

ผลของลักษณะความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศในกรุงเทพมหานคร



นางสาวเกศวรา สิริโชค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

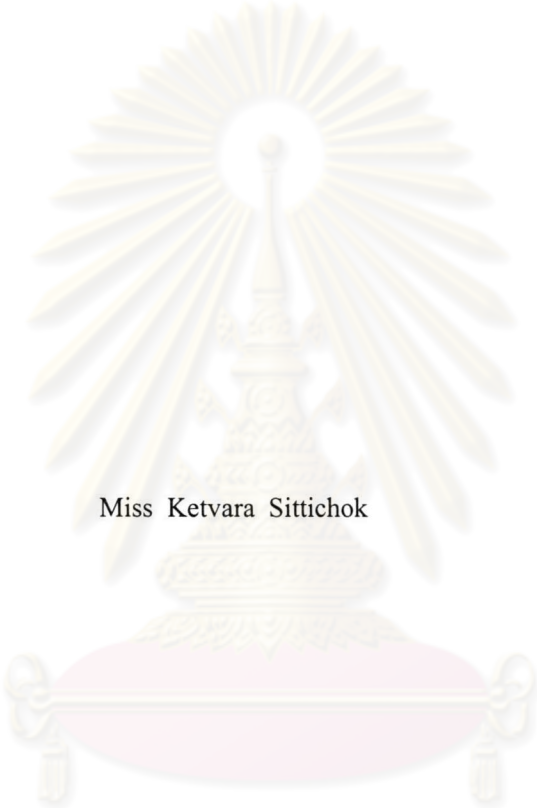
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6633-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS ON ATMOSPHERIC STABILITY IN BANGKOK



Miss Ketvara Sittichok

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6633-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของลักษณะความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ  
ในกรุงเทพมหานคร  
โดย นางสาวเกศวรา สิริโชค  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... *เกษม วัฒนชัย* ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. ภัทยา ติงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... *เกษม วัฒนชัย* ..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

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

..... *ดร. ธีรภัทร* ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

..... *ดร. ธีรภัทร* ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรภัทร ศรีสถิตย์)

นางสาวเกศวรา สิริโชค : ผลของลักษณะความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ  
ในกรุงเทพมหานคร. (EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS ON ATMOSPHERIC  
STABILITY IN BANGKOK) อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ, 102 หน้า. ISBN  
974-17-6633-5

การศึกษาผลของลักษณะความขรุขระพื้นผิวที่มีผลต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศในกรุงเทพมหานคร  
จะแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ การทดสอบความไวของแบบจำลอง การทดสอบความถูกต้อง  
ของแบบจำลองคณิตศาสตร์กับข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop ในเขต Birmingham ประเทศอังกฤษ  
การทดสอบวิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวจากลักษณะสิ่งกีดขวางกับวิธีอ้างอิงด้วยการตรวจวัด  
อุตุนิยมวิทยา และการทดสอบสัดส่วนการกระจายตัวและลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเมื่อมีค่าความขรุขระ  
พื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยผลที่ได้จากการทดสอบความไวของแบบจำลองพบว่าปัจจัยความเร็วลมและค่าความ  
ขรุขระพื้นผิวจะมีผลต่อความเร็วเสียดทานทั้ง 2 ปัจจัย และปัจจัยความเร็วลม อุณหภูมิ ความเข้มแสง และความ  
ขรุขระพื้นผิวทั้ง 4 ปัจจัยจะมีผลต่อค่าของ Monin-Obukhov Length และจากการทดสอบความถูกต้องของ  
แบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ให้ผลจากการคำนวณใกล้เคียงกับการตรวจวัดมากที่สุด ได้แก่ แบบจำลอง  
RAMMET รองลงมาคือ GAMMA-MET และ AERMET ตามลำดับ แต่ RAMMET จะมีข้อจำกัดโดยจะ  
สามารถใช้ได้สำหรับพื้นที่ที่มีค่าความขรุขระพื้นผิวมากที่สุด 1.3 เมตร ดังนั้นสำหรับพื้นที่ที่มีค่าความขรุขระ  
พื้นผิวเกิน 1.3 เมตรแบบจำลอง GAMMA-MET จะมีความเหมาะสมมากกว่า และในส่วนที่สามการทดสอบ  
วิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวจากลักษณะสิ่งกีดขวางพบว่าวิธีการคำนวณของ Counihan จะให้ผลที่  
ใกล้เคียงกับการตรวจวัดอุตุนิยมวิทยามากที่สุดจากการศึกษาบริเวณพื้นที่ศึกษาโรงเรียนหน้าพระลาน จังหวัด  
สระบุรี และพื้นที่ศึกษาตึกวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนั้นหากในบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีการ  
ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาแบบองค์ประกอบของลม หรืออุตุนิยมวิทยา 2 ระดับแล้ว วิธีการคำนวณของ Counihan จะ  
สามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวแทน และในที่สุดท้ายจากการนำวิธีการคำนวณความ  
ขรุขระพื้นผิวของ Counihan มาคำนวณความขรุขระพื้นผิวจะได้พื้นที่ที่มีค่าความขรุขระพื้นผิวที่ต่างกัน 4 พื้นที่  
ได้แก่ ถนนแจ้งวัฒนะ ถนนราชดำเนินกลาง โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย และถนนสาทรตามลำดับ โดยมี  
ค่าความขรุขระพื้นผิวเท่ากับ 0.02 0.88 1.21 และ 9.04 เมตร ตามลำดับ ซึ่งผลจากแบบจำลอง GAMMA-MET  
พบว่าถนนแจ้งวัฒนะและราชดำเนินกลางมีค่าลักษณะอากาศอยู่ในช่วง Unstable ทั้งหมด และพื้นที่ศึกษา  
โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยและพื้นที่ศึกษาถนนสาทรจะมีช่วงอากาศอยู่ในช่วง Unstable เท่ากับ 75% และ  
50% ตามลำดับ และสัดส่วนการกระจายตัวของฝุ่นพบว่าพื้นที่ศึกษาแจ้งวัฒนะมีสัดส่วนการกระจายตัวของฝุ่น  
มากที่สุดเท่ากับ 0.94 รองลงมาคือ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัยและถนนสาทรตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ  
0.91 และ 0.86 สำหรับพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของฝุ่นน้อยที่สุดได้แก่พื้นที่ถนนราชดำเนินมีค่าเท่ากับ 0.65  
เนื่องจากลักษณะของพื้นที่ที่มีการวางตัวของอาคารเป็นแนวติดกันไปตลอด ประกอบกับมีกลุ่มต้นไม้หนาทึบ  
ตลอดแนวปกคลุมอยู่บริเวณริมถนนส่งผลให้การกระจายตัวเป็นไปได้น้อย

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

## 4589067420: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: SURFACE ROUGHNESS / METEOROLOGICAL PREPROCESSOR MODELS


KETVARA SITTICHOK: EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS ON ATMOSPHERIC STABILITY IN BANGKOK. THESIS ADVISOR: SURAT BUALERT, Ph.D., 102 pp. ISBN 974-17-6633-5

The study of surface roughness effect on atmospheric stability in Bangkok was divided to four parts, the model sensitivity test, The comparison of meteorological preprocessor model (data from Dunlop site in Birmingham U.K.), The test of surface roughness estimation method with the reference method and the correlation between proportion of particulate matter with atmospheric stability at difference surface roughness length. The result of model sensitivity was found that wind speed and surface roughness effected on friction velocity. Wind speed, temperature, radiation and surface roughness effected on Monin-Obukhov length. The comparison of meteorological preprocessor models was found that RAMMET model gave the best performance compared to the meteorological data at Dunlop site, Burmingham UK. and GAMMA-MET and AERMET also gave a good agreement respectively. However, RAMMET has been limited maximum surface roughness at 1.3 m. Therefore, at the area where surface roughness length was lager than 1.3 m. had to use GAMMA-MET instead. In the third part of this study, Surface roughness estimation method have been compared to reference method, based on wind component and wind profile at Napraran school, Saraburi province and Chulalongkorn university. It was shown that the Counihan method gave the best agreement to the reference method. Therefore, the area that had not meteorological measurement on wind component and wind profile, the method of Counihan can be used instead. In the last part of this study, The method of Counihan used to calculate the four areas that had different surface roughness length, Changwattana Road, Ratchadumnurn Road, Bangkok Christian School and Sathorn Road that had surface roughness about 0.02, 0.88, 1.21 and 9.04 m. respectively. The result of Monin-Obukhov length from GAMMA-MET found that the frequency of atmospheric stability at Changwattana Road and Rachadumnurn Road were unstable condition. Bangkok Christian School and Sathorn Road were unstable condition about 75% and 50% respectively. The proportion of particulate matter concentration in these four areas found that Changwattana Road was the highest (0.94) and Bangkok Christian School, Sathorn Road were 0.91 and 0.86 respectively. The area that was the lowest proportion was Rachadumnurn Road (0.65) because the buildings were closely and the roadside of this area had many big trees.

Field of study Environmental Science

Academic year 2004

Student's signature.....

Advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงในการให้คำปรึกษาและแนะนำทุกอย่างสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งส่งผลให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมถึงสละเวลาช่วยเหลือในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการวิจัย และ ขอขอบคุณโรงแรมบันชันทรีในการสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์และรุ่นพี่จากวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการวิจัย รวมถึงการให้คำแนะนำและให้ความรู้ในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการในเรื่องต่างๆตลอดการทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่หน่วยงานกรมควบคุมมลพิษ และกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นน้อง และรุ่นพี่ทุกคนที่ให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

และขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในด้านต่างๆจนส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ.....	3
2.2 Atmospheric Boundary Layer.....	3
2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ.....	4
2.4 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence).....	5
2.5 ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ.....	12
2.6 วิธีการคำนวณลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ.....	13
2.7 แบบจำลองคณิตศาสตร์อุณหภูมิมหาสมุทร.....	16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การทดสอบความไวของแบบจำลอง(Model Sensitivity).....	25
3.2 การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	26
3.3 วิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวที่เหมาะสม.....	27
3.4 วิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อค่าความเร็วเสียดทาน และค่า Monin-Obukhov Length.....	28
3.5 การศึกษาผลของค่าความขรุขระพื้นผิวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ความเร็วเสียดทานและ Monin-Obukhov Length.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

## บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบความไวของแบบจำลอง .....	34
4.2 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	49
4.3 วิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิว.....	61
4.4 ผลของวิธีการคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อค่าความเร็วเสียดทาน และค่า Monin-Obukhov Length.....	69
4.5 ผลของค่าความขรุขระพื้นผิวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ความเร็วเสียดทานและ Monin-Obukhov Length.....	73

## บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา

5.1 ความถูกต้องของแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจวัด.....	89
5.2 การคำนวณค่าความขรุขระพื้นผิว.....	89
5.3 ผลการกระจายตัวของมลสารเมื่อมีค่าความขรุขระพื้นผิวต่างกัน.....	90
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก .....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	102

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าความขรุขระพื้นผิวทั่วไปในเขตเมือง.....8
2.2	การแบ่งชั้นบรรยากาศด้วยวิธีของ Passguill Gifford.....14
2.3	ผลลักษณะการคงตัวของบรรยากาศของ Monin-Obukhov Length.....15
2.4	ข้อมูลที่น่าเข้าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET , AERMET และ GAMMA-MET.....20
2.5	ค่าคงที่ที่นำเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET , AERMET และ GAMMA-MET.....20
2.6	ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RAMMET , AERMET และ GAMMA-MET.....21
3.1	ช่วงการเปลี่ยนแปลงในการทดสอบความไวของแบบจำลอง.....25
4.1	ผลค่าความเร็วเสียดทานที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การตรวจวัด.....52
4.2	ผลเปรียบเทียบค่าความเร็วเสียดทานระหว่างแบบจำลอง.....54
4.3	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ การตรวจวัด.....58
4.4	ผลความแตกต่างของค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างแบบจำลอง.....61
4.5	รายละเอียดสิ่งกีดขวางในพื้นที่ศึกษาโรงเรียนหน้าพระลาน.....62
4.6	ผลการคำนวณความขรุขระพื้นผิวจากลักษณะสิ่งกีดขวางบริเวณพื้นที่ ศึกษาโรงเรียนหน้าพระ ลาน.....63
4.7	ผลการคำนวณความขรุขระพื้นผิวจากความเร็วลมบริเวณพื้นที่ศึกษา โรงเรียนหน้าพระลาน.....64
4.8	ผลเปรียบเทียบการคำนวณจากลักษณะสิ่งกีดขวางกับการตรวจวัด องค์ประกอบของลม.....65
4.9	สิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....66
4.10	ผลการคำนวณความขรุขระพื้นผิวจากลักษณะสิ่งกีดขวางบริเวณพื้นที่ ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....68
4.11	ผลการคำนวณความขรุขระพื้นผิวจากความเร็วลมบริเวณพื้นที่ศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....68

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12	ผลเปรียบเทียบการคำนวณลักษณะสิ่งกีดขวางกับการตรวจวัด จากความเร็วลม 2 ระดับบริเวณพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....69
4.13	รายละเอียดสิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในพื้นที่ถนนแจ้งวัฒนะ.....74
4.14	รายละเอียดสิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในพื้นที่บริเวณถนนราชดำเนิน.....75
4.15	รายละเอียดสิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษาบริเวณกรุงเทพคริสเตียน.....77
4.16	รายละเอียดสิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษาบริเวณถนนสาทร.....79
4.17	ค่าความขรุขระพื้นผิวของพื้นที่ที่ศึกษา.....80
4.18	ค่า Monin-Obukhov Length จากแบบจำลอง.....87
4.19	ปริมาณฝุ่นและอัตราส่วนความแตกต่างในพื้นที่ศึกษา.....88


  
 ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	การแบ่งชั้นบรรยากาศภายในชั้นของ Troposphere.....4
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง.....7
2.3	ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในแนว 3 ทิศทาง.....9
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศ แบบ Unstable.....12
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศ แบบ Stable.....13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศ แบบ Neutral.....13
3.1	เครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิตามวิธี.....29
3.2	เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....30
3.3	แผนผังการวิจัยในขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลอง.....31
3.4	แผนผังการวิจัยขั้นตอนการทดสอบวิธีคำนวณและผลที่ได้จากแบบจำลอง เมื่อค่าความขรุขระพื้นผิวแตกต่างกัน.....32
3.5	แผนผังการทดสอบพื้นที่ที่มีค่าความขรุขระพื้นผิวต่างกันต่อการกระจายตัวของมลสาร...33
4.1	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อค่าของความเร็วเสียดทาน.....35
4.2	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อค่าของ Monin-Obukhov Length.....36
4.3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อค่าของความเร็วเสียดทาน.....37
4.4	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อค่าของ Monin-Obukhov Length.....38
4.5	การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่มีต่อค่าของความเร็วเสียดทาน.....39
4.6	การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่มีต่อค่าของ Monin-Obukhov Length.....40
4.7	การเปลี่ยนแปลงความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อค่าของความเร็วเสียดทาน.....41
4.8	การเปลี่ยนแปลงความขรุขระพื้นผิวที่มีต่อค่าของ Monin-Obukhov Length.....42
4.9	การเปลี่ยนแปลงความเร็วเสียดทานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยต่างๆในแบบจำลอง RAMMET.....43
4.10	การเปลี่ยนแปลง Monin-Obukhov Length เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย ต่างๆในแบบจำลอง RAMMET.....44

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11	การเปลี่ยนแปลงความเร็วเสียดทาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย ต่างๆในแบบจำลอง RAMMET.....45
4.12	การเปลี่ยนแปลง Monin-Obukhov Length เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย ต่างๆในแบบจำลอง AERMET.....46
4.13	การเปลี่ยนแปลงความเร็วเสียดทาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย ต่างๆในแบบจำลอง GAMMA-MET.....47
4.14	การเปลี่ยนแปลง Monin-Obukhov Length เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัย ต่างๆในแบบจำลอง GAMMA-MET.....48
4.15	ผลเปรียบเทียบค่าความเร็วเสียดทาน ระหว่างค่าที่ได้จากการ ตรวจวัดบริเวณสถานีตรวจวัด Dunlop และค่าที่คำนวณได้ โดยแบบจำลอง RAMMET.....51
4.16	ผลเปรียบเทียบค่าความเร็วเสียดทาน ระหว่างค่าที่ได้จากการ ตรวจวัดบริเวณสถานีตรวจวัด Dunlop และค่าที่คำนวณได้ โดยแบบจำลอง AERMET.....51
4.17	ผลเปรียบเทียบค่าความเร็วเสียดทาน ระหว่างค่าที่ได้จากการ ตรวจวัดบริเวณสถานีตรวจวัด Dunlop และค่าที่คำนวณได้ โดยแบบจำลอง GAMMA-MET.....52
4.18	ผลเปรียบเทียบค่าความเร็วเสียดทาน ระหว่างค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET และค่าที่คำนวณได้จาก แบบจำลอง AERMET.....53
4.19	ผลเปรียบเทียบค่าความเร็วเสียดทาน ระหว่างค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET และค่าที่คำนวณได้จาก แบบจำลอง GAMMA-MET.....53
4.20	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการ ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop และจากการคำนวณโดย แบบจำลอง RAMMET ในช่วงเวลากลางวัน.....55

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.21	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET ในช่วงเวลากลางคืน.....55
4.22	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง AERMET ในช่วงเวลากลางวัน.....56
4.23	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง AERMET ในช่วงเวลากลางคืน.....56
4.24	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง GAMMA-MET ในช่วงเวลากลางวัน.....57
4.25	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัด Dunlop และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง GAMMA-MET ในช่วงเวลากลางคืน.....57
4.26	ผลเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET และค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง AERMET ในช่วงเวลากลางวัน.....59
4.27	ผลเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET และค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง AERMET ในช่วงเวลากลางคืน.....59
4.28	ผลเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET และค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง GAMMA-MET ในช่วงเวลากลางวัน.....60
4.29	ผลเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov Length ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง RAMMET และค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง GAMMA-MET ในช่วงเวลากลางคืน.....60

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.30	พื้นที่ศึกษาศาสนาตรววัดอตุณิยมิววิทยาโรงเรียนหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี.....62
4.31	พื้นที่ศึกษาศาสนาตรววัดอตุณิยมิววิทยาตึกวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....66
4.32	ผลเปรียบเทียบ ความเร็วเสียดทาน เมื่อมีค่าความขรุขระพื้นผิว ต่างกันจากแบบจำลอง RAMMET.....70
4.33	ผลเปรียบเทียบ Monin-Obukhov Length เมื่อมีค่าความขรุขระพื้นผิว ต่างกันจากแบบจำลอง RAMMET ในช่วงเวลากลางวัน.....71
4.34	ผลเปรียบเทียบ Monin-Obukhov Length เมื่อมีค่าความขรุขระพื้นผิว แตกต่างกันจากแบบจำลอง RAMMET ในช่วงเวลากลางคืน.....72
4.35	ผลเปรียบเทียบความเร็วเสียดทาน ระหว่างที่ได้จากการตรวจวัดและ จากแบบจำลอง RAMMET พื้นที่ศึกษาสระบุรี.....73
4.36	พื้นที่ศึกษาบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ.....74
4.37	พื้นที่ศึกษาบริเวณถนนราชดำเนินกลาง.....75
4.38	พื้นที่ศึกษาบริเวณโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน.....77
4.39	พื้นที่ศึกษาบริเวณถนนสาทร.....78
4.40	ผังความเร็วลมและทิศทางลมบริเวณพื้นที่ศึกษานถนนแจ้งวัฒนะ.....81
4.41	กราฟแสดงความถี่ความเร็วลมบริเวณพื้นที่ศึกษานถนนแจ้งวัฒนะ.....81
4.42	ผังความเร็วลมและทิศทางลมบริเวณพื้นที่ศึกษานถนนราชดำเนิน.....82
4.43	กราฟแสดงความถี่ความเร็วลมบริเวณพื้นที่ศึกษานถนนราชดำเนิน.....83
4.44	ผังความเร็วลมและทิศทางลมบริเวณพื้นที่ศึกษาโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน.....84
4.45	กราฟแสดงความถี่ความเร็วลมบริเวณพื้นที่ศึกษาโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน.....84
4.46	ผังความเร็วลมและทิศทางลมบริเวณพื้นที่ศึกษานถนนสาทร.....85
4.47	กราฟแสดงความถี่ความเร็วลมบริเวณพื้นที่ศึกษานถนนสาทร.....86