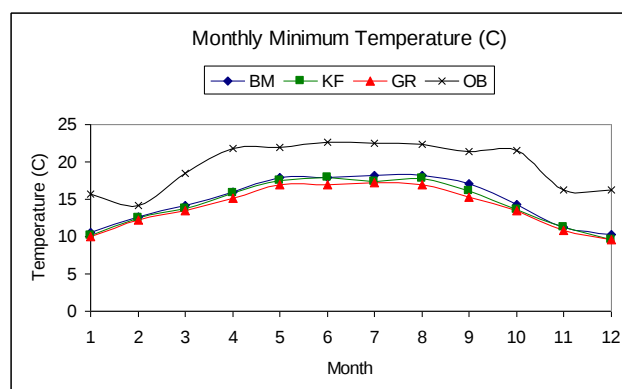
Index	BM	KF	GR
MSE	42.360	40.241	41.969
MAE	6.143	6.062	6.258
RMSE	6.508	6.344	6.478
CORRELATION	0.806	0.838	0.834



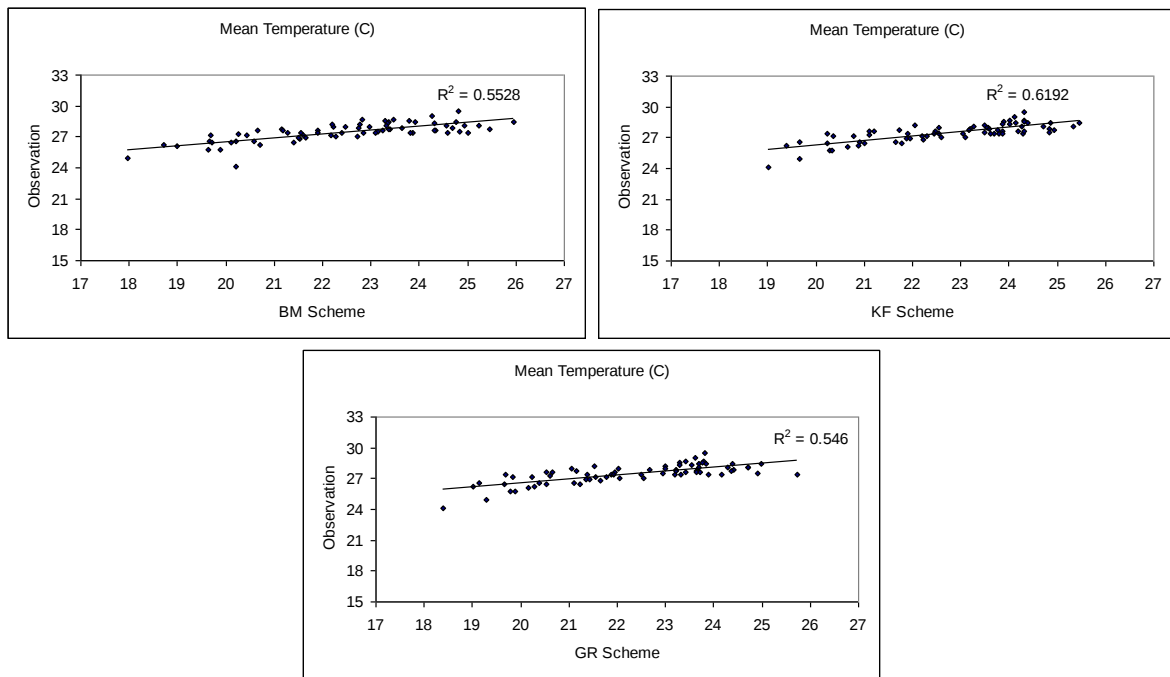
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน



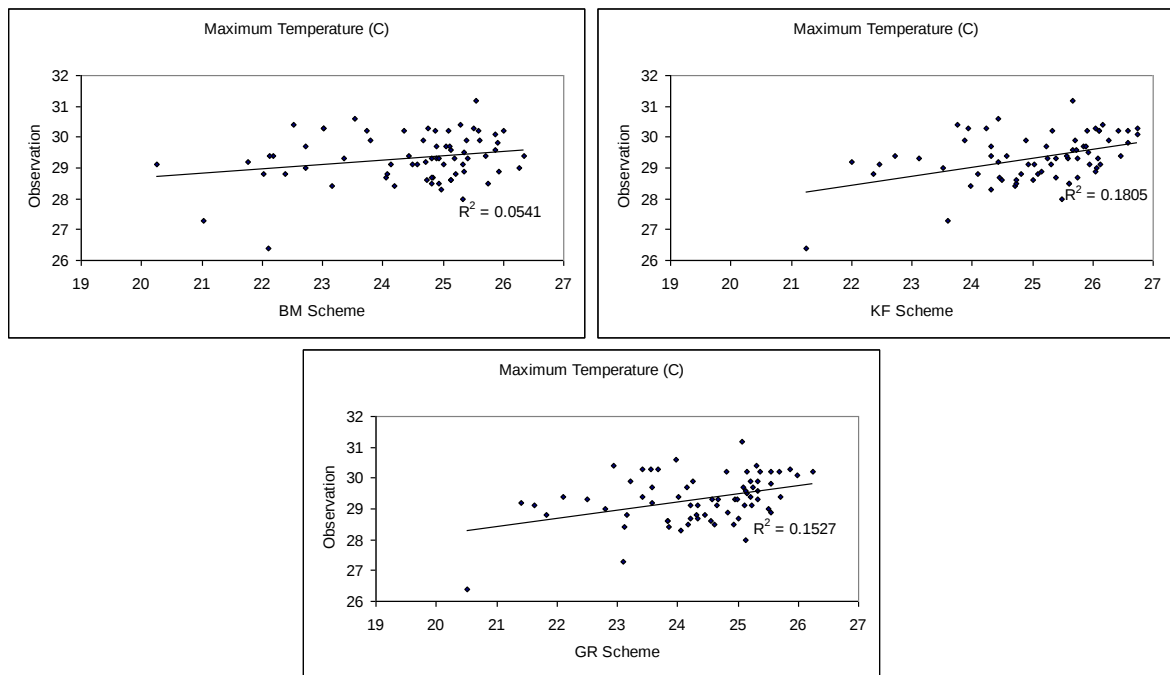
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน



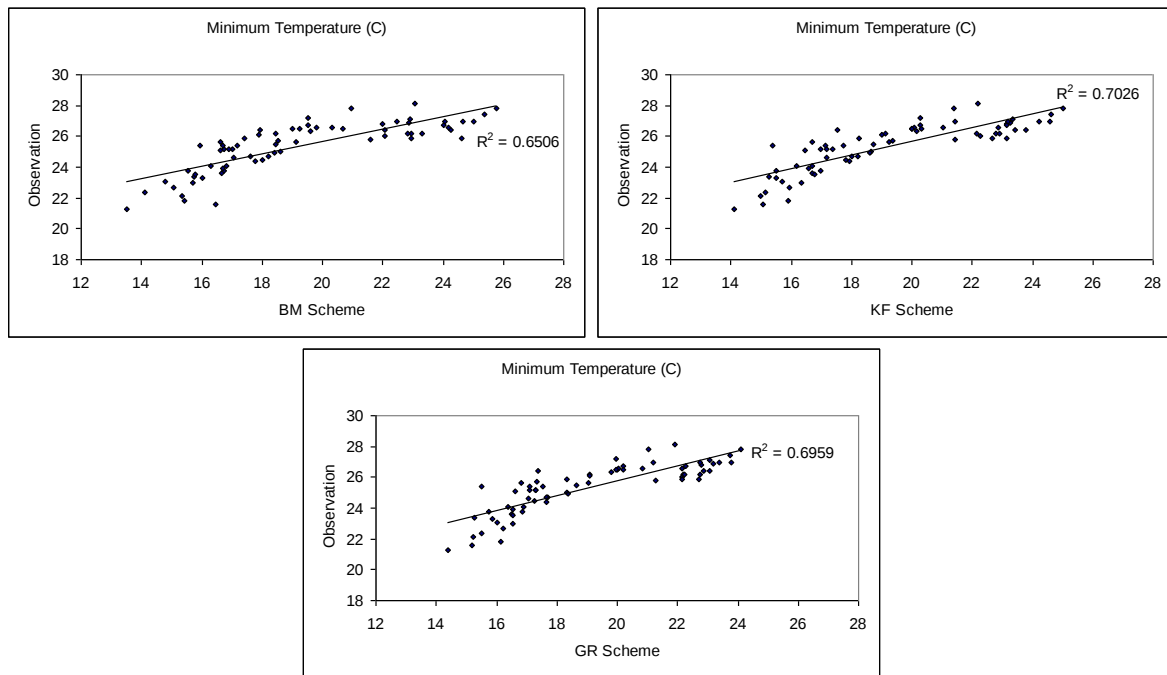
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 4.7 R^2 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 4.8 R^2 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 4.9 R^2 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน

จากตารางที่ 4.2 แม้ว่าแบบจำลองจะคาดหมายอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนโดยมี MAE ประมาณ 5°C สำหรับวิธีกำหนดตัวแปรเสริมทุกวิธี แต่สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนที่คาดหมายจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับการพยากรณ์อากาศ คือมากกว่า 0.7 โดยวิธี KF ให้ผลการคาดหมายที่ดีกว่าวิธีอื่น

สำหรับการคาดหมายอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน (ตารางที่ 4.3) การกำหนดตัวแปรเสริมทั้ง 3 วิธี มี MAE ที่น้อยกว่าการพยากรณ์อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (ตารางที่ 4.2) แต่มีสหสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดน้อยกว่า 0.5 โดยวิธี KF ให้ผลการคาดหมายที่ดีกว่าวิธีอื่น

ในการคาดหมายอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน (ตารางที่ 4.4) การกำหนดตัวแปรเสริมทั้ง 3 วิธี มี MAE ที่มากกว่า 5°C ทุกวิธีแต่มีสหสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยวิธีมากกว่า 0.8 ทุกวิธี โดยวิธี KF มีผลการคาดหมายดีกว่าวิธีอื่น

ดังนั้น สำหรับการคาดหมายอุณหภูมิจึงอาจสรุปได้ว่า การกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนด้วยวิธี KF ให้ผลดีที่สุด

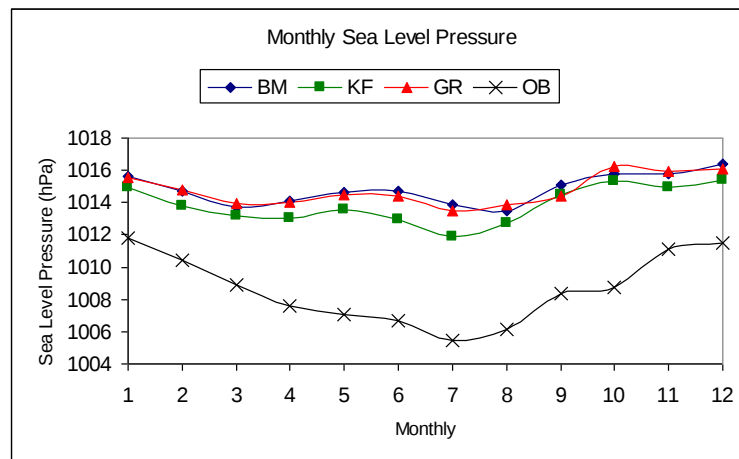
4.1.3 ความกดอากาศ

ความถูกต้องของแบบจำลองในการคาดหมายความกดอากาศเฉลี่ยรายเดือน ณ ระดับน้ำทะเล วิเคราะห์จาก MSE, MAE, RMSE และสหสัมพันธ์ ระหว่างผลการตรวจ ณ สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 70 สถานี กับค่าที่ได้จากการคาดหมายด้วยแบบจำลอง ณ จุดพิกัดที่ใกล้เคียงที่สุดกับสถานีตรวจอากาศนั้น ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10

ผลการวิเคราะห์แสดงว่า แบบจำลองคาดการณ์ความกดอากาศเฉลี่ยรายเดือนโดยมี MAE มากกว่า 5 hPa สำหรับวิธีกำหนดตัวแปรเสริมทุกวิธี และสหสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศเฉลี่ยรายเดือนที่คาดการณ์จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าเป็นลบเล็กน้อย นั่นคือแบบจำลองคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความดันอากาศเฉลี่ยได้ไม่ดี โดยวิธี KF ให้ผลการคาดการณ์ผิดพลาดน้อยกว่าวิธีอื่น

ตารางที่ 4.5 ความกดอากาศเฉลี่ยรายเดือน ณ ระดับน้ำทะเล

Index	BM	KF	GR
MSE	45.620	29.981	39.941
MAE	6.646	5.373	6.237
RMSE	6.754	5.476	6.319
CORRELATION	-0.290	-0.217	-0.281



รูปที่ 4.10 ความดันอากาศเฉลี่ยรายเดือน ณ ระดับน้ำทะเล

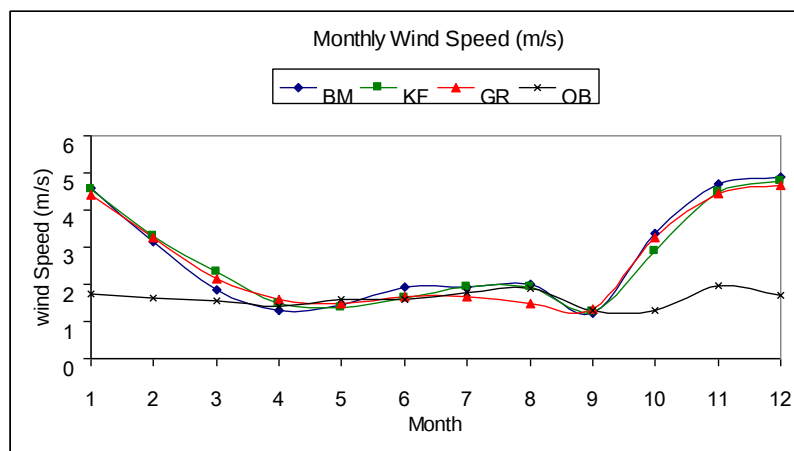
4.1.4 อัตราเร็วลม

MSE, MAE, RMSE และสหสัมพันธ์ ระหว่างอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนจากการตรวจ ณ สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 70 สถานี กับค่าที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง ณ จุดพิกัดที่ใกล้เคียงที่สุดกับสถานีตรวจอากาศนั้น ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.6 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน

Index	BM	KF	GR
MSE	2.800	2.692	2.647
MAE	1.427	1.328	1.301
RMSE	1.672	1.641	1.627
CORRELATION	0.254	0.361	0.370

ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์อัตราเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่สหสัมพันธ์ระหว่างผลการคาดหมายกับค่าที่ตรวจวัดมีค่าน้อย โดยวิธี GR ให้ผลดีกว่าวิธีอื่น



รูปที่ 4.11 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน

4.1.5 การคัดเลือกวิธีกำหนดตัวแปรเสริม

จากการประเมินพบว่า ปริมาณฝนรวมรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองโดยการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนทั้งสามวิธี น้อยกว่าฝนที่ได้จากการประเมินด้วยดาวเทียมเป็นอย่างมาก และมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างฝนจากแบบจำลองและฝนที่ประเมินด้วยดาวเทียมต่ำมาก ดังนั้น แบบจำลอง WRF Version 2.2.1 ที่ใช้ในการศึกษานี้จึงอาจไม่เหมาะสำหรับการคาดการณ์ฝนในระยะยาว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนพบว่า สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากผลสถานีตรวจอากาศและแบบจำลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ดี จึงสามารถใช้แบบจำลองนี้ในการคาดการณ์อุณหภูมิในระยะยาวได้ โดยวิธีกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆพาความร้อนซึ่งให้ผลในการพยากรณ์อุณหภูมิที่ดีที่สุดคือวิธี KF จึงได้เลือกวิธีนี้เพื่อใช้ในการสร้างภาพจำลองของประเทศไทยต่อไป

อย่างไรก็ตามสำหรับการปรับปรุงวิธี KF ให้เหมาะสมกับประเทศไทยยิ่งขึ้นนั้น ไม่อาจทำได้ทันภายในระยะเวลาของโครงการ เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคนิคของแบบจำลอง WRF รุ่นที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับ numerical stability ที่ลดลงตามระยะเวลาการพยากรณ์ที่นานขึ้น ทำให้ต้องลด time step ให้น้อยลงเรื่อย ๆ ส่งผลให้ต้องใช้เวลาของคอมพิวเตอร์ในการพยากรณ์ต่อหน่วยเวลาเพิ่มขึ้นโดยตลอด ซึ่งปัญหานี้ได้รับการแก้ไขแล้วบางส่วนในแบบจำลอง WRF รุ่นใหม่

4.2 ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ 5 ปี (ค.ศ. 2000 - 2004)

ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ (based-year simulation) จากแบบจำลอง WRF จำนวน 5 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2000 ถึง ค.ศ. 2004 ดังต่อไปนี้

ปริมาณและการกระจายของฝน

อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย

อัตราเร็วและทิศทางลม

ความชื้นสัมพัทธ์

ความกดอากาศ

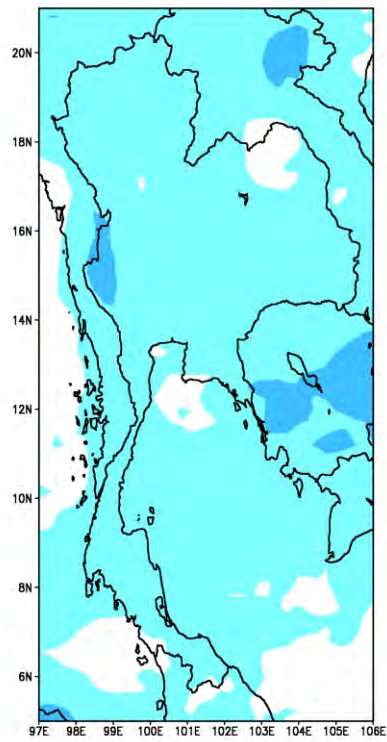
โดยมีรูปแบบข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายปี ทั้งในลักษณะ image file และ text file ซึ่งบันทึกไว้บนแผ่น DVD

ในส่วนข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นั้น แม้ว่าจะมีการคาดหมายโดยแบบจำลอง แต่เนื่องจากข้อผิดพลาดของ โปรแกรมแบบจำลองในส่วนของ output ทำให้ไม่มีการบันทึกผลลัพธ์ไว้ในลักษณะของแฟ้มข้อมูล ส่งผลให้ไม่อาจแสดงผลลัพธ์ของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ได้ จึงได้แสดงผลรังสีคลื่นยาวที่พื้นโลกได้รับ (downward longwave radiation) แทน

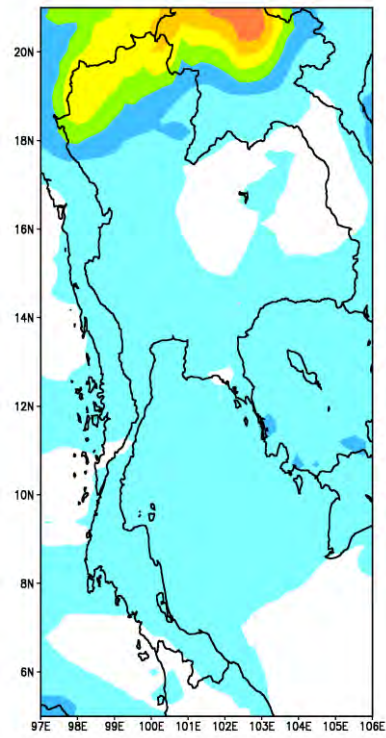
สำหรับสภาพฤดูกาลที่ได้จากการคาดหมายสภาพภูมิอากาศโดยแบบจำลอง ไม่อาจแสดงผลในลักษณะของไฟล์ข้อมูล ชนิด text หรือ image ได้ อย่างไรก็ตามจากการเปรียบเทียบพบว่า การคาดหมายสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยแบบจำลอง มีรูปแบบที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละปี ยกเว้นฝนซึ่งแบบจำลองคาดหมาย ปริมาณฝนในฤดูฝนต่ำกว่าความเป็นจริงมาก

ปริมาณฝนรวมรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001 – 2004 ซึ่งคาดหมายโดยแบบจำลอง (ใช้วิธี KF) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.12 ส่วนปริมาณฝนรวมรายปีจากดาวเทียมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.13

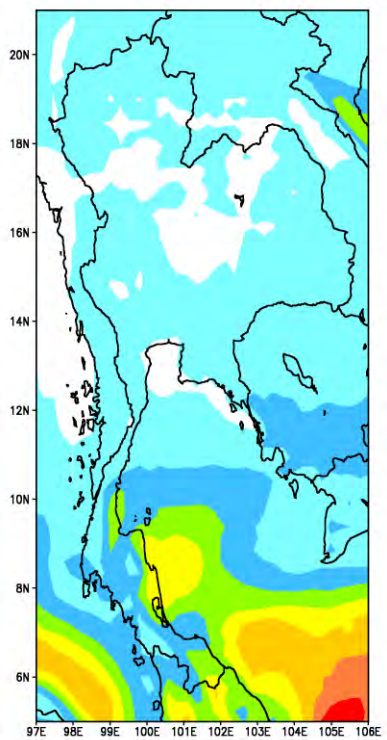
ตัวอย่างการคาดหมายอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14 – 4.16 ตามลำดับ ตัวอย่างการคาดหมายอัตราเร็วและทิศทางลมแสดงไว้ในรูปที่ 4.17 ส่วนความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปที่ 4.18 และความกดอากาศในรูปที่ 4.19



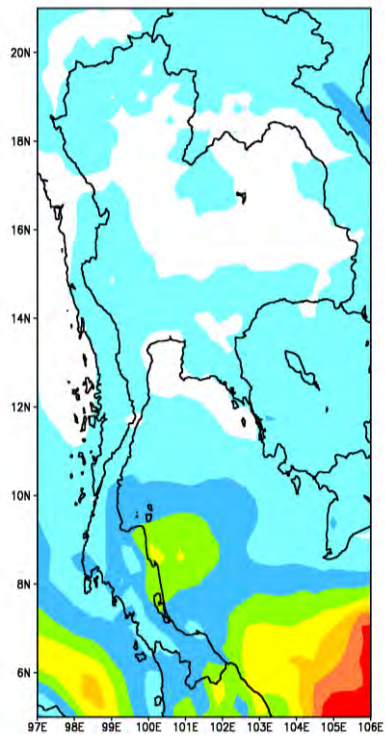
2001



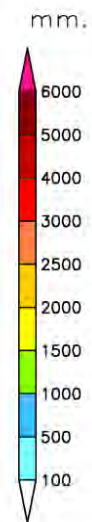
2002



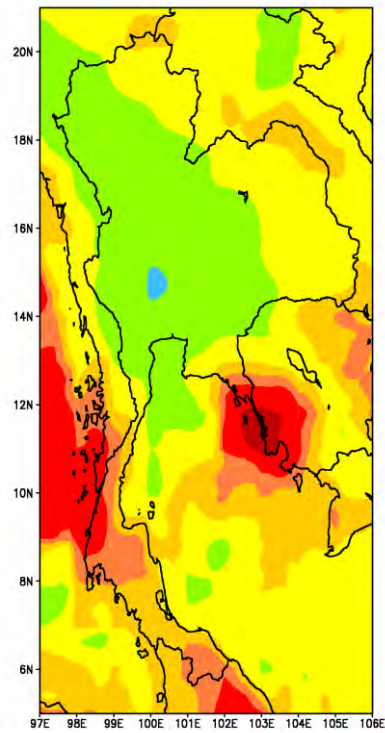
2003



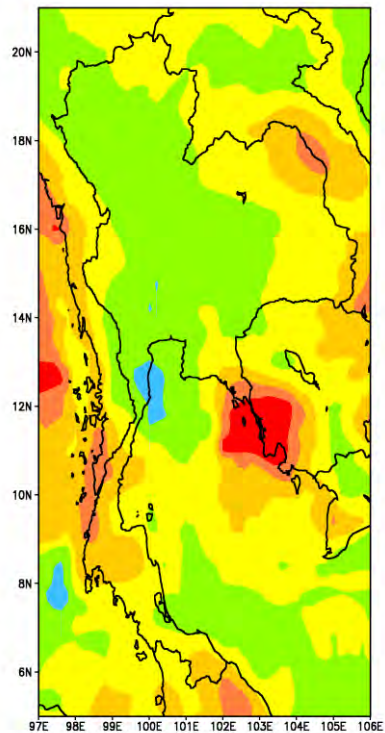
2004



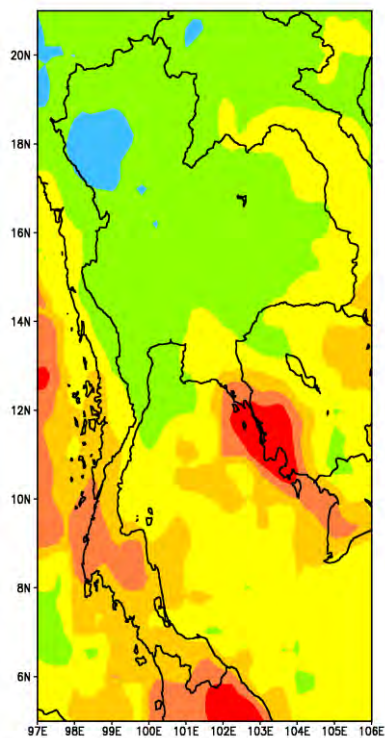
รูปที่ 4.12 ฝนรวมรายปีจากแบบจำลอง



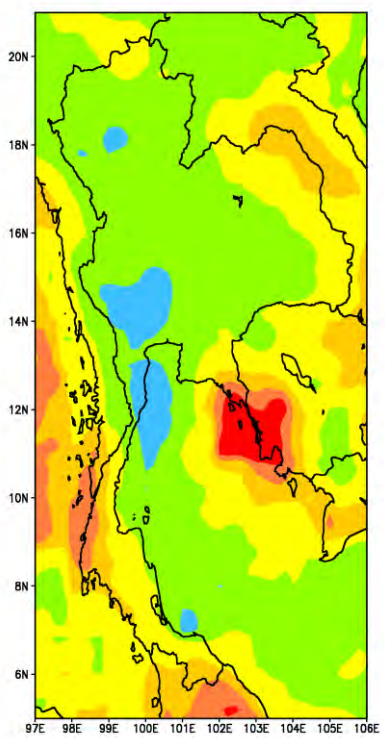
2001



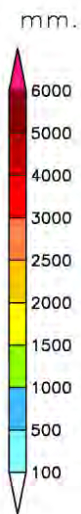
2002



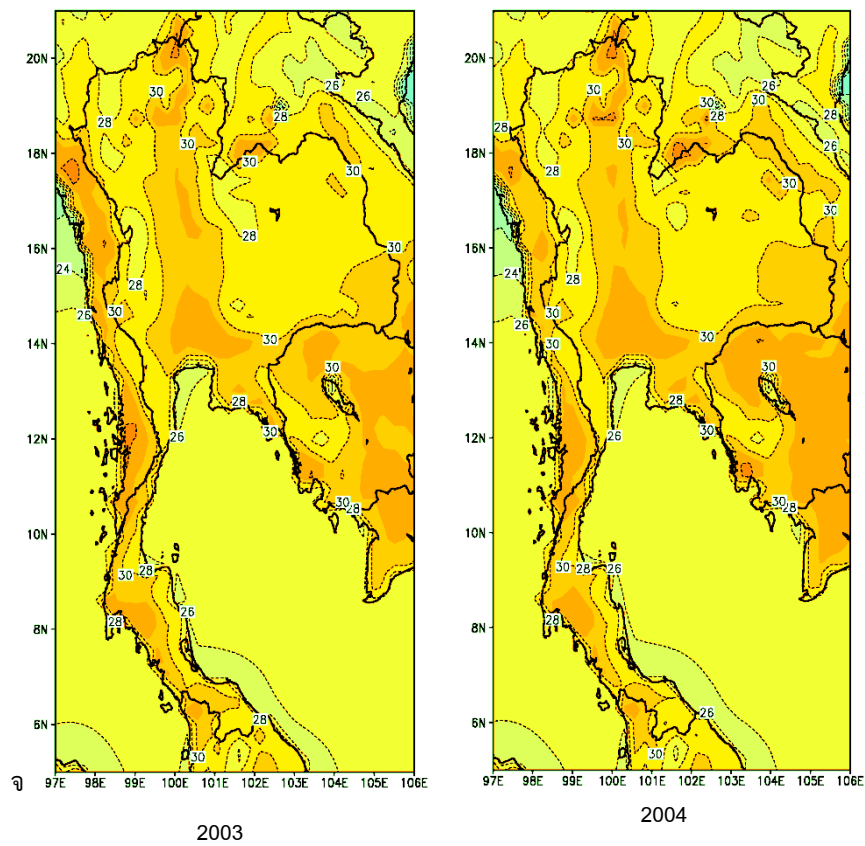
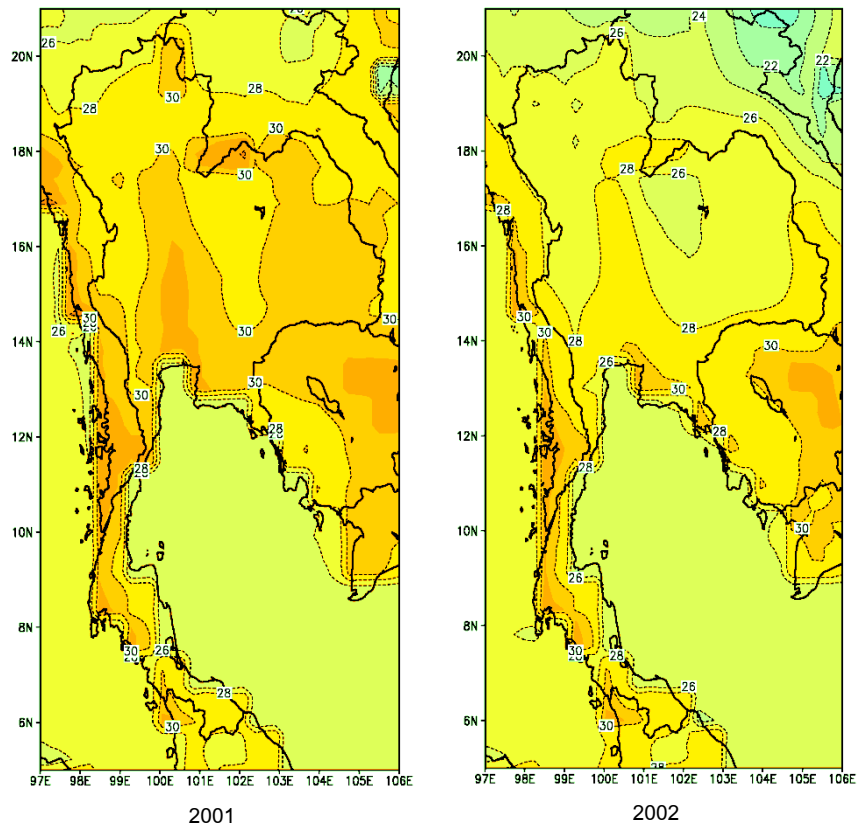
2003



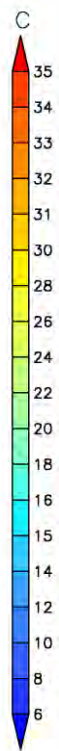
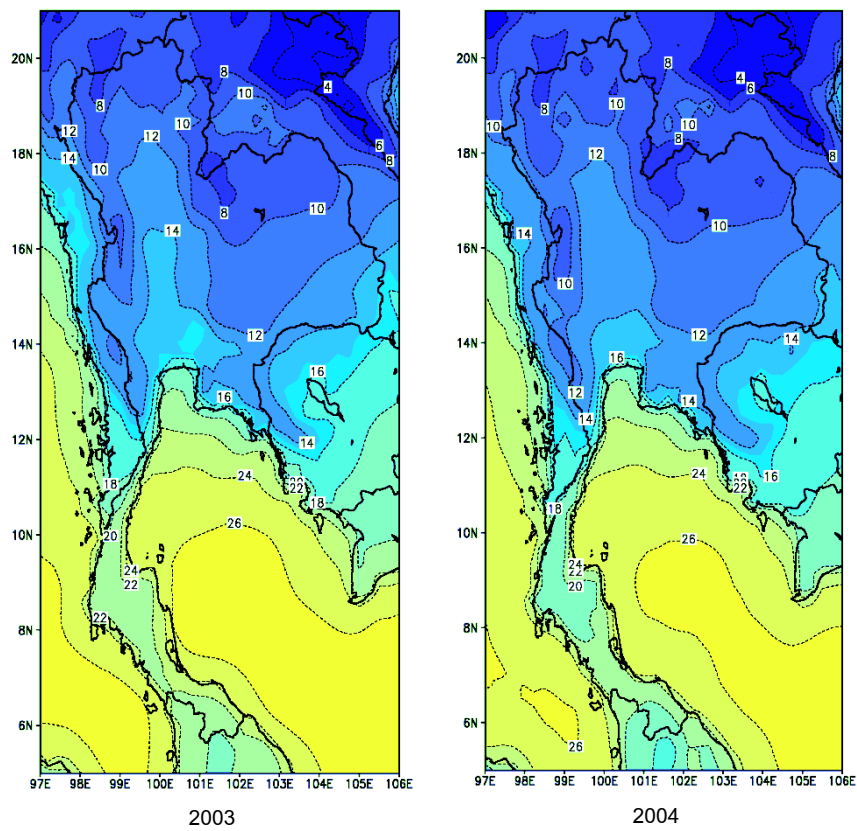
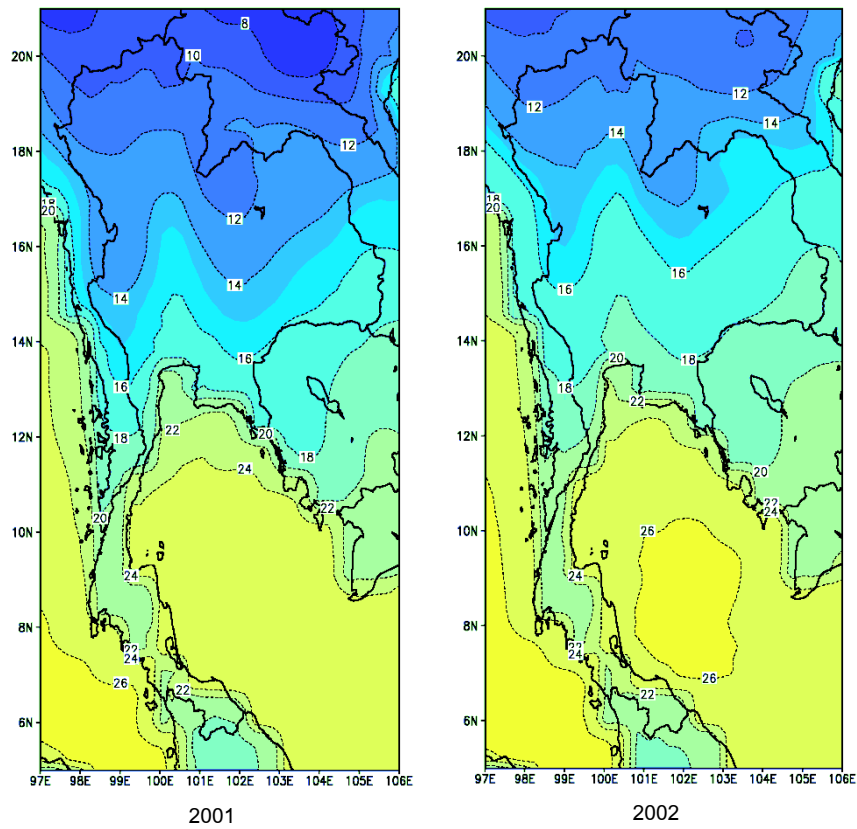
2004



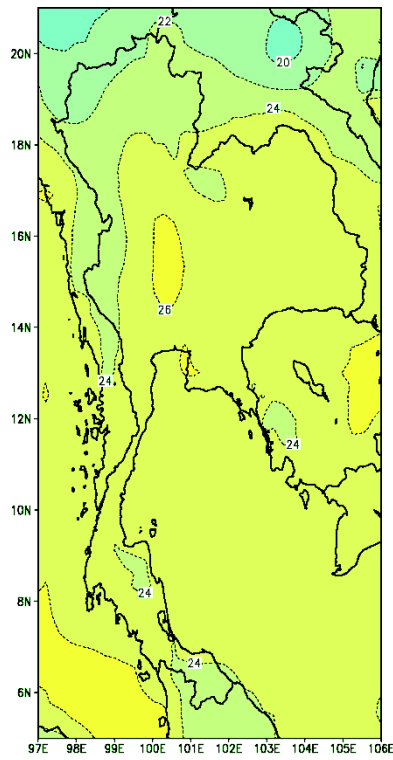
รูปที่ 4.13 ฝนรวมรายปีจากดาวเทียม



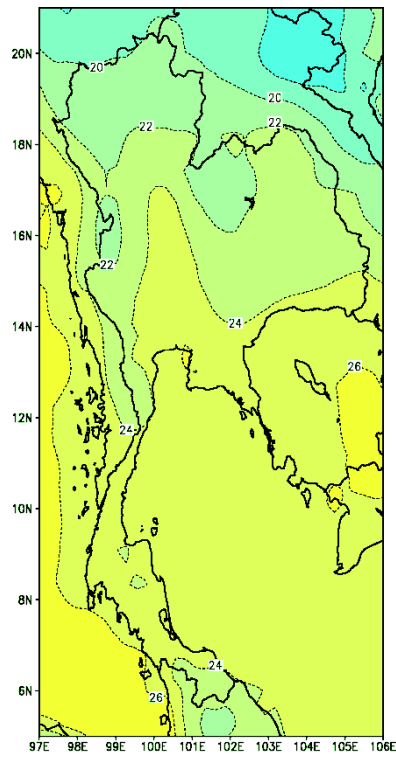
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเดือนพฤษภาคมจากแบบจำลอง



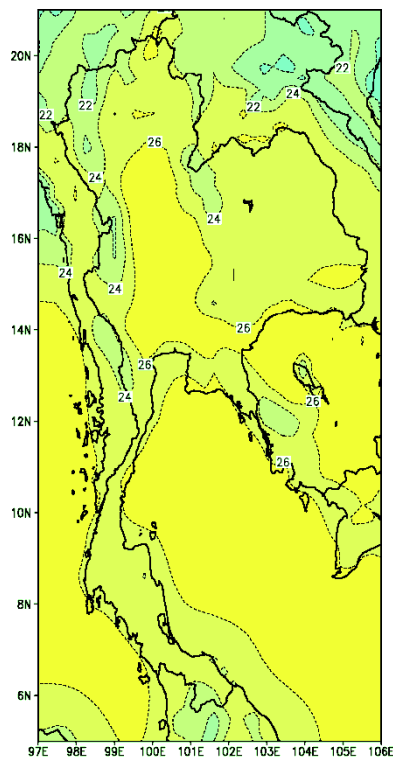
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิที่ต่ำสุดเฉลี่ยเดือนธันวาคมจากแบบจำลอง



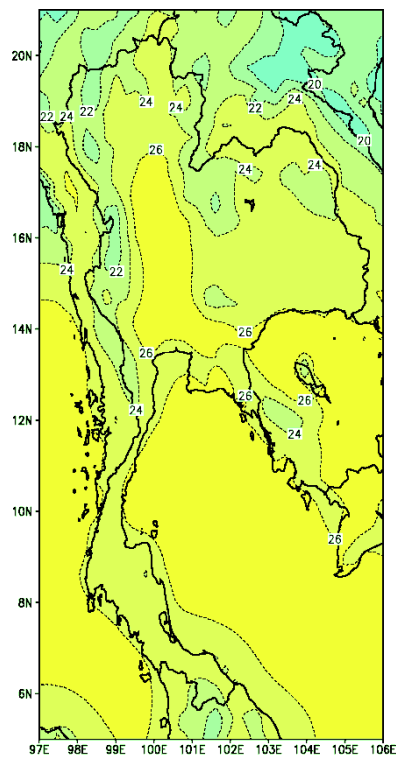
2001



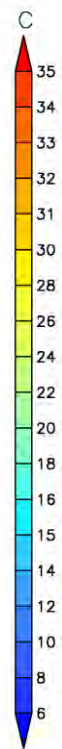
2002



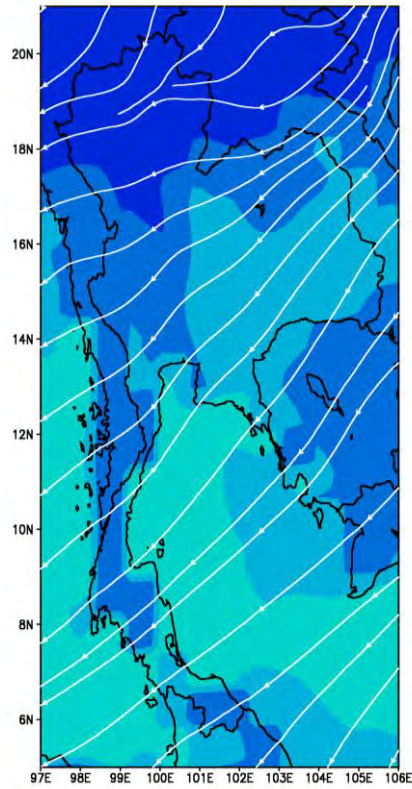
2003



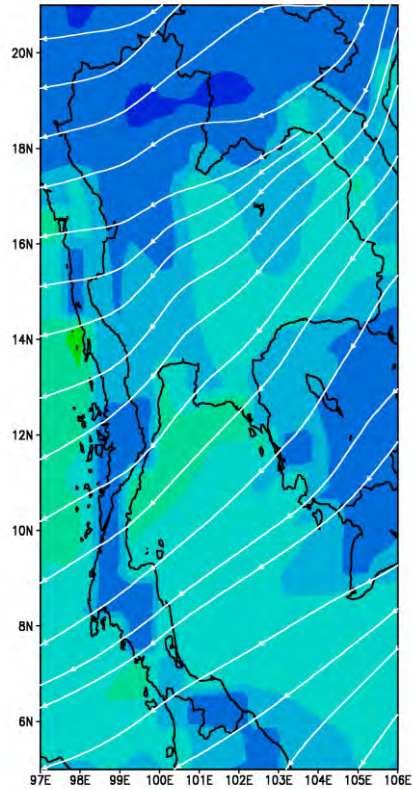
2004



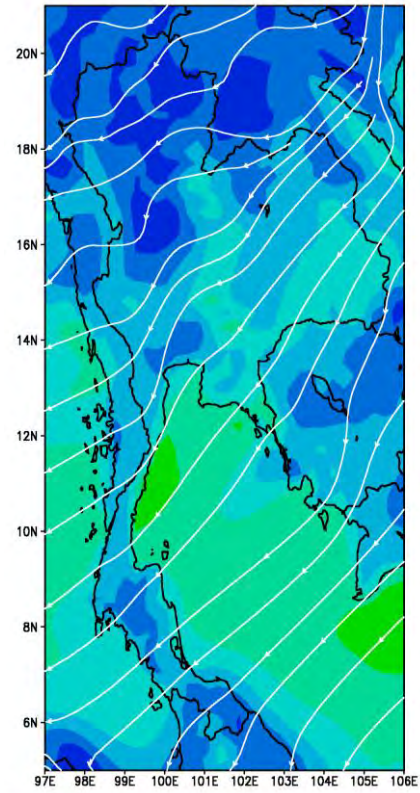
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิเฉลี่ยเดือนธันวาคมจากแบบจำลอง



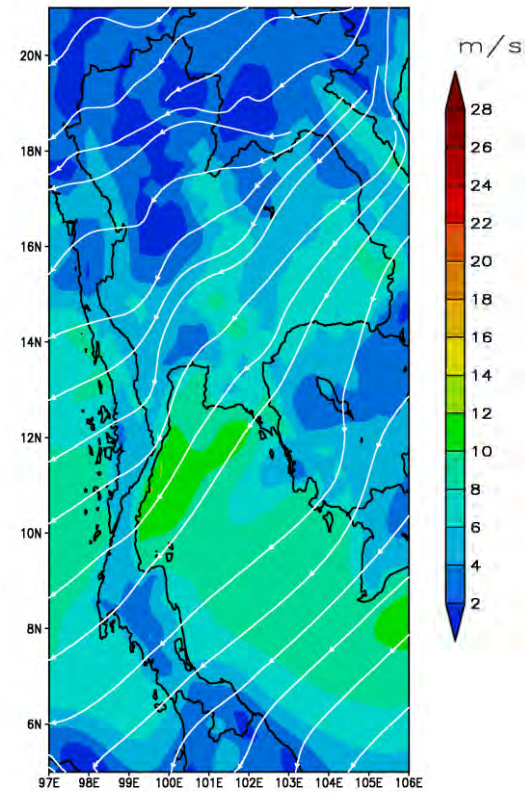
2001



2002

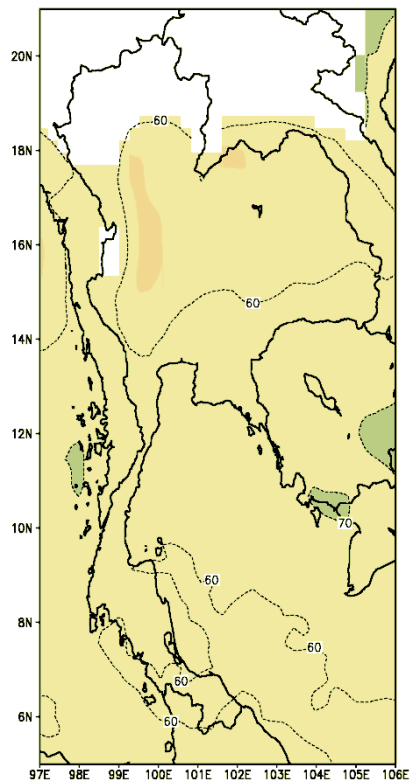


2003

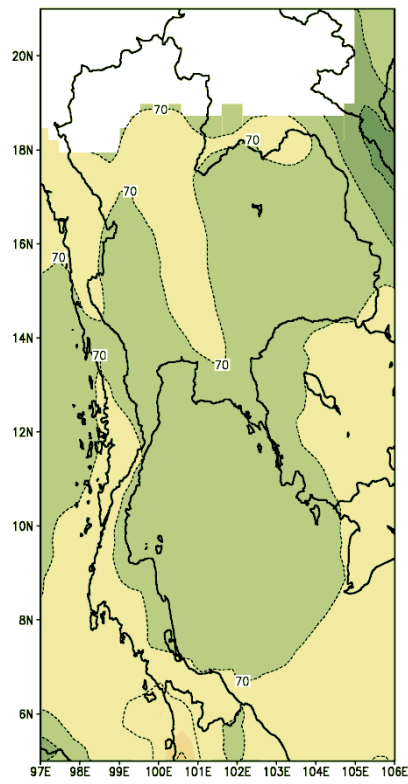


2004

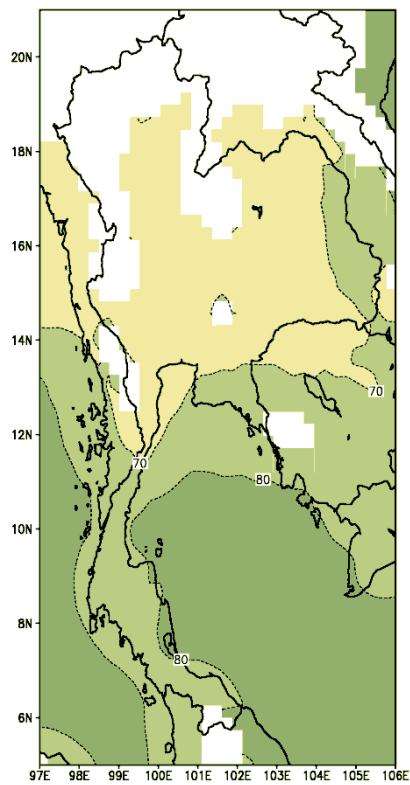
รูปที่ 4.17 อัตราเร็ว (แถบสี) และทิศทางลม (เส้นมีลูกศร) เฉลี่ยเดือนมกราคมจากแบบจำลอง



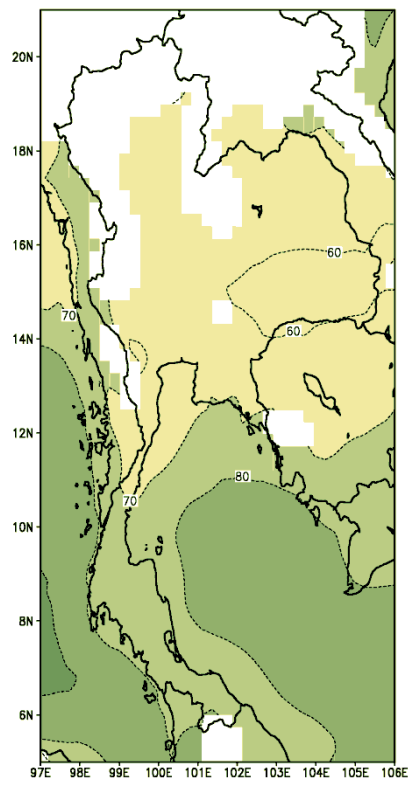
2001



2002

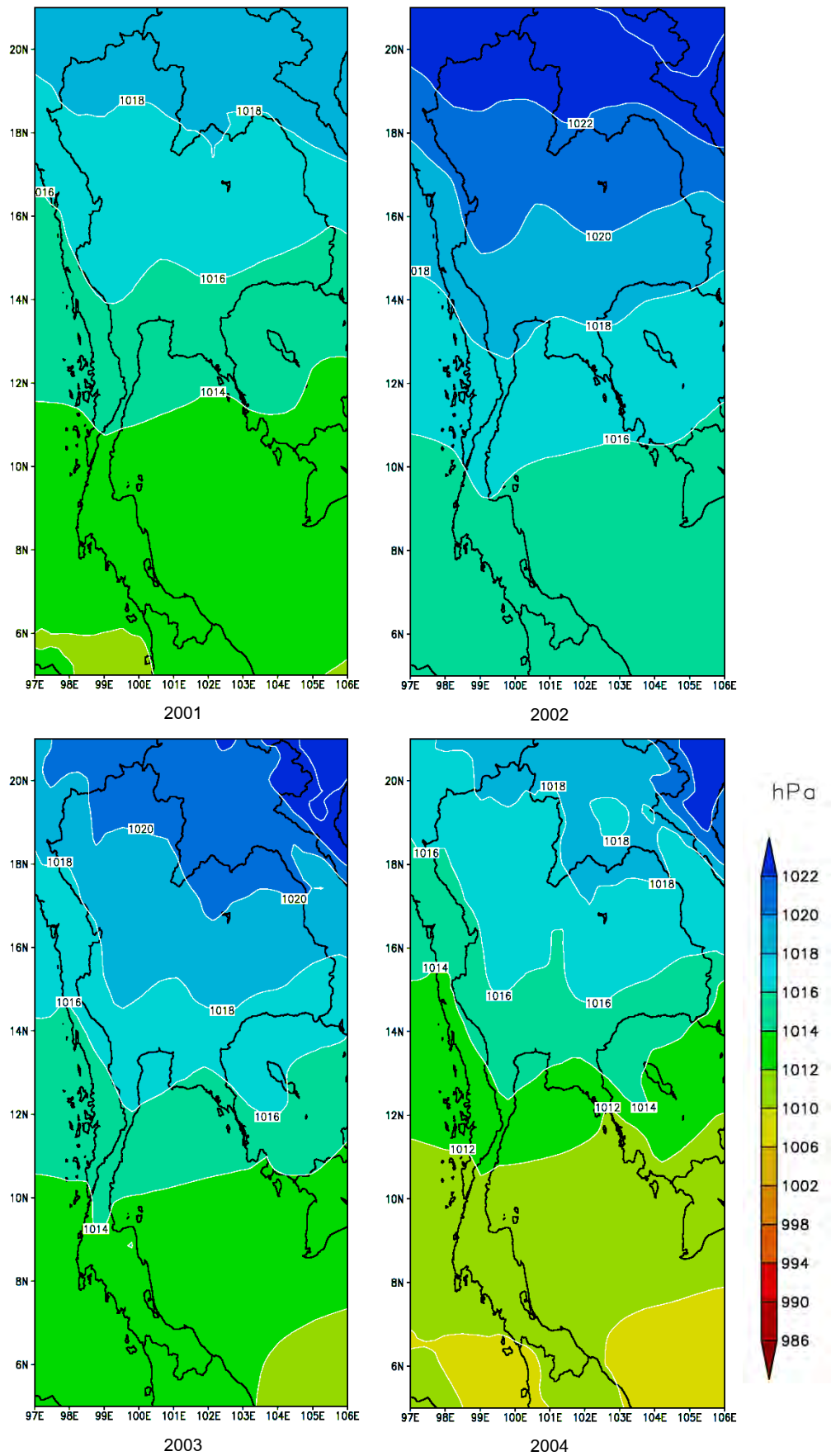


2003



2004

รูปที่ 4.18 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเดือนสิงหาคมจากแบบจำลอง



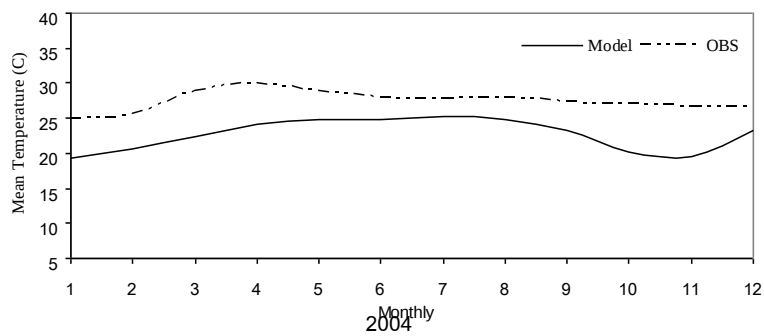
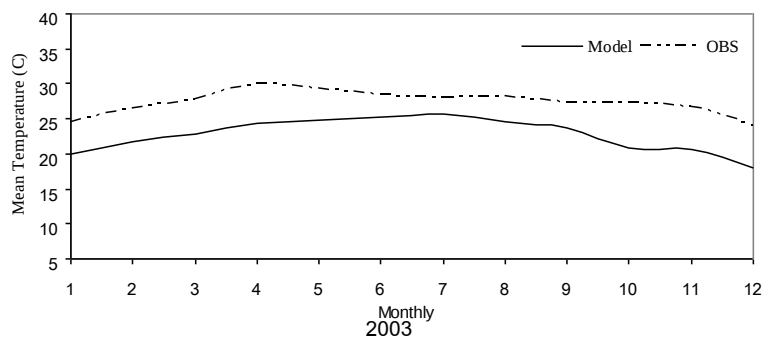
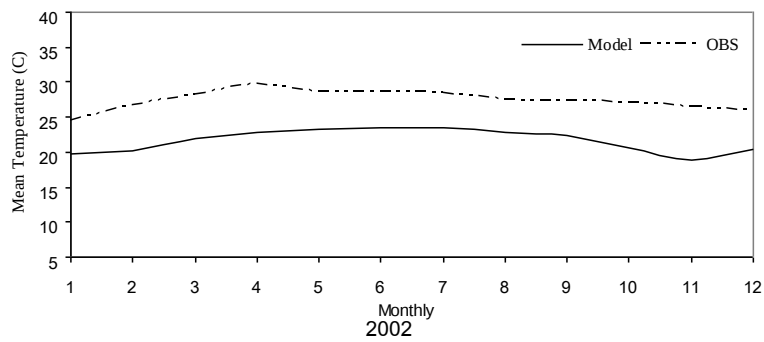
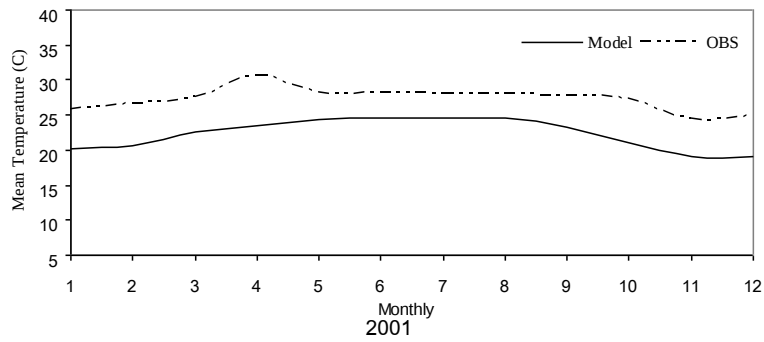
รูปที่ 4.19 ความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยเดือนมกราคมจากแบบจำลอง

4.3 วิจัยผลลัพธ์

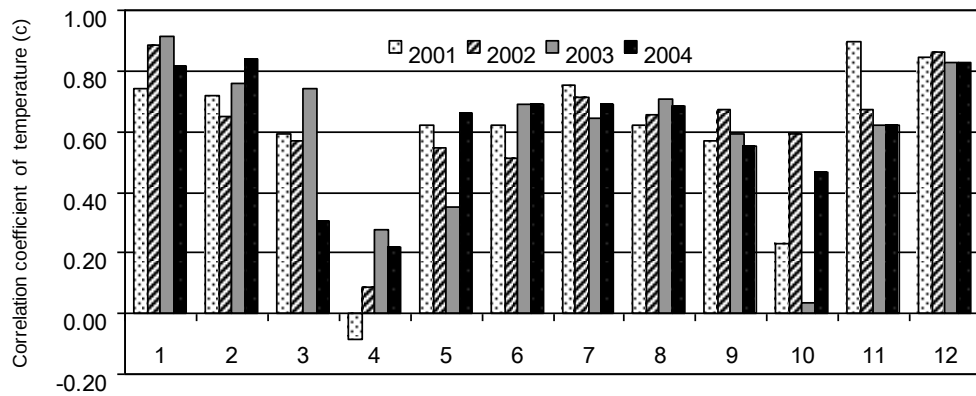
การที่ปริมาณฝนจากการคาดการณ์โดยแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณฝนจริงนั้น เป็นเรื่องปกติของแบบจำลองโดยส่วนมาก ทั้งนี้เพราะแบบจำลองจะคาดการณ์ปริมาณฝนในเชิงพื้นที่ (ในงานวิจัยนี้คือ 25 x 25 ตารางกิโลเมตร) แต่ปริมาณฝนจริงนั้นได้มาจากการตรวจวัดเฉพาะจุด ณ สถานีตรวจอากาศเท่านั้น ปริมาณฝนจากการตรวจวัดที่สถานีจึงมักมีค่ามากกว่าปริมาณฝนจากแบบจำลองที่ตำแหน่งเดียวกัน อย่างไรก็ตามผลการคาดการณ์ปริมาณฝนด้วยแบบจำลอง WRF ในงานวิจัยนี้ มีค่าต่ำกว่าปกติมากในฤดูฝน ซึ่งจากการตรวจสอบยังไม่อาจระบุสาเหตุที่แน่นอนได้ อาจเป็นเพราะการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆและการพาความร้อนในแบบจำลอง ยังไม่เหมาะสมนักกับสภาพภูมิอากาศของประเทศในเขตร้อนเช่นประเทศไทย หรืออาจมีสาเหตุจากการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับบรรยากาศใกล้พื้นโลก (planetary boundary layer) ในแบบจำลองยังไม่เหมาะสมกับการพยากรณ์อากาศในระยะเวลานานเป็นปี รวมทั้งยังอาจมีสาเหตุอื่นๆอีกหลากหลายเช่น การกำหนดค่าขอบ ขนาด domain ของแบบจำลอง เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคต อนึ่งแบบจำลอง WRF รุ่นใหม่ได้มีการปรับปรุงในหลายส่วนให้เหมาะสมกับการใช้คาดการณ์สภาพภูมิอากาศมากขึ้น อาจช่วยแก้ปัญหาในประเด็นนี้ได้

ต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ mean absolute error ระหว่างค่าคาดการณ์จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับช่วงเวลา 4 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2001 – 2004 ส่วนเหตุผลที่ไม่ได้นำการคาดการณ์ของปี ค.ศ. 2000 ซึ่งเป็นปีแรกของการคาดการณ์มาวิเคราะห์นั้น เนื่องจากการปรับเปลี่ยนการกำหนด time step ของแบบจำลองในช่วง 4 ปีหลังให้เหมาะสมยิ่งขึ้นกว่า time step ที่เคยใช้ในช่วงปีแรก ซึ่งการใช้ time step ที่แตกต่างกันนี้อาจมีผลต่อการคาดการณ์โดยแบบจำลองได้ จึงไม่นำผลการคาดการณ์ในปีแรกมาใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อัตราเร็วลม และความกดอากาศ โดยในส่วนของฝนได้ทำการวิเคราะห์ไว้แล้วสำหรับการคาดการณ์ของปี ค.ศ. 2000 สำหรับความสัมพันธ์ที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์เนื่องจากตัวแปรนี้มีความเกี่ยวเนื่องกับฝนอย่างมาก และได้วิเคราะห์ในส่วนของฝนไปแล้วในช่วงปีแรกของการคาดการณ์

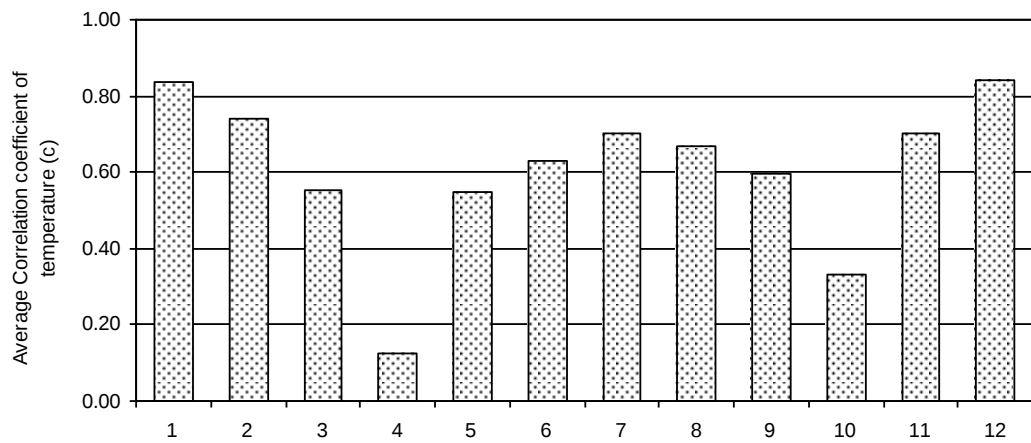
การคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 2001 – 2004 ดังรูปที่ 4.20 แสดงว่าแบบจำลอง WRF สามารถคาดการณ์แนวโน้มของอุณหภูมิได้ดี โดยกราฟอุณหภูมิคาดการณ์กับกราฟอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จริงจะขนานกันเป็นส่วนใหญ่ การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รายปีดังรูปที่ 4.21 และสหสัมพันธ์เฉลี่ย 4 ปีดังรูปที่ 4.22 แสดงว่าแบบจำลองคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนได้ดี (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป) ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ คาดหมายได้ในเกณฑ์ปานกลาง (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง 0.4 – 0.6) ในเดือนมีนาคมและพฤษภาคมถึงกันยายน ส่วนเดือนเมษายนและตุลาคมแบบจำลองคาดการณ์ได้ไม่ดี (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่า 0.4) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเดือนเมษายน สำหรับค่า mean absolute error (MAE) ของอุณหภูมิในรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนคลาดเคลื่อนมากกว่า 4 องศาเป็นส่วนใหญ่



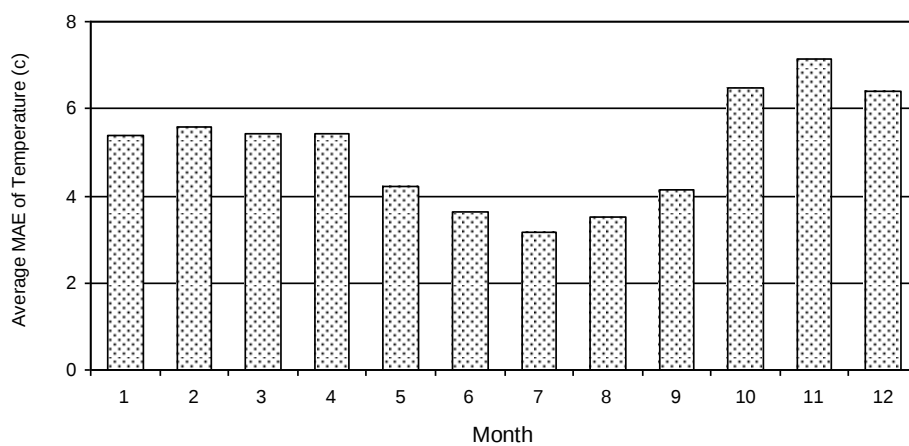
รูปที่ 4.20 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองและการตรวจวัด



รูปที่ 4.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รายปีระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองกับอุณหภูมิจากการตรวจวัด

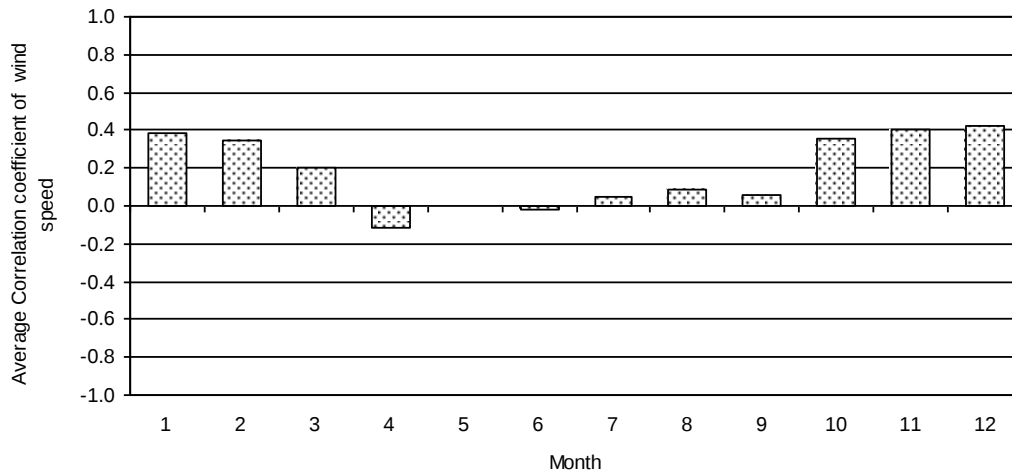


รูปที่ 4.22 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองกับอุณหภูมิจากการตรวจวัด

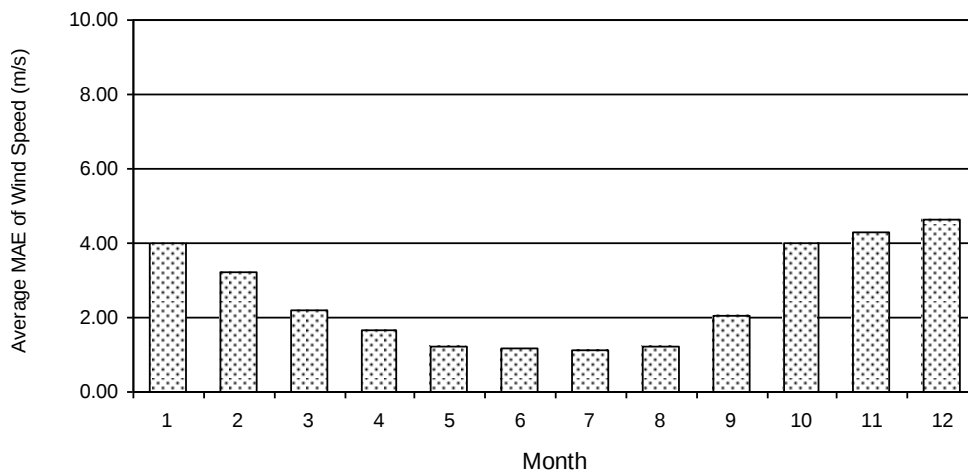


รูปที่ 4.23 MAE ของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน

จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมจากแบบจำลองและอัตราเร็วลมจากการตรวจวัดดังรูปที่ 4.24 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงว่าแบบจำลองคาดการณ์อัตราเร็วลมได้ไม่แม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างเดือนเมษายนถึงกันยายน สำหรับ MAE ของอัตราเร็วลมดังรูปที่ 4.25 แสดงว่าแบบจำลองคาดการณ์อัตราเร็วลมต่างจากความเป็นจริงค่อนข้างมากระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ (สูงกว่าความเป็นจริง ดูผลการวิเคราะห์ใน DVD)

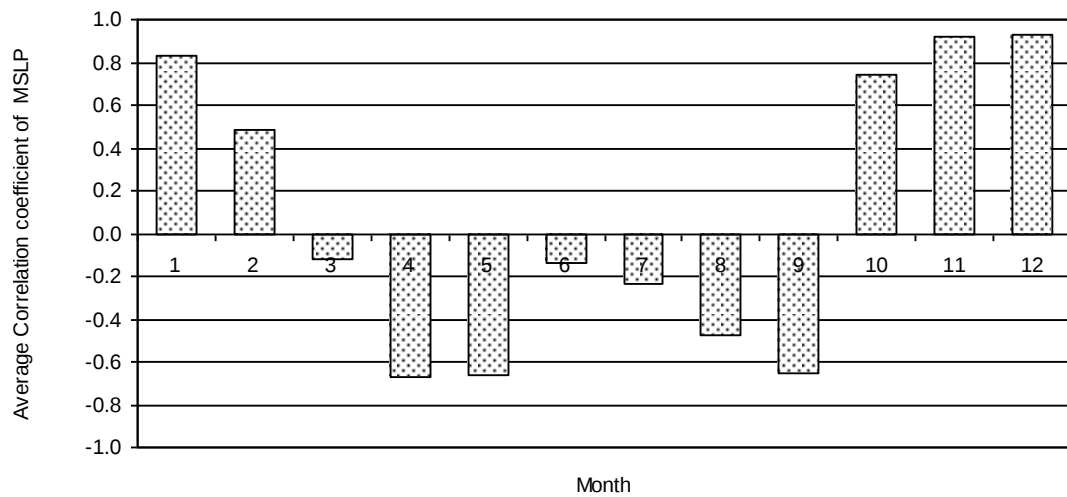


รูปที่ 4.24 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอัตราเร็วลม

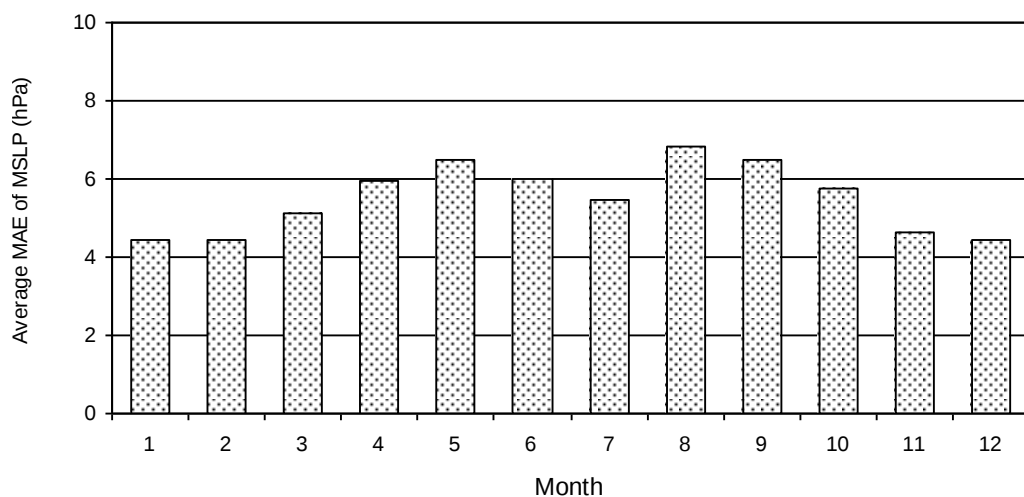


รูปที่ 4.25 MAE ของอัตราเร็วลม

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศจากแบบจำลองและการตรวจวัดตั้งรูปที่ 4.26 ซึ่งมีค่าเป็นลบระหว่างเดือนมีนาคมถึงกันยายน แสดงว่าแบบจำลองไม่สามารถคาดหมายความกดอากาศในช่วงดังกล่าวได้ ส่วน MAE ของความกดอากาศในรูปที่ 4.26 แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงในการคาดหมายความกดอากาศด้วยแบบจำลอง (สูงกว่าความเป็นจริง ดูผลการวิเคราะห์ใน DVD)



รูปที่ 4.26 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความกดอากาศ



รูปที่ 4.27 MAE ของความกดอากาศ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบบจำลอง Weather Research and Forecasting Model (WRF) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย โดยทดสอบผลของการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับเมฆการพาความร้อน (convective parameterization – CP) ที่มีต่อการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย วิธี CP ในแบบจำลอง WRF ที่ได้ทำการทดสอบมี 3 วิธี คือ Kain-Fritsch (KF), Bett-Miller-Janjic (BM) และ Grell-Deveny Ensemble (GR) ระยะเวลาของการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศคือ 5 ปี ระหว่าง ค.ศ. 2000 – 2004 การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในช่วงปี ค.ศ. 2000 ได้นำมาใช้เพื่อการคัดเลือก CP ที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยพิจารณาจาก ฝน อุณหภูมิ ความกดอากาศ และอัตราเร็วลม ผลการวิเคราะห์แสดงว่าไม่มี CP วิธีหนึ่งวิธีใดที่ให้ผลการคาดการณ์ฝนได้ดีกว่าวิธีอื่นทุกเดือน แต่วิธี KF ให้ผลการคาดการณ์อุณหภูมิดีกว่าวิธีอื่น จึงได้เลือกวิธี KF สำหรับการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในช่วงปี ค.ศ. 2001 -2004 ต่อไป

การวิเคราะห์ผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยโดยแบบจำลองระหว่าง ค.ศ. 2001 – 2004 แสดงว่าการคาดการณ์ฝนมีปริมาณต่ำกว่าความเป็นจริงมากในช่วงฤดูฝน สำหรับการคาดการณ์อุณหภูมินั้น แบบจำลองสามารถคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายเดือนของอุณหภูมิได้ แต่การคาดการณ์ค่าอุณหภูมิมียาเดือนมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง 3 - 7 องศา ในส่วนของอัตราเร็วลมแบบจำลองคาดการณ์อัตราเร็วลมได้ไม่ถี่นัก โดยมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก สำหรับการคาดการณ์ความกดอากาศโดยแบบจำลองมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงระหว่าง 4 – 6 hecto Pascal กล่าวโดยสรุปแบบจำลอง WRF รุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถใช้ในการคาดการณ์อุณหภูมิได้ แต่ยังไม่อาจใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยได้

ผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่ได้จากงานวิจัยนี้ ในรูปแบบข้อมูลทั้ง image file และ text file ได้บันทึกไว้บนแผ่น DVD โดยประกอบด้วยข้อมูล ฝนรวมราย อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย อัตราเร็วและทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ นอกจากนี้ยังมีผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยเช่นกัน

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง WRF ต่อไปคือ ควรศึกษาผลของการกำหนดขนาดของพื้นที่การคาดการณ์ (domain) และรายละเอียด (resolution) ของแบบจำลองต่อการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศบริเวณประเทศไทย และควรศึกษาผลกระทบของการกำหนดตัวแปรเสริมสำหรับบรรยากาศใกล้พื้นโลก (planetary boundary layer - PBL) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในการถ่ายโอนพลังงานความร้อน ความชื้น และโมเมนตัม ระหว่างบรรยากาศกับพื้นโลก หากการกำหนดตัวแปรเสริมของ PBL มีความคลาดเคลื่อน ผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศย่อมคลาดเคลื่อนตามไปด้วยอย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

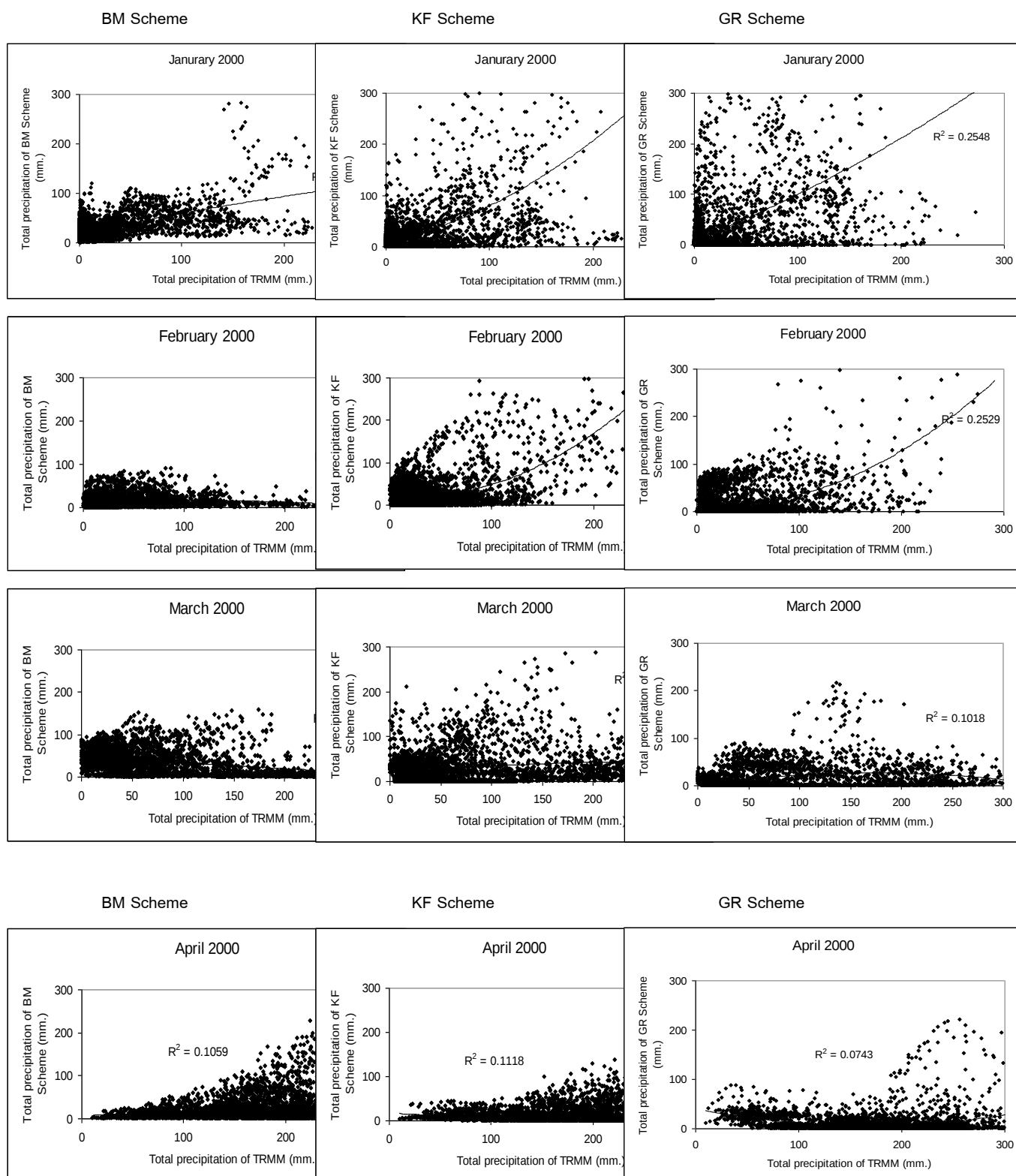
- Arakawa, A., Schubert, W.H. 1974. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment. Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences* **31**: 674-701.
- Betts, A.K, Miller, M.J. 1986. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX, and arctic air-mass data. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **112**, 693-709.
- Done, J. M., Leung, L. R., Davis, C. A. and Kuo, B. 2004. *Reginal Climate Simulation Using the WRF Model*. The 5th WRF / 14th MM5 Users' Workshop NCAR, June 22-25, 2004.
- Done, J. M., Leung, L. R., Davis, C. A., and Kuo, B. 2005. *Simulation of Warm Rainfall Using WRF Regional Climate Model*. The 6th WRF / 15th MM5 Users' Workshop, National Center for Atmospheric Research, June 27-30, 2005.
- Fritsch, J.M., Chappell, C.F. 1980. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences* **37**, 1722-1733.
- Giorgi, F. 2005. Climate Change Prediction, *Climate Change* **73**, 238-265.
- Gochis, D. J., Shuttleworth, W. J., and Yang, Z. L. 2002. Sensitivity of the Modeled North American Monsoon Regional Climate to Convective Parameterization. *Monthly Weather Review* **130**, 1282-1298.
- Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R. 1995. *A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR, Mesoscale Model (MM5)*. NCAR Technical Note NCAR/TN-398+STR.
- Kain, J.S., Fritsch, J.M. 1993. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. In *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models*, Emanuel KA, Raymond DJ (eds). Meteorological Monographs **24**: No 46, American Meteorological Society, 165-170.
- Janjic, Z.I. 1994. The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, **122**, 927-945.
- NASA, 2011. *Precipitation Measurement Mission*. Available online at <http://pmm.nasa.gov/TRMM/trmm-instruments>.

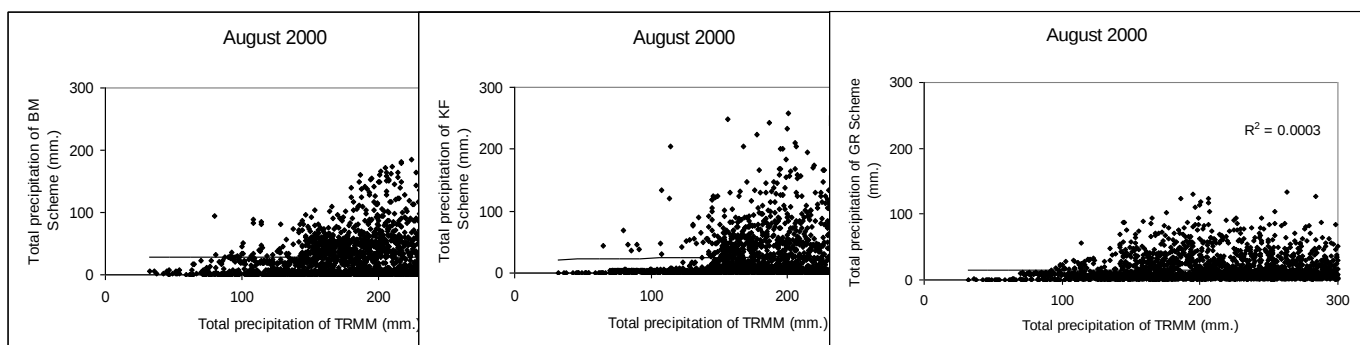
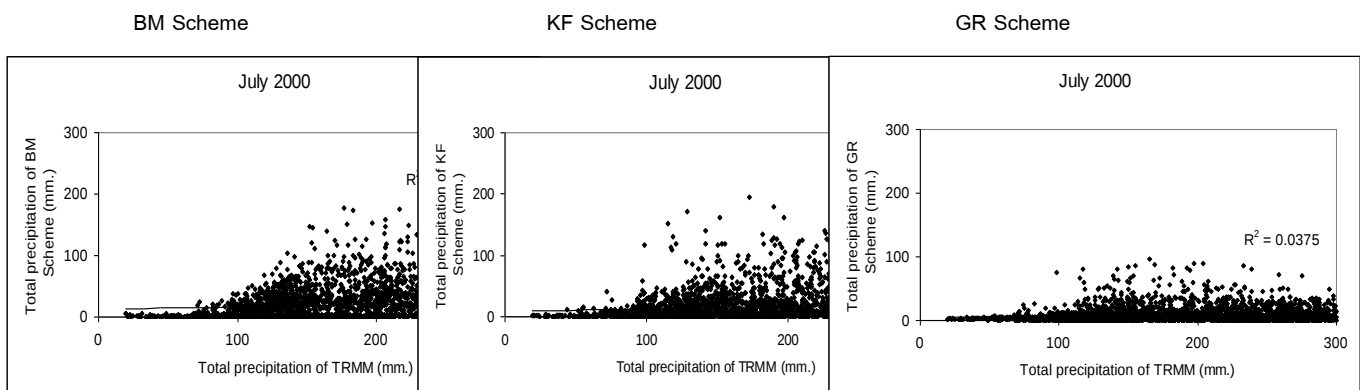
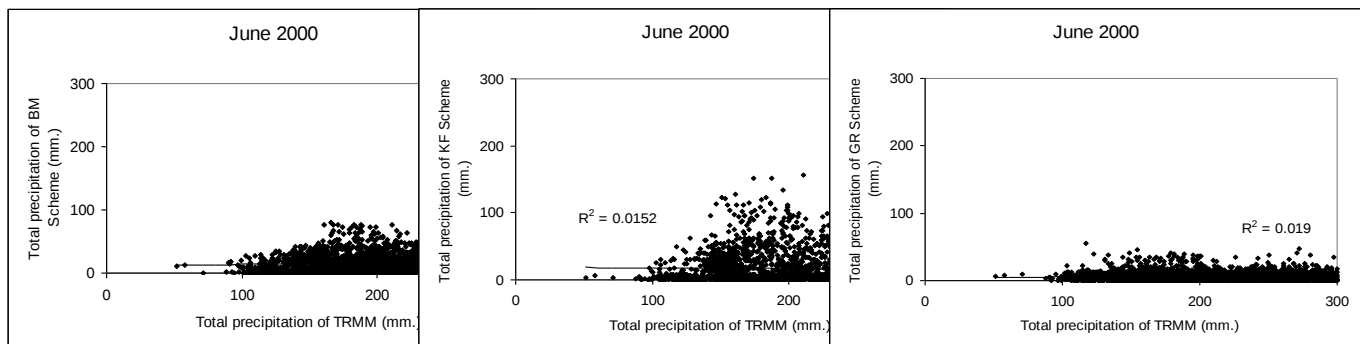
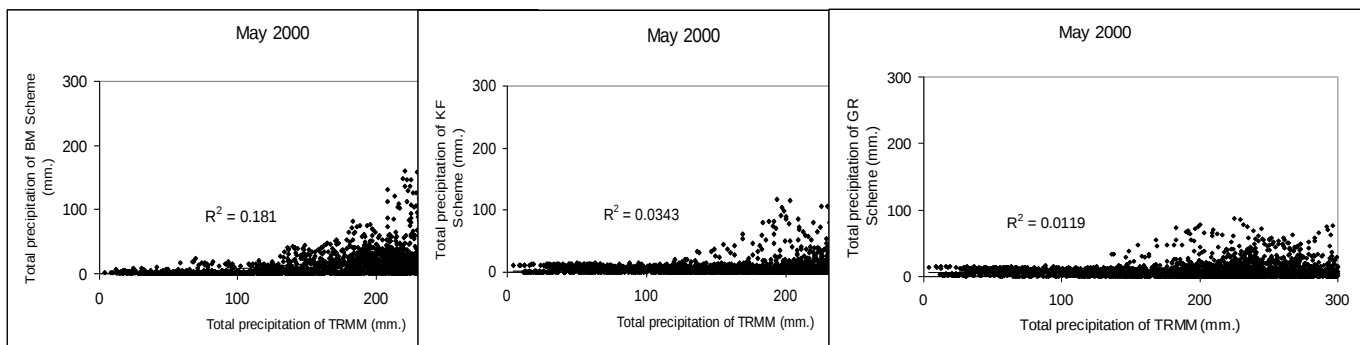
Turk F.J., Hawkins, J., Smith, E. A., Marzano, S. F, Mugnai, A. and Levizzani, V. 2000. *Combining SSM/I, TRMM and infrared geostationary satellite data in a near-realtime fashion for rapid precipitation updates: advantages and limitations*, EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users' Conference (2000).

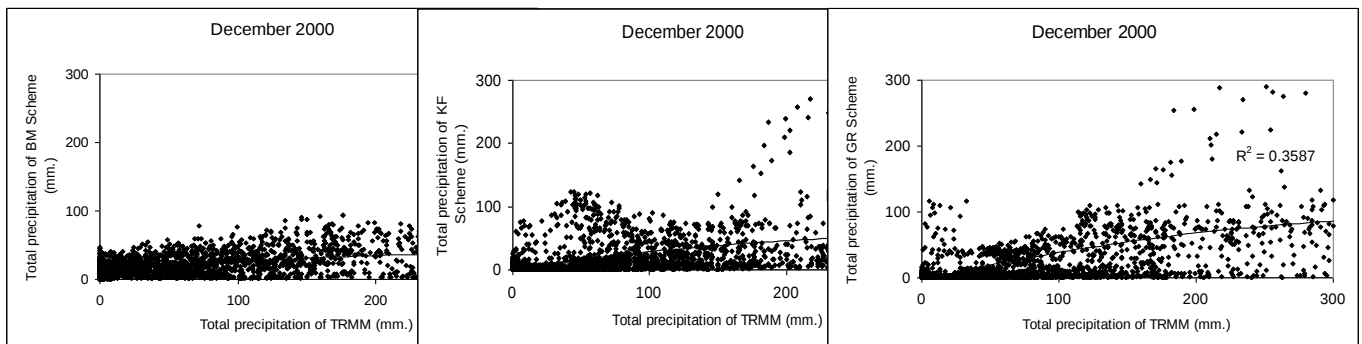
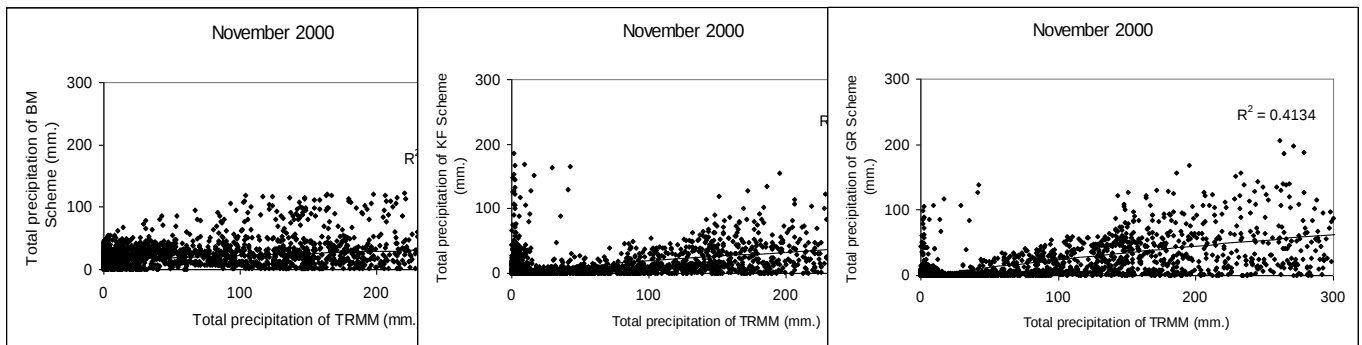
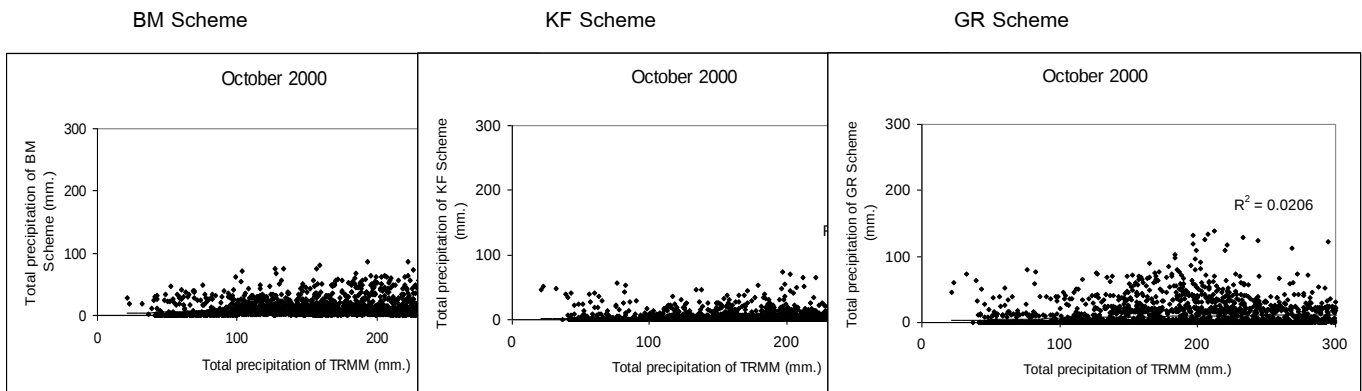
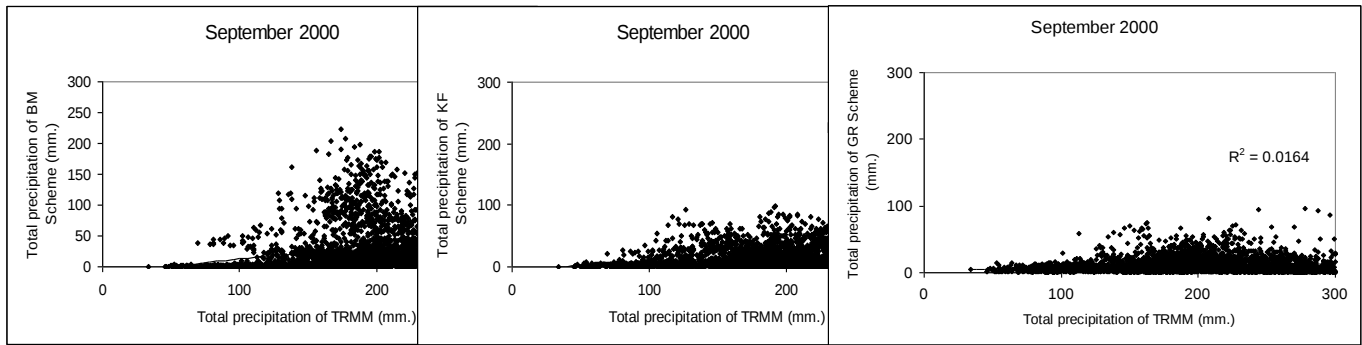
US Navy. 2009. Satellite Meteorology. Available at http://www.nrlmry.navy.mil/sat_products.html.

ภาคผนวกที่ 1

สหสัมพันธ์ระหว่างฝนจากแบบจำลองและฝนจาก TRMM ของแต่ละปี



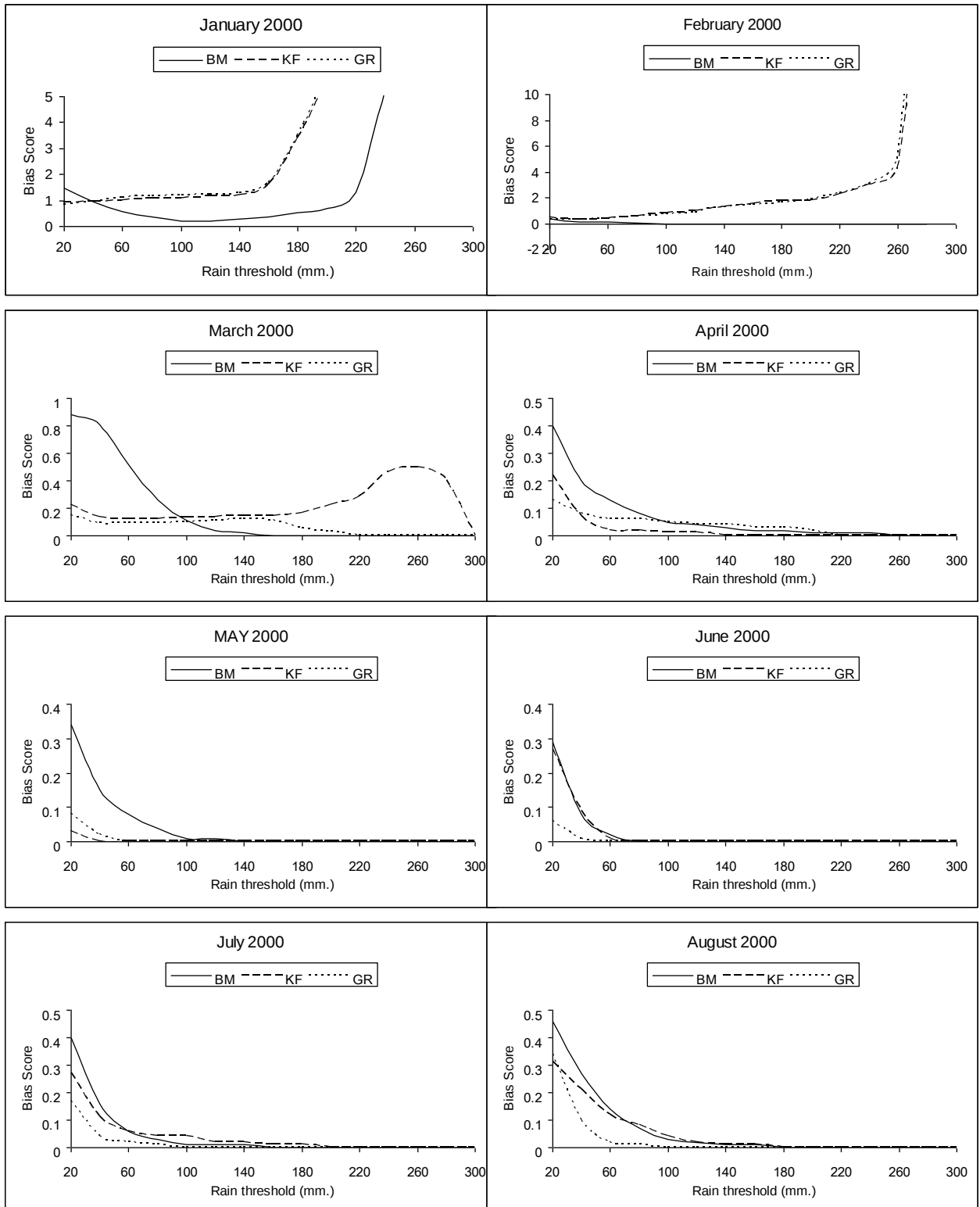


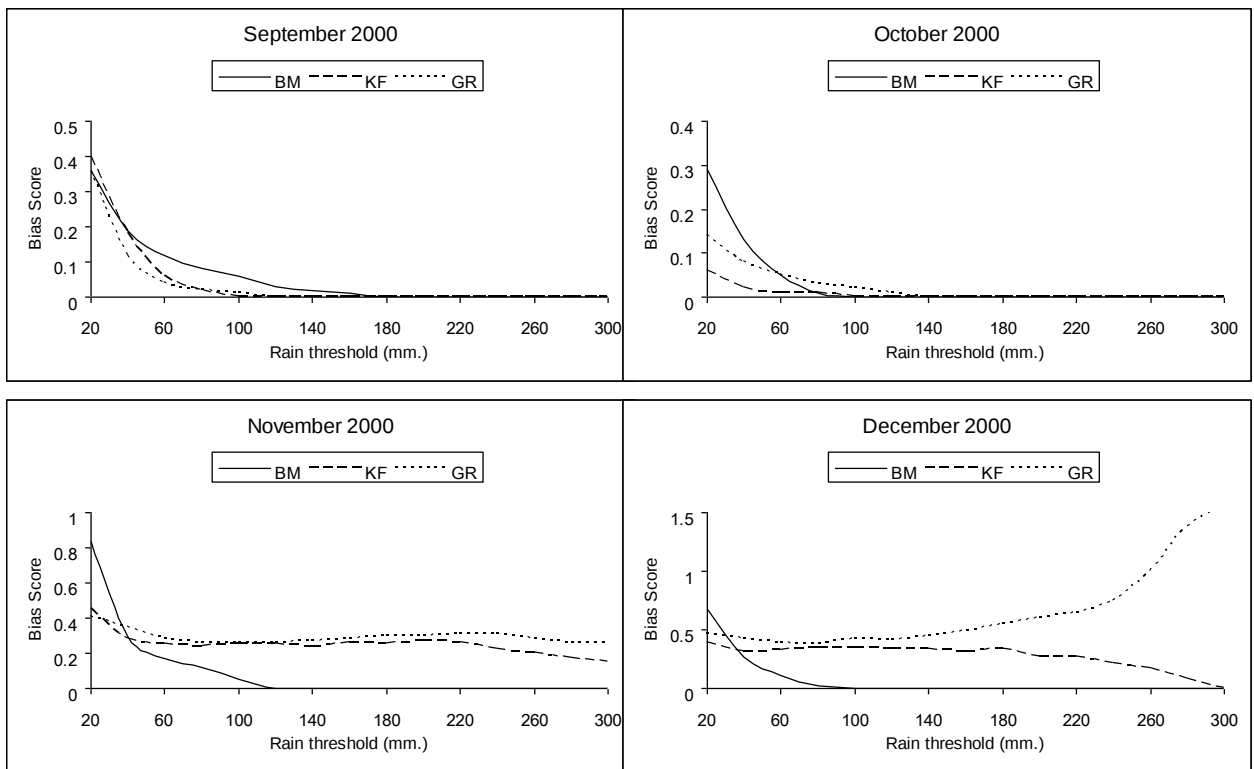


ภาคผนวกที่ 2

Bias Score และ Threat Score ของปริมาณฝน

BIAS





Threat Score

