

ผลของสิ่งปกคลุมดินที่มีต่อสมดุลความร้อนของเมืองและการคงตัวของบรรยากาศ  
ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร



นายจเร เศรษฐสกุล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4162-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF LAND COVER ON URBAN HEAT BALANCE AND  
ATMOSPHERIC STABILITY IN BANGKOK**

**Mr. Jarae Saerayossakul**



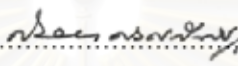
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**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 974-17-4162-6**

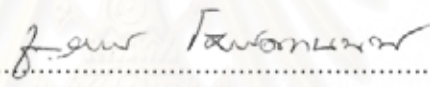
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสิ่งปกคลุมดินที่มีต่อสมดุลความร้อนของเมืองและการคงตัวของ  
บรรยากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร  
โดย นายเจเร เสรยศสกุล  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ


---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิตศึกษา


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

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

  
..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

  
..... กรรมการ  
(ดร. หทัยรัตน์ การ์เวทย์)

สภาบัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายจรูญ เศรษฐสกุล : ผลของสิ่งปกคลุมดินที่มีต่อสมดุลความร้อนของเมืองและการคงตัวของ  
บรรยากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. (EFFECTS OF LAND COVER ON URBAN HEAT  
BALANCE AND ATMOSPHERIC STABILITY IN BANGKOK) อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร. สุวัฒน์  
บัวเลิศ, 200 หน้า. ISBN 974-17-4162-6

การศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินประเภทต่างๆ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยวิธีตัดส่วน  
โบนเวน ทำการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ และเครื่อง Ultrasonic anemometer เก็บตัวอย่างข้อมูลทาง  
อุตุนิยมวิทยาบนสิ่งปกคลุมดินประเภทละ 1 วัน 3 จุด ตั้งแต่เวลา 7.00-19.00 น. พบว่า ในทุกฤดู พื้นที่สีเขียวและพื้นที่  
สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้างส่วะใหญ่มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ในขณะที่ในเขตอาคารสูง และพื้นที่เขตเมืองมี  
ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผลของการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่ใช้ในการ  
เผาผลาญอากาศในเขตเมือง ทำให้อุณหภูมิอากาศของพื้นที่ในเขตเมืองสูงขึ้น หรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เกาะความ  
ร้อนของเมือง และเมื่อศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง โดยวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจ  
อากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งโดยทำการศึกษาดูละ 5 วัน 3 จุด พบว่า ใน  
เวลากลางวันมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศสูง และในเวลากลางคืนมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกฤดู นอกจากนี้  
สมดุลความร้อนของเมืองส่งผลต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ เมื่อพิจารณาค่า Monin-Obukhov length โดยใช้  
ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation ในกลางวันมีลักษณะแบบไม่คงตัวและไม่คงตัวมาก  
ส่วนในเวลากลางคืนมีลักษณะแบบคงตัว และคงตัวมาก ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก สุดท้ายนี้ ยังได้  
ทำการศึกษาค่าสัมพัทธ์และทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ โดยวิเคราะห์สมการดอดอยแบบ  
เส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ และตัดส่วนโบนเวน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการคำนวณหาความร้อนที่ใช้ในการเผา  
ผลาญอากาศ และค่า Monin-Obukhov length พบว่า วิธีการคำนวณรังสีสุทธิและตัดส่วนโบนเวน โดยใช้สมการดอดอย  
แบบเส้นตรงพหุคูณ เป็นวิธีที่เหมาะสมในการคำนวณหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และค่า Monin-  
Obukhov length ในเขตเมือง

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา).....ลายมือชื่อนิสิต.....  
ปีการศึกษา 2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

## 4689063020: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: LAND COVER / HEAT BALANCE / SENSIBLE HEAT / BOWEN RATIO / ATMOSPHERIC STABILITY

JARAE SAERAYOSSAKUL: EFFECTS OF LAND COVER ON URBAN HEAT BALANCE AND ATMOSPHERIC STABILITY IN BANGKOK. THESIS ADVISOR: SURAT BUALERT, Ph.D., 200 pp. ISBN 974-17-4162-6.

The study of effects of land cover on urban heat balance was conducted by using Bowen ratio technique. The temperature and meteorological data were measured by thermometer and ultrasonic anemometer, respectively that were set on 1 day each type of land cover 3 seasons between 7.00 a.m.-7.00 p.m. It was found that in all seasons, green area and green area that surrounding by built land-use was highest latent heat of evaporation. And high building area and urban area was highest sensible heat. This study presents the effect of sensible heat in the urban area that was influenced on ambient temperature which known as urban heat island effect. The results gave a good agreement to the study at Bang-Na and Bangkok meteorological stations which were collected 5 days per season 3 seasons by using Eddy correlation technique. It was found that both stations were highest sensible heat in daytime and heat balance was almost stable in nighttime in all seasons. This study was found that Eddy correlation technique was suitable study for open area while, Bowen ratio technique was suitable study for urban area. Furthermore, urban heat balance affected on atmospheric stability calculated by Monin-Obukhov length which was used Eddy correlation technique. They were unstable and very unstable conditions in daytime but were stable and very stable conditions in nighttime that were in agreement with Adiabatic cooling process. Finally, this research studied relation and tested sensible heat with multiple linear regression equation of net radiation and Bowen ratio what are important parameters for calculate sensible heat and Monin-Obukhov length. It was found that the calculation method of net radiation and Bowen ratio by multiple linear regression equation that was suitably calculated sensible heat and Monin-Obukhov length.

Field of study Environmental Science (Inter-Department) Student's signature *J. Saerayossakul*  
 Academic year 2005 Advisor's signature *S. Bualert*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายๆ ฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา และให้ข้อคิดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ และ ดร. หทัยรัตน์ การีเวทย์ ที่กรุณา สละเวลาอันมีค่าเข้ามาเป็นกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทรแก้ว อาจารย์ ดร. คุณฉวี สุขวัฒน์ อาจารย์กิตติชัย ดวงมาลัย คุณสัมฤทธิ์ สุทธิประภา ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำ วิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณอธิบดีกรมอุตุนิยมิวิทยา ผู้อำนวยการโรงพยาบาลกรุงเทพ คริสเตียน ผู้อำนวยการโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ผู้อำนวยการ โรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ และ ผู้อำนวยการส่วนอาคารและสถานที่ สำนักบริหารระบบกายภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ อนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเก็บตัวอย่าง และขอขอบคุณ โรงแรมบันยันทรี โฮเทล แอนด์ รี สอร์ต ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทั่วไปที่คอยช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ เจ้าหน้าที่สถานีตรวจอากาศเกษตร บางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้ง เครื่องมือ คุณวิไล พันธุ์จรรยา คุณพรพรรณ อุดมิ่ง คุณกิตติภูมิ พุ่มแดง คุณสุทธิชาน์ นิลฤทธิ์ ที่ ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม คุณเกษรรา สิทธิโชค คุณพัชรวิไล พงษ์พานิช ที่ให้ข้อคิดและ ช่วยเหลือด้านข้อมูล พี่ๆ และเพื่อนๆ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และน้องๆ กลุ่ม นิสิตคริสเตียนจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาวที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนทางด้าน การศึกษามาโดยตลอด และสมาชิกคริสตจักรเงินเพชรบุรีที่คอยให้กำลังใจและอธิษฐานเผื่ออย่างเสมอ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณพระเจ้าผู้ทรงประทานสติปัญญา และกำลัง จนทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

## 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 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation).....	5
2.2 สมดุลความร้อน (Heat balance).....	12
2.3 ผลของสิ่งปกคลุมดินต่อสมดุลความร้อน.....	26
2.4 การคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability).....	32
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
3 วิธีการศึกษา.....	38
3.1 การศึกษาสมดุลความร้อน.....	38
3.2 การศึกษาการคงตัวของบรรยากาศเนื่องจากสมดุลความร้อน.....	53
3.3 การศึกษา พัฒนาความสัมพันธ์ และเสนอแนวทางการประยุกต์หาสมดุลความร้อน โดยวิธีคำนวณ.....	53
4 วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการศึกษา.....	55
4.1 สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดิน.....	55
4.2 การคงตัวของบรรยากาศเนื่องจากสมดุลความร้อน.....	118
4.3 การพัฒนาความสัมพันธ์ และเสนอแนวทางการประยุกต์หาสมดุลความร้อนโดยวิธี คำนวณ.....	125

	หน้า
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	156
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	156
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	158
รายการอ้างอิง.....	160
ภาคผนวก.....	164
ภาคผนวก ก.....	165
ภาคผนวก ข.....	167
ภาคผนวก ค.....	169
ภาคผนวก ง.....	171
ภาคผนวก จ.....	172
ภาคผนวก ฉ.....	173
ภาคผนวก ช.....	182
ภาคผนวก ซ.....	191
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	200



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในแบบจำลอง PCRAMMET..... 9
2.2	สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในเขตเมือง..... 10
2.3	ค่าการปลดปล่อยรังสีพื้นผิว..... 12
2.4	ความดันไอน้ำอิ่มตัวและอุณหภูมิอากาศ..... 17
2.5	สัดส่วน Bowen-เฉลี่ยในภูมิภาคต่างๆ..... 18
2.6	สัดส่วน Bowen-เฉลี่ยในเวลากลางวัน แบ่งตามสิ่งปกคลุมดิน และฤดูกาล..... 18
2.7	การนำความร้อนของวัสดุธรรมชาติ..... 23
2.8	การนำความร้อนของวัสดุพื้นผิว..... 24
2.9	ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ พิจารณาจากค่า Monin-Obukhov length..... 35
3.1	ตัวแปรและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา..... 48
3.2	วันที่เก็บตัวอย่างเพื่อหาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท..... 48
4.1	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา บริเวณอาคารสูง 3 ฤดู..... 57
4.2	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา บริเวณถนน 3 ฤดู..... 61
4.3	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา บริเวณพื้นที่เขตเมือง 3 ฤดู..... 65
4.4	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา บริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง 3 ฤดู..... 69
4.5	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา บริเวณพื้นที่สีเขียว 3 ฤดู..... 73
4.6	ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน สัดส่วน Bowen สัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิของ สิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท 3 ฤดู..... 77
4.7	สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน บริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา..... 79
4.8	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา 3 ฤดู.... 81
4.9	ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร บางนา 3 ฤดู..... 86
4.10	ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธีสัดส่วน Bowen บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา 3 ฤดู..... 90
4.11	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วน Bowen บริเวณ สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา 3 ฤดู..... 92
4.12	ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการ ระเหยน้ำ ระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วน Bowen โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา..... 93

ตารางที่	หน้า
4.13	สัดส่วนความเร็วลมแกนตั้งบริเวณลาดฟ้าติกาภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป และสถานี ตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูหนาว..... 94
4.14	ค่าเฉลี่ยสมมูลความร้อนเฉลี่ยจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร บางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) 3 ฤดู..... 99
4.15	สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน บริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ..... 101
4.16	ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิธี บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ กรุงเทพฯ 3 ฤดู..... 102
4.17	ค่าเฉลี่ยสมมูลความร้อน จากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระ เกียรติกรุงเทพฯ 3 ฤดู..... 108
4.18	ค่าเฉลี่ยสมมูลความร้อน จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระ เกียรติกรุงเทพฯ 3 ฤดู..... 112
4.19	ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการ ระเหยน้ำ ระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ..... 113
4.20	ค่าเฉลี่ยสมมูลความร้อน จากวิธีคำนวณจากสัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 3 ฤดู..... 115
4.21	ผลการเปรียบเทียบสมมูลความร้อนระหว่างวิธีสัดส่วนโบเวนและวิธีคำนวณจาก สัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณ สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ..... 117
4.22	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้สมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานี ตรวจอากาศเกษตรบางนา..... 124
4.23	ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้สมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานี ตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ..... 125
4.24	ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการถดถอย..... 127
4.25	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ..... 128
4.26	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน..... 129
4.27	ตัวแปรที่ใช้ในการหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ที่สถานีตรวจ อากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทำการตรวจวัด.... 130
4.28	แนวทางการทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ..... 132

ตารางที่	หน้า
4.29 การทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจ อากาศเกษตรบางนา.....	132
4.30 การทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจ อากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ.....	132
4.31 ความเร็วลมเสียดทานเฉลี่ย บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจ อากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ.....	136
4.32 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ และสัดส่วนโบเวน จากข้อมูลเฉพาะ สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูหนาว เวลากลางวัน.....	145
4.33 การเสนอวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและ การคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา.....	148
4.34 สมการที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของ บรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา.....	148
4.35 การเสนอวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและ การคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ.....	149
4.36 สมการที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของ บรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ.....	150
4.37 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิของพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....	151
4.38 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วน โบเวนของพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....	151
4.39 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศของพื้นที่ กรุงเทพมหานคร.....	152

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	สัดส่วนพื้นที่แบ่งตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินของกรุงเทพมหานคร..... 1
2.1	กระบวนการเคลื่อนตัวของรังสีดวงอาทิตย์..... 6
2.2	ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ..... 15
2.3	ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ..... 21
2.4	ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่เก็บไว้ในดิน..... 22
2.5	เกาะความร้อนของเมือง..... 29
2.6	กระบวนการอะเดียแบติก..... 32
2.7	การคงตัวของบรรยากาศและความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสูง..... 33
2.8	การวัดความเร็วลมในแกน X Y และ Z..... 35
3.1	สวนจตุจักร..... 38
3.2	เครื่อง Microlog..... 39
3.3	การติดตั้งเครื่องมือบริเวณสวนจตุจักร..... 39
3.4	การหาระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด และขนาดพื้นที่ศึกษาที่น้อยที่สุด..... 40
3.5	อาคารจอดรถ โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน..... 42
3.6	ถนนราธิวาสราชนครินทร์..... 43
3.7	หอธรรม โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย..... 44
3.8	สนามหญ้าหน้าโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์..... 45
3.9	สนามหญ้าข้างพระรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย..... 46
3.10	Global radiation sensor..... 47
3.11	บารอมิเตอร์..... 47
3.12	Ultrasonic anemometer..... 47
3.13	การติดตั้ง Microlog (ก) และ Ultrasonic anemometer (ข)..... 47
3.14	สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา..... 50
3.15	สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ..... 51
3.16	การติดตั้ง Microlog ในตู้สกรีน..... 52
4.1	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 เมตรจากกริมรั้วสวนจตุจักร..... 55
4.2	ขนาดของพื้นที่น้อยที่สุดที่ห่างจากสิ่งรบกวน..... 56
4.3	สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณอาคารสูง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)..... 58

ภาพที่	หน้า
4.4	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธี ตัดส่วนโบนเวน บริเวณอาคารสูง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	59
4.5	
สมมูลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบนเวน บริเวณถนน ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	62
4.6	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธี ตัดส่วนโบนเวน บริเวณถนน ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	63
4.7	
สมมูลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบนเวน บริเวณเขตเมือง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	66
4.8	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วน โบนเวน บริเวณเขตเมือง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	67
4.9	
สมมูลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบนเวน บริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วย สิ่งปลูกสร้าง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	70
4.10	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วน โบนเวน บริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	71
4.11	
สมมูลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบนเวน บริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	74
4.12	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วน โบนเวน บริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	75
4.13	
รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	82
4.14	
สมมูลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศ เกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	84
4.15	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และ ฤดูร้อน (ค).....	85
4.16	
สมมูลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีตัดส่วนโบนเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร บางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	88
4.17	
ตัดส่วนโบนเวนและตัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีตัดส่วน โบนเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และ ฤดูร้อน (ค).....	89

ภาพที่	หน้า
4.18 รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	96
4.19 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)	97
4.20 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	98
4.21 รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	104
4.22 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	106
4.23 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	107
4.24 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	110
4.25 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนเฉลี่ยต่อรังสีสุทธิรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) .....	111
4.26 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีคำนวณจากสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค).....	114
4.27 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	119
4.28 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางคืน.....	120
4.29 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	122

ภาพที่	หน้า
4.30 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางคืน.....	123
4.31 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	134
4.32 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	135
4.33 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	137
4.34 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางคืน.....	138
4.35 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	140
4.36 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางคืน.....	141
4.37 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน.....	143
4.38 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางคืน.....	144
4.39 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 ในฤดูหนาว เวลากลางคืน.....	146

4.40	ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 ในฤดูหนาว เวลากลางคืน.....	146
4.41	ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาและค่าที่คำนวณจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ เวลากลางวัน...	153
4.42	ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาและค่าที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม ในฤดูฝน เวลากลางวัน.....	154
4.43	ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาและค่าที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม ในฤดูหนาว เวลากลางวัน.....	154
4.44	ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาและค่าที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม ในฤดูร้อน เวลากลางวัน.....	155
5.1	ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ บริเวณพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างมากและพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างน้อย.....	157

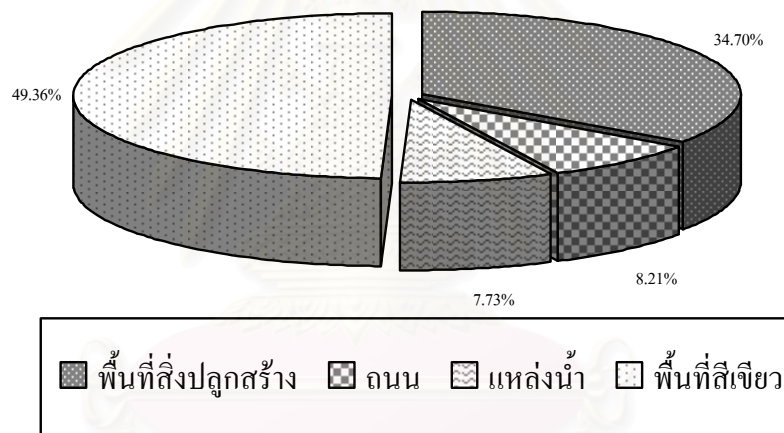


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินเป็นอย่างมาก พื้นที่สีเขียวถูกนำไปใช้ในการก่อสร้างมากขึ้น จากการสำรวจของสำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2545 พบว่า กรุงเทพมหานครมีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างซึ่งเป็นที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม สถาบันราชการ อุตสาหกรรม สถาบันการศึกษา คลังสินค้า และสถาบันทางศาสนา คิดเป็น 34.70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่กรุงเทพมหานครทั้งหมด 1,568.737 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่มีพื้นที่ถนน 8.21 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่สีเขียว 49.36 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งน้ำ 7.73 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 สัดส่วนพื้นที่แบ่งตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินของกรุงเทพมหานคร

ดัดแปลงจาก: สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร, 2545

สิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของลมทางด้านแนวนอน (Advection) ทำให้มลสารแพร่กระจายได้ไม่ดี ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศโดยเฉพาะบริเวณที่มีการปล่อยมลสารออกมา ก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชนที่อยู่ในเขตบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้สิ่งปลูกสร้างมีการสะสมและคายความร้อนทางด้านแนวตั้ง (Convection) มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิในเขตเมืองสูงกว่าพื้นที่รอบนอก ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง” (Urban heat island effect) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลความร้อนของเมือง โดยที่รังสีสุทธิ (Net radiation;  $R_n$ ) ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่เหลือจากการรับและสะท้อนรังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาวเปลี่ยนเป็นความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (Sensible heat;  $H$ ) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Latent heat of

evaporation; LE) และความร้อนพื้นผิว (Surface heat flux; X) ในสัดส่วนที่เปลี่ยนไป ซึ่งสมดุลความร้อนแสดงดังสมการที่ 1.1 – 1.2

$$R_n = R_{sd} - R_{su} + R_{ld} - R_{lu} \quad (1.1)$$

$$R_n = H + LE + X \quad (1.2)$$

เมื่อ  $R_n$  คือ รังสีสุทธิ  $R_{sd}$  คือ รังสีคลื่นสั้นที่ลงมาสู่พื้นผิวของโลก  $R_{su}$  คือ รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนสู่บรรยากาศ  $R_{ld}$  คือ รังสีคลื่นยาวที่ลงมาสู่พื้นผิวของโลก  $R_{lu}$  คือ รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่บรรยากาศ และ X คือ ความร้อนพื้นผิว ซึ่งได้แก่ ความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux) ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิว (Heat storage) และความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic heat) สำหรับความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศนั้นสามารถศึกษาจากวิธี Eddy correlation ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ศึกษา โดยใช้เครื่อง Ultrasonic anemometer วัดความเร็วลมในแกน X, Y และ Z แต่ไม่มีติดตั้งตามสถานีตรวจอากาศทั่วไปในประเทศไทย และวิธีสัดส่วนโบเวน (Bowen ratio) ซึ่งเป็นวิธีคำนวณหาสมดุลความร้อนจากสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ โดยตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ และความดันไอน้ำอิ่มตัว ดังนั้น จึงควรศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง อีกทั้ง พัฒนาความสัมพันธ์ และเสนอแนวทางการประยุกต์หาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณจากตัวแปรที่มีการตรวจวัดในสถานีตรวจอากาศ ซึ่งตามกระบวนการอะเดียแบติก (Adiabatic cooling process) เมื่อมีความร้อนในอากาศ อากาศจะใช้ในการเผาผลาญอากาศ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและจะลอยตัวสูงขึ้นพร้อมกับขยายตัว อันจะมีผลต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability) และการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศ โดยสามารถประเมินและเปรียบเทียบสภาพการคงตัวของบรรยากาศตามทฤษฎีของ Monin-Obukhov ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาสมดุลความร้อน โดยเฉพาะผลของการเคลื่อนที่ของความร้อนในแนวตั้ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาสภาพการคงตัวของบรรยากาศ และแนวโน้มการกระจายตัวของมลสารในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 2) ประเมินและเปรียบเทียบการคงตัวของบรรยากาศเนื่องจากสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 3) ศึกษา พัฒนาความสัมพันธ์และเสนอแนวทางการประยุกต์หาสมดุลความร้อนโดยวิธีคำนวณ เพื่อใช้ประเมินสมดุลความร้อนในเขตเมือง

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) พื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
- 2) สมดุลความร้อน หมายถึง รังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ และความร้อนพื้นผิว
- 3) ฟลักซ์ หมายถึง ปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา
- 4) เวลากลางวัน หมายถึง เวลาที่รังสีสุทธิมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร
- 5) เวลากลางคืน หมายถึง เวลาที่รังสีสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถหาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง
- 2) สามารถประยุกต์ใช้สมดุลความร้อนของเมืองในการประเมินการคงตัวของบรรยากาศ
- 3) สามารถใช้เป็นแนวทางในการหาสภาพการคงตัวของบรรยากาศ เพื่อหาแนวโน้มการกระจายตัวของมลสารภายในบรรยากาศ
- 4) สามารถประยุกต์หาสมดุลความร้อน โดยวิธีคำนวณ เพื่อใช้ประเมินสมดุลความร้อนในเขตเมือง
- 5) สามารถเลือกใช้สิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม และปรับปรุงการวางผังเมือง เพื่อช่วยลดความร้อน และเปลี่ยนแปลงการคงตัวของบรรยากาศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### บททวนเอกสาร

อุตุนิยมวิทยาใกล้พื้นผิว (Micrometeorology) เป็นสาขาหนึ่งของอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของบรรยากาศและกระบวนการต่างๆ ของอากาศตั้งแต่ที่สูงจากผิวโลกสู่บรรยากาศไม่เกิน 1,000 เมตร และต่ำกว่าผิวดินไม่เกิน 100 เซนติเมตร อากาศที่กล่าวนี้ประกอบด้วยรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืชโดยตรงและทางอ้อม (เกษม จันทร์แก้ว และคณะ, 2517)

ชั้นบรรยากาศใกล้ผิวพื้น (Atmospheric boundary layer; ABL หรือ Planetary boundary layer; PBL) เป็นชั้นบรรยากาศที่มีแรงเฉือน (Shearing force) จากพื้นผิว และมีการปั่นป่วน (Turbulence) ของอากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการปั่นป่วนนี้เกิดจากการกระจายตัวของพลังงานจากดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลกไม่เท่ากัน กล่าวคือ บริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับพลังงานมากกว่าบริเวณขั้วโลก ส่งผลทำให้สภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ต่างกัน ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันนี้ อากาศเย็นจะไปแทนที่อากาศร้อน โดยส่วนใหญ่แล้วจะเคลื่อนที่ในแนวอน (Advection) แต่ถ้ามีการเคลื่อนที่ในแนวอนน้อย อากาศจะเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Convection) ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศนี้ จะมีการปั่นป่วนขนาดเล็กๆ (Eddy) เกิดขึ้นอย่างไม่มีทิศทาง ซึ่งเราเรียกว่า การปั่นป่วน (Turbulence) (Bualert, 2001) การปั่นป่วนมี 2 ลักษณะ ได้แก่

#### 1) การปั่นป่วนเชิงกล (Mechanical turbulence)

การปั่นป่วนเชิงกลมีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณผิวโลก เมื่ออากาศกระทบกับสิ่งกีดขวาง ได้แก่ สิ่งก่อสร้าง สิ่งปกคลุมดิน หรือ สภาพภูมิศาสตร์ ความเร็วลมของอากาศบริเวณพื้นผิวที่มีสิ่งกีดขวางจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยระยะความขรุขระพื้นผิว (Surface roughness length)

#### 2) การปั่นป่วนเชิงความร้อน (Thermal turbulence)

การปั่นป่วนเชิงความร้อนจะมีผลต่อสภาพอากาศโดยเฉพาะในเวลากลางวัน เนื่องจากบรรยากาศได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้มีการส่งถ่ายความร้อนระหว่างโลกและบรรยากาศ โดยที่เวลากลางวัน การคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว (Unstable) จะมีการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง จะช่วยเพิ่มความสูงผสม (Mixing height) ซึ่งคือ เพิ่มความสูงในแนวตั้งจากพื้นผิวโลกซึ่งมีมวลสารเข้าและออกในชั้นนี้นั่นเอง

หากเปรียบเทียบลักษณะการปั่นป่วนของอากาศ จะพบว่า การปั่นป่วนในเวลากลางคืนเกิดจากอิทธิพลของการปั่นป่วนเชิงกลเป็นหลัก และไม่เกิดการปั่นป่วนเชิงความร้อนเลย เนื่องจากไม่มี

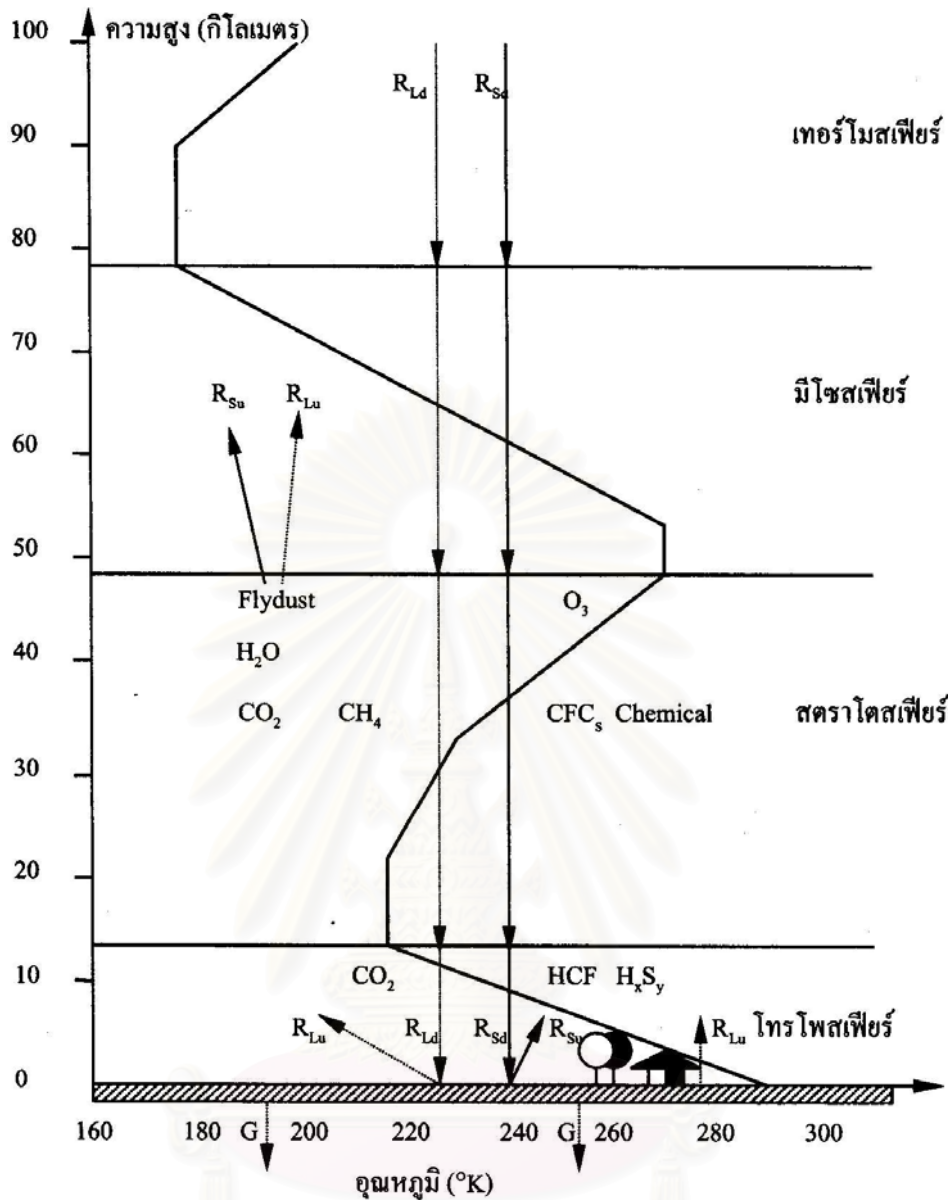
ความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในขณะที่ในเวลากลางวันจะเกิดจากอิทธิพลจากการปั่นป่วนเชิงความร้อนเป็นหลัก และยังคงเกิดการปั่นป่วนเชิงกลอีกด้วย จะเห็นได้ว่า ความร้อนมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการปั่นป่วนของอากาศในเวลากลางวันซึ่งเป็นเวลาที่มีการปลดปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก

ความร้อนต่างๆ ซึ่งได้รับมาจากรังสีดวงอาทิตย์ ในชั้นบรรยากาศใกล้พื้นผิว แม้ว่าพื้นผิวของโลกจะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ออกไปบางส่วน แต่ก็ยังมีความร้อนบางส่วนเหลือบริเวณใกล้พื้นผิว ความร้อนที่เหลือนี้จะส่งผลทำให้ลักษณะของลม อุณหภูมิ และความชื้นเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งปกคลุมดิน นอกจากนี้ ความร้อนบริเวณใกล้พื้นผิวยังจะส่งผลต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายตัวของมลสารในบรรยากาศ

## 2.1 รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

แหล่งกำเนิดความร้อนที่สำคัญที่สุดในโลก คือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นดาวฤกษ์ดวงหนึ่งที่เป็นแหล่งพลังงานทางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดที่โลกได้รับ มีอายุประมาณ 5,000 ล้านปี อยู่เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ โดยที่พื้นผิวโฟโตสเฟียร์ มีอุณหภูมิประมาณ 6,000 เคลวิน ส่วนนอกโฟโตสเฟียร์ มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 4,300 เคลวิน มีแสงสว่างประมาณ 46,500 แคนเดลาต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะแผ่รังสีประมาณ  $5.6 \times 10^{26}$  แคลอรีต่อวินาที (วิชา นิยม, 2535; รังสรรค์ อาภาศัพท์กุล, 2547) ออกไปทุกทิศทุกทางในรูปของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและพลังงานการแผ่รังสีความร้อน (Electromagnetic spectrum of radiant energy) เป็นความยาวคลื่น (Wave length) ที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากดวงอาทิตย์มาถึงโลกเป็นระยะทาง 1 หน่วยดาราศาสตร์ (Astronomical Unit; A.U.) มีค่า 150 ล้านกิโลเมตร หรือ 93 ล้านไมล์ ด้วยความเร็วประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที หรือ 186,000 ไมล์ต่อวินาที ใช้เวลาเดินทางประมาณ 8.5 วินาที ซึ่งพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลกนั้นจะไม่สูญหายระหว่างทาง เพราะการแผ่รังสีนี้ไม่ต้องการตัวกลางในการนำหรือพาความร้อน

รังสีดวงอาทิตย์ทุกความยาวคลื่นตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วย ต่อ 1 หน่วยเวลา ณ ตำแหน่งห่างจากดวงอาทิตย์ 1 หน่วยดาราศาสตร์นอกบรรยากาศโลก ซึ่งเรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) มีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร ภายหลังได้มีการวัดและแก้ไขความคลาดเคลื่อนต่างๆ เพิ่มเติม ได้ค่าคงที่สุริยะเท่ากับ 1,362 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือ 4,921 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ค่าดังกล่าวที่แก้ไขแล้วนี้เป็นที่ยอมรับขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorology Organization; WMO) อย่างไรก็ตามค่าคงที่สุริยะทั้งสองมีความแตกต่างกันเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น หากแบ่งพลังงานของดวงอาทิตย์บริเวณนอกบรรยากาศของโลกในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ 95 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานจะอยู่ในช่วงคลื่น 0.25-4.00 ไมครอน และเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศ รังสีดังกล่าวจะมีพลังงานลดลง (เสริม จันทร์ฉาย, 2545; Cunningham, Cunningham และ Saigo, 2003) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการเคลื่อนตัวของรังสีดวงอาทิตย์

ที่มา: เกษม จันทร์แก้ว, 2544

สำหรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่บรรยากาศของโลกประกอบไปด้วยรังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาว ในขณะเดียวกัน บริเวณพื้นผิวของโลกก็มีรังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาวสะท้อนออกไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1.1 รังสีคลื่นสั้นที่ลงสู่พื้นผิว (Incoming shortwave radiation; $R_{sd}$ )

รังสีคลื่นสั้น (Shortwave radiation) เป็นรังสีคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าช่วงคลื่นสีม่วง คือ อยู่ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 0.1-4.0 ไมครอน ได้แก่ รังสีคอสมิก (Cosmic rays) รังสีเอ็กซ์ (X-rays) รังสีแกมมา (Gamma rays) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) รังสีที่มองเห็น (Visible light) และ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) โดยเป็นส่วนหนึ่งของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (0.1-0.4 ไมครอน) ประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ของรังสีทั้งหมด ส่วนที่เหลือเป็นรังสีที่มองเห็น (Visible light) (0.4-0.7 ไมครอน) และรังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared) (0.7-4.0 ไมครอน) ในสัดส่วนที่พอๆ กัน

เมื่อรังสีคลื่นสั้นลงสู่บรรยากาศของโลก รังสีคลื่นสั้นมาก เช่น รังสีคอสมิก รังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ ซึ่งเป็นอันตราย จะถูกดูดซับไว้เกือบทั้งหมด รวมทั้งบางส่วนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วย เมื่อมาถึงชั้นล่างของมิโซสเฟียร์ และชั้นสตราโตสเฟียร์ ระดับประมาณ 15-55 กิโลเมตรจากพื้นโลก ซึ่งเป็นชั้นของโอโซน พวกรังสีอัลตราไวโอเล็ตก็จะถูกดูดซับไว้เกือบทั้งหมด ก่อนที่จะผ่านเข้ามาสู่บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวโลกมากที่สุด ในชั้นโทรโพสเฟียร์นี้จะมีไอน้ำในอากาศและคาร์บอนไดออกไซด์ดูดซับรังสีอินฟราเรด (รังสีคลื่นยาว) บางช่วงคลื่นไว้ ทำให้คุณภาพของพลังงานจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงเป็นรังสีคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 0.1-4.0 ไมครอน สำหรับช่วงคลื่นที่ตกลงมาถึงพื้นโลกจริงๆ ก็มีเพียงช่วงคลื่นระหว่าง 0.31-2.5 ไมครอนเท่านั้น โดยที่รังสีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 0.31 ไมครอน จะถูกโอโซนในบรรยากาศดูดซับไว้เกือบหมด ส่วนรังสีที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า 2.5 ไมครอน จะถูกไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ดูดซับไว้ (นิวัตติ เรืองพานิช, 2542)

ส่วนรังสีที่มองเห็น (Visible light) เป็นรังสีคลื่นสั้นที่อยู่ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 0.4-0.7 ไมครอน รังสีช่วงคลื่นนี้มีประมาณ 41 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่บรรยากาศของโลกได้รับ แบ่งออกได้เป็นแถบแสงสีม่วง (0.4-0.42 ไมครอน) คราม (0.42-0.44 ไมครอน) น้ำเงิน (0.44-0.49 ไมครอน) เขียว (0.49-0.57 ไมครอน) เหลือง (0.57-0.59 ไมครอน) แสด (0.59-0.61 ไมครอน) แดง (0.61-0.70 ไมครอน) หรือก็คือแถบสีรุ้ง รังสีที่มองเห็นนี้เป็นช่วงคลื่นที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อพืชเพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

เมื่อรังสีคลื่นสั้นเดินทางผ่านบรรยากาศมายังพื้นโลกจะถูกดูดกลืน (Absorption) และถูกกระเจิง (Scattering) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละอองของแข็งที่ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศ รังสีที่เหลือและพุ่งตรงมาถึงพื้นผิวโลกเรียกว่า รังสีตรง (Direct radiation; S) สำหรับรังสีที่เกิดจากการกระเจิงจะเรียกว่า (Diffuse radiation; D) (รุจิราพรธรรม รุ่งรอด, 2543) หากรวมรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาถึงพื้นผิวของโลกจะเรียกว่า รังสีรวม (Global radiation;  $R_g$ ) ซึ่งก็คือ รังสีคลื่นสั้นที่ลงสู่พื้นผิวนั่นเอง (Oke, 1978) ดังสมการที่ 2.1 ซึ่งรังสีรวมสามารถวัดได้โดยเครื่อง Global radiation sensor หรือไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) โดยสามารถตรวจวัดรังสีส่วนใหญ่อยู่ในช่วงคลื่น 0.3 – 3.0 ไมครอน ส่วนการวัดรังสีกระจายจะใช้เครื่องไพราโนมิเตอร์ที่มีวงแหวนบังรังสีตรง (Shade ring)

$$R_g = S + D \quad (2.1)$$

สำหรับประเทศไทย เกษม จันทร์แก้ว (2514) ได้ศึกษารังสีดวงอาทิตย์ปีแรกของสถานีทดลองลุ่มน้ำห้วยคอกม้า และป่าดิบแล้งสะแกราช พบว่า ปริมาณรังสีความร้อนคลื่นสั้นของป่าดิบเขามีความผันแปรอย่างมากต่อฤดูกาลและปริมาณความชื้นของอากาศ โดยเฉพาะในฤดูฝนซึ่งมีทั้งฝนและหมอกช่วยสกัดกั้นปริมาณรังสีคลื่นสั้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ เสริม จันทร์ฉาย และจรุงแสง ลักษณะบุญส่ง (2542) ได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม โดยเก็บข้อมูล 4 ปี พบว่า สัดส่วนรังสีกระจายต่อรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปีของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี สงขลา และนครปฐม มีค่า 47.3 45.2 40.4 และ 44.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกัน

### 2.1.2 รังสีคลื่นยาวที่ลงสู่พื้นผิว (Incoming longwave radiation; $R_{ld}$ )

รังสีคลื่นยาว (Longwave radiation) เป็นรังสีที่มีช่วงคลื่นตั้งแต่ 4.0 ไมครอนเป็นต้นไป ได้แก่ รังสีอินฟราเรด (Infrared rays) ไมโครเวฟ (Microwave radar) คลื่นทีวี และคลื่นวิทยุ มีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่บรรยากาศของโลกได้รับ ซึ่งสามารถตรวจวัดโดยเครื่อง Pyrgeometer (Oke, 1978) และสามารถคำนวณจากสมการที่ 2.2 (Montague และ Kjelgren, 2004)

$$R_{ld} = \sigma_{SB} CSE T_a^4 \quad (2.2)$$

$$CSE = 9.2 \times 10^{-6} \times T_a^2 \quad (2.3)$$

โดยที่  $\sigma_{SB}$  คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman มีค่า  $5.67 \times 10^{-8}$  วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเคลวิน<sup>4</sup> ส่วน CSE คือ ค่าการปลดปล่อยรังสีเมื่อฟ้าโปร่ง (Clear sky emissivity) ดังสมการที่ 2.3 และ  $T_a$  คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

### 2.1.3 รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนสู่บรรยากาศ (Out going shortwave radiation; $R_{su}$ )

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นผิวโลกจะมีพลังงานบางส่วนถูกดูดกลืน และบางส่วนสะท้อนกลับขึ้นไปในบรรยากาศ โดยรังสีคลื่นสั้นที่ถูกสะท้อนจากพื้นผิวโลกมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Albedo; A) ซึ่งคือ สัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นที่สะท้อนสู่บรรยากาศ ( $R_{su}$ ) ต่อรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นที่ลงสู่พื้นผิว ( $R_{sd}$ ) (วิชา นิยม, 2535) ดังสมการที่ 2.4

$$A = R_{su} / R_{sd} \quad (2.4)$$



ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะเป็นตัวบอกปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกสะท้อนออกไป มีค่าระหว่าง 0 – 1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของสิ่งปกคลุมดินในบริเวณนั้นๆ โดยธรรมชาติของ รังสีจะสะท้อนกลับในทิศทางทุกทางบนพื้นผิวขรุขระ แต่บนพื้นผิวเรียบหรือค่อนข้างเรียบ รังสีจะสะท้อนกลับในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง (รังสรรค์ อากาศภะกุล, 2547) นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีอีกด้วย สำหรับการศึกษานี้ของ USEPA (1999) ได้เสนอค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในแบบจำลอง PCRAMMET โดยแบ่งตาม สิ่งปกคลุมดินและฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 2.1 ส่วน Sailor และ Fan (2002) ได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในเมืองโดยแบ่งตามประเภทของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง และลักษณะพื้นผิวในเขตเมือง แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในแบบจำลอง PCRAMMET

สิ่งปกคลุมดิน	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์		
	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
แหล่งน้ำ (น้ำจืด และน้ำทะเล)	0.14	0.12	0.10
ป่าผลัดใบ	0.12	0.12	0.12
ป่าสน	0.12	0.12	0.12
พื้นที่ชุ่มน้ำ	0.16	0.12	0.14
พื้นที่เกษตรกรรม	0.18	0.14	0.20
พื้นที่หญ้า	0.20	0.18	0.18
เขตเมือง	0.18	0.14	0.16
ทะเลทราย	0.28	0.30	0.28

ที่มา: ดัดแปลงจาก USEPA, 1999

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์สามารถหาได้จากวิธีดังต่อไปนี้

1) การใช้เครื่องมือไพราโนมิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยหัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 2 หัว ติดตั้งเหนือพื้นดิน โดยหัวแรกวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และหัววัดที่สองวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ แต่การวัดดังกล่าวสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้เฉพาะจุดเท่านั้น เกษม จันทร์แก้ว และคณะ (2517) ได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 6.00-18.00 น. ที่ป่าดิบแล้งของสถานีทดลองสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ในช่วงฤดูฝน พบว่า ค่า

สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์แต่ละช่วงเวลาของวันที่สุ่มเป็นตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.14

2) การใช้ดาวเทียม ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ดาวเทียมสามารถศึกษาครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ค่าที่ได้เป็นตัวแทนของพื้นที่หนึ่งซึ่งมีขนาดของความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) วัชรา แหวนวงษ์ (2542) ได้ศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกในบริเวณประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลระยะไกลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GMS5 ในช่วงระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2538 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2542 โดยที่เวลา 12.30 น. ซึ่งถือว่าเป็นเวลาที่รังสีดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทย พบว่า พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เพาะปลูกมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนอยู่ในช่วง 0.09-0.15 และ 0.12-0.20 ตามลำดับ และผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกที่หาได้กับค่าเฉลี่ยที่ได้จากดาวเทียม NOAA

สำหรับการหาปริมาณรังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนสู่บรรยากาศ สามารถวัดได้โดยตรงโดยใช้เครื่องไพราโนมิเตอร์ติดตั้ง Sensor ลงสู่พื้นผิวที่ศึกษา และสามารถคำนวณจากสมการที่ 2.4 โดยต้องทราบรังสีคลื่นสั้นที่ลงสู่พื้นผิว ( $R_{sd}$ ) หรือรังสีของ โลก ( $R_g$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในเขตเมือง

สิ่งปกคลุมดิน	พื้นผิว	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์
เขตที่อยู่อาศัย (Residential)	หลังคา (Rooftop)	0.08 – 0.03
	กำแพง (Wall)	0.20 – 0.45
	พื้น (Ground)	0.10 – 0.30
เขตการค้า (Commercial)	หลังคา (Rooftop)	0.10 – 0.20
	กำแพง (Wall)	0.20 – 0.40
	พื้น (Ground)	0.10 – 0.30
เขตอุตสาหกรรม (Industrial)	หลังคา (Rooftop)	0.10 – 0.20
	กำแพง (Wall)	0.20 – 0.40
	พื้น (Ground)	0.10 – 0.30
เขตใจกลางเมือง (Urban core)	หลังคา (Rooftop)	0.10 – 0.20
	กำแพง (Wall)	0.10 – 0.30
	พื้น (Ground)	0.10 – 0.30

ที่มา: Sailor และ Fan, 2002

#### 2.1.4 รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่บรรยากาศ (Out going longwave radiation; $R_{lu}$ )

ส่วนรังสีคลื่นยาวเป็นคลื่นรังสีความร้อนที่เปล่งออกจากพื้นโลกและบรรยากาศ เกิดจากการที่พื้นโลกและบรรยากาศดูดกลืนพลังงานรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ไว้จนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ต่อมาพื้นโลกและบรรยากาศจะแผ่รังสีออกมาในรูปของรังสีความร้อนคลื่นยาวในช่วงรังสีอินฟราเรด รังสีคลื่นยาวที่แผ่จากโลกสู่บรรยากาศซึ่งเรียกว่า Terrestrial radiation ส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นระหว่าง 4 – 80 ไมครอน ช่วงคลื่นความร้อนนี้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์จะถูกดูดกลืนไว้ในบรรยากาศ โดยไอน้ำ เมฆ และคาร์บอนไดออกไซด์ และจะมีการแผ่รังสีความร้อนกลับคืนให้กับพื้นโลกได้อีก ซึ่งมีการสะท้อนรังสีคลื่นยาวกลับสู่บรรยากาศทั้งกลางวันและกลางคืน โดยเฉพาะรังสีที่เกิดเวลากลางคืน (Nocturnal radiation) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสมดุลความร้อนของโลก (รังสรรค์ อากาศพิภวะกุล, 2547)

รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่บรรยากาศสามารถตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Pyrgeometer และสามารถคำนวณหาการหาปริมาณรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่บรรยากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 (Montague และ Kjelgren, 2004)

$$R_{lu} = \sigma \epsilon T_a^4 \quad (2.5)$$

โดย  $\epsilon$  คือ ค่าการปลดปล่อยรังสีพื้นผิว (Surface emissivity) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นผิว ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าการปลดปล่อยรังสีพื้นผิว

สิ่งปกคลุมดิน	ประเภท	ค่าการปลดปล่อยรังสีพื้นผิว
แหล่งน้ำ	-	0.92-0.97
หิมะ	เก่า	0.82-0.89
	ใหม่	0.90-0.99
น้ำแข็ง	น้ำทะเล	0.92-0.97
ทราย	แห้ง	0.84-0.90
	เปียก	0.91-0.95
ดิน	ดินเหนียวแห้ง	0.95
	ดินเหนียวเปียก	0.97
พื้นผิว	คอนกรีต	0.71-0.88
	พื้นผิวถนนสีดำ	0.88-0.95
หญ้า	ยาว (1 เมตร)	0.90
	สั้น (0.02 เมตร)	0.95
พื้นที่เกษตรกรรม	ข้าว	0.90-0.99
ป่าไม้	ผลัดใบ	0.97-0.97
	ไม่ผลัดใบ	0.97-0.99

ที่มา: ดัดแปลงจาก Arya, 2001

## 2.2 สมดุลความร้อน (Heat balance)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่โลก รังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ และบางส่วนจะเหลืออยู่บริเวณใกล้พื้นผิวของโลก ซึ่งความร้อนที่เหลืออยู่นี้จะมีการรักษาสมดุลความร้อน ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Law of conservation of energy) ที่กล่าวโดยสรุปว่า พลังงานไม่สูญหาย นอกจากจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานอย่างอื่น (สมพงษ์ ใจดี, 2540) โดยความร้อนที่เหลืออยู่ใกล้พื้นผิวของโลกหรือรังสีสุทธิจะใช้ในการเผาผลาญอากาศ ระเหยน้ำ และเก็บไว้บริเวณพื้นผิว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.1 รังสีสุทธิ (Net radiation; $R_n$ )

รังสีสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างรังสีที่โลกได้รับและรังสีที่สะท้อนทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว กล่าวคือ รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ลงมาถึงพื้นผิวโลกมี 2 ลักษณะ คือ รังสีคลื่นสั้น (Shortwave radiation) ซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 4 ไมครอน ได้แก่ รังสีช่วงที่มองเห็น (Visible light) รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ส่วนรังสีคลื่นยาว (Longwave radiation) ได้แก่ รังสีอินฟราเรด คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุ เป็นต้น รังสีคลื่นสั้นนั้นสามารถที่จะสะท้อนกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกได้ (Reflection radiation) ส่วนรังสีคลื่นยาวนั้นจะแผ่รังสีกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลก (Re-radiation) ได้มากในช่วงเวลากลางวัน ถ้าไม่คิดทิศทางเคลื่อนที่ของรังสีดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.6 แต่ถ้าคิดทิศทางเคลื่อนที่ของรังสีดวงอาทิตย์ ควรใช้วิธีคำนวณดังสมการที่ 2.7

$$R_n = R_{sd} - R_{su} + R_{ld} - R_{lu} \quad (2.6)$$

$$R_n = R_{sd} + R_{su} + R_{ld} + R_{lu} \quad (2.7)$$

การหารังสีสุทธิสามารถหาได้โดยตรงจากเครื่อง Net pyrradiometer และหาจากการคำนวณซึ่ง USEPA (1999) ได้เสนอวิธีการคำนวณโดยรังสีสุทธิมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (A) รังสีของโลก ( $R_g$ ) อุณหภูมิอากาศ (Ambient temperature; T) ในหน่วยเคลวิน และสัดส่วนเมฆ (Fractional cloud cover ;  $N_f$ ) แสดงดังสมการที่ 2.8

$$R_n = [(1-A) R_g + c_1 T^6 - \sigma_{SB} T^4 + c_2 N_f] / (1+c_3) \quad (2.8)$$

เมื่อ  $c_1$  มีค่า  $5.31 \times 10^{-13}$  วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเคลวิน<sup>6</sup>  $c_2$  มีค่า 60 วัตต์ต่อตารางเมตร  $c_3$  มีค่า 0.12 และ  $\sigma_{SB}$  คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman มีค่า  $5.67 \times 10^{-8}$  วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเคลวิน<sup>4</sup>

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เข้ามาในโลกมีทั้งรังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาว ในขณะเดียวกัน รังสีดวงอาทิตย์ทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาวก็สะท้อนออกสู่อากาศเช่นกัน ความร้อนที่เหลือบริเวณพื้นผิวของโลก ก็คือ รังสีสุทธิ นั่นเอง ความร้อนที่เหลืออยู่บริเวณพื้นผิวของโลกส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในหลายทางด้วยกัน คือ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะนำไปใช้เป็นการระเหยน้ำ (Latent heat of evaporation; LE) ส่วนที่เหลือจะนำไปใช้ในการเผาผลาญอากาศให้ร้อนขึ้น (Sensible heat; H) ไหลลงสู่ผิวดิน (Soil heat flux; G) ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช (Photosynthesis; Ph) ใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism; M) และเก็บเอาไว้ในวัสดุพื้นผิว (Heat storage; S) (วิชา นิยม, 2535) โดยสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.9 ซึ่งการที่รังสีสุทธิเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ เรียกว่า “สมดุลความร้อน”

$$R_n = LE + H + G + Ph + M + S \quad (2.9)$$

สำหรับพื้นที่เกษตรกรรม มีปริมาณความร้อนที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม และความร้อนที่เก็บเอาไว้ในวัสดุพื้นผิว มีปริมาณน้อยมาก (วิชานิชยม, 2535) เขียนเป็นสมการที่ 2.10

$$R_n = H + LE + G \quad (2.10)$$

สำหรับในเขตเมือง Masson, Grimmond และ Oke (2002) ได้เสนอสมการที่ 2.11

$$R_n = H + LE + S \quad (2.11)$$

แต่สำหรับการศึกษาคั้งนี้ในเขตเมืองจะใช้สมการที่ 2.12

$$R_n = H + LE + X \quad (2.12)$$

โดยให้ X คือ ความร้อนพื้นผิว (Surface heat) ซึ่งรวมทั้งความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux; G) ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิว (Heat storage; S) และความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic heat)

### 2.2.2 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (Sensible heat; H)

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเป็นพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนมาจากรังสีสุททิ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศ กล่าวคือ อุณหภูมิอากาศส่วนใหญ่มีผลจากความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ โดยอุณหภูมิอากาศจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณรังสีของโลก (สุรัตน์ บัวเลิศ, 2536)

วิธีศึกษาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่นิยมใช้กันอย่างมาก ได้แก่

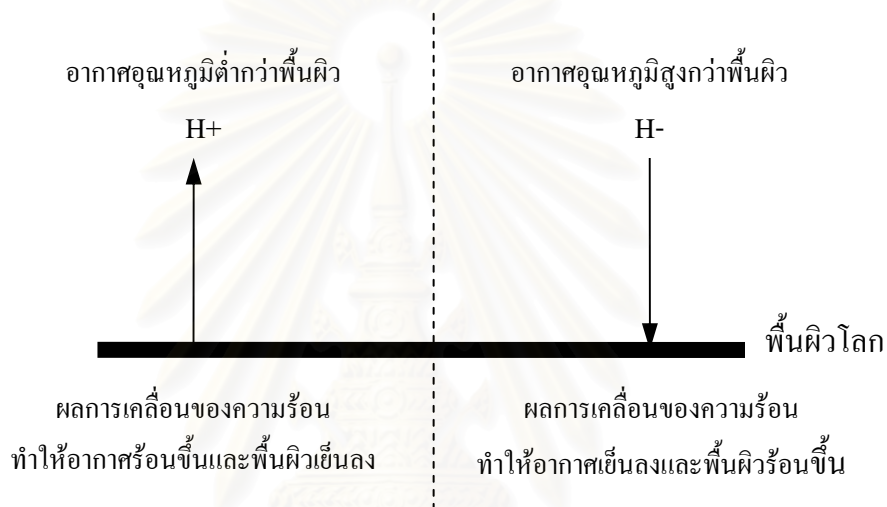
1) วิธี **Eddy correlation** เป็นวิธีที่นิยมและถือว่ามีค่าถูกต้อง โดยมีหลักการคือ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีการเคลื่อนที่ของอากาศใกล้พื้นผิวในลักษณะของการปั่นป่วน (Eddy motion) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแนวตั้ง (Vertical velocity fluctuation;  $W'$ ) ในหน่วย เมตรต่อวินาที และความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature fluctuation;  $T'$ ) ในหน่วยเคลวิน ซึ่งทำการศึกษาในระยะเวลาสั้นๆ (Oke, 1978) ดังสมการที่ 2.13-2.15

$$H = \rho C_p \overline{W'T'} \quad (2.13)$$

$$W' = W - \overline{W} \quad (2.14)$$

$$T' = T - \overline{T} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ (Air density) มีค่า 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  $C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat flux) มีค่า 1,004 จูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน และ  $\overline{W'T'}$  คือ ความแปรปรวน (Covariance) ของความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแนวตั้ง และความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ  
ที่มา: ดัดแปลงจาก Lemke, 2003

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศแบบสุทธิ (Net sensible heat) มีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร จะมีทิศทางการเคลื่อนที่แบบยกตัวขึ้น อันเป็นผลมาจากความร้อนที่การยกตัวขึ้น (Buoyant thermal) จึงส่งผลให้พื้นผิวของโลกสูญเสียความร้อน ส่วนอากาศได้รับความร้อน ทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ส่วนพื้นผิวของโลกอุณหภูมิลดต่ำลง แม้ว่าจะมีทั้งทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบยกตัวขึ้น ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศดังกล่าวเป็นการแสดงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัว (Unstable condition)

หากความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศสุทธินี้น้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร แม้ว่าความร้อนดังกล่าวจะมีทั้งยกตัวขึ้นและกดตัวลง แต่ทิศทางการเคลื่อนที่หลักในช่วงเวลาที่ศึกษา จะเคลื่อนที่จากอากาศสู่พื้นผิว นั่นคือ พื้นผิวของโลกได้รับความร้อน ส่วนอากาศสูญเสียความร้อน ทำให้อุณหภูมิอากาศลดต่ำลง ส่วนพื้นผิวของโลกอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในลักษณะนี้เป็นการแสดงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัว (Stable condition)

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าเท่ากับ 0 วัตต์ต่อตารางเมตร จะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแกนตั้งน้อย คือ มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาการศึกษา และไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือ อากาศและพื้นผิวของโลกมีอุณหภูมิเท่ากัน ลักษณะของความร้อนแบบนี้เป็นการแสดงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบกลาง (Neutral condition)

2) วิธีสัดส่วนโบเวน (Bowen ratio) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการใช้ประมาณค่าความร้อนตามหลักสมดุลความร้อน โดยจะใช้สัดส่วนโบเวนซึ่งคือสัดส่วนระหว่างความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศกับความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำ ดังสมการที่ 2.16 สัดส่วนโบเวนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.17 (Wiesner, 1970)

$$B = H / LE \quad (2.16)$$

$$B = 0.006 P (T_s - T_a) / (e_s - e_a) \quad (2.17)$$

เมื่อ P คือ ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)  $T_s$  คือ อุณหภูมิพื้นผิว (องศาเซลเซียส)  $T_a$  คือ อุณหภูมิอากาศที่วัดที่ความสูง z เมตร (องศาเซลเซียส)  $e_a$  คือ ความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ (Actual vapor pressure) (มิลลิบาร์) และ  $e_s$  คือ ความดันไอน้ำที่จุดอิ่มตัวเมื่ออุณหภูมิ  $T_a$  (Saturation vapor pressure) ที่ความสูง z เมตร (มิลลิบาร์)

สำหรับการหาความกดอากาศโดยสามารถทำได้โดยใช้เครื่อง Barometer และอุณหภูมิใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการตรวจวัด ส่วนความดันไอน้ำที่อิ่มตัวเมื่ออุณหภูมิอากาศ ( $T_a$ ) ใช้การเปิดตารางความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและความดันไอน้ำอิ่มตัว ดังตารางที่ 2.4 ในส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศสามารถหาได้จากการคำนวณดังสมการที่ 2.18

$$RH = e_a 100 / e_s \quad (2.18)$$

สัดส่วนโบเวนจากสมการที่ 2.17 เป็นการหาค่าสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่อความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ซึ่งสามารถหาค่าดังกล่าวได้จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความชื้นในที่สูงที่แตกต่างกัน โดย Sellers (1965) ได้แสดงค่าสัดส่วนโบเวนโดยแยกตามลักษณะภูมิประเทศต่างๆ ดังตารางที่ 2.5 และ USEPA (1999) ได้แสดงสัดส่วนโบเวนเฉลี่ยในเวลากลางวัน โดยแบ่งตามลักษณะสิ่งปกคลุมดิน และฤดูกาล ดังตารางที่ 2.6



ตารางที่ 2.4 ความดันไอน้ำอิ่มตัวและอุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ความดันไอน้ำอิ่มตัว (mb)									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
19	21.964	22.101	22.24	22.379	22.518	22.659	22.8	22.942	23.085	23.229
20	23.373	23.518	23.664	23.811	23.959	24.107	24.256	24.406	24.557	24.709
21	24.861	25.014	25.168	25.323	25.479	25.635	25.792	25.95	26.109	26.269
22	26.43	26.592	26.754	26.918	27.082	27.247	27.413	27.58	27.748	27.916
23	28.086	28.256	28.428	28.6	28.773	28.947	29.122	29.298	29.475	29.652
24	29.831	30.011	30.191	30.373	30.555	30.739	30.923	31.109	31.295	31.483
25	31.671	31.86	32.05	32.242	32.434	32.627	32.821	33.016	33.212	33.41
26	33.608	33.807	34.008	34.209	34.411	34.615	34.82	35.025	35.323	35.44
27	35.649	35.859	36.07	36.282	36.495	36.709	36.924	37.14	37.358	37.576
28	37.796	38.017	38.239	38.462	38.686	38.911	39.137	39.365	39.594	39.824
29	40.055	40.287	40.521	40.755	40.991	41.228	41.466	41.705	41.945	42.187
30	42.43	42.674	42.919	43.166	43.414	43.663	43.913	44.165	44.418	44.672
31	44.927	45.184	45.442	45.701	45.961	46.223	46.486	46.75	47.016	47.283
32	47.551	47.82	48.091	48.364	48.637	48.912	49.188	49.466	49.745	50.025
33	50.307	50.59	50.874	51.16	51.447	51.736	52.026	52.317	52.61	52.904
34	53.200	53.497	53.796	54.096	54.397	54.7	55.004	55.31	55.617	55.926

ที่มา: สอนง สารพันธ์, 2538

สำหรับการหาค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 2.19 (Oke, 1978) สมการที่ 2.20 (USEPA, 1999) และเมื่อให้ค่าคงที่  $C_x$  มีค่า 0.1 (Oke, 1978) คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2.21

$$H = B (R_n - X) / (1 + B) \quad (2.19)$$

$$H = (1 - C_x) R_n / (1 + (1/B)) \quad (2.20)$$

$$H = 0.9 R_n / (1 + (1/B)) \quad (2.21)$$

เมื่อ  $C_x$  คือ สัดส่วนความร้อนพื้นผิวต่อรังสีสุทธิ ( $X/R_n$ )

ตารางที่ 2.5 สัดส่วนโบเวนเฉลี่ยในภูมิภาคต่างๆ

ภูมิภาค	สัดส่วนโบเวน
ยุโรป	0.62
เอเชีย	1.14
อเมริกาเหนือ	0.74
อเมริกาใต้	0.56
แอฟริกา	1.61
ออสเตรเลีย	2.18
มหาสมุทรแอตแลนติก	0.11
มหาสมุทรอินเดีย	0.09
มหาสมุทรแปซิฟิก	0.10
ทวีปทั้งหมด	0.96
มหาสมุทรทั้งหมด	0.11

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sellers, 1965

ตารางที่ 2.6 สัดส่วนโบเวนเฉลี่ยในเวลากลางวัน แบ่งตามสิ่งปกคลุมดิน และฤดูกาล

สิ่งปกคลุมดิน	สัดส่วนโบเวน		
	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
แหล่งน้ำ (น้ำจืด และน้ำทะเล)	0.1	0.1	0.1
ป่าผลัดใบ	1.0	0.7	0.3
ป่าไม่ผลัดใบ	0.8	0.7	0.3
พื้นที่ชุ่มน้ำ	0.1	0.1	0.1
พื้นที่เกษตรกรรม	0.7	0.3	0.5
พื้นที่หญ้า	1.0	0.4	0.8
เขตเมือง	2.0	1.0	2.0
ทะเลทราย	6.0	3.0	4.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก USEPA, 1999

สำหรับผลของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่สำคัญคือ เมื่อความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศจะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิอากาศจะลดลง ทั้งนี้ อุณหภูมิอากาศ หมายถึง ระดับความร้อนที่บอกได้เป็นตัวเลขแน่นอนขึ้นเพื่อชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเคลื่อนย้ายความร้อนด้วยกระบวนการพาความร้อน (Convection) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศส่วนใหญ่มีผลมาจากความร้อนในการเผาผลาญอากาศ โดยอุณหภูมิอากาศจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณรังสีที่โลกได้รับ (สุรตน์ บัวเลิศ, 2536) เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิของอากาศ คือ เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ซึ่งอาศัยสมบัติทางฟิสิกส์ของสสารที่ว่า สสารซึ่งจะเป็นของแข็งของเหลว หรือก๊าซ เมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิจะสูงขึ้น สสารจะมีการขยายตัวมากขึ้น เทอร์โมมิเตอร์นี้จะวางอยู่ในเรือนเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer screen) ขาดังสูงจากพื้นดิน 1.25-2.00 เมตร (วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ, 2540) มีหน่วยวัดองศาเป็นองศาเซลเซียส องศาฟาเรนไฮต์ หรือเคลวิน

นอกจากความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีผลต่ออุณหภูมิอากาศโดยตรง และสภาพอากาศแต่ละฤดูก็เป็นปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในแต่ละฤดู เช่น ปริมาณเมฆในท้องฟ้าที่แตกต่างกัน ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งหรือมีเมฆเล็กน้อย ผิวโลกจะสูญเสียความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิอากาศไม่สูงมากนัก แต่วันที่มีเมฆมาก อากาศจะค่อนข้างร้อนอบอ้าวมากกว่าปกติ เนื่องจากเมฆจะเป็นตัวกักความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากผิวโลกได้ (ณัฐ พิษกรรม และเกษม จันทร์แก้ว, 2543)

### 2.2.3 ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Latent heat of evaporation)

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนมาจากรังสีสุทธิต่อ เพื่อเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวระเหยสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซ ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลว 1 กรัม กลายเป็นไอน้ำ ต้องใช้พลังงานประมาณ 580 แคลอรีโดยพลังงานความร้อนนี้จะทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นสะเทือนและสามารถเคลื่อนที่ออกจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและแรงดึงดูดของน้ำได้จนกลายเป็นไอน้ำในที่สุด (สุรตน์ บัวเลิศ, 2536) ทั้งนี้สภาพลมฟ้าอากาศ เช่น อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ความแตกต่างระหว่างความดันไอ ความชื้นในบรรยากาศ พลังงานจากดวงอาทิตย์ การเคลื่อนที่ของลม ระดับความสูง และความกดอากาศล้วนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระเหยน้ำทั้งสิ้น (นิวัติ เรืองพานิช, 2547)

สำหรับการศึกษาความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำนั้น สามารถหาได้จากวิธีตรวจวัดจากเครื่องมือโดยตรง คือ ใช้ถาดวัดการระเหยน้ำแบบ U.S. Weather Bureau Class A Pan ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กัน ถ้าหากมีระเหยของน้ำ จะทำให้ระดับน้ำต่ำกว่าปกติ แต่ถ้ามีฝนตก จะทำให้ระดับน้ำมีค่าสูงกว่าปกติ ทั้งนี้จะต้องทำการหักลบกับเครื่องวัดน้ำฝน จึงจะได้ค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (นิวัติ เรืองพานิช, 2547) สำหรับสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจะทำการตรวจวัด

เพียงวันละ 1 ครั้ง คือ เวลา 18.00 น. โดยการวัดระดับน้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และอีกวิธี คือ การคำนวณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำที่นิยมใช้กันอย่างมาก ได้แก่

1) วิธี **Eddy correlation** เป็นวิธีที่ศึกษาว่า ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีการเคลื่อนที่ของอากาศใกล้พื้นผิวในลักษณะของการปั่นป่วน (Eddy motion) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแนวตั้ง (Vertical velocity fluctuation;  $W'$ ) ในหน่วยเมตรต่อวินาที และความเปลี่ยนแปลงของความชื้นจำเพาะ (Specific humidity fluctuation;  $q'$ ) ซึ่งทำการศึกษาในระยะเวลาสั้นๆ (Oke, 1978) ดังสมการที่ 2.22-2.23

$$LE = \rho L_v \overline{W'q'} \quad (2.22)$$

$$q' = q - \bar{q} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $L_v$  คือ ความร้อนที่ใช้ในการกลายเป็นไอน้ำ (Latent heat of vaporization) มีค่า  $2.44 \times 10^6$  จูลต่อกิโลกรัม  $\overline{W'q'}$  คือ ความแปรปรวน (Covariance) ของความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแนวตั้ง และความเปลี่ยนแปลงของความชื้นจำเพาะ

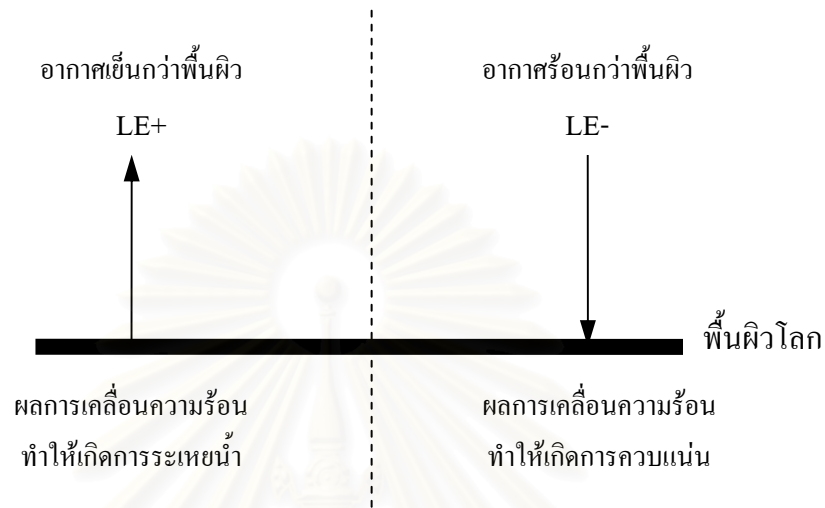
การหาความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความชื้นจำเพาะ (Specific humidity;  $q$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศชั้นต่อมวลอากาศทั้งหมดของอากาศ โดยมีความสัมพันธ์กับความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ( $e_a$ ) และความดันไอน้ำอิ่มตัว ( $e_s$ ) ซึ่งมีหน่วยมิลลิบาร์ (รังสรรค์ อากาศัพพะกุล, 2547; Arya, 2001) ซึ่งความชื้นจำเพาะแสดงดังสมการที่ 2.24 ความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศและความดันไอน้ำอิ่มตัวมีความสัมพันธ์กันกับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity; RH) ดังสมการที่ 2.18

$$q = 0.622 e_a / P \quad (2.24)$$

หากมีความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำมาก น้ำจะระเหยมาก และถ้าอุณหภูมิอากาศและอากาศเท่ากัน อัตราการกลายเป็นไอ (Vaporization) และการกลั่นตัว (Condensation) จะเท่ากัน กล่าวคือ อากาศจะอิ่มตัวไปด้วยไอน้ำ ( $e_s = e_a$ ) ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ การระเหยน้ำก็จะไม่เกิดขึ้น (นิวัติ เรืองพานิช, 2547)

ถ้าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร จะเกิดการระเหยของน้ำขึ้น ความร้อนในการระเหยน้ำนี้จะเคลื่อนจากพื้นผิวของโลกสู่บรรยากาศ ทำให้พื้นผิวของโลกสูญเสียความร้อน อุณหภูมิพื้นผิวจึงต่ำลง และบรรยากาศได้รับพลังงาน แต่ไม่ทำให้อากาศร้อนขึ้น เพราะความร้อนนั้นคือ ความร้อนแฝง จึงไม่สามารถวัดความร้อนดังกล่าวได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ แต่ถ้าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร จะเกิดการ

ควบแน่นขึ้น ไอน้ำที่เป็นส่วนหนึ่งของบรรยากาศเกิดการควบแน่นขึ้นบริเวณพื้นผิวโลก แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศจะไม่เย็นลงเนื่องจากพลังงานดังกล่าวเป็นความร้อนแฝง อุณหภูมิของอากาศจึงคงเดิม ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจะเกิดขึ้น และลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีไอน้ำในบรรยากาศ และเริ่มเกิดความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่อไป แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lemke, 2003

2) วิธีสัดส่วนโบเวน (Bowen ratio) เป็นวิธีที่ใช้ตามหลักการสมดุลความร้อน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสามารถหาได้ดังสมการที่ 2.25 (Oke, 1978) หรือสมการที่ 2.26 (Lockwood, 1974)

$$LE = (R_n - X) / (1 + B) \quad (2.25)$$

$$LE = (1 - C_x) R_n / (1+B) \quad (2.26)$$

#### 2.2.4 ความร้อนพื้นผิว (Surface heat; X)

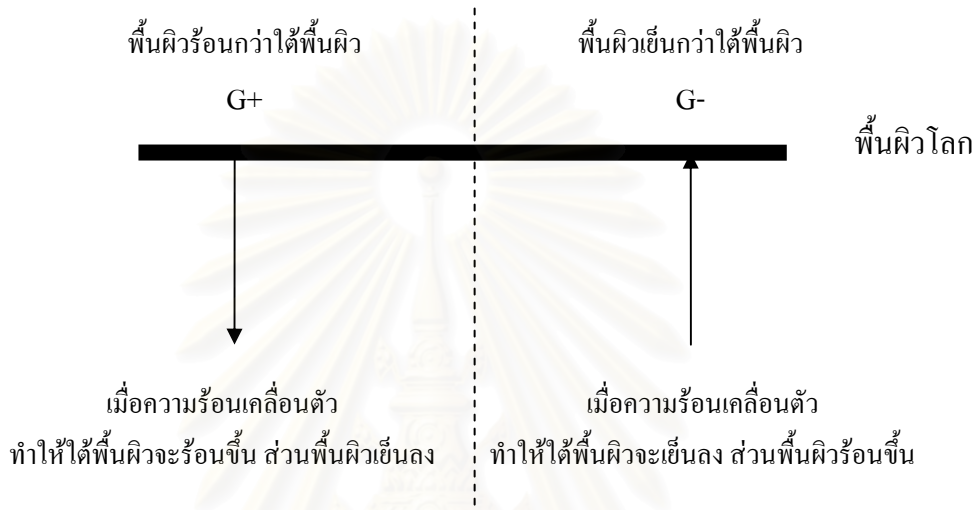
ความร้อนพื้นผิวเป็นพลังงานความร้อนจากรังสีสุทธิที่เปลี่ยน โดยเก็บไว้บริเวณพื้นผิว ซึ่งประกอบด้วยความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat; G) ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิว (Heat storage; S) รวมถึงความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic heat;  $Q_f$ ) แสดงดังสมการที่ 2.27 ถ้าสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นพื้นดิน ความร้อนพื้นผิวจะอยู่ในรูปของความร้อนที่เก็บไว้ในดิน ดังสมการที่ 2.28 แต่ถ้าสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นสิ่งปลูกสร้าง ความร้อนพื้นผิวจะอยู่ในรูปของความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุ ดังสมการที่ 2.29

$$X = G + S - Q_f \quad (2.27)$$

$$X = G \quad (2.28)$$

$$X = S \quad (2.29)$$

1) ความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat; G) เป็นความร้อนที่แลกเปลี่ยนระหว่างพื้นผิวโลกและใต้พื้นผิว (Subsurface) ความร้อนเหล่านี้ส่งผลต่ออุณหภูมิของดิน ถ้าความร้อนที่เก็บไว้ในดินมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นผิวของโลกจะเย็นลง ในขณะที่ใต้พื้นผิวจะร้อนขึ้น แต่ถ้าความร้อนที่เก็บไว้ในดินมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นผิวของโลกจะร้อนขึ้น แต่ใต้พื้นผิวจะเย็นลง เนื่องจากใต้พื้นผิวประกอบไปด้วยดินและหินซึ่งเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่เก็บไว้ในดิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lemke, 2003

โดยปกติแล้วในเวลากลางวัน อุณหภูมิดินจะลดลงตามความลึกจากพื้นผิว นั่นคือความร้อนจะเคลื่อนจากพื้นผิวลงสู่ดินโดยการนำความร้อน (Thermal conduction) จากอุณหภูมิสูงสู่อุณหภูมิต่ำ ส่วนเวลากลางคืน บริเวณพื้นผิวจะเย็นตัวลง ความร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นจากดินด้านล่างสู่พื้นผิวด้านบน ซึ่งสามารถหาความร้อนที่เก็บไว้ในดินจากสมการที่ 2.30 (Oke, 1978)

$$G = -k_s(T_2 - T_1) / (z_2 - z_1) \quad (2.30)$$

เมื่อ  $k_s$  คือ การนำความร้อนของดิน (Thermal conductivity) มีหน่วย วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน แสดงดังตารางที่ 2.7  $T_n$  คือ อุณหภูมิดิน ณ ตำแหน่งที่  $n$  มีหน่วยเคลวิน ส่วน  $z_n$  คือ ระยะความลึกจากพื้นผิว ณ ตำแหน่งที่  $n$  มีหน่วย เมตร

ตารางที่ 2.7 การนำความร้อนของวัสดุธรรมชาติ

วัสดุธรรมชาติ	ประเภท	การนำความร้อน ของวัสดุธรรมชาติ ( $W m^{-1} K^{-1}$ )
ดินทราย (Sandy soil)	แห้ง	0.30
	อิมตัว	2.20
ดินเหนียว (Clay soil)	แห้ง	0.25
	อิมตัว	1.58
ดินถ่าน (Peat soil)	แห้ง	0.06
	อิมตัว	0.50
หิมะ (Snow)	ใหม่	0.08
	เก่า	0.42
น้ำแข็ง (Ice)	0 °C	2.24
น้ำ (Water)	4 °C	0.57
อากาศ (Air)	10 °C	0.025

ที่มา: ดัดแปลงจาก Oke, 1978

2) ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิว (Heat storage; S) เป็นความร้อนที่วัสดุพื้นผิวเก็บไว้ มักพบมากในพื้นที่เขตเมือง ซึ่งวัสดุพื้นผิวจะเก็บความร้อนในรูปของความจุความร้อน (Heat capacity) ทั้งนี้ขึ้นกับค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ถ้าค่าการนำความร้อนของวัสดุพื้นผิวมีค่าต่ำ ความร้อนจะอยู่ในวัสดุพื้นผิวน้อย ทำให้อุณหภูมิอากาศสูง ซึ่งพบมากในเวลากลางวัน แต่ถ้าค่าการนำความร้อนของวัสดุพื้นผิวมีค่าสูง จะมีการเก็บสะสมความร้อนไว้ในวัสดุพื้นผิว และจะปลดปล่อยเป็นรังสีอินฟราเรดในเวลากลางคืน ส่งผลให้อุณหภูมิสูง (Asaeda, Ca และ Wake, 1996) และเมื่อสิ่งปกคลุมดินแตกต่างกันย่อมมีผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวด้วย (กาญจน์เขจร ชูชีพ, 2543) สำหรับค่าการนำความร้อนแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุพื้นผิว ซึ่งคือ ความสามารถของวัสดุพื้นผิวในการเก็บความร้อน 1 เคลวิน เมื่อผ่านวัสดุระยะทาง 1 เมตร มีหน่วย วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การนำความร้อนของวัสดุพื้นผิว

วัสดุพื้นผิว	ประเภท	การนำความร้อน ของวัสดุพื้นผิว ( $W m^{-1} K^{-1}$ )
คอนกรีต (Concrete)	มีการให้อากาศ	0.08
	หนาแน่น	1.51
หิน (Stone)	เฉื่อย	2.19
อิฐ (Brick)	เฉื่อย	0.83
ไม้ (Wood)	เบาบาง	0.09
	หนาแน่น	0.19
เหล็ก (Steel)	-	53.3
แก้ว (Glass)	-	0.74
ปูน (Plaster)	ยิปซั่ม	0.46
แผ่นยิปซั่ม (Gypsum board)	เฉื่อย	0.27
ฉนวนกันความร้อน (Insulation)	โพลีสไตรีน	0.03

ที่มา: ดัดแปลงจาก Oke, 1978

สำหรับการหาค่าความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวนั้นสามารถวัดโดยตรง โดยใช้ Heat flux plate (Anandakumar, 1999) หรือสามารถหาจากสมการสมดุลความร้อน ดังสมการที่ 2.11

Oke, Kalanda และ Steyn (1981) ได้ศึกษาความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวในเขตเมืองพบว่า ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับรังสีสุทธิ และพบว่า สัดส่วนความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวต่อรังสีสุทธิในเวลากลางวันและเวลากลางคืนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-0.52 และ 0.54-0.88 ตามลำดับ นอกจากนี้ ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินระหว่างพื้นที่สีเขียวและพื้นที่สิ่งปลูกสร้างอีกด้วย ในขณะที่ Asaeda Ca และ Wake (1996) ได้ศึกษาความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวและการส่งผลกระทบต่อบรรยากาศชั้นล่าง พบว่า มีความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวของพื้นยางมะตอยน้อยกว่าพื้นคอนกรีต เนื่องจากค่าความร้อนจำเพาะของยางมะตอย (1.42 จูลต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อองศาเซลเซียส) มีค่าน้อยกว่าคอนกรีต (2.07 จูลต่อลูกบาศก์เซนติเมตรต่อองศาเซลเซียส) นั่นคือ ยางมะตอยรับความร้อนได้น้อยกว่าคอนกรีต เมื่อวัสดุทั้งสองมีปริมาตรเท่ากัน อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวของยางมะตอยมีค่าสูงกว่าคอนกรีต และพบว่าบนพื้นยางมะตอยมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ 200 วัตต์ต่อตารางเมตร สามารถปลดปล่อยออกเป็นรังสีอินฟราเรดสูงถึง 150 วัตต์ต่อตารางเมตร อันส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศใกล้พื้นดิน



3) ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic heat;  $Q_a$ ) เป็นความร้อนที่มีความสำคัญต่อสมดุลความร้อนของเมืองอย่างยิ่ง ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งเสริมให้มีความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์อยู่ 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

(1) ความหนาแน่นของประชากร ถ้าในบริเวณเมืองที่มีประชากรความหนาแน่นมาก ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ย่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของประชากรในเขตใจกลางเมืองในวันทำงานจะมีมาก เช่น การเข้ามาของประชากรต่างถิ่นเพื่อซื้อของในเวลากลางวัน และพบว่า เมืองใหญ่ๆ ในเวลากลางวันจะมีประชากรสูงถึง 50-100 เปอร์เซ็นต์ของประชากรที่ตั้งถิ่นฐานในเมือง

(2) การปลดปล่อยมลสารจากรถยนต์ สำหรับการประเมินค่าความร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยมลสารจากรถยนต์นั้นทำได้ยาก ซึ่งจะต้องทำการศึกษารถจราจรทั้งในถนนหลักและถนนรองในบริเวณเขตเมืองในรูปของจำนวนรถยนต์ และระยะทางของถนน รวมถึงศึกษาพลังงานที่รถยนต์ใช้ต่อระยะทางต่อรถยนต์ 1 คัน

(3) ลักษณะการใช้ประโยชน์ของอาคาร ภายในอาคารจะมีอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ ฯลฯ ซึ่งความร้อนที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้จะออกจากอาคารสู่สิ่งแวดล้อม

(4) กระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ทั้งคนและสัตว์ต่างก็เป็นแหล่งปลดปล่อยความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับการศึกษาเรื่องนี้พบว่า ค่าความร้อนจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของคนมีค่าไม่คงที่ในแต่ละวัน เช่น ในแต่ละวัน คนน้ำหนัก 70 กิโลกรัม มีการปลดปล่อยความร้อนจากการนอน 70 วัตต์ การนั่ง 115 วัตต์ การเดิน 230 วัตต์ หากทำกิจกรรมหนักอื่นๆ อาจมากกว่า 300 วัตต์ มีค่าเฉลี่ย 175 วัตต์ ในเวลากลางวัน และ 75 วัตต์ ในเวลากลางคืน ซึ่งในเมืองส่วนมากจะพบความร้อนประเภทนี้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนทั้งหมด

Ichinose, Shimodozono, และ Hanaki (1999) ศึกษาผลกระทบจากความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อภูมิอากาศในเขตเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น โดยศึกษาจากข้อมูลสถิติพลังงานและข้อมูลสิ่งปกคลุมดินทางภูมิศาสตร์แบบดิจิทัล (Digital geographic land use data) พบว่า ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ในบริเวณใจกลางเมืองโตเกียว มีค่าสูงถึง 400 วัตต์ต่อตารางเมตร ในเวลากลางวัน และมีค่ามากที่สุด 1,590 วัตต์ต่อตารางเมตร ในฤดูหนาว ในขณะที่ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์บริเวณบ้านเรือนพักอาศัยในเขตชานเมืองมีค่าประมาณ 30 วัตต์ต่อตารางเมตร ในเวลากลางคืน ทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองในฤดูหนาว เนื่องจากลมทะเลจากอ่าวโตเกียวมีกำลังน้อยโดยเฉพาะเวลา 20.00 น. ของเมือง Otemachi, Shinjuku และ Ikebukuro ส่วน Sailor และ Lu (2004) ได้ศึกษาวิธีการหาความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ 6 เมืองของสหรัฐอเมริกา พบว่า ในแต่ละวัน มีความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์สูงในช่วงเวลาเช้า และเวลาเย็น โดยสำหรับฤดูร้อนมีค่าสูงถึง 60 วัตต์ต่อตารางเมตร และในฤดูหนาวจะมีค่าสูงสุดถึง 75 วัตต์ต่อตารางเมตร นอกจากนี้ ในเวลา

กลางวันของเมือง San Francisco พบว่า มีประชากรมากกว่าเวลาปกติ 5-10 เท่า ในขณะที่พบความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ในเวลากลางวันมากกว่าเวลาปกติ 5-10 เท่าเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม Oke (1978) ได้เสนอว่า พื้นที่ชนบทที่ห่างจากแหล่งชุมชนสามารถตัดค่าความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ไปได้ ในขณะที่เขตเมืองหนาแน่นไม่ควรตัดค่าดังกล่าวทิ้งได้ ทั้งนี้ โดยแสดงการประมาณค่าความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ของเขตเมืองในทวีปเอเชีย โดยที่ฮ่องกง และสิงคโปร์มีค่าเฉลี่ย 4 และ 3 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยมาก สำหรับการศึกษาครั้งนี้จึงให้ค่าดังกล่าวเท่ากับ 0 วัตต์ต่อตารางเมตร

## 2.3 ผลของสิ่งปกคลุมดินต่อสมดุลความร้อน

ผลของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองมีผลต่อสมดุลความร้อนซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศภายในเมืองนั้นๆ นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.3.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

ผลของสิ่งปกคลุมดินมีผลต่อภูมิอากาศพื้นผิว (Microclimate) ในแต่ละประเภทของสิ่งปกคลุมดิน โดยเฉพาะสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง ที่มีทั้งพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ถนน แหล่งน้ำ และพื้นที่สีเขียว เมื่อสิ่งปกคลุมดินได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมา จะมีกระบวนการทางความร้อนทั้งการพาความร้อนของอากาศ การนำความร้อนของสิ่งปกคลุมดินตามธรรมชาติ และวัสดุพื้นผิว อีกทั้งมีการเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้ในการระเหยน้ำ และการปลดปล่อยรังสีความร้อน (Re-radiation) สำหรับสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเขตเมืองจะมีการนำความร้อนได้ดี ทำให้มีการเก็บความร้อนไว้ในวัสดุพื้นผิว อุณหภูมิพื้นผิวสูง ประกอบกับการมีรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่บรรยากาศและความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในเขตเมืองนั้น เริ่มต้นจากการตัดไม้ทำลายป่า โดย Giambelluca และคณะ (1999) ได้ศึกษาสมดุลความร้อนบริเวณพื้นที่ป่าไม้ จังหวัดเชียงใหม่ ในฤดูร้อน พบว่า พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลายมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์สูงกว่าพื้นที่ป่าไม้ อันจะทำให้รังสีสุทธิในเวลากลางวันมีค่าน้อยลงตามลักษณะของสิ่งปกคลุมดิน และอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่พื้นที่ป่าทดแทน 25 ปีมีลักษณะของรังสีคล้ายกับป่าดั้งเดิม โดยจะเห็นว่า การตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินมีผลต่อสมดุลความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ในเขตเมือง ประเภทของวัสดุพื้นผิวมีผลต่อสมดุลความร้อน โดย Montague และ Kjelgren (2004) ได้ศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินทั่วไปในเขตเมือง รัฐยูทาห์ สหรัฐอเมริกา 6 ชนิด ได้แก่ ยางมะตอย หินกรวดหินลาวา คอนกรีต ไม้สน และสนามหญ้า ในฤดูร้อน พบว่า

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของคอนกรีตมีค่าสูงที่สุด และหินลาวามีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่การนำความร้อนของยางมะตอยมีค่าสูงที่สุด และหินลาวากับไม้สนมีค่าต่ำที่สุด ความร้อนที่เก็บไว้ในดินมีค่าสูงสุดที่ได้พื้นผิวของยางมะตอยและคอนกรีต โดยมีค่าน้อยสุดที่ได้พื้นผิวหินลาวา และไม้สน นอกจากนี้ ยังพบว่า ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น และชั้นเรือนยอด (Canopy) ของต้นไม้ที่ใหญ่ จะช่วยลดสัดส่วนของรังสีคลื่นยาวที่เข้าสู่พื้นโลก ซึ่งเป็นการลดความร้อนในเขตถึงปลูกสร้างอีกด้วย เช่นเดียวกับ Hoyano และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของรูปแบบ และวัสดุของเมืองต่อความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ในเขตเมืองใหม่ Tama พบว่า มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในเวลากลางวันของวันที่อากาศปลอดโปร่ง ฤดูร้อน มีค่าระหว่าง 130 – 300 วัตต์ต่อตารางเมตร วัสดุพื้นผิวในเขตเมืองนี้ส่งผลต่อความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ในขณะที่เวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีเพียง 20 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับในเขตเมืองที่มีรูปแบบขนาน (Parallel plot) แบบเส้นทแยงมุม (Diagonal plot) ในขณะที่ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในเขตเมืองที่เรียงตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square plot-planned block) มีค่าน้อยมาก -20 วัตต์ต่อตารางเมตร

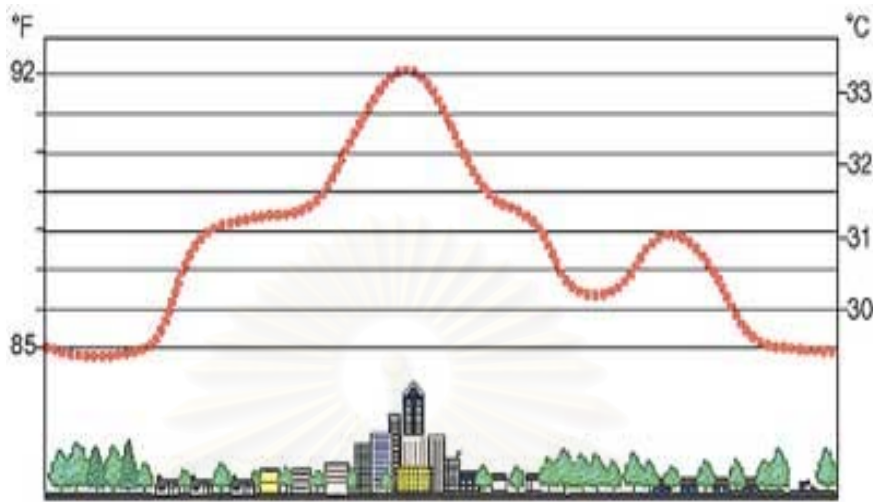
ในเขตเมืองมีสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกัน นอกจากจะส่งผลต่อสมดุลความร้อนแล้วยังส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ โดยที่ กาญจน์เขจร ชูชีพ (2543) ได้ศึกษาสภาพเมืองและการประมาณหาอุณหภูมิพื้นผิวในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล โดยเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นผิววัตถุแบบฉายด้วยลำแสงอินฟราเรด (Portable infrared thermometer) พบว่า บริเวณที่มีสิ่งปกคลุมพื้นที่ลักษณะเดียวกันเป็นผืนใหญ่ต่อเนื่อง เช่น บริเวณที่มีอาคารบ้านเรือนหนาแน่น หรือแม้แต่บริเวณที่เป็นสวนไม้ยืนต้น มักจะมีเส้นอุณหภูมิเท่า (Isoline) ห่างกัน และมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน หากกระแสลมสงบจะทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวได้ เพราะการถ่ายเทความร้อนไปสู่พื้นที่ข้างเคียงจะไม่ดีเท่าที่ควร และพบว่า บริเวณใจกลางเมืองชั้นในที่เป็นย่านธุรกิจ เช่น ราชเทวี พญาไท ดุสิต พระนคร ปทุมวัน ฯลฯ มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยในช่วงเช้าประมาณ 42.550 องศาเซลเซียส ในขณะที่เขตเมืองชั้นกลางที่เป็นย่านพาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัย มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยแตกต่างกันออกไป โดยเขตบางเขน ดอนเมืองสายไหม และหลักสี่ มีค่าเท่ากับ 42.284 องศาเซลเซียส เขตลาดพร้าว บึงกุ่ม บางกะปิ คันนายาว วังทองหลาง และสะพานสูง มีค่าเท่ากับ 45.488 องศาเซลเซียส และเขตประเวศ พระโขนง และสวนหลวง มีค่าเท่ากับ 40.943 องศาเซลเซียส สำหรับเขตเมืองชั้นนอกหรือชานเมือง เช่น เขตดลิ่งชัน ภาษีเจริญ บางขุนเทียน หนองจอก มีนบุรี ฯลฯ จะมีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยในช่วงเช้าต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส สิ่งปกคลุมดินที่มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำในช่วงเช้า ได้แก่ ต้นไม้ นาข้าว และน้ำ ส่วนสิ่งปกคลุมที่มีอุณหภูมิพื้นผิวสูงเฉลี่ยในช่วงเช้า ได้แก่ วัสดุจำพวกคอนกรีตที่เป็นส่วนประกอบของสิ่งก่อสร้างต่างๆ เช่น อาคาร ถนน ฯลฯ ซึ่งสิ่งปกคลุมเหล่านี้มีผลให้กรุงเทพมหานครมีสภาพเป็นเกาะความร้อนกระจายอยู่ทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่

ส่วน Pichakum และ Chunkao (2002) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวและอุณหภูมิอากาศในเขตเมือง กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน พบว่า อุณหภูมิอากาศสูงพบมากในบริเวณพื้นที่เป็นกลุ่มอาคารหนาแน่น ในขณะที่อุณหภูมิอากาศต่ำพบมากในพื้นที่สีเขียว โดยที่พื้นที่ต้นไม้ และสนามหญ้าสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศได้ โดยที่อุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับพื้นที่สีเขียว ถ้ามีการเพิ่มพื้นที่สีเขียว 10 เปอร์เซ็นต์ ในเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศในฤดูหนาว ร้อนและฝน จะมีค่าลดลง 0.71, 0.68 และ 0.69 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในเวลาเช้าอุณหภูมิอากาศในฤดูหนาว ร้อน และฝน จะมีค่าลดลง 0.21, 0.15 และ 0.13 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งน้ำและพื้นที่ดินเปิดโล่ง กับอุณหภูมิอากาศ ขณะเดียวกับฉัตร พิษกรรม และเกษม จันทร์แก้ว (2543) ได้ศึกษาผลของพื้นที่สีเขียวที่มีต่อการลดอุณหภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร พบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศทั้งสามฤดูมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ในช่วงบ่ายของวันซึ่งเป็นช่วงที่ร้อนที่สุด รูปแบบเส้นแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศมีลักษณะค่อนข้างยุ่งเหยิงและระยะห่างของแต่ละเส้นอุณหภูมิอากาศจะค่อนข้างน้อยใกล้กัน แสดงว่า อุณหภูมิอากาศสูงได้ปรากฏในบริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างอยู่รวมกัน และมีลักษณะของเส้นอุณหภูมิอากาศเป็นรูปแบบเกาะความร้อน การเกิดอุณหภูมิอากาศสูงในบริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างก็เนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่เป็นตัวดูดซับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และปลดปล่อยความร้อนออกมาสู่บรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับกิจกรรมต่างๆ ที่มีมากในช่วงเวลากลางวันอันส่งเสริมให้เกิดความร้อนขึ้น เช่น การปลดปล่อยความร้อนจากการใช้เครื่องทำความเย็นตามอาคารต่างๆ ความร้อนและควันจากยานพาหนะ นอกจากนี้ยังพบว่ากรณีพื้นที่สีเขียวน้อยรอบๆ อาคารและสิ่งก่อสร้าง ทำให้ขาดการคายน้ำของพืชซึ่งเป็นขบวนการที่ช่วยลดอุณหภูมิอากาศลงได้

### 2.3.2 ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

สิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันระหว่างเขตเมืองและชนบท เนื่องจากสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นตึกสูง ประกอบกับการใช้กระจก ส่งผลให้ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มีการสะท้อนในบริเวณเขตเมืองสูง อีกทั้งมีการปลดปล่อยความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์อีกด้วย ในขณะที่เวลากลางคืน ความร้อนที่สะสมไว้ในวัสดุพื้นผิวต่างๆ มีการคายความร้อนออกมาในรูปของรังสีอินฟราเรดอันมีผลต่ออุณหภูมิอากาศในเขตเมืองสูงกว่าในชนบท ปรากฏการณ์ที่ได้กล่าวมานี้ส่งผลให้อุณหภูมิในเมืองสูงกว่าชนบท หรือเรียกว่า เกาะความร้อนของเมือง หรือ โดมความร้อนของเมือง (Urban heat islands; UHI) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดกับเมืองใหญ่ทั่วโลก รวมทั้งกรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ เป็นต้น โดยเมืองไม่จำเป็นต้องมีขนาดของประชากรมาก เพียงแค่ 10,000 คนก็อาจเห็นปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ แม้ว่าปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในเขตเมืองแต่เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่บนโลกแล้วจะเป็นสัดส่วนที่น้อยมาก (พงศ์เทพ วิวรรณนะเดช, 2546)

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง โดยเฉพาะอาคารสูงจะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่รอบนอกถึง 3 องศาเซลเซียส (Griffiths, 1976) แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เกาะความร้อนของเมือง

### 1) สาเหตุของปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ พอประมวลได้ คือ

(1) ในเวลากลางวันที่รังสีดวงอาทิตย์ส่องลงมายังเขตเมือง ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะถูกวัสดุพื้นผิวดูดซับเอาไว้ แต่ในเขตชนบท น้ำที่อยู่ผิวดินจะระเหยขึ้นไปบนท้องฟ้าได้ง่าย ซึ่งก็จะพาเอาความร้อนไปด้วย ดังเช่นเวลาอากาศร้อน ร่างกายจะขับเหงื่อซึ่งเมื่อมีการระเหยจะนำความร้อนไปด้วย ทำให้เรารู้สึกเย็นลง แต่เขตเมืองพื้นดินถูกแทนที่ด้วยถนนหรือทางเท้าคอนกรีต ซึ่งเป็นฉนวนอย่างดีที่กั้นไม่ให้น้ำบนผิวดินระเหยออกมาได้ ความร้อนจึงถูกสะสมบนพื้นดินมากขึ้นเรื่อยๆ

(2) พื้นผิวถนนหรือหลังคาอาคาร ส่วนมากมักจะมีสีเข้มหรือดำ ซึ่งตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์แล้วจะทำให้วัตถุดูดซับความร้อนได้ดีกว่าวัตถุที่มีสีจางหรืออ่อนกว่า จึงทำให้มีการเพิ่มการสะสมของความร้อนในเขตเมืองมากขึ้น

(3) ความร้อนในบรรยากาศส่วนหนึ่งในบริเวณใกล้ผิวดินสามารถทำให้อากาศเย็นลงได้ โดยการคายน้ำจากใบพืชหรือต้นไม้ แต่ผลจากการที่พื้นที่ส่วนมากในเขตเมืองถูกใช้เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ทำให้มีต้นไม้มีน้อยกว่าเขตชนบท ส่งผลให้อากาศในเขตเมืองร้อนกว่าเขตชนบท

(4) ความร้อนจากอาคาร รถยนต์ หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มักพบได้มากในเขตเมืองจะเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิในเขตเมืองให้สูงขึ้น

(5) การที่มีตึกสูงเป็นจำนวนมากในเขตเมืองจะเป็นตัวขวางกั้นการเคลื่อนที่ของลม นอกจากนี้ยังขวางกั้นไม่ให้รังสีจากพื้นดินกระจายสู่บรรยากาศด้วย อันเป็นผลให้การระบายอากาศในเขตเมืองมีน้อย

ความร้อนที่สะสมตัวในเขตเมืองนี้ไม่ได้มีผลเฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น แม้ในเวลากลางคืน ความร้อนจากพื้นผิวถนนและผนังอาคารสิ่งก่อสร้างก็ยังคายออกมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้อากาศในเขตเมืองร้อนตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน นอกจากนี้ยังมีภาวะอื่นๆ ที่ทำให้โลกร้อนขึ้นอยู่แล้ว เช่น ปรากฏการณ์เรือนกระจก อุณหภูมิในเขตเมืองจะร้อนมากขึ้นเรื่อยๆ ตามลักษณะการพัฒนาในเขตเมืองที่ขาดการบริหารจัดการที่ดีเพียงพอ

## 2) ผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

เกาะความร้อนของเมืองซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ในเขตเมืองมีอุณหภูมิสูง อุณหภูมิสูงนี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

### (1) ผลกระทบต่อสุขภาพ

การที่อากาศร้อนมากๆ ย่อมเป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น เด็กและผู้สูงอายุ ในอดีตคลื่นความร้อนในเขตเมืองได้คร่าชีวิตคนไปแล้วเป็นจำนวนมาก ดังเช่นคลื่นความร้อนที่หน้าตอนกลางสหรัฐอเมริกา เมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2538 มีผู้เสียชีวิตรวมกันกว่าพันคน อุณหภูมิที่สูงขึ้นในฤดูร้อนจะเพิ่มอันตรายมากขึ้นหากความชื้นในอากาศมีสูง ซึ่งเป็นภาวะที่พบได้บ่อยในประเทศไทย เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงลักษณะอากาศแบบร้อนอบอ้าว สาเหตุเรื่องนี้อธิบายได้ คือ ถ้าอากาศยังสามารถรับปริมาณความชื้นได้ การที่เหงื่อออกจะช่วยระบายความร้อนส่วนเกินออกไปจากร่างกายได้ แต่ถ้าอากาศที่มีความชื้นสูงทำให้เหงื่อไม่สามารถระเหยและพาเอาความร้อนออกไปจากร่างกาย จึงเป็นอันตรายอย่างมาก นอกจากอันตรายจากความร้อนโดยตรงแล้ว ผลกระทบต่อสุขภาพทางอ้อมอันเนื่องมาจากความร้อนที่สูงขึ้นยังพบได้ คือ ปฏิกริยาทางเคมีระหว่างมลสารต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับของอุณหภูมิ ทำให้เกิดหมอกควัน และโอโซนมากขึ้น มีการศึกษาพบว่า ทุกๆ หนึ่งองศาฟาเรนไฮต์ที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มการเกิดหมอกควันถึง 3 เปอร์เซ็นต์ หมอกควันและโอโซนนี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยตรง กล่าวคือ จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจและเยื่อปอด ในระยะยาวย่อมก่อให้เกิดโรครื้อรังของระบบทางเดินหายใจและระบบหายใจล้มเหลวในที่สุด

### (2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การที่อุณหภูมิในเขตเมืองร้อนขึ้นทำให้ความต้องการด้านพลังงานเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อทำให้อากาศภายในอาคารเย็นลง จากการศึกษาในเมืองแคลิฟอร์เนีย เอคิสันได้ พบว่า ทุกๆ หนึ่งองศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 3 เปอร์เซ็นต์ การใช้พลังงานมากขึ้นนอกจากจะหมายถึงการสูญเสียเงินตรามากขึ้นแล้ว ผลของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากน้ำมันหรือถ่านหินที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการปล่อย

สารก่อมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามไปด้วย การกระทำดังกล่าวจึงซ้ำเติมปัญหามลพิษในอากาศให้รุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ ส่งผลให้แมลงที่เป็นพาหนะมีการแพร่พันธุ์มากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการระบาดของโรคบางประเภทขึ้นจนยากแก่การควบคุม

สำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ Tso (1996) ได้ศึกษาเกาะความร้อนของเมืองในเมืองกัวลาลัมเปอร์ และสิงคโปร์ พบว่า ลักษณะเกาะความร้อนของเมืองในเวลากลางคืนในกัวลาลัมเปอร์และสิงคโปร์มีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าชนบทสูงอย่างน้อย 4.5 และ 3 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของกัวลาลัมเปอร์เป็นหุบเขา ทำให้ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบคงตัว ส่วนสิงคโปร์ติดทะเล ได้รับอิทธิพลของลมบกและลมทะเล ทำให้มลสารในอากาศมีการกระจายตัวได้ดี และในพื้นที่กรุงเทพมหานคร Komonveeraket (1998) ศึกษาผลของสิ่งปกคลุมดินต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมืองในกรุงเทพมหานคร โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิพื้นผิว และค่าดัชนีพืชของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 9 ประเภท ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ที่อยู่อาศัย พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่ที่อยู่อาศัยปะปนกับอุตสาหกรรม พื้นที่ที่มีพืชปกคลุม นาข้าวที่เก็บเกี่ยวแล้ว พื้นดินเปิดโล่ง นาที่ข้าวกำลังเจริญเติบโตหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และแหล่งน้ำ พบว่า ค่าดัชนีพืชมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวนอกจากนี้ค่าดัชนีพืชและค่าอุณหภูมิพื้นผิวยังแปรผันไปตามลักษณะและคุณสมบัติของพื้นที่ปกคลุม โดยพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมจะมีค่าดัชนีพืชสูง และมีอุณหภูมิพื้นผิวดำ ในขณะที่พื้นที่สิ่งก่อสร้างและพื้นที่ดินเปิดโล่งจะมีค่าดัชนีพืชต่ำ และมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่สูง นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาความแตกต่างของค่าดัชนีพืชและค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่เมืองกับพื้นที่ชานเมือง พบว่า ในปี 1998 พื้นที่เมืองมีค่าดัชนีพืชต่ำกว่าพื้นที่ชานเมือง 2.15 เปอร์เซ็นต์ และค่าอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่เมืองสูงกว่าพื้นที่ชานเมืองรอบนอก 1.71 องศาเซลเซียส แตกต่างจากปี 1997 ซึ่งพบว่า พื้นที่เมืองมีค่าดัชนีพืชต่ำกว่าพื้นที่ชานเมือง 1.18 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าพื้นที่ชานเมืองรอบนอก 1.53 องศาเซลเซียส ขณะที่ Boonjawat, Niitsu และ Kubo (2000) ศึกษาเกาะความร้อนของเมือง มลภาวะทางความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศที่สถานีภาคพื้นดิน อุณหภูมิของอากาศที่พื้นดินระดับความสูง 200 เมตร โดยใช้บอลูน และวัดภาพความร้อนของบริเวณเล็กๆ ที่มีสิ่งปกคลุมดินที่ต่างกัน โดยใช้เครื่องแสดงภาพความร้อน (Thermal view) พบว่า อุณหภูมิที่สถานีใจกลางเมือง ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีอุณหภูมิสูงกว่าชานเมือง ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี และศูนย์พัฒนาประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลักษณะของเกาะความร้อนของเมืองสอดคล้องกับลักษณะการใช้ที่ดินของกรุงเทพมหานคร

นอกจากนี้ ลักษณะของเกาะความร้อนของเมืองซึ่งมีลักษณะทางอุณหภูมิต่างกันระหว่างเขตเมืองและชนบทแล้ว ในเขตเมืองยังมีการปลดปล่อยมลสารโดยเฉพาะจากการจราจร

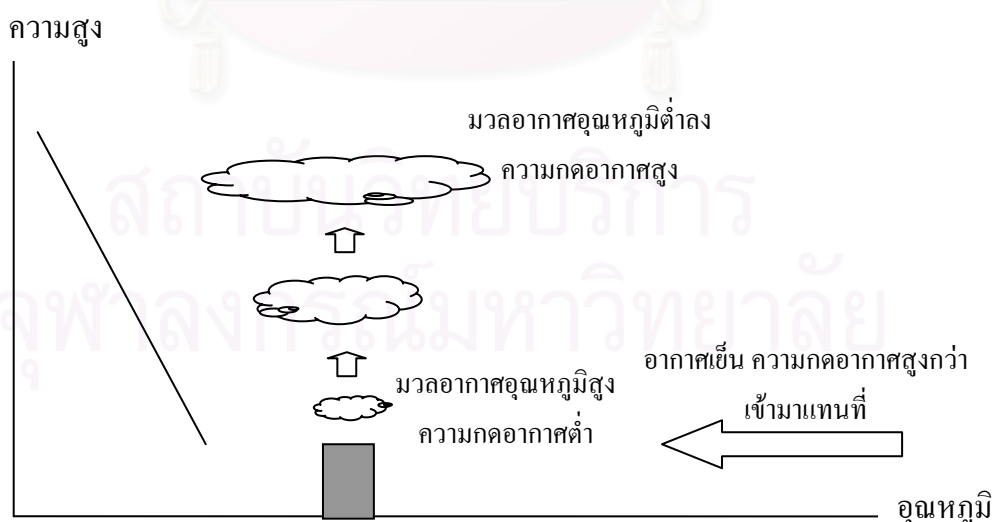
และอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันนี้ส่งผลให้การคงตัวของบรรยากาศในเขตเมืองและเขตชนบทแตกต่างกัน อันมีผลต่อการแพร่กระจายของมลสารในเขตเมืองต่อไป

## 2.4 การคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)

การคงตัวของบรรยากาศ คือ สภาพของบรรยากาศซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในแกนตั้ง (Vertical direction) และแกนระนาบ (Horizontal direction) เมื่อเทียบกับสภาพบรรยากาศอ้างอิงที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ Adiabatic lapse rate (สุรรัตน์ บัวเลิศ, 2546)

### 2.4.1 กระบวนการอะเดียแบติก (Adiabatic cooling process)

กระบวนการอะเดียแบติก คือ กระบวนการที่มวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอกจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น เนื่องจากมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความกดอากาศต่ำกว่า พร้อมทั้งขยายตัวออกเพื่อลดอุณหภูมิของมวลอากาศให้เท่ากับหรือน้อยกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกที่ลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกอัตราการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงที่เพิ่มขึ้นในสภาพปกตินี้ว่า Adiabatic lapse rate มีค่าประมาณ 1 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร การลอยตัวของมวลอากาศมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ มวลอากาศก็จะหยุดการเคลื่อนที่ และนอกจากนี้เมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น (Convection) อากาศที่เย็นกว่า หรืออากาศที่มีความกดอากาศสูงกว่า ที่อยู่ด้านล่างก็จะไหลเข้ามาแทนที่ (Advection) ดังภาพที่ 2.6

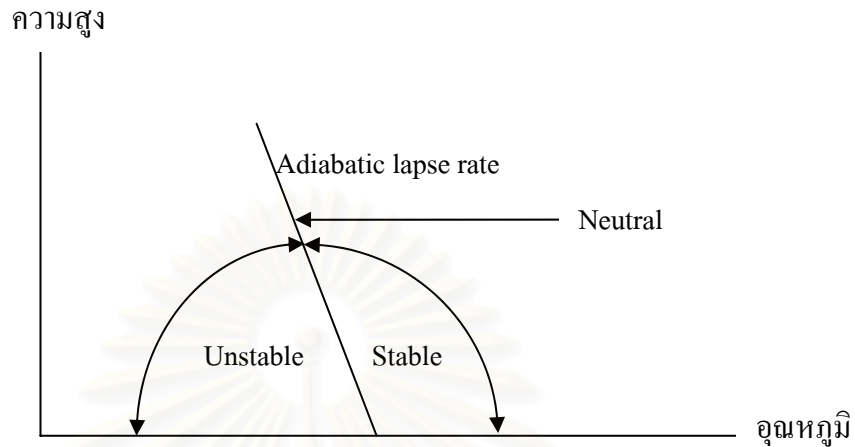


ภาพที่ 2.6 กระบวนการอะเดียแบติก



## 2.4.2 การแบ่งการคงตัวของบรรยากาศ

การคงตัวของบรรยากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังภาพที่ 2.7 คือ



ภาพที่ 2.7 การคงตัวของบรรยากาศและความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสูง

1) สภาพอากาศที่มีสภาพเป็นกลาง (Neutral condition) หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิและความสูงมีความสัมพันธ์ในลักษณะแบบอะเดียแบติก กล่าวคือ อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราประมาณ 1 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร

2) สภาพอากาศที่มีสภาพไม่คงตัว (Unstable condition) หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่มากกว่า 1 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร ในสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของบรรยากาศได้มากกว่าในสภาพเป็นกลาง ทำให้มวลอากาศเคลื่อนที่มีการแผ่ขยายเพิ่มขึ้น หากแหล่งมลพิษปล่อยมลสารออกสู่บรรยากาศ มลสารจะสามารถกระจายได้ดี ความเข้มข้นของมลสารที่เกิดขึ้นก็จะมีปริมาณไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชนมากนัก

3) สภาพอากาศที่มีสภาพคงตัว (Stable condition) หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่น้อยกว่า 1 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร ในสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนของอากาศได้ต่ำกว่าในสภาพเป็นกลาง ทำให้มวลอากาศเคลื่อนที่แล้วพยายามกลับที่เดิมโดยไม่มีการเคลื่อนตัวแผ่ขยายออกไป หากแหล่งมลพิษปล่อยมลสารออกมาสู่บรรยากาศ มลสารที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถแพร่กระจายได้เนื่องจากมวลอากาศจะไม่สามารถลอยขึ้นได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเข้มข้นสูง ก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตบริเวณดังกล่าว

### 2.4.3 ทฤษฎี Monin-Obukhov

Monin และ Obukhov (1954) ได้เสนอทฤษฎีความคล้ายกัน (Similarity theory) โดยพิจารณาแรงจากกล (Mechanical force) และแรงจากการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (Convective force) อันเป็นแรงจากความร้อน ซึ่งมีผลต่อการปั่นป่วนของบรรยากาศ (Schnell และ Dey, 2000; Arya, 2001) ทฤษฎีนี้มีความเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับในการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาใกล้พื้นผิว ค่า Monin-Obukhov length มีความสัมพันธ์กับ 2 ตัวแปร คือ ความเร็วลมเสียดทาน (Friction velocity;  $u_*$ ) และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (Sensible heat;  $H$ ) โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ดังสมการที่ 2.31

$$L = -u_*^3 C_p \rho T / k g H \quad (2.31)$$

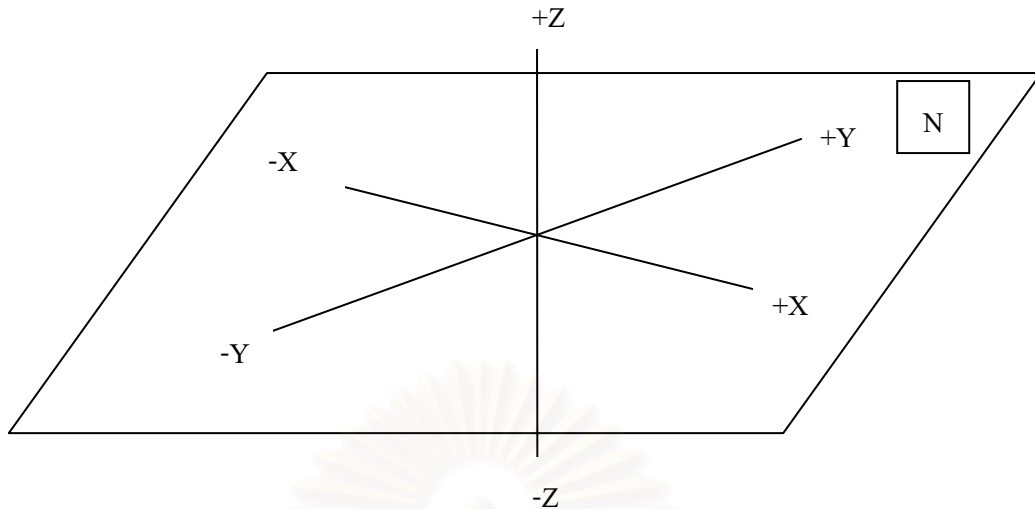
เมื่อ  $u_*$  คือ ความเร็วลมเสียดทาน (เมตรต่อวินาที)  $C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (1,004 จูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน)  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ (1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)  $T$  คือ อุณหภูมิอากาศ (เคลวิน)  $k$  คือ ค่าคงที่ของ von Karman  $g$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>) และ  $H$  คือ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ความเร็วลมเสียดทานเป็นค่าที่แสดงการปั่นป่วนเชิงกลของโมเมนตัมบริเวณพื้นผิว สามารถคำนวณจากความเร็วลม ดังสมการที่ 2.32 (Ellis และ Middleton, 2000) โดยลักษณะของแกนในการวัดความเร็วลมในแกน X ( $U$ ) จะอยู่ในทิศตะวันออก-ตะวันตก ความเร็วลมในแกน Y ( $V$ ) จะอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ ส่วนความเร็วลมในแกน Z ( $W$ ) จะอยู่ในแนวตั้ง แสดงดังภาพที่ 2.8 ส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศได้แสดงวิธีการคำนวณในหัวข้อ 2.2.2

$$u_* = [(\overline{U'W'})^2 + (\overline{V'W'})^2]^{1/4} \quad (2.32)$$

$$U' = U - \overline{U} \quad (2.33)$$

เมื่อ  $U'$   $V'$  และ  $W'$  คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมในแกน X Y และ Z ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.33 ส่วน  $\overline{U'W'}$  คือ ค่าความแปรปรวนของความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแกน X กับความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแกน Z ส่วน  $\overline{V'W'}$  คือ ค่าความแปรปรวนของความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแกน Y กับความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในแกน Z



ภาพที่ 2.8 การวัดความเร็วลมในแกน X Y และ Z

โดยปกติแล้วการที่มวลของอากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางอุณหภูมิตามความสูง โดยเฉพาะความเร็วลมเสียดทานและความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ โดยที่ค่า Monin-Obukhov length สามารถอธิบายลักษณะการคงตัวของบรรยากาศในบรรยากาศชั้นต่ำได้ ดังตารางที่ 2.9 ในเวลากลางวัน จะมีการเคลื่อนตัวของอากาศแบบยกตัวขึ้น (Upward) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจะมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร อันส่งผลให้ค่า Monin-Obukhov length มีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร กล่าวคือ มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว (Unstable) ในขณะที่ในเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีการเคลื่อนตัวแบบลง (Downward) ค่าความร้อนนี้จึงมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร อันมีผลให้ค่า Monin-Obukhov length มีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร และหากลมไม่แรงมากจะส่งผลให้ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบคงตัว (Stable) (Schnelle และ Dey, 2000)

ตารางที่ 2.9 ค่า Monin-Obukhov length แสดงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ

Monin-Obukhov length (L)	ช่วง (m)	ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ
Small negative	$-100 < L < 0$	Very unstable
Large negative	$-10^5 \leq L \leq -100$	Unstable
Very large (positive or negative)	$ L  > 10^5$	Neutral
Large positive	$10 \leq L \leq 10^5$	Stable
Small positive	$0 < L < 10$	Very stable

ที่มา: Seinfeld, 1998

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกษม จันทร์แก้ว (2514) ศึกษารังสีดวงอาทิตย์ปีแรกของสถานีทดลองลุ่มน้ำห้วยคอกม้า และป่าดิบแล้งสะแกราช โดยศึกษาความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวิธีสัดส่วนโบเวน และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากสมการสมดุลความร้อน พบว่า ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าผันแปรอย่างมาก เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของอากาศในแนวตั้ง (Convection) ตรวจวัดได้ยาก จึงทำให้ความร้อนทั้งสองอาจมีความผิดพลาดได้

เกษม จันทร์แก้ว และคณะ (2517) ศึกษาลักษณะอากาศใกล้ผิวดินของป่าดิบแล้ง ณ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ปริมาณรังสีสุทธิที่ผิวยอดไม้ของป่าดิบแล้งมีปริมาณแตกต่างกัน โดยจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับรังสีคลื่นสั้นที่ลงมาสู่ผิวโลก นอกจากนี้ได้มีการวัดรังสีคลื่นสั้นที่ได้เรือนยอด พบว่า 2-8 เปอร์เซ็นต์ของรังสีคลื่นสั้นที่ลงสู่ผิวโลก เป็นส่วนที่รังสีคลื่นสั้นทะลุผ่านเรือนยอดลงมาสู่ผิวดิน ซึ่งถือว่ามีจำนวนน้อยมาก ความร้อนที่ทะลุเรือนยอดมานี้ไม่สามารถซึมลงสู่ดินได้ แต่ความร้อนดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปของรังสีคลื่นยาว

Oke และคณะ (1999) ศึกษาสมดุลความร้อนกลางเมือง Mexico City ในฤดูแล้ง โดยใช้วิธี Eddy correlation เก็บตัวอย่างทุก 15 นาที พบว่า เมือง Mexico City ซึ่งเป็นเมืองที่มีโครงสร้างเป็นหิน ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีน้อยมาก (น้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณรังสีสุทธิ) ส่งผลให้ความร้อนถูกใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 8 เท่า ส่วนที่เหลือมีการเก็บไว้ในรูปความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ นอกจากนี้ยังพบสัดส่วนความสัมพันธ์ของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ต่อรังสีสุทธิ และสัดส่วนโบเวนมีค่าค่อนข้างคงที่

Masson, Grimmond, และ Oke (2002) ทำการประเมินสมดุลพลังงานโดยวิธีการวัดโดยตรงบนพื้นผิวของเมือง Vancouver และ Mexico City ซึ่งศึกษาบนหลังคาอาคารสินค้าผิวเรียบ ซึ่งทั้งสองเมืองนี้มีพื้นที่สีเขียวน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งศึกษาบนอาคารประวัติศาสตร์ชั้นที่ 6 พบว่า เมือง Vancouver มีสัดส่วนความร้อนพื้นผิวต่อรังสีสุทธิ 0.26 เท่านั้น ในขณะที่เมือง Mexico City มีความร้อนที่เก็บไว้ในวัสดุพื้นผิวสูงถึง 2 ใน 3 ของรังสีสุทธิ และปลดปล่อยออกมาในเวลากลางคืน

Piringer และคณะ (2002) ได้ตรวจสอบสมดุลพลังงานในพื้นที่เขตเมือง พบว่า บริเวณใจกลางเมือง และเขตอุตสาหกรรมในหลายเมืองในอเมริกาเหนือในเวลากลางวัน มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ของรังสีสุทธิ ในขณะที่บริเวณที่พืคอาศัยมี 40-60 เปอร์เซ็นต์ของรังสีสุทธิ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำโดยดูได้จากสัดส่วนโบเวน สำหรับสัดส่วนโบเวนในเวลากลางวันในพื้นที่ที่อยู่อาศัยมีค่าระหว่าง 1.2-2.0 สัดส่วนโบเวนเฉลี่ยบริเวณพื้นที่เกษตร พื้นที่อุตสาหกรรมขนาดเล็ก และเขตเมือง มีค่าประมาณ 2.8,

4.4 และ 9.8 ตามลำดับ นอกจากนี้ ความร้อนบางส่วนเป็นความร้อนพื้นผิวซึ่งมีค่ามากกว่าในเขต  
ชนบท และในเวลากลางคืน เขตเมืองจะมีการปลดปล่อยความร้อนจากความร้อนพื้นผิวออกมา

Bualert, Sokhi และ Middleton (2003) ศึกษาโปรแกรม GAMMA-MET การประเมินข้อมูล  
อุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาจากกรมควบคุมมลพิษบริเวณ  
สถานีตรวจวัดจตุจักร พบว่า การแบ่งค่าการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ทฤษฎีของ Monin-Obukhov  
ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบ ไม่คงตัว (Unstable) กลาง (Neutral) และคงตัว (Stable) มีค่า  
อยู่ในช่วง 57, 19 และ 23 เฮอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

## วิธีการศึกษา

### 3.1 การศึกษาสมดุลความร้อน

#### 3.1.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระยะห่างจากสิ่งรบกวนและขนาดของพื้นที่สิ่งปกคลุมดินน้อยที่สุด

1) **พื้นที่ศึกษา:** สวนจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร เนื่องจากบริเวณด้านถนนพหลโยธินมีการได้รับสิ่งรบกวน ซึ่งคือ ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะความร้อนจากการจราจร ประกอบกับพื้นที่สวนจตุจักรมีลักษณะของพื้นที่สีเขียวมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ติดกับสิ่งรบกวนโดยตรง ทำให้พื้นที่สวนจตุจักรเหมาะสมสำหรับศึกษาระยะห่างจากสิ่งรบกวนและขนาดของพื้นที่สิ่งปกคลุมดินน้อยที่สุด แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 สวนจตุจักร

2) **ตัวแปรที่ทำการศึกษา:** อุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 เมตร โดยวัดอุณหภูมิอากาศติดตั้งเครื่อง Microlog รุ่น EC600 ซึ่งเป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก เครื่อง Microlog แสดงดังภาพที่ 3.2 พร้อมทั้งใช้ร่มบังแดดเพื่อป้องกันรังสีความร้อนโดยตรง



ภาพที่ 3.2 เครื่อง Microlog

### 3) วิธีการศึกษา

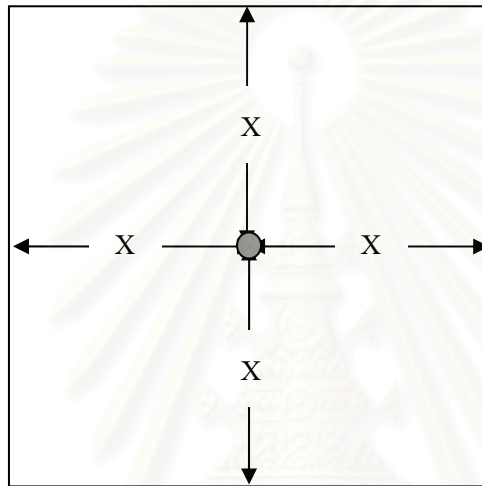
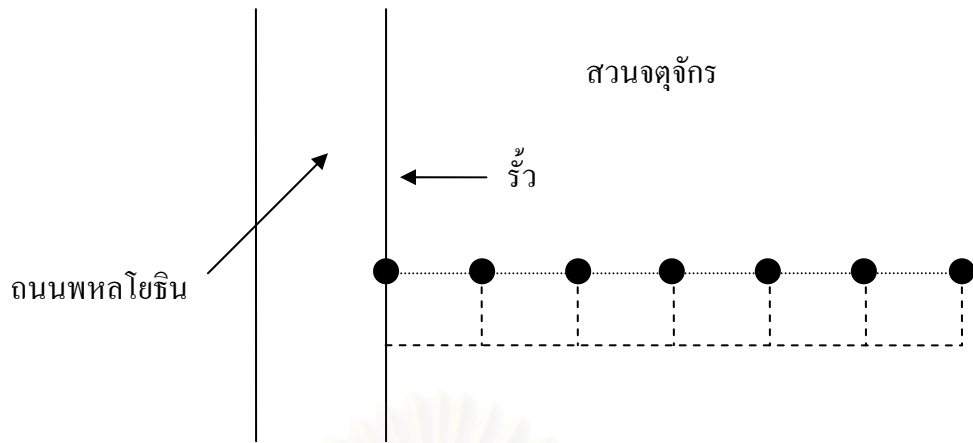
(1) ติดตั้งเครื่อง Microlog ทุกระยะ 2 เมตร ตั้งฉากกับแนวรั้ว ตั้งแต่เวลา 11.00-13.00 น. โดยเก็บข้อมูลทุก 1 นาที และหาค่าเฉลี่ย แสดงการติดตั้งเครื่องมือดังภาพที่ 3.3

(2) หาระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและระยะห่างจากกราฟ ระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด คือ ระยะห่างจากรั้วถนนพหลโยธินที่อุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 3.4

(3) หาขนาดพื้นที่ศึกษาน้อยที่สุด หาได้จากการคำนวณระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด โดยกำหนดให้พื้นที่ศึกษาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของพื้นที่กับขอบของสี่เหลี่ยมจัตุรัส แสดงได้ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือบริเวณสวนจตุจักร



- แสดงจุดเก็บตัวอย่าง
- แสดงจุดที่ปราศจากสิ่งรบกวน
- X แสดงระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด

ภาพที่ 3.4 การหาระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด และขนาดพื้นที่ศึกษาน้อยที่สุด

### 3.1.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาสมมูลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท

#### 1) พื้นที่ศึกษา: พื้นที่กรุงเทพมหานคร

ในการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาสมมูลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองนี้ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของสิ่งปกคลุมดินที่พบมากในเขตเมือง อันได้แก่

(1) ตัวแทนพื้นที่อาคารสูง คือ ศาลฟ้าอาคารจอดรถ โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ถนนสีลม เขตบางรัก แสดงดังภาพที่ 3.5

(2) ตัวแทนพื้นที่ถนน คือ ถนนนราธิวาสราชนครินทร์ เขตบางรัก แสดงดังภาพที่



(3) ตัวแทนพื้นที่เขตเมือง คือ ข้างหอธรรม โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย ถนนประมวญ เขตบางรัก แสดงดังภาพที่ 3.7

(4) ตัวแทนพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง คือ สนามหญ้าหน้าโรงพยาบาล เชนต์หลุยส์ ถนนสาทรใต้ เขตสาทร แสดงดังภาพที่ 3.8

(5) ตัวแทนพื้นที่สีเขียว คือ สนามหญ้าข้างพระรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 3.9

## 2) ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน รังสีของโลก ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในแกน X, Y, Z โดยทำการติดตั้งเครื่องมือ Microlog และ Ultrasonic anemometer ในพื้นที่ศึกษา ส่วนรังสีของโลกและความกดอากาศจะใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่ง Global radiation sensor ความยาวช่วงคลื่น 0.3-2.8 ไมครอน ติดตั้งที่อาคาร 50 ปี กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา และ Barometer ติดตั้งที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาและเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.10-3.12

## 3) วิธีการศึกษา

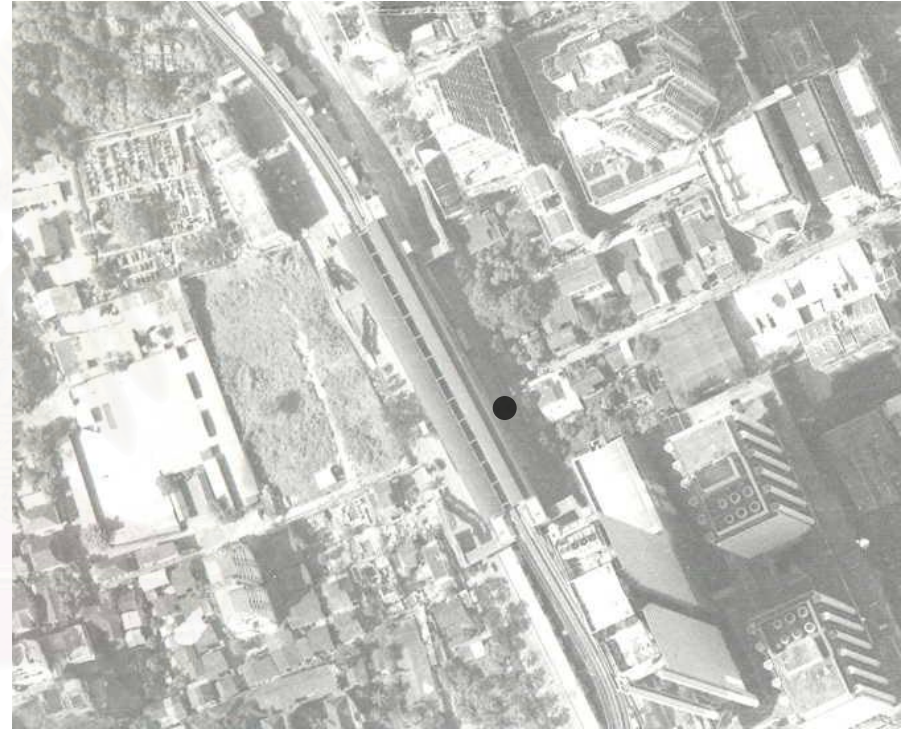
(1) ติดตั้ง Microlog 5 ตัว โดยมีร่มกันแดด เพื่อป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์ และ Ultrasonic anemometer ภาคสนาม แสดงดังภาพที่ 3.13 โดยตั้งเครื่องมือห่างจากสิ่งรบกวนไม่น้อยกว่าระยะห่างจากสิ่งรบกวน เก็บตัวอย่างทุก 5 นาที และทำการเฉลี่ยทุกชั่วโมง ตั้งแต่ 7.00-19.00 น. ศึกษาพื้นที่ละ 1 วัน 3 จุด โดยแสดงวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังตารางที่ 3.2

(2) นำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างมาคำนวณ เพื่อหา รังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว สัดส่วนโบเวน และสัดส่วนของสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิ ทำการศึกษาโดยใช้วิธีสัดส่วนโบเวน โดยกำหนดให้ สัดส่วนความร้อนพื้นผิวต่อรังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุดวางกรณีแม่หลวงวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.5 อาคารจอดรถ โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.6 ถนนราชาวาสราชนครินทร์



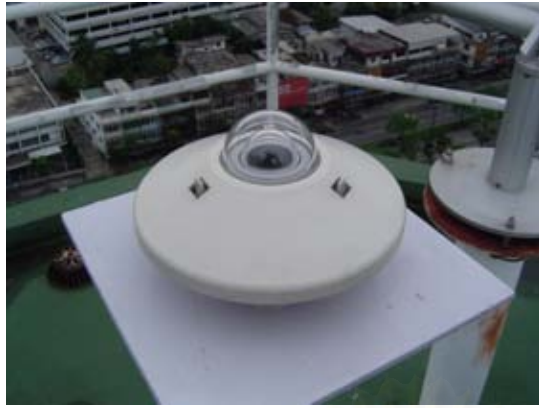
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.7 หอธรรม โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.8 สนามหญ้าหน้าโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.9 สนามหญ้าข้างพระรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.10 Global radiation sensor



ภาพที่ 3.11 บารอมิเตอร์



ภาพที่ 3.12 Ultrasonic anemometer



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.13 การติดตั้ง Microlog (ก) และ Ultrasonic anemometer (ข)

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เครื่องมือตรวจวัด	ลักษณะข้อมูล	หน่วย
อุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 เมตร ( $T_{120}$ )	Microlog (EC600)	ทุกๆ 5 นาที ต่อเนื่อง	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิอากาศที่ความสูง 0.05 เมตร ( $T_5$ )			
อุณหภูมิพื้นผิว ( $T_0$ )			
อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.05 เมตร ( $T_{.5}$ )			
อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.20 เมตร ( $T_{.20}$ )			
ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	Ultrasonic anemometer (RMYong Model 81000)	ทุกๆ 5 นาที ต่อเนื่อง	%
ความเร็วลมในด้านแนวนอน (WS)			$\text{m s}^{-1}$
ความเร็วลมในแกน X (U)			$\text{m s}^{-1}$
ความเร็วลมในแกน Y (V)			$\text{m s}^{-1}$
ความเร็วลมในแกน Z หรือแกนตั้ง (W)			$\text{m s}^{-1}$
ความกดอากาศ (P)	Barometer (Kew Barometer)	ทุกๆ 1 ชั่วโมง	mb
รังสีของโลก ( $R_g$ )	Global radiation sensor (Pyranometer CM11)	ทุกๆ 10 นาที ต่อเนื่อง	$\text{W m}^{-2}$
ความดันไอน้ำอิ่มตัว ( $e_s$ )	คำนวณ	ทุกๆ 5 นาที	mb
ความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ( $e_a$ )	คำนวณ	ทุกๆ 5 นาที	mb
จำนวนเมฆ (N)	สังเกต	ทุกๆ 1 ชั่วโมง	deca

ตารางที่ 3.2 วันที่เก็บตัวอย่างเพื่อหาสมมูลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท

ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	วันที่เก็บตัวอย่าง		
	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
พื้นที่อาคารสูง	22 ต.ค.47	8 ก.พ.48	21 เม.ย.48
พื้นที่ถนน	3 ก.ย.47	17 ธ.ค.47	12 มี.ค.48
พื้นที่เขตเมือง	17 ก.ย.47	29 พ.ย.47	22 มี.ค.48
พื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง	10 ก.ย.47	20 พ.ย.47	2 เม.ย.48
พื้นที่สีเขียว	6 ต.ค.47	9 ก.พ.48	13 เม.ย.48



### 3.1.3 การศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง

1) **พื้นที่ศึกษา:** สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 3.14

2) **ตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน รังสีของโลก ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในแกน X, Y, Z โดยทำการติดตั้งเครื่องมือ Microlog และ Ultrasonic anemometer ในพื้นที่ศึกษา ส่วนรังสีของโลกและความกดอากาศจะใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่ง Global radiation sensor ตรวจวัดความยาวคลื่น 0.3-2.8 ไมครอน ติดตั้งที่อาคาร 50 ปี กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา และ Barometer ติดตั้งที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษา และเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.10-3.12

3) **วิธีการศึกษา**

(1) หาสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แผนที่ และภาพถ่ายทางอากาศ ประกอบการศึกษา

(2) ติดตั้ง Microlog 5 ตัว โดยติดตั้งในตู้สกรีนของสถานีตรวจอากาศ แสดงดังภาพที่ 3.16 และ Ultrasonic anemometer ภาคสนาม โดยเก็บตัวอย่างทุก 5 นาที เฉลี่ยทุกชั่วโมง ศึกษาตลอดทั้งวัน พื้นที่ละ 5 วัน ทั้ง 3 ฤดู คือ ฤดูฝน (17-21 พฤษภาคม 2548) ฤดูหนาว (7-11 มกราคม 2548) และฤดูร้อน (15-19 เมษายน 2548)

(3) นำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามมาหารังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว สัดส่วนโบเวน และสัดส่วนของสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน

(4) เปรียบเทียบสมดุลความร้อนระหว่างวิธี Eddy correlation และสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test

### 3.1.4 การประยุกต์ใช้สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง

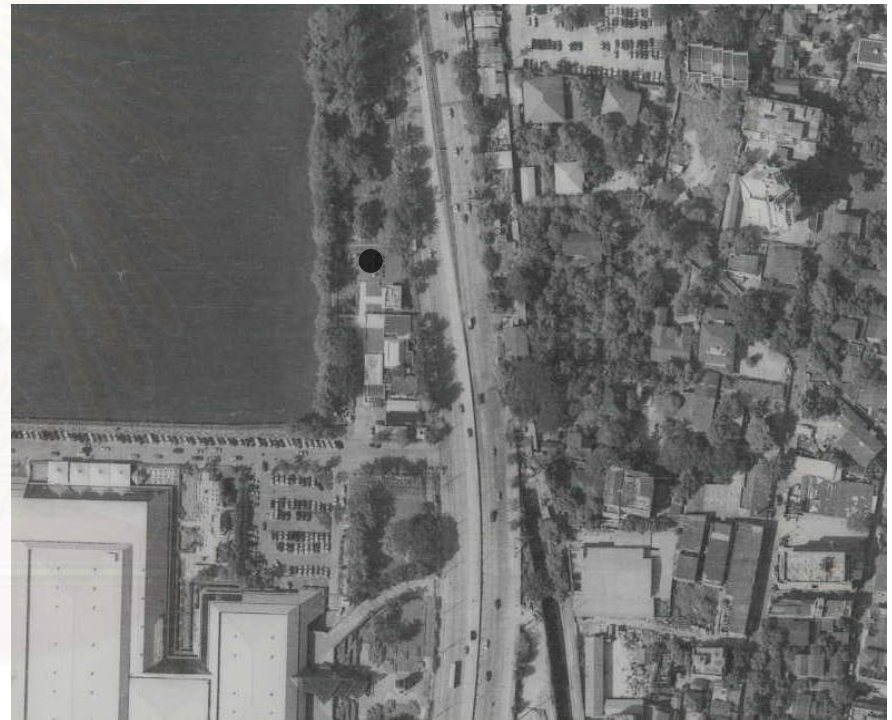
1) **พื้นที่ศึกษา:** สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 3.15

2) **ตัวแปรที่ทำการศึกษา**

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน รังสีของโลก ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในแกน X, Y, Z โดยทำการติดตั้งเครื่องมือ Microlog และ Ultrasonic anemometer ในพื้นที่ศึกษา ส่วนรังสีของโลกและความกดอากาศจะใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่ง Global radiation sensor ตรวจวัดความยาวคลื่น 0.3-2.8 ไมครอน ติดตั้งที่อาคาร 50 ปี กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา และ Barometer ติดตั้งที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาและเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.10 – 3.12



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.14 สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 3.15 สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

### 3) วิธีการศึกษา

(1) หาสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้แผนที่ และภาพถ่ายทางอากาศ ประกอบการศึกษา

(2) ติดตั้ง Microlog 5 ตัว โดยติดตั้งในตู้สกรีนของสถานีตรวจอากาศ แสดงดังภาพที่ 3.16 และ Ultrasonic anemometer ภาคสนาม โดยเก็บตัวอย่างทุก 5 นาที เฉลี่ยทุกชั่วโมง ศึกษาตลอดทั้งวัน พื้นที่ละ 5 วัน ทั้ง 3 ฤดู คือ ฤดูฝน (22-26 พฤษภาคม 2548) ฤดูหนาว (22-26 ธันวาคม 2547) และฤดูร้อน (27 เมษายน-1 พฤษภาคม 2548)

(3) นำข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยาและข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามมาหารังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว สัดส่วนโบเวน และสัดส่วนของสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน

(4) เปรียบเทียบสมดุลความร้อนระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์ทางสถิติ Unpaired t-test

(5) หาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา โดยนำข้อมูลสัดส่วนของสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิจากการศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองมาคำนวณ

(6) เปรียบเทียบสมดุลความร้อนระหว่างวิธีการใช้ข้อมูลสัดส่วนความร้อนต่อรังสีสุทธิมาคำนวณหาสมดุลความร้อนกับวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์ทางสถิติ Unpaired t-test



ภาพที่ 3.16 การติดตั้ง Microlog ในตู้สกรีน

### 3.2 การศึกษาการคงตัวของบรรยากาศเนื่องจากสมดุลความร้อน

#### 3.2.1 การประเมินการคงตัวของบรรยากาศโดยหาค่า Monin-Obukhov length ซึ่งใช้ข้อมูลสมดุลความร้อน

1) ประเมินการคงตัวของบรรยากาศของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศซึ่งหาโดยวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน จากการศึกษาภาคสนาม 3 ธุดู ฤดูละ 5 วัน และหาความถี่การคงตัวของบรรยากาศ

2) ประเมินการคงตัวของบรรยากาศของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศซึ่งหาโดยวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน จากการศึกษาภาคสนาม 3 ธุดู ฤดูละ 5 วัน และหาความถี่การคงตัวของบรรยากาศ

#### 3.2.2 การเปรียบเทียบการคงตัวของบรรยากาศโดยพิจารณาค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมดุลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ในพื้นที่ศึกษา

1) เปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมดุลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test

2) เปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมดุลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test

### 3.3 การศึกษา พัฒนาการความสัมพันธ์ และเสนอแนวทางการประยุกต์หาสมดุลความร้อนโดยวิธีคำนวณ

#### 3.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

นำเอาข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างสมดุลความร้อนจากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มาหาความสัมพันธ์โดยวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple regression analysis) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้แก่ รังสีของโลก อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ

### 3.3.2 การพัฒนาความสัมพันธ์และเสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ

1) นำข้อมูลสมมูลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามในบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มาหาความสัมพันธ์และเสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวน

(1) พัฒนาความสัมพันธ์เพื่อหาวิธีคำนวณรังสีสุทธิ โดยวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ

(2) พัฒนาความสัมพันธ์เพื่อหาวิธีคำนวณสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ

2) เสนอแนวทางการทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

3) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ

(1) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยใช้ข้อมูลที่มีการรวบรวมไว้ราย 3 ชั่วโมงในคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) จำนวน 30 ชุดข้อมูล

(2) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยใช้ข้อมูลที่มีการรวบรวมไว้ราย 1 ชั่วโมงในคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) จำนวน 30 ชุดข้อมูล

4) เสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยแบ่งตามฤดูและเวลา

5) เสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณที่เหมาะสมสำหรับการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

6) ประยุกต์หาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณที่เหมาะสม บริเวณสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้ข้อมูลที่มีการรวบรวมไว้ราย 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2547 เวลากลางวัน

7) เปรียบเทียบกับความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีคำนวณที่เหมาะสมกับแบบจำลองทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ AERMET บริเวณสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้ข้อมูลที่มีการรวบรวมไว้ราย 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2547 ในเวลากลางวัน โดยพิจารณาจาก Factor of two

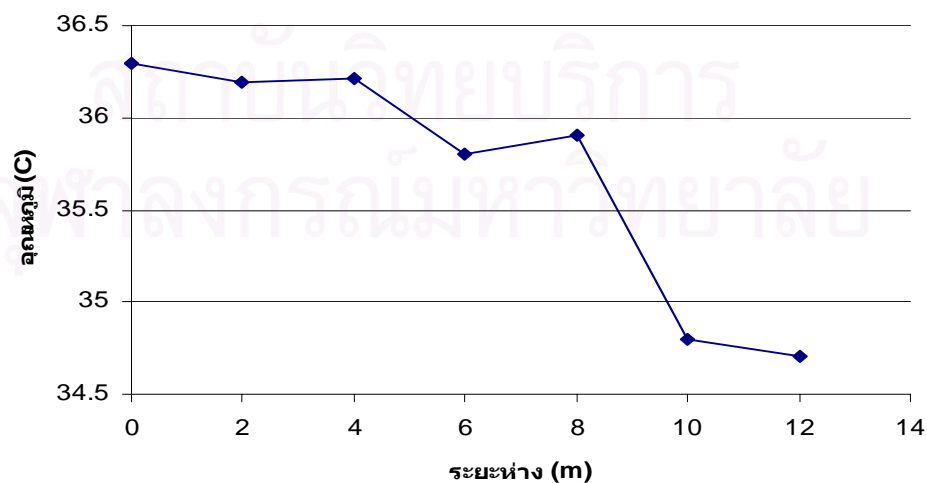
## บทที่ 4

### วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

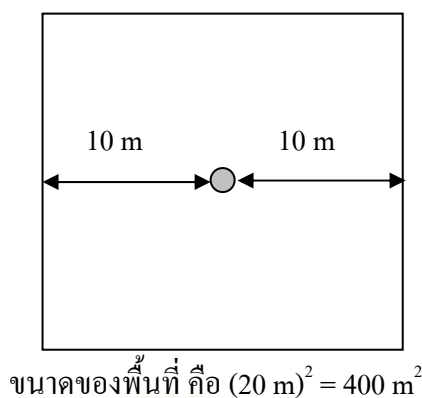
#### 4.1 สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดิน

##### 4.1.1 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระยะห่างจากสิ่งรบกวนและขนาดของพื้นที่สิ่งปกคลุมดินน้อยที่สุด

ในการศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินมีความจำเป็นต้องหาระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุดและขนาดของพื้นที่สิ่งปกคลุมดินน้อยที่สุด เพื่อเป็นประโยชน์ในการติดตั้งเครื่องมือศึกษา อันเป็นการหลีกเลี่ยงต่อสิ่งรบกวน โดยเฉพาะความร้อนที่อาจมีผลต่อการศึกษา ณ บริเวณศึกษานี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่อง Microlog จำนวน 7 เครื่อง โดยตรวจวัดอุณหภูมิอากาศตั้งแต่ริมรั้วของสวนจตุจักร ฝั่งถนนพหลโยธิน ที่ความสูง 1.20 เมตรจากพื้นดิน แต่ละเครื่องเว้นระยะห่าง 2 เมตร ทำการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศทุก 1 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 11.00-13.00 น. ซึ่งแต่ละเครื่องตรวจวัด 120 ข้อมูล แล้วทำการเฉลี่ย พบว่า อุณหภูมิอากาศที่บริเวณรั้วสวนจตุจักรติดกับถนนพหลโยธินมีค่า 36.3 องศาเซลเซียส และเมื่อเข้ามาภายในสวน อุณหภูมิอากาศจะลดลง โดยที่ระยะ 10 เมตรจากริมรั้ว มีอุณหภูมิอากาศ 34.8 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศแตกต่างจากริมรั้วถึง 1.5 องศาเซลเซียส ดังนั้น ที่ระยะ 10 เมตร จึงเป็นระยะห่างจากสิ่งรบกวนน้อยที่สุด และถ้านำระยะห่างนี้ไปคำนวณในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส จะพบว่า ขนาดของพื้นที่น้อยที่สุดที่ห่างจากสิ่งรบกวน คือ 400 ตารางเมตร แสดงดังภาพที่ 4.1-4.2



ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 เมตรจากริมรั้วสวนจตุจักร



ภาพที่ 4.2 ขนาดของพื้นที่น้อยที่สุดที่ห่างจากสิ่งรบกวน

#### 4.1.2 สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองแต่ละประเภท

การศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองสามารถแบ่งกลุ่มสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง อันได้แก่ พื้นที่อาคารสูง พื้นที่ถนน พื้นที่เขตเมือง พื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่สีเขียว ซึ่งเป็นสิ่งปกคลุมดินที่พบมากในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยได้ทำติดตั้งเครื่อง Ultrasonic anemometer และ Microlog จำนวน 5 เครื่อง ตรวจวัดอุณหภูมิที่ความสูง 1.20, 0.05 เมตร อุณหภูมิพื้นผิว อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.05, 0.20 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมแกนนอน ความเร็วลมในแกน X, Y และ Z ตั้งแต่เวลา 7.00-19.00 น. โดยเก็บตัวอย่างราย 5 นาที โดยเก็บตัวอย่างพารามิเตอร์ละ 144 ข้อมูลต่อฤดู ส่วนข้อมูลความกดอากาศ รั้งสีของโลก และจำนวนเมฆ ใช้ข้อมูลรายชั่วโมงจากสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ สำหรับความดันไอน้ำอิ่มตัว และความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ หาได้จากการคำนวณซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างรวมทั้งหมด 15 พารามิเตอร์ ทำการเฉลี่ยข้อมูลเป็นรายชั่วโมงและเลือกข้อมูลในช่วงเวลากลางวันที่มีรังสีสุทธิมากกว่า 0 วัดค่าต่อตารางเมตรเท่านั้นมาคำนวณสมดุลความร้อน โดยรังสีสุทธิคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 สัดส่วนโบเวนคำนวณได้จากสมการที่ 2.17 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศคำนวณได้จากสมการที่ 2.21 ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำคำนวณจากสัดส่วนโบเวนดังสมการที่ 2.16 และในการศึกษาครั้งนี้ได้ให้ความร้อนพื้นผิวคำนวณโดยใช้สัดส่วนความร้อนพื้นผิวต่อรังสีสุทธิ ( $X/R_n$  หรือ  $C_x$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1 (Oke, 1978) โดยผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

##### 1) พื้นที่อาคารสูง

ผลการศึกษาสมดุลความร้อนบริเวณพื้นที่อาคารสูงบนดาดฟ้าอาคารจจรดโรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน ความสูงประมาณ 40 เมตร โดยบนดาดฟ้ามีพื้นผิวเป็นคอนกรีต ทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยในฤดูฝน (22 ตุลาคม 2547) ฤดูหนาว (8 กุมภาพันธ์ 2548) และฤดูร้อน (21 เมษายน 2548) แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 แล้วนำมาคำนวณหาสมดุลความร้อน โดยที่



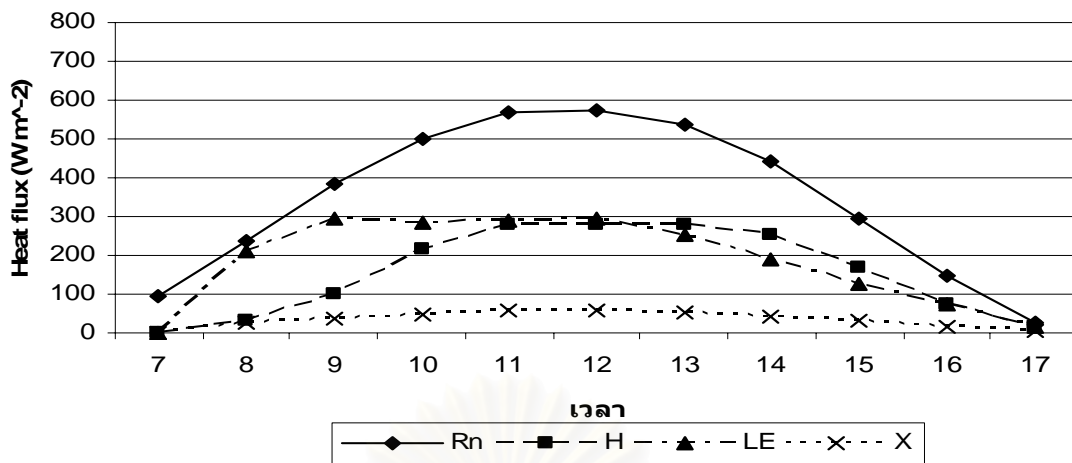
ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของรังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว และสัดส่วน Bowen แสดงดังภาพที่ 4.3-4.4

ตารางที่ 4.1 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณอาคารสูง 3 ถดู

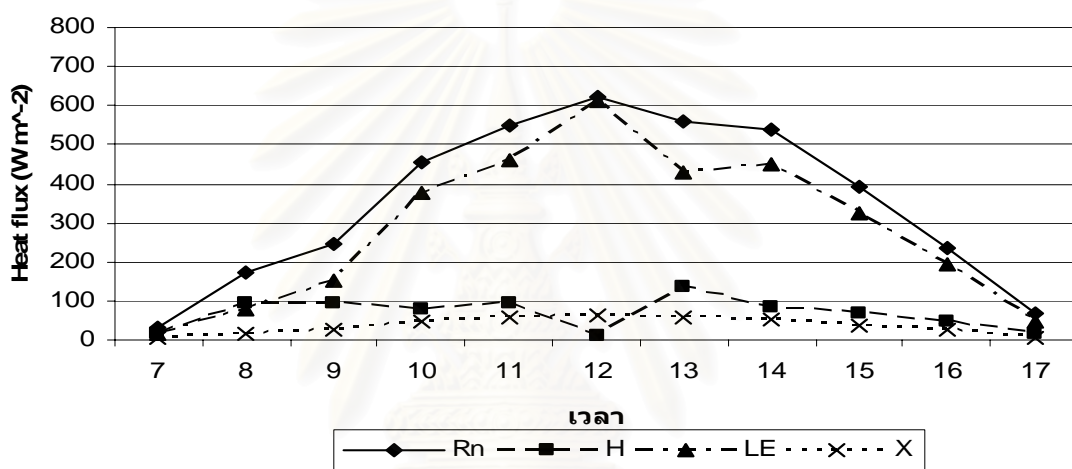
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.3 - 34.1	32.2	27.6 - 38.4	33.0	29.8 - 37.1	33.5
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.3 - 35.4	32.8	26.6 - 35.2	31.4	29.2 - 35.5	32.6
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.3 - 43.4	37.2	25.6 - 40.7	33.1	30.3 - 35.9	33.1
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	-	-	-	-	-	-
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	-	-	-	-	-	-
RH (%)	31.9 - 52.3	41.5	0.6 - 31.3	15.0	35.6 - 58.5	45.9
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.4 - 20.2	5.5	0.4 - 11.2	3.6	0.2 - 13.2	3.4
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.0 - 4.2	2.5	-5.1 - 3.3	-0.9	-12.6 - 11.4	-0.3
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-3.3 - 4.0	1.0	-1.4 - 3.2	1.1	-6.4 - 10.6	1.1
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-1.3 - 0	-0.7	-1.10 - 0.6	0.0	-4.8 - 4.9	0.1
P (mb)	1010 - 1014	1012	1010 - 1018	1014	1007 - 1012	1010
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	55.45 - 803.30	493.42	144.17 - 848.57	496.78	16.15 - 960.12	429.87
$e_s$ (mb)	38.5 - 53.5	48.3	37.4 - 51.5	44.4	38.0 - 55.9	48.1
$e_a$ (mb)	13.4 - 22.5	20.0	0.2 - 12.8	6.9	19.2 - 25.1	22.0
N (deca)	7 - 8	8	3 - 8	5	6 - 10	8

### (1) รังสีสุทธิ

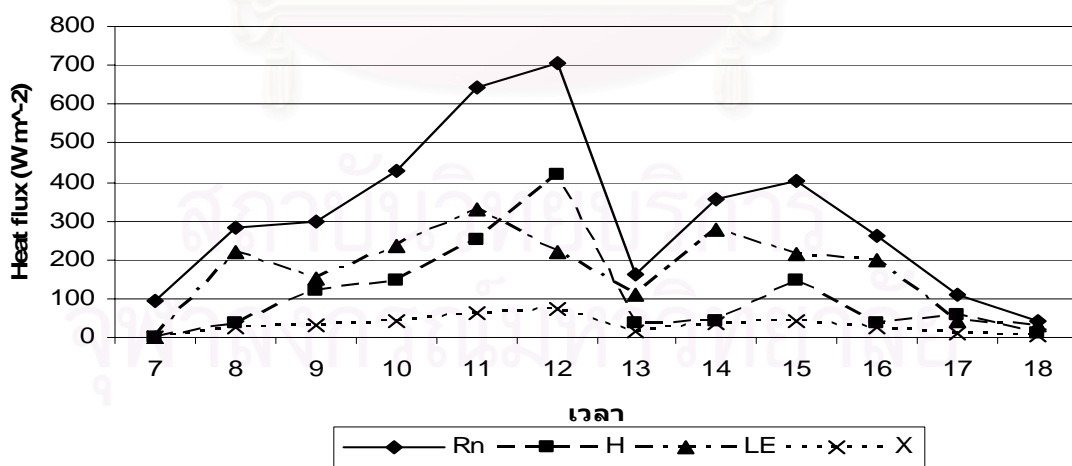
ในเวลา 12.00 น. รังสีสุทธิบริเวณอาคารสูงในฤดูร้อนมีค่าสูงที่สุด โดยมีค่า 707.35 วัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ ฤดูหนาวและฝน ซึ่งมีค่า 621.38 และ 571.47 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ในฤดูร้อน เวลา 13.00 น. รังสีสุทธิมีค่าเพียง 162.83 วัตต์ต่อตารางเมตร เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีเมฆปกคลุมมาก และมีฝนตกลงมา บดบังปริมาณรังสีของโลก ทำให้รังสีสุทธิมีค่าต่ำลง หากพิจารณาเมื่อรังสีสุทธิมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร รังสีสุทธิในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 345.52 351.60 และ 316.01 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ



(ก)

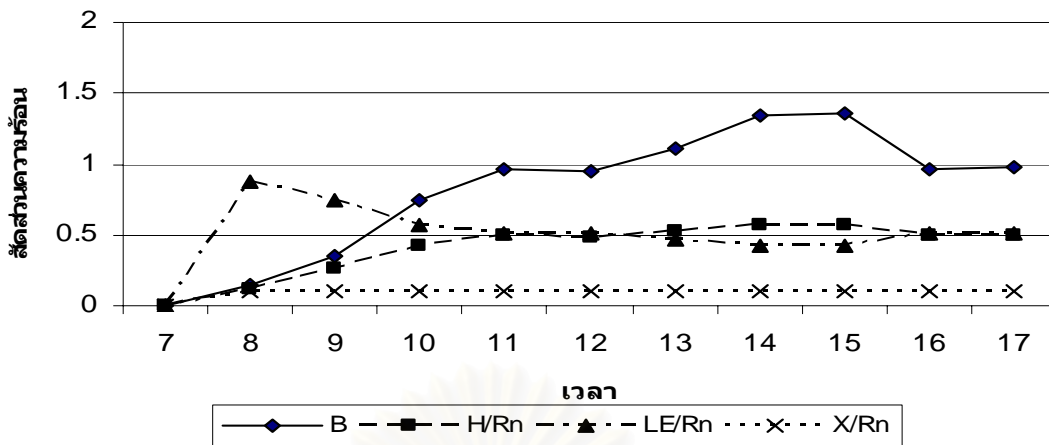


(ข)

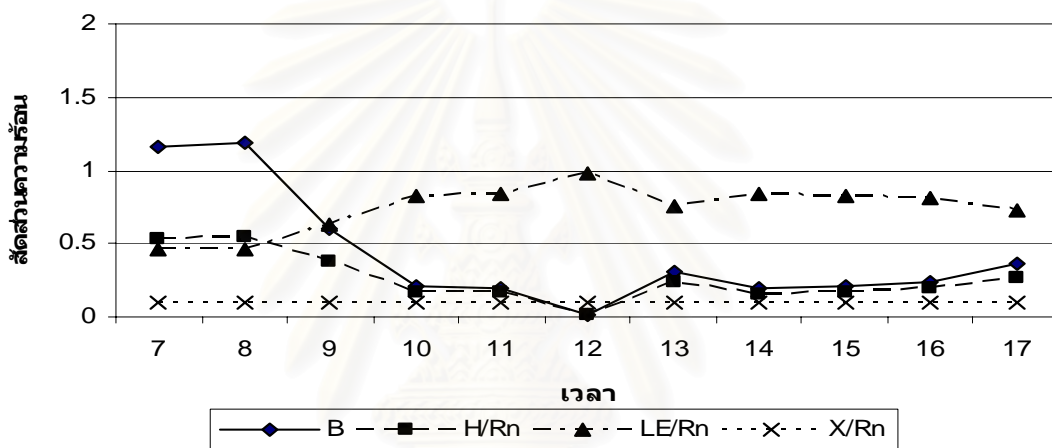


(ค)

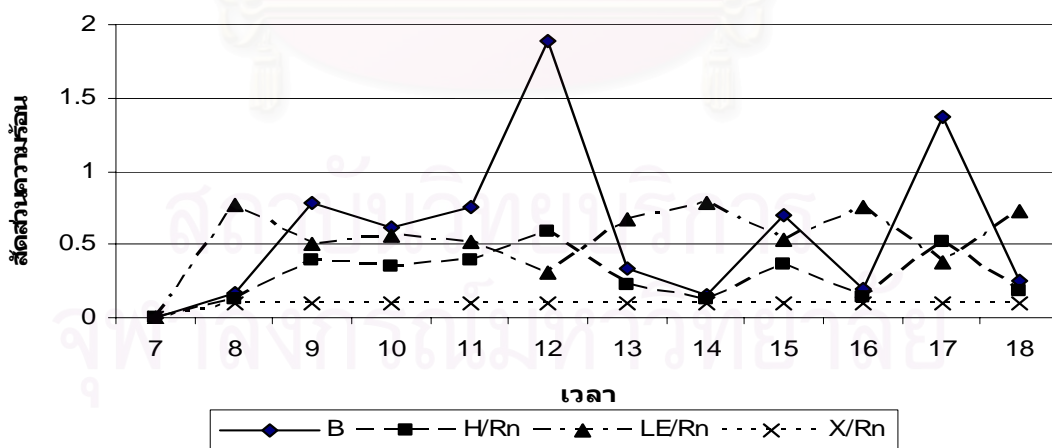
ภาพที่ 4.3 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบเวน บริเวณอาคารสูง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.4 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณอาคารสูง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

## (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณอาคารสูงในเวลากลางวัน ส่วนใหญ่ในฤดูฝน และร้อนจะมีปริมาณสูงซึ่งมีค่าเฉลี่ย 169.10 และ 117.92 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในฤดูหนาวจะมีปริมาณน้อยโดยมีค่าเฉลี่ย 66.50 วัตต์ต่อตารางเมตร ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูร้อนมีปริมาณรังสีสุทธิน้อยในเวลา 13.00 น. จึงส่งผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่ำถึง 36.28 วัตต์ต่อตารางเมตร

## (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำบริเวณอาคารสูงในเวลากลางวัน ในฤดูหนาวมีค่าใกล้เคียงกับรังสีสุทธิ โดยมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิ 0.74 ในขณะที่ในฤดูฝนและร้อนมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในช่วงเช้าสูงและค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะในเวลาเช้ามีค่าน้ำค้างเกาะอยู่บนพื้นผิวคอนกรีตอยู่มาก ทำให้ในเวลาเช้ามีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูง หากพิจารณาเมื่อรังสีสุทธิมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 201.63 285.00 และ 184.48 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

## (4) ความร้อนพื้นผิว

สำหรับความร้อนพื้นผิว ได้กำหนดไว้เท่ากับ 0.1 เท่าของรังสีสุทธิ ความร้อนพื้นผิวจึงแปรผันตามรังสีของโลก ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 37.08 35.16 และ 33.60 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

## (5) สัดส่วนโบเวน

สัดส่วนโบเวนเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน โดยมีค่า 0.89 รองลงมาคือ ฤดูร้อนและ หนาว มีค่า 0.68 และ 0.43 ตามลำดับ ทั้งนี้ในสัดส่วนโบเวน เวลา 12.00 น. ในฤดูร้อนมีค่าสูงสุดถึง 1.88 นั่นคือ มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงถึง 1.88 เท่า

## 2) พื้นที่ถนน

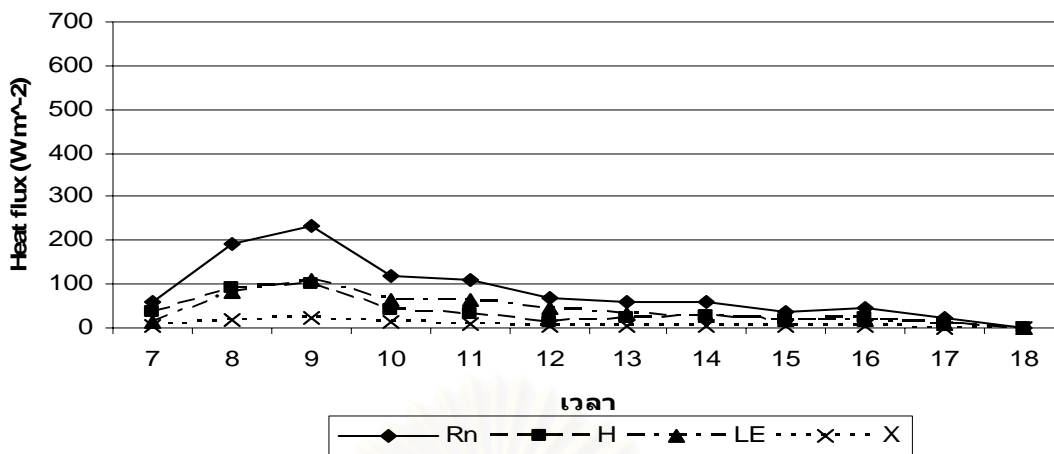
ผลการศึกษาสมดุลความร้อนบริเวณพื้นที่ถนน บริเวณถนนนราธิวาสราชนครินทร์ สามารถตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาในฤดูฝน (3 กันยายน 2547) ฤดูหนาว (17 ธันวาคม 2547) และ ฤดูร้อน (12 มีนาคม 2548) ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของรังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว และสัดส่วนโบเวน ดังภาพที่ 4.5-4.6

ตารางที่ 4.2 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณถนน 3 ถดู

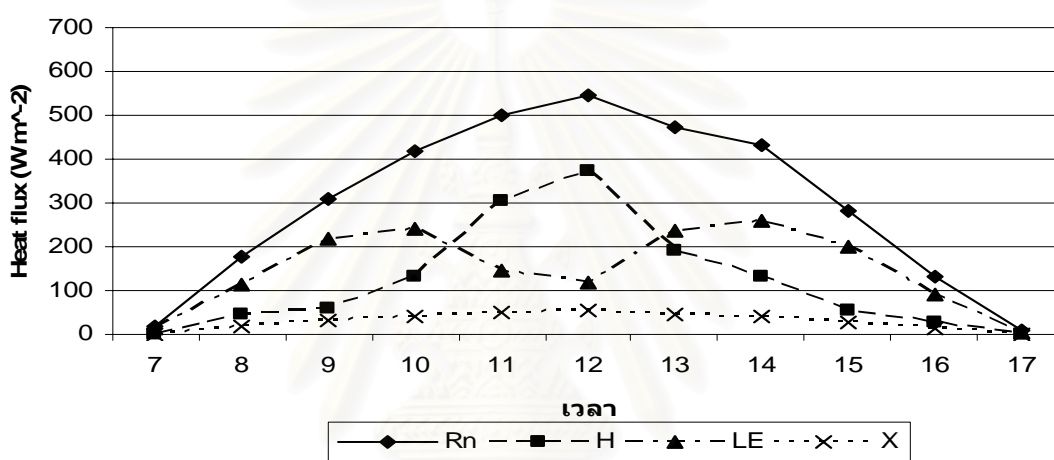
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.5 - 30.4	29.3	24.6 - 33.7	30.3	27.9 - 35.5	31.7
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.5 - 29.3	28.5	24.7 - 33.8	30.5	28.1 - 34.9	32.0
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.6 - 28.7	27.6	24.4 - 31.9	29.3	28.2 - 35.4	32.5
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	-	-	-	-	-	-
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	-	-	-	-	-	-
RH (%)	67.0 - 82.1	73.8	31.7 - 61.5	43.9	0.6 - 39.9	19.9
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.5 - 8.2	3.3	0.2 - 9.5	3.0	0.3 - 8.2	3.5
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	-4.3 - 0.1	-2.1	-2.9 - -0.4	-1.7	-4.0 - 0.6	-2.2
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-0.9 - 3.5	1.6	-0.5 - 4.2	1.7	-3.0 - 3.3	1.0
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-0.2 - 1.2	0.3	-0.1 - 1.2	0.3	0.0 - 0.9	0.5
P (mb)	1007 - 1010	1009	1010 - 1015	1013	1008 - 1012	1010
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	8.66-326.02	127.81	49.85-757.50	441.53	14.42 - 867.6	459.00
$e_s$ (mb)	35.6 - 44.4	41.2	30.4 - 52.3	43.9	38.9 - 57.2	48.7
$e_a$ (mb)	27.3 - 32.6	30.4	16.4 - 20.5	18.7	0.3 - 15.6	9.4
N (deca)	9 - 10	9	3 - 5	4	3 - 9	6

### (1) รังสีสุทธิ

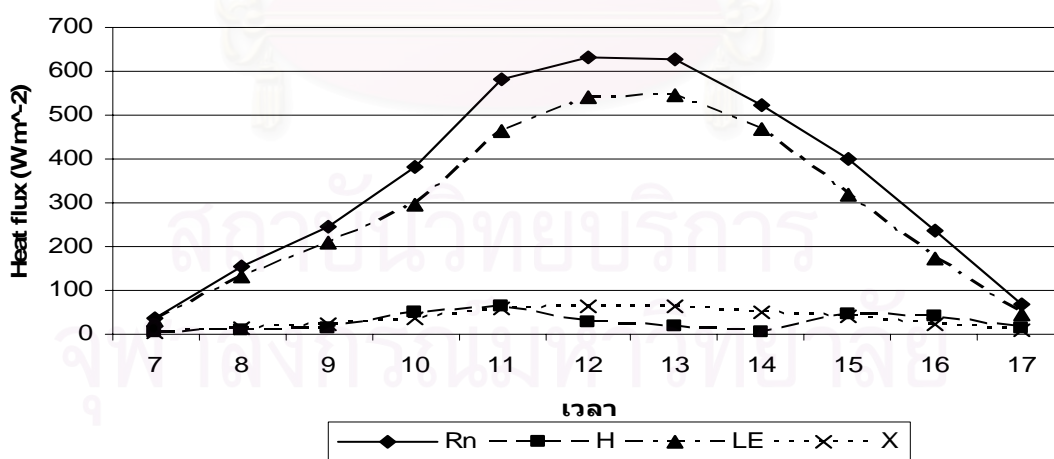
รังสีสุทธิ บริเวณถนนในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 83.41 299.13 และ 353.76 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแปรผันตามรังสีของโลก โดยเฉพาะในฤดูฝน มีรังสีสุทธิ น้อยมาก เนื่องจากมีเมฆมากเฉลี่ย 9 ส่วน ทำให้รังสีของโลกมีน้อยมากเฉลี่ย 127.81 วัตต์ต่อตาราง เมตร จึงส่งผลให้ปริมาณรังสีสุทธิมีน้อยดังกล่าว



(ก)

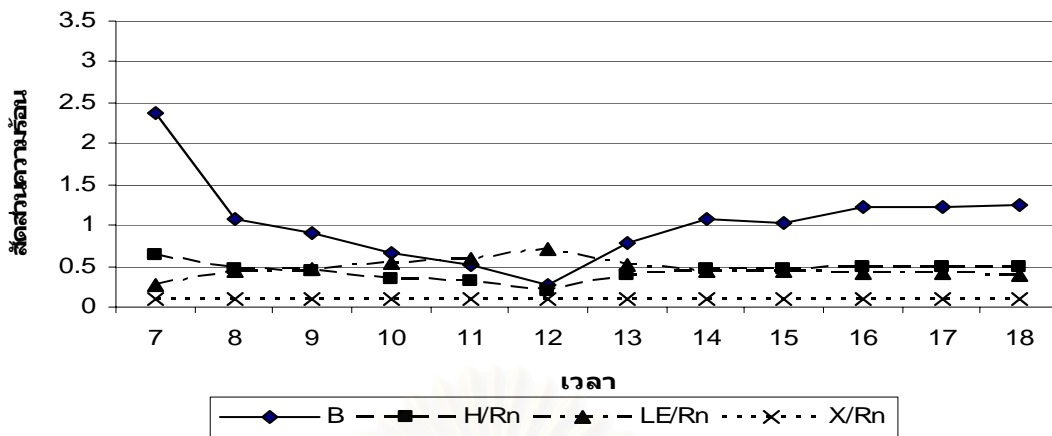


(ข)

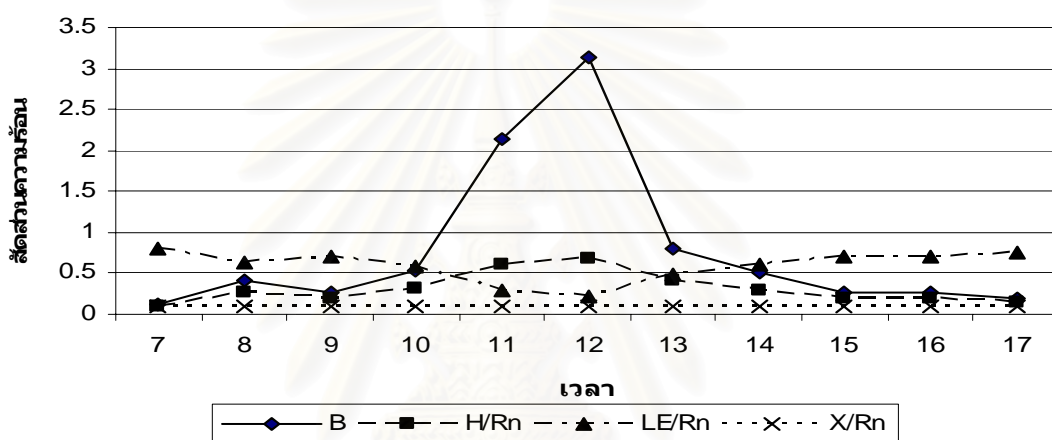


(ค)

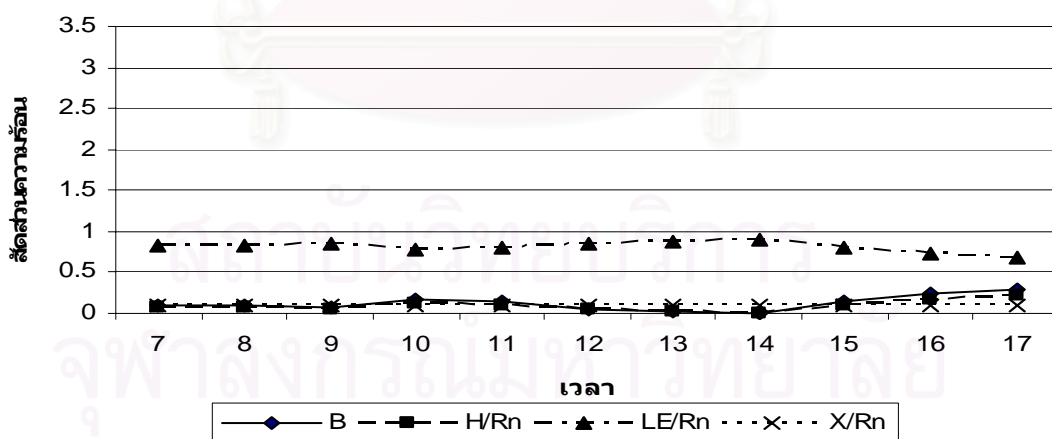
ภาพที่ 4.5 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบเวน บริเวณถนน ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.6 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณถนน ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

## (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 34.64 119.66 และ 25.94 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับฤดูฝนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อย เนื่องจากมีรังสีสุทธิน้อยเฉลี่ยเพียง 83.41 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนในฤดูร้อน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณที่ทำการตรวจวัดอยู่ใกล้คลองช่องนนทรี รังสีสุทธิ ซึ่งมีปริมาณมากจึงถูกใช้ในการระเหยน้ำ โดยมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิ 0.81 ทำให้เหลือความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อย และในฤดูหนาว มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศค่อยๆ สูงขึ้น สูงสุดในเวลา 12.00 น. เฉลี่ย 370.92 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่อยๆ ลดลง

## (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 40.43 149.56 และ 292.44 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในฤดูฝน มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำค่อนข้างต่ำ เนื่องจากรังสีสุทธิที่เหลืออยู่บริเวณพื้นผิวของโลกมีค่าต่ำ ส่วนในฤดูหนาว มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูง 2 ช่วง คือ ช่วงเช้า (9.00-10.00 น.) และช่วงบ่าย (13.00-15.00 น.) ทั้งนี้เนื่องจากเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ทิศทางของแดดอ่อนทางทิศใต้ แดดจะทำมุมต่ำมากในช่วงเวลาสายและบ่าย ในทิศใต้ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, 2542) นอกจากนี้ในบริเวณที่ทำการติดตั้งเครื่องมือมีสถานีรถไฟฟ้าช่องนนทรีทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ และมีอาคารสูงทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งจะบังพลังงานจากดวงอาทิตย์ และมีคลองช่องนนทรีอยู่ใต้สถานีรถไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูง และมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่ำในช่วงเวลาดังกล่าว และในฤดูร้อนมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าสูงมาก โดยสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 0.81 ทั้งนี้เนื่องมาจากการมีคลองช่องนนทรีอยู่ใต้สถานีรถไฟฟ้าซึ่งความร้อนส่วนใหญ่ในบริเวณนี้จะใช้ในการเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ นอกจากนี้ สถานีรถไฟฟ้าและอาคารสูงบังรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ 2 ระดับ ในบริเวณศึกษามีค่าต่ำ ส่งผลให้สัดส่วน Bowen มีค่าต่ำด้วย ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจึงน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

## (4) ความร้อนพื้นผิว

ความร้อนพื้นผิวในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 8.34 29.91 และ 35.38 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่า 0.1 เท่าของรังสีสุทธิ

## (5) สัดส่วน Bowen

สัดส่วน Bowen ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 1.03 0.79 และ 0.12 ตามลำดับ โดยเฉพาะในฤดูหนาว เวลา 12.00 น. มีสัดส่วน Bowen 3.14 นั่นคือ มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำถึง 3.14 เท่า

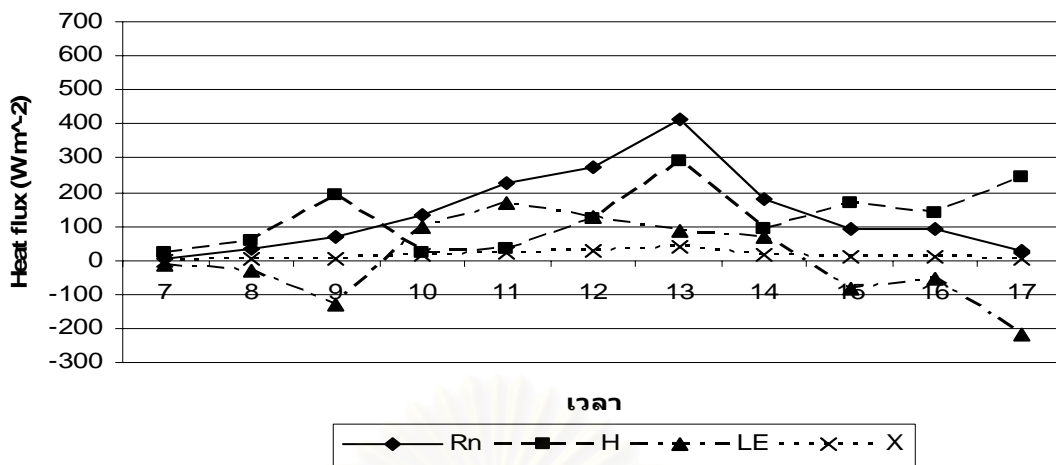


### 3) พื้นที่เขตเมือง

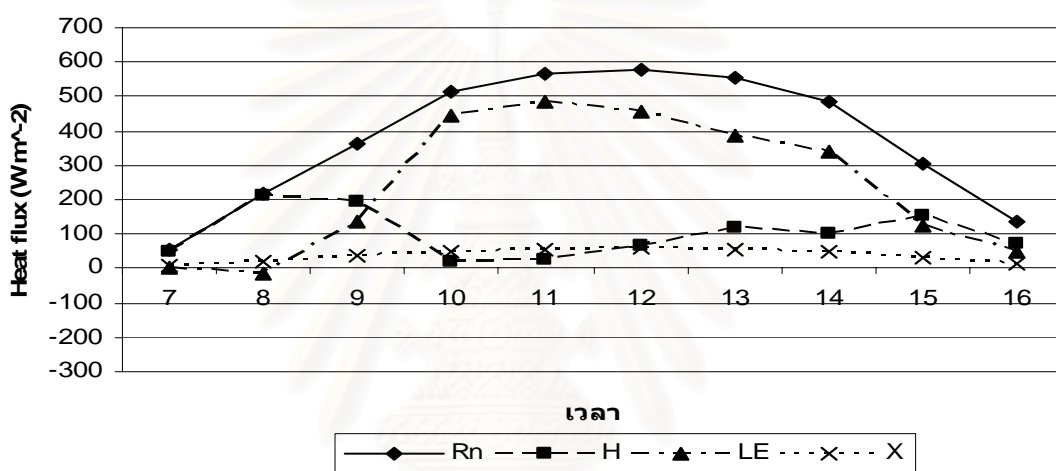
ผลการศึกษาสมมูลความร้อนบริเวณพื้นที่เขตเมือง บริเวณข้างหอธรรม โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย สามารถตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในฤดูฝน (17 กันยายน 2547) ฤดูหนาว (29 พฤศจิกายน 2547) และฤดูร้อน (22 มีนาคม 2548) ดังตารางที่ 4.3 และคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของรังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว และสัดส่วน Bowen ดังภาพที่ 4.7-4.8

ตารางที่ 4.3 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณพื้นที่เขตเมือง 3 ฤดู

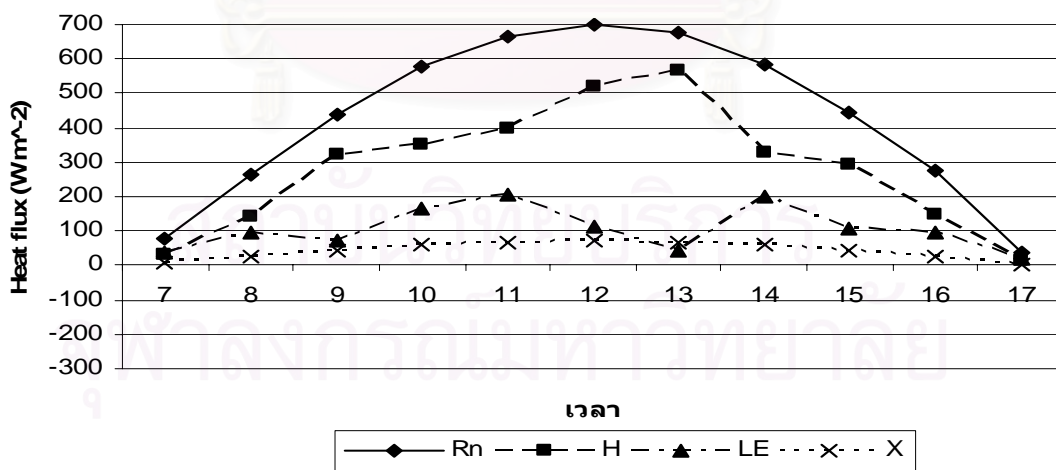
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	26.7 - 32.3	30.3	26.7 - 32.3	30.3	28.0 - 36.2	33.1
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	26.4 - 32.3	30.0	26.4 - 32.3	30.1	27.8 - 34.6	32.1
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.6 - 31.8	29.3	25.6 - 31.8	29.4	26.7 - 32.2	30.3
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	26.8 - 28.0	27.4	26.8 - 28.0	27.3	27.3 - 27.9	27.6
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.3 - 27.9	27.6	27.3 - 27.8	27.6	27.4 - 28.2	27.9
RH (%)	65.6 - 90.3	79.1	43.0 - 63.8	50.6	13.0 - 34.5	19.7
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.2 - 4.6	1.3	0.2 - 6.0	1.5	0.9 - 8.7	2.9
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	-2.4 - 1.4	0.0	-1.9 - 0.5	-0.6	0.0 - 3.1	2.1
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-1.3 - 0.4	-0.3	-1.2 - 1.6	-0.2	-1.8 - 0.0	-1.0
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-0.5 - 0.4	0.0	-0.4 - 0.3	-0.1	0.0 - 0.5	0.2
P (mb)	1008 - 1012	1010	1010 - 1015	1013	1006 - 1011	1009
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	52.53-575.32	203.78	209.48-794.57	537.25	108.47-982.60	627.87
$e_s$ (mb)	35.0 - 45.2	39.5	34.6 - 48.9	42.9	39.8 - 53.8	48.4
$e_a$ (mb)	29.0 - 32.1	31.0	20.0 - 22.7	21.7	6.6 - 13.9	9.3
N (deca)	9 - 10	10	2 - 7	5	3	3



(ก)

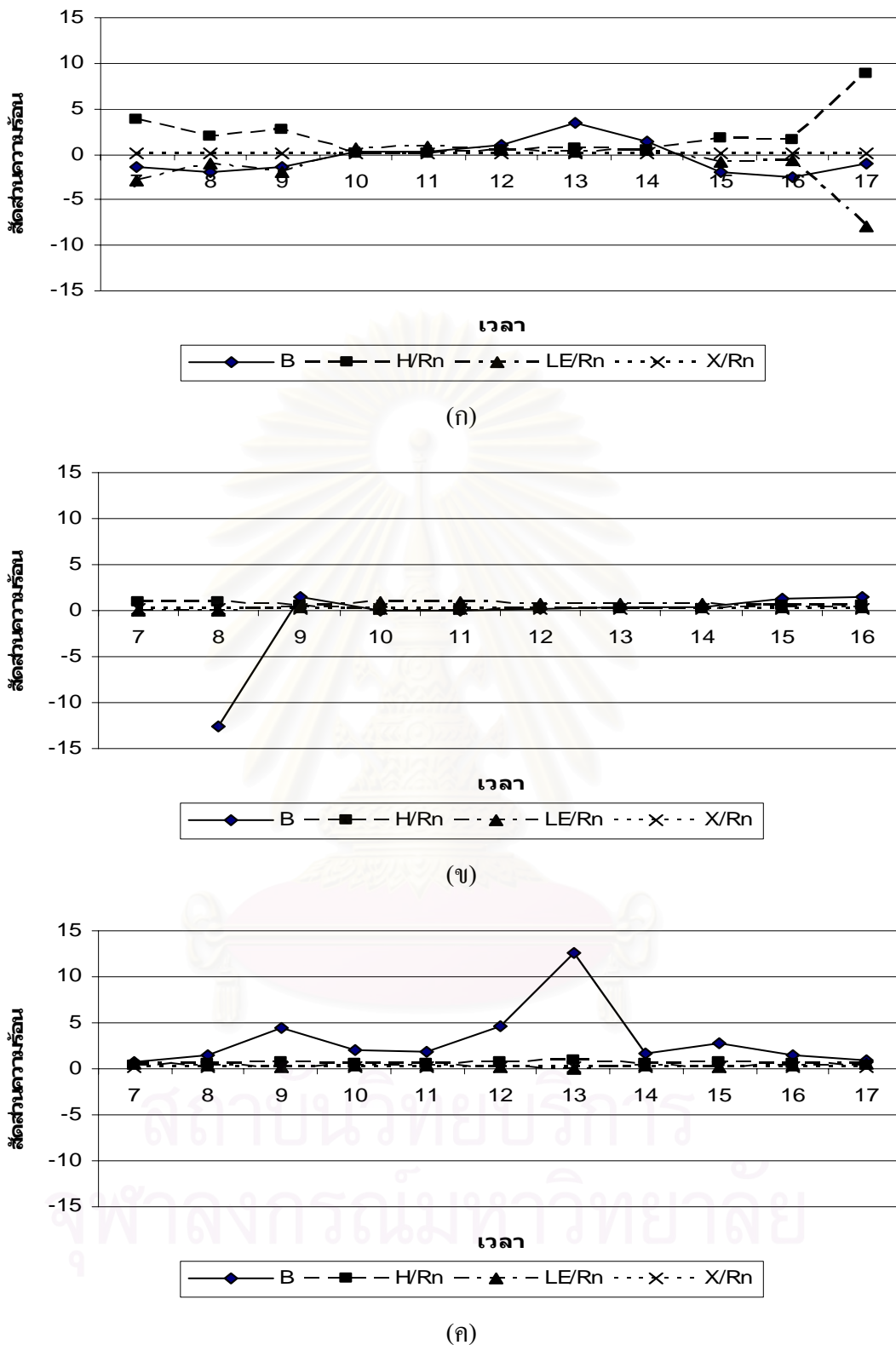


(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.7 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบเวน บริเวณเขตเมือง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



ภาพที่ 4.8 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณเขตเมือง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

### (1) รังสีสุทธิ

รังสีสุทธิบริเวณเขตเมือง ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 139.98 378.14 และ 431.07 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งในฤดูหนาว และร้อน มีรังสีสุทธิค่อนข้างสูง ส่วนในฤดูฝนมีรังสีสุทธิค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในตอนเช้า (7.00-9.00 น.) และตอนบ่าย (15.00-17.00 น.) มีเมฆมาก และมีฝนตกลงมา นอกจากนี้ตลอดทั้งวัน มีปริมาณเมฆ 9-10 ส่วน ทำให้รังสีสุทธิมีค่าต่ำ

### (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 124.97 100.67 และ 282.77 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยในฤดูฝนมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อย เนื่องจากในวันที่ทำการศึกษามีรังสีสุทธิน้อย ส่วนในฤดูหนาวมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อย เนื่องจากรังสีสุทธิได้เปลี่ยนเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ และในฤดูร้อน มีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยสูงถึง 0.60

### (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 1.01 239.66 และ 105.19 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝนมีค่าน้อยมากเนื่องจากปริมาณรังสีสุทธิในวันที่ทำการศึกษามีค่าน้อย ส่วนฤดูหนาวมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิเฉลี่ย 0.50 โดยในช่วง 10.00-14.00 น. สัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 0.78 ส่วนในฤดูร้อนมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิเพียง 0.30 เท่านั้น

### (4) ความร้อนพื้นผิว

ความร้อนพื้นผิวในเขตเมือง ได้ทำการศึกษาโดยคำนวณ ซึ่งมีค่า 0.1 เท่าของรังสีสุทธิ ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 14.00 37.81 และ 43.11 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

### (5) สัดส่วนโบเวน

สัดส่วนโบเวนในเขตเมือง ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 1.23 0.62 และ 3.17 ตามลำดับ โดยเฉพาะในฤดูร้อนมีสัดส่วนโบเวนในเวลา 13.00 น. มีค่า 12.51 ซึ่งมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 12.51 เท่า

## 4) พื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง

ผลการศึกษาสมดุลความร้อนบริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง บริเวณสนามหญ้าหน้าโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ ซึ่งถูกล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ได้แก่ ถนน อาคารสูง และลานจอดรถคอนกรีต สามารถตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาในฤดูฝน (10 กันยายน 2547) ฤดูหนาว (20 พฤศจิกายน 2547) และฤดูร้อน (2 เมษายน 2548) ดังตารางที่ 4.4 และนำมาคำนวณรังสีสุทธิ ความ

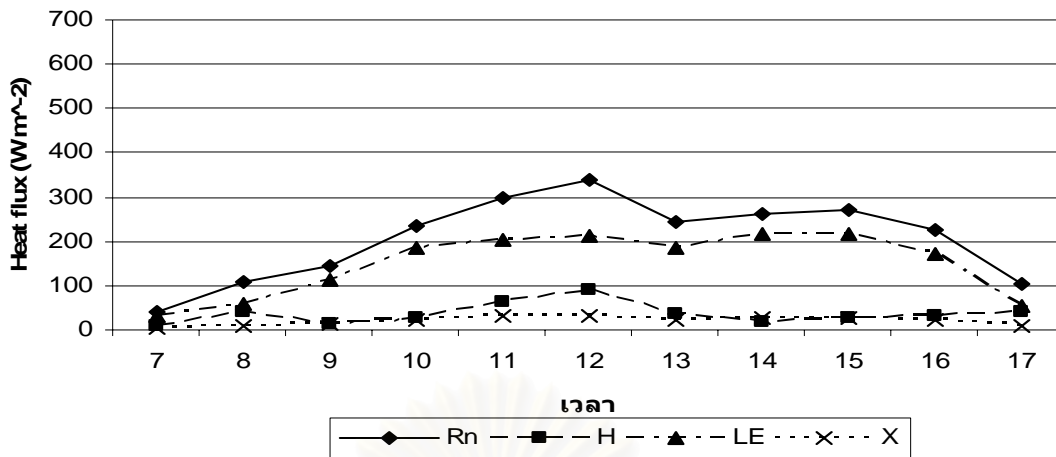
ร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว และสัดส่วน โบเวน  
 ดัชนีภาพที่ 4.9-4.10

ตารางที่ 4.4 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง 3 ฤดู

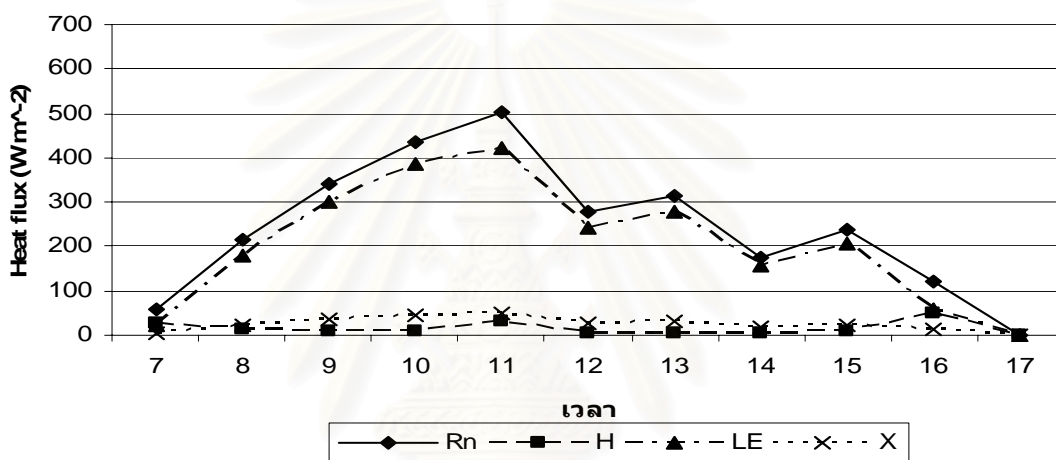
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.5 - 31.8	30.3	27.1 - 32.8	30.7	30.1 - 37.5	34.5
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.3 - 32.3	30.4	26.9 - 33.0	30.7	29.5 - 35.8	33.4
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.2 - 32.6	30.3	26.3 - 32.9	30.3	29.0 - 36.1	30.3
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.8 - 30.1	29.2	28.0 - 29.1	28.6	29.7 - 30.7	33.0
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	29.1 - 29.7	29.4	28.8 - 29.2	29.0	30.2 - 30.7	30.5
RH (%)	48.3 - 73.3	57.1	39.6 - 768.8	400.7	29.7 - 51.8	37.3
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.2 - 9.5	3.1	0.4 - 8.3	2.5	0.6 - 13.1	4.5
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	-4.2 - 2.8	-0.9	-3.3 - 1.7	-0.6	-6.4 - 0.8	-2.7
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-2.4 - 3.1	0.4	-2.6 - 1.9	-0.2	-0.5 - 3.8	1.5
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-0.4 - 0.6	0.1	-0.5 - 0.4	0.0	-0.3 - 0.7	0.2
P (mb)	1007 - 1012	1010	1010 - 1015	1012	1007 - 1011	1009
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	161.63-479.30	302.87	39.55 - 768.83	400.70	157.67-931.80	574.93
$e_s$ (mb)	36.3 - 47.0	43.1	33.4 - 50.9	43.9	43.2 - 59.6	50.8
$e_a$ (mb)	22.3 - 26.7	24.4	16.6 - 21.6	19.7	15.4 - 22.4	18.8
N (deca)	8 - 10	9	2 - 6	3	3 - 6	5

### (1) รังสีสุทธิ

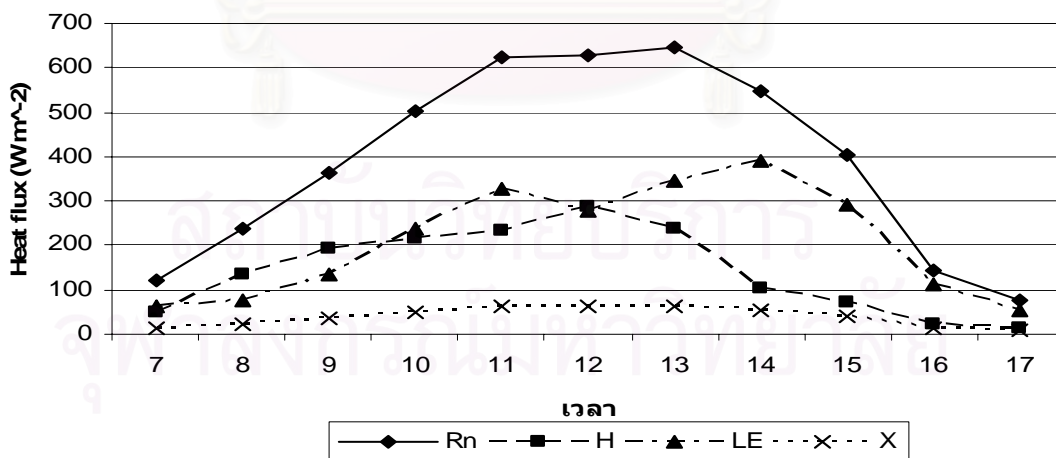
รังสีสุทธิบริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 206.64 243.80 และ 390.81 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยเฉพาะในฤดูฝน มีรังสีสุทธิต่ำเนื่องจากปริมาณเมฆมีค่าเฉลี่ย 9 ส่วน รังสีของโลกมีค่าเฉลี่ยเพียง 302.87 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้มีรังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าฤดูอื่น



(ก)

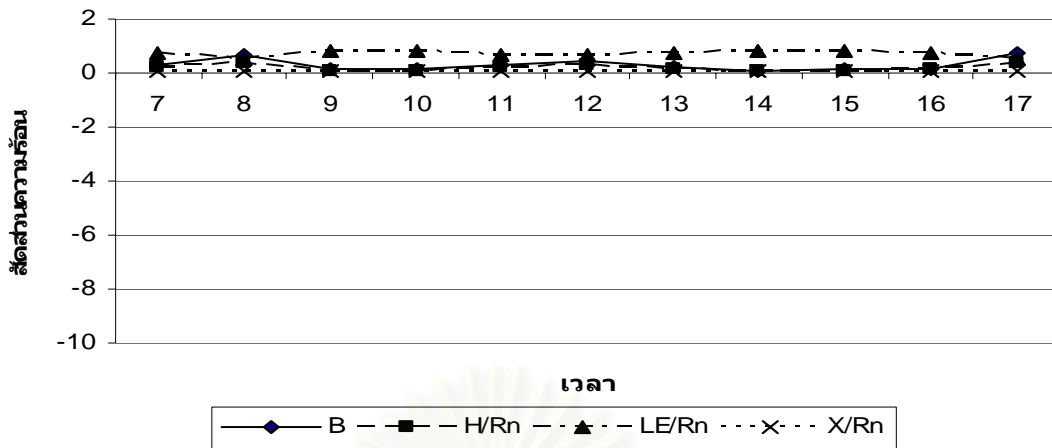


(ข)

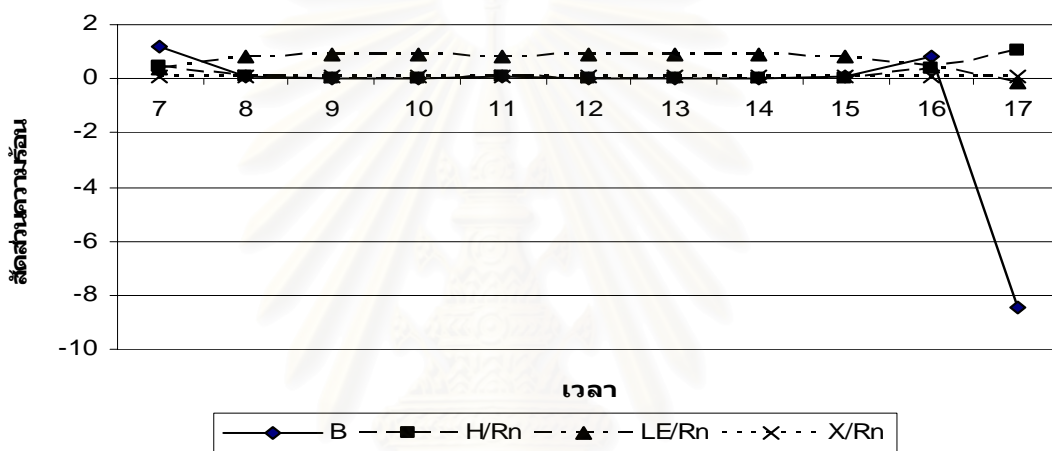


(ค)

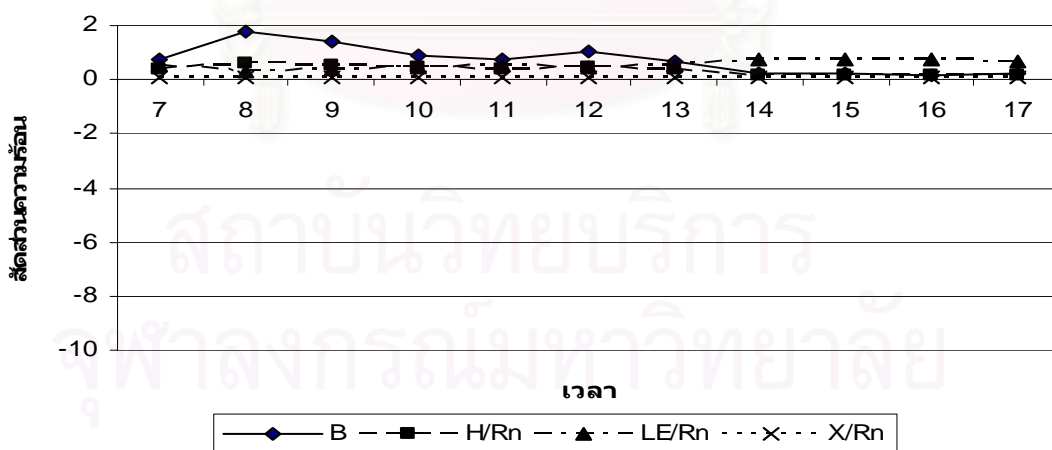
ภาพที่ 4.9 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วนโบเวน บริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.10 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

## (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 35.79 15.13 และ 142.18 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยในฤดูฝน หนาว และร้อน มีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยเพียง 0.19 0.20 และ 0.35 ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูร้อนมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศค่อนข้างสูง โดยสูงที่สุด ณ เวลา 11.00 น. และมีค่าลดลงตามลำดับ

## (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำบริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้างในทุกฤดูมีค่าค่อนข้างสูง ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 150.19 204.28 และ 209.54 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยในฤดูฝนมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำน้อยที่สุดเนื่องจากในวันที่ทำการศึกษามีรังสีสุทธิน้อย ส่วนในฤดูหนาว มีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยสูงถึง 0.70 และในฤดูร้อน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าค่อยๆ สูงขึ้น โดยสูงที่สุดในเวลา 14.00 น. ซึ่งมีค่า 389.74 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่อยๆ ลดลงตามลำดับ

## (4) ความร้อนพื้นผิว

ความร้อนพื้นผิวบริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้างในการศึกษาคั้งนี้ คำนวณโดยมีค่าเท่ากับ 0.1 เท่าของรังสีสุทธิ ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 20.66 24.38 และ 39.08 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

## (5) สัดส่วนโบเวน

สัดส่วนโบเวนบริเวณพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง 0.29 0.23 และ 0.75 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในทุกฤดู

## 5) พื้นที่สีเขียว

ผลการศึกษาสมดุลความร้อนบริเวณพื้นที่สีเขียว บริเวณสนามหญ้าข้างพระรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งทำการตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยานิพนธ์ในฤดูฝน (6 ตุลาคม 2547) ฤดูหนาว (9 กุมภาพันธ์ 2548 และฤดูร้อน (13 เมษายน 2548) ได้ตั้งตารางที่ 4.5 และสามารถนำมาคำนวณรังสีสุทธิ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ความร้อนพื้นผิว และสัดส่วนโบเวน แสดงดังภาพที่ 4.11-4.12

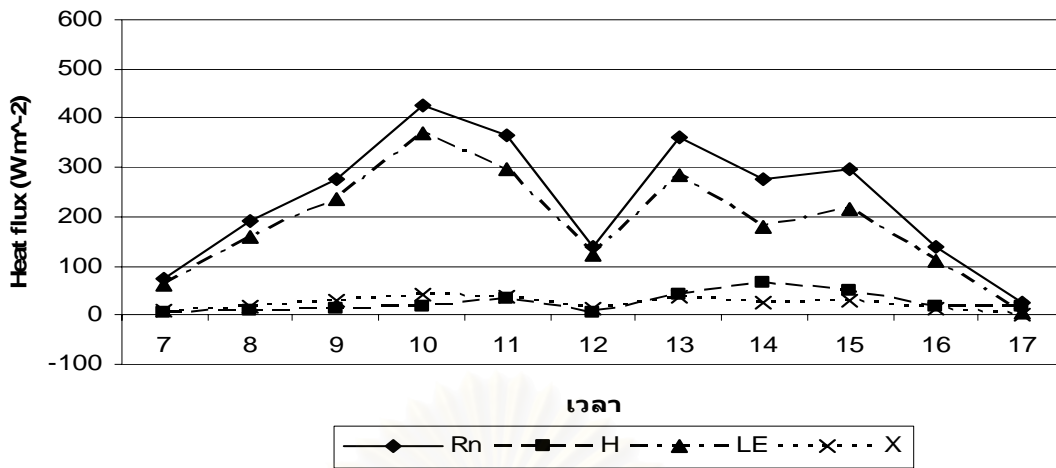


ตารางที่ 4.5 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณพื้นที่สีเขียว 3 ฤดู

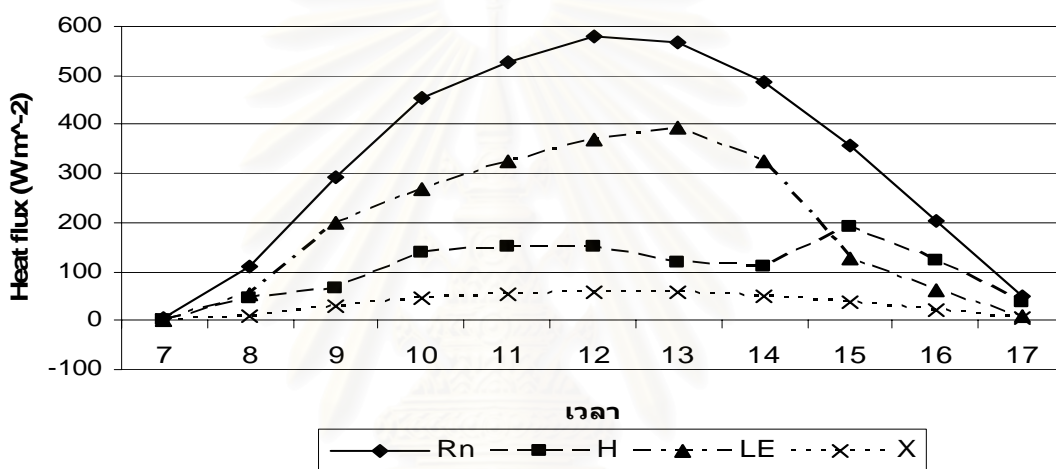
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.2 - 31.7	30.0	27.2 - 34.6	31.9	29.7 - 38.8	34.1
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.1 - 31.4	29.9	25.5 - 32.9	30.2	28.6 - 36.3	32.5
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.3 - 31.4	29.8	25.8 - 33.4	30.5	28.4 - 35.7	32.5
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.7 - 29.3	29.0	26.7 - 28.0	27.6	30.5 - 31.3	31.1
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	29.0 - 29.2	29.1	28.3 - 29.1	28.8	30.7 - 32.5	31.7
RH (%)	53.5 - 81.3	65.6	7.2 - 72.5	32.5	35.0 - 64.5	48.7
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.2 - 10.5	3.3	0.3 - 10.4	2.9	0.4 - 8.4	3.4
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	-3.9 - 2.4	0.3	-3.9 - 3.9	0.5	-1.4 - 4.0	1.8
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-1.9 - 5.4	1.3	-1.0 - 1.8	0.4	-1.7 - 1.5	-0.2
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-0.3 - 0.6	0.0	-0.6 - 0.3	-0.1	-0.6 - 0.4	-0.1
P (mb)	1009 - 1014	1011	1010 - 1015	1012	1009 - 1013	1011
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	52.18-613.93	343.22	123.23-809.42	492.88	57.20- 769.80	393.58
$e_s$ (mb)	34.0 - 47.3	40.9	37.1 - 48.4	44.0	41.5 - 55.0	48.1
$e_a$ (mb)	24.0 - 28.4	26.7	3.3 - 28.2	14.2	18.8 - 28.3	23.1
N (deca)	9	9	3 - 8	5	8 - 10	9

### (1) รังสีสุทธี

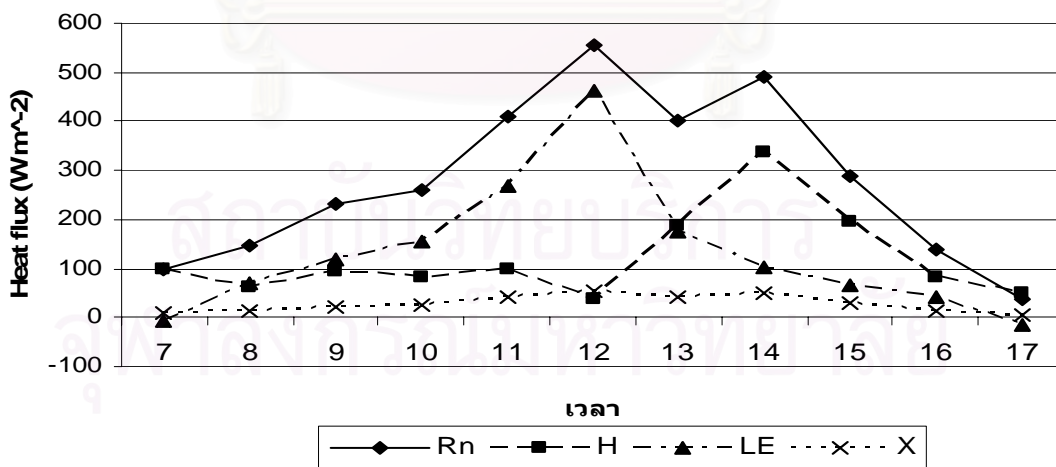
รังสีสุทธี บริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 233.05 329.87 และ 278.58 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในฤดูหนาว และร้อน มีรังสีสุทธีค่อนข้างสูง แต่ในฤดูฝนที่มีรังสีสุทธีค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีปริมาณเมฆมาก 9 ส่วน ตลอดเวลาทำการศึกษา โดยเฉพาะในเวลา 12.00 น. มีฝนตกลงมา รังสีของโลกมีค่า 211.15 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้รังสีสุทธีมีค่าต่ำที่สุด 139.99 วัตต์ต่อตารางเมตร



(ก)

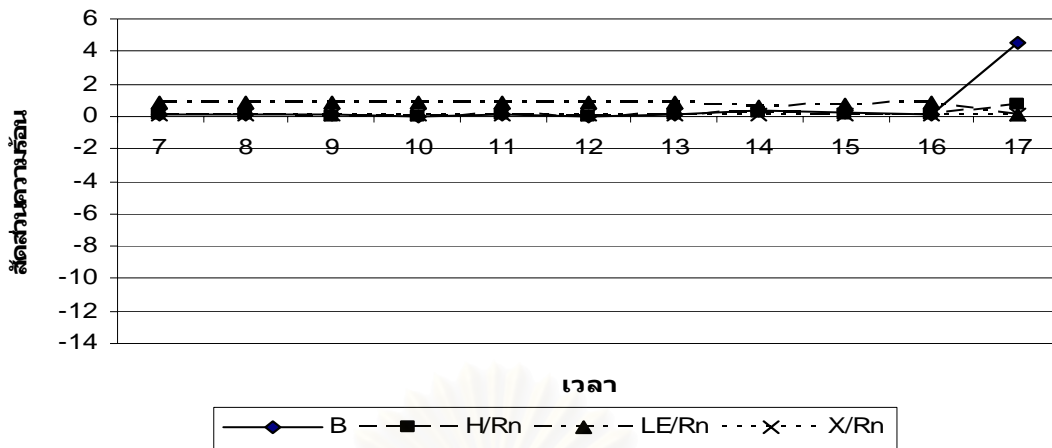


(ข)

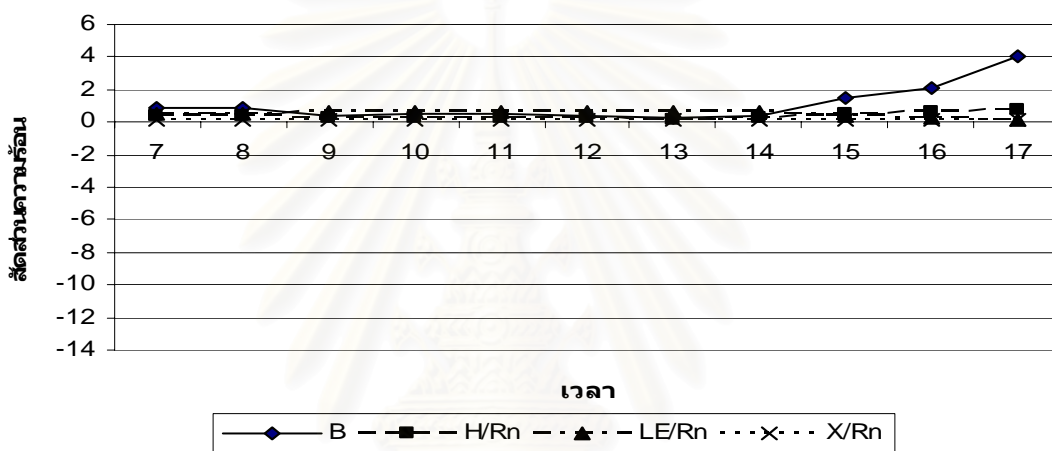


(ค)

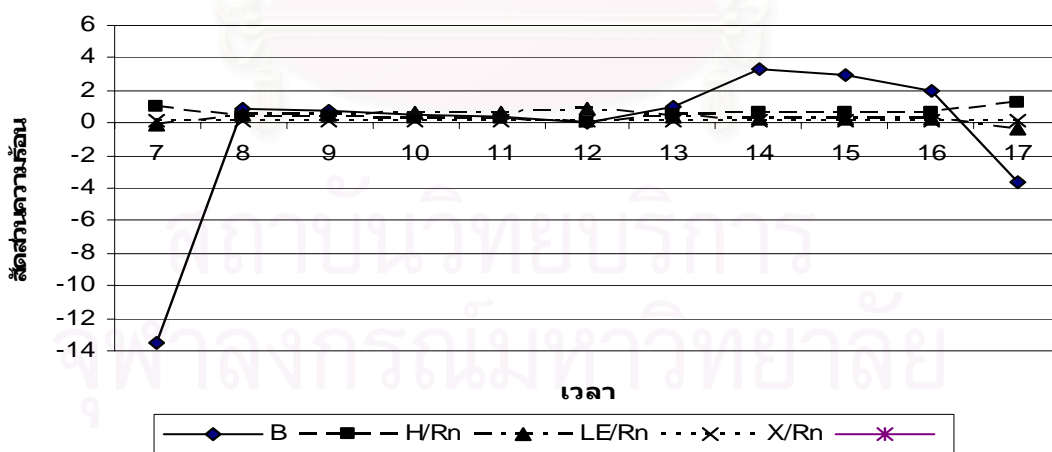
ภาพที่ 4.11 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีตัดส่วน โบเวน บริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.12 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณพื้นที่สี่เหลี่ยม ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

## (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 24.71 103.23 และ 119.51 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยเฉพาะในฤดูฝนมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศค่อนข้างต่ำ สัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่อรังสีสุทธิมีค่าเพียง 0.15 เท่านั้น เนื่องจากมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำค่อนข้างสูง ส่วนในฤดูหนาว และร้อน มีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่อรังสีสุทธิ มีค่าเฉลี่ย 0.38 และ 0.39 ตามลำดับ

## (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำบริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 185.03 193.65 และ 131.22 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งในทุกฤดูมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธிக่อนข้างสูง โดยในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 0.75 0.52 และ 0.51 ตามลำดับ โดยเฉพาะในฤดูร้อน เวลา 12.00 น. มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงถึง 463.61 วัตต์ต่อตารางเมตร

## (4) ความร้อนพื้นผิว

ความร้อนพื้นผิวบริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 23.31 32.99 และ 27.86 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งคำนวณเท่ากับ 0.1 เท่าของรังสีสุทธิ

## (5) สัดส่วนโบเวน

สัดส่วน โบเวนบริเวณพื้นที่สีเขียว ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.13 0.76 และ 0.80 โดยเฉพาะในฤดูฝนที่มีสัดส่วน โบเวนน้อยกว่าฤดูอื่น กล่าวคือ มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเพียง 0.13 เท่าของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเท่านั้น

จากการศึกษาสมมูลความร้อนบนสิ่งปกคลุมดินประเภทต่างๆ ทั้ง 3 ฤดู สามารถแสดงค่าเฉลี่ยของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ และความร้อนพื้นผิว ดังตารางที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน สัดส่วนโบเวน สัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิของ  
สิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท 3 ฤดู

ฤดู	พารามิเตอร์	สิ่งปกคลุมดิน				
		อาคารสูง	ถนน	เขตเมือง	พื้นที่สีเขียว ล้อมด้วยสิ่ง ปลูกสร้าง	พื้นที่สีเขียว
ฤดูฝน	$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	345.52	83.41	139.98	206.64	233.05
	$H$ ( $W m^{-2}$ )	169.10	34.64	124.97	35.79	24.71
	$LE$ ( $W m^{-2}$ )	201.63	40.43	1.01	150.19	185.03
	$X$ ( $W m^{-2}$ )	37.08	8.34	14.00	20.66	23.31
	B	0.89	1.03	1.23	0.29	0.13
	$H/R_n$	0.43	0.43	1.38	0.19	0.15
	$LE/R_n$	0.47	0.47	-0.48	0.71	0.75
ฤดูหนาว	$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	351.60	299.13	378.14	243.80	329.87
	$H$ ( $W m^{-2}$ )	66.50	119.66	100.67	15.13	103.23
	$LE$ ( $W m^{-2}$ )	285.00	149.56	239.66	204.28	193.65
	$X$ ( $W m^{-2}$ )	35.16	29.91	37.81	24.38	32.99
	B	0.43	0.79	0.62	0.23	0.76
	$H/R_n$	0.21	0.31	0.40	0.20	0.38
	$LE/R_n$	0.69	0.59	0.50	0.70	0.52
ฤดูร้อน	$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	316.01	353.76	431.07	390.81	278.58
	$H$ ( $W m^{-2}$ )	117.92	25.94	282.77	142.18	119.51
	$LE$ ( $W m^{-2}$ )	184.48	292.44	105.19	209.54	131.22
	$X$ ( $W m^{-2}$ )	33.60	35.38	43.11	39.08	27.86
	B	0.68	0.12	3.17	0.75	0.80
	$H/R_n$	0.43	0.09	0.60	0.35	0.39
	$LE/R_n$	0.47	0.81	0.30	0.55	0.51

หมายเหตุ:  $X/R_n$  มีค่า 0.1

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยสมมูลความร้อนและสัดส่วน โบเวนของสิ่งปกคลุมดิน ประเภทต่างๆ โดยให้สัดส่วนความร้อนพื้นผิวดอรั้งรังสีสุทธิมีค่าเท่ากับ 0.1 พบว่า ฤดูฝน ในพื้นที่สีเขียวและพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้างมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงกว่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศอย่างชัดเจน เนื่องจากลักษณะของสิ่งปกคลุมดินของพื้นที่สีเขียวเป็นมีดินซึ่งสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ความร้อนบริเวณพื้นผิวจึงระเหยกลายเป็นไอน้ำ อีกทั้งยังมีการคายน้ำของต้นไม้อีกด้วย ส่วนพื้นที่อาคารสูงและถนน มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำและความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวของอาคารสูงและถนนในพื้นที่สีเขียวนั้นเป็นคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่สามารถเก็บน้ำไว้ได้ เมื่อน้ำฝนอยู่บนพื้นคอนกรีต รังสีสุทธิจะถูกใช้ในการระเหยน้ำก่อนเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นจะถูกใช้ในการเผาผลาญอากาศทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นต่อไป ส่วนพื้นที่เขตเมืองในวันที่ทำการศึกษาอากาศค่อนข้างแปรปรวนมีฝนตก ส่งผลให้ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าต่ำมากนั่นเอง

ส่วนในฤดูหนาว สมมูลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินทุกๆ ประเภท ส่วนใหญ่มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำซึ่งแสดงว่า มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่ำ ดังนั้นรังสีสุทธิจึงเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่

สำหรับในฤดูร้อน ในพื้นที่อาคารสูง มีความร้อนส่วนใหญ่เป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ เนื่องจากในวันที่ทำการศึกษาในพื้นที่อาคารสูงมีฝนตก ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าในฤดูร้อนโดยทั่วไป ทำให้รังสีสุทธิถูกใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับพื้นที่ถนน แม้ว่าจะมีอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และรังสีสุทธิ ใกล้เคียงกับพื้นที่ในเขตเมืองทั่วไป แต่ในบริเวณที่ทำการศึกษามีบริเวณสถานีรถไฟฟ้าชองนนทรี พบคลองชองนนทรีซึ่งมีผลให้ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงกว่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ นอกจากนี้ยังมีผลจากการบังรังสีดวงอาทิตย์จากอาคารสูง และสถานีรถไฟฟ้าในบริเวณดังกล่าว ส่วนพื้นที่เขตเมืองส่วนใหญ่มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นประเภทคอนกรีต ทำให้ไม่มีพื้นที่สำหรับเก็บกักน้ำ และประกอบกับมีความชื้นในบรรยากาศต่ำมาก รังสีสุทธิจึงไม่ถูกใช้ในการระเหยน้ำมาก แต่ใช้ในการเผาผลาญอากาศให้อุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับพื้นที่สีเขียวและพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ส่วนใหญ่มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ กล่าวคือ เมื่อรังสีสุทธิถูกใช้ในการระเหยน้ำแล้ว ความร้อนที่เหลือจึงจะถูกใช้ในการเผาผลาญอากาศ

จากการศึกษาสมมูลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท แสดงให้เห็นว่า ในเขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างซึ่งมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมาก ทำให้อุณหภูมิอากาศสูง ในขณะที่ในพื้นที่สีเขียว มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมาก แต่มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อย ทำให้อุณหภูมิอากาศไม่สูงขึ้นมาก ซึ่งลักษณะนี้ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

### 4.1.3 สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง

การศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง ได้ทำการเลือกพื้นที่ศึกษา บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยทำการศึกษาฤดูละ 5 วัน 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ศึกษาระหว่างวันที่ 17-21 พฤษภาคม 2548 ฤดูหนาว ศึกษาระหว่างวันที่ 7-11 มกราคม 2548 และฤดูร้อน ศึกษา ระหว่างวันที่ 15-19 เมษายน 2548 ซึ่งทำการศึกษาสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน สภาพอุตุนิยมวิทยา สมดุลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม จากวิธี Eddy correlation วิธีสัดส่วนโบเวน และ สมดุลความร้อนจากข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี (พ.ศ. 2543 – 2547) โดยวิธีสัดส่วนโบเวน แสดง ได้ดังนี้

#### 1) สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

จากการศึกษาภาคสนามและภาพถ่ายทางอากาศ พบว่า สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน บริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในพื้นที่ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร พบว่า สิ่งปกคลุมดิน ที่พบมากในบริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศบางนามีสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่สีเขียวในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือ 48.52 และ 44.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่แหล่งน้ำและถนนอีกเล็กน้อย คือ 3.51 และ 3.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน บริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

สิ่งปกคลุมดิน	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	สัดส่วน (%)
สิ่งปลูกสร้าง	621,391.50	48.52
ถนน	44,388.00	3.47
พื้นที่สีเขียว	569,976.75	44.50
แหล่งน้ำ	44,975.25	3.51
รวม	1,280,731.50	100.00

#### 2) สภาพอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา 3 ฤดู ฤดูละ 5 วัน โดยเก็บข้อมูลราย 5 นาที ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 และ 0.05 เมตร อุณหภูมิพื้นผิว อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.05 และ 0.20 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมแกน X, Y และ Z (U, V และ W) รวมทั้งความเร็วลมแกนนอน (WS) ซึ่งได้พารามิเตอร์ประมาณ 1,440 ข้อมูลต่อฤดู ส่วนข้อมูลความกดอากาศ รังสีของโลกล และจำนวนเมฆเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาที่มีการเก็บข้อมูลรายชั่วโมง ซึ่งในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อฤดู

สำหรับความดันไอน้ำอิ่มตัว และความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ หาได้จากการคำนวณ สำหรับช่วง และค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิตามวิชา 3 ฤดู แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

### 3) รังสีดวงอาทิตย์ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ในการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลทางอุณหภูมิตามวิชา โดยเฉพาะรังสีของโลก อุณหภูมิอากาศ ค่าการปลดปล่อยรังสีพื้นผิว และค่าสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ของ USEPA (1999) มาคำนวณหารังสีบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา พบว่า ในเวลากลางวัน รังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 219.37 316.90 และ 326.70 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ได้รับอิทธิพลหลักมาจากรังสีคลื่นสั้นที่โลกได้รับหรือรังสีของโลก โดยมีค่าเฉลี่ย 420.46 380.04 และ 416.41 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่รังสีคลื่นยาวที่โลกได้รับมีค่าค่อนข้างคงที่ คือ 416.95 370.72 และ 412.16 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนรังสีคลื่นสั้นที่โลกสะท้อนกลับสู่บรรยากาศในเวลากลางวัน มีค่าเฉลี่ย -51.81 -53.77 และ -66.87 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่บรรยากาศ มีค่าเฉลี่ย -454.72 -452.84 และ -464.44 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

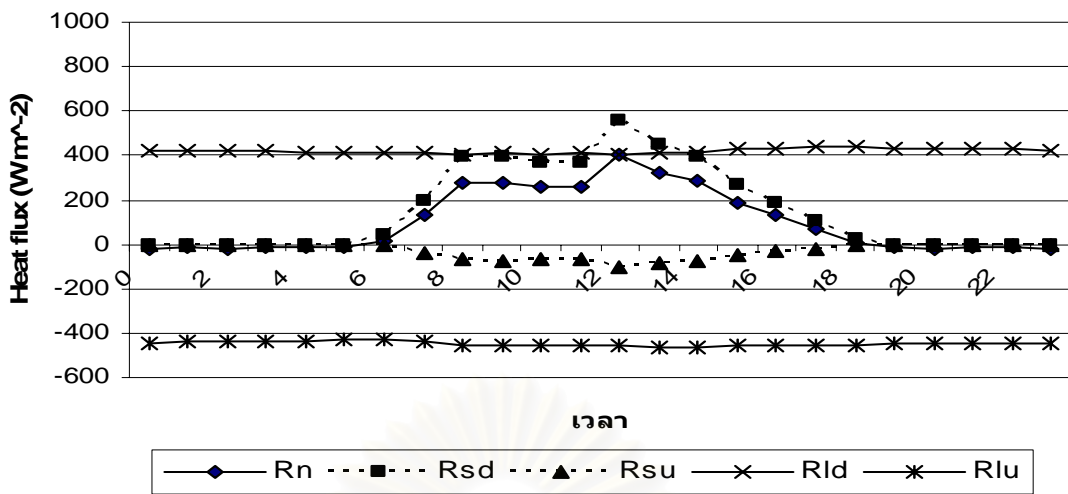
ส่วนในเวลากลางคืน โลกจะไม่ได้รับรังสีคลื่นสั้น ค่าดังกล่าวจึงมีค่าประมาณ 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนรังสีคลื่นยาวที่โลกได้รับมีค่า 424.25, 387.41 และ 420.69 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า -0.23, -0.28 และ -0.09 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนมีค่า -441.23, -431.15 และ -449.45 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่า รังสีทุกๆ แบบในเวลากลางคืนมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงได้ดังภาพที่ 4.13

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

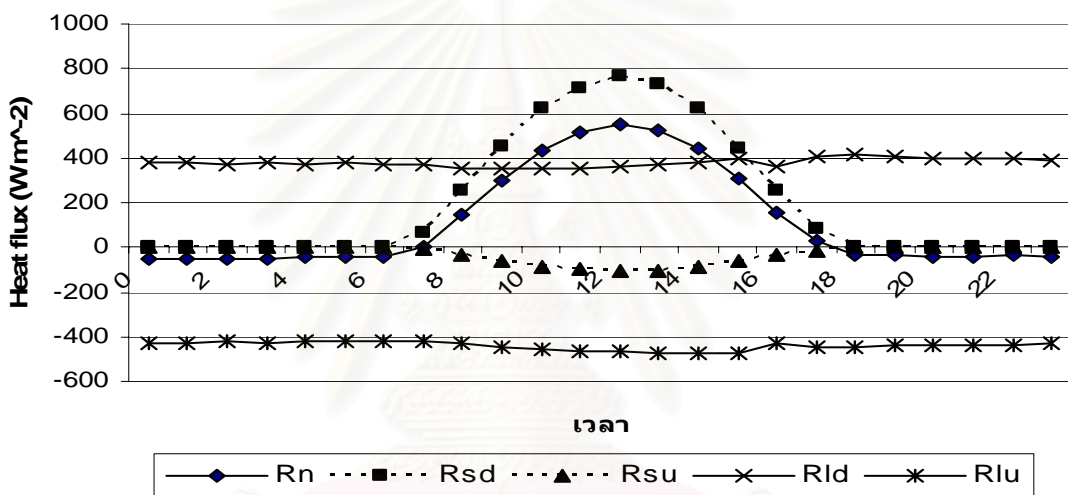


ตารางที่ 4.8 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา 3 ฤดู

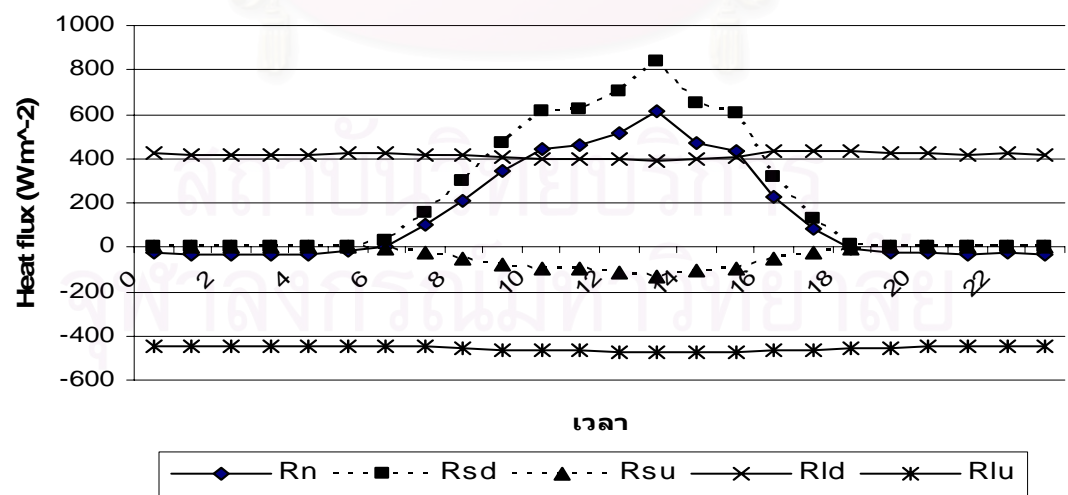
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.4 - 32.8 29.9	24.5 - 29.6 27.4	20.7 - 33.6 30.1	18.9 - 28.5 22.9	27.3 - 37.3 32.9	26.0 - 31.0 28.4
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	24.3 - 34.7 30.0	23.2 - 28.4 26.0	20.2 - 42.9 32.8	15.7 - 26.3 20.2	26.3 - 39.0 33.5	24.9 - 30.0 27.2
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	24.7 - 34.4 29.8	25.0 - 28.5 26.7	20.4 - 41.2 33.0	17.4 - 26.1 21.3	26.8 - 40.3 34.2	26.0 - 30.9 27.8
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.3 - 30.0 29.3	28.3 - 31.0 29.1	24.1 - 24.8 27.1	24.0 - 27.9 25.7	28.7 - 31.3 30.0	28.7 - 31.1 29.7
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	29.5 - 31.0 30.0	29.5 - 31.5 31.1	28.6 - 27.5 26.5	24.8 - 27.3 26.1	29.5 - 31.1 30.3	29.5 - 31.0 30.1
RH (%)	0.5 - 72.1 50.6	37.9 - 72.9 62.4	8.2 - 61.3 44.1	0.6 - 89.2 63.6	36.3 - 66.7 48.4	0.0 - 41.82 2.91
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.1 - 14.3 2.7	0.0 - 13.2 1.7	0.2 - 9.4 2.3	0 - 13.5 1.0	0.5 - 18.2 4.4	3 - 10 6
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	-7.1 - 11.6 0.9	-11.5 - 7.4 0.4	-4.5 - 2.5 0.3	-4.4 - 3.5 -0.2	-5.0 - 8.3 0.9	-1.8 - 2.8 0.6
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-10.9 - 8.9 -0.7	-12.3 - 3.7 -0.4	-3.1 - 2.2 0.0	-2.3 - 2.1 -0.1	-4.1 - 2.4 -2.1	-3.2 - 2.3 -1.0
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-5.9 - 3.7 -0.1	-4.8 - 3.0 -0.2	-0.4 - 0.3 0.0	-0.5 - 0.5 -0.1	-2.7 - 0.5 -0.2	-0.8 - 0.4 -0.1
P (mb)	1005 - 1010 1008	1006 - 1010 1008	1010 - 1016 1013	1010 - 1014 1012	1008 - 1015 1012	1009 - 1014 1012
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	16.35 - 914.95 307.69	0.00 - 25.18 1.25	0.00 - 785.47 229.05	0.00 - 0.57 0.00	5.45 - 1010.02 453.06	0.00 - 41.82 2.91
$e_s$ (mb)	31.5 - 50.9 43.2	30.4 - 43.4 37.3	26.4 - 53.5 43.5	24.1 - 50.0 33.6	37.8 - 55.9 47.6	35.3 - 44.2 40.4
$e_a$ (mb)	0.2 - 26.9 21.7	14.1 - 27.1 23.2	4.0 - 25.9 18.2	0.3 - 24.7 20.9	17.4 - 26.0 22.8	18.4 - 25.7 23.8
N (deca)	8 - 10 9	3 - 10 9	3 - 9 4	3 - 9 4	3 - 10 8	3 - 10 6



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.13 รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

#### 4) สมดุลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม จากวิธี Eddy correlation

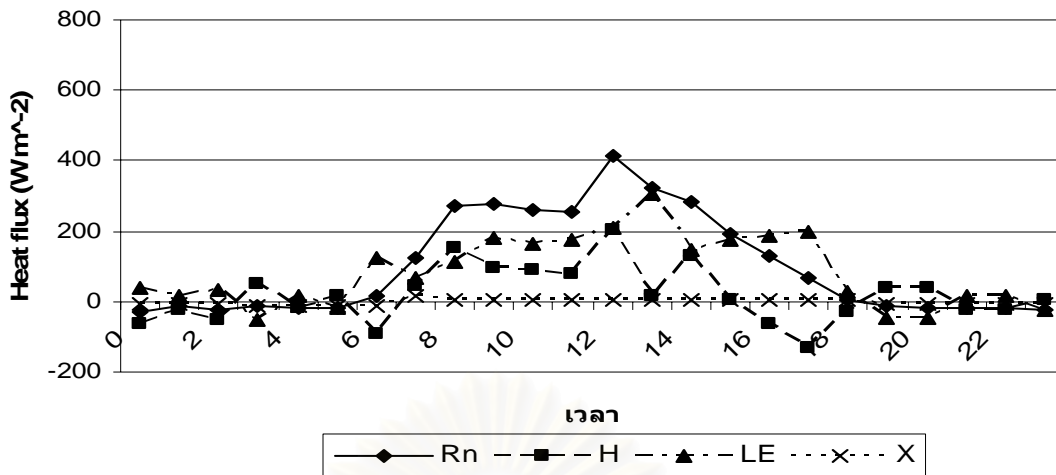
ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามที่ทำการเฉลี่ยราย ชั่วโมง พารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อจุด มาคำนวณหาสมดุลความร้อน โดยรังสีสุทธิคำนวณได้จาก สูตรที่เสนอโดย USEPA (1999) ดังสมการที่ 2.8 ส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำใช้วิธี Eddy correlation คำนวณดังสมการที่ 2.22 ความร้อนพื้นผิวคำนวณได้จากการสมการที่ 2.30 และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศคำนวณจากสมการสมดุลความร้อน หรือสมการที่ 2.12 โดยผลการศึกษา สมดุลความร้อน แสดงดังภาพที่ 4.14-4.15 และตารางที่ 4.9

##### (1) รังสีสุทธิ

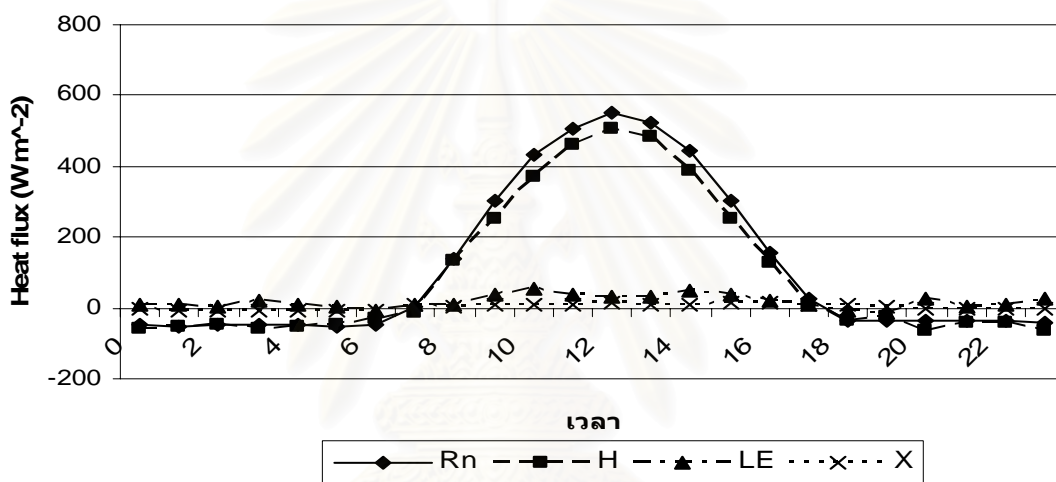
ในเวลากลางวัน รังสีสุทธิบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 219.37 316.90 และ 326.09 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในฤดูฝน มีรังสีสุทธิน้อยที่สุด เพราะว่าในฤดูฝนมีเมฆมาก ทำให้บังแสงจากดวงอาทิตย์ ทำให้รังสี จากดวงอาทิตย์ไม่สามารถเข้ามาบริเวณพื้นผิวของโลกได้ ส่วนในฤดูร้อนซึ่งมีรังสีสุทธิมากที่สุด เนื่องจากเป็นฤดูที่ได้รับรังสีของโลกมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย 453.06 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนในเวลา กลางคืน รังสีสุทธิในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -17.95 -41.45 และ -27.36 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร นั่นคือ อากาศบริเวณพื้นผิวมีการ สูญเสียพลังงานความร้อนให้กับอากาศรอบนอก

##### (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

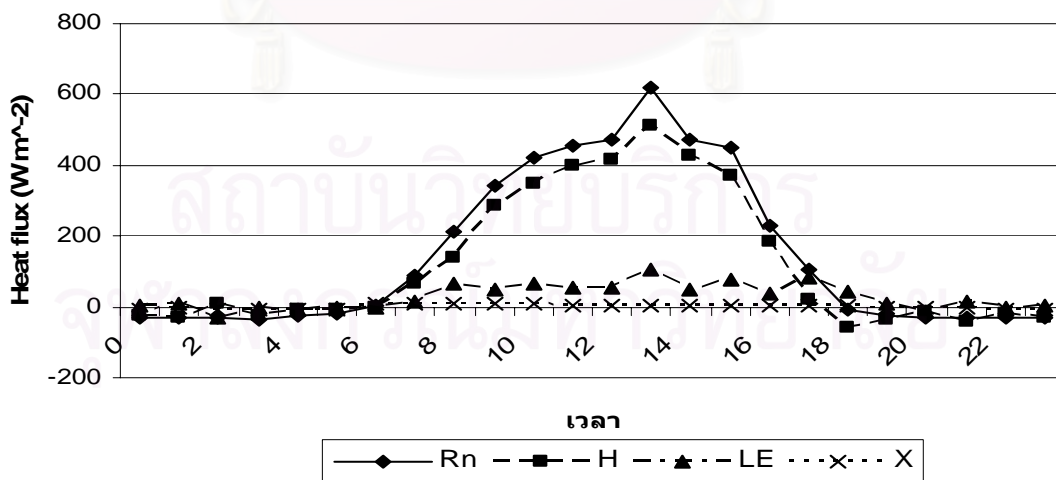
ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation ซึ่งคำนวณจากสมการสมดุลความร้อน ตามหลักการที่ว่า ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเป็น ความร้อนประเภทสุดท้ายที่เหลืออยู่บริเวณพื้นผิวของโลก พบว่า ในฤดูหนาวและร้อนมีค่าสูงมาก มี ค่าเฉลี่ย 276.33 และ 264.86 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในฤดูฝน มีความร้อนที่ใช้ในการเผา ผลาญอากาศน้อยมีค่าเฉลี่ยเพียง 47.08 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนเวลากลางคืน ในฤดูหนาว ความร้อนที่ ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่มีการเคลื่อนที่จากอากาศสู่พื้นผิว มีค่าเฉลี่ย 14.15 วัตต์ต่อตารางเมตร ในขณะที่ฤดูฝน และร้อน ความร้อนนี้จะเคลื่อนที่จากพื้นผิวสู่อากาศ มีค่าเฉลี่ย -4.79 และ -21.93 วัตต์ ต่อตารางเมตร ตามลำดับ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ พื้นที่ส่วนใหญ่มีสัดส่วนของเขตเมืองเป็น ส่วนมากสอดคล้องกับการศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท



(ก)

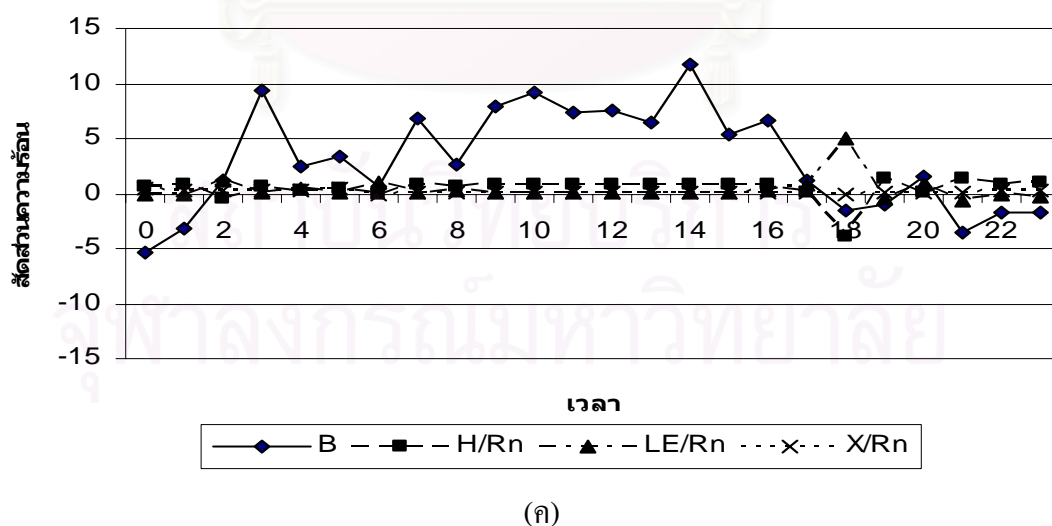
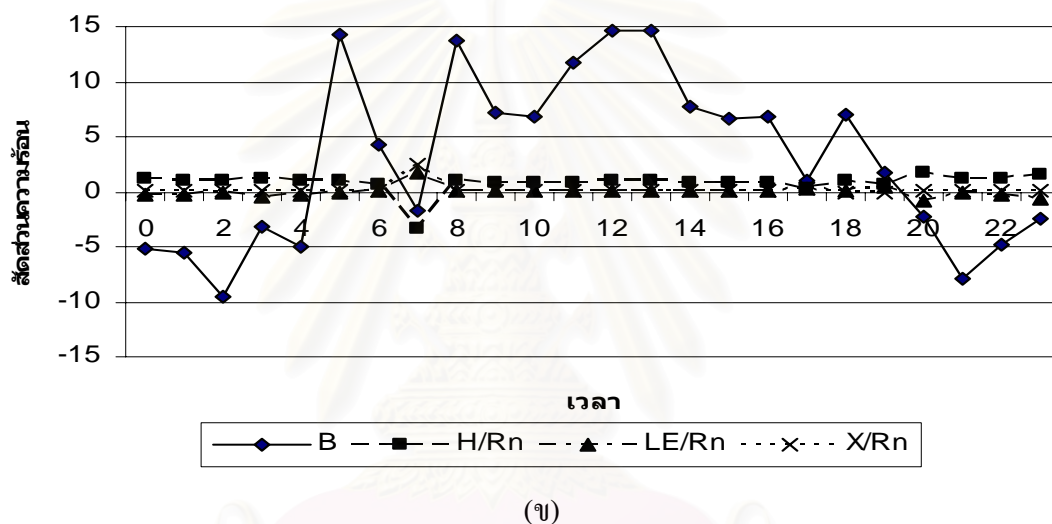
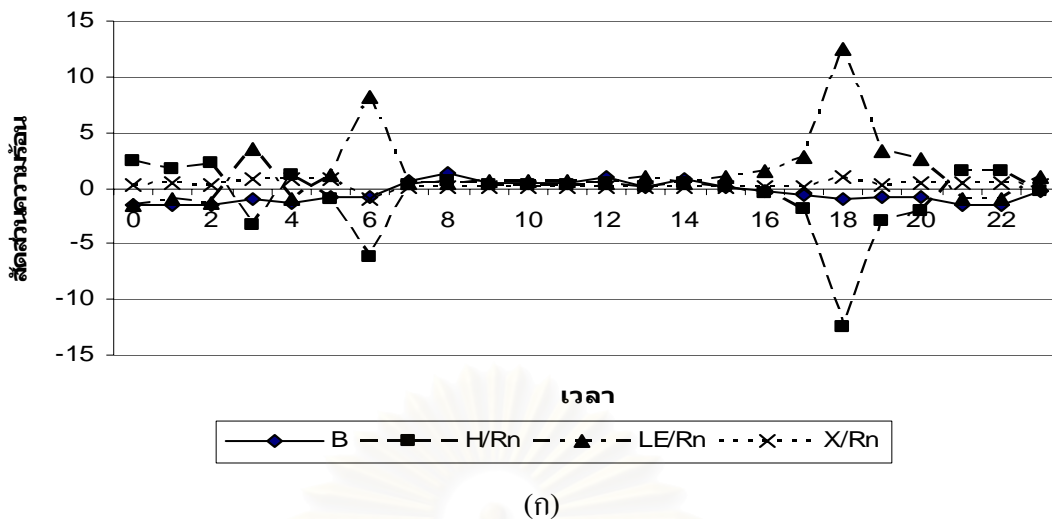


(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.14 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศ เกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



ภาพที่ 4.15 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร  
บางนา 3 ฤดู

พารามิเตอร์	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	219.37	-17.95	316.90	-41.45	326.09	-27.36
$H$ ( $W m^{-2}$ )	47.08	-4.79	276.33	14.15	264.86	-21.93
$LE$ ( $W m^{-2}$ )	170.55	-5.04	34.04	36.88	56.91	-1.01
$X$ ( $W m^{-2}$ )	4.76	-7.21	10.20	0.94	4.24	-4.12
$B$	6.37	-1.43	12.15	0.88	8.20	-0.05
$H/R_n$	-0.28	-0.07	0.58	0.12	0.30	0.74
$LE/R_n$	1.36	0.51	0.22	0.22	0.64	0.08
$X/R_n$	-0.03	0.42	0.18	-40.27	0.06	0.18
จำนวนข้อมูล	56	40	51	52	56	57

### (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ จากวิธี Eddy correlation ในฤดูฝน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด 170.55 วัตต์ต่อตารางเมตร ในขณะที่ฤดูหนาวและร้อนมีค่าเฉลี่ยเพียง 34.04 และ 56.91 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ การที่ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝนมีค่าสูงเนื่องจากมีน้ำฝนบริเวณพื้นผิว และมีความชื้นในบรรยากาศสูงถึง 50.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในหนาว มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 36.88 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งความร้อนนี้มีการเคลื่อนที่จากพื้นผิวสู่อากาศ ในขณะที่ฤดูฝน และร้อน มีค่าเฉลี่ย -5.04 และ -1.01 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า ทั้งสองฤดู ในเวลากลางคืน มีการเคลื่อนที่ของความร้อนจากอากาศลงสู่พื้นผิว โดยมีการกลั่นตัวของไอน้ำตกกลับลงมาเป็นหยดน้ำได้

### (4) ความร้อนพื้นผิว

ในการศึกษาความร้อนพื้นผิวนี้นับจากสมการความร้อนที่เก็บไว้ในดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างอุณหภูมิดินที่ความลึก 2 ระดับ พบว่า เวลากลางวัน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 4.76 10.20 และ 4.24 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า มีการรับความร้อนจากดวงอาทิตย์และสะสมความร้อนดังกล่าวจนกระทั่งถึงเวลากลางคืนจะมีการปลดปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศ โดยเฉพาะในฤดูฝน และร้อน จะมีการปลดปล่อยความร้อนอย่างเห็นได้ชัด มีค่าเฉลี่ย -7.21 และ -4.12 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูหนาว มีการปลดปล่อยความร้อนไม่ชัดเจน มีค่าเฉลี่ย 0.94 วัตต์ต่อตารางเมตร

### (5) สัดส่วนโบเวน

ในเวลากลางวัน สัดส่วนโบเวนของฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 6.37 12.15 และ 8.20 ตามลำดับ ทั้งนี้ จะเห็นว่า ในทุกฤดูมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงมาก ส่วนเวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อน สัดส่วนโบเวนมีค่าเฉลี่ย -1.43 0.88 และ -0.05 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับเวลากลางวันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มีผลต่อการเผาผลาญอากาศเป็นส่วนมาก ทำให้ในเวลากลางวันมีสัดส่วนโบเวนค่ามากกว่าในเวลากลางคืน

#### 5) สมดุลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม จากวิธีสัดส่วนโบเวน

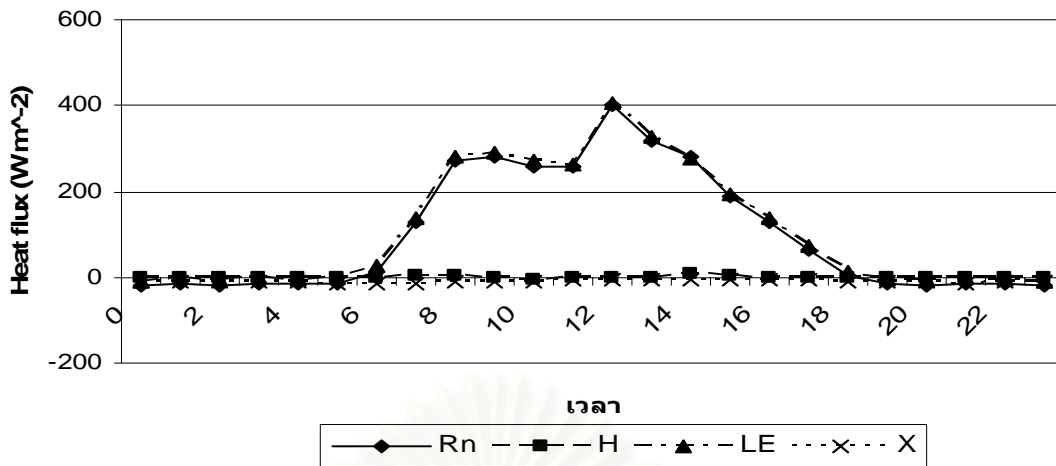
ในการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยาภาคสนามที่ทำการเฉลี่ยรายชั่วโมง พารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อฤดู ของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา มาคำนวณหาสมดุลความร้อน โดยรังสีสุทธิคำนวณจากสมการที่ 2.8 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศคำนวณจากสมการที่ 2.20 ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำคำนวณจากสมการที่ 2.16 ความร้อนพื้นผิวคำนวณหาจากความร้อนที่เก็บไว้ในดิน ดังสมการที่ 2.30 และสัดส่วนโบเวนคำนวณได้จากสมการที่ 2.17 ผลการศึกษาสมดุลความร้อนจากเก็บตัวอย่างภาคสนามแสดงดังภาพที่ 4.16-17 และตารางที่ 4.10

#### (1) รังสีสุทธิ

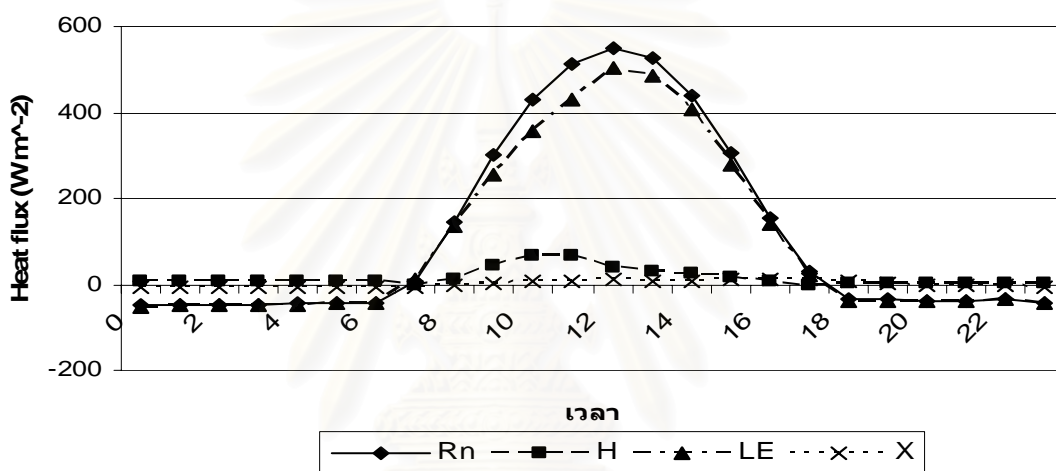
รังสีสุทธิ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา คำนวณจากวิธี USEPA (1999) ซึ่งมีค่าแสดงในหัวข้อที่ 4)

#### (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

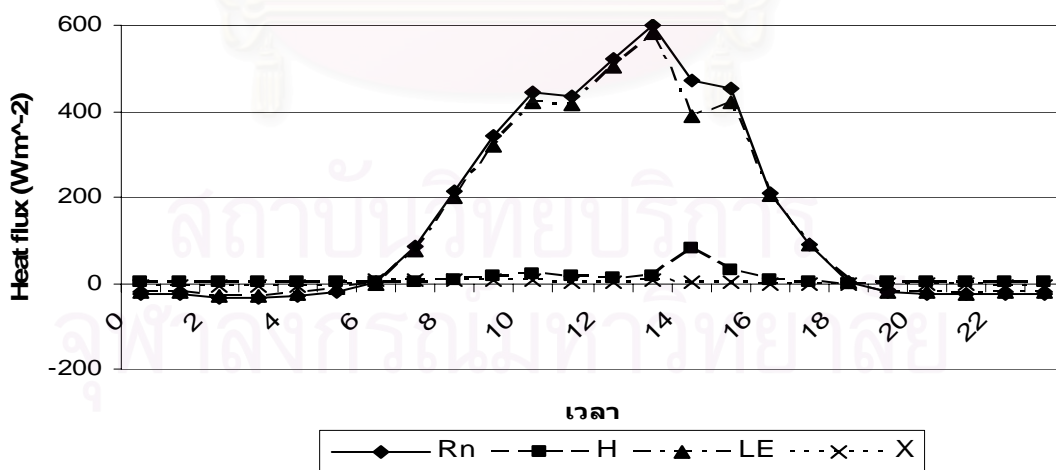
ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในหาเผาผลาญอากาศ จากวิธีสัดส่วนโบเวน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.96 29.05 และ 16.42 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และในเวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.15 5.01 และ 0.58 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับรังสีสุทธิ ทั้งนี้เป็นเพราะในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาจากการเก็บตัวอย่างอุณหภูมิ 2 ระดับ คือที่ความสูง 1.20 และ 0.00 เมตร ซึ่งอุณหภูมิของทั้งสองระดับนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเดียวกัน ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ สัดส่วนโบเวนมีค่าน้อย จึงทำให้มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูง และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่ำ



(ก)



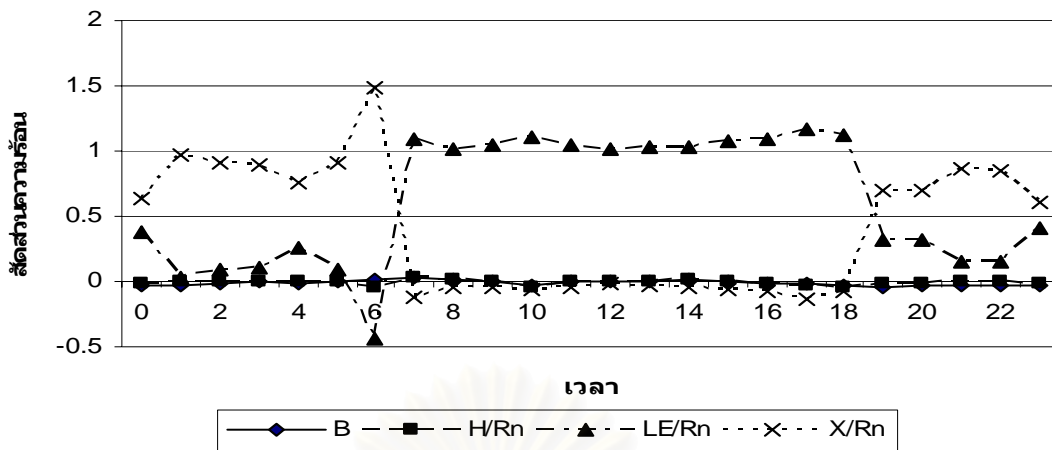
(ข)



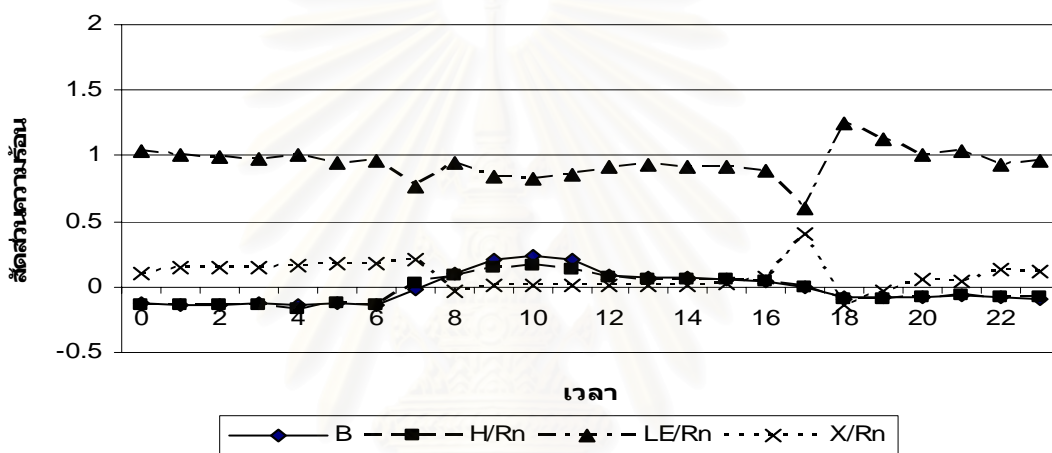
(ค)

ภาพที่ 4.16 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีตัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร  
บางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

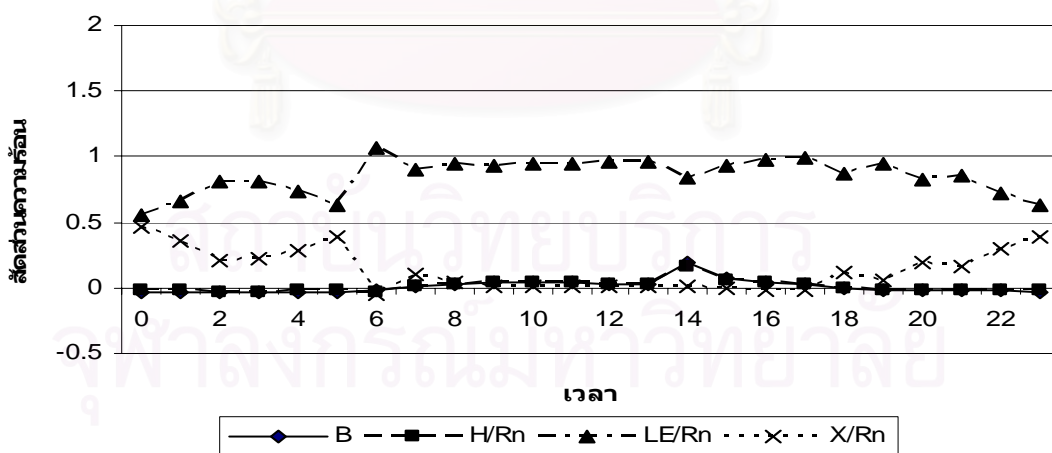




(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.17 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธีตัดส่วน โบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา  
3 ฤดู

พารามิเตอร์	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	219.37	-17.95	316.90	-42.45	326.09	-25.36
$H$ ( $W m^{-2}$ )	0.96	0.15	29.05	5.01	16.42	0.58
$LE$ ( $W m^{-2}$ )	221.84	-4.63	277.62	-42.45	290.47	-21.48
$X$ ( $W m^{-2}$ )	8.25	-11.48	5.95	-4.58	3.75	-4.74
B	0.02	0.01	0.13	0.01	0.05	0.00
$H/R_n$	0.00	-0.01	0.08	-0.11	0.04	-0.02
$LE/R_n$	1.27	-0.05	0.82	1.01	0.90	0.81
$X/R_n$	0.26	0.83	0.1	0.1	0.06	0.21
จำนวนข้อมูล	59	58	53	67	52	50

### (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 221.84 277.62 และ 290.47 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ หรือมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิเฉลี่ย 1.27 0.82 และ 0.90 ตามลำดับ นั้นแสดงว่า รังสีสุทธิส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างอุณหภูมิ 2 ระดับ ที่มีระยะห่างกันเพียง 1.20 เมตร ซึ่งอุณหภูมิของทั้ง 2 ระดับนี้ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงทำให้สัดส่วน โบเวนมีค่าต่ำ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าสูง และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าต่ำ ส่วนในเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -4.63 -42.45 และ -21.48 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ แสดงว่า ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีการเคลื่อนตัวจากบรรยากาศลงสู่พื้นผิวและเกิดการควบแน่น ทำให้ทำให้เกิดหยดน้ำในเวลากลางคืน

### (4) ความร้อนพื้นผิว

ในเวลากลางวัน ความร้อนพื้นผิว จากการคำนวณความร้อนที่เก็บไว้ในดิน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 8.25 5.95 และ 3.75 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ แสดงว่า ในทุกฤดูมีการเคลื่อนตัวจากพื้นผิวด้านบนสู่ดินด้านล่าง ส่วนในเวลากลางคืน มีค่าเฉลี่ย -11.48 -4.58 และ -4.74 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ แสดงว่า ในทุกฤดูมีการเคลื่อนตัวจากดินด้านล่างสู่พื้นผิวด้านบน

### (5) สัดส่วนโบเวน

ในเวลากลางวัน สัดส่วนโบเวนในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.02 0.13 และ 0.05 ในขณะที่เวลากลางคืน สัดส่วนโบเวนในฤดูฝน หนาว และร้อนมีค่าเฉลี่ย 0.01 0.01 และ 0.00 ซึ่งทั้งกลางวันและกลางคืนมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

สำหรับค่าเฉลี่ยสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยแบ่งตามเวลา แสดงดังตารางที่ 4.11

### 6) การเปรียบเทียบสมมูลความร้อนของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน

ในการเปรียบเทียบสมมูลความร้อน โดยเฉพาะความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ทำการทดสอบข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานเพื่อศึกษาความแตกต่างของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำระหว่าง วิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ดังนี้

สมมติฐาน  $H_0$  : การหาสมมูลความร้อนของ 2 วิธี ไม่แตกต่างกัน  
 $H_1$  : การหาสมมูลความร้อนของ 2 วิธี แตกต่างกัน

สำหรับการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา พิจารณาได้จากค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  (Significant 2-tailed) ถ้าค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  ที่โปรแกรมคำนวณได้มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) แสดงว่า ยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  กล่าวคือ การหาสมมูลความร้อนของ 2 วิธีที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ถ้าค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  (Significant 2-tailed) มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  กล่าวคือ การหาสมมูลความร้อนของ 2 วิธีแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.12 และภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิรายชั่วโมง จากวิธีสัดส่วนโบน บริเวณ  
สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา 3 จุด

เวลา	ฤดูฝน			ฤดูหนาว			ฤดูร้อน		
	H/R <sub>n</sub>	LE/R <sub>n</sub>	X/R <sub>n</sub>	H/R <sub>n</sub>	LE/R <sub>n</sub>	X/R <sub>n</sub>	H/R <sub>n</sub>	LE/R <sub>n</sub>	X/R <sub>n</sub>
0:00	-0.01	0.37	0.64	-0.13	1.03	0.10	-0.02	0.55	0.47
1:00	0.00	0.03	0.97	-0.14	1.00	0.14	-0.02	0.66	0.35
2:00	0.00	0.09	0.91	-0.14	0.99	0.15	-0.03	0.81	0.21
3:00	0.00	0.11	0.89	-0.14	0.98	0.15	-0.03	0.81	0.22
4:00	0.00	0.25	0.75	-0.16	1.00	0.16	-0.02	0.74	0.28
5:00	0.00	0.09	0.91	-0.13	0.95	0.18	-0.02	0.63	0.39
6:00	-0.04	-0.44	1.48	-0.13	0.96	0.18	-0.03	1.07	-0.04
7:00	0.04	1.08	-0.12	0.03	0.77	0.21	0.01	0.90	0.10
8:00	0.02	1.02	-0.04	0.09	0.94	-0.03	0.02	0.94	0.04
9:00	0.00	1.04	-0.04	0.15	0.84	0.01	0.04	0.94	0.02
10:00	-0.04	1.11	-0.07	0.16	0.83	0.02	0.04	0.94	0.01
11:00	-0.01	1.04	-0.04	0.13	0.85	0.01	0.04	0.95	0.01
12:00	0.00	1.02	-0.02	0.07	0.91	0.02	0.03	0.96	0.01
13:00	0.00	1.03	-0.02	0.06	0.92	0.02	0.03	0.96	0.01
14:00	0.01	1.04	-0.05	0.06	0.92	0.02	0.16	0.84	0.00
15:00	0.00	1.07	-0.07	0.06	0.91	0.03	0.06	0.93	0.00
16:00	-0.01	1.09	-0.08	0.04	0.89	0.07	0.04	0.97	-0.01
17:00	-0.02	1.17	-0.14	0.00	0.59	0.41	0.02	0.99	-0.01
18:00	-0.04	1.11	-0.07	-0.10	1.24	-0.14	0.00	0.88	0.12
19:00	-0.01	0.31	0.70	-0.09	1.13	-0.04	-0.01	0.95	0.06
20:00	-0.01	0.32	0.69	-0.08	1.01	0.06	-0.02	0.83	0.19
21:00	0.00	0.14	0.86	-0.07	1.03	0.04	-0.02	0.86	0.16
22:00	0.00	0.15	0.85	-0.07	0.94	0.14	-0.02	0.72	0.30
23:00	-0.01	0.41	0.60	-0.08	0.97	0.12	-0.02	0.62	0.40

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ฤดู	ตัวแปร	ผลการศึกษา Unpaired-t test	
		กลางวัน	กลางคืน
ฝน	H	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	LE	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
หนาว	H	แตกต่าง	แตกต่าง
	LE	แตกต่าง	แตกต่าง
ร้อน	H	แตกต่าง	แตกต่าง
	LE	แตกต่าง	แตกต่าง

หมายเหตุ: พิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา พบว่า การหาความร้อนทั้ง 2 ประเภทนี้ โดยวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ส่วนใหญ่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นเฉพาะในฤดูฝน ทั้งเวลากลางวันและเวลากลางคืนที่ไม่มีความแตกต่างของวิธีศึกษาทั้ง 2 วิธี

จากการศึกษานี้ พบว่า การศึกษาสมดุลความร้อนของทั้ง 2 วิธีมีทั้งแตกต่างและไม่แตกต่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยเฉพาะทิศทางของความเร็วลมในแกนตั้ง (W) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในวิธี Eddy correlation โดยทำการศึกษาเพิ่มเติมบนดาดฟ้าตึกภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีความสูง 25 เมตร และสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ที่ความสูง 3 เมตร ทำการตรวจวัดเป็นระยะเวลา 4 วัน ในฤดูหนาว พ.ศ. 2547 ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สัดส่วนความเร็วลมแกนตั้งบริเวณอาคารศึกษาศาสตร์ทั่วไป และสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูหนาว

กรณี	ความถี่ความเร็วลมแกนตั้ง (%)			
	อาคารศึกษาศาสตร์ทั่วไป		สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$W < 0 \text{ m s}^{-1}$	57.34	65.71	51.35	44.62
$W = 0 \text{ m s}^{-1}$	14.17	24.82	5.192	16.53
$W > 0 \text{ m s}^{-1}$	28.50	9.47	43.46	38.84

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่า ตามกระบวนการอะเดียแบติก เมื่ออากาศบริเวณพื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศจะลอยตัวสูงขึ้นพร้อมทั้งขยายตัว เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน เมื่อรังสีสุทรมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ในเวลากลางวัน บนอาคารศึกษาศาสตร์ทั่วไปที่ความสูง 25 เมตร ส่วนใหญ่มีความเร็วลมในแกนตั้งน้อยกว่า 0 เมตรต่อวินาที มีความถี่ 57.34 เปอร์เซ็นต์ และมีความถี่ของความเร็วลมในแกนตั้งมากกว่า 0 เมตรต่อวินาทีเพียง 28.50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาที่ความสูง 3 เมตร ส่วนใหญ่มีความเร็วลมในแกนตั้งน้อยกว่า 0 เมตรต่อวินาที มีความถี่ 51.35 เปอร์เซ็นต์ และมีความถี่ของความเร็วลมในแกนตั้งมากกว่า 0 เมตรต่อวินาที 43.46 เปอร์เซ็นต์

ในการศึกษาสมดุลความร้อน โดยวิธี Eddy correlation พิจารณาจากความเร็วลมแกนตั้ง บริเวณอาคารศึกษาศาสตร์ทั่วไป ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่เขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้าง พบว่า ในเวลากลางวันมีความถี่ความเร็วลมแกนตั้งที่มากกว่า 0 เมตรต่อวินาที น้อย ทั้งนี้อาจมีสาเหตุดังต่อไปนี้

1) ในการตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Ultrasonic anemometer อาจได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมรอบนอก เช่น อาคารสูง ต้นไม้สูง หรือสถานีรถไฟ ซึ่งมีผลให้ไม่มีการเคลื่อนตัวของอากาศในแกนตั้งในเวลากลางวันอย่างชัดเจน

2) ในการตรวจวัดครั้งนี้ เครื่อง Ultrasonic anemometer ทำการตรวจวัดทุก 1 วินาที และรายงานผลเฉลี่ยทุก 5 นาที ซึ่งภายในเวลา 5 นาที อาจมีการปั่นป่วน ทั้งการเคลื่อนที่ขึ้นและลง ทำให้ค่าที่ออกมาไม่ได้เป็นตัวแทนที่แท้จริง

จากการศึกษาความถี่ความเร็วลมแกนตั้งที่พบว่า ในเวลากลางวัน พื้นที่เขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างมากมีความถี่ความเร็วลมแกนตั้งมากกว่า 0 เมตรต่อวินาทีน้อย ในขณะที่พื้นที่เขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างน้อยมีความถี่ความเร็วลมแกนตั้งมากกว่า 0 เมตรต่อวินาทีมาก อาจกล่าวได้ว่า สมดุล

ความร้อนโดยวิธี Eddy correlation ไม่เหมาะที่จะศึกษาในพื้นที่เขตเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างมากๆ แต่ในพื้นที่เปิดโล่ง วิธีดังกล่าวสามารถศึกษาสมดุลความร้อนได้ เมื่อมีการติดตั้งเครื่อง Ultrasonic anemometer ที่ความสูง 3 เมตรเหนือพื้นผิว

นอกจากนี้ สมดุลความร้อนจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร บางนาซึ่งมีสมดุลความร้อนส่วนใหญ่ในเวลากลางวันเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้คำนวณสัดส่วนโบเวนจากสมการที่ 2.17 ซึ่งใช้อุณหภูมิอากาศ 2 ระดับ ที่ความสูง 1.20 และ 0.00 เมตร ซึ่งมีระยะห่างเพียง 1.20 เมตรเท่านั้น อุณหภูมิอากาศไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เพราะว่ามีมวลอากาศอยู่ในชั้นเดียวกัน จึงทำให้สัดส่วนโบเวนมีค่าน้อย ส่งผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อย และมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมาก

#### 7) สมดุลความร้อนจากข้อมูลราย 3 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี โดยวิธีสัดส่วนโบเวน

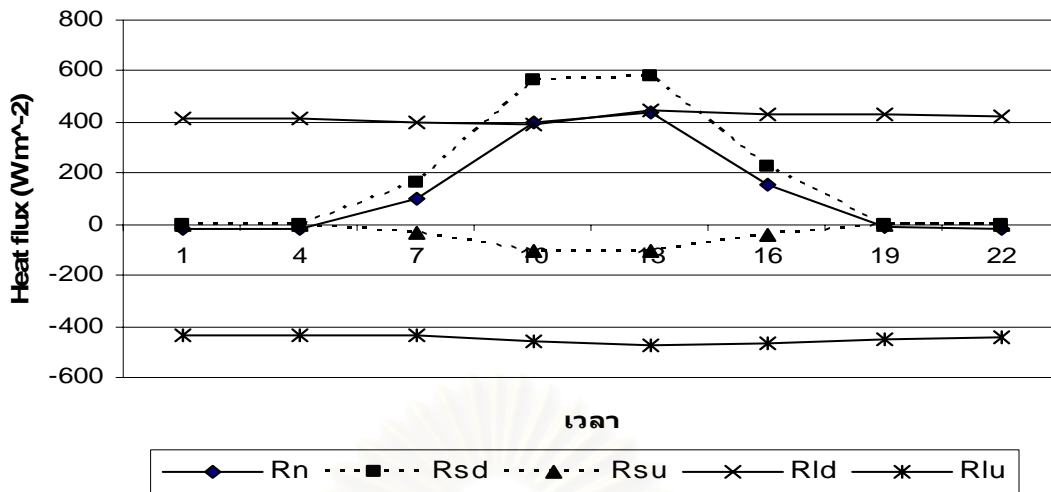
จากข้อมูลอุณหภูมิตามวิธีของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางน่าย้อนหลังราย 3 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี (พ.ศ. 2543 – 2547) โดยในฤดูฝน หนาว และร้อน ข้อมูลแต่ละพารามิเตอร์มี 4,124 2,048 และ 2,750 ข้อมูล ตามลำดับ สามารถหารังสีและสมดุลความร้อนจากวิธีสัดส่วนโบเวน ได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยรังสีบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยใช้ข้อมูลในคาบ 5 ปี แสดงดังภาพที่ 4.18 ในเวลากลางวัน มีรังสีคลื่นสั้นที่เข้าสู่โลกแตกต่างกัน โดยในฤดูร้อนมีค่ามากที่สุด และรองลงมา คือ ในฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ ส่วนรังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาวทั้งที่โลกได้รับและสะท้อนออกสู่บรรยากาศมีค่าเป็นไปในทางเดียวกันทุกฤดู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีสุทธิ ส่วนในเวลากลางคืน รังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาวทั้งที่โลกได้รับและสะท้อนออกสู่บรรยากาศมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกฤดู

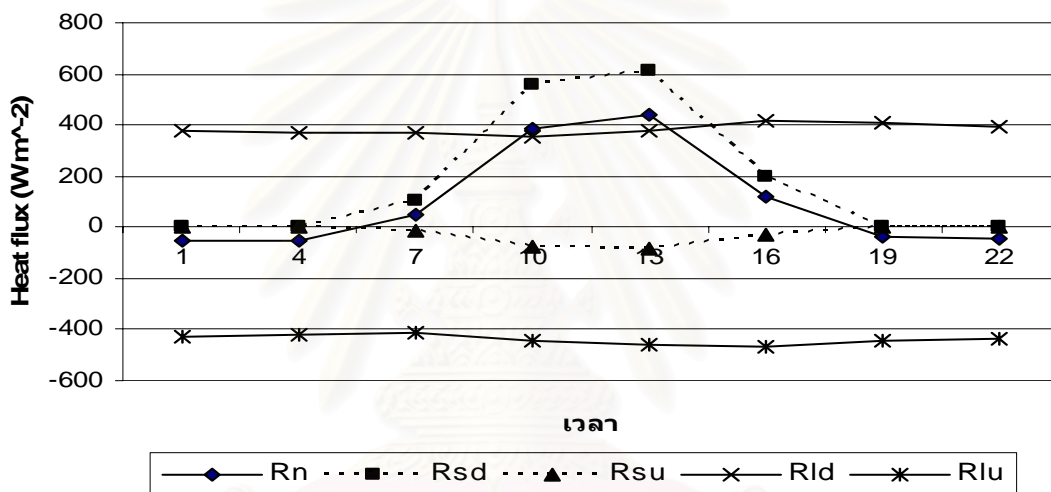
ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อนบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาโดยวิธีสัดส่วนโบเวน ซึ่งใช้ข้อมูลอุณหภูมิตามวิธีในคาบ 5 ปี พ.ศ.2543-2547 โดยทำการเก็บตัวอย่างราย 3 ชั่วโมง ในเวลา 1.00 4.00 7.00 10.00 13.00 16.00 19.00 และ 22.00 น. แสดงได้ดังภาพที่ 4.19-4.20 และตารางที่ 4.14

##### (1) รังสีสุทธิ

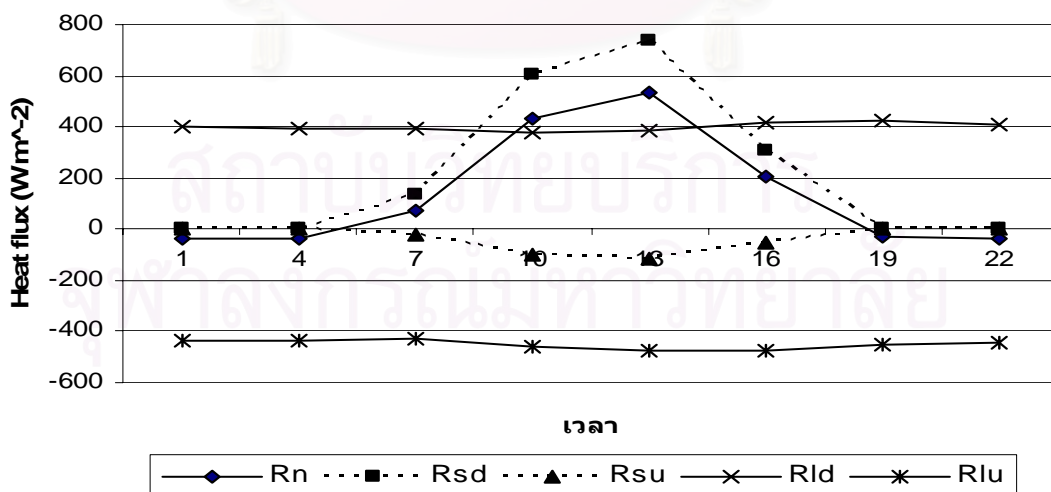
ในเวลากลางวัน รังสีสุทธิบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 275.04 253.06 และ 315.75 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืน รังสีสุทธิในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -18.38 -44.06 และ -33.99 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ แสดงว่า ในเวลากลางคืน ความร้อนที่เหลืออยู่บริเวณพื้นผิวของโลกมีการเคลื่อนตัวจากพื้นผิวสู่บรรยากาศ



(ก)



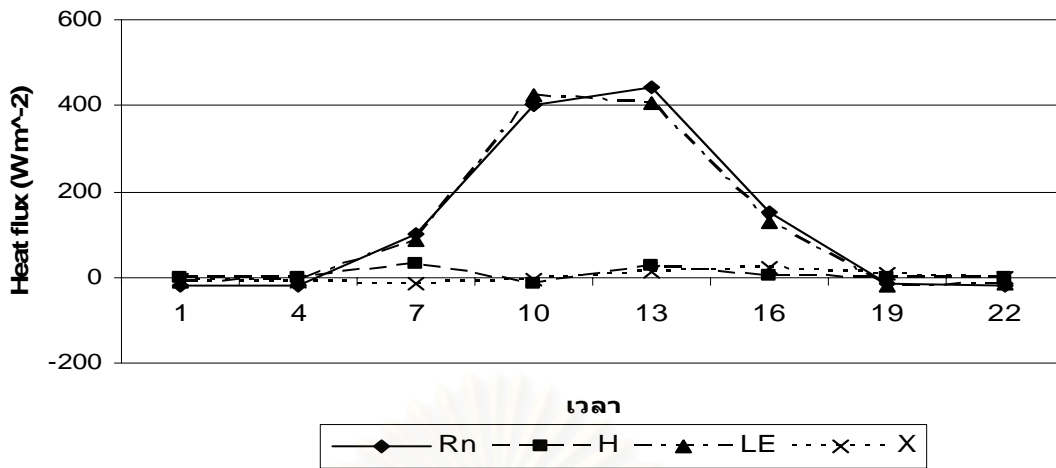
(ข)



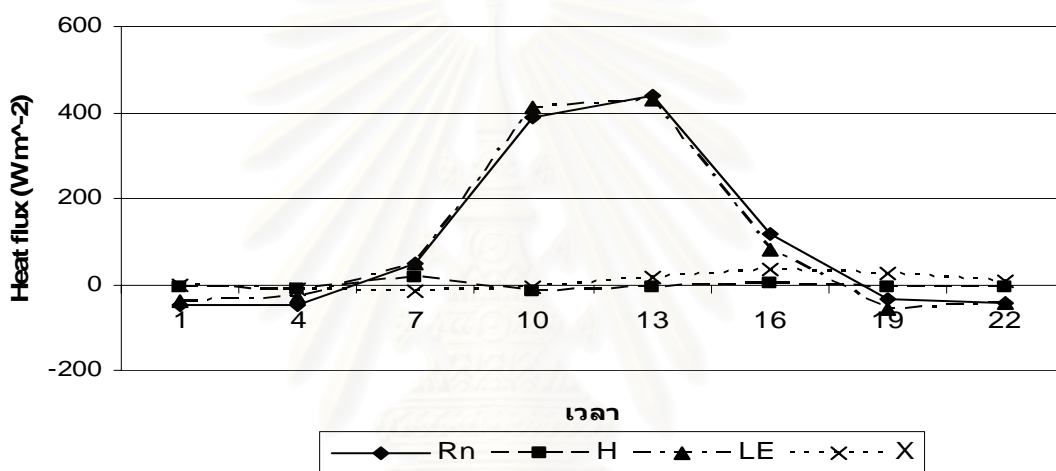
(ค)

ภาพที่ 4.18 รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

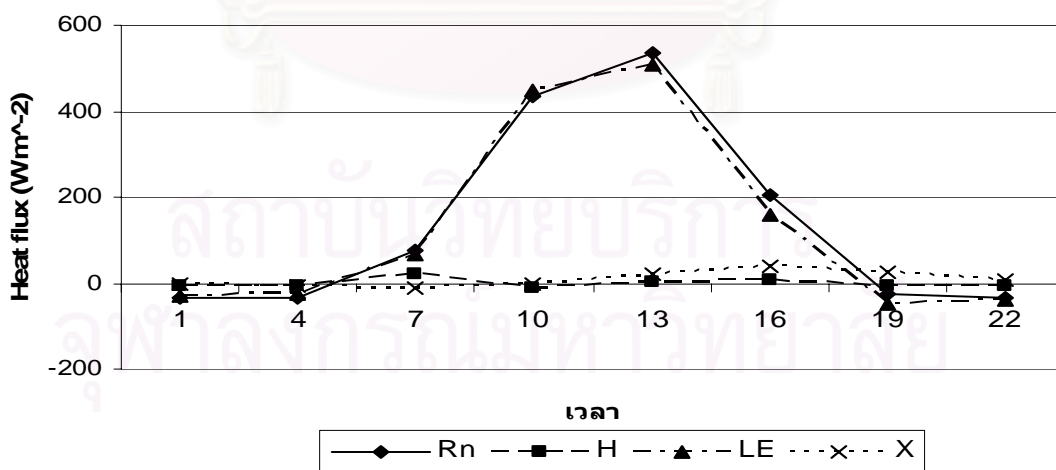




(ก)

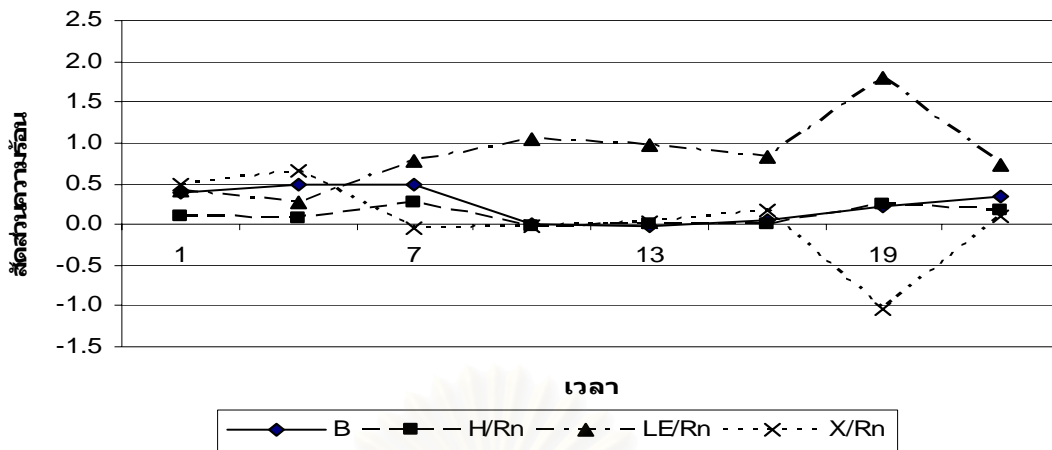


(ข)

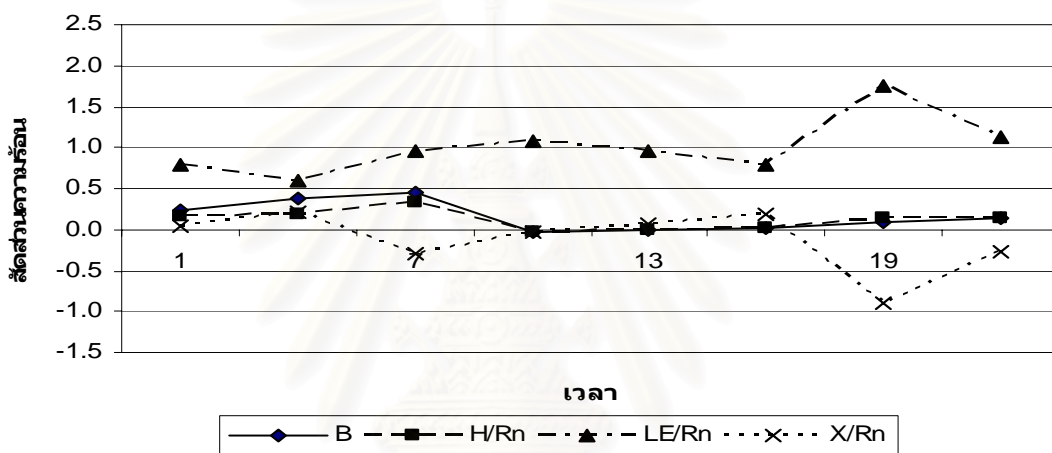


(ค)

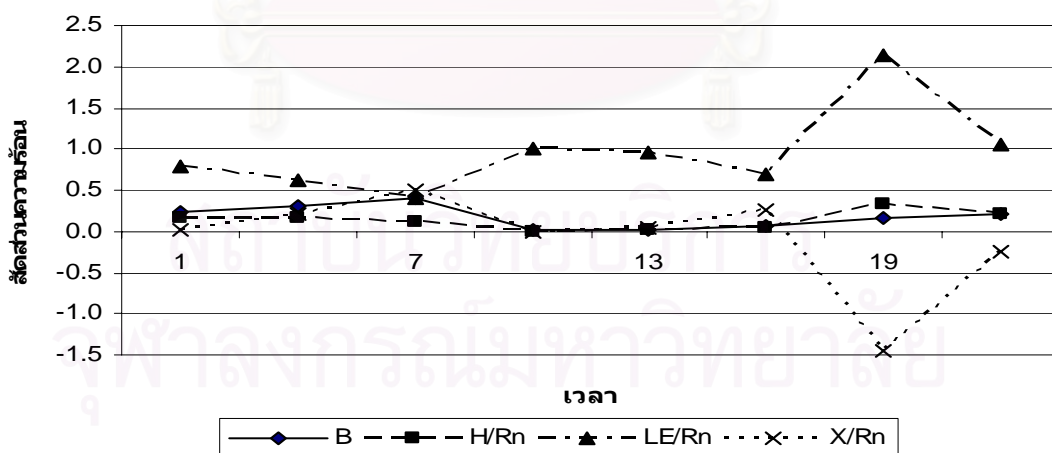
ภาพที่ 4.19 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีตัดส่วน โบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร  
บางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.20 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อนเฉลี่ยจากวิธีตัดส่วน โบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร  
บางนา จากข้อมูลคาบ 5 ปี (พ.ศ.2543-2547) 3 ฤดู

พารามิเตอร์	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	275.04	-18.38	253.06	-44.06	315.75	-33.99
$H$ ( $W m^{-2}$ )	10.62	-2.54	12.27	-7.15	5.60	-6.88
$LE$ ( $W m^{-2}$ )	261.47	-13.43	247.29	-41.42	297.46	-34.30
$X$ ( $W m^{-2}$ )	2.96	-2.42	7.76	-4.51	12.69	-7.20
B	0.13	0.36	0.10	0.22	0.12	0.23
$H/R_n$	0.09	0.15	0.09	0.14	0.04	0.21
$LE/R_n$	0.92	0.81	0.90	1.11	0.78	1.12
$X/R_n$	0.01	0.04	0.01	0.25	0.17	0.33
จำนวนข้อมูล	2,040	2,084	991	1,057	1,339	1,411

### (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อยมาก ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ยเพียง 10.62 12.27 และ 5.60 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ความร้อนดังกล่าวเคลื่อนจากพื้นผิวสู่บรรยากาศ ส่วนในเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีการเคลื่อนตัวจากบรรยากาศสู่พื้นผิว ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -2.54 -7.15 และ -6.88 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

### (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

ในเวลากลางวัน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 261.47 247.29 และ 297.46 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ย 0.92 0.90 และ 0.78 ตามลำดับ จะเห็นว่า รังสีสุทธิส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ส่วนในเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าเฉลี่ย -13.43 -41.42 และ -34.30 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีการเคลื่อนตัวจากบรรยากาศสู่พื้นผิว ทั้งนี้เนื่องจากวิธีตัดส่วน โบเวนได้ทำการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีระยะห่างเพียง 1.20 เมตรเท่านั้น จึงได้ค่าสัดส่วน โบเวนน้อย ส่งผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมาก

#### (4) ความร้อนพื้นผิว

ในเวลากลางวัน ความร้อนพื้นผิวในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 2.96 7.76 และ 12.69 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เวลากลางคืน มีค่าเฉลี่ย -2.42 -4.51 และ 7.20 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในเวลากลางวันมีการเคลื่อนตัวของความร้อนพื้นผิวจากบริเวณพื้นผิวด้านบนสู่ดินด้านล่าง แต่ในเวลากลางคืน มีการเคลื่อนตัวจากดินด้านล่างสู่บริเวณพื้นผิวด้านบน

#### (5) สัดส่วนโบเวน

จากการศึกษาสัดส่วนโบเวน ในคาบ 5 ปี ในเวลากลางวัน ฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.13 0.10 และ 0.12 เท่านั้น แสดงว่า บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนามีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศประมาณ 10 % ของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

สำหรับการศึกษาสมดุลความร้อนบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาซึ่งมีพื้นที่สิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นเขตเมือง จากการศึกษาสมดุลความร้อนโดยวิธี Eddy correlation ซึ่งในเวลากลางวัน ทุกฤดู มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในบริเวณกว้างซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท ในขณะที่การศึกษามูลความร้อนโดยวิธีสัดส่วนโบเวนมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูง แต่มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนพื้นผิวดำ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างอุณหภูมิที่ความสูง 2 ระดับ ที่ความสูง 1.20 และ 0.00 เมตร ซึ่งมีระยะห่างเพียง 1.20 เมตรเท่านั้น อุณหภูมิอากาศไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เพราะว่ามีลมอากาศอยู่ในชั้นเดียวกัน จึงทำให้สัดส่วนโบเวนมีค่าน้อย ส่งผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อย และมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมาก

#### 4.1.4 การประยุกต์ใช้สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง

การประยุกต์ใช้สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในเขตเมือง ได้ทำการเลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยทำการศึกษาฤดูละ 5 วัน 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ศึกษาะหว่างวันที่ 22-26 พฤษภาคม 2548 ฤดูหนาว ศึกษาะหว่างวันที่ 22-26 ธันวาคม 2547 และฤดูร้อน ศึกษาะหว่างวันที่ 27 เมษายน-1พฤษภาคม 2548 ซึ่งทำการศึกษาสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน สภาพอุตุนิยมวิทยา สมดุลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม จากวิธี Eddy correlation วิธีสัดส่วนโบเวน และสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา โดยวิธีคำนวณจากสัดส่วนของสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิมาคำนวณ แสดงได้ดังนี้

### 1) สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินรอบสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

จากการศึกษาภาคสนามและภาพถ่ายทางอากาศ พบว่า สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน บริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในพื้นที่ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างมากที่สุด คือ 68.15 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ พื้นที่สีเขียว แหล่งน้ำ และถนน ซึ่งมี สัดส่วน 17.33 9.70 และ 4.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน บริเวณพื้นที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

สิ่งปกคลุมดิน	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	สัดส่วน (%)
สิ่งปลูกสร้าง	876,258.00	68.15
ถนน	62,025.75	4.82
พื้นที่สีเขียว	222,851.25	17.33
แหล่งน้ำ	124,740.00	9.70
รวม	1,285,875.00	100.00

### 2) สภาพอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการตรวจวัดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา 3 ฤดู ฤดูละ 5 วัน ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 และ 0.05 เมตร อุณหภูมิพื้นผิว อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.05 และ 0.20 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมแกน X, Y และ Z (U, V และ W) รวมทั้งความเร็วลมแกนนอน (WS) ซึ่งเป็นข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม โดยเก็บข้อมูลราย 5 นาที ซึ่งในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ละ 1,440 ข้อมูลต่อฤดู ส่วนข้อมูลความกดอากาศ และจำนวนเมฆเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ที่มีการเก็บข้อมูลราย ชั่วโมง และข้อมูลรังสีของโลกเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ซึ่งในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อฤดู สำหรับความดันไอน้ำอิ่มตัว และความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ หาได้จากการคำนวณ ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา 3 ฤดู แสดงได้ดังตารางที่ 4.16

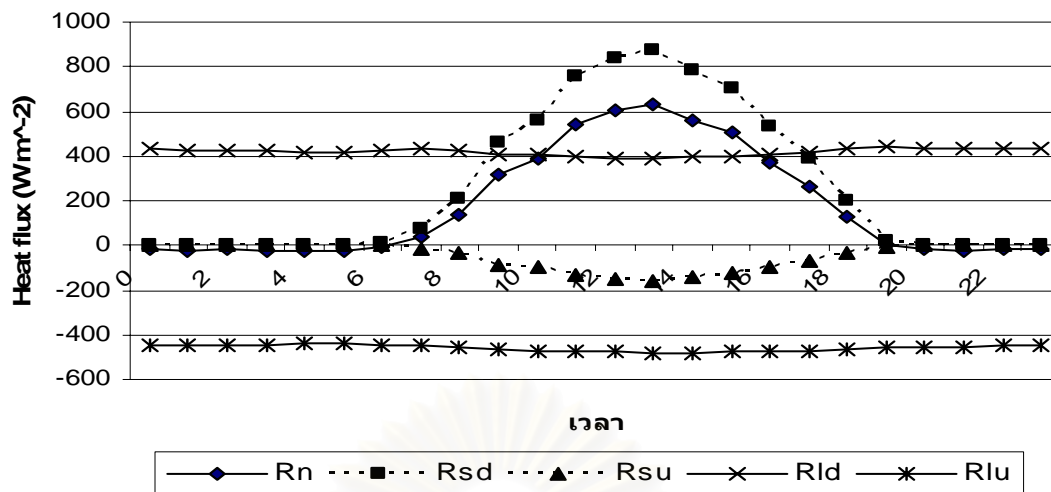
ตารางที่ 4.16 ช่วงและค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ  
กรุงเทพฯ 3 ฤดู

ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$T_{120}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	27.0 - 35.0 32.4	25.7 - 30.7 28.4	22.9 - 35.1 30.8	22.6 - 30.0 25.3	25.6 - 37.7 33.5	27.0 - 33.2 30.0
$T_5$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.8 - 35.8 32.4	24.5 - 28.7 26.8	20.7 - 37.3 31.1	19.1 - 25.9 21.9	23.5 - 38.2 33.4	25.8 - 31.7 28.7
$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.7 - 37.6 31.8	24.8 - 28.3 26.8	20.5 - 39.0 31.1	18.8 - 25.1 21.6	24.1 - 39.8 33.1	26.3 - 31.9 28.8
$T_{-5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	28.3 - 30.5 29.6	28.3 - 29.5 28.9	24.7 - 28.7 27.0	24.7 - 27.9 26.0	30.0 - 32.5 31.4	30.0 - 32.5 31.2
$T_{-20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	29.8 - 31.0 30.4	30.0 - 30.6 30.3	25.5 - 27.5 26.4	25.5 - 27.2 26.3	31.0 - 33.0 32.0	31.0 - 33.0 31.8
RH (%)	0.5 - 50.7 29.7	32.2 - 60.9 45.8	22.7 - 83.5 45.6	41.4 - 87.5 66.4	1.3 - 72.0 39.1	25.9 - 70.4 57.6
WS ( $\text{m s}^{-1}$ )	0.4 - 9.1 3.8	0.2 - 9.1 2.0	0.0 - 12.5 2.2	0.0 - 7.3 0.9	0.9 - 10.3 3.7	0.1 - 15.0 2.6
U ( $\text{m s}^{-1}$ )	-6.5 - 2.3 -1.5	-8.0 - 2.4 -0.8	-4.5 - 3.2 0.3	-4.4 - 1.9 -0.3	-6.6 - 9.1 -0.5	-6.3 - 11.7 0.0
V ( $\text{m s}^{-1}$ )	-7.4 - 3.2 -2.1	-4.6 - 1.4 -1.1	-3.1 - 2.5 0.1	-2.3 - 2.1 -0.1	-8.2 - 2.6 -1.9	-9.7 - 10.2 -1.3
W ( $\text{m s}^{-1}$ )	-2.0 - 1.7 -0.1	-1.5 - 0.8 -0.1	-0.4 - 0.3 0.0	-0.4 - 0.1 -0.1	-3.2 - 3.3 -0.2	-4.0 - 3.4 -0.2
P (mb)	1005 - 1010 1008	1007 - 1010 1008	1008 - 1015 1011	1008 - 1013 1011	1004 - 1011 1007	1005 - 1009 1007
$R_g$ ( $\text{W m}^{-2}$ )	11.97-989.32 498.95	0.00 - 12.12 0.56	45.32 -764.42 425.05	0.00 - 65.10 2.88	18.98-996.17 522.67	0.00 - 40.12 2.37
$e_s$ (mb)	36.3 - 58.1 49.7	32.6 - 47.0 40.1	28.6 - 53.5 43.4	28.4 - 39.1 32.9	29.5 - 61.5 50.8	29.7 - 50.6 4.31
$e_a$ (mb)	0.3 - 19.8 14.5	13.4 - 22.8 18.2	11.8 - 28.3 18.8	15.5 - 26.4 21.6	0.8 - 26.8 18.9	11.8 - 27.0 24.7
N (deca)	3 - 10 7	3-10 7	3 - 9 5	1 - 8 3	3 - 10 6	3 - 10 6

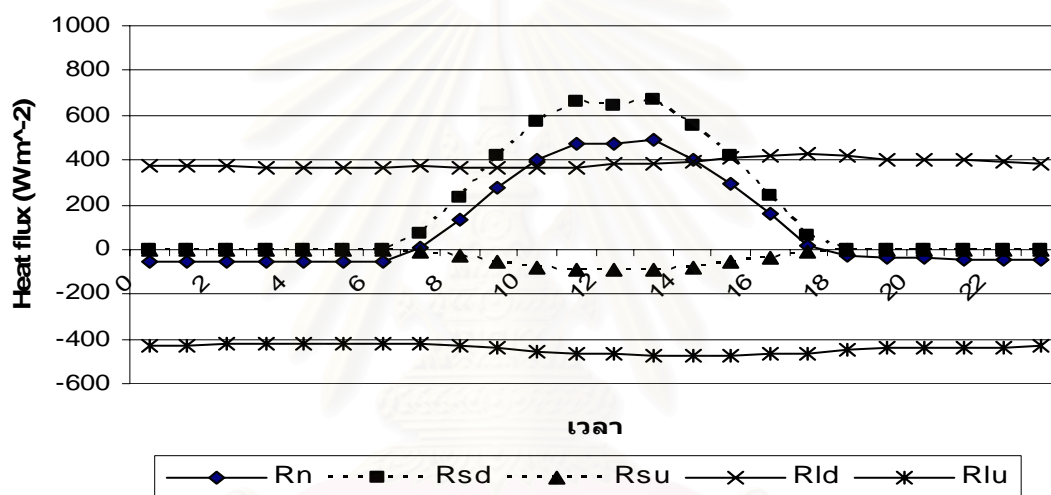
### 3) รังสีดวงอาทิตย์ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ในการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะรังสีของโลก อุณหภูมิอากาศ ค่าการปลดปล่อยรังสีพื้นผิว และค่าสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ของ USEPA (1999) มาคำนวณหารังสีบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบว่า ในเวลากลางวัน รังสีสุทธิมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 349.82 288.86 และ 368.50 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ได้รับอิทธิพลหลักมาจากรังสีคลื่นสั้นที่โลกได้รับหรือรังสีของโลก โดยมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน 410.20 386.40 และ 409.27 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่รังสีคลื่นยาวที่โลกได้รับมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน 410.20 386.40 และ 409.27 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนรังสีคลื่นสั้นที่โลกสะท้อนกลับสู่บรรยากาศมีค่าเฉลี่ย -89.80 -58.51 และ -83.61 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และรังสีคลื่นยาวที่โลกสะท้อนสู่บรรยากาศมีค่าเฉลี่ย -469.47 -456.95 และ -474.36 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

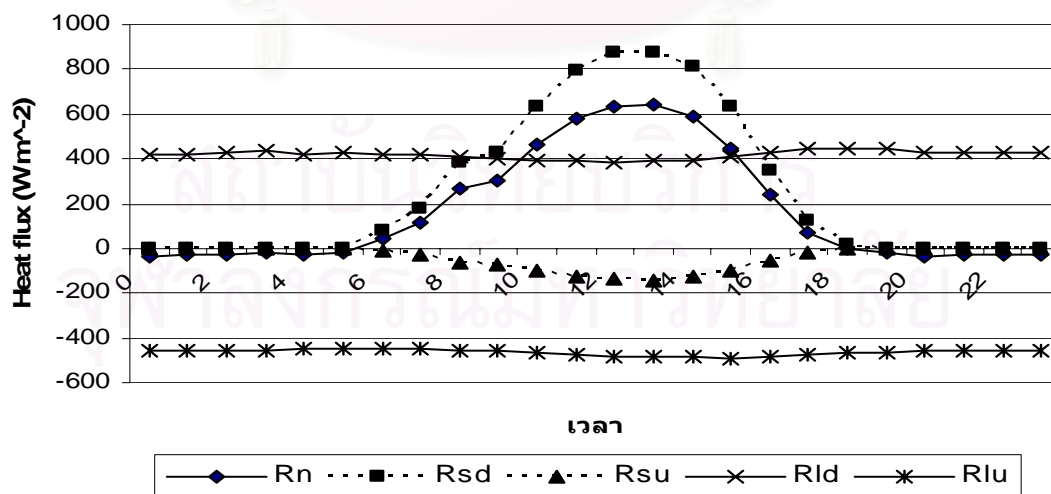
ส่วนในเวลากลางคืน โลกจะไม่ได้รับรังสีคลื่นสั้น ค่าดังกล่าวจึงมีค่าประมาณ 0 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับรังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า -0.06 -0.30 และ -0.28 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ รังสีคลื่นยาวที่โลกได้รับมีค่า 427.82 382.40 และ 429.36 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนมีค่า -477.36 -430.02 และ -456.78 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ในเวลากลางคืน รังสีทุกแบบจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงได้ดังภาพที่ 4.21



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.21 รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ใน ฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



#### 4) สมดุลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม จากวิธี Eddy correlation

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามที่ทำการเฉลี่ยราย ชั่วโมง พารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อฤดู มาคำนวณหาสมดุลความร้อน โดยรังสีสุทธิคำนวณได้จาก สูตรที่เสนอโดย USEPA (1999) ดังสมการที่ 2.8 ส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำใช้วิธี Eddy correlation คำนวณดังสมการที่ 2.22 ส่วนความร้อนพื้นผิวคำนวณได้จากสมการที่ 2.30 และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศคำนวณได้จากการสมการสมดุลความร้อน หรือสมการที่ 2.12 โดยผล การศึกษาสมดุลความร้อน ในฤดูฝน หนาว และร้อน แสดงดังภาพที่ 4.22-4.23 และตารางที่ 4.18

##### (1) รังสีสุทธิ

รังสีสุทธิบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางวัน ฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 349.82 288.86 และ 368.50 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนใน เวลากลางคืนรังสีสุทธิมีการเคลื่อนตัวจากบริเวณพื้นผิวสู่บรรยากาศ ในฤดูฝน หนาว และร้อน มี ค่าเฉลี่ย -19.25 -45.72 และ -26.35 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

##### (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

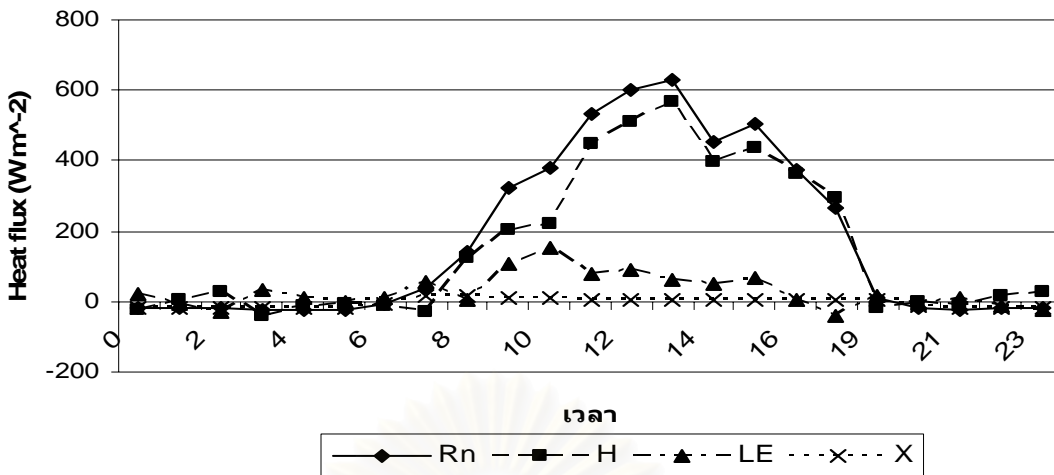
ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากการคำนวณโดยวิธี Eddy correlation ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 277.29 247.98 และ 192.40 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ขณะที่เวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -4.97 -51.14 และ -22.31 วัตต์ต่อ ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในเวลากลางวัน รังสีสุทธิถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำ และ เก็บไว้บริเวณพื้นผิวก่อนข้างน้อย ทำให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมาก และในเวลา กลางคืนมีการคายความร้อนออกสู่บรรยากาศ

##### (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

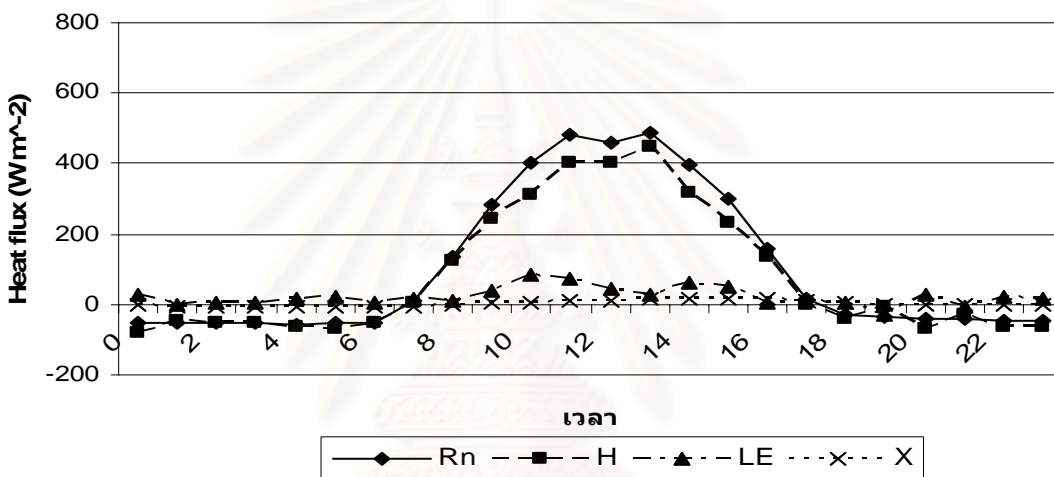
ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูร้อนมีค่าสูงที่สุด โดยมี ค่าเฉลี่ย 197.87 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนในฤดูฝน และหนาว มีค่าเฉลี่ยเพียง 49.82 และ 38.85 วัตต์ต่อ ตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน 2.09 9.34 และ 5.66 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

##### (4) ความร้อนพื้นผิว

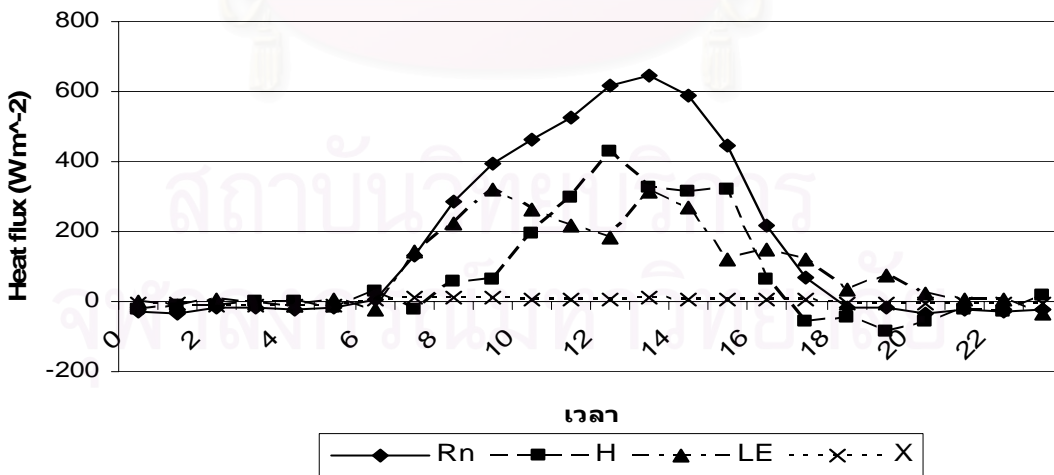
ในเวลากลางวัน พลังงานความร้อนของดวงอาทิตย์บางส่วนจะถูกเก็บไว้บริเวณ พื้นผิว โดยในฤดูฝน หนาว และร้อน มีความร้อนพื้นผิวเฉลี่ย 8.67 8.75 และ 7.71 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เวลากลางคืน ความร้อนดังกล่าวจะมีการเคลื่อนที่จากดินด้านล่างสู่พื้นผิวด้านบน เพื่อเป็นการปรับสมดุลของความร้อน โดยในฤดูฝน หนาว ร้อน มีค่าเฉลี่ย -16.16 -3.64 และ -7.87 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ



(ก)

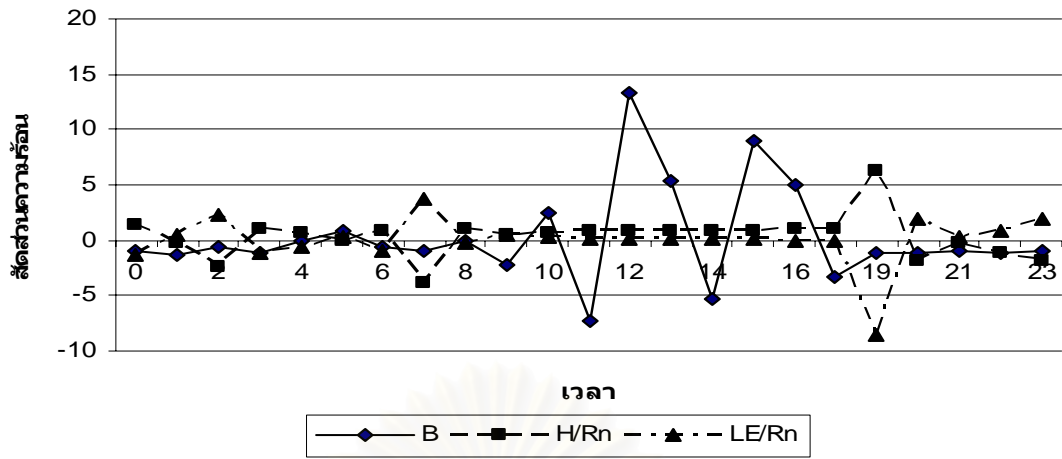


(ข)

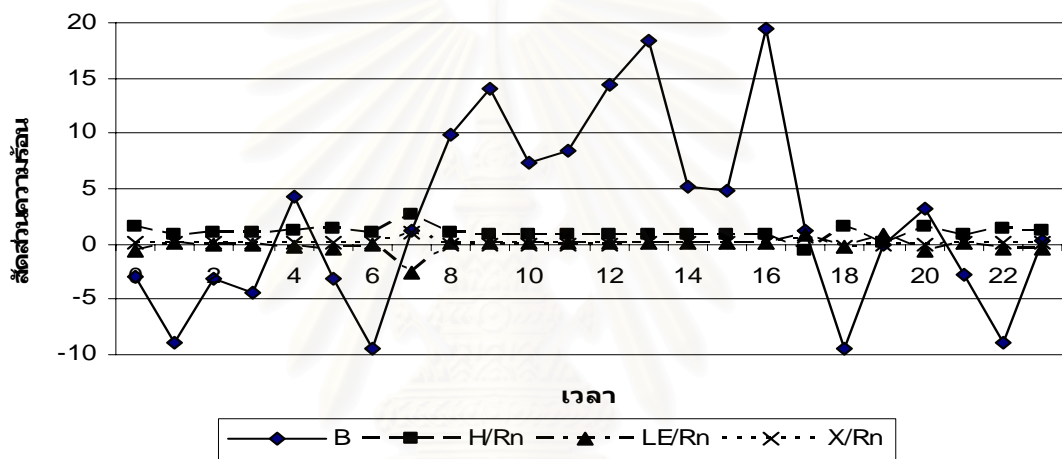


(ค)

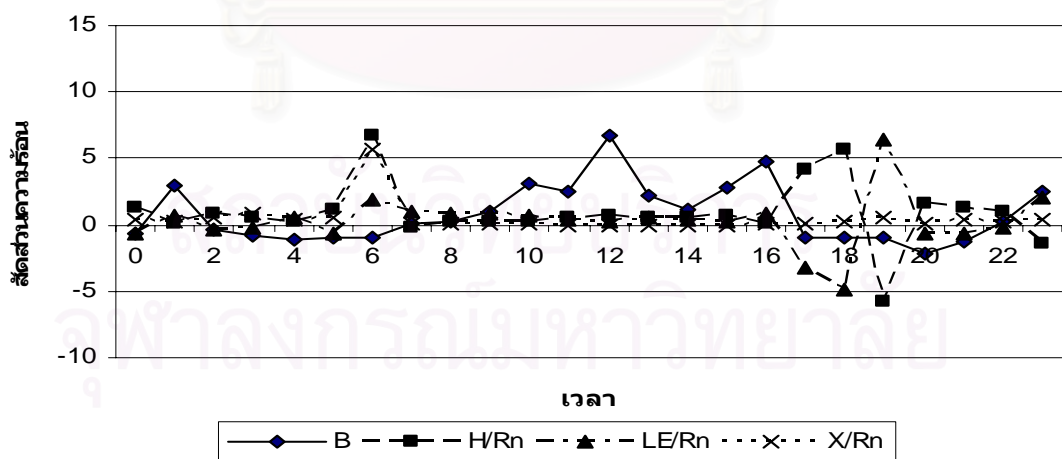
ภาพที่ 4.22 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.23 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 3 ถดู

พารามิเตอร์	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	349.82	-19.25	288.86	-45.72	368.50	-26.35
$H$ ( $W m^{-2}$ )	277.29	-4.97	247.98	-51.14	192.40	-22.31
$LE$ ( $W m^{-2}$ )	49.82	2.09	38.85	9.34	197.87	5.66
$X$ ( $W m^{-2}$ )	8.67	-16.16	8.75	-3.64	7.71	-7.87
$B$	1.42	-0.71	10.70	-0.34	2.32	-0.14
$H/R_n$	0.33	0.22	0.72	1.25	1.02	1.11
$LE/R_n$	0.42	-0.36	0.20	-0.40	-0.41	-0.76
$X/R_n$	0.26	1.14	0.08	0.14	0.39	0.65
จำนวนข้อมูล	61	54	54	56	56	59

### (5) สัดส่วนโบเวน

ในเวลากลางวัน สัดส่วนความร้อนในฤดูหนาวมีค่าสูงสุดเฉลี่ย 10.70 นั่น คือ มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศสูงกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 10.70 เท่า ในขณะที่ในฤดูร้อน และฝน มีค่าเพียง 2.32 และ 1.42 ตามลำดับ ส่วนสัดส่วนโบเวนในเวลากลางคืน ฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -0.71 -0.34 และ -0.14 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงกว่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

### 5) สมดุลความร้อนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม จากวิธีสัดส่วนโบเวน

สำหรับการศึกษาสมดุลความร้อนคำนวณจากวิธีสัดส่วนโบเวน โดยนำข้อมูลทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยทำการเฉลี่ยรายชั่วโมง พารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อฤดู ทั้งนี้รังสีสุทธิคำนวณจากสมการที่ 2.8 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศคำนวณจากสมการที่ 2.20 ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำคำนวณจากสมการที่ 2.16 ความร้อนพื้นผิวคำนวณหาจากความร้อนที่เก็บไว้ในดิน ดังสมการที่ 2.30 และสัดส่วนโบเวนคำนวณได้จากสมการที่ 2.17 ผลการศึกษาสมดุลความร้อนจากเก็บตัวอย่างภาคสนามแสดงดังภาพที่ 4.24-4.25 และตารางที่ 4.18

#### (1) รังสีสุทธิ

รังสีสุทธิทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งคำนวณจากสูตรของ USEPA (1999) ได้แสดงแล้วในหัวข้อ 4)

### (2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศคำนวณโดยวิธีสัดส่วนโอบเวน ในเวลากลางวัน ฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ยน้อยมากเพียง 1.99 3.88 และ 1.81 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืน มีค่าเฉลี่ย 0.17 15.20 และ 0.80 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ แม้ว่าบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯฯ ในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร จะมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขตเมือง แต่บริเวณที่ทำการศึกษตั้งอยู่บนสนามหญ้า และใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในการศึกษาโดยวิธีสัดส่วนโอบเวนนี้ได้ทำการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ระดับ ซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก ส่งผลให้สัดส่วนโอบเวนมีค่าต่ำ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจึงต่ำ

### (3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

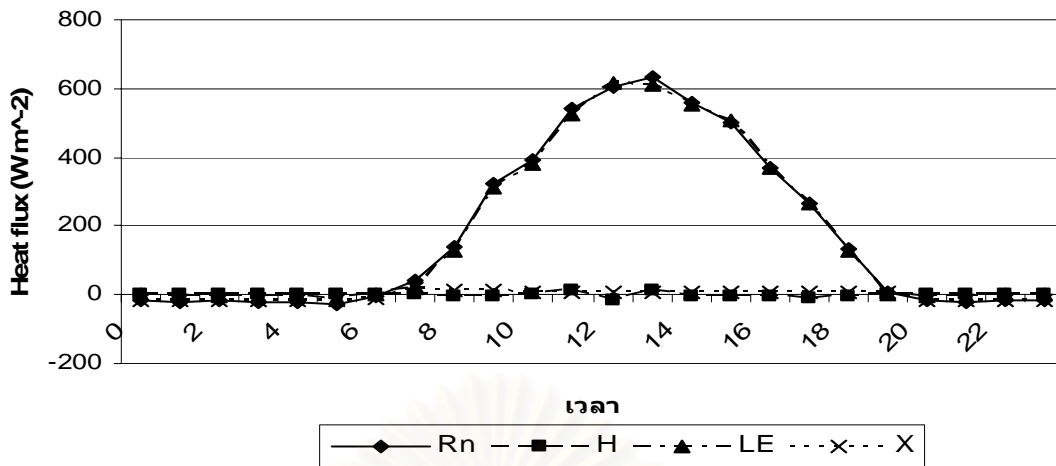
ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าสูงมาก โดยฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 355.33 282.50 และ 385.03 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ หรือมีสัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีสุทธิเฉลี่ย 0.71 0.93 และ 0.96 ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจวัดอุณหภูมิใน 2 ระดับ แต่มีระยะห่างเพียง 1.20 เมตรเท่านั้น อุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก จึงส่งผลให้สัดส่วนโอบเวนมีค่าต่ำ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่าสูง ในขณะที่เวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -3.32 -57.14 และ -21.26 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยความร้อนนี้จะเคลื่อนตัวจากบรรยากาศลงสู่พื้นผิว

### (4) ความร้อนพื้นผิว

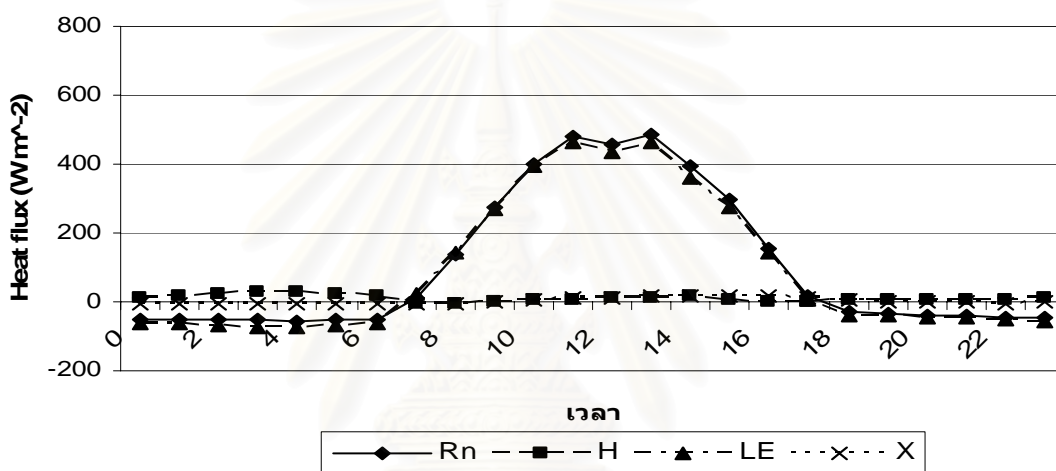
ความร้อนพื้นผิวในการศึกษาครั้งนี้ คำนวณหาจากความร้อนที่เก็บไว้ในดิน ซึ่งในเวลากลางวัน ของฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 8.22 8.87 และ 6.80 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนในเวลากลางคืน มีค่าเฉลี่ย -16.10 -3.76 และ -7.24 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎี คือ ในเวลากลางวันความร้อนพื้นผิวจะเคลื่อนจากพื้นผิวด้านบนลงสู่ดินด้านล่าง ในขณะที่เวลากลางคืน มีการคายความร้อนออกมา ความร้อนพื้นผิวจึงเคลื่อนจากดินด้านล่างสู่พื้นผิวด้านบน

### (5) สัดส่วนโอบเวน

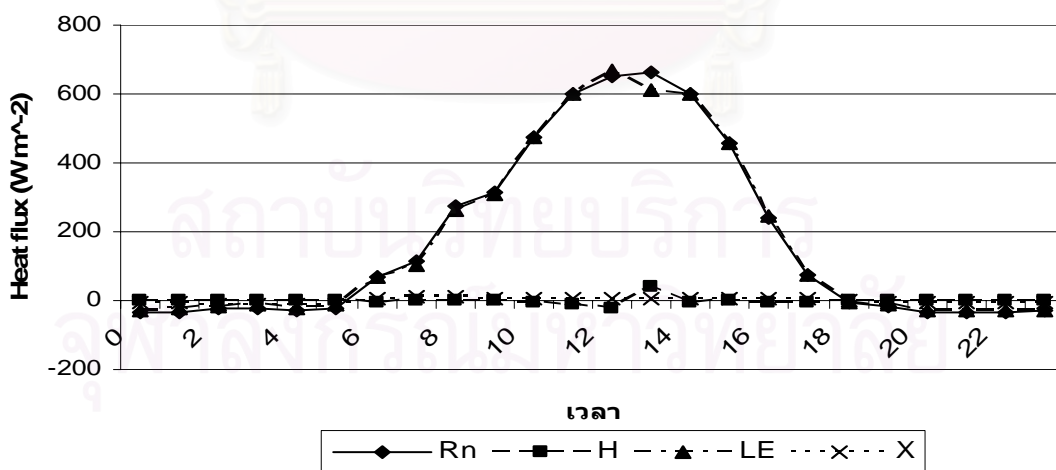
สัดส่วนโอบเวน ในเวลากลางวัน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ 0.02 0.01 และ 0.01 ตามลำดับ และในเวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.05 0.24 และ 0.04 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำเช่นกัน แสดงว่า บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯฯ มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อยมาก แต่มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสูงมาก



(ก)

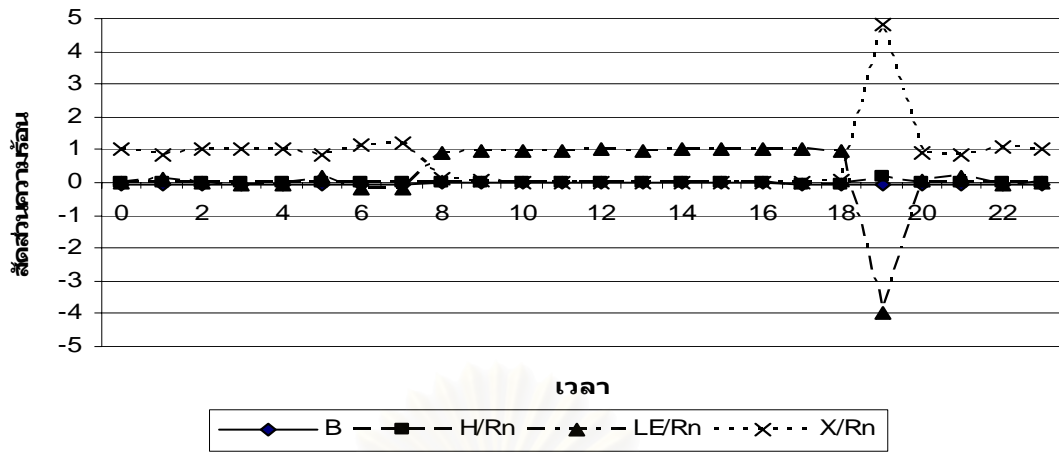


(ข)

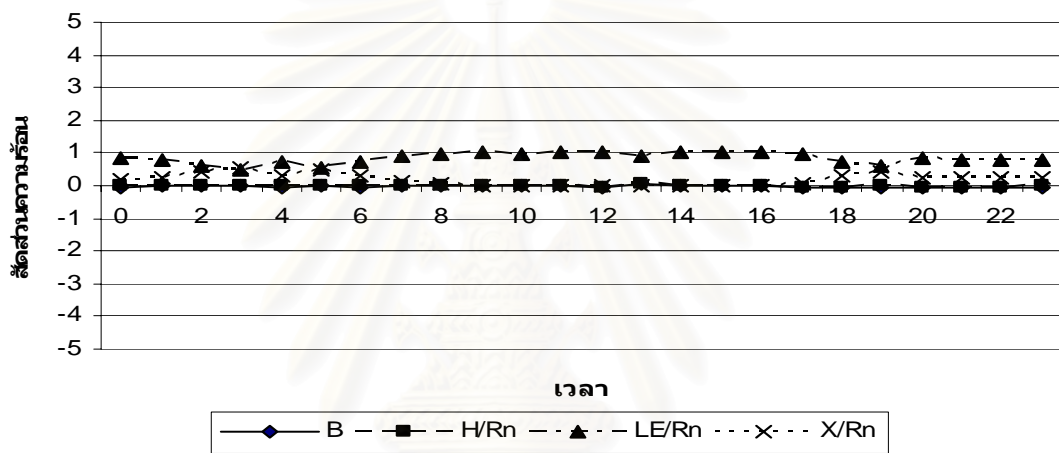


(ค)

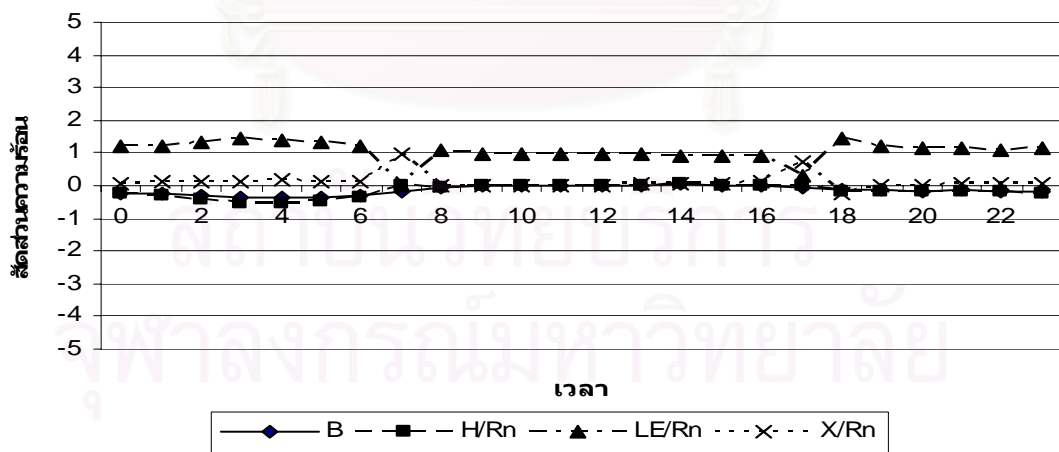
ภาพที่ 4.24 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีวัดส่วน Bowen บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.25 สัดส่วนโบเวนและสัดส่วนสมดุลความร้อนเฉลี่ยต่อรังสีสุทธิรายชั่วโมงจากวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธีตัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 3 จุด

พารามิเตอร์	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	349.82	-19.25	288.86	-45.72	368.50	-26.35
$H$ ( $W m^{-2}$ )	1.99	0.17	3.88	15.20	1.81	0.80
$LE$ ( $W m^{-2}$ )	355.33	-3.32	282.50	-57.14	385.03	-21.26
$X$ ( $W m^{-2}$ )	8.22	-16.10	8.87	-3.76	6.80	-7.24
B	0.02	0.05	0.01	0.24	0.01	0.04
$H/R_n$	0.00	0.00	0.08	-0.30	0.01	-0.03
$LE/R_n$	0.71	-0.12	0.93	1.16	0.96	0.70
$X/R_n$	0.29	1.11	0.00	0.13	0.05	0.32
จำนวนข้อมูล	61	54	44	59	56	54

#### 6) การเปรียบเทียบสมดุลความร้อนระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีตัดส่วนโบเวน

ในการเปรียบเทียบสมดุลความร้อน โดยเฉพาะความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทำการทดสอบข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีตัดส่วนโบเวน ในการเปรียบเทียบนี้จะใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธีทางสถิติ Unpaired t-test แสดงดังตารางที่ 4.19 และภาพผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



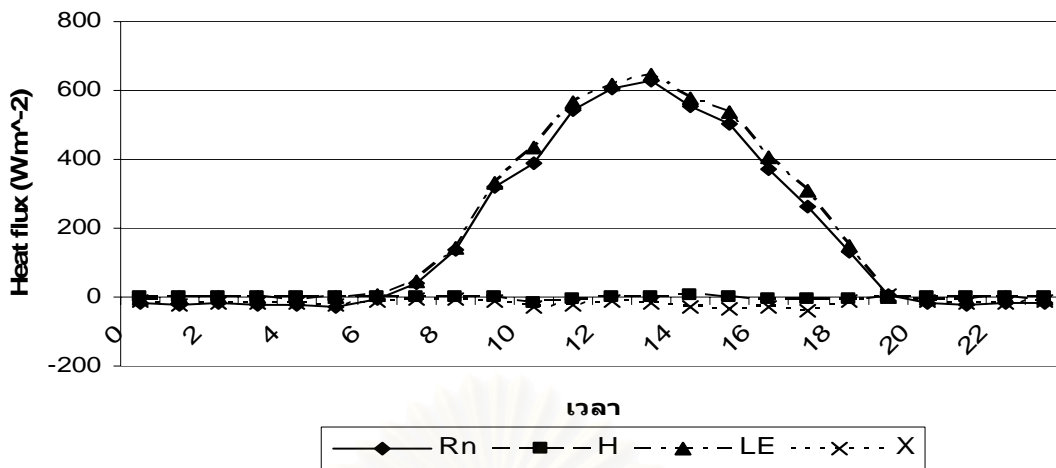
ตารางที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ฤดู	ตัวแปร	ผลการศึกษา Unpaired-t test	
		กลางวัน	กลางคืน
ฝน	H	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	LE	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
หนาว	H	แตกต่าง	แตกต่าง
	LE	แตกต่าง	แตกต่าง
ร้อน	H	แตกต่าง	แตกต่าง
	LE	แตกต่าง	แตกต่าง

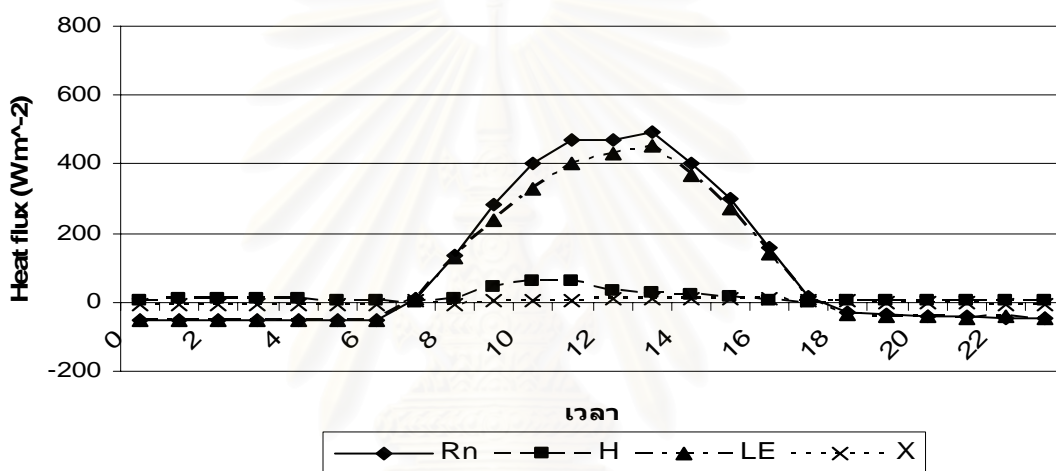
จากตารางที่ 4.19 จะเห็นว่า ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำของการศึกษาวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ในเวลา กลางวัน ส่วนใหญ่ในทุกฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ยกเว้นในเวลากลางคืน ของฤดูฝนเท่านั้น ซึ่งสมดุลความร้อนจากวิธี Eddy correlation มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่สมดุลความร้อนจากวิธีสัดส่วน โบเวนมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็น ส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดิน กล่าวคือ การศึกษาสมดุลความร้อนโดยวิธี Eddy correlation สอดคล้องกับลักษณะสิ่งปกคลุมดินที่พิจารณาในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ส่วน สมดุลความร้อนโดยวิธีสัดส่วนโบเวนมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการหา สัดส่วนโบเวนจากสมการที่ 2.17 โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิ 2 ระดับ มีระยะห่างเพียง 1.20 เมตร เท่านั้น ซึ่งมวลอากาศอยู่ในชั้นเดียวกัน ส่งผลให้อุณหภูมิไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้ สัดส่วนโบเวนมีค่าต่ำ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจึงน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหย น้ำนั่นเอง

#### 7) สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา โดยวิธีคำนวณจากสัดส่วนสมดุล ความร้อนต่อรังสีสุทธิ

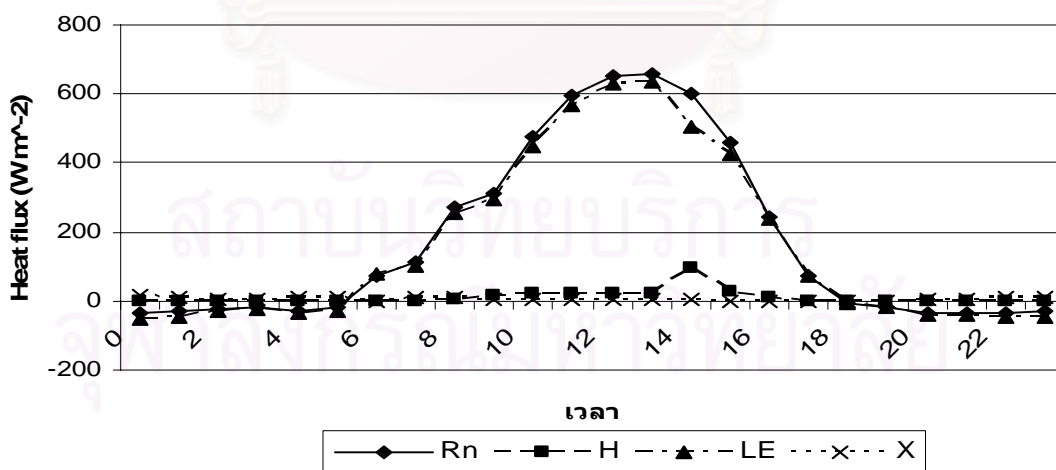
สำหรับสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดิน โดยนำข้อมูลสัดส่วนของสมดุลความ ร้อนต่อรังสีสุทธิจากข้อมูลสถานีเกษตรบางนาในภาคสนามเฉลี่ย 5 วัน ดังตารางที่ 4.11 มาคำนวณหา สมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยใช้ข้อมูล จากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม 5 วัน แสดงดังภาพที่ 4.26 และตารางที่ 4.20



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.26 สมดุลความร้อนเฉลี่ยรายชั่วโมงจากวิธีคำนวณจากสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค)

**(1) รังสีสุทธิ**

รังสีสุทธิ คำนวณมาจากวิธีของ USEPA (1999) ซึ่งได้แสดงดังหัวข้อที่ 4)

**(2) ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ**

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากการคำนวณโดยใช้สัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิในเวลากลางวัน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 2.01 27.42 และ 20.72 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรังสีสุทธิ ส่วนในเวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.11 5.29 และ 0.93 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยเช่นกัน

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยสมดุลความร้อน จากวิธีคำนวณจากสัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 3 ฤดู

พารามิเตอร์	ฤดูฝน		ฤดูหนาว		ฤดูร้อน	
	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน	กลางวัน	กลางคืน
$R_n$ ( $W m^{-2}$ )	349.82	-19.25	288.86	-45.72	368.50	-26.35
$H$ ( $W m^{-2}$ )	2.01	0.11	27.42	5.29	20.72	0.93
$LE$ ( $W m^{-2}$ )	369.03	-3.08	261.65	-46.23	365.11	-36.22
$X$ ( $W m^{-2}$ )	-17.19	-16.28	6.35	-5.00	4.19	7.66
B	0.00	0.01	0.09	0.11	0.05	0.02
จำนวนข้อมูล	61	54	53	67	56	54

**(3) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ**

ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากการคำนวณโดยใช้สัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิในเวลากลางวัน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 369.03 261.65 และ 365.11 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในเวลากลางวันมีค่าสูงมากหากเปรียบเทียบกับความร้อนอื่น ส่วนในเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -3.08 -46.23 และ -36.22 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า ในเวลากลางคืน ไอน้ำมีการควบแน่นตกกลับลงสู่พื้นผิว

**(4) ความร้อนพื้นผิว**

ความร้อนพื้นผิวจากการคำนวณโดยใช้สัดส่วนสมดุลความร้อนต่อรังสีสุทธิในเวลากลางวัน มีค่าเฉลี่ย -17.19 6.35 และ 4.19 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ในเวลากลางคืน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย -16.28 -5.00 และ 7.66 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า ในฤดูฝน และหนาว ความร้อนพื้นผิวมีการเคลื่อนตัวจากดินด้านล่างสู่พื้นผิวด้านบน ในขณะที่ในฤดูร้อน ความร้อนพื้นผิวมีการเคลื่อนตัวจากพื้นผิวลงสู่ดินด้านล่าง

#### (5) สัดส่วนโบเวน

สัดส่วนโบเวนจากการคำนวณ โดยใช้สัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิในเวลากลางวัน ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่าเฉลี่ย 0.00 0.09 และ 0.05 ตามลำดับ ในขณะที่ในเวลา กลางคืนมีค่าเฉลี่ย 0.01 0.11 และ 0.02 ตามลำดับ ซึ่งทั้งกลางวันและกลางคืนมีความร้อนที่ใช้ในการ เผาผลาญอากาศน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำอย่างมาก

#### 8) การเปรียบเทียบสมมูลความร้อนระหว่างวิธีสัดส่วนโบเวน และวิธีคำนวณจาก สัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิ

ในการเปรียบเทียบสมมูลความร้อนของสถานีเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทำการ ทดสอบข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามเพื่อหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างวิธีสัดส่วน โบเวน และวิธีคำนวณจากสัดส่วนความร้อนต่อรังสีสุทธิ พบว่า สมมูลความร้อนจากวิธีศึกษา 2 วิธี มีความ ต่าง และ ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในสัดส่วนที่พอๆ กัน ในขณะที่เวลากลางคืนก็ พบว่า สมมูลความร้อนจากวิธีศึกษา 2 วิธี มีความแตกต่างและความไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน แสดงว่า สัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิรายชั่วโมงไม่ เหมาะที่จะเป็นค่าคงที่ในการศึกษาสมมูลความร้อนในเขตเมือง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.21 และ ภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบสมมูลความร้อนระหว่างวิธีสัดส่วน โบเวนและวิธีคำนวณจาก สัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานี ตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ฤดู	ตัวแปร	ผลการศึกษา Unpaired-t test	
		กลางวัน	กลางคืน
ฝน	H	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	LE	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	X	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
หนาว	H	แตกต่าง	แตกต่าง
	LE	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	X	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
ร้อน	H	แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
	LE	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
	X	แตกต่าง	แตกต่าง

หมายเหตุ: พิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สำหรับการศึกษาสมมูลความร้อนบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยวิธี Eddy correlation สอดคล้องกับลักษณะของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตรส่วนใหญ่ เป็นพื้นที่เขตเมือง ซึ่งพบว่า ในเวลากลางวัน ทุกฤดู มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเป็นส่วน ใหญ่ แต่ในขณะที่การศึกษาสมมูลความร้อนโดยวิธีสัดส่วน โบเวนในเวลากลางวัน ทุกฤดู มีความร้อน ที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วน ใหญ่ มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนพื้นผิวต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ 2 ระดับ ซึ่งมีระยะห่างเพียง 1.20 เมตร เท่านั้น ซึ่งไม่แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอย่างชัดเจน ส่งผลให้สัดส่วน โบเวนมีค่าต่ำ จึงทำให้มี ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

นอกจากนี้ หากเปรียบเทียบสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินในบริเวณสถานีตรวจอากาศทั้ง 2 แห่งจะพบว่า สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างสูงกว่าบริเวณสถานี ตรวจอากาศเกษตรบางนา ลักษณะของสิ่งปลูกสร้างดังกล่าวส่งผลให้มีการเก็บสะสมพลังงานไว้ใน รูปของความร้อนพื้นผิวมาก จึงมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนที่ใช้ในการเผา ผลาญอากาศ ทำให้บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณสถานี ตรวจอากาศเกษตรบางนาในทุกฤดู ทั้งกลางวันและกลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์เกาะความ ร้อนของเมือง

สำหรับการศึกษาสมดุลความร้อน โดยเฉพาะความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ นอกจากจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศแล้ว ยังมีผลต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศอีกด้วย ซึ่งลักษณะการคงตัวของอากาศแสดงในหัวข้อต่อไป

## 4.2 การคงตัวของบรรยากาศเนื่องจากสมดุลความร้อน

4.2.1 ประเมินการคงตัวของบรรยากาศโดยหาค่า Monin-Obukhov length ซึ่งใช้ข้อมูลสมดุลความร้อน

### 1) ประเมินการคงตัวของบรรยากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

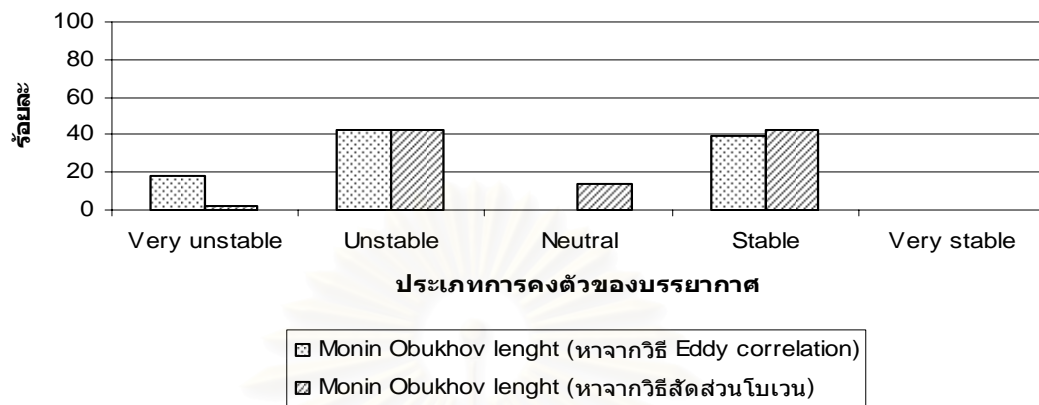
#### (1) เวลากลางวัน

สำหรับการประเมินการคงตัวของบรรยากาศโดยหาค่า Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยเปรียบเทียบความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ ซึ่งใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน พบว่าความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวนมีความสอดคล้องกัน โดยในฤดูฝน มีการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัวและไม่คงตัวมีความถี่ใกล้เคียงกัน ส่วนฤดูหนาว ส่วนใหญ่มีการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัวมาก ขณะที่ในฤดูร้อน การคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่จากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation มีลักษณะแบบไม่คงตัวมาก แต่การคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวน มีลักษณะแบบไม่คงตัว แสดงดังภาพที่ 4.27

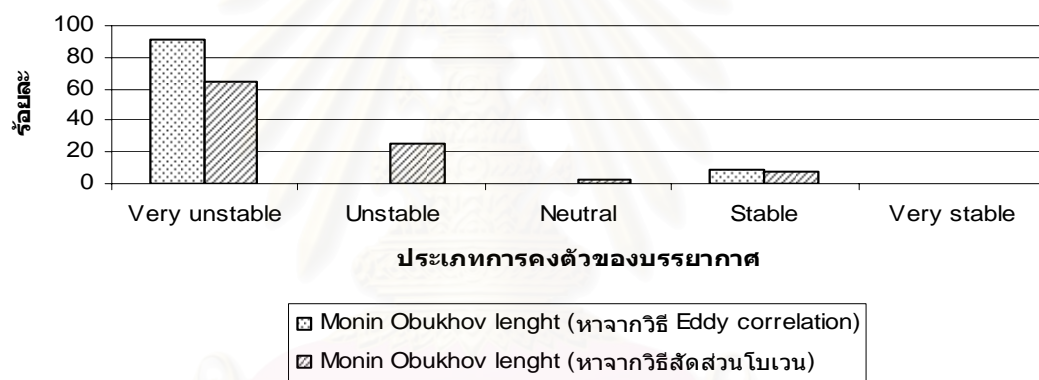
#### (2) เวลากลางคืน

สำหรับการประเมินการคงตัวของบรรยากาศโดยหาค่า Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยเปรียบเทียบความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ ซึ่งใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวนในเวลากลางคืน พบว่า ในฤดูฝน ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการศึกษาจากความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศวิธี Eddy correlation ส่วนใหญ่มีความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัว ในขณะที่ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวน ส่วนใหญ่พบเป็นแบบกลาง ส่วนฤดูหนาว ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation ส่วนใหญ่มีความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัวมาก แต่ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวนส่วนใหญ่เป็นแบบไม่คงตัวมาก และในฤดูร้อน ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้

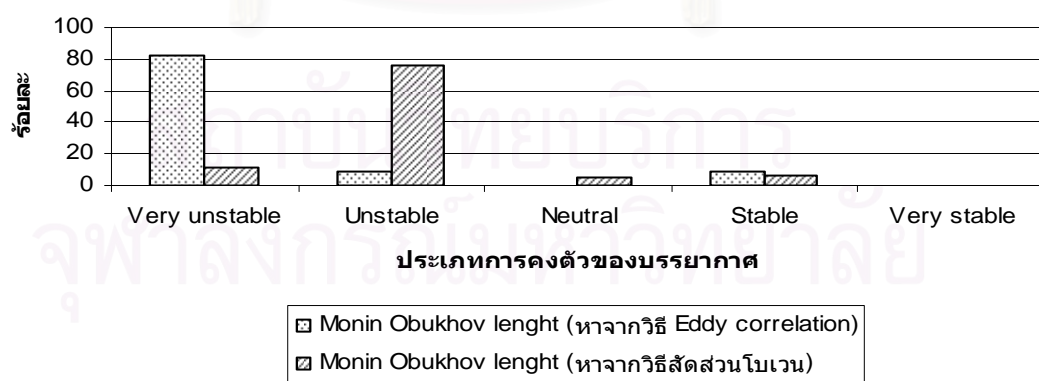
ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation ส่วนใหญ่มีความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัวและแบบคงตัวมาก แต่ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวนส่วนใหญ่เป็นแบบไม่คงตัว แสดงดังภาพที่ 4.28



(ก)

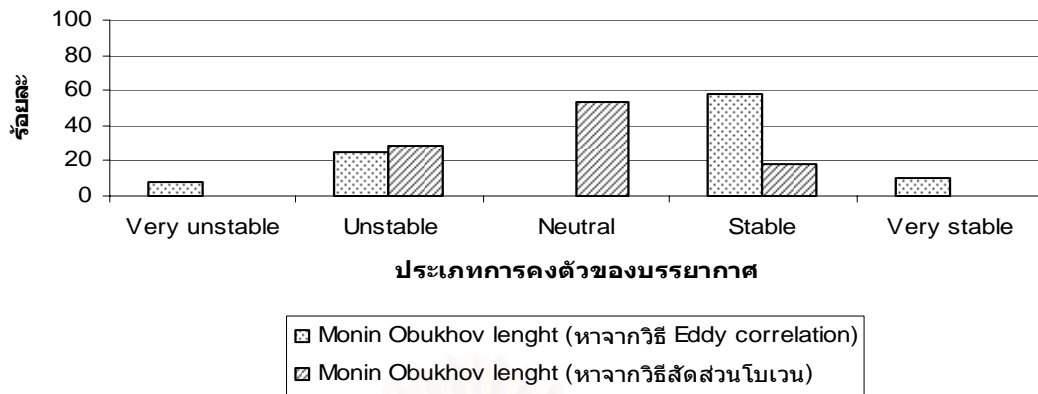


(ข)

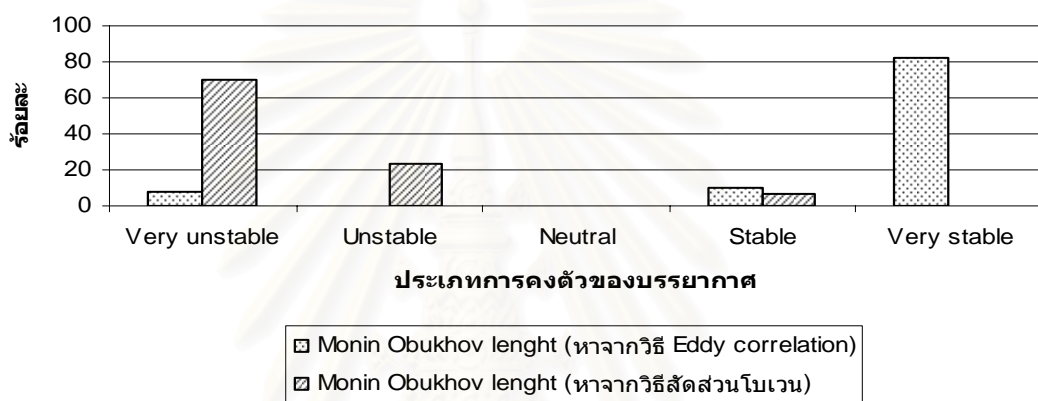


(ค)

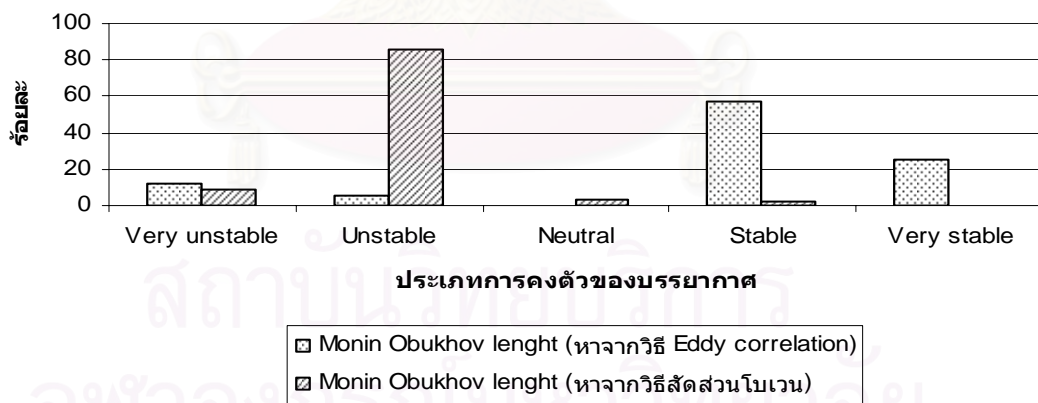
ภาพที่ 4.27 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางวัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.28 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางวัน



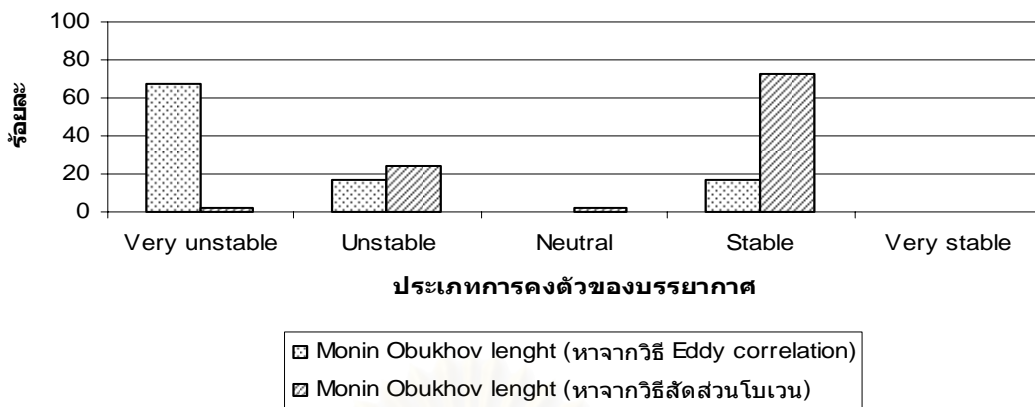
## 2) ประเมินการคงตัวของบรรยากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ กรุงเทพฯ

### (1) เวลากลางวัน

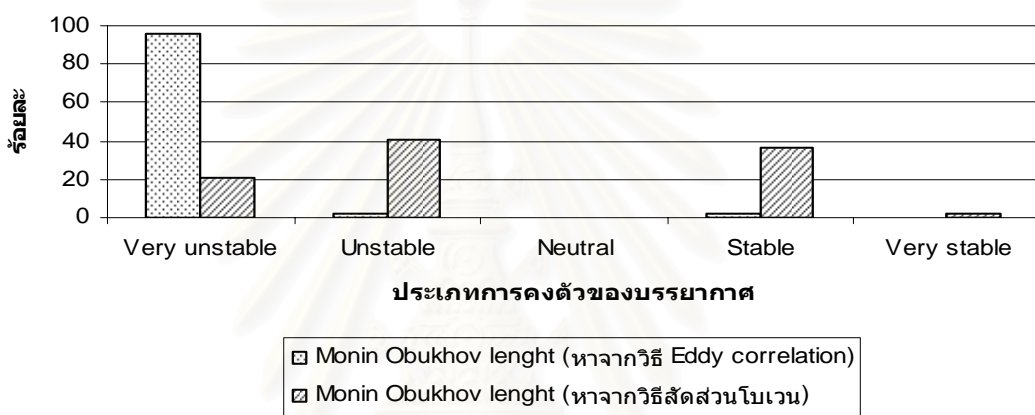
สำหรับการประเมินการคงตัวของบรรยากาศโดยหาค่า Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางวันโดยเปรียบเทียบความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน พบว่า ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation เวลากลางวันในทุกฤดูจะมีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัวมาก และแบบไม่คงตัว ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการอะเดียแบติก คือ เมื่อมีความร้อนบริเวณพื้นผิว จะมีการลอยตัวและขยายตัว ทำให้การคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว ในขณะที่ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวนมีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัวอย่างเห็นได้ชัด แสดงดังภาพที่ 4.29

### (2) เวลากลางคืน

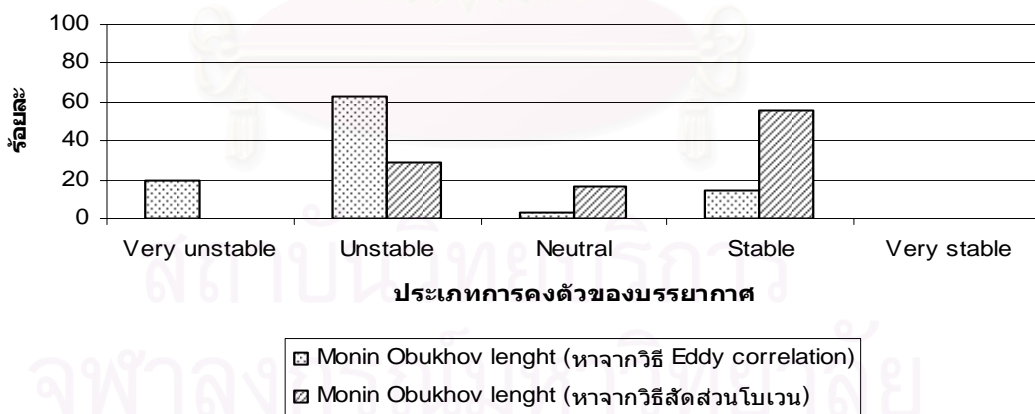
สำหรับการประเมินการคงตัวของบรรยากาศโดยหาค่า Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางคืนโดยเปรียบเทียบความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน จะเห็นว่า ในฤดูฝน ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศหลากหลายรูปแบบ ส่วนในฤดูหนาว ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัวมาก ในขณะที่ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวน มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงที่มาก และในฤดูร้อน ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัว นอกจากนี้ ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศจากการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวน มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่า การคงตัวของบรรยากาศที่ได้จากการคำนวณค่า Monin-Obukhov length โดยการใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation มีความสอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติกในทุกฤดู แสดงดังภาพที่ 4.30



(ก)

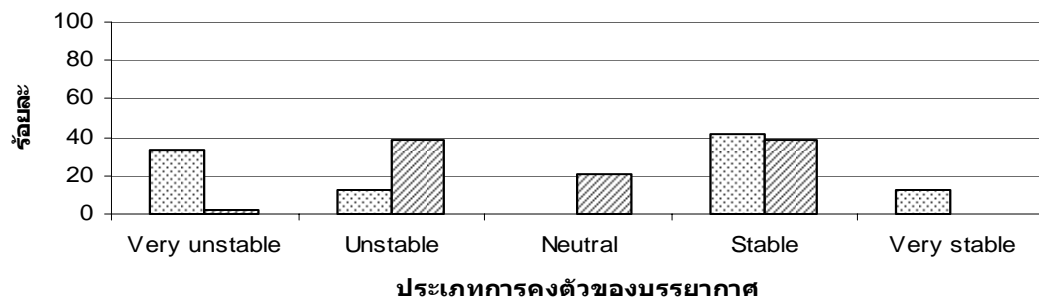


(ข)

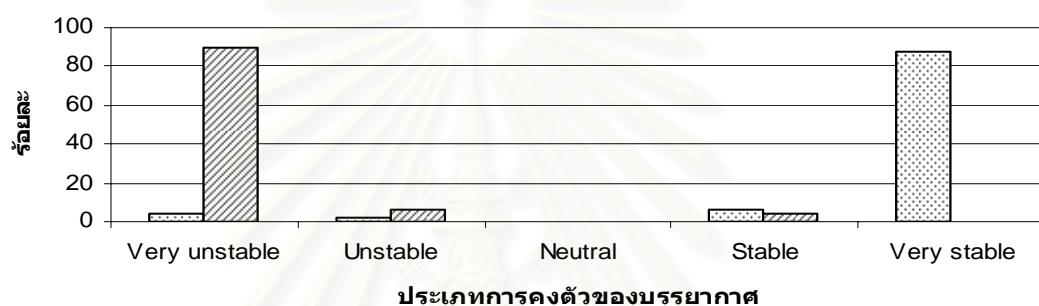


(ค)

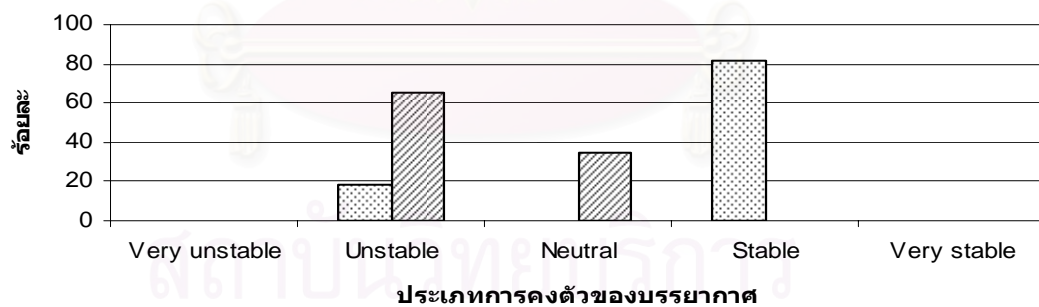
ภาพที่ 4.29 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางวัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.30 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูฝน (ก) ฤดูหนาว (ข) และฤดูร้อน (ค) เวลากลางวัน

4.2.2 เปรียบเทียบการคงตัวของบรรยากาศโดยพิจารณาค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวนในพื้นที่ศึกษา

1) เปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมมูลความร้อนโดยเฉพาะความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา แสดงดังตารางที่ 4.22 และภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้สมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ฤดู	ผลการศึกษา Unpaired-t test	
	กลางวัน	กลางคืน
ฝน	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
หนาว	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
ร้อน	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง

หมายเหตุ: พิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.22 เมื่อพิจารณาผลการศึกษา Unpaired t-test ค่า Monin-Obukhov length โดยใช้สมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวนส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นเฉพาะในฤดูหนาว เวลากลางคืนเท่านั้นที่ค่า Monin-Obukhov length โดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวนมีความแตกต่างกัน

2) เปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้ค่าสมมูลความร้อนโดยเฉพาะความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ แสดงดังตารางที่ 4.23 และภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.23 ผลการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length ที่ใช้สมมูลความร้อนจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ฤดู	ผลการศึกษา Unpaired-t test	
	กลางวัน	กลางคืน
ฝน	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
หนาว	ไม่แตกต่าง	แตกต่าง
ร้อน	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง

หมายเหตุ: พิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาผลการศึกษา Unpaired t-test ค่า Monin-Obukhov length โดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วนโบเวน ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นเฉพาะในฤดูหนาว เวลากลางคืนเท่านั้นที่มีความแตกต่างกัน

จากการเปรียบเทียบค่า Monin-Obukhov length จากการใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และสัดส่วนโบเวน ของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบว่า ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และสัดส่วนโบเวน ในการหาค่า Monin-Obukhov length ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ ผลการศึกษาความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยการใช้อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธี Eddy correlation และสัดส่วนโบเวนอาจมีความแตกต่างอย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะการกระจายตัวของข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาได้จากค่า Significant Levene's Test ดังภาคผนวก ง และภาคผนวก จ

#### 4.3 การพัฒนาความสัมพันธ์ และเสนอแนวทางการประยุกต์หาสมมูลความร้อนโดยวิธีคำนวณ

ความร้อนที่ใช้การเผาผลาญอากาศเป็นความร้อนที่เปลี่ยนจากรังสีสุทธิ มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะในเขตเมืองซึ่งมีสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นสิ่งปลูกสร้าง รังสีสุทธิถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยได้น้อย อีกทั้งวัสดุพื้นผิวมีการคายความร้อนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้มีความร้อนเหลืออยู่ในอากาศ ความร้อนนี้จะใช้ในการเผาผลาญอากาศในเขตเมืองให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นนั่นเอง แต่เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศนี้ไม่มีการตรวจวัดในสถานีตรวจ

อากาศทั่วไป จึงควรหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดเป็นประจำ ทั้งนี้ในแต่ละสถานีตรวจอากาศก็มีการศึกษาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้คำนวณความร้อนดังกล่าวในเขตเมือง

#### 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ในการศึกษานี้เป็นการหาความสัมพันธ์เบื้องต้นเพื่อหาสมการถดถอยอย่างง่าย (Simple regression equation) ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ( $H$ ) ซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั้งบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พารามิเตอร์ละ 120 ข้อมูลต่อฤดูต่อกรณี ทำการศึกษา 3 ฤดู และแยกเป็นกรณีกลางวันและกลางคืน พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศกับรังสีของโลก อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination;  $R^2$ ) ของทุกๆ ความสัมพันธ์มีค่าต่ำ แสดงว่า สมการที่ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่เป็นที่ยอมรับ หรือ ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศได้รับอิทธิพลจากรังสีของโลก อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ ในแต่ละพารามิเตอร์น้อยมาก จากการศึกษาจึงควรศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ทำนายความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

#### 4.3.2 พัฒนาความสัมพันธ์และเสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ

สำหรับการพัฒนาความสัมพันธ์เพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศนั้น จำเป็นต้องนำข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาภาคสนามของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ที่ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องทุก 5 นาที และทำการเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ฤดูละ 5 วัน หรือพารามิเตอร์ละ 240 ข้อมูลต่อฤดู ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ฤดู และแยกกรณีตามเวลา ได้แก่ เวลากลางวันซึ่งรังสีสุทธีมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร และเวลากลางคืนซึ่งรังสีสุทธีมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร แล้วทำการหาความสัมพันธ์โดยวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (Multiple linear regression) ของรังสีสุทธีและสัดส่วนโบเวน ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ดังสมการที่ 2.21 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาจากตัวแปรซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ความหมายของตัวแปรที่ใช้ในสมการถดถอย

ตัวแปร	ชื่อ	ความหมาย
X1	$R_n$	รังสีสุทธิ ( $W m^{-2}$ )
X2	H	ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ( $W m^{-2}$ )
X3	LE	ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ( $W m^{-2}$ )
X4	X	ความร้อนพื้นผิว ( $W m^{-2}$ )
X5	$R_g$	รังสีของโลก ( $W m^{-2}$ )
X6	P	ความกดอากาศ (mb)
X7	RH	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
X8	$T_{120}$	อุณหภูมิอากาศที่ความสูง 1.20 เมตร ( $^{\circ}C$ )
X9	$T_0$	อุณหภูมิพื้นผิว ( $^{\circ}C$ )
X10	$T_{-5}$	อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.05 เมตร ( $^{\circ}C$ )
X11	$T_{-20}$	อุณหภูมิดินที่ความลึก 0.20 เมตร ( $^{\circ}C$ )
X12	$e_s$	ความดันไอน้ำอิ่มตัว (mb)
X13	$e_a$	ความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ (mb)
X14	N	จำนวนเมฆ (deca)
X15	B	สัดส่วนโบเวน

### 1) พัฒนาความสัมพันธ์เพื่อหาวิธีคำนวณรังสีสุทธิ ( $R_{n\text{ cal}}$ )

รังสีสุทธิมีความสำคัญมากต่อภูมิอากาศพื้นผิว (Microclimate) ซึ่งความร้อดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศในลักษณะต่างๆ แต่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดรังสีสุทธิในสถานีตรวจอากาศต่างๆ ทั่วประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตเมือง จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีคำนวณหารังสีสุทธิ โดยใช้พารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดเป็นประจำในการศึกษา

สำหรับการหาวิธีคำนวณรังสีสุทธินี้อ้างอิงตาม USEPA (1999) ดังสมการที่ 2.8 โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ทำการเก็บตัวอย่างภาคสนามของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นข้อมูลทุก 5 นาที และทำการเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ทำการศึกษาฤดูละ 5 วัน และทำการแยกกรณีตามเวลา แล้วใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ ซึ่งวิเคราะห์ตัวแปรได้มากกว่า 2 ตัวแปรขึ้นไป ในการศึกษาจะใช้ 3 วิธี ในการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับ Regression model ได้แก่ วิธี Enter วิธี Backward elimination และวิธี Stepwise regression

สำหรับผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณจาก 3 วิธี แสดงในภาคผนวก ฉ ทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาค่า Adjusted  $R^2$  ซึ่งคือ ค่าปรับแก้ของค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2547) และเลือกวิธีที่มี Adjusted  $R^2$  สูงสุดนั่นเอง พบว่า สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิจากวิธีคำนวณทุกกรณีมีความสัมพันธ์กับรังสีของโลก เนื่องจากรังสีของโลกแสดงถึงพลังงานของดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาสู่พื้นโลก จึงถือเป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานในสมการ อีกทั้ง Adjusted  $R^2$  ทั้งหมดมีค่าสูงมาก คืออยู่ในช่วง 0.809-1.000 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ

ฤดู	เวลา	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ	Adjusted $R^2$
ฝน	กลางวัน	$R_{n\text{Cal}} = -80.467 + 0.732 R_g - 0.025 RH + 0.524 e_s + 5.358 N$	0.999
	กลางคืน	$R_{n\text{Cal}} = -55.043 + 0.721 R_g - 0.211 RH - 2.026 T_{120} + 1.333 e_s + 0.557 e_a + 5.260 N$	0.997
หนาว	กลางวัน	$R_{n\text{Cal}} = 343.778 + 0.774 R_g - 0.398 P - 0.060 RH - 0.967 T_{120} + 0.668 e_s + 5.096 N$	0.999
	กลางคืน	$R_{n\text{Cal}} = -146.214 + 0.756 R_g + 0.101 P - 0.207 RH - 1.871 T_{120} + 1.060 e_s + 0.250 e_a + 5.239 N$	0.993
ร้อน	กลางวัน	$R_{n\text{Cal}} = 1698.504 + 0.772 R_g - 1.813 P - 0.087 RH + 6.261 T_{120} - 2.657 e_s + 0.400 e_a + 4.419 N$	0.999
	กลางคืน	$R_{n\text{Cal}} = 355.076 + 0.813 R_g - 0.412 P + 0.211 e_a + 4.564 N$	0.809

## 2) พัฒนาการความสัมพันธ์เพื่อหาวิธีคำนวณสัดส่วนโบเวน ( $B_{\text{Cal}}$ )

สัดส่วนโบเวนเป็นสัดส่วนระหว่างความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศกับความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ มีความสำคัญในการแสดงให้เห็นว่ามีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเป็นที่เท่าของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ สำหรับสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยามีการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ทำให้สถานีตรวจอากาศบางแห่งไม่สามารถหาสัดส่วนโบเวนได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีคำนวณสัดส่วนโบเวน โดยใช้พารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดเป็นประจำในการศึกษา



สำหรับการหาวิธีคำนวณสัดส่วนโบเวนนี้ได้อ้างอิง Wiesner (1970) ดังสมการที่ 2.17 โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ทำการเก็บตัวอย่างภาคสนามของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นข้อมูลทุก 5 นาที และทำการเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ทำการศึกษาฤดูละ 5 วัน และทำการแยกกรณีตามเวลา แล้วใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ ในการศึกษานี้จะใช้ 3 วิธี ในการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับ Regression model ได้แก่ วิธี Enter วิธี Backward elimination และวิธี Stepwise regression

สำหรับผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณจาก 3 วิธี แสดงในภาคผนวก ข ทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาค่า Adjusted  $R^2$  จะเห็นว่า สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวนมีตัวแปรความสัมพันธ์กับหลายตัว และมีค่า Adjusted  $R^2$  ในเวลากลางคืนสูงกว่า Adjusted  $R^2$  ในเวลากลางวัน ทั้งนี้โดยปกติเวลากลางคืน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ในขณะที่เวลากลางวัน แต่ละช่วงเวลาจะมีรังสีของโลก ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันไอน้ำไม่เท่ากัน ทำให้สัดส่วนโบเวนจากวิธีการคำนวณเมื่อรังสีสุทธิมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่า Adjusted  $R^2$  ต่ำ สมการถดถอยของสัดส่วนโบเวนแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน

ฤดู	เวลา	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ	Adjusted $R^2$
ฝน	กลางวัน	$B_{Cal} = 0.227 - 0.009 T_{120}$	0.319
	กลางคืน	$B_{Cal} = 0.523 - 0.012 RH - 0.012 e_s + 0.030 e_a$	0.579
หนาว	กลางวัน	$B_{Cal} = -17.343 + 0.018 P - 0.010 RH - 0.010 e_s + 0.023 e_a$	0.247
	กลางคืน	$B_{Cal} = -24.080 + 0.001 R_g + 0.023 P + 0.008 RH + 0.041 T_{120} - 0.050 e_a + 0.005 N$	0.576
ร้อน	กลางวัน	$B_{Cal} = -10.781 + 0.011 P + 0.005 e_s - 0.002 e_a$	0.321
	กลางคืน	$B_{Cal} = -9.956 + 0.002 R_g + 0.007 P + 0.235 T_{120} - 0.093 e_s - 0.002 e_a + 0.005 N$	0.787

### 3) เสนอแนวทางการทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ( $H_{cal}$ )

สถานีตรวจอากาศแต่ละแห่งมีการตรวจวัดช่วงเวลาและพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของสถานีตรวจอากาศนั้น สำหรับสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาทำการตรวจวัดทุก 3 ชั่วโมง ในขณะที่สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทำการตรวจวัดทุก 1 ชั่วโมง สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ตัวแปรที่ใช้ในการหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ที่สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทำการตรวจวัด

พารามิเตอร์	สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา	สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ
$R_g$	ตรวจ	ไม่ตรวจ*
P	ตรวจ	ตรวจ
RH	ตรวจ	ตรวจ
$T_{120}$	ตรวจ	ตรวจ
$T_0$	ตรวจ	ไม่ตรวจ
$T_{-5}$	ตรวจ	ไม่ตรวจ
$T_{-20}$	ตรวจ	ไม่ตรวจ
$e_s$	ตรวจ	ตรวจ
$e_a$	ตรวจ	ตรวจ
N	ตรวจ	ตรวจ

หมายเหตุ: \*ไม่ตรวจ\* คือ สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติไม่ตรวจวัด แต่ใช้ข้อมูลของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

จากตารางที่ 4.27 จะเห็นว่า ตัวแปรของสถานีตรวจอากาศทั้งสองแห่งมีความแตกต่างกัน ซึ่งจะพบว่า สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนามีตัวแปรเพียงพอที่จะคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวน โดยสมการหาสัดส่วนโบเวนแสดงดังสมการที่ 2.17 ส่วนสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีตัวแปรไม่เพียงพอที่จะคำนวณดังสมการที่ 2.17 ได้ จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาหาสมการความสัมพันธ์เพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

ของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ อีกทั้งเป็นการหาสมการที่ใช้หาความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศสำหรับเขตเมืองโดยเฉพาะ

ในส่วนของรังสีของโลก ( $R_g$ ) แม้ว่าสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ไม่ทำการตรวจวัด แต่สามารถใช้ข้อมูลของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ได้ เนื่องจากสถานีอากาศทั้งสองแห่งอยู่ในพื้นที่ไม่ห่างกันมากนัก ข้อมูลรังสีของโลกของสถานีตรวจอากาศทั้งสองแห่งจึงไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ มีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์คือ รังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวน โดยให้สัดส่วนความร้อนพื้นผิวต่อรังสีสุทธิ มีค่า 0.1 (Oke, 1978; Stull, 2000) ดังสมการที่ 2.21 ซึ่งรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวนสามารถหาได้หลายวิธีดังนี้

- (1) รังสีสุทธิวิธีคำนวณ ( $R_{n, Met}$ ) (USEPA, 2001) จากสมการที่ 2.8
- (2) รังสีสุทธิวิธีคำนวณโดยพัฒนาจากสมการถดถอย ( $R_{n, Cal}$ ) ดังสมการในตารางที่ 4.25
- (3) สัดส่วนโบเวนโดยใช้ตารางค่าคงที่ ( $B_{ตาราง}$ ) (USEPA, 2001) ดังตารางที่ 2.6
- (4) สัดส่วนโบเวนวิธีคำนวณโดยใช้สูตร ( $B_{สูตร}$ ) (Wiesner, 1970) จากสมการที่ 2.17
- (5) สัดส่วนโบเวนวิธีคำนวณโดยพัฒนาจากสมการถดถอย ( $B_{Cal}$ ) ดังสมการในตารางที่ 4.26

ในการศึกษาครั้งนี้ จะเสนอแนวทางการทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยใช้ความสัมพันธ์ของรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวนในวิธีการต่างๆ ซึ่งมีทั้งหมด 6 วิธี ดังตารางที่ 4.28 แต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศได้ทุกวิธี เนื่องจากตารางที่ 2.6 ได้เสนอสัดส่วนโบเวนเฉพาะเวลากลางวัน ทำให้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถใช้ค่าดังกล่าวได้ในเวลากลางคืน และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาสัดส่วนโบเวนจากสมการที่ 2.17 ได้ การทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ แสดงดังตารางที่ 4.29-4.30

ตารางที่ 4.28 แนวทางการทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

วิธีที่	ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ	รังสีสุทธิ	สัดส่วนโบน
1	$H_{Cal1}$	$R_{nMet}$	$B_{ตาราง}$
2	$H_{Cal2}$	$R_{nMet}$	$B_{สูตร}$
3	$H_{Cal3}$	$R_{nMet}$	$B_{Cal}$
4	$H_{Cal4}$	$R_{nCal}$	$B_{ตาราง}$
5	$H_{Cal5}$	$R_{nCal}$	$B_{สูตร}$
6	$H_{Cal6}$	$R_{nCal}$	$B_{Cal}$

ตารางที่ 4.29 การทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

เวลา	วิธีที่					
	1	2	3	4	5	6
กลางวัน	√	√	√	√	√	√
กลางคืน	X	√	√	X	√	√

หมายเหตุ: √ สามารถประยุกต์ได้

X ไม่สามารถประยุกต์ได้

ตารางที่ 4.30 การทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

เวลา	วิธีที่					
	1	2	3	4	5	6
กลางวัน	√	X	√	√	X	√
กลางคืน	X	X	√	X	X	√

หมายเหตุ: √ สามารถประยุกต์ได้

X ไม่สามารถประยุกต์ได้

#### 4) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

##### (1) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ

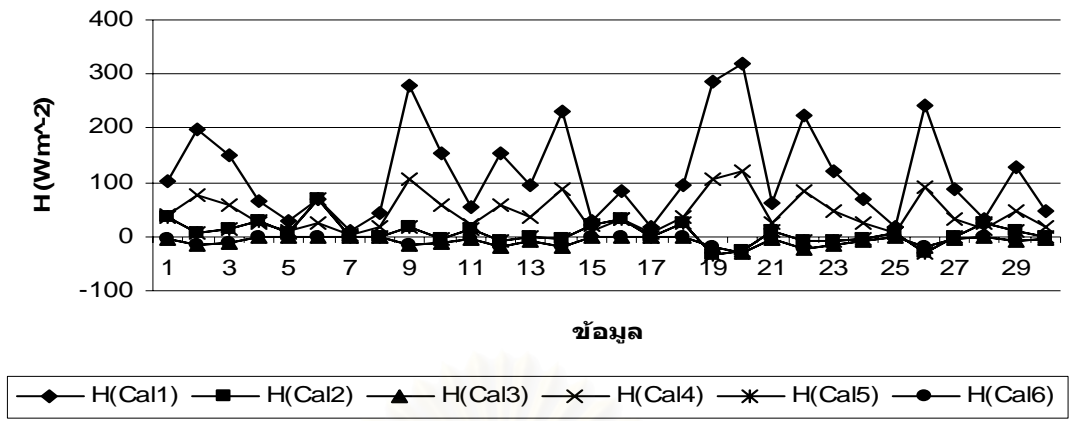
การทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนานั้น ใช้ข้อมูลอุตุนิมวิทยาที่มีการตรวจเป็นประจำ ราย 3 ชั่วโมง ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 ทำการศึกษา 3 ฤดู และแบ่งตามเวลา 2 กรณี โดยทำการสุ่มอย่างมีระบบ (Systematic random sampling) แล้วนำมาคำนวณหาช่วงที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่าง (Sampling interval; I) จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนทั้งหมดในประชากร (N) และขนาดสิ่งตัวอย่างที่ใช้ (n) ดังสมการที่ 4.1

$$I = N/n \quad (4.1)$$

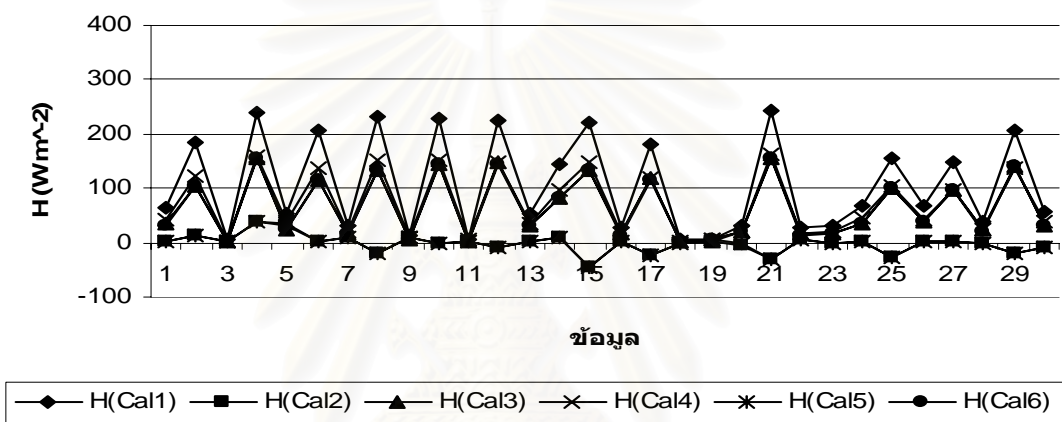
แล้วทำการสุ่มจุดเริ่มต้น (Random start) (มิ่งขวัญ เจริญประยูร, 2542) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้สิ่งตัวอย่างที่ใช้คือ 30 ชุดข้อมูล เพื่อเป็นตัวแทนของสถานีตรวจอากาศบางนาเพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณต่างๆ

สำหรับผลการศึกษารวมความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ ในเวลากลางวัน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในวิธีที่ 2 และ 5 ของทุกฤดู และ วิธีที่ 3 และ 6 ของฤดูฝน มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ มีค่าน้อยและติดลบ ซึ่งไม่เป็นไปตามกระบวนการอะเดียแบติก กล่าวคือ เวลากลางวัน รังสีสุทธิที่เหลืออยู่บริเวณพื้นผิวของโลกจะใช้ในการเผาผลาญอากาศ และเมื่ออากาศมีความร้อน อากาศนี้จะเคลื่อนที่ขึ้น ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจะมีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีที่ 1 และ 4 มีค่ามากกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตรสอดคล้องตามกระบวนการอะเดียแบติก ทั้งนี้วิธีที่ 1 เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณในระบบจำลองทางอุตุนิมวิทยา PCRAMMET ซึ่งเสนอ USEPA (1999) ส่วนวิธีที่ 4 เป็นค่าที่ได้จากการพัฒนาครั้งนี้ แสดงได้ดังภาพที่ 4.31

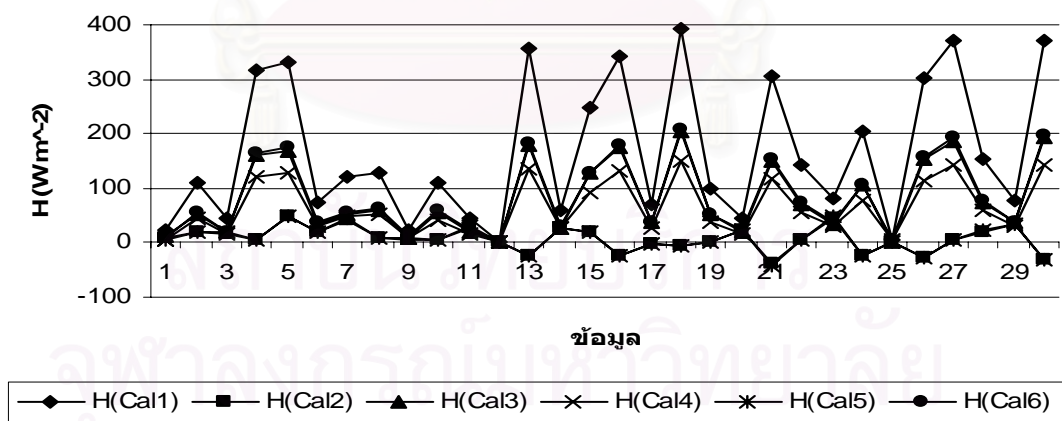
ส่วนผลการศึกษารวมความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ ในเวลากลางคืน ผลการศึกษาวิธีที่ 3 และ 6 มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และเป็นไปตามกระบวนการอะเดียแบติก กล่าวคือ ในฤดูฝนและร้อน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจะเคลื่อนที่ลง ทำให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร (Oke, 1978) แต่ในฤดูหนาว ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศทั้งสองวิธีนี้มีค่าสูงมาก สูงสุดถึง 95.87 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนวิธีที่ 2 และ 5 มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยในทุกฤดูมีค่าติดลบ ซึ่งเป็นไปตามหลักการ โดยวิธีที่ 2 เป็นวิธีที่ใช้สมการรังสีสุทธิของ USEPA (1999) และสัดส่วนโบทอนคำนวณโดยใช้สูตรของ Wiesner (1970) ส่วนวิธีที่ 5 ซึ่งคำนวณรังสีสุทธิจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ และสัดส่วนโบทอนคำนวณโดยใช้สูตรของ Wiesner (1970) แสดงได้ดังภาพที่ 4.32



(ก)

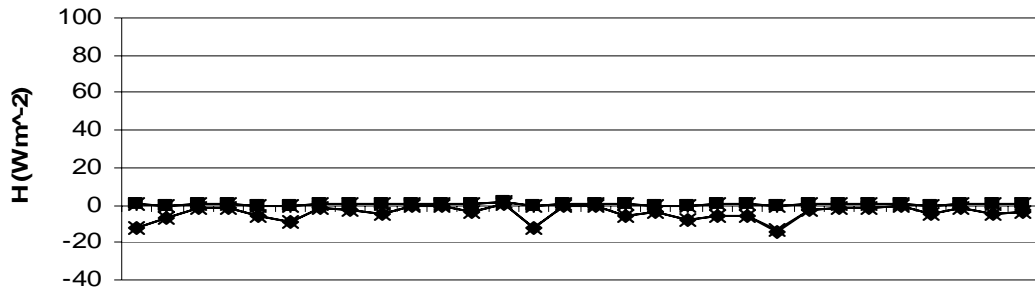


(ข)

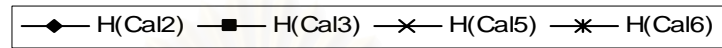


(ค)

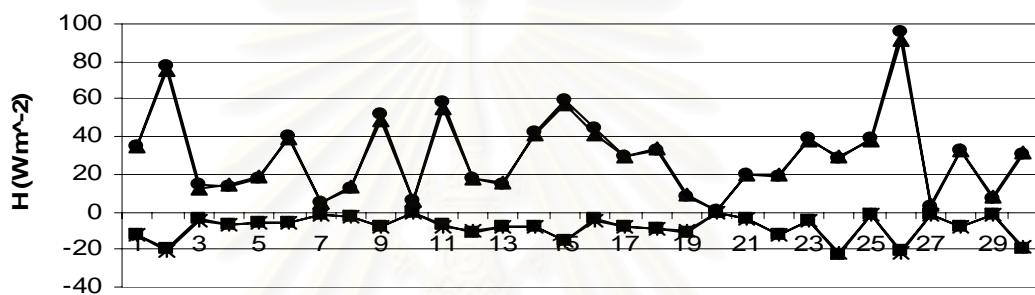
ภาพที่ 4.31 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร  
 บางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลา  
 กลางวัน



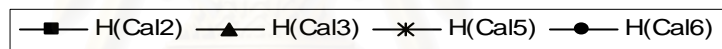
ข้อมูล



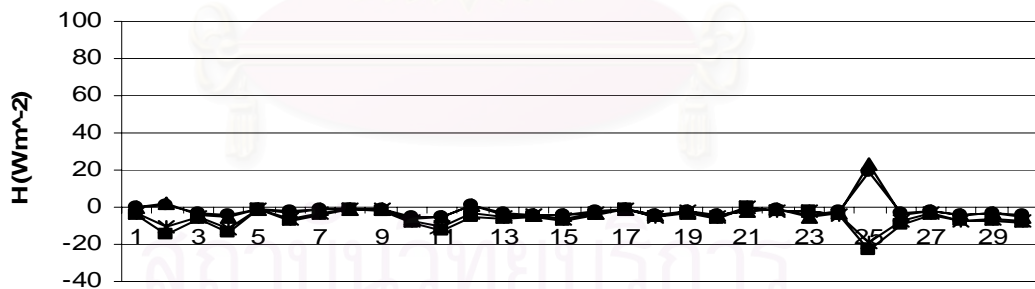
(ก)



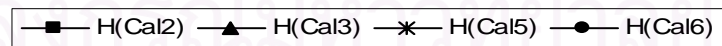
ข้อมูล



(ข)



ข้อมูล



(ค)

ภาพที่ 4.32 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตร  
 บางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลา  
 กลางคืน

## (2) ทดสอบหาการคงตัวของบรรยากาศ

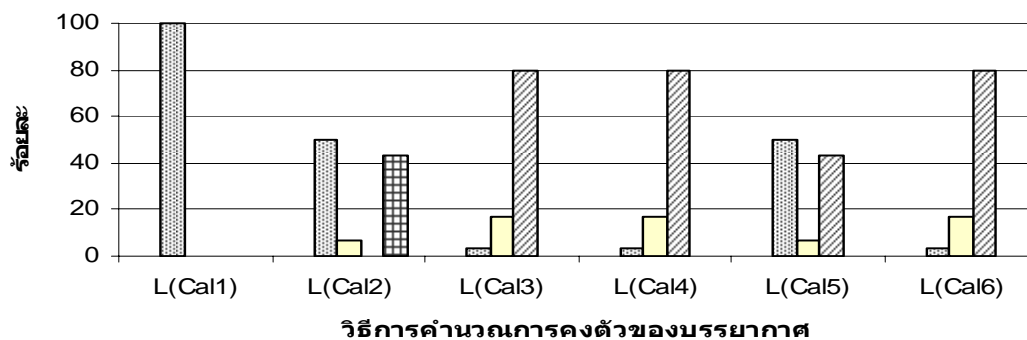
สำหรับการศึกษาการคงตัวของบรรยากาศในครั้งนี้จะหาตามวิธี Monin-Obukhov โดยหาค่า Monin-Obukhov length ดังสมการที่ 2.31 โดยใช้ค่าความเร็วลมเสียดทานเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามดังตารางที่ 4.31 ส่วนอุณหภูมิอากาศ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศนั้น ใช้ข้อมูลจากทางสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาซึ่งมีการเก็บตัวอย่างราย 3 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี สามารถคำนวณในวิธีต่างๆ ได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 4.33-4.34

ตารางที่ 4.31 ความเร็วลมเสียดทานเฉลี่ย บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

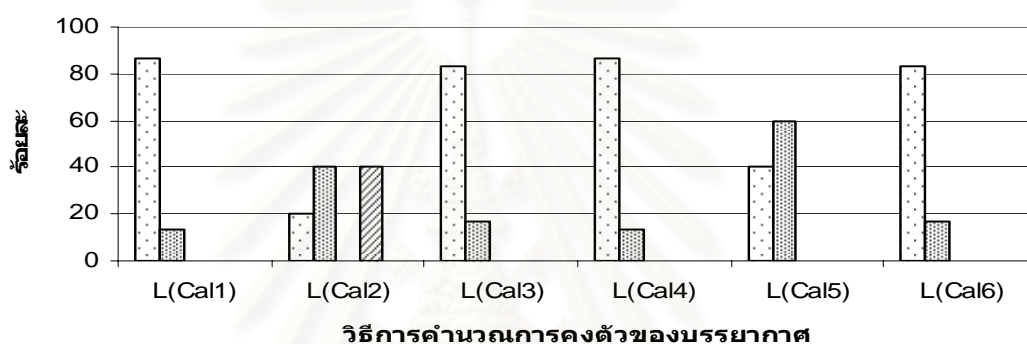
ฤดู	เวลา	สถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา	สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ กรุงเทพฯ
ฝน	กลางวัน	0.861	0.440
	กลางคืน	0.597	0.263
หนาว	กลางวัน	0.202	0.201
	กลางคืน	0.108	0.093
ร้อน	กลางวัน	0.427	1.025
	กลางคืน	0.197	0.792

สำหรับการทดสอบหาการคงตัวของบรรยากาศ จะเห็นว่า กราฟของ Monin-Obukhov length ( $L_{cal}$ ) ทุกวิธีคำนวณ ในทุกฤดูมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว และแบบไม่คงตัวสูง ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการอะเดียแบติก กล่าวคือ เมื่อดวงอาทิตย์ให้พลังงานสู่โลก บริเวณพื้นผิวจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศด้านบน อากาศบริเวณพื้นผิวนี้อาจลอยตัวขึ้นและขยายตัว เพื่อลดอุณหภูมิอากาศให้เท่ากับอุณหภูมิอากาศด้านบน ทั้งนี้ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสภาพบรรยากาศมีการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัว (Seinfeld, 1975) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ วิธีที่ 3 4 และ 6 ในฤดูฝนที่มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบคงตัว ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการที่กล่าวข้างต้น แสดงดังภาพที่ 4.33

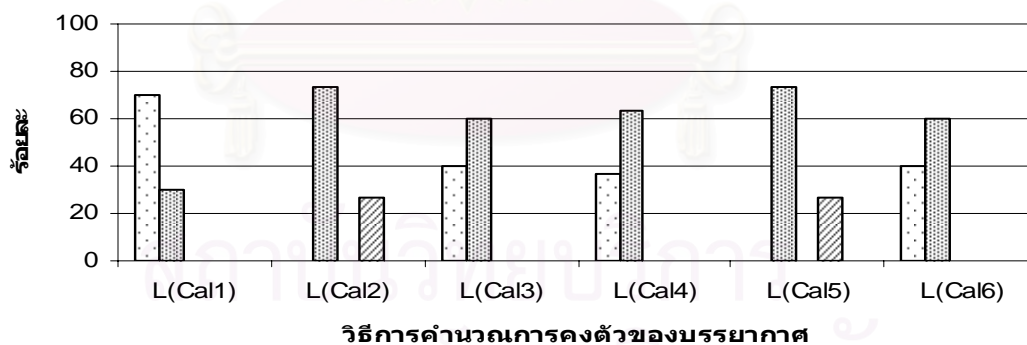




(ก)

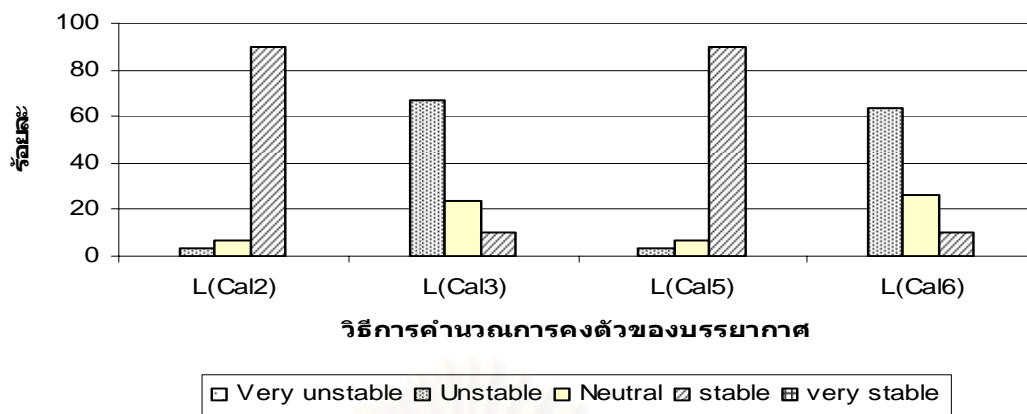


(ข)

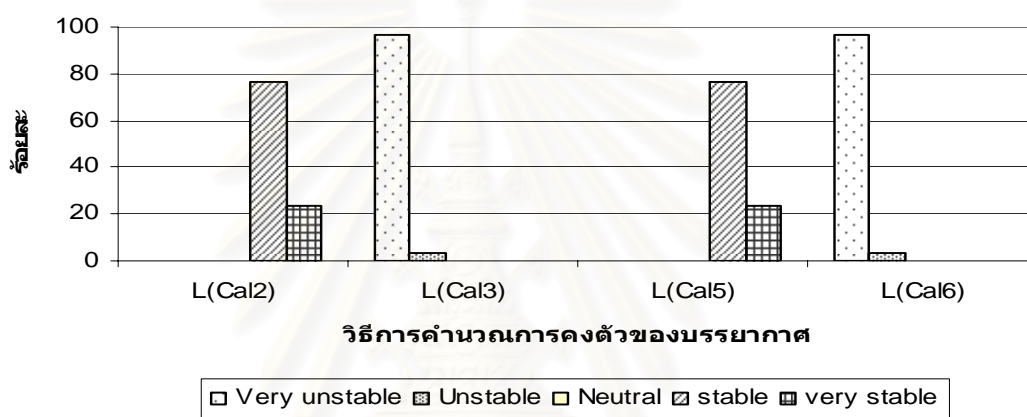


(ค)

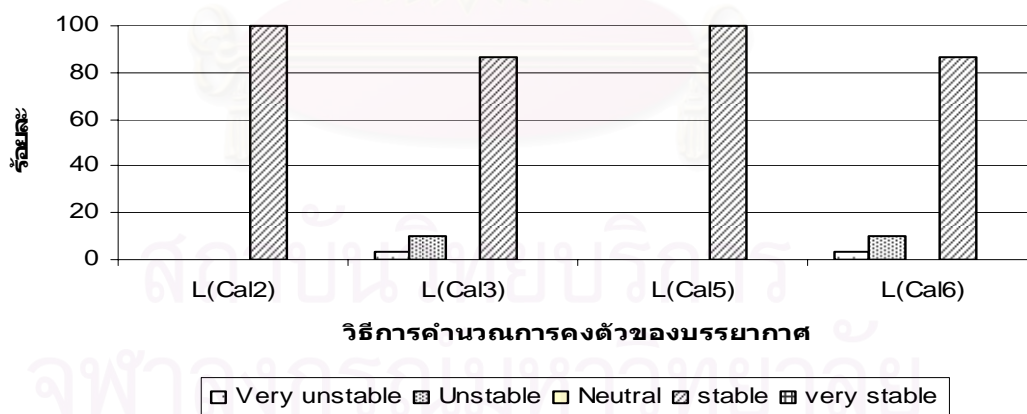
ภาพที่ 4.33 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.34 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน

จากภาพที่ 4.34 จะพบว่า ในเวลากลางคืน ของทุกฤดู การหาค่า Monin-Obukhov length วิธีที่ 2 และ 5 ส่วนใหญ่มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับหลักการ คือ มีการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบคงตัว และสอดคล้องตามกระบวนการอะเดียแบติก กล่าวคือ เมื่อไม่มีดวงอาทิตย์ บริเวณพื้นผิวจะมีการคายความร้อนเพื่อปรับสมดุลอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า พื้นดินเวลากลางคืนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป ความร้อนที่สะสมในอากาศจึงเคลื่อนที่ลง ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่งผลให้ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบคงตัว (Schnele และ Dey, 2000) ในขณะเดียวกัน วิธีที่ 3 และ 6 ในฤดูร้อนมีความสอดคล้องกับหลักการเช่นกัน แต่วิธีที่ 3 และ 6 ในฤดูฝน และฤดูหนาวมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ส่วนใหญ่จะมีการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว และแบบไม่คงตัวมาก) ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการ

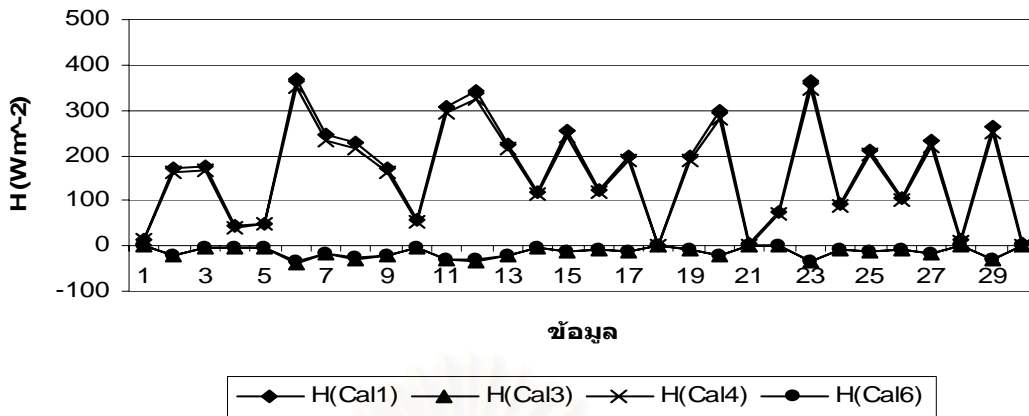
**5) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ**

**(1) ทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ**

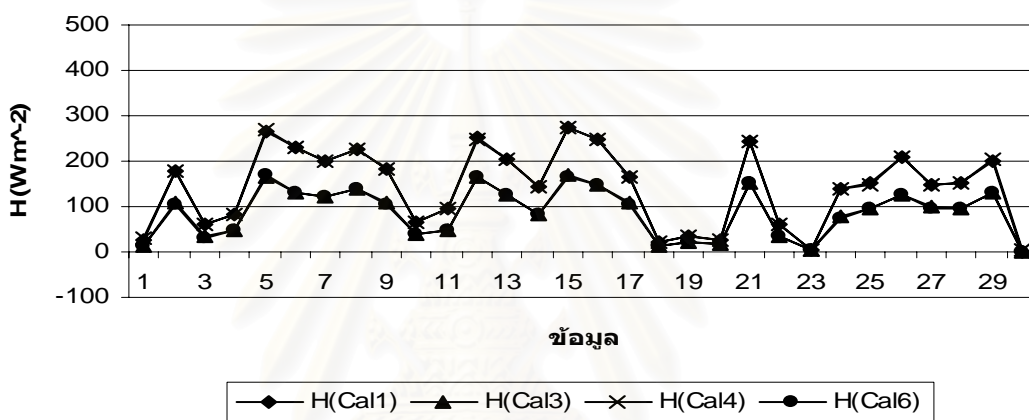
การทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ นั้น ใช้ข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีที่มีการตรวจเป็นประจำ ราย 1 ชั่วโมง ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 ทำการศึกษา 3 ฤดู และแบ่งตามเวลา 2 กรณี โดยทำการสุ่มอย่างมีระบบ (Systematic random sampling) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดสิ่งตัวอย่างที่ใช้คือ 30 ชุดข้อมูล เพื่อเป็นตัวแทนของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ เพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณต่างๆ

สำหรับผลการทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในเวลากลางวัน พบว่า การหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศวิธีที่ 1 กับ 4 และวิธีที่ 3 กับ 6 ของทุกฤดูมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน และมีค่าค่อนข้างสูง ยกเว้นวิธีที่ 3 และ 6 ในฤดูฝน มีค่าน้อยกว่า 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งไม่น่าจะเกิดขึ้นในเวลากลางวัน จึงเป็นวิธีที่ไม่สอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก แสดงดังภาพที่ 4.35

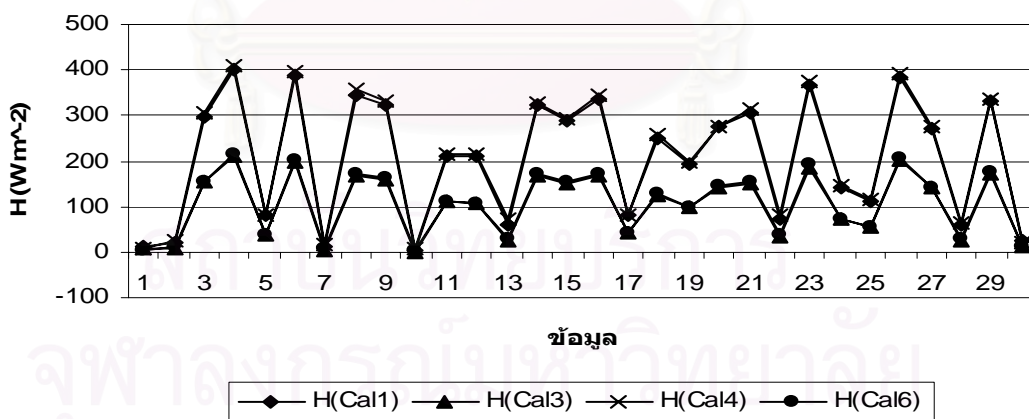
สำหรับผลการทดสอบหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในเวลากลางคืน พบว่า ฤดูฝนและร้อน ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีที่ 3 และ 6 มีค่าสอดคล้องกัน กล่าวคือ มีค่าประมาณ 0 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งหมายถึง เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ ทำให้ไม่มีความร้อนจากภายนอกโลก รังสีสุทธิจึงมีค่าต่ำ เป็นผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อน ส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศวิธีที่ 3 และ 6 ในฤดูหนาวมีค่าสอดคล้องกัน แต่ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีปริมาณสูงและสูงสุด 64.244 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการ แสดงดังภาพที่ 4.36



(ก)

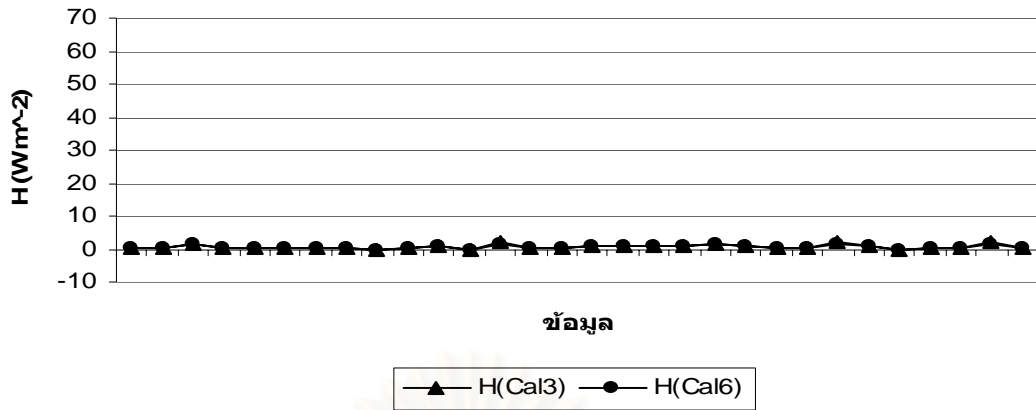


(ข)

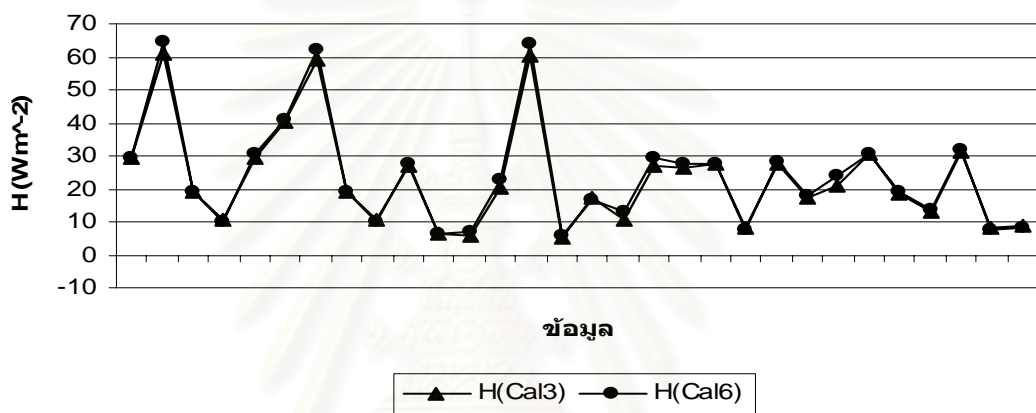


(ค)

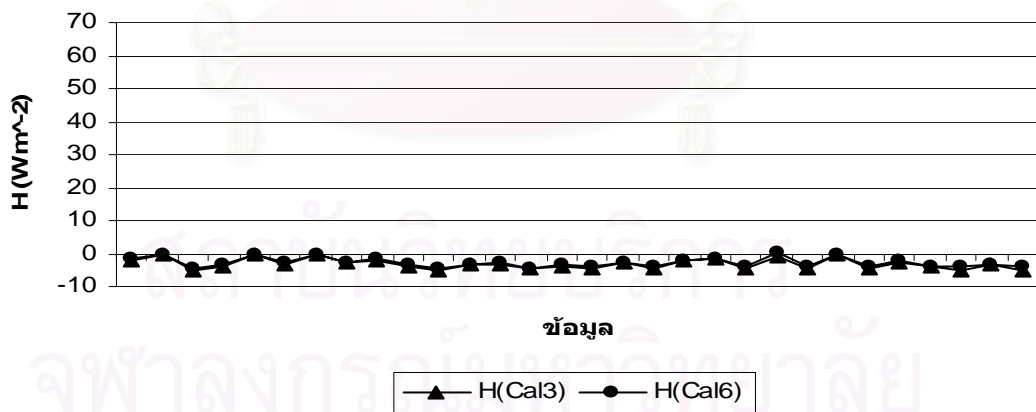
ภาพที่ 4.35 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน



(ก)



(ข)



(ค)

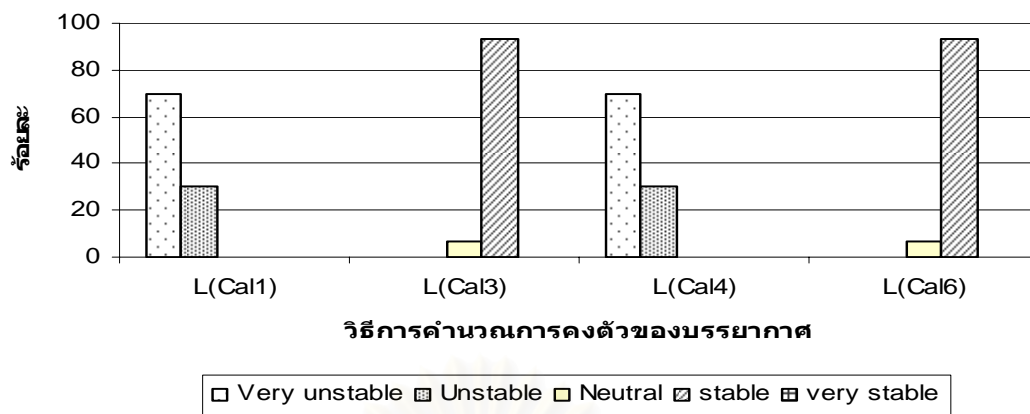
ภาพที่ 4.36 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางคืน

## (2) ทดสอบหาการคงตัวของบรรยากาศ

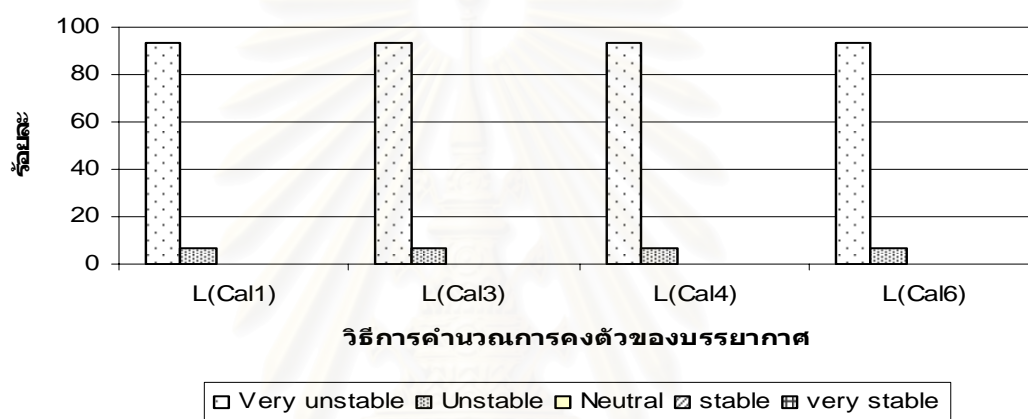
สำหรับการศึกษาการคงตัวของบรรยากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ จะหาค่า Monin-Obukhov length ดังสมการที่ 2.31 โดยใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยตทานเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามดังตารางที่ 4.31 เนื่องจากทางสถานีไม่มีการตรวจวัด ส่วนอุณหภูมิอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศใช้ข้อมูลจากทางสถานีที่มีการตรวจวัดทุก 1 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี โดยสุ่ม 30 ข้อมูล เพื่อใช้ในการคำนวณในวิธีต่างๆ

ผลการทดสอบหาการคงตัวของบรรยากาศในเวลากลางวัน จะเห็นว่า ค่า Monin-Obukhov length จากวิธีคำนวณ ( $L_{cal}$ ) ในทุกวิธี ทุกฤดู สอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก กล่าวคือ เวลากลางวันจะมีการคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบไม่คงตัว และแบบไม่คงตัวมาก แต่ในวิธีที่ 3 และ 6 ในฤดูฝนมีการคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบคงตัว ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการ แสดงดังภาพที่ 4.37

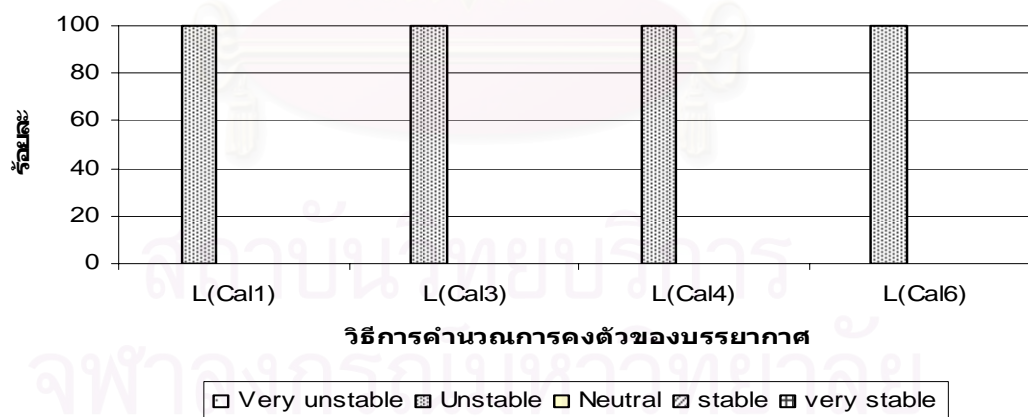
ผลการทดสอบหาการคงตัวของบรรยากาศในเวลากลางคืน จะเห็นว่า วิธีการหาค่า Monin-Obukhov length ในวิธีที่ 3 และ 6 ทุกฤดู มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน โดยฤดูฝน ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัว และแบบคงตัว มีความถี่พอๆ กัน ส่วนในฤดูหนาว มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบไม่คงตัวมาก ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการ และในฤดูร้อน มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบคงตัว ซึ่งสอดคล้องกับหลักการ แสดงดังภาพที่ 4.38



(ก)

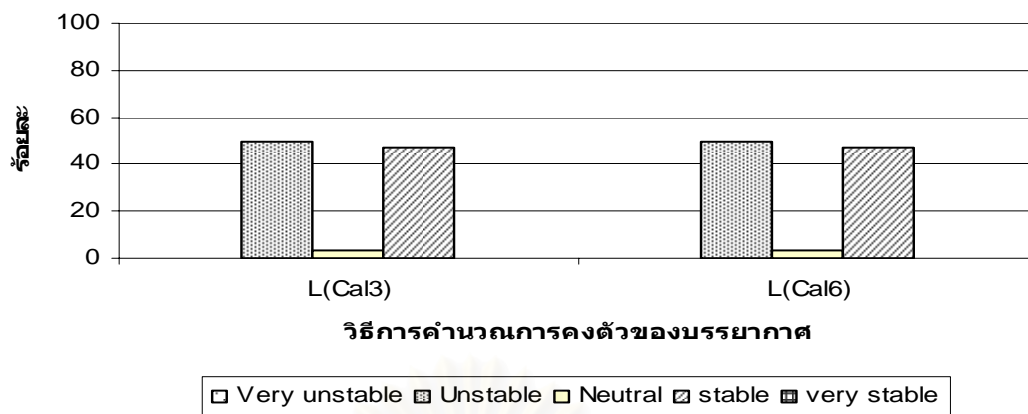


(ข)

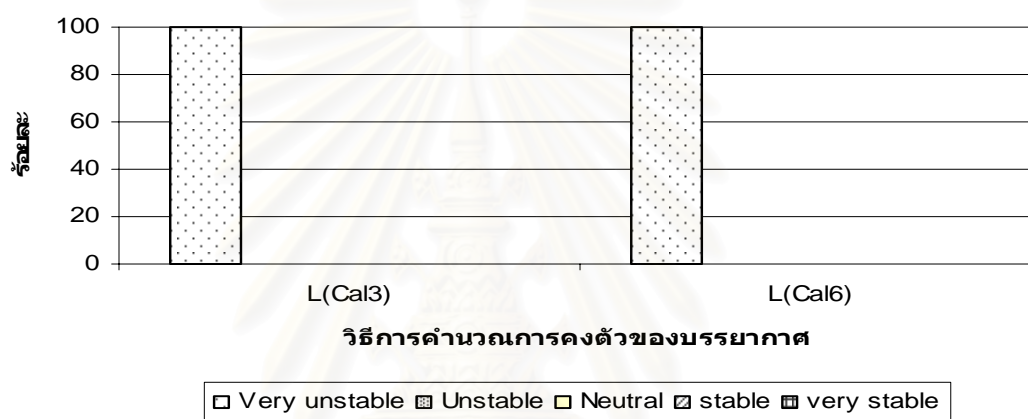


(ค)

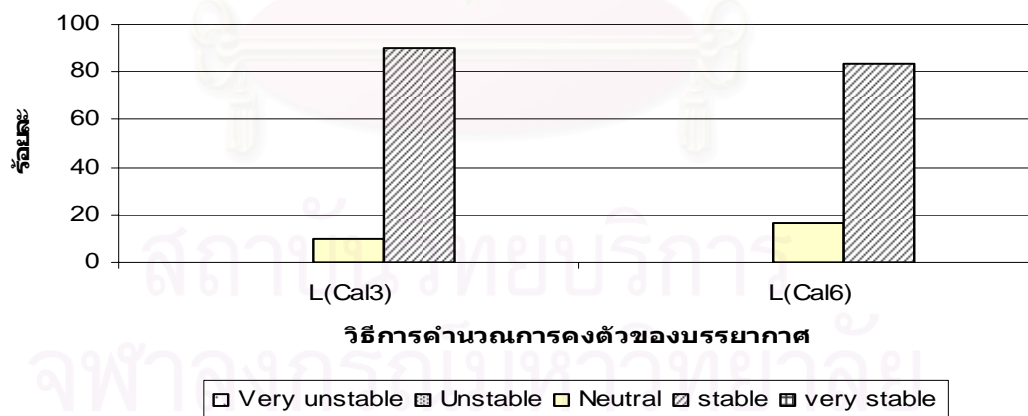
ภาพที่ 4.37 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.38 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 โดยแบ่งเป็นฤดูฝน (ก) หนาว (ข) และร้อน (ค) เวลากลางวัน

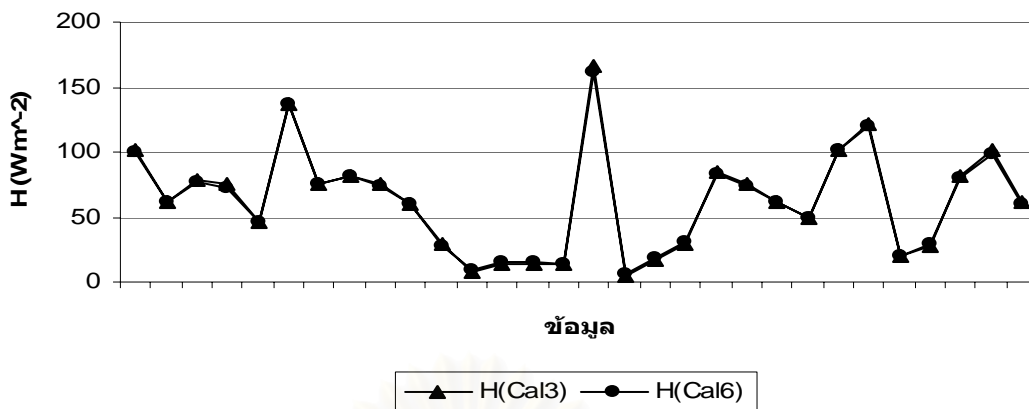


จากการศึกษาหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา โดยใช้สมการที่พัฒนาจากการเก็บภาคสนามบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบว่า ในเวลากลางคืน ฤดูฝนและหนาว วิธีที่ 5 เป็นวิธีที่เหมาะสมและเป็นไปตามหลักการ ส่วนฤดูร้อน วิธีที่ 6 เป็นวิธีที่เหมาะสมและเป็นไปได้ตามหลักการ ส่วนในเวลากลางวัน วิธีที่ 1 เป็นวิธีที่เหมาะสมและเป็นไปตามหลักการ เฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น ส่วนในเวลากลางวัน ฤดูหนาวและร้อน วิธีที่ 6 มีความเหมาะสมและเป็นไปตามหลักการ

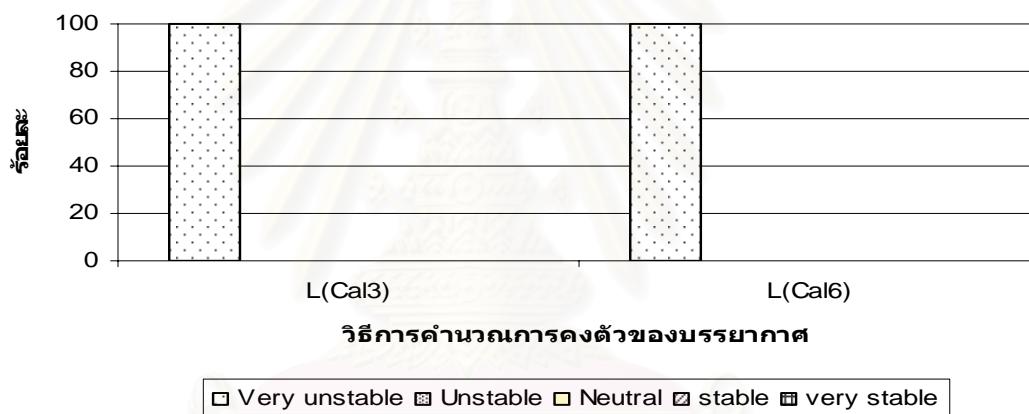
สำหรับการศึกษาหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ โดยใช้สมการที่พัฒนาจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบว่า เวลากลางวัน ในฤดูฝน วิธีที่ 4 เป็นวิธีที่เหมาะสมและสอดคล้องกับหลักการ ส่วนในฤดูหนาวและร้อน วิธีที่ 6 เป็นวิธีที่เหมาะสมและสอดคล้องกับหลักการ ส่วนเวลากลางคืน ในฤดูฝน และร้อน วิธีที่ 6 เป็นวิธีที่เหมาะสมและสอดคล้องกับหลักการ แต่ในฤดูหนาว ไม่มีวิธีที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยเลือกใช้สมการจากการเก็บตัวอย่างภาคสนามเฉพาะสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ เท่านั้น เพื่อหาวิธีการคำนวณที่เหมาะสมทั้งการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ สำหรับสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวนจากข้อมูลเฉพาะสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูหนาว เวลากลางคืน แสดงดังตารางที่ 4.32 และผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.39-4.40

ตารางที่ 4.32 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ และสัดส่วนโบเวน จากข้อมูลเฉพาะสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูหนาว เวลากลางคืน

พารามิเตอร์	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ	Adjusted R <sup>2</sup>
R <sub>n</sub>	$R_n = -187.417 + 0.768 R_g + 0.090 P - 0.040 RH + 1.762 T_{120} - 0.352 e_s + 5.336 N$	1.000
B	$B = 20.783 + 0.002 R_g - 0.015 P - 0.057 RH - 0.331 T_{120} + 0.079 e_s + 0.158 e_a - 0.014 N$	0.765



ภาพที่ 4.39 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 ในฤดูหนาว เวลากลางคืน



ภาพที่ 4.40 ความถี่ของการคงตัวของบรรยากาศโดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยวิธีคำนวณ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 ในฤดูหนาว เวลากลางคืน

จากภาพที่ 4.39 แม้จะใช้สมการถดถอยพหุคูณที่พัฒนาจากการหาความสัมพันธ์เฉพาะข้อมูลบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในฤดูหนาว เวลากลางคืน ก็พบลักษณะความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเช่นเดียวกับการใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณที่พัฒนาจากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ โดยวิธีสัดส่วนโบเวน ดังภาพที่ 4.36 (ข) กล่าวคือ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าสูงมาก สูงสุดถึง 165.71 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งไม่สอดคล้องตามหลักการ แต่ทั้งนี้เมื่อตรวจสอบกับการเก็บตัวอย่างภาคสนามโดยใช้ข้อมูลราย 5 นาที ก็พบว่า มีค่าสูงเช่นเดียวกัน โดยความร้อนที่ใช้

ในการเผาผลาญอากาศคำนวณ โดยวิธีสัดส่วนโบเวนซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -1.08 ถึง 53.60 ต่อตารางเมตรตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ย 15.20 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งแสดงว่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีค่าสูง จึงส่งผลต่อลักษณะการคงตัวของบรรยากาศเป็นแบบไม่คงตัว ดังภาพที่ 4.40 ดังนั้น วิธีการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศในวิธีที่ 3 และ 6 ที่พัฒนาจากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีความเป็นไปได้ แต่สำหรับสมการที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ต่อไป คือ สมการที่ 6 เนื่องจากเป็นสมการที่พัฒนามาจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณทั้งของรังสีสุทธิ และสัดส่วนโบเวน ซึ่งเป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในทุกสถานีตรวจอากาศ

#### 6) เสนอวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

จากการศึกษาหาสมการที่เหมาะสมเพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ จากการนำเอาข้อมูลดิบจากสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มาพิจารณาตามกระบวนการอะเดียแบติก และเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดดังตารางที่ 4.33 เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศต่อไป สามารถสรุปสมการที่เหมาะสมในการหารังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและค่า Monin-Obukhov length ซึ่งวิธีที่เหมาะสมในการหารังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวน ส่วนใหญ่ในทุกฤดู คือ วิธีที่คำนวณจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ แต่สำหรับการศึกษาวิธีที่เหมาะสมบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา พบว่า มีบางกรณีที่ไม่สามารถใช้วิธีดังกล่าว ได้แก่ ในฤดูฝน เวลากลางวัน วิธีที่เหมาะสมในการหารังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวน คือ วิธีที่ USEPA (1999) เสนอไว้ และในฤดูฝนและหนาว เวลากลางคืน วิธีที่เหมาะสมในการหาสัดส่วนโบเวน คือ วิธีที่ Wiesner (1970) เสนอไว้ แสดงดังตารางที่ 4.34

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.33 การเสนอวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ฤดู	เวลา	วิธีที่สอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก		วิธีที่เลือก
		ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ	การคงตัวของบรรยากาศ	
ฝน	กลางวัน	1, 4	1, 2, 5	1
	กลางคืน	2, 3, 5, 6	2, 5	5
หนาว	กลางวัน	1, 4, 3, 6	1, 2, 3, 4, 5, 6	6
	กลางคืน	2, 5	2, 5	5
ร้อน	กลางวัน	1, 4, 3, 6	1, 2, 3, 4, 5, 6	6
	กลางคืน	2, 3, 5, 6	2, 3, 5, 6	6

ตารางที่ 4.34 สมการที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ฤดู	เวลา	วิธีเหมาะสม	สมการ
ฝน	กลางวัน	1	$R_n = [(1-A) R_g + c_1 T^6 - \sigma_{SB} T^4 + c_2 N_f] / (1+c_3)$
			$B = 2.0$
ฝน	กลางคืน	5	$R_n = -55.043 + 0.721 R_g - 0.211 RH - 2.026 T_{120} + 1.333 e_s + 0.557 e_a + 5.260 N$
			$B = 0.0006 P (T_0 - T_{120}) / (e_s - e_a)$
หนาว	กลางวัน	6	$R_n = 343.778 + 0.774 R_g - 0.398 P - 0.060 RH - 0.967 T_{120} + 0.668 e_s + 5.096 N$
			$B = -17.343 + 0.018 P - 0.010 RH - 0.010 e_s + 0.023 e_a$
หนาว	กลางคืน	5	$R_n = -146.214 + 0.756 R_g + 0.101 P - 0.207 RH - 1.871 T_{120} + 1.060 e_s + 0.250 e_a + 5.239 N$
			$B = 0.0006 P (T_0 - T_{120}) / (e_s - e_a)$
ร้อน	กลางวัน	6	$R_n = 1698.504 + 0.772 R_g - 1.813 P - 0.087 RH + 6.261 T_{120} - 2.657 e_s + 0.400 e_a + 4.419 N$
			$B = -10.781 + 0.011 P + 0.005 e_s - 0.002 e_a$
ร้อน	กลางคืน	6	$R_n = 355.076 + 0.813 R_g - 0.412 P + 0.211 e_a + 4.564 N$
			$B = -9.956 + 0.002 R_g + 0.007 P + 0.235 T_{120} - 0.093 e_s - 0.002 e_a + 0.005 N$

7) เสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

จากการศึกษาหาสมการที่เหมาะสมเพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ จากสมการเส้นตรงพหุคูณ โดยนำเอาข้อมูลดิบจากสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มาพิจารณาตามกระบวนการอะเดียแบติก และเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดดังตารางที่ 4.35 สามารถสรุปสมการที่เหมาะสมในการหารังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวนซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและค่า Monin-Obukhov length ซึ่งพบว่า วิธีการคำนวณรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวนที่เหมาะสมทั้งในเวลากลางวันและกลางคืนส่วนใหญ่ คือ วิธีที่คำนวณจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ แต่วิธีการคำนวณรังสีสุทธิที่เหมาะสมในฤดูฝน เวลากลางวัน คือ วิธีที่ 4 ซึ่งรังสีสุทธิคำนวณได้จากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ ส่วนสัดส่วนโบเวนใช้ค่าคงที่ซึ่งเสนอโดย USEPA (1999) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.35 การเสนอวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ฤดู	เวลา	วิธีที่สอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก		วิธีที่เลือก
		ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ	การคงตัวของบรรยากาศ	
ฝน	กลางวัน	1, 4	1, 4	4
	กลางคืน	3, 6	3, 6	6
หนาว	กลางวัน	1, 3, 4, 6	1, 3, 4, 6	6
	กลางคืน	3, 6*	3, 6*	6
ร้อน	กลางวัน	1, 3, 4, 6	1, 3, 4, 6	6
	กลางคืน	3, 6	3, 6	6

หมายเหตุ: \* ได้ตรวจสอบกับการศึกษาสมดุลความร้อนและการคงตัวของบรรยากาศภาคสนามแล้ว

ตารางที่ 4.36 สมการที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ฤดู	เวลา	วิธีเหมาะสม	สมการ
ฝน	กลางวัน	4	$R_n = -80.467 + 0.732 R_g + 5.358 N + 0.524 e_s - 0.025 RH$
			$B = 2.0$
	กลางคืน	6	$R_n = -55.043 + 0.721 R_g - 0.211 RH - 2.026 T_{120} + 1.333 e_s + 0.557 e_a + 5.260 N$
			$B = 0.523 - 0.012 RH - 0.012 e_s + 0.030 e_a$
หนาว	กลางวัน	6	$R_n = 343.778 + 0.774 R_g - 0.398 P - 0.060 RH - 0.967 T_{120} + 0.668 e_s + 5.096 N$
			$B = -17.343 + 0.018 P - 0.010 RH - 0.010 e_s + 0.023 e_a$
	กลางคืน	6	$R_n = -146.214 + 0.756 R_g + 0.101 P - 0.207 RH - 1.871 T_{120} + 1.060 e_s + 0.250 e_a + 5.239 N$
			$B = -24.080 + 0.001 R_g + 0.023 P + 0.008 RH + 0.041 T_{120} - 0.050 e_a + 0.005 N$
ร้อน	กลางวัน	6	$R_n = 1698.504 + 0.772 R_g - 1.813 P - 0.087 RH + 6.261 T_{120} - 2.657 e_s + 0.400 e_a + 4.419 N$
			$B = -10.781 + 0.011 P + 0.005 e_s - 0.002 e_a$
	กลางคืน	6	$R_n = 355.076 + 0.813 R_g - 0.412 P + 0.211 e_a + 4.564 N$
			$B = -9.956 + 0.002 R_g + 0.007 P + 0.235 T_{120} - 0.093 e_s - 0.002 e_a + 0.005 N$

จากการศึกษาหาวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและการคงตัวของบรรยากาศ ทั้งบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบว่า ส่วนใหญ่สมการที่เหมาะสม คือ สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ ดังนั้นจึงควรศึกษาหาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศของพื้นที่กรุงเทพมหานครต่อไป

8) เสนอแนวทางการประยุกต์หาวิธีคำนวณที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ในการศึกษานี้ ได้ทำการนำข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มาคำนวณหารังสีสุทธิ สัดส่วนโบเวน และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ โดยแยกเป็นเวลากลางวัน และเวลากลางคืน ซึ่งใช้ข้อมูลทั้งหมดในเวลากลางวัน และเวลากลางคืน พารามิเตอร์ละ 343 และ 362 ข้อมูล ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.37-4.38 และภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.37 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

เวลา	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ	Adjusted R <sup>2</sup>
กลางวัน	$R_n = -598.315 + 0.747 R_g + 0.529 P - 0.353 RH + 0.421 T_{120} + 1.204 e_a + 3.499 N$	0.999
กลางคืน	$R_n = -57.080 + 0.745 R_g - 0.148 RH - 1.373 T_{120} + 1.014 e_s + 0.243 e_a + 5.092 N$	0.958

ตารางที่ 4.38 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวนของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

เวลา	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ	Adjusted R <sup>2</sup>
กลางวัน	$B = -12.241 + 0.012 P + 0.030 T_{120} - 0.011 e_s - 0.004 N$	0.218
กลางคืน	$B = -2.041 + 0.001 R_g + 0.002 P - 0.004 RH - 0.037 T_{120} + 0.019 e_s + 0.006 e_a + 0.014 N$	0.484

จากตารางที่ 4.37-4.38 แสดงสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวน โดยพบว่า Adjusted R<sup>2</sup> ของสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิมีค่าสูง ซึ่งคือ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามีอิทธิพลต่อรังสีสุทธิอย่างมาก ในขณะที่ Adjusted R<sup>2</sup> ของสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวนมีค่าไม่สูงมากนัก ซึ่งคือ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามีอิทธิพลต่อรังสีสุทธิไม่สูงมากนัก และเมื่อนำเอาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิและสัดส่วนโบเวนเพื่อหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ดังสมการที่ 2.21 จะได้สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศดังตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศของพื้นที่ กรุงเทพมหานคร

เวลา	สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ	Adjusted R <sup>2</sup>
กลางวัน	$H = -2405.142 + 0.143 R_g + 2.279 P + 6.917 T_{120} - 2.498 e_s + 0.116 e_a$	0.993
กลางคืน	$H = 207.197 - 0.544 R_g - 0.187 P + 0.522 RH + 1.480 T_{120} - 0.929 e_s - 0.770 e_a - 3.640 N$	0.973

จากตารางที่ 4.39 จะเห็นว่า สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมี Adjusted R<sup>2</sup> สูง กล่าวคือ สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลายตัว และข้อมูลอุตุวิทยามีอิทธิพลต่อความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศอย่างมาก

#### 9) ประยุกต์หาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศโดยคำนวณจากสมการที่เหมาะสม บริเวณสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ในการประยุกต์หาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ได้เลือกบริเวณสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นพื้นที่เขตเมืองอย่างชัดเจน โดยคำนวณจากสมการที่พัฒนาจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณในหัวข้อที่ 8) ดังตารางที่ 4.39 ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะประยุกต์ใช้สมการที่เหมาะสมเฉพาะเวลากลางวัน โดยใช้ข้อมูลราย 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงธันวาคม พ.ศ.2547 โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 3,909 ข้อมูล ซึ่งผลการศึกษาค้นคว้า พบว่า ความร้อนที่ได้จากการคำนวณอยู่ในช่วง -11.66 ถึง 146.02 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ย 64.47 วัตต์ต่อตารางเมตร และไม่ประยุกต์ใช้สมการที่เหมาะสมในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศในเวลากลางคืน เนื่องจากในเวลากลางคืนโดยเฉพาะเวลาพลบค่ำและเช้ามืดมีการเปลี่ยนแปลงสมดุลความร้อนอย่างมาก (Oke และคณะ, 1999) ในแบบจำลองทางอุตุวิทยาส่วนใหญ่จะให้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศเป็นค่าคงที่ -64 วัตต์ต่อตารางเมตร (USEPA, 1999)

#### 10) เปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม กับแบบจำลองทางอุตุวิทยา AERMET บริเวณสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

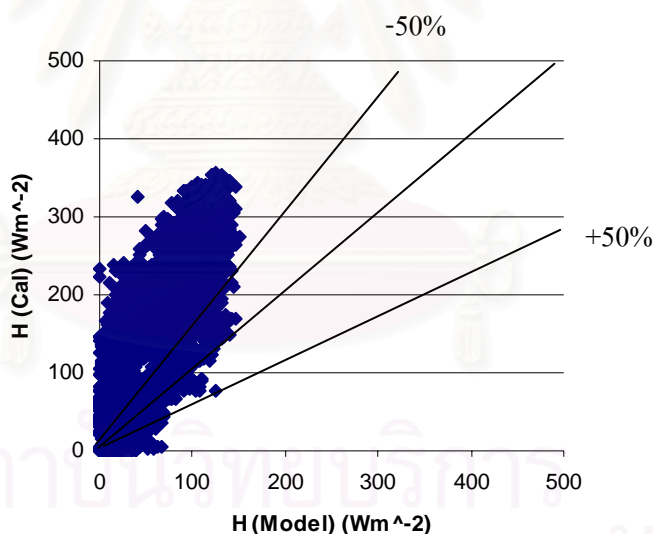
ในการเปรียบเทียบกับความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสมและแบบจำลองทางอุตุวิทยา AERMET พิจารณาจาก Factor of two ซึ่งเป็นการคำนวณถึงอัตราส่วนความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยได้ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการที่เหมาะสม ( $H_{cal}$ ) และค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางอุตุวิทยา AERMET ( $H_{model}$ ) ดังสมการที่ 4.2



$$\text{Factor of two} = H_{\text{cal}} / H_{\text{model}} \quad (4.2)$$

หากข้อมูลส่วนใหญ่ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการที่เหมาะสม และค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 2.0 แสดงว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยานั้นมีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัด การตรวจสอบความถูกต้องโดยวิธีของ Factor of two เป็นวิธีการคำนวณที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากว่าวิธีการคำนวณนี้จะไม่มีอิทธิพลของข้อมูลที่มีค่าสูงมากหรือต่ำมากเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (Chang และ Hanna, 2004)

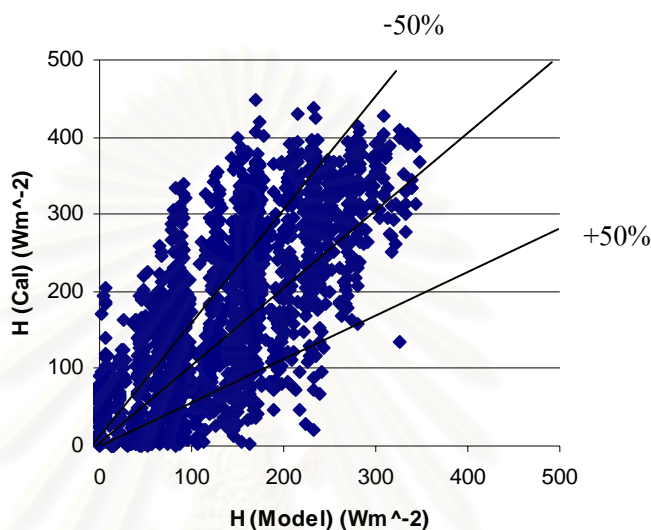
ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่คำนวณจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของพื้นที่กรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 4.39 กับแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา AERMET โดยพิจารณาจาก Factor of two เวลากลางวัน พบว่า ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันเกาะกลุ่มอยู่บนเส้นตรงที่ +50% และไม่กระจายออกจากเส้นมาก ส่วนเปอร์เซ็นต์ของ Factor of two มีค่าเพียง 33.38 เปอร์เซ็นต์ จึงแสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณนี้ ไม่เหมาะที่จะใช้ในการศึกษาได้ทุกแห่งในทุกฤดู ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาและฤดูกาล ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.41



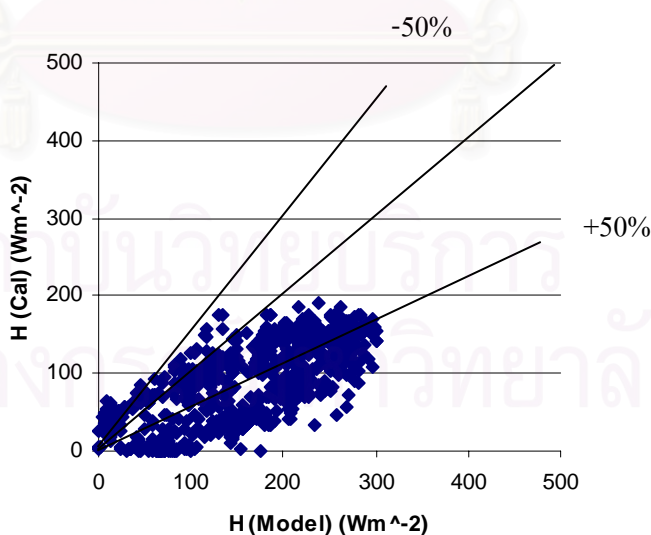
ภาพที่ 4.41 ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาและค่าที่คำนวณจากสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ เวลากลางวัน

จากการใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณที่พัฒนาจากการนำข้อมูลของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ทั้งเวลากลางวัน และเวลากลางคืน ทั้ง 3 ฤดู มาหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยา AERMET น้อย จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเลือกสมการที่

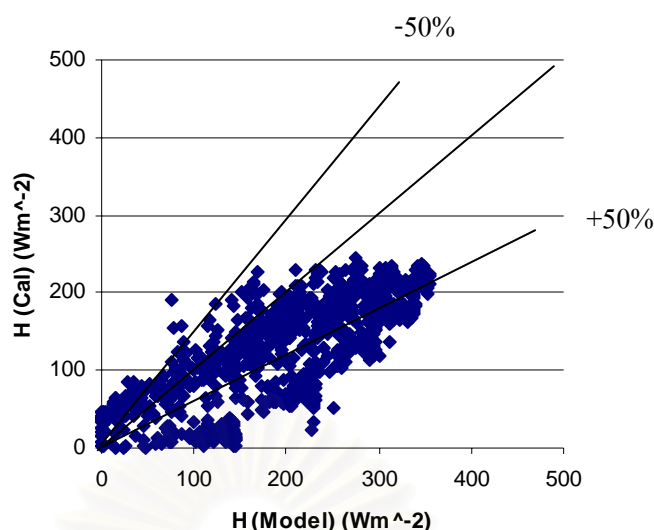
เหมาะสมของสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.36 มาทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของ Factor of two เนื่องจากสถานีดังกล่าวมีสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นสิ่งปลูกสร้างซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสิ่งปกคลุมดินบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทย์ฯ นครสวรรค์ โดยทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลในฤดูฝน หนาว และร้อน 1,236 475 และ 610 ข้อมูล ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 4.42-4.44



ภาพที่ 4.42 ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทย์ฯ และค่าที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม ในฤดูฝน เวลากลางวัน



ภาพที่ 4.43 ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทย์ฯ และค่าที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม ในฤดูหนาว เวลากลางวัน



ภาพที่ 4.44 ความสัมพันธ์ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางอุณหภูมิตามวิธีของ AERMET และค่าที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสม ในฤดูร้อน เวลากลางวัน

จากภาพที่ 4.42-4.44 จะเห็นว่า ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสมกับแบบจำลองทางอุณหภูมิตามวิธีของ AERMET โดยพิจารณาจาก Factor of two เวลากลางวัน ในฤดูฝน หนาว และร้อน พบว่า ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันเกาะกลุ่มอยู่บนเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์และไม่กระจายออกจากเส้นมาก และเปอร์เซ็นต์ของ Factor of two ในฤดูฝน หนาว และร้อน มีค่า 60.83 51.74 และ 63.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จึงแสดงให้เห็นว่าสมการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางอุณหภูมิตามวิธีของ AERMET

## บทที่ 5

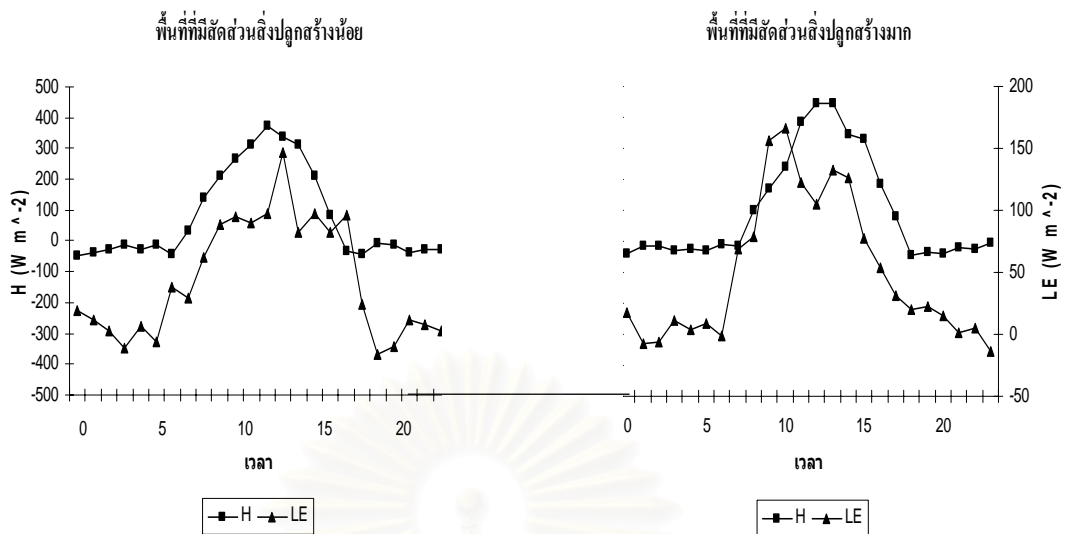
### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

##### 5.1.1 สมดุลความร้อน

1) ในการศึกษาสมดุลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินประเภทต่างๆ ในเขตเมือง โดยติดตั้งเครื่องมือห่างจากสิ่งรบกวนอย่างน้อย 10 เมตร พบว่า พื้นที่สีเขียวและพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้าง ในทุกฤดู ส่วนใหญ่เป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ส่วนในพื้นที่อาคารสูงในฤดูฝนและฤดูร้อนมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศใกล้เคียงกับความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ส่วนฤดูหนาวมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ในพื้นที่เขตเมืองในฤดูฝนและฤดูร้อนมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศสูงมาก ในขณะที่ฤดูหนาวมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ และในพื้นที่ถนนซึ่งในการศึกษาคั้งนี้ได้รับอิทธิพลจากคลองช่องนนทรีจึงทำให้มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ทุกฤดู สำหรับการศึกษสมดุลความร้อนประเภทต่างๆ นี้ สอดคล้องกับลักษณะของปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง

2) ผลการศึกษาสมดุลความร้อนโดยวิธี Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ในเวลากลางวันส่วนใหญ่จะมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และในเวลากลางคืน สมดุลความร้อนทุกประเภทมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก ในขณะที่สมดุลความร้อนโดยวิธีสัดส่วนโบเวน ในทุกฤดูมีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาคั้งนี้ได้ใช้อุณหภูมิตั้งที่ความสูง 2 ระดับ คือ ที่ความสูง 1.20 และ 0.00 เมตร ซึ่งมีระยะห่างที่น้อยมาก อุณหภูมิที่ระดับความสูงทั้ง 2 ระดับ มีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้สัดส่วนโบเวนมีค่าต่ำ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจึงมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ หากเปรียบเทียบสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินในบริเวณสถานีตรวจอากาศทั้งสองแห่ง พบว่า สถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างมากกว่าบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ลักษณะของสิ่งปลูกสร้างที่มีมากดังกล่าวส่งผลให้มีการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของความร้อนพื้นผิวมาก และมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมาก นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำน้อย ทำให้บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาในทุกฤดู ทั้งกลางวันและกลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง แสดงดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ บริเวณพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างมากและพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างน้อย

### 5.1.2 การคงตัวของบรรยากาศเนื่องจากสมดุลความร้อน

การศึกษาการคงตัวของบรรยากาศจากค่า Monin-Obukhov length โดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วน Eddy correlation บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนาและสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ พบว่า เวลากลางวัน มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นแบบไม่คงตัว และแบบไม่คงตัวมาก ขณะที่ในเวลากลางคืน มีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศแบบคงตัว และแบบคงตัวมาก สอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก ในขณะที่การคงตัวของบรรยากาศจากค่า Monin-Obukhov length โดยใช้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศจากวิธีสัดส่วนโบเวน ทั้งกลางวันและกลางคืนมีลักษณะการคงตัวของบรรยากาศหลายรูปแบบ โดยเฉพาะเวลากลางคืนที่ไม่สอดคล้องกับกระบวนการอะเดียแบติก

### 5.1.3 การพัฒนาความสัมพันธ์และเสนอแนวทางการประยุกต์หาสมดุลความร้อนโดยวิธีคำนวณ

1) สำหรับการพัฒนาความสัมพันธ์และทดสอบหาวิธีคำนวณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและค่า Monin-Obukhov length นั้น โดยทำการศึกษาหาสมการถดถอยแบบเส้นตรง พหุคูณของรังสีสุทธิ และสัดส่วน โบเวน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและค่า Monin-Obukhov length พบว่า สมการส่วนใหญ่เหมาะสมสำหรับการศึกษาสมดุลความร้อนของสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งได้ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศและค่า Monin-Obukhov length ที่มีความถูกต้องมากกว่าแบบจำลองทางอุณหภูมิตัวไปที่ใช้ค่าคงที่และสูตรที่พัฒนาจากต่างประเทศ

2) จากการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศที่คำนวณจากสมการที่เหมาะสมกับแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ AERMET บริเวณสถานีอุณหพลศาสตร์ขนส่งดอนเมืองพบว่า ในเวลากลางวัน สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณที่ได้จากการพัฒนาโดยรวมข้อมูลสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา และสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ 3 จุด ไม่เหมาะสำหรับการหาความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ เนื่องจากสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดิน และฤดูกาลมีผลต่อการหาสมมูลความร้อน ดังนั้น จึงควรเลือกใช้สมการที่มีสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา และควรเลือกใช้สมการที่พัฒนาในแต่ละฤดูด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้สมการที่พัฒนาบริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ซึ่งมีสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง คล้ายกับบริเวณสถานีอุณหพลศาสตร์ขนส่งดอนเมือง พบว่า มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ AERMET ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทุกฤดู ส่วนในเวลากลางคืน โดยเฉพาะเวลาเช้ามืดและพลบค่ำ สมมูลความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ส่วนใหญ่จะใช้ค่าคงที่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การเลือกพื้นที่ศึกษาสมมูลความร้อนในเขตเมือง ควรเลือกพื้นที่ที่มีลักษณะของเมืองอย่างโดดเด่น โดยเฉพาะพื้นที่คอนกรีต และยางมะตอย จำเป็นต้องห่างจากสิ่งรบกวน เช่น สระน้ำ บ่อน้ำ สนามหญ้า ตู้คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ และกองไฟ ควรเลือกพื้นที่ที่ห่างจากสิ่งกีดขวางลม และควรศึกษาในเขตเมืองในเวลากลางคืนด้วย

2) สำหรับการหาสมมูลความร้อนโดยวิธี Eddy correlation ที่มีการติดตั้งเครื่อง Ultrasonic anemometer ที่ความสูง 3 เมตรนั้น ไม่เหมาะที่จะใช้ศึกษาสมมูลความร้อนในพื้นที่ในเขตเมืองที่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนตัวของอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของอากาศในแกนตั้ง นอกจากนี้ เครื่องมือที่ใช้นี้ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที ซึ่งไม่เหมาะในการใช้ศึกษาหาค่าความแปรปรวน (Covariance) เนื่องจากภายในเวลา 5 นาที มีการเคลื่อนที่ของอากาศขึ้นลงตลอดเวลา ทำให้อากาศเกิดการปั่นป่วน แต่การศึกษาสมมูลความร้อนโดยวิธี Eddy correlation สอดคล้องกับการศึกษาสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่เปิดโล่ง ในขณะที่การศึกษาสมมูลความร้อนโดยวิธีสัดส่วนโบเวนนั้น จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 2 ระดับ ซึ่งจะไม่ได้รับอิทธิพลจากการปั่นป่วนของอากาศ ดังนั้น วิธีสัดส่วนโบเวนจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาสมมูลความร้อนในบริเวณเขตเมืองที่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของลม ดังนั้นจึงควรศึกษาหาความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องมือ Ultrasonic anemometer และความสูงที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างอุณหภูมิ สำหรับการหาสัดส่วนโบเวนในเขตเมือง

3) พื้นที่สีเขียวและพื้นที่สีเขียวที่ล้อมด้วยสิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่มีความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในทุกฤดู ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีน้อย อุณหภูมิอากาศจึงต่ำ จากการศึกษาดังกล่าวจึงควรเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยเฉพาะในพื้นที่สิ่งปลูกสร้างโดยการปลูกต้นไม้ใหญ่ พืชคลุมดิน และต้นไม้บนหลังคา ซึ่งต้นไม้จะใช้รากดูดน้ำและคายน้ำที่ใบ (สุนทร บุญญธิการ, 2542) ทั้งยังควรใช้ระบบสเปรย์น้ำหรือระบบน้ำหยด เพื่อเปลี่ยนรังสีสุทธิให้เป็นความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมากขึ้น ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลง แต่ในเขตเมืองซึ่งมีอุณหภูมิอากาศสูง ทำให้มวลอากาศลอยตัวขึ้น ในบริเวณนั้นจึงมีความกดอากาศต่ำ มวลอากาศเย็นที่มีความกดอากาศสูงกว่าจากบริเวณพื้นที่สีเขียวเคลื่อนเข้ามาแทนที่ จึงเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ ส่งผลให้มลพิษทางอากาศกระจายตัวได้ดี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรุงเทพมหานคร, สำนักผังเมือง. 2545. แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2545. กองสำรวจและแผนที่ สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร.
- กาญจน์เขจร ชูชีพ. 2543. การศึกษาสภาพเมืองและการประมาณหาอุณหภูมิพื้นผิวในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล. กรุงเทพมหานคร: สถาบันและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษม จันทร์แก้ว, ปรีชา คุรัตน์, สามัคคี บุญยะวัฒน์, บุญปลุก นาประกอบ และพงษ์ศักดิ์ ลาภอุดม เลิศ. 2517. ลักษณะอากาศใกล้ผิวดินของป่าดิบแล้งสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2514. รังสีดวงอาทิตย์ปีแรกของสถานีทดลองลุ่มน้ำห้วยคอกม้าและป่าดิบแล้งสะแกกราช. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2544. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 2542. สารศาสตร์สถาปัตยกรรมศาสตร์ฉบับที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐ พิษกรรม และเกษม จันทร์แก้ว. 2543. โครงการการศึกษาผลของพื้นที่สีเขียวที่มีต่อการลดอุณหภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- นิวัตี เรืองพานิช. 2542. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: รั้วเขียว.
- นิวัตี เรืองพานิช. 2547. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- พงศ์เทพ วิจารณ์เดชะ. 2546. โคมความร้อนในเขตเมือง. ใน ดนัย กล่าวแก้ว และดวงจันทร์ อาภาวัชรุตม์ (บรรณาธิการ), อาคารสูง ผลกระทบต่อสุขภาพ และอนาคตของเมืองเชียงใหม่, หน้า 36-44. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: เชียงใหม่โรงพิมพ์แสงศิลป์.
- มิ่งขวัญ เจริญประยูร. 2542. ความน่าจะเป็นและสถิติ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รังสรรค์ อาภาคัพทะกุล. 2547. อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รุจิราพรรณ รุ่งรอด. 2543. ลมฟ้าอากาศ. นครปฐม: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.



- วัชรวิทย์ แหวงวงษ์. 2542. การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกในบริเวณประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาฟิสิกส์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วิชา นิยม. 2535. อุทกวิทยาป่าไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. 2540. อุตุนิยมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ทิพย์วิสุทธิ์.
- ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2547. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 14. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สนอง สารพันธุ์. 2538. คำแนะนำการใช้รหัสอุตุนิยมวิทยาสากลสำหรับรายการตรวจอากาศผิวพื้นจากสถานีบนบก. กรุงเทพมหานคร: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สมพงษ์ ใจดี. 2540. ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรัตน์ บัวเลิศ. 2536. การประยุกต์เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ในวิธีเพนแมนดัดแปลงเพื่อการประมาณการคายระเหยน้ำสูงสุดบริเวณอำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรัตน์ บัวเลิศ. 2546. เอกสารประกอบคำสอน วิชา Fundamental of air pollution (230809). กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัดสำเนา)
- สุนทร บุญญธิการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสริม จันทร์ฉาย และจรุงแสง ลักษณะบุญส่ง. 2542. แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: จีรังซ์ซ์.
- เสริม จันทร์ฉาย. 2545. คู่มือการวัดรังสีดวงอาทิตย์. นครปฐม: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

#### ภาษาอังกฤษ

- Anandakumar, K. 1999. A study on the partition of net radiation into heat fluxes on a dry asphalt surface. Atmospheric Environment 33: 3911-3918.
- Arya, S. P. 2001. Introduction to micrometeorology. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic Press.
- Asaeda, T., Ca, V. T. and Wake, A. 1996. Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. Atmospheric Environment 30: 413-427.

- Boonjawat, J., Niitsu, K. and Kubo, S. 2000. Urban heat balance: Thermal pollution and climate change in Bangkok. Journal of Health Science 9: 49-55.
- Bualert, S. 2001. Development and application of an advanced Gaussian urban air quality model. Doctoral Dissertation. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Hertfordshire.
- Bualert, S., Sokhi, R. S. and Middleton, D. R. 2003. Gamma-Met : An evaluation of a meteorological pre-processor with datasets from Bangkok. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Urban Air Quality Measurement, Modelling and Management, pp 416-420. Czech Republic.
- Chang, J. C. and Hannan, S. R. 2004. Air quality model performance evaluation. Meteorology and Atmospheric Physics 87: 167-196.
- Cunningham, W. P., Cunningham, M. A. and Saigo, B. W. 2003. Environmental science: A global concern. 7<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- Ellis, N. L. and Middleton, D. R. 2000. Field measurements and modeling of urban meteorology in Birmingham, UK. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> AMS Symposium on Urban Environment, Davis, CA, pp 108-109. American Meteorological Society, Boston, MA.
- Giambelluca, T. W., Fox, J., Yarnasarn, S., Onibutr, P., and Nullet, M. A. 1999. Dry-season radiation balance of land covers replacing forest in northern Thailand. Agricultural and Forest Meteorology 95: 53-65.
- Griffiths, J. F. 1976. Applied climatology an introduction. 2<sup>nd</sup> ed. London: Oxford University Press.
- Hoyano, A., Iino, A., Ono, M. and Tanighchi, S. 1999. Analysis of influence of urban form and materials on sensible heat flux – a case study of Japan’s largest housing development “Tama New Town”. Atmospheric Environment 33: 3931-3939.
- Ichinose, T., Shimodozono, K. and Hanaki, K. 1999. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. Atmospheric Environment 33: 3897-3909.
- Komonveeraket, K. 1998. The effects of land cover on urban heat islands in Bangkok Metropolis. Master’s Thesis. Inter-Department of Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University.
- Lemke, K. A. 2003. Heat flux & the energy balance [Online]. Wisconsin: University of Wisconsin-Stevens Point, Department of Geography & Geology (Producer) Available from: [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/lemke/geog101/miscellaneous/heat\\_fluxes.html](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/lemke/geog101/miscellaneous/heat_fluxes.html) [2003, July 26]

- Lockwood, J. G. 1974. World climatology: An environmental approach. London: Edward Arnold.
- Masson, V., Grimmond, C. S. B. and Oke, T. R. 2002. Evaluation of the town energy balance (TEB) scheme with direct measurements from dry districts in two cities. Applied Meteorology 41: 1011-1026.
- Montague, T. and Kjelgren, R. 2004. Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange of four containerized tree species. Scientia Horticulturae 100: 229-249.
- Oke, T. R. 1978. Boundary layer climates. New York: John Wiley & Sons.
- Oke, T. R., Kalanda, B.D. and Steyn, D.G. 1981. Parameterization of heat storage in urban areas. Urban Ecology 5: 45-54.
- Oke, T. R., Spronken-Smith, R. A., Jauregui, E. and Grimmond, C. S. B. 1999. The energy balance of central Mexico City during the dry season. Atmospheric Environment 33: 3919-3930.
- Pichakum, N. and Chunkao, K. 2002. Relationship between green areas and air temperature in urban area: A case study using Kasetsart University (Bangkhen campus), Bangkok. Thai J. Agric. Sci. 35: 201-211.
- Piringer, M. et al. 2002. Investigating the surface energy balance in urban areas-recent advances and future needs. Water, Air and Soil Pollution 2:1-16.
- Sailor, D. J. and Fan, H. 2002. Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities. Atmospheric Environment 36: 713-725.
- Sailor, D. J. and Lu, L. 2004. A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. Atmospheric Environment 38: 2737-2748.
- Schnelle, K. B. and Dey, P. R. 2000. Atmospheric dispersion modeling compliance guide. New York: McGraw-Hill.
- Seinfeld, J. H. 1975. Air pollution: Physical and chemical fundamentals. New York: McGraw-Hill.
- Seinfeld, J. H. 1998. Atmospheric chemistry and physics. New York: John Wiley & Sons.
- Sellers, W. D. 1965. Physical climatology. Chicago: The University of Chicago Press.
- Stull, R. 2000. Meteorology for scientists and engineers. 2<sup>nd</sup> ed. Australia: Brooks/Cole.
- Tso, C. P. 1996. A survey of urban heat island studies in two tropical cities. Atmospheric Environment 30: 507-519.
- USEPA. 1999. PCRAMMET User's guide. Office of air quality planning and standards emission, monitoring and analysis division research, Triangle Park.
- Wiesner, C. J. 1970. Hydrometeorology. 1<sup>st</sup> ed. London: Chapman and Hall.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่าง  
วิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วน Bowen โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test  
บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ตารางที่ ก-1 ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่าง  
วิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วน Bowen โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจ  
อากาศเกษตรบางนา ในเวลากลางวัน

ฤดู	ตัวแปร	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2- tailed)
ฝน	H	Eddy correlation	54	47.080	185.333	25.221	0.000	0.073
		Bowen ratio	59	0.956	6.270	0.816		
	LE	Eddy correlation	55	170.547	169.078	22.798	0.754	0.101
		Bowen ratio	59	221.841	162.034	21.095		
หนาว	H	Eddy correlation	50	276.334	177.492	25.101	0.000	0.000
		Bowen ratio	51	29.051	38.149	5.342		
	LE	Eddy correlation	50	34.041	39.109	5.531	0.000	0.000
		Bowen ratio	51	277.619	168.654	23.616		
ร้อน	H	Eddy correlation	56	264.858	196.988	26.324	0.000	0.000
		Bowen ratio	52	16.415	24.162	3.351		
	LE	Eddy correlation	56	56.908	44.254	5.914	0.000	0.000
		Bowen ratio	52	290.469	202.380	28.065		

ตารางที่ ก-2 ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่างวิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วน Bowen โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในเวลากลางคืน

ฤดู	ตัวแปร	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	H	Eddy correlation	40	-4.789	75.193	11.889	0.000	0.680
		Bowen ratio	58	0.153	0.350	0.046		
	LE	Eddy correlation	40	-5.040	74.943	11.850	0.000	0.972
		Bowen ratio	58	-4.625	8.395	1.102		
หนาว	H	Eddy correlation	50	-44.758	32.447	4.589	0.000	0.000
		Bowen ratio	67	5.010	4.567	0.558		
	LE	Eddy correlation	50	6.779	29.974	4.239	0.002	0.000
		Bowen ratio	67	-42.446	14.986	1.831		
ร้อน	H	Eddy correlation	56	-21.932	27.958	3.736	0.000	0.000
		Bowen ratio	50	0.584	0.453	0.064		
	LE	Eddy correlation	56	-1.014	24.533	3.278	0.067	0.000
		Bowen ratio	50	-21.485	12.262	1.734		

ภาคผนวก ข

ผลการเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ระหว่าง  
วิธี Eddy correlation และวิธีสัดส่วน Bowen โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test  
บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของสมมูลความร้อน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ  
กรุงเทพฯ ในเวลากลางวัน

ฤดู	ตัวแปร	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2- tailed)
ฝน	H	Eddy correlation	55	277.291	233.801	31.526	0.000	0.000
		Bowen ratio	61	-1.919	9.176	1.175		
	LE	Eddy correlation	55	49.816	129.325	17.438	0.000	0.000
		Bowen ratio	61	343.349	223.970	28.676		
หนาว	H	Eddy correlation	45	247.983	152.864	22.788	0.000	0.000
		Bowen ratio	44	3.878	9.478	1.429		
	LE	Eddy correlation	45	38.849	44.904	6.694	0.000	0.000
		Bowen ratio	44	282.505	162.938	24.564		
ร้อน	H	Eddy correlation	35	192.399	200.223	33.844	0.000	0.000
		Bowen ratio	56	-1.811	17.952	2.399		
	LE	Eddy correlation	35	197.872	167.559	28.323	0.000	0.000
		Bowen ratio	56	385.034	237.162	31.692		

ตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของสมมูลความร้อน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ  
กรุงเทพฯ ในเวลากลางคืน

ฤดู	ตัวแปร	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2- tailed)
ฝน	H	Eddy correlation	49	-4.969	55.901	7.986	0.000	0.523
		Bowen ratio	54	0.168	0.489	0.066		
	LE	Eddy correlation	49	2.091	50.847	7.264	0.000	0.468
		Bowen ratio	54	-3.318	10.363	1.410		
หนาว	H	Eddy correlation	38	-51.014	32.322	5.243	0.000	0.000
		Bowen ratio	59	15.201	11.159	1.453		
	LE	Eddy correlation	38	9.174	28.331	4.596	0.178	0.000
		Bowen ratio	59	-57.139	19.373	2.522		
ร้อน	H	Eddy correlation	34	-22.308	36.043	6.181	0.000	0.001
		Bowen ratio	54	0.802	0.607	0.083		
	LE	Eddy correlation	34	5.657	36.401	6.243	0.000	0.000
		Bowen ratio	54	-21.259	11.759	1.600		



ภาคผนวก ค

ผลการเปรียบเทียบสมดุคความร้อนระหว่างวิธีตัดส่วนโบนและวิธีคำนวณจาก  
 สัดส่วนสมดุคความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของสมดุคความร้อน  
 บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบสมดุคความร้อนระหว่างวิธีตัดส่วนโบนและวิธีคำนวณจากสัดส่วนสมดุคความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของสมดุคความร้อน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางวัน

ฤดู	ตัวแปร	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	H	ตัดส่วน โบน	61	-1.919	9.175	1.175	0.009	0.944
		คำนวณ	61	-2.012	4.790	0.613		
	LE	ตัดส่วน โบน	61	343.349	223.970	28.676	0.829	0.533
		คำนวณ	61	369.029	229.427	29.375		
	X	ตัดส่วน โบน	61	8.394	4.285	0.549	0.000	0.000
		คำนวณ	61	-17.192	13.598	1.741		
หนาว	H	ตัดส่วน โบน	44	3.878	9.478	1.429	0.000	0.000
		คำนวณ	53	27.419	21.545	2.959		
	LE	ตัดส่วน โบน	44	282.505	162.938	24.564	0.682	0.521
		คำนวณ	53	261.653	155.471	21.356		
	X	ตัดส่วน โบน	44	8.866	7.559	1.140	0.000	0.055
		คำนวณ	53	6.348	4.415	0.606		
ร้อน	H	ตัดส่วน โบน	56	-1.811	17.952	2.399	0.092	0.000
		คำนวณ	56	20.722	25.707	3.435		
	LE	ตัดส่วน โบน	56	385.034	237.162	31.692	0.408	0.647
		คำนวณ	56	365.110	222.028	29.670		
	X	ตัดส่วน โบน	56	6.798	3.163	0.423	0.000	0.001
		คำนวณ	56	4.188	4.708	0.629		

ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบสมมูลความร้อนระหว่างวิธีสกัดส่วนโบนและวิธีคำนวณจากสกัดส่วนสมมูลความร้อนต่อรังสีสุทธิ โดยวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของสมมูลความร้อน บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางคืน

ฤดู	ตัวแปร	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	H	สกัดส่วนโบน	54	0.169	0.489	0.067	0.000	0.420
		คำนวณ	54	0.112	0.149	0.020		
	LE	สกัดส่วนโบน	54	-3.317	10.363	1.410	0.000	0.876
		คำนวณ	54	-3.084	3.425	0.466		
	X	สกัดส่วนโบน	54	-16.099	2.202	0.300	0.000	0.890
		คำนวณ	54	-16.276	9.148	1.245		
หนาว	H	สกัดส่วนโบน	59	15.201	11.159	1.453	0.000	0.000
		คำนวณ	67	5.291	2.355	0.288		
	LE	สกัดส่วนโบน	59	-57.139	19.373	2.522	0.001	0.000
		คำนวณ	67	-46.229	10.808	1.320		
	X	สกัดส่วนโบน	59	-3.764	4.285	0.558	0.501	0.106
		คำนวณ	67	-4.999	4.215	0.515		
ร้อน	H	สกัดส่วนโบน	54	0.803	0.607	0.083	0.077	0.225
		คำนวณ	54	0.930	0.471	0.064		
	LE	สกัดส่วนโบน	54	-21.259	11.759	1.600	0.029	0.000
		คำนวณ	54	-36.224	15.517	2.112		
	X	สกัดส่วนโบน	54	-7.236	2.228	0.303	0.000	0.000
		คำนวณ	54	7.602	5.067	0.690		

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของ Monin-Obukhov length

บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา

ตารางที่ ง-1 ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของ Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในเวลากลางวัน

ฤดู	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	Eddy correlation	54	720.074	6257.435	851.529	0.007	0.520
	Bowen ratio	59	21122.288	241961.601	31500.717		
หนาว	Eddy correlation	48	-1.583	17.727	2.559	0.027	0.578
	Bowen ratio	50	-89.549	1109.041	156.842		
ร้อน	Eddy correlation	56	-25.679	74.616	9.971	0.058	0.919
	Bowen ratio	59	847.729	64031.757	8336.225		

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของ Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเกษตรบางนา ในเวลากลางคืน

ฤดู	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	Eddy correlation	40	377.950	2152.547	340.348	0.028	0.891
	Bowen ratio	57	-42989.053	2387643.680	316251.131		
หนาว	Eddy correlation	50	3.960	21.748	3.076	0.000	0.003
	Bowen ratio	67	-134.002	361.671	44.185		
ร้อน	Eddy correlation	56	613.786	4568.986	610.556	0.028	0.233
	Bowen ratio	58	-10514.362	70216.305	9219.853		

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของ Monin-Obukhov length

บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ

ตารางที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของ Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางวัน

ฤดู	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	Eddy correlation	55	-45.236	136.297	18.378	0.000	0.124
	Bowen ratio	61	4287.230	21663.501	2773.727		
หนาว	Eddy correlation	44	-24.887	125.792	18.964	0.018	0.467
	Bowen ratio	44	291.620	2858.106	430.876		
ร้อน	Eddy correlation	35	9180.686	64308.465	10870.115	0.040	0.735
	Bowen ratio	56	18660.446	192237.223	25688.779		

ตารางที่ จ-2 ผลการวิเคราะห์สถิติ Unpaired t-test ของ Monin-Obukhov length บริเวณสถานีตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติกรุงเทพฯ ในเวลากลางคืน

ฤดู	วิธี	จำนวน	Mean	Std. Deviation	Std . Error Mean	Sig Levene's Test	Sig (2-tailed)
ฝน	Eddy correlation	48	-17.083	309.992	44.743	0.057	0.579
	Bowen ratio	54	-62294.611	775582.231	105543.373		
หนาว	Eddy correlation	48	-1.896	24.488	3.535	0.010	0.015
	Bowen ratio	59	-19.821	48.352	6.295		
ร้อน	Eddy correlation	33	551.667	9172.892	1596.796	0.089	0.472
	Bowen ratio	54	510759.685	4049473.169	551063.499		

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธี

ฤดูฝน เวลากลางวัน

ตารางที่ จ-1 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	1.000	1.000	1.000
R Square	1.000	1.000	1.000
Adjust R square	1.000	1.000	1.000
Standard error	0.481	0.484	0.479
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X6, X5, X13, X8, X7, X12	X5, X14, X12, X7	X14, X5, X8, X7, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ จ-2 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	5072937.877	7	724705.411	3138667.753	0.000
Residual	25.860	112	0.231		
Total	5072963.737	119			
Stepwise					
Regression	5072936.753	4	1268234.188	5404906.833	0.000
Residual	26.984	115	0.235		
Total	5072963.737	119			
Backward					
Regression	5072937.588	5	1014587.518	4423132.707	0.000
Residual	26.150	114	0.229		
Total	5072963.737	119			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ฌ-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธี ในฤดูฝน เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-80.467	1.066		-75.479	0.000
X5	0.732	0.000	1.005	2655.202	0.000
X14	5.358	0.031	0.045	171.467	0.000
X12	0.524	0.020	0.015	26.849	0.000
X7	-0.025	0.006	-0.002	-3.895	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### ฤดูฝน เวลากลางคืน

ตารางที่ ฌ-4 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.999	0.999	0.999
R Square	0.997	0.997	0.997
Adjust R square	0.997	0.997	0.997
Standard error	0.494	0.504	0.494
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X6, X5, X13, X8, X7, X12	X14, X5, X12	X14, X5, X13, X8, X7, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ฌ-5 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทททท 3 วัตท ในฤดูฝน เวลากลางคีน

วัตท	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	9272.260	7	1324.609	5424.989	0.000
Residual	25.393	104	0.244		
Total	9297.654	111			
Stepwise					
Regression	9270.203	3	3090.068	12157.438	0.000
Residual	27.450	108	0.254		
Total	9297.654	111			
Backward					
Regression	9272.029	6	1545.338	6332.072	0.000
Residual	25.625	105	0.244		
Total	9297.654	111			

หมายเหตุ: \*df คื degree of freedom \*\*Sig.F คื Significance level of F

ตารางที่ ฌ-6 ค่ำสัมประสทททของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุททท ในฤดูฝน เวลากลางคีน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-55.043	16.126		-3.413	0.001
X5	0.721	0.016	0.252	45.697	0.000
X7	-0.211	0.079	-0.239	-2.683	0.008
X8	-2.026	1.233	-0.321	-1.644	0.103
X12	1.333	0.500	0.459	2.667	0.009
X13	0.557	0.212	0.190	2.635	0.010
X14	5.260	0.029	1.002	178.592	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวัตท Backward

\*  $\beta$  คื unstandardized coefficient \*\* Beta คื standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คื significant level of t

**ฤดูหนาว เวลากลางวัน**

ตารางที่ ๗-7 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	1.000	1.000	1.000
R Square	1.000	1.000	1.000
Adjust R square	1.000	1.000	1.000
Standard error	2.706	2.725	2.704
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X12, X13, X5, X6, X7, X8	X5, X14, X12, X13	X14, X12, X5, X6, X7, X8

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ๗-8 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	3293202.110	7	470457.444	64247.252	0.000
Residual	710.293	97	7.323		
Total	3293912.403	104			
Stepwise					
Regression	3293169.676	4	823292.419	110847.150	0.000
Residual	742.728	100	7.427		
Total	3293912.403	104			
Backward					
Regression	3293195.840	6	548865.973	75065.075	0.000
Residual	716.563	98	7.312		
Total	3293912.403	104			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F



ตารางที่ ๙-9 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธี ในฤดูหนาว  
เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	343.778	281.546		1.221	0.225
X5	0.774	0.002	1.008	329.963	0.000
X6	-0.398	0.278	-0.005	-1.433	0.155
X7	-0.060	0.033	-0.005	-1.818	0.072
X8	-0.967	0.860	-0.019	-1.125	0.263
X12	0.668	0.399	0.030	1.676	0.097
X14	5.096	0.168	0.056	30.394	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### ฤดูหนาว เวลากลางคืน

ตารางที่ ๙-10 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.997	0.996	0.997
R Square	0.993	0.993	0.993
Adjust R square	0.993	0.993	0.993
Standard error	1.048	1.052	1.048
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X6, X5, X13, X8, X7, X12	X14, X5, X7, X12, X8	X14, X6, X5, X13, X8, X7, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ฌ-11 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทธิทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	19892.986	7	2841.855	2585.261	0.000
Residual	138.506	126	1.099		
Total	20031.492	133			
Stepwise					
Regression	19889.927	5	3977.985	3596.808	0.000
Residual	141.565	128	1.106		
Total	20031.492	133			
Backward					
Regression	19892.986	7	2841.855	2585.261	0.000
Residual	138.506	126	1.099		
Total	20031.492	133			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ฌ-12 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ ในฤดูหนาว เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-146.214	92.145		-1.587	0.115
X5	0.756	0.009	0.661	86.300	0.000
X6	0.101	0.090	0.011	1.128	0.261
X7	-0.207	0.065	-0.221	-3.187	0.002
X8	-1.871	0.664	-0.368	-2.819	0.006
X12	1.060	0.309	0.386	3.431	0.001
X13	0.250	0.231	0.065	1.084	0.280
X14	5.239	0.062	0.720	83.973	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Enter

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

**ฤดูร้อน เวลากลางวัน**

ตารางที่ ฌ-13 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	1.000	1.000	1.000
R Square	0.999	0.999	0.999
Adjust R square	0.999	0.999	0.999
Standard error	5.359	5.361	5.359
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X13, X5, X6, X7, X8, X12	X5, X14, X6, X13, X12, X8	X14, X13, X5, X6, X7, X8, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ฌ-14 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทธิทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	5881965.903	7	840280.843	29253.865	0.000
Residual	3102.166	108	28.724		
Total	5885068.068	115			
Stepwise					
Regression	5881935.443	6	980322.574	34110.420	0.000
Residual	3132.625	109	28.740		
Total	5885068.068	115			
Backward					
Regression	5881965.903	7	840280.843	29253.865	0.000
Residual	3102.166	108	28.724		
Total	5885068.068	115			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ฉ-15 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธี ในฤดูร้อน  
เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	1698.504	243.450		6.977	0.000
X5	0.772	0.003	1.017	273.900	0.000
X6	-1.813	0.248	-0.023	-7.307	0.000
X7	-0.087	0.085	-0.004	-1.030	0.305
X8	6.261	2.928	0.078	2.138	0.035
X12	-2.657	1.080	-0.090	-2.461	0.015
X13	0.400	0.154	0.011	2.592	0.011
X14	4.419	0.326	0.040	13.540	0.000

หมายเหตุ: เลื่อนจากวิธี Enter

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### ฤดูร้อน เวลากลางคืน

ตารางที่ ฉ-16 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธีทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.904	0.902	0.903
R Square	0.818	0.813	0.816
Adjust R square	0.806	0.808	0.809
Standard error	5.191	5.166	5.141
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X5, X13, X6, X7, X8, X12	X14, X5, X6	X14, X5, X13, X6

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient



## ภาคผนวก ข

### พัฒนาความสัมพันธ์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบริเวน

#### ฤดูฝน เวลากลางวัน

ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบริเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.584	0.575	0.574
R Square	0.341	0.331	0.329
Adjust R square	0.300	0.319	0.318
Standard error	0.023	0.023	0.023
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X6, X5, X13, X8, X7, X12	X5, X8	X5, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ข-2 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบริเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.031	7	0.004	8.273	0.000
Residual	0.059	112	0.001		
Total	0.090	119			
Stepwise					
Regression	0.030	2	0.015	28.925	0.000
Residual	0.060	117	0.001		
Total	0.090	119			
Backward					
Regression	0.029	2	0.015	28.705	0.000
Residual	0.060	117	0.001		
Total	0.090	119			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ข-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบริเวเน ในฤดูฝน  
เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	0.227	0.043		5.273	0.000
X5	0.000	0.000	0.951	7.597	0.000
X8	-0.009	0.001	-0.730	-5.833	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Stepwise

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### ฤดูฝน เวลากลางคืน

ตารางที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบริเวเน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.783	0.719	0.777
R Square	0.613	0.516	0.603
Adjust R square	0.554	0.498	0.579
Standard error	0.008	0.008	0.007
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X5, X13, X8, X6, X7, X12	X8, X12	X13, X7, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ข-5 ผล Analysis of variance ของสัดส่วน โบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูฝน เวลากลางคืน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.004	7	0.001	10.395	0.000
Residual	0.003	46	0.000		
Total	0.007	53			
Stepwise					
Regression	0.004	2	0.002	27.238	0.000
Residual	0.003	51	0.000		
Total	0.007	53			
Backward					
Regression	0.004	3	0.001	25.345	0.000
Residual	0.003	50	0.000		
Total	0.007	53			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ข-6 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วน โบเวน ในฤดูฝน เวลากลางคืน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	0.523	0.132		3.951	0.000
X7	-0.012	0.003	-6.654	-4.322	0.000
X12	-0.012	0.003	-3.085	-3.548	0.001
X13	0.030	0.007	4.678	4.230	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t



**ฤดูหนาว เวลากลางวัน**

ตารางที่ ช-7 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.532	0.489	0.528
R Square	0.283	0.239	0.279
Adjust R square	0.238	0.226	0.247
Standard error	0.115	0.116	0.114
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X8, X13, X5, X6, X7, X12	X6, X8	X13, X5, X6, X7, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ช-8 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.587	7	0.084	6.319	0.000
Residual	1.485	112	0.013		
Total	2.072	119			
Stepwise					
Regression	0.494	2	0.247	18.337	0.000
Residual	1.577	117	0.013		
Total	2.072	119			
Backward					
Regression	0.578	5	0.116	8.827	0.000
Residual	1.493	114	0.013		
Total	2.072	119			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ข-9 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วน โบเวน ในฤดูหนาว  
เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-17.343	6.963		-2.491	0.014
X5	0.000	0.000	0.186	1.382	0.170
X6	0.018	0.007	0.352	2.590	0.011
X7	-0.010	0.004	-1.144	-2.556	0.012
X12	-0.010	0.005	-0.571	-1.778	0.078
X13	0.023	0.010	0.670	2.426	0.017

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### ฤดูหนาว เวลากลางคืน

ตารางที่ ข-10 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วน โบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว  
เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.772	0.765	0.772
R Square	0.596	0.586	0.596
Adjust R square	0.573	0.569	0.576
Standard error	0.069	0.069	0.068
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X6, X5, X13, X8, X7, X12	X13, X14, X6, X12, X7	X14, X6, X5, X13, X8, X7

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ข-11 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบนว่น ทั้ง 3 วิธี ในฤดูหนาว เวลากลางคืน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.875	7	0.125	26.525	0.000
Residual	0.593	126	0.005		
Total	1.468	133			
Stepwise					
Regression	0.860	5	0.172	36.164	0.000
Residual	0.608	128	0.005		
Total	1.468	133			
Backward					
Regression	0.874	6	0.146	31.168	0.000
Residual	0.594	127	0.005		
Total	1.468	133			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ข-12 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบนว่น ในฤดูหนาว เวลากลางคืน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-24.080	6.002		-4.012	0.000
X5	0.001	0.001	0.094	1.612	0.109
X6	0.023	0.006	0.283	3.963	0.000
X7	0.008	0.004	1.034	2.017	0.046
X8	0.041	0.015	0.947	2.747	0.007
X13	-0.050	0.014	-1.500	-3.447	0.001
X14	0.005	0.004	0.081	1.234	0.219

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

**ฤดูร้อน เวลากลางวัน**

ตารางที่ ข-13 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.586	0.561	0.586
R Square	0.344	0.315	0.344
Adjust R square	0.302	0.303	0.321
Standard error	0.048	0.048	0.047
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X13, X5, X6, X7, X8, X12	X6, X8	X13, X5, X6, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ข-14 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.133	7	0.019	8.232	0.000
Residual	0.253	110	0.002		
Total	0.386	117			
Stepwise					
Regression	0.122	2	0.061	26.471	0.000
Residual	0.264	115	0.002		
Total	0.386	117			
Backward					
Regression	0.133	4	0.033	14.797	0.000
Residual	0.253	113	0.002		
Total	0.386	117			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ข-15 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน ในฤดูร้อน  
เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-10.781	1.798		-5.998	0.000
X5	0.000	0.000	-0.143	-1.179	0.241
X6	0.011	0.002	0.533	5.972	0.000
X12	0.005	0.001	0.618	4.709	0.000
X13	-0.002	0.001	-0.161	-1.882	0.062

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

### ฤดูร้อน เวลากลางคืน

ตารางที่ ข-16 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน  
เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.893	0.889	0.893
R Square	0.797	0.791	0.797
Adjust R square	0.785	0.783	0.787
Standard error	0.030	0.030	0.030
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X5, X13, X6, X7, X8, X12	X8, X12, X14, X6, X13	X14, X5, X13, X6, X8, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ข-17 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบเวน ทั้ง 3 วิธี ในฤดูร้อน เวลากลางคืน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.419	7	0.060	67.431	0.000
Residual	0.107	120	0.001		
Total	0.526	127			
Stepwise					
Regression	0.416	5	0.083	92.406	0.000
Residual	0.110	122	0.001		
Total	0.526	127			
Backward					
Regression	0.419	6	0.070	79.300	0.000
Residual	0.107	121	0.001		
Total	0.526	127			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ข-18 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบเวน ในฤดูร้อน เวลากลางคืน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	t	Sig. t***
(Constant)	-9.956	1.524		-6.534	0.000
X5	0.002	0.001	0.088	1.915	0.058
X6	0.007	0.002	0.267	4.297	0.000
X8	0.235	0.024	6.507	9.822	0.000
X12	-0.093	0.011	-5.720	-8.320	0.000
X13	-0.002	0.001	-0.121	-2.522	0.013
X14	0.005	0.001	0.185	4.380	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

## ภาคผนวก ข

### พัฒนาความสัมพันธ์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ สัตว์สวนโบเวน และ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

#### รังสีสุทธิ เวลากลางวัน

ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์หาสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.999	0.999	0.999
R Square	0.999	0.999	0.999
Adjust R square	0.999	0.999	0.999
Standard error	6.846	6.845	6.836
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X8, X13, X6, X5, X7, X12	X5, X14, X13, X7, X6	X14, X8, X13, X6, X5, X7

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ข-2 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทธิ ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	14555772.511	7	2079396.073	44367.204	0.000
Residual	15606.999	333	46.868		
Total	14571379.510	340			
Stepwise					
Regression	14555683.190	5	2911136.638	62131.172	0.000
Residual	15696.320	335	46.855		
Total	14571379.510	340			
Backward					
Regression	14555772.503	6	2425962.084	51917.151	0.000
Residual	15607.007	334	46.728		
Total	14571379.510	340			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ซ-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธี เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	-598.315	164.600		-3.635	0.000
X5	0.747	0.002	0.993	376.590	0.000
X6	0.529	0.161	0.007	3.282	0.001
X7	-0.353	0.085	-0.023	-4.131	0.000
X8	0.421	0.304	0.006	1.383	0.168
X13	1.204	0.163	0.034	7.390	0.000
X14	3.499	0.166	0.042	21.081	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### รังสีสุทธี เวลากลางคืน

ตารางที่ ซ-4 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธี ทั้ง 3 วิธี เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.979	0.979	0.979
R Square	0.959	0.959	0.959
Adjust R square	0.958	0.958	0.958
Standard error	3.211	3.221	3.208
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X5, X13, X6, X12, X7, X8	X14, X5, X12, X7	X14, X5, X13, X12, X7, X8

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient



ตารางที่ ๕-5 ผล Analysis of variance ของรังสีสุทธิ ทั้ง 3 วิธี เวลากลางคืน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	85128.480	7	12161.211	1179.531	0.000
Residual	3618.882	351	10.310		
Total	88747.362	358			
Stepwise					
Regression	85074.928	4	21268.732	2050.175	0.000
Residual	3672.433	354	10.374		
Total	88747.362	358			
Backward					
Regression	85124.379	6	14187.396	1378.412	0.000
Residual	3622.983	352	10.293		
Total	88747.362	358			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ๕-6 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของรังสีสุทธิ เวลากลางคืน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	-57.080	8.447		-6.758	0.000
X5	0.745	0.024	0.337	30.823	0.000
X7	-0.148	0.052	-0.105	-2.851	0.005
X8	-1.373	0.801	-0.249	-1.715	0.087
X12	1.014	0.390	0.367	2.597	0.010
X13	0.243	0.146	0.054	1.667	0.096
X14	5.092	0.073	0.856	70.175	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

สัดส่วนโบนเวลากลางวัน

ตารางที่ ซ-7 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบนเวลากลางวัน ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.481	0.459	0.479
R Square	0.231	0.210	0.230
Adjust R square	0.215	0.206	0.218
Standard error	0.079	0.079	0.079
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X8, X13, X6, X5, X7, X12	X6, X5	X14, X8, X6, X5, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ซ-8 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบนเวลากลางวัน ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	0.622	7	0.089	14.324	0.000
Residual	2.067	333	0.006		
Total	2.689	340			
Stepwise					
Regression	0.565	2	0.283	44.989	0.000
Residual	2.124	338	0.006		
Total	2.689	340			
Backward					
Regression	0.617	5	0.123	19.963	0.000
Residual	2.072	335	0.006		
Total	2.689	340			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ซ-9 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วน โบนัส เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	-12.241	1.883		-6.499	0.000
X5	0.000	0.000	0.160	2.216	0.027
X6	0.012	0.002	0.372	6.344	0.000
X8	0.030	0.013	1.058	2.264	0.024
X12	-0.011	0.005	-1.005	-2.107	0.036
X14	-0.004	0.002	-0.102	-1.946	0.052

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Backward

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

### สัดส่วนโบนัส เวลากลางวัน

ตารางที่ ซ-10 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วน โบนัส ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.703	0.697	0.703
R Square	0.494	0.486	0.494
Adjust R square	0.484	0.480	0.484
Standard error	0.067	0.067	0.067
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X5, X13, X6, X12, X7, X8	X14, X7, X13, X5	X14, X5, X13, X6, X12, X7, X8

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ซ-11 ผล Analysis of variance ของสัดส่วนโบนทั้งหมดทั้ง 3 วิธี เวลากลางคืน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	1.532	7	0.219	48.972	0.000
Residual	1.569	351	0.004		
Total	3.101	358			
Stepwise					
Regression	1.506	4	0.376	83.515	0.000
Residual	1.596	354	0.005		
Total	3.101	358			
Backward					
Regression	1.532	7	0.219	48.972	0.000
Residual	1.569	351	0.004		
Total	3.101	358			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ซ-12 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของสัดส่วนโบน เวลากลางคืน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	-2.041	2.179		-0.936	0.350
X5	0.001	0.001	0.068	1.753	0.080
X6	0.002	0.002	0.056	1.081	0.281
X7	-0.004	0.001	-0.531	-3.909	0.000
X8	-0.037	0.017	-1.138	-2.222	0.027
X12	0.019	0.008	1.182	2.334	0.020
X13	0.006	0.003	0.226	1.907	0.057
X14	0.014	0.002	0.409	9.044	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Enter

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ เวลากลางวัน

ตารางที่ ซ-13 ผลการวิเคราะห์สัมพรรคถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.997	0.997	0.997
R Square	0.993	0.993	0.993
Adjust R square	0.993	0.993	0.993
Standard error	3.481	3.473	3.473
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X8, X13, X6, X5, X7, X12	X5, X6, X8, X12, X13	X8, X13, X6, X5, X12

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ซ-14 ผล Analysis of variance ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ทั้ง 3 วิธี เวลากลางวัน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	593241.407	7	84748.772	6993.650	0.000
Residual	4035.281	333	12.118		
Total	597276.687	340			
Stepwise					
Regression	593236.692	5	118647.338	9838.343	0.000
Residual	4039.995	335	12.060		
Total	597276.687	340			
Backward					
Regression	593236.692	5	118647.338	9838.343	0.000
Residual	4039.995	335	12.060		
Total	597276.687	340			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ซ-15 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญ  
อากาศ เวลากลางวัน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	-2405.142	80.519		-29.871	0.000
X5	0.143	0.001	0.938	138.190	0.000
X6	2.279	0.079	0.153	28.890	0.000
X8	6.917	0.602	0.511	11.493	0.000
X12	-2.498	0.244	-0.467	-10.244	0.000
X13	0.116	0.034	0.016	3.442	0.001

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Stepwise

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient    \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

#### ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ เวลากลางคืน

ตารางที่ ซ-16 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ทั้ง 3  
วิธี เวลากลางคืน

	วิธี		
	Enter	Stepwise	Backward
Multiple R*	0.987	0.987	0.987
R Square	0.974	0.974	0.974
Adjust R square	0.973	0.973	0.973
Standard error	2.160	2.160	2.160
ตัวแปรที่คัดเลือก	X14, X5, X13, X6, X12, X7, X8	X14, X12, X5, X7, X13, X8, X6	X14, X5, X13, X6, X12, X7, X8

หมายเหตุ: \* Multiple R คือ Multiple correlation coefficient

ตารางที่ ซ-17 ผล Analysis of variance ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ทั้ง 3 วิธี เวลากลางคืน

วิธี	Sum of square	df*	Mean square	F	Sig. F**
Enter					
Regression	60259.597	7	8608.514	1844.916	0.000
Residual	1637.792	351	4.666		
Total	61897.389	358			
Stepwise					
Regression	60259.597	7	8608.514	1844.916	0.000
Residual	1637.792	351	4.666		
Total	61897.389	358			
Backward					
Regression	60259.597	7	8608.514	1844.916	0.000
Residual	1637.792	351	4.666		
Total	61897.389	358			

หมายเหตุ: \*df คือ degree of freedom \*\*Sig.F คือ Significance level of F

ตารางที่ ซ-18 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ เวลากลางคืน

ตัวแปร	$\beta^*$	Std. Err.	Beta**	T	Sig. t***
(Constant)	207.197	70.411		2.943	0.003
X5	-0.544	0.016	-0.295	-33.415	0.000
X6	-0.187	0.069	-0.032	-2.722	0.007
X7	0.522	0.036	0.445	14.333	0.000
X8	1.480	0.540	0.321	2.741	0.006
X12	-0.929	0.267	-0.403	-3.483	0.001
X13	-0.770	0.102	-0.204	-7.540	0.000
X14	-3.640	0.051	-0.733	-70.777	0.000

หมายเหตุ: เลือกจากวิธี Enter

\*  $\beta$  คือ unstandardized coefficient \*\* Beta คือ standardized coefficient

\*\*\* Sig. t คือ significant level of t

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจเร เศรษฐสกุล เกิดเมื่อวันที่ 20 กันยายน พ.ศ.2524 ที่อยู่ปัจจุบัน 37 ถนนอนามัย ตำบลท่าราบ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี เข้ารับการศึกษาที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย