การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางด้านอุตุนิยมวิทยาสำหรับระบบเตือนภัยล่วงหน้าทางด้านมลภาวะทางอากาศ

นางสาวพรพรรณ อุตมัง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2684-4

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF MESOSCALE METEOROLOGICAL MODEL ON AIR POLLUTION WARNING SYSTEM

Miss Pornpan Uttamang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2684-4

481755

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางด้านอุตุนิยมวิทยาสำหรับระบบเตือนภัยล่วงหน้าทางด้านมลภาวะทางอากาศ
โดย	นางสาวพรพรรณ อุตมัง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายบุญเลิศ อาชีวระงับโรค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายบุญเลิศ อาชีวระงับโรค)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร. วิรุฬห์ สายคณิต)

.....กรรมการ
(ดร. วนิสา สุรพิพิธ)

นางสาวพรพรรณ อุตมัง : การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางด้านอุตุนิยมวิทยาสำหรับระบบเตือนภัยล่วงหน้าทางด้านมลภาวะทางอากาศ (APPLICATION OF MESOSCALE METEOROLOGICAL MODEL ON AIR POLLUTION WARNING SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา: อ. ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายบุญเลิศ อาชีวระงับโรค, จำนวน 217 หน้า. ISBN 974-53-2684-4

การพยากรณ์สภาวะอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง MM5 ได้กำหนดพื้นที่การคำนวณเป็น 3 โดเมนซ้อนกัน โดยมีขนาดของภริดเป็น 36, 12 และ 4 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษานำมาจากโดเมนที่ 3 ที่ครอบคลุมพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ผลการศึกษาความสามารถในการประเมินการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง MM5 พบว่า แบบจำลองสามารถประเมินการใช้ที่ดินได้ตรงกับการใช้ที่ดินจริง 60.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในเขตกรุงเทพมหานคร จากกรมพัฒนาที่ดิน ในปี พ.ศ. 2544 โดยให้ผลการประเมินการใช้ที่ดินในรูปแบบเมืองน้อยกว่าข้อมูลจริง 28.6 เปอร์เซ็นต์ ในการกำหนดปัจจัยการคำนวณในแบบจำลอง MM5 ต่อการพยากรณ์สภาวะทางอุตุนิยมวิทยาและความคงตัวบรรยากาศพบว่า แบบจำลอง MM5 สามารถพยากรณ์อุณหภูมิ, ความเร็วลม, ทิศทางลม, ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความเร็วเสียดทานในเวลากลางคืนได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดมากขึ้น เมื่อมีการปรับแก้ค่าการใช้ที่ดินให้ใกล้เคียงกับการใช้ที่ดินจริง และการเลือกค่า ISHALLO มีแนวโน้มที่จะทำให้ผลการพยากรณ์ในฤดูฝนดีขึ้นแต่ไม่สามารถสรุปค่า ISHALLO ต่อผลการพยากรณ์ได้อย่างชัดเจน แต่ในการพยากรณ์ความเร็วเสียดทานในเวลากลางวันและความคงตัวบรรยากาศพบว่า แบบจำลองให้ผลการพยากรณ์ที่แตกต่างกับข้อมูลการตรวจวัดมากขึ้นเมื่อมีการปรับแก้ค่าการใช้ที่ดินให้ใกล้เคียงกับการใช้ที่ดินจริง เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณความคงตัวบรรยากาศที่ได้จากการพยากรณ์จากแบบจำลอง MM5 กับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม GAMMA-MET และ GAMMA-MET ที่มีการปรับค่าความขรุขระพื้นผิวที่ได้จากวิธีของ Counihan พบว่า แบบจำลอง MM5 ยังคงมีประสิทธิภาพในการคำนวณความคงตัวบรรยากาศได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการตรวจวัดมากกว่าผลจากการคำนวณจากโปรแกรม GAMMA-MET ทั้ง 2 กรณี ดังนั้นแบบจำลอง MM5 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการจัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้าทางด้านมลภาวะทางอากาศ อย่างไรก็ดี เนื่องจากแบบจำลอง MM5 มีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์สภาพความคงตัวบรรยากาศ จึงควรนำค่า PBL Height มาร่วมในการจัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้าด้วย โดยสภาพบรรยากาศที่ต้องจัดทำการเตือนภัยล่วงหน้า ได้แก่ กลุ่มบรรยากาศแบบคงตัว, แบบเป็นกลาง และสภาพที่ PBL Height ต่ำ

ภาควิชา สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4689063020: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: MM5/ ATMOSPHERIC STABILITY/ LAND USE/ MONIN-OBUKHOV LENGTH/ WARNING SYSTEM

PORNPAN UTTAMANG: APPLICATION OF MESOSCALE METEOROLOGICAL MODEL ON AIR POLLUTION WARNING SYSTEM. THESIS ADVISOR: SURAT BUALERT, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: BOONLERT ARCHEVARAHUPROK, 217 pp. ISBN 974-53-2684-4.

The application of mesoscale meteorological model on air pollution warning system was performed on three nested domains with horizontal grid dimensions of 36, 12 and 4 km., respectively. The data were from the third domain only, which covers Bangkok metropolitan and Bangkok vicinity area. The comparisons between MM5 land use simulations and Bangkok land use patterns in 2001 show 60.7% of MM5 land use simulations was close to land use patterns of Bangkok. The MM5 simulations show urban area was less than land use patterns in 2001 about 28.6%. The comparison between meteorological predictions from MM5 and observation data found that MM5 can predict temperature, wind speed, wind direction sensible heat and friction velocity at night close to observation data that used modified the land use pattern and used ISHALLO option. However, friction velocity at noon and atmospheric stability prediction were different from observation. The comparison of atmospheric stability between model predictions and observation data found 20.0-42.6% of model prediction close to observation and 30.2-55.1% of model prediction close to observation in stable condition. Furthermore, the comparison between atmospheric stability prediction from MM5, GAMMA-MET and GAMMA-MET with used on site surface roughness found MM5 show the best agreement to observation data. Thus MM5 was suitable to apply on air pollution warning system. However, there was error from the atmospheric stability prediction from MM5. Therefore, using the PBL height prediction for warning system with atmospheric stability prediction from MM5 will give a better result than using atmospheric stability prediction only. The atmospheric conditions that need to make a warning are stable condition, neutral condition and low PBL height.

Inter-Department Environmental Science	Student's signature.....
Field of study Environmental Science	Advisor's signature.....
Academic year 2005	Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นักอุตุนิยมวิทยา 6 ว. บุญเลิศ อาชีวระงับโรค อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดจนข้อคิดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร. วิรุฬห์ สายคณิต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ และดร. วนิสา สุรพิพิธ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการในการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

กราบขอบพระคุณอธิบดีกรมอุตุนิยมวิทยา ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่สำนักอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมือง เจ้าหน้าที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ เจ้าหน้าที่กรมควบคุมมลพิษในการเอื้อเฟื้อสถานที่และช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดในภาคสนาม ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดินในการเอื้อเฟื้อข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง และขอขอบคุณโรงแรมบันยันที โฮเท็ล แอนด์ รีสอร์ต ที่ให้ทุนสนับสนุนการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ในการอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องที่ให้ความช่วยเหลือทั้งความรู้ กำลังกายและกำลังใจอย่างดีเยี่ยมในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนทางด้านการศึกษามาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณแม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดี จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 สมมุติฐาน 2
1.4 ขอบเขตการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2 สำรวจเอกสาร 3
2.1 บทนำ 3
2.2 โครงสร้างของชั้นบรรยากาศ 3
2.3 กระบวนการในการขับเคลื่อนชั้นบรรยากาศ 5
2.4 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ 8
2.5 สภาพความคงตัวของชั้นบรรยากาศ 10
2.6 การคำนวณสภาพความคงตัวของชั้นบรรยากาศ 15
2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 39
3.1 การคำนวณความคงตัวของชั้นบรรยากาศจากการเก็บตัวอย่างการเคลื่อนที่ของมวลอากาศด้วยเครื่อง Ultrasonic Anemometer 39
3.2 การพยากรณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาและความคงตัวของชั้นบรรยากาศด้วยแบบจำลอง MM5 43
3.3 การวิเคราะห์ผลการพยากรณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัด 46
3.4 สรุปผลการเปรียบเทียบและเลือกวิธีการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5 46

บทที่ หน้า

3.5 ศึกษาประสิทธิภาพการพยากรณ์ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม GAMMA-MET 47
3.6 การเสนอแนวทางการจัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้าทางมลภาวะทางอากาศ 48
4 ผลการศึกษา 52
4.1 การประเมินสภาพการใช้ที่ดินด้วยโปรแกรม TERRAIN 52
4.2 การเลือกสถิติและการกำหนดรูปแบบการคำนวณในแบบจำลอง MM5 58
4.3 ผลการพยากรณ์สภาวะทางอุตุนิยมวิทยาด้วยแบบจำลอง MM5 63
4.4 ผลการพยากรณ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคำนวณความคงตัวบรรยากาศ ด้วยแบบจำลอง MM5 104
4.5 ผลการพยากรณ์ค่าความคงตัวบรรยากาศด้วยแบบจำลอง MM5 127
4.6 การเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศระหว่างข้อมูลการตรวจวัดกับ ผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5 136
4.7 สรุปผลการพยากรณ์สภาวะทางอุตุนิยมวิทยาและความคงตัวบรรยากาศ ด้วยแบบจำลอง MM5 140
4.8 การทดสอบประสิทธิภาพการคำนวณความคงตัวบรรยากาศระหว่าง แบบจำลอง MM5 และโปรแกรม GAMMA-MET 145
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Monin-Obukhov Length, PBL Height กับ ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ 153
4.10 การพัฒนาแนวทางการเตือนภัยล่วงหน้าทางด้านมลภาวะทางอากาศ 155
4.11 การเสนอแนวทางในการจัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้าทางมลภาวะทางอากาศ 157
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 163
5.1สรุปผลการศึกษา 163
5.2 ข้อเสนอแนะ 166
เอกสารอ้างอิง 167
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 172
ภาคผนวก ข 173
ภาคผนวก ค 179
ภาคผนวก ง 185
ภาคผนวก จ 201
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 217

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สภาพการคงตัวของบรรยากาศแบบ Pasquill-Gifford 17

2.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า Monin-Obukhov Length กับ ลักษณะความคงตัวบรรยากาศ 18

2.3 ข้อมูลการใช้ที่ดินและชนิดพันธุ์พืช (Vegetation/Land-use) ของ Global 25-category data from U.S. Geological Survey (USGS) 27

2.4 ชนิดดิน 28

2.5 อัตราส่วนของพืช 28

2.6 อุณหภูมิดิน 28

2.7 ข้อมูลความสูงพื้นที่ 29

2.8 ลักษณะพื้นน้ำ (Land-Water Mask) ของ Global land-water mask files derived form USGS Vegetation data 29

2.9 รายการการใช้ที่ดิน พืช และดิน (Lists of Landuse/Vegetation and Soil Categories) Description of 25-category (USGS) vegetation categories and physical parameter for N.H. summer (15 April – 15 October) and winter (15 October -15 April) 30

4.1การประเมินการใช้ที่ดินจากโปรแกรม TERRAIN และการใช้ที่ดินในเขตกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544 จากกรมพัฒนาที่ดิน 56

4.2 ชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5 (เวลาประเทศไทย) 60

4.3 การกำหนดปัจจัยทางกายภาพในการพยากรณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาในแบบจำลอง MM5 61

4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน 66

4.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง 69

4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน 72

4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง 75

4.8 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน 78

4.9 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง 81

4.10 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน 84

4.11 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง 87

4.12 การเปรียบเทียบทิศทางลม ที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน 91

4.13 การเปรียบเทียบทิศทางลม ที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง 95

4.14 การเปรียบเทียบทิศทางลม ที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน 99

4.15 การเปรียบเทียบทิศทางลม ที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง 103

ตารางที่ หน้า

4.16 การเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ในฤดูฝน 108
4.17 การเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ในฤดูแล้ง 113
4.18 การเปรียบเทียบความเร็วเสียดทาน ในฤดูฝน 118
4.19 การเปรียบเทียบความเร็วเสียดทาน ในฤดูแล้ง 123
4.20 ความคงตัวบรรยากาศจากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Ultrasonic Anemometer ในฤดูฝน ... 128
4.21ความคงตัวบรรยากาศจากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Ultrasonic Anemometer ในฤดูแล้ง ... 129
4.22 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 1) ในฤดูฝน 130
4.23 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 2) ในฤดูฝน 131
4.24 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 3) ในฤดูฝน 131
4.25 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 4) ในฤดูฝน 132
4.26 ความคงตัวบรรยากาศด้วยแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 1) ในฤดูแล้ง 133
4.27 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 2) ในฤดูแล้ง 134
4.28 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 3) ในฤดูแล้ง 134
4.29 ความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 (กรณีที่ 4) ในฤดูแล้ง 135
4.30 การเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 กับ
ข้อมูลการตรวจวัด ในฤดูฝน 137
4.31 การเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 กับ
ข้อมูลการตรวจวัด ในฤดูฝน (สภาพบรรยากาศคงตัว) 137
4.32 ผลการเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5 กับ
ข้อมูลการตรวจวัด ในฤดูแล้ง 138
4.33 การเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศจากแบบจำลอง MM5
กับข้อมูลการตรวจวัด ในฤดูแล้ง (สภาพบรรยากาศคงตัว) 139
4.34 สรุปผลการพยากรณ์อุณหภูมิที่ระดับความสูง 3 เมตรและ 10 เมตร 142
4.35 สรุปผลการพยากรณ์ความเร็วลมที่ระดับความสูง 3 เมตรและ 10 เมตร 142
4.36 สรุปผลการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 3 เมตรและ 10 เมตร 142
4.37 สรุปผลการพยากรณ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ 142
4.38 สรุปผลการพยากรณ์ ความเร็วเสียดทาน 143
4.39 สรุปผลการพยากรณ์ความคงตัวบรรยากาศ. 143
4.40 ความสูงและขนาดของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ . 146
4.41 ความขรุขระพื้นผิวบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 146
4.42 ความสูงและขนาดของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งคอนเมือง 147

ตารางที่ หน้า

4.43 ความขรุขระพื้นผิวบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง..... 147
4.44 การเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศจากโปรแกรม GAMMA-MET ที่ใช้ข้อมูลการคำนวณจากการเก็บตัวอย่างและจากการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5..... 149
4.45 การเปรียบเทียบกลุ่มบรรยากาศคงตัวที่ได้จากโปรแกรม GAMMA-MET กับข้อมูลการตรวจวัด..... 149
4.46 การเปรียบเทียบความคงตัวบรรยากาศจากโปรแกรม GAMMA-MET ที่ใช้ข้อมูลการคำนวณจากการเก็บตัวอย่างและจากการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5 เมื่อเปลี่ยนค่าความขรุขระพื้นผิว..... 150
4.47 การเปรียบเทียบกลุ่มบรรยากาศคงตัวที่ได้จากโปรแกรม GAMMA-Met กับข้อมูลการตรวจวัด..... 150
4.48 การกระจายตัวของอัตราส่วนค่า Monin-Obukhov Length เมื่อใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการเก็บตัวอย่าง..... 151
4.49 การกระจายตัวอัตราส่วนค่า Monin-Obukhov Length เมื่อใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการพยากรณ์จากแบบจำลอง MM5..... 152
4.50 การเลือกปัจจัยทางกายภาพเพื่อใช้ในการพยากรณ์สภาพอุตุนิยมวิทยา..... 155
ก-1 ความกดไอน้ำอิ่มตัวเหนือน้ำมาตราเมตริก..... 172
ง-1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่สถานีเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ..... 185
ง-2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง..... 193
จ-1 ผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5 ณ สถานีเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (กรณีที่ 4)..... 201
จ-2 ผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง MM5 ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง (กรณีที่ 4)... 209

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศในชั้น Planetary Boundary Layer (PBL) 4
2.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ 9
2.3 การเกิดสภาพความคงตัวบรรยากาศแบบไม่คงตัว 13
2.4 การเกิดสภาพความคงตัวบรรยากาศแบบคงตัว 13
2.5 การเกิดสภาพความคงตัวบรรยากาศแบบเป็นกลาง 15
2.6 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองในทางตั้งที่แบบบรรยากาศเป็น 16 ระดับ โดยที่ σ มีค่าเท่ากับ 1 ที่ระดับผิวพื้นและในระดับบนสุดของแบบจำลอง σ มีค่าเท่ากับ 0 23
2.7 โครงสร้างตารางตาข่ายชนิด B-grid 24
2.8 ผังการทำงานของแบบจำลอง MM5 26
2.9 ผังการทำงานของ REGRID 31
2.10 ผังการทำงานของ INTERPF 32
3.1 บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 40
3.2 บริเวณบ้านพักอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง 41
3.3 เครื่อง Ultrasonic Anemometer 42
3.4 ขั้นตอนการหากรณีที่เหมาะสมในการพยากรณ์สภาพอุตุนิยมวิทยาและความคงตัวบรรยากาศด้วยแบบจำลอง MM5 49
3.5 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการพยากรณ์ความคงตัวบรรยากาศของแบบจำลอง MM5 เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม GAMMA-MET 50
3.6 ขั้นตอนการคำนวณความขรุขระพื้นผิวด้วยวิธีของ Counihan 51
4.1 การกำหนดพื้นที่การคำนวณให้มีโดเมนซ้อนกัน 3 โดเมนด้วยโปรแกรม TERRAIN 53
4.2 การประเมินการใช้ที่ดินจากโปรแกรม TERRAIN ในพื้นที่โดเมน 3. 54
4.3 การประเมินสภาพการใช้ที่ดินจากโปรแกรม TERRAIN ในพื้นที่โดเมน 3 (แสดงเป็นค่าการใช้ที่ดินตามตาราง USGS) 55
4.4 การประเมินการใช้ที่ดินหลังการปรับแก้ค่าจากโปรแกรม TERRAIN ในพื้นที่โดเมน 3 57
4.5 การประเมินสภาพการใช้ที่ดินหลังการปรับแก้ค่าจากโปรแกรม TERRAIN ในพื้นที่โดเมน 3 (แสดงเป็นค่าการใช้ที่ดินตามตาราง USGS) 57
4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 66

ภาพที่ หน้า

4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 69
4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 72
4.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 75
4.10 การเปรียบเทียบความเร็วลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 78
4.11 การเปรียบเทียบความเร็วลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 81
4.12 การเปรียบเทียบความเร็วลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 84
4.13 การเปรียบเทียบความเร็วลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 87
4.14 แผนภูมิทิศทางลมที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน (ก) ข้อมูลจากการตรวจวัด
(ข) กรณีที่1 (ค) กรณีที่ 2 (ง) กรณีที่ 3 (จ) กรณีที่4 90
4.15 การเปรียบเทียบทิศทางลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 3 เมตร ในฤดูฝน (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 91
4.16 แผนภูมิทิศทางลมที่ระดับความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) ข้อมูลจากการตรวจวัด
(ข) กรณีที่1 (ค) กรณีที่ 2 (ง) กรณีที่ 3 (จ) กรณีที่4 94
4.17 การเปรียบเทียบทิศทางลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 3 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 95
4.18 แผนภูมิทิศทางลมที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน (ก) ข้อมูลจากการตรวจวัด
(ข) กรณีที่1 (ค) กรณีที่ 2 (ง) กรณีที่ 3 (จ) กรณีที่4 98
4.19 การเปรียบเทียบทิศทางลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 10 เมตร ในฤดูฝน (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 99
4.20 แผนภูมิทิศทางลมที่ระดับความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) ข้อมูลจากการตรวจวัด
(ข) กรณีที่1 (ค) กรณีที่ 2 (ง) กรณีที่ 3 (จ) กรณีที่4 102
4.21 การเปรียบเทียบทิศทางลมจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับ
ความสูง 10 เมตร ในฤดูแล้ง (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 103

ภาพที่ หน้า

4.22 การเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูฝน (กลางวัน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 107
4.23 การเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูฝน (กลางคืน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 108
4.24 การเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูแล้ง (กลางวัน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 112
4.25 การเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูแล้ง (กลางคืน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 113
4.26 การเปรียบเทียบความเร็วเสียดทานจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูฝน (กลางวัน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่41 117
4.27 การเปรียบเทียบความเร็วเสียดทานจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูฝน (กลางคืน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 118
4.28 การเปรียบเทียบความเร็วเสียดทานจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูแล้ง (กลางวัน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 122
4.29 การเปรียบเทียบความเร็วเสียดทานจากแบบจำลอง MM5 กับข้อมูลการตรวจวัดในฤดูแล้ง (กลางคืน) (ก) กรณีที่1 (ข) กรณีที่ 2 (ค) กรณีที่ 3 (ง) กรณีที่4 123
4.30 ค่าความเร็วเสียดทานจากแบบจำลอง MM5 และโปรแกรม GAMMA-MET เมื่อเปลี่ยนความขรุขระพื้นผิวเป็น 5, 10, 20, 30 และ 50 เซนติเมตร 126
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Monin-Obukhov Length, PBL Height ที่ได้จากแบบจำลอง MM5 กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจากสถานีราชภัฏจันทรเกษม ในวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2547 154
4.32 การพัฒนาแนวทางการเตือนภัยล่วงหน้าทางมลภาวะทางอากาศ 157
ข-1 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (หมายเลข 1) 173
ข-2 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (หมายเลข 2) 174
ข-3 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (หมายเลข 3) 175
ข-4 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (หมายเลข 4) 176

ภาพที่ หน้า

ข-5 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (หมายเลข 5 177
ข-6 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ (หมายเลข 6). 178
ค-1 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง (หมายเลข 1) 179
ค-2 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง (หมายเลข 2) 180
ค-3 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง (หมายเลข 3) 181
ค-4 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง (หมายเลข 4) 182
ค-5 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอน เมือง (หมายเลข 5) 183
ค-6 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณที่ทำการศึกษาความขรุขระพื้นผิว สถานีอุตุนิยมวิทยาขนส่งดอนเมือง (หมายเลข 6) 184