



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง บทบาทของความร้อนน้ำระเหยและความร้อนในการเผาผลาญอากาศ
ต่อการกำหนดเขตการออกแบบและการวางผังเมือง

Role of Latent Heat Flux and Sensible Heat Flux in Urban Zoning,
Design and Planning

นามผู้วิจัย นายอลงกรณ์ อินทรักษา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรัตน์บัวเลิศ, Ph.D.)

กรรมการ

(ศาสตราจารย์เกษม จันทน์แก้ว, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วศิน อิงคพัฒนากุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

บทบาทของความร้อนน้ำระเหย และความร้อนในการแผ่ผลลาญอากาศ
ต่อการกำหนดเขตการออกแบบ และการวางผังเมือง

Role of Latent Heat Flux and Sensible Heat Flux in Urban Zoning,
Design and Planning.

โดย

นายอลงกรณ์ อินทรักษา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

อลงกรณ์ อินทรักษา 2557: บทบาทของความร้อนน้ำระเหย และความร้อนในการ
เผาผลาญอากาศต่อการกำหนดเขตการออกแบบ และการวางผังเมือง
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาชานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. 96 หน้า

พลังงานความร้อนที่สะสมอยู่บนผิวโลก ที่เป็นตัวกำหนดการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของอุณหภูมิ
อากาศ ประกอบไปด้วยความร้อนที่สำคัญ 2 ประเภท ได้แก่ความร้อนน้ำระเหย (latent heat; LE)
และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible heat; H) ซึ่งมีความสัมพันธ์และเป็นสัดส่วน
แบบผกผันต่อกัน คือ เมื่อพื้นที่ใดๆ มีค่าความร้อนน้ำระเหยสูงกว่าค่าความร้อนที่ใช้ในการเผา
ผลาญอากาศ พื้นที่นั้นจะมีอุณหภูมิต่ำ และเมื่อพื้นที่ใดๆ มีค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ
สูงกว่าค่าความร้อนน้ำระเหยแล้วพื้นที่นั้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเสมอ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของพื้นที่สีเขียวเพื่อหาสมดุลพลังงานความร้อน
ในการช่วยลดความร้อนที่เกิดจากวัสดุประเภทซีเมนต์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในกรุงเทพมหานคร
และเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความร้อนในเขตเมืองมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น โดยศึกษาพลังงานความร้อน
จากการจำแนกสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียวในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ พื้นที่ประเภทที่ 1
พื้นที่ซีเมนต์ 100% ต่อพื้นที่สีเขียว 0% ประเภทที่ 2 พื้นที่ซีเมนต์ 75% ต่อพื้นที่สีเขียว 25%
ประเภทที่ 3 พื้นที่ซีเมนต์ 50% ต่อพื้นที่สีเขียว 50% ประเภทที่ 4 พื้นที่ซีเมนต์ 25% ต่อพื้นที่สีเขียว 75%
และประเภทที่ 5 พื้นที่ซีเมนต์ 0% ต่อพื้นที่สีเขียว 100% โดยใช้เครื่องมือ Ultrasonic Anemometer
เพื่อหาค่าสัดส่วนความร้อนด้วยวิธีการอัตราส่วนโบเวน ร่วมกับการใช้เครื่องมือ Net Radiometer
หาค่าสมดุลรังสี (net radiation) ในเดือนมีนาคม และเมษายน ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย

จากการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ซีเมนต์
50% ต่อพื้นที่สีเขียว 50% และพื้นที่ซีเมนต์ 25% ต่อพื้นที่สีเขียว 75% หรือควรมีพื้นที่สีเขียวคิดเป็น
ร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 75 ของพื้นที่ทั้งหมด และมีอัตราส่วนโบเวนอยู่ระหว่าง 2.6 – 3.2

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Alongkorn Intaraksa 2014: Role of Latent Heat Flux and Sensible Heat Flux in Urban Zoning, Design and Planning. Doctor of Philosophy (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Surat Bualert, Ph.D. 96 pages.

Heat energy stored within the earth that determines to change of ambient air temperature, it can be categorized into two types, the latent heat flux (LE) and the sensible heat flux (H). Both of them have related inverse in each type, when the latent heat flux is increasing, the sensible heat flux will always decrease. And when the sensible heat flux is decreasing, the latent heat flux will always increase too.

This research applies the capability of green area to find energy balance and reduce the heat caused by cement materials in Bangkok city. The research studies heat energy in different ratios of cement area to green area, i.e., 100% cement area to 0% green area (type 1 area), 75% cement area to 25% green area (type 2 area), 50% cement area to 50% green area (type 3 area), 25% cement area to 75% green area (type 4 area) and 0% cement area to 100% green area (type 5 area). An Ultrasonic Anemometer is used to calculate the heat energy ratio based on Bowen Ratio methodology together with a Net Radiometer to find the net radiation and collecting data in March to April 2014, which was the summer of Thailand.

The result of this study reveals that the most suitable ground area ratio are 50% cement area to 50% green area and 25% cement area to 75% green area or in the Bangkok city should have green area 50 up to 75% of the total of Bangkok area. And the suitable point of Bowen ratio is 2.6 – 3.2.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณ ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นล้นพ้นที่ได้พระราชทานทุนการศึกษาวิจัยเรื่อง “บทบาทความร้อนน้ำระเหย และความร้อนในการเผาผลาญอากาศ ต่อการกำหนดขอบเขต การออกแบบ และการวางผังเมือง” ผ่านโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จนสำเร็จการศึกษา ข้าพระพุทธเจ้าขอเทิดทูนไว้เหนือเกล้าเหนือกระหม่อมตลอดไป

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว รองศาสตราจารย์วศิน อิงค์พัฒนากุล กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์บงกชรัตน์ ปิติยนต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สมนิตร์ พุกงาม ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาในการศึกษาค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการศึกษาวิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณแม่วรมน อินทร์รักษา และครอบครัวอินทร์รักษาที่ได้อบรม และให้กำลังใจผู้วิจัยในทุกเรื่อง

อลงกรณ์ อินทร์รักษา

มิถุนายน 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	90
สรุป	90
ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	93
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาคาบ 30 ปี พ.ศ. 2524 - 2553 ของ กรุงเทพมหานคร	8
2	สัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ต่อพื้นที่สีเขียว ในพื้นที่ศึกษา	32
3	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษาช่วงกลางวันเวลา 07.00-18.00 น.	36
4	จำนวนประชากรกรุงเทพมหานครเปรียบเทียบกับจำนวนบ้านเรือน (หลัง) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 – 2555 รวมทั้งสิ้น 17 ปี	39
5	อุณหภูมิสูงสุดรายปี (extreme high temperature) ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2494 -2556 รวม 62 ปี ของกรุงเทพมหานคร	44
6	สมดุลงังสีของกรุงเทพมหานคร ในวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ.2557	46
7	อุณหภูมิ ในพื้นที่ศึกษา	48
8	ปริมาณความร้อนน้ำที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible heat : H) ในช่วงเวลา 07.00 – 18.00 น. ของพื้นที่ศึกษา	54
9	ปริมาณความร้อนน้ำระเหย (latent heat : LE) ตามช่วงเวลา และตาม ลักษณะพื้นที่ศึกษา	56
10	ความร้อนน้ำระเหย (LE) ความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และ รังสีสุทธิ (R_n) ของพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%)	59
11	อัตราส่วนโอบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%)ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	63
12	อัตราส่วนโอบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%)ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	66
13	อัตราส่วนโอบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%)ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	69
14	อัตราส่วนโอบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C75%G25%) ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	อัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	75
16	อัตราส่วนโบเวนของแต่ละพื้นที่ ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	80
17	อัตราส่วนโบเวนตามช่วงเวลา ในพื้นที่ศึกษา	85
18	การเปรียบเทียบอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ประเภทต่างๆ	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย	24
2	การกำหนดสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว	25
3	เครื่องมือUltrasonic Anemometer (IRGASON 3D Sonic Anemometer), เครื่องมือควบคุม (Controller; EC-100) และอุปกรณ์ บันทึกข้อมูล (Data Logger; CR-3000)	27
4	เครื่องมือ Net Radiometer (NR-01) สำหรับเก็บข้อมูลรังสีสุทธิ (net radiation)	27
5	การติดตั้งเครื่องมือ Ultrasonic Anemometer (IRGASON),Net Radiometer(NR - 01)และอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการศึกษา	28
6	วิธีเก็บข้อมูลของเครื่องมือ Ultrasonic Anemometer (IRGASON)	29
7	วิธีการเก็บข้อมูลของเครื่องมือ Net Radiometer (NR - 01)	29
8	อุณหภูมิตาม 30 ปี ของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2504-2533	31
9	การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR - 01ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% ต่อพื้นที่สีเขียว 0%(C100% G0%) บริเวณลานจอดรถ หน้าคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	33
10	การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR - 01ในพื้นที่ซีเมนต์ 75% ต่อพื้นที่สีเขียว 25%(C75% G25%) บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง	33
11	การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR -01ในพื้นที่ซีเมนต์ 50% ต่อพื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศดอนเมือง	34
12	การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR - 01ในพื้นที่ซีเมนต์ 25% ต่อพื้นที่สีเขียว 75% (C50% G50%) บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR-01 ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% ต่อพื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) บริเวณสนามฟุตบอล (สนามอินทรีย์จันทร์สถิตย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	35
14	การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ที่อยู่อาศัย และความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิ	40
15	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุด ในช่วงเวลา 62 ปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2494 - 2556 ของกรุงเทพมหานคร	42
16	การศึกษารังสีสุทธิ (net radiation) บริเวณสนามฟุตบอล (สนามอินทรีย์จันทร์สถิตย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	46
17	สมดุลรังสีบริเวณพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.	47
18	อุณหภูมิราย 6 ชั่วโมง ของพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลาก่อนและหลังเที่ยงวัน	50
19	อุณหภูมิ ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น. ของพื้นที่ศึกษา	52
20	ค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (H) ตามลักษณะพื้นที่ศึกษา	55
21	ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ตามลักษณะพื้นที่ศึกษา	57
22	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญ อากาศ (H)	60
23	ความสัมพันธ์ของความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และความร้อน น้ำระเหย (LE) จากปริมาณรังสีสุทธิ (R_n)	61
24	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้ เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 100%พื้นที่สีเขียว 0%(C100%G0%)	64
25	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้ เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25%(C75%G25%)	67

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหยและความร้อนที่ใช้ เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 50% และพื้นที่ สีเขียว 50% (C50%G50%)	70
27	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้ เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 25% และพื้นที่ สีเขียว 75% (C25%G75%)	73
28	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้ เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 0% และพื้นที่ สีเขียว 100%(C0%G100%)	76
29	อัตราส่วนโบเวน ในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ เวลา 07.00 – 18.00 น. ของพื้นที่ศึกษา	86

บทบาทของความร้อนน้ำระเหย และความร้อนในการเผาผลาญอากาศ ต่อการกำหนดเขตการออกแบบ และการวางผังเมือง

Role of Latent Heat Flux and Sensible Heat Flux in Urban Zoning, Design and Planning

คำนำ

ผลของอุณหภูมิอากาศทำให้ความร้อนในเมืองเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องโดยมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปจากในอดีตอย่างมากปัญหาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆ นั้นเกือบทั้งหมดมีสาเหตุมาจากการประกอบกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ โดยเฉพาะกิจกรรมการนำทรัพยากรธรรมชาติ (natural resource) มาใช้ประโยชน์ในการแปรเปลี่ยนเป็นวัสดุติดที่ เป็นจุดเริ่มต้นสำคัญของกระบวนการผลิตสินค้า และการบริการในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งผลจากกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่อยู่บนผิวโลก หรือที่เราเรียกกันว่า "สภาวะโลกร้อน" (global warming) ทำให้มนุษย์ต้องมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่อาศัยในสภาวะแวดล้อมที่ร้อนขึ้นในปัจจุบันให้ได้ เป็นที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน คือ รูปแบบ และแนวทางการสร้างอาคารที่พักอาศัยของมนุษย์ที่มีการปรับเปลี่ยนไปจากในอดีตอย่างสิ้นเชิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปแบบอาคารที่อยู่อาศัยมีการขยายตัวอย่างไร้ทิศทาง และมีการกระจุกตัวของอาคารที่อยู่อาศัยในพื้นที่บริเวณใกล้แหล่งน้ำและใกล้พื้นที่สีเขียวมากยิ่งขึ้นซึ่งทิศทางการเพิ่มขึ้นของอาคารที่พักอาศัยนั้น ยังมีแนวโน้มเติบโตขึ้นแนวดิ่ง (Vertical) มากยิ่งขึ้น และมีแนวโน้มว่าการก่อสร้างอาคารสูงในแนวดิ่งนั้นมีการจะขยายตัวเพิ่มมากขึ้นในเขตเมือง และยังมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในเขตเส้นทางการบริการขนส่งสาธารณะทางบก อาทิ เส้นทางรถไฟฟ้า เป็นต้น

ปัญหาสิ่งแวดล้อมต่างๆ เหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากการพัฒนาเศรษฐกิจในทุกๆ ระดับทั้งในระดับมหภาค และระดับจุลภาค การก่อสร้างอาคารและสถานที่ประกอบกิจกรรมต่างๆ มีการพัฒนารูปแบบของการใช้วัสดุอย่างต่อเนืองจากในอดีตวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างส่วนใหญ่ใช้ไม่เป็นวัสดุหลักที่ช่วยในการก่อสร้างบ้านเรือนที่พอกอาศัย ปัจจุบันมีการพัฒนาการใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ มาใช้ในการก่อสร้างที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ โครงสร้างทางสาธารณูปโภค สาธารณูปการมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้าง ถนนต่างๆ ซึ่งมนุษย์เองมิได้มีการตระหนักถึงปัญหาที่จะเกิดตามมาที่มีผลกระทบต่อชีวิตมนุษย์โดยตรงในชีวิตประจำวัน ความร้อนที่ได้รับ

จากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งส่วนหนึ่งสะท้อนกลับไปยังชั้นบรรยากาศ และความร้อนอีกส่วนหนึ่งถูกสะสมไว้บนวัตถุบนผิวโลก ซึ่งวัตถุบนผิวโลกแต่ละประเภทก็จะมีคุณสมบัติในการสะสมความร้อน (heat capacity) และการคายความร้อนที่มีความแตกต่างกัน ความร้อนที่สะสมบนผิวโลกนี้จะเป็นผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรงคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัย

การวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในโลกนี้โดยอาศัยพื้นฐานจากหลักการสมดุลรังสี สมดุลพลังงาน และรังสีสุทธิ เพื่อหาสัดส่วนพื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อการอยู่อาศัยของมนุษย์ ร่วมการศึกษาสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และอุตุนิยมวิทยาพื้นถิ่น ในเขตร้อนชื้นของประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ การกำหนดเขต การวางผังเมืองที่เหมาะสม และสามารถเป็นต้นแบบสำหรับการวางผังเมืองสำหรับภูมิภาคเขตร้อนชื้นและนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นได้ โดยอาศัยองค์ความรู้ด้านการใช้ชีงจากธรรมชาติ และพื้นที่สีเขียวในการลดความร้อน ร่วมกับศึกษาปริมาณความร้อนที่เกิดจากรังสีคลื่นยาวและรังสีคลื่นสั้นที่มีอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นรังสีที่รับจากดวงอาทิตย์ที่ส่องแสงลงมาบนพื้นโลกโดยตรง

แนวทางในการศึกษา และการเก็บข้อมูลเรื่องปริมาณความร้อนในพื้นที่เมือง เนื่องจากพื้นที่เมืองส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย อาคารหลากหลายประเภทที่ก่อสร้างจากวัสดุประเภทซีเมนต์มากกว่าการเป็นวัสดุก่อสร้างในพื้นที่ชนบท หรือพื้นที่กึ่งชนบท ทำให้พื้นที่เมืองมีอุณหภูมิและความร้อนสูงกว่าพื้นที่ชนบท หรือพื้นที่ประเภทอื่นๆ แตกต่างกันอย่างมาจากการเก็บข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพมหานครนั้นในรอบ 62 ปี (พ.ศ.2494 – 2556) พบว่าอุณหภูมิอากาศในระดับความสูงไม่เกิน 100 เมตรจากระดับพื้นดิน จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศซึ่งร้อนขึ้นกว่าเดิมถึง 3.8 องศาเซลเซียสซึ่งโดยอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นปีละ 0.06 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรอบ 62 ปี เท่ากับ 38.6 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากการสะสมพลังงานความร้อนในวัสดุประเภทซีเมนต์ ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นนั่นเองจึงทำให้ปริมาณความร้อนที่อยู่ในระดับที่มนุษย์อยู่อาศัยนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องดังนี้จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการศึกษาเรื่องความร้อน และหาวิธีการแก้ไขปัญหความร้อนที่เกิดขึ้นในเขตเมืองครั้งนี้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพลังงานความร้อน ด้วยค่าความร้อนน้ำระเหย และค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ จากวิธีการสมมูลรังสีในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ซีเมนต์ ต่อพื้นที่สีเขียวที่ปกคลุมดินประเภทต่างๆ โดยวิธีอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
3. เพื่อศึกษาสมมูลความร้อนของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่เมือง ในการกำหนดเขตความเหมาะสมในการออกแบบการวางผังเมืองที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์

การตรวจเอกสาร

เขตความสบาย

ตรึงใจ (2539) กล่าวไว้ว่า เขตความสบายของมนุษย์ หรือ comfort zone มีผลมาจาก ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม 4 ประการ คือ อุณหภูมิของอากาศ การเคลื่อนไหวของลม ความชื้น และการแผ่รังสี นอกจากนี้ยังรวมทั้งกิจกรรมและการสวมใส่เสื้อผ้าของมนุษย์อีกด้วย

อุณหภูมิของอากาศ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อความเป็นอยู่อย่างสุขสบายของผู้พักอาศัย ซึ่งมีผลกระทบต่อร่างกายและจิตใจของมนุษย์อย่างมาก ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าในห้องที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ นอกจากร่างกายไม่มีความสุขสบายแล้ว ยังทำให้จิตใจเรามีความหงุดหงิดอึดอัด และเกิดอารมณ์เสียได้ง่ายอีกด้วย จากการค้นคว้าทดลองของนักจิตวิทยาพบว่า “ห้องทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ คือ มีอากาศเย็นกว่าธรรมดาเล็กน้อย คนสามารถจะทำงานได้ดี และกระฉับกระเฉงมากกว่าในห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ”

Givoni (1969) ได้ศึกษาถึง ความชื้นหรือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญถัดมาจากอุณหภูมิของอากาศ ปริมาณน้ำในอากาศไม่สามารถทำให้อุณหภูมิเราสูงหรือต่ำลงได้โดยตรง แต่สามารถทำให้เราเกิดความรู้สึกร้อนหรือเย็นได้ จากเหงื่อที่ไหลออกมา หากอากาศมีปริมาณน้ำมาก เหงื่อก็จะไม่สามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เรามีความรู้สึกอึดอัดรำคาญ จนกระทั่งมีลมมาช่วยเร่งการระเหยของเหงื่อ ทำให้เรารู้สึกเย็นสบายขึ้น ส่วนในเขตร้อนแห้ง เหงื่อจากร่างกายจะไม่ค่อยปรากฏเพราะจะระเหยออกอย่างรวดเร็ว

ดังนั้นเพื่อให้การออกแบบที่อยู่อาศัยของคนเราสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เราจำเป็นต้องเข้าใจถึงสภาพความสบาย และพื้นฐานของการสร้างความร้อนในร่างกายคนเราด้วย ร่างกายเราสร้างความร้อน และขับความร้อนอย่างไร่อมมีส่วนในการนำมาพิจารณาเกี่ยวกับการออกแบบทำความร้อน และความเย็น โดยวิธีการควบคุมอุณหภูมิอยู่ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 พยายามควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้อยู่ในเขตความสบาย

วิธีที่ 2 การสร้างเขตความสบายให้เข้ากับสภาพร่างกาย

สมสิทธิ์ (2541) ได้ศึกษาถึงสภาวะน่าสบายไว้ โดยผลการศึกษาวิจัยพบว่า อุณหภูมิที่พอเหมาะพอสบายในเส้นศูนย์สูตร อยู่ระหว่าง 71.5 – 85 องศาฟาเรนไฮต์ (22.0 - 29.5 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ระหว่าง 20 – 50% ซึ่งจะต้องมีสภาพแวดล้อมอื่นๆ เข้ามาร่วมด้วยอีกมาก ข้อมูลแรกได้จากวิธีการหาค่าของความน่าสบายเนื่องด้วยการออกแบบภายในอาคาร โดยวิธีของ Victor Olgyay's System ซึ่งค่าของสภาวะน่าสบายจะเลื่อนขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ต่อทุกๆ การเพิ่มค่าขึ้น 8 องศาฟาเรนไฮต์ของตำแหน่งเส้นรุ้ง (latitude) ซึ่งเรียกว่า bioclimatic chart รวมข้อมูลของความต้องการกันแดด การแผ่รังสีความร้อน กระแสลมและความชื้นในอากาศ เป็นองค์ประกอบสำคัญ

สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบของสภาพแวดล้อม เพื่อปรับปรุงให้เกิดความเหมาะสมกับการอยู่อาศัยของมนุษย์โดยใช้ปัจจัยธรรมชาติที่มีอยู่ อันได้แก่ การลดพื้นที่ซีเมนต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความร้อน (heat) ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหากยังมีการนำวัสดุประเภทซีเมนต์ มาใช้เป็นวัสดุดิบในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณความร้อนสะสมมีมากขึ้นไปด้วยร่วมพิจารณาการใช้ประโยชน์โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว เพื่อลดปรากฏการณ์ความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมือง ซึ่งพื้นที่เมืองเป็นพื้นที่ที่มีการเจริญเติบโตของอาคารและสิ่งก่อสร้าง (Built up area) โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีการเติบโตของอาคารสูงอย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์โดมความร้อน (UHI : Urban heat island) ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างความสมดุลพื้นที่ (Balance of land-use) สมดุลของอากาศและสัดส่วนของพื้นที่ที่เหมาะสมของพื้นที่ซีเมนต์ ต่อพื้นที่สีเขียวเพื่อให้มีสัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์อย่างยั่งยืน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น และลมฟ้าอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

อุณหภูมิ

สารานุกรมเสรี วิกีพีเดีย (2555) ได้ให้ความหมายของคำว่าอุณหภูมิ ไว้ว่า การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ของอนุภาค ในสสารใดๆ ซึ่งสอดคล้องกับความร้อน หรือความเย็นของสสารนั้น

วีระพล (2533) กล่าวว่า อุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงจากพื้นดิน ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้ง หรือ lapse rates หรือ vertical temperature gradient

ก็คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งของบรรยากาศ โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของอากาศจะลดลงเฉลี่ยประมาณ 3.8 องศาฟาเรนไฮต์ ต่อความสูงขึ้นไป 1,000 ฟุต และบริเวณของชั้นอากาศที่อยู่เหนือระดับพื้นดินจะมีความผันแปรของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งมาก โดยปกติแล้วพื้นโลกจะสะท้อนพลังงานความร้อนกลับไปยังชั้นบรรยากาศโดยอัตราคงที่ ซึ่งจะสัมพันธ์กับ absolute temperature รังสีจากดวงอาทิตย์สู่พื้นโลกในเวลากลางคืนจะน้อยกว่าอัตราความร้อนที่ผิวของวัตถุสะท้อนออกไป จึงทำให้อุณหภูมิจากผิวโลก และอุณหภูมิอากาศที่อยู่ติดกับผิวโลกเย็นลง การเย็นลงของอุณหภูมิกว้างๆ ผิวโลกนี้บางครั้งจะทำให้เกิดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศต่อความสูง ซึ่งเรียกว่า temperature inversion ซึ่งจะเกิดในชั้นบรรยากาศที่อยู่ถัดจากผิวโลกขึ้นไป

ในเวลากลางวันอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งของมวลอากาศจะมาก ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากผิวโลกจะเพิ่มสูงขึ้นค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในเวลากลางวันจะทำลายการสะท้อนรังสีกลับของโลกซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในตอนบ่าย ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งของมวลอากาศที่อยู่ในชั้นล่างใกล้ผิวโลกจะมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุด dry-adiabatic lapse rate ประมาณ 5.4 องศาฟาเรนไฮต์โดยลดลงต่อความสูงเพิ่มขึ้น 1,000 ฟุต (หรือเท่ากับ 1 องศาเซลเซียสต่อความสูง 100 เมตร) อัตราดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งของมวลอากาศ

หากมวลอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำลอยตัวสูงขึ้น อุณหภูมิของมวลอากาศจะเย็นลง ไอน้ำบางส่วนจะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ แล้วคายความร้อนแฝงออกมาเพิ่มให้กับมวลอากาศ ความร้อนแฝงดังกล่าวจะลดอัตราการเย็นลงของมวลอากาศเมื่อลอยตัวสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของมวลอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำหรือเรียกว่า saturated-adiabatic lapse rate จะน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของมวลอากาศแห้ง อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่นนี้จะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับจำนวนไอน้ำหรืออุณหภูมิของมวลอากาศ ค่าเฉลี่ยสำหรับบรรยากาศชั้นล่างซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอุณหภูมิต่ำมวลอากาศจะมีไอน้ำน้อย อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งจะไม่แตกต่างจากอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของมวลอากาศแห้งมากนัก

ความชื้น หรือปริมาณไอน้ำ

วีระยุทธ (2533) ได้อธิบายกระบวนการของการเกิดความชื้นไว้ว่า กระบวนการหรือกรรมวิธีที่ของเหลว หรือน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ เรียกว่า การกลายเป็นไอ หรือการระเหย (evaporation) การที่น้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำนั้นขึ้นอยู่กับ kinetic energy ของโมเลกุลของน้ำว่ามากกว่าแรงดึงดูดของอนุภาคของน้ำที่รวมตัวกันเป็นน้ำหรือไม่ หากมากกว่าการเปลี่ยนสถานะจะเกิดขึ้น เหตุที่อุณหภูมิสูงๆ น้ำจะกลายเป็นไอน้ำได้เร็วขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น kinetic energy จะเพิ่มมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันแรงดึงผิว (surface tension) จะลดลงโดยปกติแล้วไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะระเหยมาจากน้ำที่มีสถานะเป็นของเหลวทั้งนั้น แต่ก็บางส่วนที่ได้มาจากหิมะ หรือน้ำแข็ง โดยวิธีการที่เรียกว่า ระเหิด (sublimation) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่สารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอ โดยไม่ต้องผ่านเป็นของเหลวมาก่อน

กรรมวิธีที่ไอน้ำเปลี่ยนสถานะมาเป็นของเหลวหรือของแข็งเรียกว่า การกลั่นตัว (condensation) เมื่อมวลอากาศแห้งถูกลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ ภายใต้อุณหภูมิที่คงที่ที่จะถึงจุดหนึ่งที่มวลอากาศแห้งจะกลายเป็นมวลอากาศชื้น คือ อิ่มตัวด้วยไอน้ำ อุณหภูมิจุดนี้เรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) หรืออุณหภูมิอิ่มตัว (saturation temperature) นั่นคือ อุณหภูมิของมวลอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ก็คือ อุณหภูมิที่จุดน้ำค้างของมวลอากาศนั้น หากมวลอากาศถูกลดอุณหภูมิลงถึงจุดน้ำค้างไอน้ำมวลอากาศจะเริ่มกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ

Latent heat of evaporation (LE) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่หนึ่งหน่วยมวลสารดูดเข้าไปในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยปราศจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ ในทางตรงกันข้ามเมื่อหนึ่งหน่วยมวลสารเปลี่ยนสถานะจากไอกลับมาเป็นของเหลวก็จะปล่อยปริมาณความร้อนออกมาด้วยในจำนวนเท่าๆ กัน โดยที่อุณหภูมิของมวลสารจะไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณความร้อนดังกล่าว คือ “latent heat of condensation”

ลมฟ้าอากาศของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครนอกจากเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย และยังเป็นเมืองศูนย์กลางทางด้านการปกครอง การพาณิชย์กรรม และการท่องเที่ยวอีกด้วย กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 5 และ 21 องศาเหนือ เส้นแวงที่ 97 และ 106 องศาตะวันออก มีลักษณะทาง

อุตุนิยมวิทยาท้องถิ่น หรือบรรยากาศจุลภาค (micro climate) คือ เป็นเขตที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (tropical humid zone) โดยมีลักษณะเด่นของพื้นที่ เป็นพื้นที่ราบดินตะกอนมีลักษณะเป็นพื้นที่ดินตะกอนน้ำพารูปพัด หรือ alluvial fan พื้นที่กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ทางทิศเหนือของทะเลอ่าวไทย จึงทำให้มีลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่คือ สภาพอากาศมีความชื้นสูงเนื่องจากได้รับอิทธิพลของกระแสลมตะวันตกเฉียงใต้ และได้รับความชื้นมาจากทะเลอ่าวไทยโดยตรงซึ่งจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของ กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดกรุงเทพมหานครหมายเลข 48455 (Bangkok Station; index station 48455) ตั้งอยู่ที่เส้นรุ้ง 13 และ 43 องศาเหนือ เส้นแวง 100 และ 33 องศาตะวันออก กรุงเทพมหานครนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.6 องศาเซลเซียสต่อปี อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 39.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 24.9 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 30 ปี พ.ศ. 2523 - 2553 มีความชื้นในอากาศอยู่ในระดับสูงมากโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เฉลี่ยเท่ากับ 73% และมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 2.9 น็อต (Knot) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา คานบ 30 ปี พ.ศ. 2524 - 2553 ของกรุงเทพมหานคร

ข้อมูล	เดือน												
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
อุณหภูมิ (°C)													
เฉลี่ย	27.0	28.3	29.5	30.5	29.9	29.5	29.0	28.8	28.3	28.1	17.8	26.5	28.6
สูงสุด	37.6	38.8	38.1	39.7	39.7	37.9	37.9	37.0	37.2	37.9	38.8	36.7	39.7
ต่ำสุด	13.9	13.9	15.7	21.9	22.3	21.1	22.1	21.6	21.5	18.3	15.8	12.0	12.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)													
เฉลี่ย	68	72	72	72	75	75	75	76	79	78	70	66	73
การระเหยน้ำ (มิลลิเมตร)													
เฉลี่ย	128.7	135.4	171.7	173.7	159.7	143.0	143.3	141.2	121.3	115.5	118.9	125.1	1,678.5
ความเร็วลม (น็อต)													
เฉลี่ย	2.2	3.5	4.2	3.7	3.1	3.3	3.2	3.2	2.2	1.8	2.1	2.1	2.9
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)													
เฉลี่ย	13.3	20.0	42.1	91.4	247.7	157.1	175.1	219.3	334.3	292.1	49.5	6.3	1,648.2

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2556)

เทอร์โมไดนามิกส์

เทอร์โมไดนามิกส์ เป็นแขนงวิชาที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่างๆ ของระบบที่สภาวะสมดุล ความสัมพันธ์ และกฎหลักมักจะเขียนขึ้นโดยสรุปจากผลการทดลองหรือประสบการณ์ต่างๆ อาศัยสมการหลักเหล่านี้ และความรู้ทางคณิตศาสตร์ระดับไม่สูงนัก เราจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ ของระบบได้อีกมากมาย (สุรพงษ์, 2527)

โดยสุรพงษ์ (2527) ยังได้ให้ความหมายของคำว่า “สภาวะสมดุล” ไว้หมายถึง สภาวะซึ่งสมบัติต่างๆ ที่เป็นสมบัติเฉลี่ยของโมเลกุลของสารที่วัดได้โดยการทดลอง เช่น ความดัน, อุณหภูมิ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา เทอร์โมไดนามิกส์ จึงไม่เกี่ยวข้องกับอัตราความเร็ว สมบัติเทอร์โมไดนามิกส์จะขึ้นอยู่กับสภาวะเริ่มต้น กับสภาวะสุดท้ายเท่านั้น จึงไม่เกี่ยวกับกลไกของการเกิดขบวนการต่างๆ กฎเกณฑ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์นี้เป็นกฎเกณฑ์ทั่วไป และใช้ได้กับระบบต่างๆ รวมทั้งระบบในสิ่งมีชีวิตอีกด้วย

ความสัมพันธ์ของความร้อน และอุณหภูมิตอร์โมไดนามิกส์ (heat and thermodynamic temperature) โดยที่ความร้อนเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งที่อยู่ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่างกัน การถ่ายเทจะเกิดขึ้นจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ถ้าหากระบบ และสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิเท่ากันก็จะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบ และสิ่งแวดล้อม (สุรพงษ์, 2527)

การส่งถ่ายความร้อน โดยการเคลื่อนที่ สามารถทำได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำ การพา และการแผ่รังสีดังที่ OZISIK (1985) ได้อธิบายไว้ ดังนี้

“Conduction is the mode of heat transfer in which energy exchange takes place from the region of high temperature to that of low temperature by the kinetic motion or direction impact of molecules, as in the case of fluid at rest, and by the drift of electrons, as in the case of metals.”

“Convection: When fluid flows over a solid body or inside a channel while temperatures of the fluid and the solid surface are different, heat transfer between the fluid and the solid surface takes place as consequence of the motion of fluid relative to the surface, this mechanism of heat transfer is called convection.”

“Radiation: All body continuously emits energy because of their temperature, and the energy thus emitted is called thermal radiation.”

Yunas and Afshin (2011) ได้อธิบายถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อน (heat transfer mechanisms) ไว้ว่า กระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งความร้อนเป็นรูปแบบของพลังงานอย่างหนึ่งที่สามารถถ่ายเทจากระบบหนึ่งๆ ไประบบอื่นๆ ได้ ภายใต้คุณสมบัติที่มีความแตกต่างกัน และยังกล่าวถึงการวิเคราะห์กระบวนการเทอร์โมไดนามิกส์ ว่าเกี่ยวข้องกับจำนวน หรือปริมาณของความร้อนในการถ่ายเท เช่นเดียวกันกับกระบวนการนำความร้อนผ่านระบบสมดุลหนึ่ง ไปสู่อีกระบบหนึ่ง โดยที่กระบวนการถ่ายเทความร้อนนั้นมี 3 รูปแบบ ได้แก่

“Conduction: is the transfer of energy from the more energetic particles of substance to the adjacent less energetic ones as a result of interactions between the particles. Conduction can take place in solids, liquids, or gases.”

“Convection: is the mode of transfer between a solid surface and the adjacent liquid of gas that is in motion, and it involves the combined effects of conduction and fluid motion.”

“Radiation: is the energy emitted by matter in the form of electromagnetic waves (or photons) as result of the changes in the electronic configurations of the atom or molecules. Unlike conduction and convection, the transfer of heat by radiation does not require the presence of an intervening medium. Infact heat transfer by radiation is fastest (at speed of light) and it suffers no attention in a vacuum.”

การคายระเหย (Evapotranspiration) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การคายระเหย หรือ evapotranspiration

เป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวให้กลายเป็นไอ เป็นกระบวนการร่วมกันระหว่างการระเหยน้ำ (evaporation) ซึ่งการระเหยน้ำ คือ เป็นกระบวนการดูดความร้อนโดยน้ำและพืชดูดซับพลังงานความร้อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้โมเลกุลน้ำเปลี่ยนสถานะของน้ำในรูปของเหลวไปเป็นก๊าซในรูปไอน้ำขึ้นสู่บรรยากาศ โดยใช้พลังงานความร้อนในการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่ 583 แคลอรี ต่อน้ำ 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (วิชา, 2535)

การคายระเหย ซึ่งหมายถึงการสูญเสียน้ำจากผิวน้ำหรือพื้นดินโดยตรง กับกระบวนการคายระเหยน้ำของพืช (transpiration) การคายระเหยนี้มีบทบาทต่อ “อุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดิน” (micrometeorology) มาก เพราะมีส่วนที่ทำให้เกิดการแปรสภาวะอากาศจากร้อนให้เป็นเย็น เพราะว่ากระบวนการคายระเหยเป็นกระบวนการดูดความร้อน (เกษม, 2539) ซึ่งการคายระเหยนี้ นักชลประทานได้ใช้วิธีการหาอัตราการคายระเหยน้ำในการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อใช้ประมาณการปริมาณน้ำ เป็นแนวทางในการคำนวณหาความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ

วิบูลย์ (2526) ยังให้ความหมายไว้อีกว่า กระคายระเหยน้ำ หมายถึง การที่ปริมาณน้ำทั้งหมดสูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปไอน้ำ จากพืชดูดไปจากดิน และน้ำที่ระเหยจากผิวดินรอบๆ ต้นพืช

นักอุตุนิยมวิทยา แบ่งการคายระเหยน้ำออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การคายระเหยน้ำจริง (Actual evapotranspiration) เป็นการคายระเหยน้ำที่เกิดขึ้นจากการระเหยน้ำ และการคายน้ำจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมสู่ชั้นบรรยากาศได้จริงในสภาวะอากาศขณะนั้น โดยมีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด ส่วนการระเหยน้ำสูงสุด (Potential evapotranspiration) เป็นการคายระเหยน้ำที่เกิดขึ้นจากการระเหยน้ำ และการคายน้ำจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมสู่บรรยากาศได้สูงสุดในสภาวะอากาศขณะนั้น ถ้ามีน้ำให้แก่ขบวนการคายระเหยน้ำได้อย่างเหมาะสม และเพียงพอ (นิวัติ, 2547) โดยปริมาณการระเหยน้ำสูงสุดจะมีค่าสูงกว่า หรือเท่ากับปริมาณการคายระเหยน้ำจริงเสมอ

การคายน้ำของพืช (Transpiration)

เป็นกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งนำน้ำกลับสู่บรรยากาศผ่านลำต้นของพืช โดยผ่านออกทางปากใบ (stoma) ที่ประกอบด้วยเซลล์คุม (guard cell) 2 เซลล์ ประกบติดอยู่ซึ่งเมื่อพืชสังเคราะห์แสงความเข้มข้นของสารอาหารจำพวกน้ำตาลในพืชสูงทำให้มีแรงดัน (osmotic pressure) สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้น้ำจากเซลล์ข้างเคียงเข้าสู่เซลล์คุม ทำให้เซลล์เต่ง และปากใบเปิด และเมื่อพืชหยุดการสังเคราะห์แสง ความเข้มข้นของน้ำตาลลดลง แรงดันก็จะมีค่าลดลงด้วยทำให้ปากใบของพืชปิดลง ซึ่งปัจจัยในการควบคุมการคายระเหยของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ (เกษม, 2539)

ผลของการคายระเหยน้ำของพืชเป็นผลให้อากาศมีความชื้นที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้สิ่งแวดล้อมต้องใช้ความร้อนน้ำระเหยเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้อยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นนั้นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเรื่องความร้อน หรือความเย็น ซึ่งได้รับการพิสูจน์มาแล้วว่า ระยะห่างความไกลไกลพื้นโลกและความสูงในแนวตั้งนั้น อุณหภูมิ และความชื้นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เท่ากัน โดยที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความชื้นมีความสัมพันธ์ทางตรงกับระยะทางในแนวตั้ง

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศ

วีระพล (2533) อธิบายกระบวนการ และการผันแปรของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งที่มีความสำคัญกับมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมไว้อีก คือ บริเวณชั้นบรรยากาศที่อยู่เหนือระดับพื้นดินจะมีความผันแปรของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งมาก โดยปกติแล้วพื้นที่โลกจะสะท้อนพลังงานความร้อนกลับไปยังบรรยากาศโดยอัตราที่คงที่ ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับ absolute temperature รังสีจากดวงอาทิตย์สู่พื้นผิวโลกในเวลากลางวันจะน้อยกว่าอัตราที่ผิวโลกสะท้อนออกไป จึงทำให้อุณหภูมิของผิวโลกและของอากาศที่อยู่ติดกับผิวโลกลดลง การเย็นลงของอุณหภูมิใกล้ ผิวโลกนี้บางครั้งจะทำให้เกิดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศต่อความสูง ซึ่งเรียกว่า temperature inversion ซึ่งจะเกิดในชั้นบรรยากาศที่อยู่ถัดผิวโลกขึ้นไป โดยปกติแล้วสภาพเช่นนี้จะเกิดขึ้นในคืนที่มีท้องฟ้าแจ่มใส เพราะความปั่นป่วนของอากาศมีน้อย และเพราะว่ารังสีที่สะท้อนออกไปนั้นสะดวกไม่มีเมฆมาขวางกั้น

นักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ได้ให้ความสำคัญกับอากาศบริเวณพื้นที่ดินมากที่สุด เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์อยู่ใกล้บริเวณพื้นดิน และสูงขึ้นไม่เกินระยะทาง 1,000 เมตร ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศบริเวณเหนือผิวดิน หรือบริเวณที่มนุษย์อยู่อาศัยจึงหมายถึง การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของมนุษย์ด้วย

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวพื้นที่ในช่วง 24 ชั่วโมง

สรรพคดี (2548) ได้กล่าวไว้ว่า อุณหภูมิผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากกรรมวิธีส่งผ่านความร้อน โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่พื้นผิวโลกจะมีพิสัยมากบ้าง น้อยบ้าง ตามลักษณะของภูมิประเทศ และการแปรปรวนของลมฟ้าอากาศ

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวันในช่วง 24 ชั่วโมง สามารถสรุปตามตัวแปร หรือ ปัจจัยที่เกิดขึ้น ในขณะที่ลมฟ้าอากาศปกติได้ ดังนี้

1. พิสัยของอุณหภูมิของผิวน้ำทะเล มหาสมุทร มีค่าน้อยมาก โดยแต่ละวันจะมีพิสัยไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะน้ำมีความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด คือ ประมาณ 4,180 จูลต่อ กิโลกรัม องศาเซลเซียส หมายความว่า ถ้าต้องการให้น้ำมวลสาร 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส ต้องรับพลังงานความร้อนและคายพลังงานความร้อนถึง 4,180 จูล นั่นเอง
2. พิสัยอุณหภูมิของทะเลทรายที่อยู่ลึกเข้าไปในใจกลางทวีป หรือห่างจากชายฝั่งทะเล มากๆ จะมีพิสัยเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส เพราะการที่ทะเลทรายอยู่ไกลจากชายฝั่งทะเลมากนี้เองทำให้ลมจากทะเลอ่อนกำลังไม่มีอิทธิพลต่อสภาพพื้นที่ และไม่สามารถพัดพาลึกเข้าไปในทะเลทรายได้
3. โดยปกติพื้นที่ที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล พิสัยของอุณหภูมิจะแคบ หรือน้อยเนื่องจากการพาความร้อนจากลมบก และลมทะเล ทำให้เกิดการคลุกเคล้าของอากาศจากทะเลกับอากาศบนบก อุณหภูมิของอากาศจึงส่งผลให้อุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก

4. ในช่วงเวลาใดที่มีลมสงบเหนือพื้นดิน อุณหภูมิจะมีค่าสูงกว่าช่วงเวลาที่ลมพัดผ่านอยู่ตลอดเวลา เพราะเกิดการคลุกเคล้าของอากาศขณะที่มีลมพัด อุณหภูมิของตำบลนั้นค่อนข้างคงที่หรือที่มีพิสัยเพียงแคบๆ เท่านั้น

5. ถ้าวันใดเมฆปกคลุมท้องฟ้าทั้งวันทั้งคืนพิสัยของอุณหภูมิในวันนั้นจะน้อย แต่ถ้าท้องฟ้าโปร่งตลอด 24 ชั่วโมง พิสัยของอุณหภูมิก็มักจะมากขึ้น เพราะกลางวันมีอุณหภูมิสูง แต่พอตกถึงค่ำมีอุณหภูมิก็มักต่ำลง อันเนื่องจากการดูดกลืน และแผ่รังสีความร้อนเหนือพื้นดินนั้นๆ มีมากนั่นเอง (ศักดิ์ดา, 2538)

สรรพที (2548) ยังกล่าวต่อไปอีกว่า พื้นดินและพื้นน้ำอุณหภูมิจะมีความแตกต่างกัน คือการกระจายอุณหภูมิของพื้นดินและพื้นน้ำ จะไม่เป็นไปตามละติจูด เพราะพื้นดินและพื้นน้ำจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืน และคายความร้อนได้แตกต่างกัน นั่นคือ เมื่อพื้นดินไ้ห้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะร้อนเร็วกว่าพื้นน้ำ แต่เมื่อไม่ได้รับความร้อน พื้นดินจะเย็นเร็วกว่าพื้นน้ำ ถึงแม้จะได้รับปริมาณแสงอาทิตย์ในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิมะหว่างพื้นดินกับพื้นน้ำมีความแตกต่างกัน ได้แก่ การโปร่งแสง (transparency) การระเหย (evaporation) ความร้อนจำเพาะ (specific heat) และการปั่นป่วน (turbulence)

สมดุลพลังงาน

อเนก (2553) กล่าวถึงสมดุลพลังงานไว้ว่า สมดุลพลังงาน คือ สมดุลระหว่างพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์และความร้อนที่ออกไปจากโลก สมดุลพลังงานเป็นตัวควบคุมสภาพฤดูกาลของโลก ธรรมชาติ และมนุษย์ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมดุลพลังงาน

พลังงานที่ปลดปล่อยออกจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าถูกปล่อยออกมาในรูปของแสงคลื่นสั้น และคลื่นแสงอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางเข้ามาอวกาศด้วยความเร็วแสง เมื่อมายังโลกบางส่วนสะท้อนกลับไปยังเหนือชั้นบรรยากาศโดยเมฆบางส่วนถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก ในขณะที่เดียวกันโลกปล่อยพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์กลับไปยังอวกาศ แต่เนื่องจากโลกเย็นกว่าดวงอาทิตย์ทำให้มีการแผ่รังสีในรูปของ

รังสีอินฟราเรด หรือรังสีความร้อนซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว ดังนั้นสมดุลพลังงานจึงเกี่ยวข้องกับสมดุลพลังงานของรังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาว ที่สะสมอยู่ในโลก และที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศด้วย

สมดุลของรังสี และรังสีสุทธิ

เกษม (2522) กล่าวว่า การสมดุลของรังสีความร้อนบนผิวโลกนั้น อาจอธิบายได้โดยกระบวนการสั้นๆ ว่า ดวงอาทิตย์จะให้ความร้อนแก่โลกโดยการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ทั้งในลักษณะคลื่นสั้น และคลื่นยาว ครั้นเมื่อความร้อนสู่ผิวโลกแล้วก็จะแปรสภาพเป็นรูปแบบต่างๆ บางส่วนอาจสะท้อนสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่ง ให้ความสมดุลของความร้อนที่ผิวโลกเกิดขึ้นเสมอ

ความร้อนสิ่งแรกที่สำคัญที่ดวงอาทิตย์จะให้แก่โลก คือ ความร้อนที่เกิดจากรังสีคลื่นสั้น แต่เนื่องจากอากาศนั้นมีสารเจือปนมากมาย จึงทำให้อากาศที่สั้นนี้ถูกสะท้อนกลับสู่บรรยากาศก่อนตกลงสู่ผิวโลก หรืออาจจะถูกดูดซับด้วยสารเหล่านั้นบ้าง จึงทำให้ปริมาณรังสีคลื่นสั้นลงสู่ผิวโลกน้อยลงไปบ้าง กระบวนการที่ทำให้เกิดการสะท้อนแสงในบรรยากาศที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของสารในอากาศมีขนาดรัศมีเล็กกว่าความยาวของคลื่นแสง เรียกว่า “scattering” กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นทุกๆ ทิศ ด้วยโมเลกุลของสารนั้น บางครั้งเรียกว่า sky radiation ความร้อนของคลื่นสั้นที่ลงสู่ผิวดินนี้ คือ รังสีคลื่นสั้นที่สะสมอยู่บนผิวโลก (shortwave-down radiation) หรือ R_{sd} ครั้นเมื่อ R_{sd} ลงสู่ผิวดินนั้น บางส่วนจะสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ เป็นการสะท้อนของคลื่นสั้นเท่านั้น เรียกว่า รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศ (shortwave-up radiation) หรือ R_{su} ค่าของ R_{su} นี้จะขึ้นอยู่กับความขรุขระ สี และความชื้นของผิวสะท้อนนั้น การสะท้อนนี้เกิดขึ้นเพราะวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น ซึ่งเรียกว่า reflection หรือ albedo

ความร้อนนอกจากมีในรังสีคลื่นสั้นแล้ว ก็จะได้จากรังสีคลื่นยาวอันจะเกิดจากแสงของดวงอาทิตย์โดยตรง และยังเป็นส่วนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากก้อนเมฆเจือปน เป็นรูปของคลื่นยาวความร้อนของรังสีคลื่นยาวที่ลงสู่ผิวโลกนี้ เรียกว่า รังสีคลื่นยาวที่สะสมอยู่บนผิวโลก (longwave-down radiation) หรือ R_{ld} และรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศนั้น เรียกว่า R_{lu} หรือ longwave-up radiation เมื่อผิวโลกได้รับความร้อนทั้งรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวแล้วผิวโลกก็จะแผ่รังสีออกไปสู่บรรยากาศในรูปของคลื่นยาว เรียกว่า terrestrial radiation ความจริงแล้วคลื่นยาวนั้นไม่มี reflection หรือ albedo แต่จะเป็นรูปของ re-radiation

ความร้อนที่ผิวโลกนั้น เมื่อได้จากทั้งรังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาวแล้ว จะมีส่วนที่กลับออกไปจากผิวโลกในรูปของการสะท้อน และ re-radiate ก็จะมีความร้อนเหลือที่ผิวโลกซึ่งเรียกว่า รังสีสุทธิ (net radiation; R_n) ความร้อนที่เหลือนี้จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำหรือที่เรียกว่า ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ (LE; latent heat flux) ความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ เป็นพลังงานความร้อนที่ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น (H; sensible heatflux) ความร้อนที่ไหลลงสู่ดิน (G; soil heat flux) ความร้อนใช้เพื่อในการสังเคราะห์แสงของพืช (Ps) ความร้อนที่ใช้เพื่อกระบวนการอื่นๆ เกี่ยวกับการหายใจ และเก็บไว้ที่พุ่มใบพืช (metabolism; M) ตัวอย่างเช่น การออกดอกออกผล การกระตุ้นการเจริญเติบโต เป็นต้นโดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$R_{sd} - R_{su} + R_{ld} - R_{lu} + LE + H + G + Ps + M = 0 \quad (1)$$

ถ้าจะกำหนดให้ R_n เป็นความร้อนสุทธิที่ผิวโลก (net radiation) อันเป็นความร้อนที่สะสมถูกใช้ที่ผิวโลก สามารถเขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้เป็น

$$R_n = (R_{sd} - R_{su}) + (R_{ld} - R_{lu}) \quad (2)$$

เมื่อ

$$R_n = \text{net radiation flux} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$R_{sd} = \text{short wave-down radiation flux} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$R_{su} = \text{short wave-up radiation flux} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$R_{ld} = \text{long wave-down radiation flux} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$R_{lu} = \text{long wave-up radiation flux} \quad (\text{W/m}^2)$$

เพื่อให้ง่ายจึงสามารถแปลงสมการได้เป็น

$$R_n + LE + H + G + Ps + M = 0 \quad (3)$$

อธิบายสมการ (3) ได้ว่า ความร้อนที่ผิวโลกนั้นคือ R_n ถูกใช้เพื่อการระเหยน้ำ หรือ latent heat flux (LE) ความร้อนที่ไหลลงสู่พื้นดิน หรือ soil heat flux (G) ใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงของพืชหรือ photosynthesis (Ps) ขบวนการหายใจ และเก็บความร้อนที่พุ่มใบหรือ metabolism (M)

ที่เหลือนั้นถูกใช้เพื่อการเผาผลาญอากาศ หรือ sensible heat flux (H) ซึ่งในความเป็นจริงนั้น ค่าของ Ps มีค่าน้อยมาก คือ ประมาณ 1-6 เปอร์เซ็นต์ อาจมีถึง 8 เปอร์เซ็นต์ของ R_n ค่าของ M ก็เช่นกัน มีค่าน้อยมาก คือ ไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นทั้งค่า Ps, M และ อาจไม่ต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ โดยสามารถปรับปรุงสมการ(3) ได้เป็น

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (4)$$

โดยสรุปแล้ว ความร้อนที่ผิวโลกนั้น คือ รังสีสุทธิ หรือ R_n ถูกใช้ไปใน 3 ส่วนหลัก คือ เพื่อการระเหยน้ำ (LE) เพื่อการเผาผลาญอากาศ (H) และสะสมอยู่ในดิน (G)

วิธีอัตราส่วนโบเวน

เกษม (2539) กล่าวว่า การหาอัตราการคายระเหยจริงจากกลุ่มน้ำที่นิยมกันมากที่สุด คือ วิธีการอัตราส่วนโบเวน หรือ Bowen Ratio Method ซึ่งคิดค้นโดย Bowen (1926) ทั้งนี้ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายสะดวก และได้รับการพิสูจน์ว่าถูกต้องที่สุด จึงไม่ต้องสงสัยเลยว่าวิธีการอัตราส่วนโบเวนจึงเป็นที่นิยมแพร่หลายอยู่ในปัจจุบันในหมู่นักอนุรักษ์น้ำทั่วไป และนักการชลประทาน

โดยวิธีการอัตราส่วนโบเวนนี้มีข้อสมมติฐานของการวัดการคายระเหย คือ ชั้นอากาศระหว่างชั้นที่ติดตั้งเครื่องมือนั้นต้องอยู่ภายใต้สภาวะอากาศใกล้ neutral condition แล้วจึงต้องอยู่ภายใต้กฎเหล่านี้ คือ

1. ค่าของ transfer coefficient ของไอน้ำต้องเท่ากับของความร้อน หรือ $K_w = K_H$
2. ในขณะที่การคายระเหยนั้น ต้องไม่มีกระบวนการควบแน่นเกิดขึ้นเลย
3. การแผ่รังสีของวัตถุ หรือของไอน้ำจะต้องไม่มีเกิดขึ้น

Bowen (1926) ได้ตระหนักว่าการวัดปริมาณความร้อน ทั้งที่เป็นค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (sensible heat; H) และค่าความร้อนน้ำระเหย (latent heat; LE) ในสมการสมดุลของพลังงานความร้อนนั้น เป็นสิ่งที่ทำได้ยากมาก เพื่อแก้ปัญหาสิ่งนี้ จึงได้ตั้งเป็นอัตราส่วนของ

ตัวเอง คือ เป็น Bowen Ratio หรือ B ขึ้น ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่าง H และ LE ตามความสัมพันธ์ของสมการ (5) คือ

$$B = H / LE \quad (5)$$

จากสมการของการเคลื่อนย้ายความร้อน และไอน้ำในแนวตั้ง ซึ่งแสดงไว้ในสมการ (6) และ (7)

$$H = -\rho C_p K_H (dT/dz) \quad (6)$$

$$\lambda E = -\frac{0.622 \rho L K_w (de/dz)}{P} \quad (7)$$

ในเมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ C_p คือ specific heat ของอากาศ LE คือ latent heat of vaporization P คือ ความดันบรรยากาศ ค่า 0.622 เป็นอัตราส่วนโมเลกุลระหว่างอากาศชื้น และอากาศแห้ง dT/dz และ de/dz เป็น gradient ของอุณหภูมิ และความชื้นจริงในบรรยากาศ

ดังนั้น ถ้าแทนค่าสมการ (6) และ (7) ลงในสมการ (5) จะได้ค่าใหม่เป็น

$$B = \frac{C_p P}{0.622 L} \frac{K_H}{K_w} (dT/de) \quad (8)$$

จากสมการความสมดุลของรังสีความร้อน ที่ผิวดิน ซึ่งหมายถึง $R + H + LE + G = 0$ ซึ่ง R_n คือ net radiation และ G คือ soil heat flux ซึ่งถ้าเปลี่ยนข้างจะได้ค่า

$$H + LE = -(R_n + G) \quad (9)$$

จากสมการ (5) แทนค่า H ในสมการ (9) แล้วสับเปลี่ยนสมการใหม่ได้เป็น

$$LE = \frac{-(R_n + G)}{1 + B} \quad (10)$$

แทนค่า B ในสมการ (7) แล้ว จะได้สมการ (11) ใหม่ เป็น

$$LE = \frac{-(R_n + G)}{\frac{C_p P}{0.622L} - \frac{K_H}{K_W} \frac{dT}{dz}} \quad (11)$$

ในเมื่อสมมติฐานได้ให้ $K_W = K_H$ และในทำนองเดียวกัน ถ้าให้ $C_p P / 0.622L$ เป็น psychrometric constant ซึ่งมีค่าประมาณ 0.67 mb.c จากการทำ P เท่ากับ 1000 mb C_p เท่ากับ 0.24 cal gm⁻¹C⁻¹ และ L เท่ากับ 538.2 cal gm⁻¹ และถ้ากำหนดให้ psychrometric constant มีสัญลักษณ์ γ แล้วเขียนสมการ (12) ใหม่ได้เป็น

$$LE = \frac{-(R_n + G)}{1 + \gamma (dT/dz)} \quad (12)$$

ในการประยุกต์สมการ (11) หรือ (12) นั้น ต้องหาค่าของ R_n ได้ก่อน ส่วนค่า G นั้น ถ้าผิวระเหยเป็นเรือนยอดของป่าไม้แล้ว อาจให้ G มีค่าเป็น 0 แต่ถ้าเป็นทุ่งหญ้า หรือที่ผิวดินโดยตรงแล้ว ต้องหาค่า G ด้วย สิ่งที่ยากที่สุดสำหรับการประยุกต์ ก็คือ การวัดค่า dT และ dz สองระดับ เพราะการที่จะวัดค่า T_1 และ T_2 หรือ e_1 และ e_2 ซึ่งวัดที่ความสูงตามแนวตั้ง Z_1 และ Z_2 ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ค่าแตกต่างของ Z_1 และ Z_2 นั้น ถ้าเป็นพื้นที่ผิวยอดที่เป็นป่าไม้ นั้น ต้องไม่เกิน 4 เมตร และพื้นที่ผิวยอดที่เป็นต้นหญ้าหรือผิวดินนั้นต้องไม่เกิน 2 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้สภาวะอากาศใกล้ neutral condition ในการวัดนั้นต้องวัด T_1 และ e_1 ให้ใกล้ผิวระเหยมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ กล่าวคือ ไม่สูงเกินไป หรือชิดเกินไป ลักษณะอื่นๆ ก็เช่นเดียวกับการวัดข้อมูลของอัตราส่วนโบเวน

ซึ่งจากการศึกษา อัตราส่วนโบเวน ของ Aoki *et al.* (1996) ซึ่งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโบเวน และค่าการระเหยน้ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในพื้นที่ปลูกผักกาดหวาน 2 แห่ง โดยให้ค่า R_n และ G คงที่ และมีตัวแปรอิสระ 3 ค่า คือ ค่าอุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (R_n) และความชื้นในดินที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร (PF) พบว่า เมื่อ

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง 9 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นในดินลดลงเท่ากับ 0.3 ทำให้ค่าการคายระเหยน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio) เท่ากับประมาณ 0.3 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมีอิทธิพลต่อการคายระเหยน้ำมากในพื้นที่ใหญ่กว่า และที่มีความชื้นในดินสูงกว่า

ความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลความร้อนกับการออกแบบ และการวางผังเมือง

สมการสมดุลความร้อน (energy balance)

$$R_n = (R_{sd} - R_{su}) + (R_{ld} + R_{lu}) \quad (13)$$

หรือ

$$R_n = LE + H + G + Ps + M \quad (14)$$

โดยที่ Ps, M และ C มีค่าน้อยมาก ดังนั้น สมการที่ได้ คือ

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (15)$$

เกษม (2522) อธิบายความสัมพันธ์ของสมการ (15) ไว้ว่า สมการรูปแบบนี้จะเห็นได้ชัดเจนในลักษณะพื้นที่ต่างๆ เช่น พื้นที่ที่ชื้นหรือเป็นป่า หรือที่มีพืชปกคลุมอย่างนั้น ค่าของรังสีสุทธิ (R_n) มักจะถูกใช้ไปเพื่อการระเหยน้ำ (LE) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือนั้นจะแปรสภาพไปลงสู่ดิน (G) และค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) โดยที่ทั้ง 2 ค่า นั้นมีค่าน้อยมาก ในสภาพเช่นนี้ จึงทำให้อากาศบริเวณพื้นที่เหล่านี้มีความเย็นสบาย ต่างจากพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกทำลาย ค่าของรังสีสุทธิ (R_n) จะถูกใช้เพื่อการระเหยน้ำน้อย แต่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมากกว่าส่วนอื่น จึงทำให้อากาศร้อนกว่าบริเวณอื่น นอกจากนี้พื้นที่ที่ถูกทำลายนั้นเป็นที่ชื้นแฉะ จึงอาจจะทำให้อากาศสบาย เพราะที่ชื้นแฉะมีลักษณะเช่นเดียวกับ ทะเลสาบ บึง ทะเล หรือมหาสมุทร คือ ความร้อนจากรังสีสุทธิ (R_n) จะถูกใช้ไปเพื่อการระเหยน้ำ (LE) ทำให้พื้นที่บริเวณนั้นมีอากาศเย็นขึ้น

ลักษณะของพื้นที่ผิวอีกลักษณะหนึ่ง คือ ความเจริญของบ้านเมืองที่มีการสร้างตึก และ ถนนซีเมนต์ สิ่งก่อสร้างเหล่านี้จะเป็นส่วนที่ช่วยลดค่าความร้อนของรังสีสุทธิ (R_n) เพื่อการระเหยน้ำ แต่จะถูกใช้ในการแผ่ผลลาญอากาศ (H) มาก และจะไม่ถูกสะสมในดินเนื่องจากพื้นที่เมืองโดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ซีเมนต์ จึงไม่สามารถดูดซับความร้อนไว้ได้มากเท่าพื้นดิน ปรัชญาการณลักษณะนี้ทำให้อากาศในเมืองส่วนใหญ่ที่มีสิ่งก่อสร้างเหล่านี้ด้วยซีเมนต์ หรือคอนกรีตนี้มีความร้อนสูงขึ้น หรือมีอากาศอบอ้าวทั้งกลางวันและกลางคืน

กล่าวคือ ในเวลากลางวันนั้นความร้อนจากท้องฟ้าจะถูกสะสมลงสู่พื้นดิน (G) และที่ใช้ในการแผ่ผลลาญอากาศ (H) ในขณะเดียวกันการปลดปล่อยความร้อน re-radiate ของซีเมนต์เหล่านี้จะเกิดขึ้น และจะเกิดขึ้นไปจนถึงเวลากลางคืน จึงทำให้อากาศร้อนตลอดเวลาดังเช่นในกรุงเทพมหานครในขณะนี้ จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องแก้ไขโดยการปลูกต้นไม้คลุมถนน หรือ สิ่งก่อสร้างทั้งหลาย ที่จะช่วยให้ความร้อนที่สะสมในดิน และใช้แผ่ผลลาญอากาศลดลง ให้รังสีสุทธิ (R_n) เป็นความร้อนน้ำระเหย (LE) มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ในเมืองที่ต้องการความเย็นเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการเพิ่มการระเหยน้ำ (LE) โดยสามารถหาค่าการระเหยน้ำ (LE) ได้ดังต่อไปนี้

$$LE = R_n - (H + G + Ps + M) \quad (16)$$

เนื่องจากในเมืองมักจะมีพืชและต้นไม้อยู่น้อย ซึ่งปกติกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis: Ps) ก็น้อยอยู่แล้ว ดังนั้นในเมืองจึงสามารถตัดกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชในทำนองเดียวกันค่าที่น้อยเป็นค่ากระบวนการหายใจ หรือ metabolism (M) สามารถตัดออกได้ จึงเหลือสมการ (8.5) ดังนี้

$$LE = R_n - H - G \quad (17)$$

R_n เป็นค่าคงที่ที่ดวงอาทิตย์จะให้กับผิวโลก ดังนั้นตัวแปรความร้อนในเมืองคือ ความร้อนในการแผ่ผลลาญอากาศและที่สะสมในดินซึ่งขึ้นอยู่กับที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็นสำคัญ สำหรับค่าในสมการ (18) สามารถแสดงแต่ละตัวได้ดังนี้

$$LE = -fLK_w * de/dz \quad (18)$$

$$H = -fC_p K_H * dt/dz \quad (19)$$

$$G = -\lambda * dt/dz \quad (20)$$

ในเมือง

f	=	ความหนาแน่นของอากาศ
K_w	=	transfer co-efficient ของ water
K_H	=	transfer co-efficient ของ heat
de/dz	=	gradients ของ specific humidity หรือ water vapor
dT/dz	=	gradients ของ อุณหภูมิ C^{cm-1}
λ	=	thermal conductivity, cal, $cm^{-1}, sec^{-1}, c^{-1}$ เช่น
		Clay มีค่า 7×10^{-3} ณ อุณหภูมิ $10^\circ C$
		น้ำที่ $10^\circ C$ 1.37×10^{-3}
		อากาศที่ $10^\circ C$ = 0.06×10^{-3}
		Organic matter ที่ $10^\circ C$ = 0.6×10^{-3}

เนื่องจากความร้อนระเหย (LE) และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีปฏิสัมพันธ์ตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้าความร้อนที่ใช้เพื่อให้น้ำระเหยมาก จะทำให้มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศน้อย อีกทั้งเพื่อให้เห็นการหาพื้นที่สีเขียวในเมืองจึงเขียนสมการที่ (8.9) ดังนี้

$$LE + H = R_n - G \quad (21)$$

สมการ (22) สามารถอธิบายได้

$$\Delta G / \Delta Z = -C^t * \Delta / \Delta t \quad (22)$$

t	=	เวลา
ΔG	=	ความร้อนที่ไหลจากผิวเวลา Δt
ΔT	=	อุณหภูมิแตกต่างเวลา Δt
C_t	=	heat capacity, $\text{cal cm}^{-3} \text{C}^{-1}$
	=	fC
f	=	ความหนาแน่นของดิน, gm cm^{-3}
C	=	specific heat, $\text{cal gm}^{-1} \text{C}^{-1}$

เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับเมือง สามารถประยุกต์สมการในการหา C_t ได้ ดังนี้

$$C_t = X_B C_B + X_G C_G + X_R C_R + X_W C_W + X_P C_P \quad (23)$$

ในเมือง

X_s, X_w, X_a, X_m, X_o = volume fraction ของ soil, water, air, mineral และ organic matter

การใช้ที่ดินในเมืองส่วนใหญ่มี 5 รูปแบบ ได้แก่ พื้นที่สีเขียว (G), อาคาร (B), ถนน (R), น้ำ (W), และพื้นที่ผิวซีเมนต์ เฉพาะ (P) จึงสามารถประยุกต์สมการ (23) ได้เป็นสมการ (24)

$$C_t = X_s C_s + X_w C_w + X_a C_a \quad (24)$$

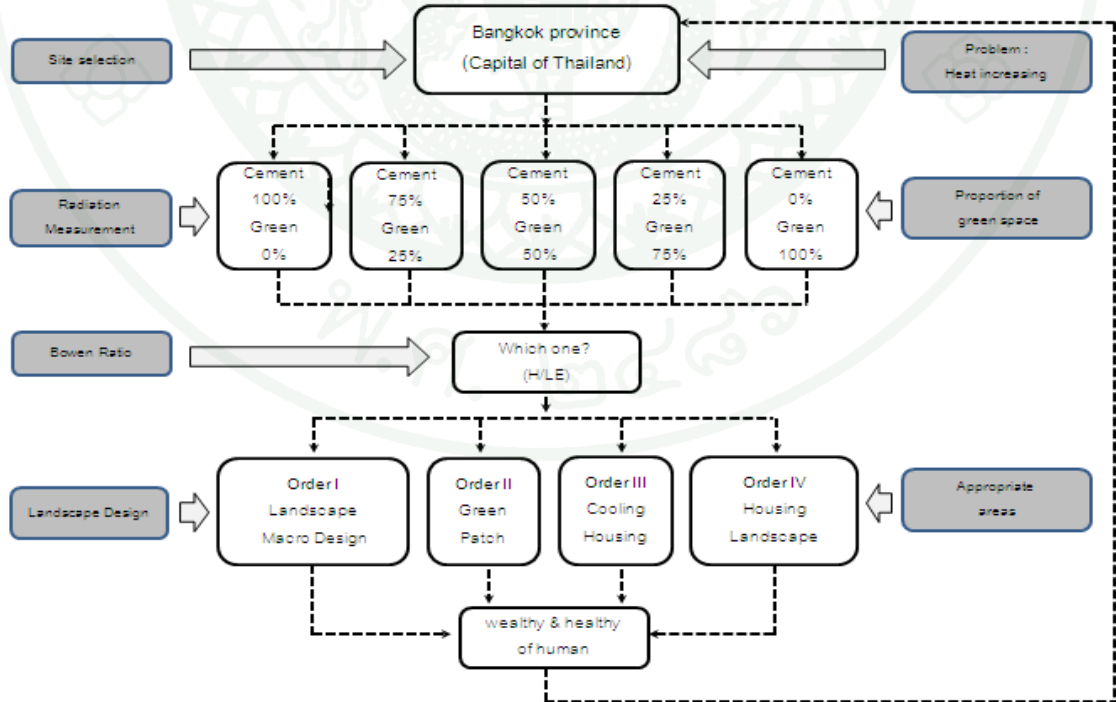
ในเมือง

X_b, X_g, X_r, X_w, W_p = volume fraction ของพื้นที่เมืองบางส่วนที่เป็นอาคาร พื้นที่สีเขียว ถนน ผิวน้ำ และพื้นที่ผิวซีเมนต์

C_b, C_g, C_r, C_w, C_p = specific heat ของอาคาร, พื้นที่สีเขียว, ถนน, ผิวน้ำ และพื้นที่ผิวซีเมนต์

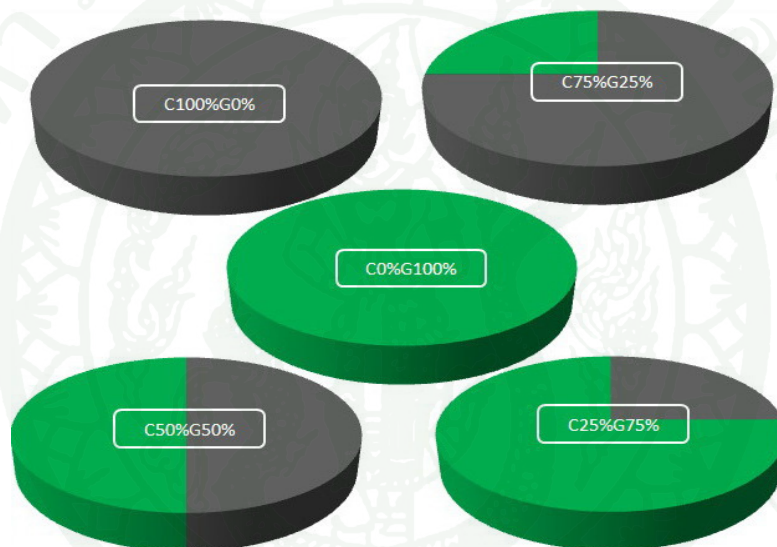
Land Use Pattern ในเมืองต่างๆ ทั่วประเทศประกอบไปด้วยการใช้ที่ดิน 5 ประเภท ได้แก่พื้นที่สีเขียว พื้นที่อยู่อาศัย/อาคาร พื้นน้ำ ถนน และพื้นที่แข็ง/ซีเมนต์

กรอบงานวิจัยการศึกษาในครั้งนี้ ทำการศึกษาพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่เมืองที่ประกอบไปด้วยสิ่งก่อสร้าง ทั้งอาคารบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ อาคารที่อยู่อาศัยร่วม และอาคารสำนักงาน ซึ่งการเพิ่มสูงขึ้นของอาคารสิ่งก่อสร้างที่มีการใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ นั้นมีการสะสมพลังงานความร้อนในวัตถุ ทำให้เกิดความร้อนในเขตเมืองอันนำมาซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้น แนวคิดในการลดความร้อนที่เกิดขึ้นในเขตเมืองโดยให้มีการใช้พื้นที่สีเขียว โดยกระบวนการคายระเหยน้ำของพืชสามารถทำให้พื้นที่เมืองมีความเย็นเพิ่มมากขึ้น การเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ซีเมนต์ต่อพื้นที่สีเขียว เพื่อใช้ในการหาปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างพื้นที่ทั้ง 2 ประเภท โดยใช้วิธีการศึกษาจากพลังงานความร้อนหลัก ได้แก่ ความร้อนนั้ระเหย (LE) และความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และอัตราส่วนโบเวน เพื่อนำมาเสนอวิธีการจัดการความร้อนในเขตกรุงเทพมหานครโดยใช้ปริมาณต้นไม้ที่เหมาะสม ในกระบวนการจัดการสภาพภูมิทัศน์ในภาพรวมและการจัดการที่พิกัดในในระดับต่างๆ เพื่อให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมของพื้นที่ จะสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศให้อยู่ในภาวะสมดุลได้ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย

การกำหนดพื้นที่ทดลองแบ่งตามสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว ดังภาพที่ 2 โดยให้มีสัดส่วนพื้นที่ดังต่อไปนี้ ประเภทที่ 1 พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) ประเภทที่ 2 พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) ประเภทที่ 3 พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%) ประเภทที่ 4 พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%) และประเภทที่ 5 พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) โดยแนวคิดที่ว่า เมื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวเข้าไปในพื้นที่ซีเมนต์ สามารถช่วยลดความร้อนที่เกิดจากการสะสมอยู่ในพื้นที่ผิวของวัสดุประเภทซีเมนต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการลดลงของอุณหภูมิจะเป็นไปตามสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณพื้นที่ซีเมนต์ที่ลดลง



ภาพที่ 2 การกำหนดสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว

การศึกษาดังกล่าว เป็นการหาความสัมพันธ์ของสมดุลรังสี เพื่อการออกแบบและกำหนดสัดส่วนพื้นที่เมืองที่เหมาะสมในครั้งนี ได้จากสมการวัดการคายระเหย โดยวิธีอัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio Method) โดยที เกษม (2515) ได้อธิบายไว้ว่า Bowen Ratio นั้นบางครั้งเรียกว่า energy balance method เป็นวิธีการหาอัตราการคายระเหยจริง (actual evapotranspiration) นักอุทกวิทยาได้พิสูจน์แล้วว่า เป็นวิธีการที่ให้ค่าอัตราการคายระเหยเท่ากับ การใช้ lysimeter (เครื่องมือวัดความชื้นในดิน) ซึ่งสามารถนำมาหาค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ต่อความร้อนที่ใช้แผ่ฉายอากาศ (H) เพื่อหาอัตราการสูญเสียน้ำในพื้นที่หนึ่งๆ ได้ โดยนักวิทยาศาสตร์ และนักการชลประทานนิยมใช้เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการเพาะปลูกในพื้นที่ลุ่มน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือ Ultrasonic Anemometer (Irgason Integrated CO₂/H₂O Open-Path Analyzer and 3D Sonic Anemometer) ผลิตโดยบริษัท Campbell Scientific, INC ดังภาพที่ 3 เครื่องมือนี้ใช้ในการวัดค่าความร่อนต่างๆ ซึ่งในลักษณะของการทำงานเครื่อง IRGASON ถูกควบคุมด้วยเครื่องมือ EC-100 และทำการเก็บข้อมูล (collecting Data) โดยทำการส่งข้อมูลเชิงปริมาณตามทิศทางกระแสลมแนวตั้ง (vertical) เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าความร่อนโดยใช้วิธี Eddy Covariance ข้อมูลที่ได้จะนำมาเก็บรวบรวมอยู่ในอุปกรณ์ที่เรียกว่า CR 3000; Data Logger

เครื่องมือ IRGASON สามารถเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง ได้แก่ ลม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อมูลความร่อนในบรรยากาศ เป็นต้น สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้เครื่องมือ IRGASON เก็บข้อมูล ความร่อนน้ำระเหย (latent heat flux; LE) ความร่อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible Heat flux; H) และอุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature) ซึ่งจะนำข้อมูลมาใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนโบเวน (Bowen ratio) ซึ่งหมายถึง สัดส่วนความร่อนในพื้นที่

2. เครื่องมือ Net Radiometer (NR -01) ผลิตโดย บริษัท Hukseflux Thermal Sensors B.V. ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งติดตั้งในสถานที่ศึกษาเดียวกัน ทำการต่อพ่วงกับเครื่องมือ IRGASON โดยใช้เครื่องมือ CR-3000 ในการบันทึกข้อมูลเช่นเดียวกัน และสามารถนำข้อมูลออกมาวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Logger Net

เครื่องมือ Net Radiometer (NR-01) สามารถเก็บข้อมูลสมดุลรังสี (radiation balance) ได้แก่ รังสีคลื่นสั้นที่ตกลงสู่พื้นโลก (short wave-downradiation; R_{sd}) รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศ (short wave-upward; R_{su}) และรังสีคลื่นยาวที่ตกลงสู่พื้นโลก (long wave-downward; R_{ld}) คลื่นยาวที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศ (long wave-up; R_{lu}) สามารถนำมาใช้คำนวณในสมการหารังสีสุทธิ (net radiation) ได้ดังสมการสมดุลรังสี ($R_n = (R_{sd} - R_{su}) + (R_{ld} - R_{lu})$)



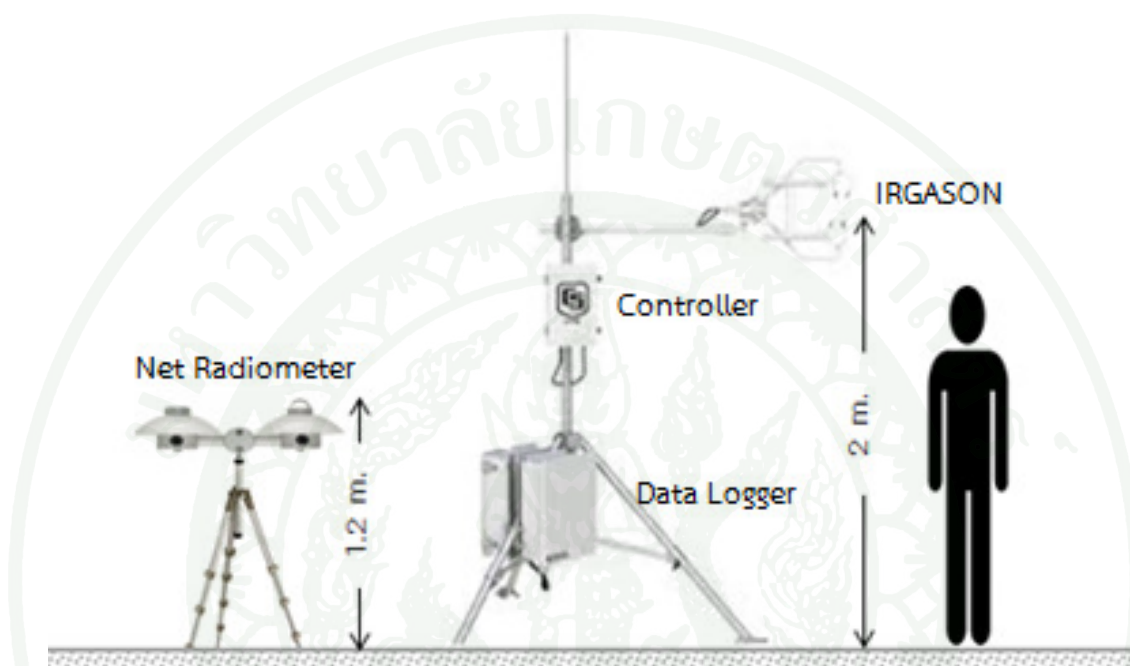
ภาพที่ 3 เครื่องมือUltrasonic Anemometer (IRGASON 3D Sonic Anemometer), เครื่องมือควบคุม (Controller; EC-100) และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger; CR-3000)



ภาพที่ 4 เครื่องมือ Net Radiometer(NR-01)สำหรับเก็บข้อมูลรังสีสุทธิ (net radiation)

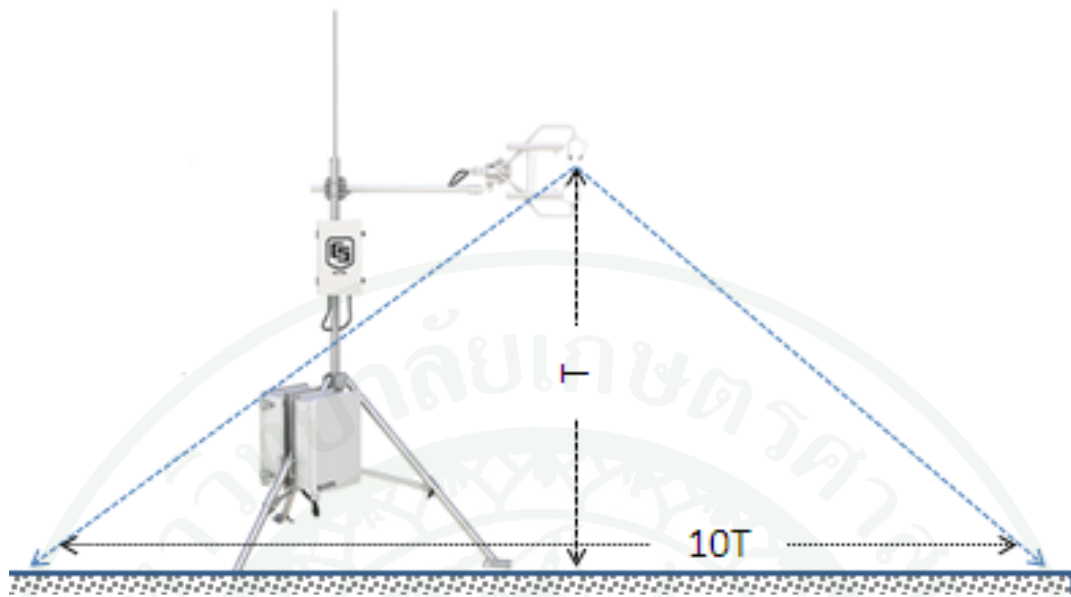
การติดตั้งเครื่องมือ Ultrasonic Anemometer (IRGASON) และ net radiometer (NR -01) ในพื้นที่ศึกษานั้น ผู้ศึกษาวิจัยทำการติดตั้งไว้บนเสาสูง (tower) ที่มีความสูง 3.0เมตร ในพื้นที่ศึกษา โดยให้เครื่องมือ IRGAZON มีความสูงระดับ 2.0 เมตร ซึ่งเป็นความสูงในระดับที่มนุษย์ใช้ประโยชน์ และมีกิจกรรมในระดับความสูงนี้มากที่สุด ติดตั้งเครื่องมือ net radiometer (NR – 01)

ที่ระดับความสูง 1.20 เมตร โดยใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (solar power) โดยสถานที่ และพื้นที่ติดตั้งไม่ได้รับอิทธิพลของแสงเงาจากอาคาร และสิ่งก่อสร้างทำการบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์จนถึงช่วงเวลาหมดแสงจากดวงอาทิตย์ (07.00-18.00 น.) รายชั่วโมง จำนวน 12 ชั่วโมงต่อเนื่อง ดังภาพที่ 5

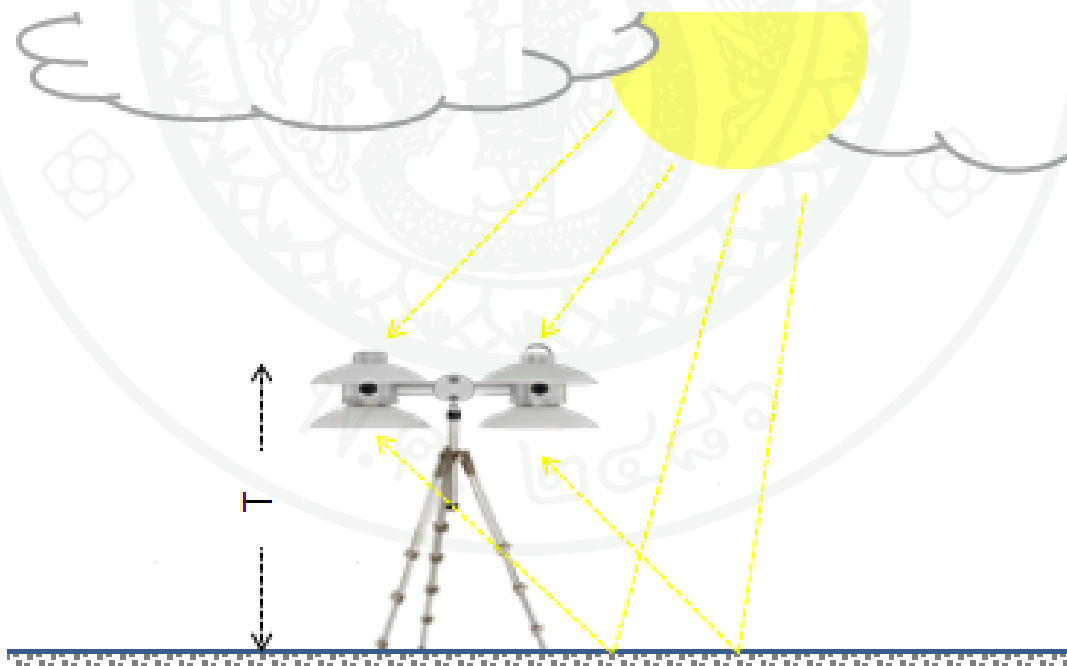


ภาพที่ 5 การติดตั้งเครื่องมือ Ultrasonic Anemometer (IRGASON), Net Radiometer (NR – 01) และอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือ IRGASON ติดตั้งไว้ที่ระดับความสูง 2.0 เมตร และทำการเก็บข้อมูลในชั้นอากาศที่อยู่ในรัศมี 10 เท่าในแนวระนาบของความสูงจากพื้นดินถึงหัวเซนเซอร์ โดยเป็นการเก็บข้อมูลความร้อนระดับพื้นดิน (heat on the ground) ซึ่งในพื้นที่ศึกษาได้ทำการติดตั้งเครื่องมือ IRGASON ไว้ที่ความสูง (T) 2 เมตร ซึ่งเป็นระยะความสูงที่มนุษย์ใช้ประโยชน์ในการหายใจ โดยระยะรัศมีในการเก็บข้อมูลเท่ากับ 20.0 เมตร ($10T = 10 \text{ เท่า} \times \text{ความสูง } 2.0 \text{ เมตร} \text{ เท่ากับ } 20.0 \text{ เมตร}$) หรือคิดเป็นปริมาณพื้นที่เท่ากับ 314 ตารางเมตร โดยเครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือภาคสนามสามารถทนทานต่อความชื้น โดยสามารถติดตั้งเครื่องมือในช่วงฤดูที่มีความชื้นสูงได้ เครื่องมือ IRGASON ถูกปรับปรุงให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยจากพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเหมาะสำหรับใช้งานในภาคสนาม



ภาพที่ 6 วิธีในการเก็บข้อมูลของเครื่องมือ Ultrasonic Anemometer (IRGASON)



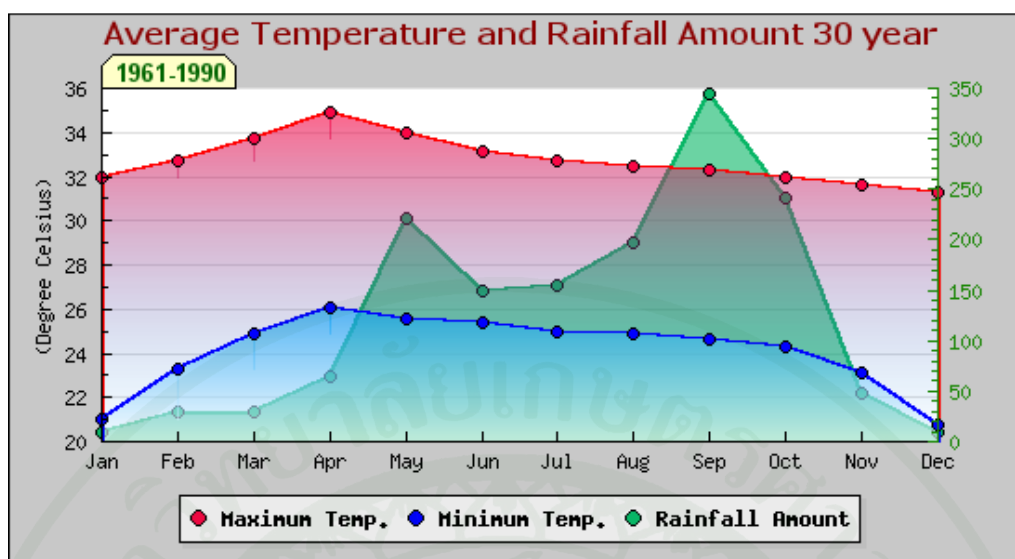
ภาพที่ 7 วิธีในการเก็บข้อมูลของเครื่องมือ Net Radiometer (NR - 01)

การวัดรังสีจากดวงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือ Net Radiometer (NR – 01) ติดตั้งเครื่องมือที่ความสูง (T) 1.20 เมตร จากระดับพื้นดินในทุกๆ พื้นที่ศึกษา เพื่อนำข้อมูลในแต่ละพื้นที่มาเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสมดุรังสีที่มีความแตกต่างกัน หากมีการติดตั้งเครื่องมือในระดับสูงมากกว่าจุดนี้ ข้อมูลการสะท้อนของรังสีคลื่นยาว และรังสีคลื่นสั้นอาจเก็บข้อมูลได้ไม่ครบถ้วน เนื่องจากความสูงที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดการหักเหของคลื่นแสง อันเนื่องมาจากสิ่งรบกวนต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละออง เมฆ เป็นต้น

วิธีการ

ช่วงเวลา

กรุงเทพมหานครอยู่ในเขตร้อนชื้น หรือ tropical rain forest ซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่สุดอยู่ในเดือนเมษายนของทุกปี จึงทำการเก็บข้อมูลและบันทึกผลในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีช่วงเวลาที่มีความร้อนที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่นๆ โดยเริ่มทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคม และเดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 8 ซึ่งแสดงอุณหภูมิเฉลี่ย 30 ปี ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504-2533 จากการเก็บข้อมูลโดย กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร และหลังจากช่วงเดือนเมษายนจนถึงเดือนตุลาคมของทุกปี จะเป็นช่วงของฤดูฝน ต่อเนื่องถึงฤดูหนาว สภาพอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีความชื้นสูงจากปริมาณฝนที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวเนื่องกับความร้อนได้ ผู้วิจัยจึงทำการเลือกเก็บข้อมูลแบบเจาะจง (purposive) ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย และเป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงปี



ภาพที่ 8 อุณหภูมิค่าบ 30 ปี ของกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ.2504-2533

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2556)

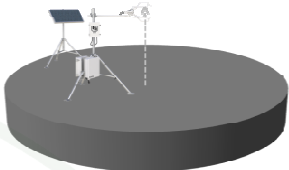
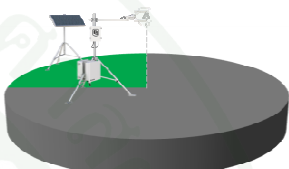
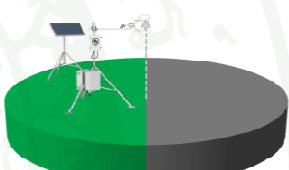


พื้นที่ศึกษา

เนื่องจากผู้วิจัยได้กำหนดให้พื้นที่ศึกษาต้องเก็บข้อมูลจากพื้นที่จริง ไม่ใช่พื้นที่จำลอง และเป็นการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ตามข้อกำหนด จึงต้องคัดเลือกพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมเหมือนจริงที่มีความเหมาะสมต่อการเก็บข้อมูล และเนื่องจากไม่สามารถกำหนดจุดเก็บข้อมูลให้อยู่ในสถานที่เดียวกันได้ จึงกำหนดเก็บข้อมูลในสถานที่ที่มีลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาเดียวกัน (homogenous climate) ในพื้นที่ด้านทิศเหนือของกรุงเทพมหานครจำนวน 2 พื้นที่ ได้แก่

1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ได้แก่ บริเวณสนามฟุตบอล (สนามอินทรีย์) และลานจอดรถหน้าคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
2. โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง ได้แก่ บริเวณลานสวนสนาม หน้ากองอำนวยการโรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง

พื้นที่ทั้ง 2 แห่ง มีระยะทางห่างกันเท่ากับ 14.0 กิโลเมตรและกำหนดพื้นที่เก็บข้อมูลที่มีความแตกต่างกันตามสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ ต่อพื้นที่สีเขียว ดังนี้

ตารางที่ 2 สัดส่วนของพื้นที่ซีเมนต์ ต่อพื้นที่สีเขียว ในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	สัดส่วนพื้นที่(%)		พื้นที่	แบบจำลองพื้นที่
	ซีเมนต์	สีเขียว		
1	100	0	ลานจอดรถหน้าคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต บางเขน	
2	75	25	ลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง	
3	50	50	ลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง	
4	25	75	ลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง	
5	0	100	สนามฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	



ภาพที่ 9 การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR - 01 ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% ต่อพื้นที่สีเขียว 0% บริเวณลานจอดรถ หน้าคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (C100% G0%)



ภาพที่ 10 การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR - 01 ในพื้นที่ซีเมนต์ 75% ต่อพื้นที่สีเขียว 25% บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง (C75% G25%)



ภาพที่ 11 การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR – 01 ในพื้นที่ซีเมนต์ 50% ต่อพื้นที่สีเขียว 50% บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง (C50% G50%)



ภาพที่ 12 การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR – 01 ในพื้นที่ซีเมนต์ 25% ต่อพื้นที่สีเขียว 75% บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง (C50% G50%)



ภาพที่ 13 การติดตั้งเครื่องมือ IRGASON และ NR – 01 ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% ต่อพื้นที่สีเขียว 100% บริเวณสนามฟุตบอล(สนามอินทรีย์จันทร์สถิตย์)มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (C0% G100%)

โดยในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 รูปแบบ มีลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา ดังต่อไปนี้

พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2557 บริเวณลานจอดรถหน้าอาคารคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สภาพภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ มีอุณหภูมิสูง อากาศร้อน มีเมฆเล็กน้อย ไม่มีพายุฝนฟ้าคะนอง

พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 14 เมษายน 2557 บริเวณลานสวนสนาม หน้ากองอำนวยการ โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ มีลักษณะฟ้าหวั มีเมฆฝนเล็กน้อยในช่วงกลางวัน แต่ไม่มีฝนตกในชั้่งกลางวัน อยู่ในช่วงมรสุมของประเทศไทย แต่ในช่วงเวลากลางวัน ไม่มีฝนตก

พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2557 อยู่ในบริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศดอนเมือง เช่นกัน แต่มีการตั้งจุดตรวจวัดแห่งใหม่บริเวณใกล้เคียงเพื่อให้ได้สัดส่วนพื้นที่ตามข้อกำหนด โดยสภาพอากาศมีปริมาณเมฆเล็กน้อย มีอากาศร้อน อุณหภูมิสูงทั้งในช่วงกลางวันและช่วงเวลากลางคืน

พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) เก็บข้อมูลในวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2557 ติดตั้งจุดตรวจวัดแห่งใหม่ในบริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง มีสภาพภูมิอากาศดังนี้ ช่วงกลางวันมีอากาศร้อนมาก อุณหภูมิสูง มีพายุฝนฟ้าคะนองในช่วงเย็นตกต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีกระแสลมตะวันออกเฉียงใต้ค่อนข้างรุนแรงมากกว่าพื้นที่ประเภทอื่นๆ

พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) เก็บข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2557 บริเวณสนามฟุตบอล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภูมิอากาศในพื้นที่มีฝนตกเล็กน้อย ในวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2557 เวลา 24.00 น. ในช่วงเวลากลางคืนเล็กน้อย เริ่มทำการเก็บข้อมูลเวลา 07.00 – 18.00 น. ของช่วงเช้าวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2557 มีสภาพภูมิอากาศปกติ ปริมาณเมฆเล็กน้อย มีแสงแดดตลอดทั้งวัน มีเมฆฝนในช่วงเวลา 11.00 น. แต่ไม่มีฝนตก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษาช่วงกลางวัน ในเวลา 07.00-18.00 น.

ลำดับ	พื้นที่ (%)		วันที่ (พ.ศ.2557)	ลักษณะอุตุนิยมวิทยา				
	ซีเมนต์	สีเขียว		อุณหภูมิ (°C)		ปริมาณฝน (มม.)	ทิศทาง ลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)
				สูงสุด	ต่ำสุด			
1	100	0	6 เมษายน	35.0	23.6	ไม่มีฝน	S	25.95
สภาพทั่วไป		มีเมฆมาก ประกาศเป็นช่วงมีมรสุม แต่ในพื้นที่ไม่มีฝน						
2	75	25	14 เมษายน	35.4	26.1	0.1	WNW	37.07
สภาพทั่วไป		มีเมฆฝนเล็กน้อย มีฝนตกในช่วงเวลากลางคืน ไม่มีฝนตกในช่วงเวลากลางวัน						
3	50	50	13 เมษายน	35.2	26.2	ไม่มีฝน	N	33.36
สภาพทั่วไป		มีเมฆเล็กน้อย ไม่มีฝนทั้งช่วงกลางวัน และกลางคืน						
4	25	75	15 เมษายน	35.5	25.4	49.8	SSE	64.86
สภาพทั่วไป		มีเมฆเล็กน้อย อากาศค่อนข้างร้อน มีพายุฝนฟ้าคะนองในช่วงเย็น 17.00-18.00 น.						
5	0	100	23 มีนาคม	35.9	27.6	38.6	S	40.77
สภาพทั่วไป		มีเมฆเล็กน้อย ท้องฟ้าโปร่ง						

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากรุงเทพมหานคร ในรอบ 17 ปี (พ.ศ. 2538-2555)

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันในปี พ.ศ.2557 นั้น กรุงเทพมหานคร มีอายุ 232 ปี นอกจากกรุงเทพมหานครจะเป็นเมืองขนาดใหญ่ และเป็นเมืองหลวงที่เป็นศูนย์กลางด้านการเมืองการปกครองของประเทศไทยแล้ว ยังเป็นศูนย์รวมของแหล่งพาณิชยกรรมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยอีกด้วย กรุงเทพมหานครมีจำนวนพื้นที่จำนวนทั้งสิ้น 1,568.74 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นเท่ากับ 980,462.5 ไร่ มีประชากรตามทะเบียนราษฎรทั้งหมดเป็นจำนวนเท่ากับ 5,673,560 คน คิดเป็นความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่เท่ากับ 3,617 คนต่อตารางกิโลเมตรในอดีตประชากรมีการตั้งถิ่นฐานส่วนใหญ่อยู่ริมแม่น้ำสายหลัก โดยจะเห็นได้จากการตั้งถิ่นฐานตั้งแต่ภาคเหนือของประเทศไทยลงมาจนถึงภาคกลาง มีการตั้งถิ่นฐานตามริมแม่น้ำ ปิง วัง ยม และน่าน จนกระทั่งมีการรวมตัวกันของแม่น้ำ 4 สายที่อำเภอปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งจะได้เห็นประชากรมีการตั้งถิ่นฐานอยู่ริมแม่น้ำสายหลักและใช้แม่น้ำเป็นเส้นทางคมนาคมสายหลัก และยังใช้ทรัพยากรน้ำในการทำเกษตรกรรมอีกด้วย

ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2510 เป็นต้นมา เมื่อมีการส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 2 การพัฒนาดังกล่าวทำให้มีการเคลื่อนย้ายแรงงาน และการเปลี่ยนแปลงแรงงานจากการทำเกษตรกรรม เป็นผู้ใช้แรงงานในเขตเมืองในโรงงานอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม ทำให้กรุงเทพมหานครมีความเจริญขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีลักษณะเป็น “เอกนคร” หรือเมืองโดดเดี่ยว ซึ่งกายภาพของพื้นที่กรุงเทพมหานคร และพื้นที่จังหวัดปริมณฑลนั้นมีศักยภาพที่เอื้อให้เป็นพื้นที่สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินในหลายๆ ประเภท โดยเฉพาะที่เห็นได้อย่างชัดเจนที่สุด คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอุตสาหกรรมในจังหวัดสมุทรปราการ การทำประมงในจังหวัดสมุทรสาคร เป็นต้น ความเจริญดังกล่าวทำให้เกิดการอพยพเคลื่อนย้ายแรงงาน จึงทำให้มีผลต่อความหนาแน่นของชุมชนเมือง คือ ทำให้ปริมาณที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครเพิ่มสูงขึ้นอย่างสัมพันธ์กันกับการอพยพโยกย้ายของประชากรที่เข้าสู่เขตเมือง โดยจำนวนประชากรที่มีแนวโน้มเพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องปัจจุบันประเทศไทย และกรุงเทพมหานครถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่เพื่อเป็นศูนย์กลางการคมนาคม และศูนย์กลางการท่องเที่ยว จากประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asean Economic Community: AEC) เนื่องจากมีพื้นที่ที่ตั้งเหมาะสมต่อการคมนาคม

หลายประเภทโดยเฉพาะการเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทางอากาศ และการวางแผนการขยายตัว ตั้งแต่ในอดีตเป็นต้นมาทำกรุงเทพมหานครเป็นเส้นทางเชื่อมโยงการคมนาคมทางบก โดยถนน และเส้นทางรถไฟ ระหว่าง เมืองทวายซึ่งเป็นเมืองท่า ในประเทศพม่า ผ่านประเทศไทย ประเทศ เวียดนาม ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และประเทศกัมพูชาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อีกด้วย ซึ่งการเป็นศูนย์กลางในการพัฒนาดังกล่าว จึงเป็นที่มาของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น จากประชากรเป็นสาเหตุหลัก (point source) ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ และส่งผลกระทบต่อประชากร (point effect) อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัญหาสำคัญต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานครนั้น มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของ ประชากรเป็นหลัก ซึ่งในภาวะอัตราการเกิดที่เพิ่มขึ้น อัตราการตายที่ลดลง อัตราการย้ายถิ่นฐาน เข้าสูง และอัตราการย้ายถิ่นฐานออกจากกรุงเทพมหานครในอัตราที่ต่ำ ทำให้เกิดการใช้ ทรัพยากรธรรมชาติในอัตราที่ทวีคูณโดยเฉพาะทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบใน กระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นของมนุษย์ 4 ประการซึ่งมี ความสำคัญตามลำดับ ดังนี้ คือ อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการใช้ทรัพยากรจากป่าไม้ จากข้อมูลของกรมป่าไม้ (2553) พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 มีพื้นที่ป่าไม้มีปริมาณลดลงเหลือเพียงร้อยละ 33.44 เท่านั้น และมี แนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ฉะนั้นการนำทรัพยากรป่าไม้เพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยจึง เริ่มมีปริมาณที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ประชากรจึงมีการพัฒนาการในนำวัตถุดิบประเภทซีเมนต์ เข้า มาใช้ในการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัย เพราะมีความทนทาน หาง่าย และมีราคาถูกกว่าไม้จาก ธรรมชาติ แต่เนื่องวัสดุประเภทซีเมนต์ มีข้อเสีย คือ เป็นวัสดุที่สามารถดูดซับความร้อนได้ไม่ดี แต่ หากมีการสะสมความร้อน เมื่ออิมตัวจะปลดปล่อยความร้อนที่สะสมได้ช้ากว่าวัสดุชนิดอื่นๆ จึง เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ภายในกรุงเทพมหานครที่ประกอบด้วยอาคารสิ่งก่อสร้างหนาแน่นนั้น มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปด้วย ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากร กับการเพิ่มที่อยู่อาศัยของ ประชากรในกรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 3

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 เป็นต้นมาพบว่าจำนวนบ้านเรือนที่อยู่อาศัยในกรุงเทพมหานครนั้นมี อัตราการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยคิดเป็นร้อยละ 34.92 ของปีพ.ศ. 2555 โดยเห็นได้ว่าการเพิ่ม จำนวนประชากร และบ้านเรือนนั้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นใน กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4 จำนวนประชากรกรุงเทพมหานครเปรียบเทียบกับจำนวนบ้านเรือน (หลัง)
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 –2555 รวม 17 ปี

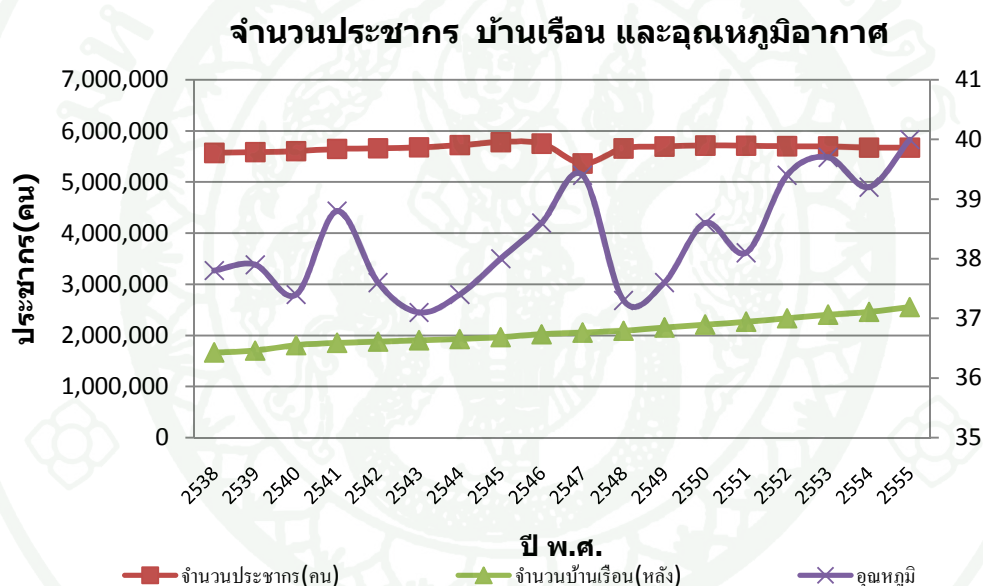
ลำดับ	ปี พ.ศ.	จำนวนประชากร (คน)	จำนวนบ้านเรือน (หลัง)
1	2538	5,570,743	1,661,311
2	2539	5,584,963	1,703,128
3	2540	5,604,772	1,810,530
4	2541	5,647,799	1,849,249
5	2542	5,662,499	1,876,577
6	2543	5,680,380	1,900,235
7	2544	5,726,203	1,928,921
8	2545	5,782,159	1,963,660
9	2546	5,753,607	2,020,019
10	2547	5,364,132	2,050,411
11	2548	5,658,953	2,091,558
12	2549	5,695,956	2,150,706
13	2550	5,716,248	2,207,453
14	2551	5,710,883	2,263,680
15	2552	5,702,595	2,334,126
16	2553	5,701,394	2,400,540
17	2554	5,674,843	2,459,680
18	2555	5,673,560	2,552,855

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร (2557); สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง (2557)

ในระยะเวลาเพียงแค่นี้ไม่ถึง 20 ปีที่ผ่านมา การเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจของกรุงเทพมหานครทำให้จำนวนประชากร และการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา (ประชากรมีการลดลงอย่างผิดปกติในช่วงปี พ.ศ.2547) และจำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครยังมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่อยู่อาศัยที่เพิ่มขึ้นอย่างสอดคล้องกัน จากภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่า จำนวนอาคารบ้านเรือนซึ่งมีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วตามความต้องการของประชากร เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจของกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นปัจจัยดึงดูด (pull factor) ให้ประชากรวัยแรงงานเข้ามา

อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดัง ข้อมูลจากตารางที่ 4

ความต้องการที่อยู่อาศัยของประชากรนั้นเป็นผลทางอ้อม ที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน อันเนื่องมาจากความต้องการวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือนที่พักอาศัยในปริมาณที่สูงมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงการใช้วัสดุประเภทไม้ เป็นการใชวัสดุประเภทซีเมนต์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนได้ดี แต่การถ่ายเทความร้อนไม่ดี การเพิ่มขึ้นของที่อยู่อาศัยที่ทำด้วยวัสดุประเภทซีเมนต์ ที่เพิ่มขึ้นนี้ การเพิ่มขึ้นของซีเมนต์ จึงเป็นตัวเร่งทำให้เกิดภาวะความร้อนสะสมในเมืองที่เพิ่มมากขึ้น (urban heat island)



ภาพที่ 14 การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ที่อยู่อาศัย และความสัมพัทธ์ของอุณหภูมิ ในกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครมีประชากรรวมเมื่อสิ้นปี พ.ศ.2555 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 5,673,560 คน และมีจำนวนบ้านเรือน (ที่มีบ้านเลขที่ รวมไปถึงอาคารที่อยู่อาศัยรวมประเภทคอนโดมิเนียมอีกด้วย) เป็นจำนวนรวมทั้งสิ้น 2,552,855 หลังคาเรือน คิดเป็น ที่อยู่อาศัย 1 หลังคาเรือนต่อจำนวนประชากรจำนวน 2.22 คนเท่านั้น ซึ่งปัจจุบันจำนวนสมาชิกในครัวเรือนมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้การอยู่อาศัยแบบครอบครัวขยายแบบเดิมนั้น (ครัวเรือนที่มีสมาชิกมากกว่า 4 คนขึ้นไป และมีจำนวนหลายครอบครัวอยู่ในบ้านที่อยู่อาศัยเดียวกัน ซึ่งเป็นลักษณะของครัวเรือนในชนบท) มี

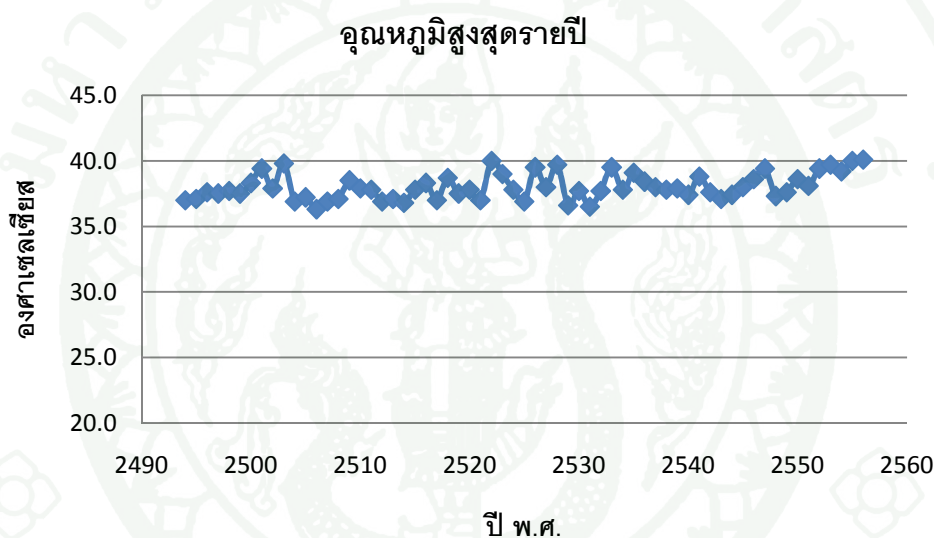
แนวโน้มที่ปรับเปลี่ยนเป็นครอบครัวเดี่ยวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากประชากรมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบวิถีชีวิต และความจำเป็นในการอยู่อาศัยแบบบ้านเดี่ยวลดลงและการดำเนินชีวิตแบบเร่งรีบโดยการย้ายถิ่นฐานไปอยู่อาศัยในอาคารชุดประเภทคอนโดมิเนียมในเขตเมืองเพิ่มมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตดังกล่าวก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนในเขตเมือง ที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กับปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นในกรุงเทพมหานครด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 14

จำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ.2538 ดังภาพที่ 14 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นลักษณะของสมการเส้นตรง และมีการลดลงอย่างรวดเร็วอย่างผิดปกติในปี พ.ศ.2547 และมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องมากกว่า 2 เท่า จากการเพิ่มขึ้นของประชากรในปี พ.ศ.2538 จนถึงปี พ.ศ.2546 เมื่อพิจารณาในข้อมูลของจำนวนบ้านเรือนที่อยู่อาศัยในกรุงเทพมหานครนั้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนบ้านเรือนยังมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในกรุงเทพมหานคร ซึ่งการเพิ่มขึ้นของประชากรยังมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอาคารบ้านเรือนในปริมาณที่เล็กน้อย และพบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 เป็นต้นมาจนถึงปี พ.ศ.2555 การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรกรุงเทพมหานครอยู่ในปริมาณที่สูงมาก เมื่อมีการเปรียบเทียบกับ การเพิ่มขึ้นของจำนวนบ้านเรือนในกรุงเทพมหานครอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของจำนวนบ้านเรือน ต่ออุณหภูมิอากาศที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้น จำนวนบ้านเรือนในกรุงเทพมหานคร มีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มมากขึ้นของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายปีของกรุงเทพมหานคร โดยอุณหภูมิอากาศนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีจำนวนบ้านเรือนที่เพิ่มมากขึ้นไปด้วยเช่นกัน ซึ่งยังมีความสัมพันธ์ไปถึงจำนวนประชากรอีกด้วย คือ จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศ และความร้อนในกรุงเทพมหานครเพิ่มสูงขึ้น โดยความสัมพันธ์ของทั้งสามปัจจัยนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

สำหรับข้อมูลอุณหภูมิรายปีจากภาพที่ 15 กรุงเทพมหานครได้มีการบันทึกข้อมูลไว้ที่สถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยากรุงเทพ ปัจจุบันอยู่ในบริเวณสวนสาธารณะเบญจกิติ ซึ่งเดิมเป็น “สถานีตรวจอากาศกรุงเทพ” ตั้งอยู่ในบริเวณของกรมอุตุนิยมวิทยาในขณะนั้นโดยก่อนหน้าที่จะโอนมาอยู่ในสังกัดกรมอุตุนิยมวิทยานั้น แต่เดิมสังกัด กองอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ตั้งอยู่บริเวณถนนสุขุมวิท โดยได้เริ่มทำการเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา มาตั้งแต่ปี

พ.ศ.2494 จนถึงปี พ.ศ.2532 เป็นระยะเวลาต่อเนื่องถึง38 ปี แต่เนื่องจากสถานที่เดิมมีความคับแคบ จึงได้ทำการย้ายสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยากรุงเทพไปตั้งอยู่บริเวณกรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพแห่งใหม่ บริเวณ ถนนสุขุมวิท เขตบางนา ละติจูด $13^{\circ}39'58.56''$ องศาเหนือ ลองจิจูด $100^{\circ}36'24.93''$ องศาตะวันออก เป็นหน่วยงานในสังกัดกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสารซึ่งมีระยะเวลาการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มดำเนินการในสถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพแห่งใหม่จนถึงปัจจุบันเป็นระยะเวลา 25 ปี ซึ่งทำให้การเก็บข้อมูลสถานีกรุงเทพมหานครมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 62 ปี (ปัจจุบันปี พ.ศ.2557 มีการเก็บข้อมูลยังไม่ครบ 1 ปี) ดังผลการศึกษาดารงที่ 5 และภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุด ในช่วงเวลา62ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2494 - 2556 ของ กรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2557)

อุณหภูมิสูงสุดของปีในรอบ 62 ปี (extreme high temperature) ของกรุงเทพมหานครจากการเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ในปี พ.ศ.2494 นั้นอุณหภูมิสูงสุด (extremehigh temperature) นั้น มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าใน ปีพ.ศ. 2556 เป็นช่วงปีที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ40.1 องศาเซลเซียส และเป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อช่วงเวลาผ่านไปการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกๆ ปี ซึ่งปริมาณอุณหภูมิสูงที่สุดในปี พ.ศ. 2556 มีความแตกต่างจาก อุณหภูมิเมื่อปี พ.ศ.2494 ซึ่งปัจจุบันจากปี พ.ศ. 2494 – 2557 รวม

ระยะเวลา 62 ปี มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 3.1 องศาเซลเซียสและการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา

จากผลการศึกษาในเรื่องอุณหภูมิและความร้อนที่ใช้ในการออกแบบการวางผังเมือง เพื่อการอยู่อาศัยของมนุษย์นั้น สมลิตี (2541) กล่าวว่า มนุษย์มีเขตภาวะน่าสบาย (comfort zone) มนุษย์ต้องการระดับอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 22.0-29.5 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้อุณหภูมิของร่างกายของมนุษย์มีอุณหภูมิไม่มากกว่า และไม่น้อยกว่า 37.0 องศาเซลเซียส หมายถึง ภาวะร่างกายที่มีความสมดุลของน้ำอยู่ โดยไม่มีการสูญเสียผ่านกระบวนการต่างๆ ซึ่งร่างกายมีกระบวนการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในภาวะสมดุลของร่างกาย จากข้อมูลอุณหภูมิของจังหวัดกรุงเทพมหานครดังตารางที่ 5 นั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของจังหวัดกรุงเทพมหานครมีค่าเท่ากับ 38.6 องศาเซลเซียส และอุณหภูมียังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยนั้น มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิร่างกายที่ 37.0 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดภาวะไม่น่าสบายในการอยู่อาศัยของประชากรในกรุงเทพมหานคร จึงจำเป็นต้องมีการหาวิธีการลดปริมาณความร้อนในเขตเมืองให้ได้มากยิ่งขึ้นเพื่อให้ปริมาณความร้อนในเขตเมืองลดลง

ปัจจุบันมนุษย์อาศัยวิธีการแก้ปัญหาความร้อนในพื้นที่ต่างๆ ด้วยการใช้พื้นที่สีเขียว (green area) ในการลดความร้อนที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ผิว ซึ่งจากรายงานผลการศึกษาล่าสุดพบว่า พื้นที่สีเขียวสามารถลดความร้อนในอุณหภูมิอากาศที่เกิดขึ้นได้จริง โดยอาศัยการใช้หลักการคายระเหยของพืชเข้ามามีส่วนร่วมช่วยเพิ่มความชื้นในชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะช่วยลดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนสุทธิตกจากดวงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศ ภายหลังจากที่มีบางส่วนสะท้อนออกไปยังชั้นบรรยากาศนอกโลกแล้ว พลังงานความร้อนที่สะสมอยู่บนพื้นผิวโลกนั้น มีเพียง 2 ชนิดหลัก คือ

1. ความร้อนน้ำระเหย (latent Heat; LE) หมายถึง ปริมาณของพลังงานความร้อนแฝงที่ทำให้สสารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

2. ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible Heat; H) หมายถึง ปริมาณของพลังงานความร้อนที่ต้องการของวัตถุในการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนภายในสสาร โดยที่สสารจะไม่เปลี่ยนสถานะ แต่ทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ตารางที่ 5 อุณหภูมิสูงสุดรายปี (extreme high temperature) ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2494 -2556
รวม 62 ปี ของกรุงเทพมหานคร

ปี	พ.ศ.	อุณหภูมิ สูงสุด	ปี	พ.ศ.	อุณหภูมิ สูงสุด	ปี	พ.ศ.	อุณหภูมิ สูงสุด	ปี	พ.ศ.	อุณหภูมิ สูงสุด
1	2494	37.0	17	2510	37.9	33	2526	39.5	49	2542	37.6
2	2495	37.1	18	2511	37.8	34	2527	38.0	50	2543	37.1
3	2496	37.6	19	2512	36.9	35	2528	39.7	51	2544	37.4
4	2497	37.5	20	2513	37.1	36	2529	36.6	52	2545	38.0
5	2498	37.7	21	2514	36.8	37	2530	37.7	53	2546	38.6
6	2499	37.5	22	2515	37.8	38	2531	36.5	54	2547	39.4
7	2500	38.3	23	2516	38.3	39	2532	37.7	55	2548	37.3
8	2501	39.4	24	2517	37.0	40	2533	39.5	56	2549	37.6
9	2502	37.9	25	2518	38.7	41	2534	37.8	57	2550	38.6
10	2503	39.8	26	2519	37.5	42	2535	39.1	58	2551	38.1
11	2504	36.9	27	2520	37.8	43	2536	38.4	59	2552	39.4
12	2505	37.2	28	2521	37.0	44	2537	38.0	60	2553	39.7
13	2506	36.3	29	2522	40.0	45	2538	37.8	61	2554	39.2
14	2507	36.9	30	2523	39.0	46	2539	37.9	62	2555	40.0
15	2508	37.1	31	2524	37.8	47	2540	37.4	63	2556	40.1
16	2509	38.5	32	2525	36.9	48	2541	38.8	รวม	เฉลี่ย	38.6

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2557)

ความสำคัญของความร้อนจากรังสีสุทธิ (R_n) ความร้อนที่สำคัญในการกำหนดการเพิ่มขึ้นและการลดลงของอุณหภูมิในพื้นที่มี 2 ชนิดหลัก ได้แก่ ความร้อนน้ำระเหย (LE) และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ซึ่งพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนของความร้อนทั้งสองชนิดในปริมาณแตกต่างกันนั้น หมายถึง เมื่อปริมาณความร้อนน้ำระเหย (LE) มากกว่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) พื้นที่นั้นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า และในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่ที่มีปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มากกว่าค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) พื้นที่นั้นจะมีความร้อนสูงกว่าอีกพื้นที่หนึ่งๆ เสมอ ฉะนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นในเมือง จึงทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากค่าความร้อนน้ำระเหย หรือค่าความร้อนแฝง ต่อค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศซึ่งเรียกว่า “อัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio) ” นำมาใช้วิเคราะห์หาสมดุลความร้อน และ

สัดส่วนความร้อนที่เหมาะสม ในแต่ละพื้นที่ศึกษาเพื่อทำให้เกิดภาวะน่าสบายของมนุษย์ในเขตกรุงเทพมหานคร

การศึกษาสมดุลรังสีของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

พื้นที่เก็บข้อมูลรังสีสุทธิ (net radiation) ตั้งอยู่บริเวณภายในสนามฟุตบอล (สนามอินทรีภัยจันทร์สถิตย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เป็นพื้นที่เปิดโล่ง สิ่งแวดล้อมรอบข้างประกอบด้วยอาคารแบบโปร่งก่อสร้างด้วยวัสดุประเภทซีเมนต์ ตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตก และทิศตะวันออกของสนามฟุตบอล พื้นสนามเป็นพื้นหญ้า มีขนาดเท่ากับ 105 X 68 เมตร คิดเป็น 7,140 ตารางเมตร หรือ 4.46 ไร่ โดยพื้นลู่วิ่งรอบสนามฟุตบอลทำจากวัสดุประเภทดิน (พื้นที่ลู่วิ่งไม่ได้รวมอยู่ในพื้นที่สนามฟุตบอล) ผู้วิจัยทำการติดตั้งเครื่องมือ IRGAZON และ net radiometer ไว้กลางสนามฟุตบอลเพื่อให้ห่างจากสิ่งกีดขวาง และแสงเงาจากการบดบังของอาคาร ทำการเก็บข้อมูลรังสีที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ในช่วงฤดูร้อน โดยลักษณะภูมิอากาศในวันที่เก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษา มีลักษณะท้องฟ้ามีลักษณะโปร่งใส มีเมฆเล็กน้อย และไม่มีฝนตก ซึ่งชุดข้อมูลที่ทำกรเก็บได้จากเครื่องมือ net radiometer (NR - 01) ได้แก่ ข้อมูลรังสีคลื่นสั้นที่สะสมอยู่ที่ผิวโลก (R_{sd}) รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศ (R_{su}) รังสีคลื่นยาวที่สะสมอยู่ที่ผิวโลก (R_{ld}) และรังสีคลื่นยาวที่สะท้อนสู่ชั้นบรรยากาศ (R_{lu}) เพื่อหาค่ารังสีสุทธิ (R_n) ที่โลกได้รับจากจากแผ่รังสี (re-radiate) จากแสงอาทิตย์ (ตารางที่ 5)

การศึกษาสมดุลรังสี บริเวณสนามฟุตบอล (สนามอินทรีภัยจันทร์สถิตย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน พื้นดินมีลักษณะเป็นสนามหญ้า มีสภาพอากาศที่มีลักษณะท้องฟ้าเปิด มีเมฆเล็กน้อย มีแสงแดดตลอดทั้งวัน การศึกษาวิจัยทำการเก็บข้อมูลสมดุลรังสีในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 น. เป็นจำนวน 12 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า รังสีดวงอาทิตย์รวมที่ได้เข้าจากชั้นบรรยากาศรวมทั้งที่มีการสะท้อนออกไปในชั้นบรรยากาศ ($R_{sd}+R_{su}+R_{ld}+R_{lu}$) คิดเป็นพลังงานความร้อนเท่ากับ 1,455.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ต่อวัน



ภาพที่ 16 การศึกษารังสีสุทธิ (net radiation) บริเวณสนามฟุตบอล (สนามอินทรีชัยจันทร์สถิตย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

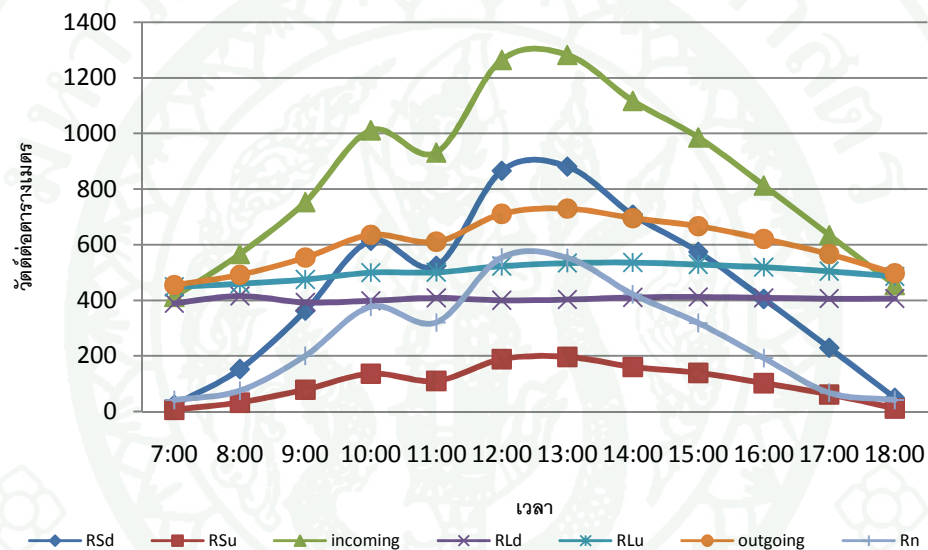
ตารางที่ 6 สมดุลรังสีของกรุงเทพมหานคร ในวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ.2557

ลำดับ	Times	R_{Sd}	R_{Su}	incoming				R_n	Total Radiation		
				R_{Ld}	R_{Lu}	outgoing	W/m^2		W/m^2	Cal/cm^2	$Cal/min/cm^2$
1	7:00	23.9	6.4	412.6	388.7	448.3	454.7	42.0	412.6	0.6	35.4
2	8:00	151.9	32.2	566.9	415.0	459.3	491.5	75.5	566.9	0.8	48.6
3	9:00	362.0	78.3	753.7	391.7	475.1	553.4	200.4	753.8	1.1	64.7
4	10:00	613.6	135.6	1,011.6	398.0	499.6	635.2	376.4	1,011.7	1.5	86.8
5	11:00	523.0	109.8	931.3	408.3	500.9	610.7	320.5	931.2	1.3	79.9
6	12:00	865.4	187.8	1,264.9	399.5	523.3	711.1	553.7	1,264.9	1.8	108.5
7	13:00	880.2	196.2	1,282.4	402.2	533.8	730.0	552.5	1,282.5	1.8	110.0
8	14:00	707.4	159.9	1,117.4	410.0	536.0	695.9	421.5	1,117.4	1.6	95.9
9	15:00	573.7	138.4	985.5	411.8	528.6	667.0	318.4	985.5	1.4	84.6
10	16:00	404.5	101.6	813.1	408.6	519.3	620.9	192.2	813.1	1.2	69.8
11	17:00	228.8	61.1	634.3	405.5	505.0	566.1	68.1	634.3	0.9	54.4
12	18:00	49.2	11.3	455.2	406.0	485.9	497.2	42.1	455.2	0.7	39.1
รวม		5,383.6	1,218.7	10,228.9	4,845.4	6,015.2	7,233.7	2,995.1	10,229.1	14.6	877.7
เฉลี่ย		448.6	101.6	852.4	403.8	501.3	602.8	249.6	852.4	1.2	73.1

พลังงานความร้อนจากรังสีที่สะสมไว้ที่ผิวโลกทั้งหมด (incoming solar radiation) เท่ากับ 852.4 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวันเช่นกันหรือคิดเป็น 877.7 แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่ออนาที และมีค่าพลังงานความร้อนสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 852.4 วัตต์ต่อตารางเมตร และพลังงานจากความร้อน

ที่สะท้อนกลับไปยังชั้นบรรยากาศนอกโลก มีค่าเท่ากับ 602.8 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน หรือเท่ากับ 620.6 แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที่ มีปริมาณรังสีสุทธิ (R_n) เท่ากับ 249.6 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ เท่ากับ 256.9 แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที่ดังตารางที่ 6 ภาพที่ 17

ในวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2557 จากภาพที่ 17 พบว่า ค่ารังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาวในเท่ากับช่วงเวลา 11.00 น. มีการลดลงอย่างผิดปกติ เนื่องจากมีค่าเมฆปกคลุม (cloud cover) อยู่ในปริมาณที่สูง ทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าลดต่ำลงในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจากมีอากาศแปรปรวนเล็กน้อยเป็นเวลา 30 นาที สภาพอากาศจึงกลับมาสู่ภาวะปกติในเวลา 12.00 น.



ภาพที่ 17 สมดุลรังสี บริเวณพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาสมดุลรังสี ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่สามารถสะสมอยู่ในพื้นผิวโลกได้ โดยคาดหมายว่า รังสีความร้อนสุทธิ (net radiation) บนพื้นที่ผิวที่มีความแตกต่างกัน จะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยกำหนดพื้นที่ไว้ 5 รูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) โดยทำการเลือกข้อมูลที่มีค่าการสะสมความร้อนสูงสุดเพื่อเปรียบเทียบในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน โดยเริ่มจากการพิจารณาค่าของอุณหภูมิของแต่ละพื้นที่ศึกษา และในแต่ละช่วงเวลาทั้งช่วงเวลาก่อนเที่ยงวัน และช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในช่วงที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อุณหภูมิ ในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		C100% G0%	C75% G25%	C50% G50%	C25% G75%	C0% G100%
1	07.00	25.1	26.6	26.5	25.5	25.3
2	08.00	25.9	28.3	28.0	27.1	26.7
3	09.00	28.3	31.5	29.8	28.7	28.2
4	10.00	30.8	32.7	32.5	30.5	29.6
5	11.00	31.9	33.5	33.3	31.8	30.2
6	12.00	33.4	35.7	34.4	33.0	31.4
เฉลี่ยราย 6 ชั่วโมง		29.2	31.4	30.8	29.4	28.6
7	13.00	34.3	35.6	35.6	33.5	32.1
8	14.00	34.6	36.2	34.5	34.1	33.2
9	15.00	35.3	32.5	32.1	34.7	33.4
10	16.00	33.6	34.2	32.4	34.8	33.7
11	17.00	33.3	34.9	31.4	24.5	33.6
12	18.00	32.2	34.6	30.7	25.2	33.0
เฉลี่ยราย 6 ชั่วโมง		33.9	34.7	32.8	31.1	33.2
เฉลี่ยราย 12 ชั่วโมง		31.6	33.0	31.8	30.3	30.9
ค่าพิสัย		10.2	9.6	9.1	10.3	8.4

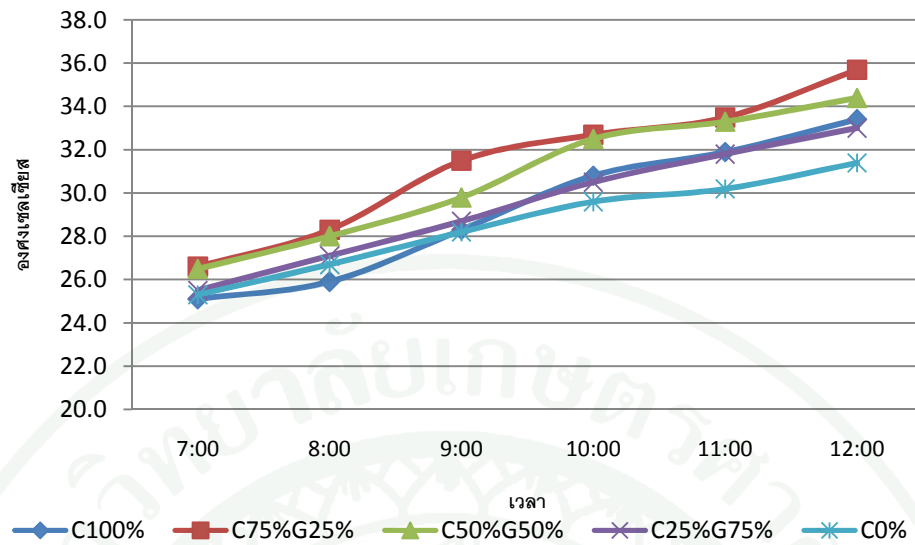
ช่วงเวลา

1. คุณหมุมิช่วงเวลาก่อนเที่ยง (07.00-12.00น.)

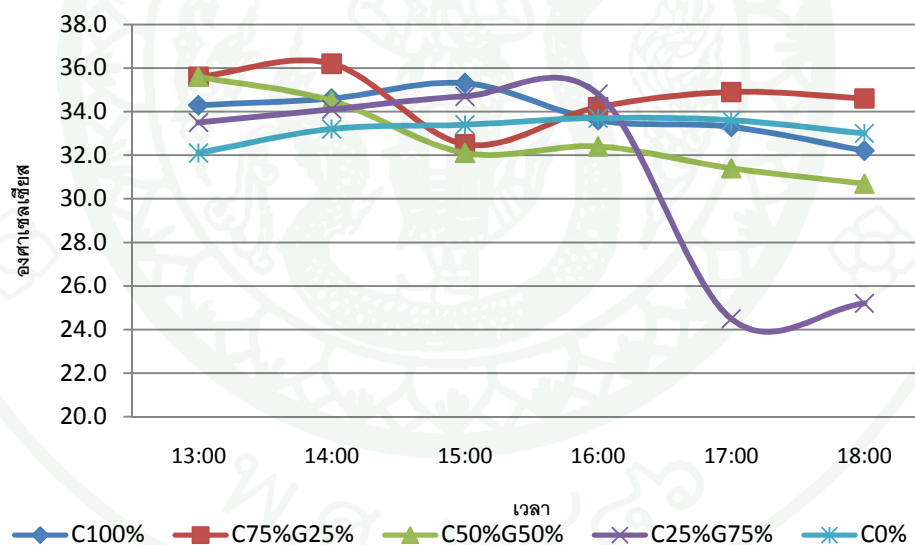
เป็นช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ และพื้นผิวเริ่มสะสมความร้อนเก็บไว้ที่พื้นดิน คุณหมุมิอากาศเฉลี่ยในพื้นที่ช่วง 6 ชั่วโมงคุณหมุมิมิแนวโน้มลดลง โดยพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) มีค่าเฉลี่ยคุณหมุมิเท่ากับ 29.2 องศาเซลเซียสพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.4 องศาเซลเซียสพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.8 องศาเซลเซียสพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 องศาเซลเซียสและพื้นที่สีเขียว 100% พื้นที่สีเขียว 0% (G100%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.6 องศาเซลเซียสซึ่งลดลงตามลำดับความสัมพันธ์ของจำนวนพื้นที่ซีเมนต์ ที่ลดลง และพื้นที่สีเขียวที่เพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 18 (ข)

2. คุณหมุมิช่วงเวลากลางเที่ยง (13.00-18.00 น.)

เป็นช่วงเวลาที่มีพื้นดินสะสมความร้อนในระดับหนึ่งและเริ่มมีการอิมตัว โดยคุณหมุมิเฉลี่ยในช่วงบ่ายเป็นค่าเฉลี่ยของคุณหมุมิราย 6 ชั่วโมงซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าคุณหมุมิเฉลี่ยในช่วงเวลาก่อนเที่ยง โดยในพื้นที่ประเภทต่างๆ มีค่าคุณหมุมิเฉลี่ยดังต่อไปนี้ พื้นที่ซีเมนต์ 100% (C100% G0%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 33.9 องศาเซลเซียสพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 34.7 องศาเซลเซียส พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 32.8 องศาเซลเซียสพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.3 องศาเซลเซียสและพื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) มีคุณหมุมิเฉลี่ยเท่ากับ 30.9 องศาเซลเซียส โดยคุณหมุมิเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่จะมีความใกล้เคียงกัน เป็นที่น่าสังเกตว่า หากมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนคุณหมุมิจะมีแนวโน้มลดลงตามพื้นที่สีเขียวที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน



(ก) ช่วงก่อนเที่ยงวัน 07.00 – 12.00 น.



(ข) ช่วงหลังเที่ยงวัน 13.00 – 18.00 น.

ภาพที่ 18 อุณหภูมิราย 6 ชั่วโมงของพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลาก่อนและหลังเที่ยงวัน

หมายเหตุ ช่วงหลังเที่ยง พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%) ในช่วงเวลา 17.00-18.00 น. มีฝนตกหนัก

3. ภาพรวมอุณหภูมิรายวัน

ในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น พลังงานความร้อนเริ่มไปสะสมอยู่ในวัตถุทั้งพื้นดิน และวัตถุคาดแข็งประเภทต่างๆ โดยที่ผิวโลกเริ่มสะสมความร้อนเกินเวลา 6 - 7 ชั่วโมง พลังงานความร้อนถูกปลดปล่อยออกเมื่อเกินความสามารถในการสะสมความร้อน (heatcapacity) ของวัตถุแต่ละประเภทพร้อมกับการลดลงของแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาเย็น

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงสุด (peak) ในช่วงเวลา 13.00-16.00 น. ในพื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) นั้น มีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 น. มีค่าเท่ากับ 35.5 องศาเซลเซียส พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 36.2 องศาเซลเซียส พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) อุณหภูมิสูงสุดในเวลา 13.00 น. มีค่าเท่ากับ 35.6 องศาเซลเซียส พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 34.8 องศาเซลเซียส และพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 33.7 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นค่าอุณหภูมิจะเริ่มลดลงไปจนถึงในช่วงเวลาที่แสงจากดวงอาทิตย์เริ่มลดน้อยลง ช่วงหลังจากเวลา 16.00 น. เป็นต้นไป

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของพื้นที่สีเขียว 100% พื้นที่ซีเมนต์ 0% (C0%G100%) มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับในแต่ละประเภทของพื้นที่ศึกษา และในพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) อุณหภูมิมีแนวโน้มที่มีปริมาณลดลงต่ำกว่าในพื้นที่สัดส่วนประเภทอื่นๆ

โดยสรุปอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำที่สุดในรายวันของแต่ละพื้นที่ในช่วงเวลาก่อนเที่ยงวัน และช่วงเวลาหลังเที่ยงวันมีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ ดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ซีเมนต์ 100% และพื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 10.2 องศาเซลเซียส

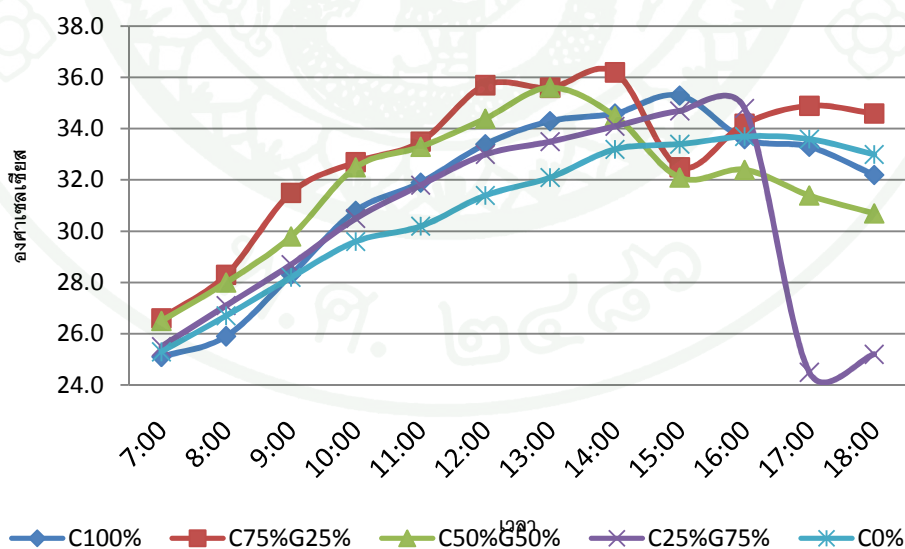
2. พื้นที่ซีเมนต์ 75% และพื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 9.6 องศาเซลเซียส

3. พื้นที่ซีเมนต์ 50% และพื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 9.1 องศาเซลเซียส

4. พื้นที่ซีเมนต์ 25% และพื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 9.3 องศาเซลเซียส

5. พื้นที่ซีเมนต์ 0% และพื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 8.4 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพบว่า ค่าพิสัย (range) หรือระยะห่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดของแต่ละพื้นที่ จะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเข้าไปในพื้นที่ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจะแปรผกผันกับปริมาณพื้นที่สีเขียว คือ เมื่อเพิ่มปริมาณพื้นที่สีเขียวเข้าไปในทุกๆ พื้นที่ ค่าของอุณหภูมิมิแนวโน้มลดลงตามลำดับอย่างมีนัยยะสำคัญ



ภาพที่ 19 อุณหภูมิ ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น. ของพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลมีค่าความผิดปกติในช่วงเวลา 15.00 น. ของพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) และพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%) เนื่องจากมีฝนตกเล็กน้อย ทำให้อุณหภูมิมีค่าลดลง และในพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%) ช่วงเวลา 17.00 -18.00 น. มีฝนตกหนักเป็นระยะเวลา 45 นาที จึงทำให้ความชื้นในอากาศเพิ่มสูงขึ้น และอุณหภูมิอากาศมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว

ความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อนต่อรังสีสุทธิ

พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะสมบนโลกมีอยู่หลายประเภท แต่ที่ถูกลำดับไปใช้เป็นพลังงานความร้อนหลักมีอยู่เพียง 2 ประเภทเท่านั้นคือความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible Heat; H) และความร้อนน้ำระเหย (latent heat; LE) ซึ่งในพื้นที่ศึกษาได้ให้ความสำคัญกับพลังงานความร้อนทั้งสองชนิด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบในเชิงปริมาณในแต่ละพื้นที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H)

ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) บนพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) มีค่าสูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 15.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 112.0 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าความร้อนเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 63.5 วัตต์ต่อตารางเมตร

พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 156.6 วัตต์ต่อตารางเมตรในเวลา 12.00 น. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.7 วัตต์ต่อตารางเมตร

พื้นที่ ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) มีค่าความร้อนเผาผลาญอากาศ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 144.4 วัตต์ต่อตารางเมตรในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.1วัตต์ต่อตารางเมตร

พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 163.6 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.1 วัตต์ต่อตารางเมตร

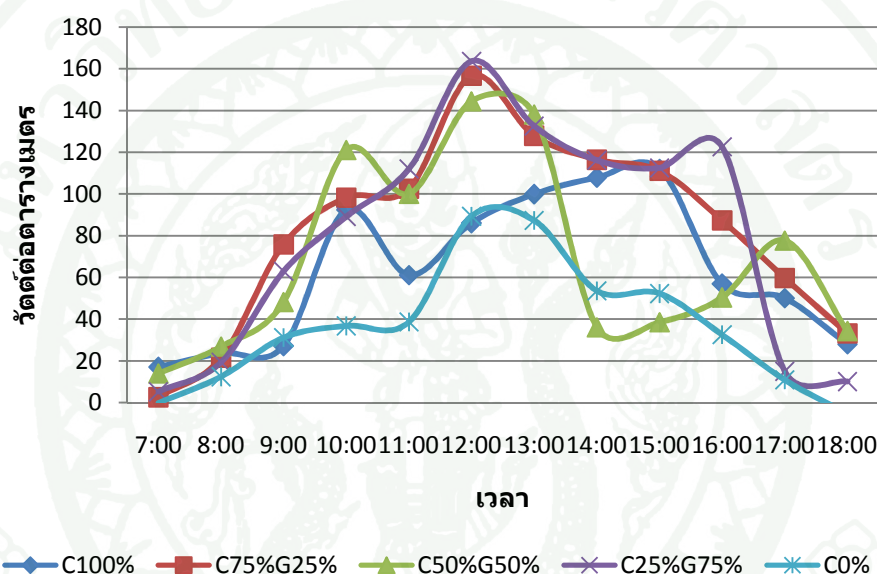
พื้นที่ซีเมนต์ 0% หรือพื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) นั้น มีค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.3 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.6 วัตต์ต่อตารางเมตร

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ส่วนใหญ่มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศของ 4 พื้นที่ศึกษานั้น เริ่มมีค่าลดลงในช่วงหลังเวลา 12.00 น. เป็นต้นไป ซึ่งแตกต่างกับพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) มีค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) อยู่ในช่วงเวลา 15.00 น. เพียงพื้นที่เดียว อาจกล่าวได้ว่า ในช่วงเวลา 7.00 – 14.00 น. ของพื้นที่ เป็นช่วงเวลากการสะสมความร้อนบนพื้นที่ผิวซีเมนต์ และเมื่อพื้นผิวเริ่มมีการอิมตัวจึงมีการคายพลังงานความร้อนออกจากวัตถุ ดังตารางที่ 8 ภาพที่ 20

ตารางที่ 8 ปริมาณความร้อนน้ำที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible heat : H) ในช่วงเวลา 07.00 – 18.00 น. ของพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	เวลา	sensible heat (H) W/m ²				
		C100% G0%	C75% G25%	C50% G50%	C25% G75%	C0%G100%
1	07.00	17.0	2.6	14.0	5.2	-0.1
2	08.00	23.7	21.5	26.9	19.3	12.4
3	09.00	27.1	75.8	48.2	62.9	31.2
4	10.00	92.4	98.2	121.1	89.2	36.8
5	11.00	61.1	102.5	100.1	112.0	38.7
6	12.00	86.0	156.6	144.4	163.6	89.3
7	13.00	99.8	127.9	138.1	132.6	87.3
8	14.00	107.8	116.4	36.1	116.2	53.6
9	15.00	112.0	111.1	38.6	112.5	52.3
10	16.00	56.9	87.3	50.3	122.6	32.6
11	17.00	50.1	59.7	77.7	15.0	10.9
12	18.00	28.0	33.2	34.2	10.1	-5.4
ค่าเฉลี่ย		63.5	82.7	69.1	80.1	36.6

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) เฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ พบว่า ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศมีลักษณะไม่แน่นอน แต่ค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวเข้าไปเพิ่มในพื้นที่โดยจะเห็นได้จาก พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) มีค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 63.5 วัตต์ต่อตารางเมตร และพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) มีค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศเท่ากับ 36.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีความร้อนแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ ถึง 26.9 วัตต์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 20 ค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (H) ตามลักษณะพื้นที่ศึกษา

ความร้อนน้ำระเหย (LE)

พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) มีค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) สูงสุด ในช่วงเวลา 14.00 น. เฉลี่ยเท่ากับ 73.5 วัตต์ต่อตารางเมตร จะเห็นว่าปริมาณพลังงานความร้อนน้ำระเหยนั้นอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าพื้นที่สัดส่วนประเภทอื่นๆ เนื่องจากสภาพพื้นผิวเป็นซีเมนต์ เมื่อไม่สามารถเก็บไว้ที่พื้นผิวได้ จึงมีการสะท้อนความร้อนออกไปสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้ไม่เกิดความชื้น และไอน้ำบริเวณพื้นผิว และความชื้นในช่วงมีแสงอาทิตย์นั้น จะเริ่มมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเริ่มมีแสงแดดในช่วงเวลา 7.00 น. มีค่าเท่ากับ 4.1 วัตต์ต่อตารางเมตร และเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 14.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ -9.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 9 ภาพที่ 21

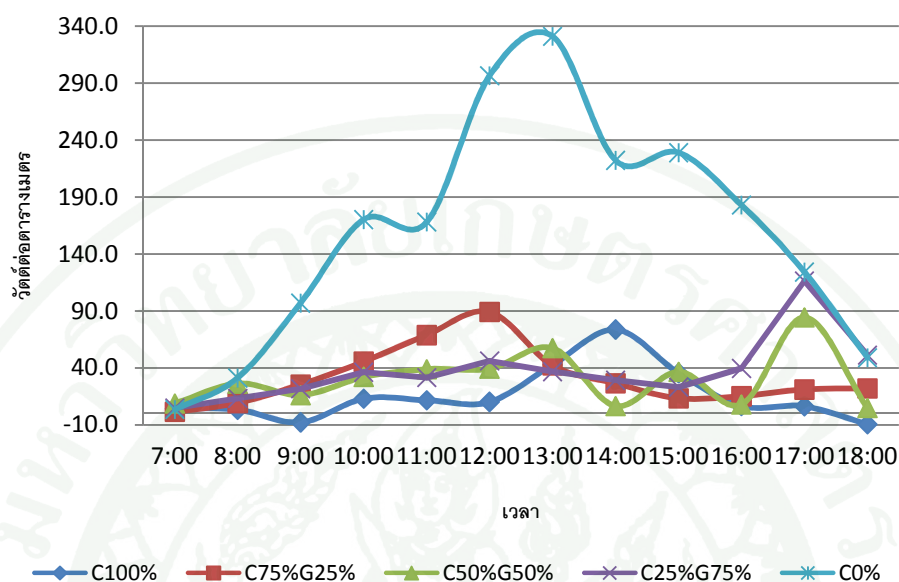
หลังจากนั้นค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเวลากลางคืน หรือในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในเช้าวันรุ่งขึ้นเป็นวัฏจักรต่อเนื่อง ในช่วงเวลากลางคืนความร้อนน้ำระเหยในบรรยากาศมีการเคลื่อนตัวจากบรรยากาศลงสู่พื้นดินเนื่องจาก ความร้อนน้ำระเหยมีความชื้นมาก ทำให้มีน้ำหนักมากกว่า และเกิดการควบแน่นจึงทำให้เกิดหยด น้ำในเวลากลางคืนได้และอากาศจะลอยต่ำๆ อยู่ที่ผิวดิน จึงทำให้ในเวลากลางคืนมีปริมาณ ความชื้นมากกว่าในเวลากลางวัน และทำให้ค่าความร้อนน้ำระเหยมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลาอื่นๆ

ตารางที่ 9 ปริมาณความร้อนน้ำระเหย (latent heat : LE) ตามช่วงเวลา และตามลักษณะ พื้นที่ศึกษา

ลำดับ	เวลา	latent heat (LE) W/m ²				
		C100%G0%	C75% G25%	C50% G50%	C25% G75%	C0%G100%
1	07.00	4.1	1.5	8.8	4.8	3.5
2	08.00	3.3	9.2	26.2	13.3	31.1
3	09.00	-8.0	25.3	16.0	21.6	96.8
4	10.00	13.0	45.4	31.9	36.1	170.2
5	11.00	11.6	68.7	38.9	31.5	168.1
6	12.00	10.0	89.1	39.2	46.2	296.4
7	13.00	42.8	42.1	57.3	36.7	331.0
8	14.00	73.5	26.4	6.5	29.1	222.1
9	15.00	35.3	13.3	36.5	23.0	228.9
10	16.00	6.5	15.1	7.9	39.5	182.9
11	17.00	6.3	21.0	84.3	116.2	124.1
12	18.00	-9.6	21.9	4.9	51.1	49.0
ค่าเฉลี่ย		15.7	31.6	29.9	37.4	158.7

พื้นที่ผิวซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) สูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าเท่ากับ 89.1 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าความร้อนน้ำระเหย สูงกว่าบนพื้นที่ผิวซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) และค่าความร้อนน้ำระเหยเริ่ม ลดลงในช่วงเวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) มีค่าความร้อนน้ำระเหยเท่ากับ 57.3 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 13.00 น.



ภาพที่ 21 ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ตามลักษณะพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีค่าความร้อนน้ำระเหยเท่ากับ 46.2 วัตต์ต่อตารางเมตรในช่วงเวลา 12.00 น.

พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) ในช่วงเวลา 13.00 น. มีค่าความร้อนน้ำระเหยเพิ่มในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน เท่ากับ 331.0 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าพลังงานความร้อนน้ำระเหยเฉลี่ยสูงกว่าในทุกพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว (100% G100%) มีค่าความร้อนน้ำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 158.7 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) ค่าความร้อนน้ำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 37.4 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) มีค่าความร้อนน้ำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 29.9 วัตต์ต่อตารางเมตร พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีค่าความร้อนน้ำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 31.6 วัตต์ต่อตารางเมตร และพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) มีค่าความร้อนน้ำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 15.7 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งปริมาณความร้อนน้ำระเหยจะลดน้อยลงเมื่อมีปริมาณพื้นที่ซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น

ความสัมพันธ์ของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) และความร้อนน้ำระเหย(LE)

ความร้อนหลักที่เกิดจากรังสีสุทธินั้น ประกอบไปด้วย ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ความร้อนน้ำระเหย (LE) ความร้อนที่สะสมในดินหรือไหลลงสู่พื้นดิน (G) ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการหายใจ (M) และความร้อนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Ps) ซึ่งค่าความร้อนที่ได้กล่าวมานี้ ค่าความร้อนที่สะสมในดินหรือไหลลงสู่พื้นดิน (G) ถูกสะสมอยู่เพียงเล็กน้อยนั้น เนื่องจากพื้นผิวส่วนใหญ่ในเขตเมือง เป็นพื้นผิวประเภทคอนกรีต ค่าความร้อนไม่สามารถซึมผ่านได้ ความร้อนถูกสะท้อนอยู่ในบรรยากาศ และจะสะสมไว้ในพื้นที่ผิวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณ

ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการร่างกาย (M) ในเขตพื้นที่เมืองนั้น มีค่าน้อยมาก คือ อาจมีมากในเวลากลางวัน แต่จะไม่สะสมในเวลากลางคืน จึงไม่นำมาคำนวณร่วมกับข้อมูลรังสีสุทธิ (R_n) ของกรุงเทพมหานคร

ความร้อนอีกประเภทหนึ่ง คือ ความร้อนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งในเขตเมืองนั้นปริมาณต้นไม้หรือพื้นที่สีเขียวมีปริมาณน้อยมาก เพราะส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ซีเมนต์ และสิ่งก่อสร้าง ซึ่ง เกษม (2515) กล่าวไว้ว่า ค่าความร้อนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช อาจมีค่าความร้อนเพียง 1 เพอร์เซ็นต์เท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาร่วมกับสมการรังสีสุทธิ จึงสามารถประยุกต์สมการรังสีสุทธิในเขตเมือง คือ $R_n = LE + H$ หรือ ค่ารังสีสุทธิ เท่ากับ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ร่วมกับ ความร้อนน้ำระเหย (LE) ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความร้อนน้ำระเหย (LE) ความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และรังสีสุทธิ (R_n) ของพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%)

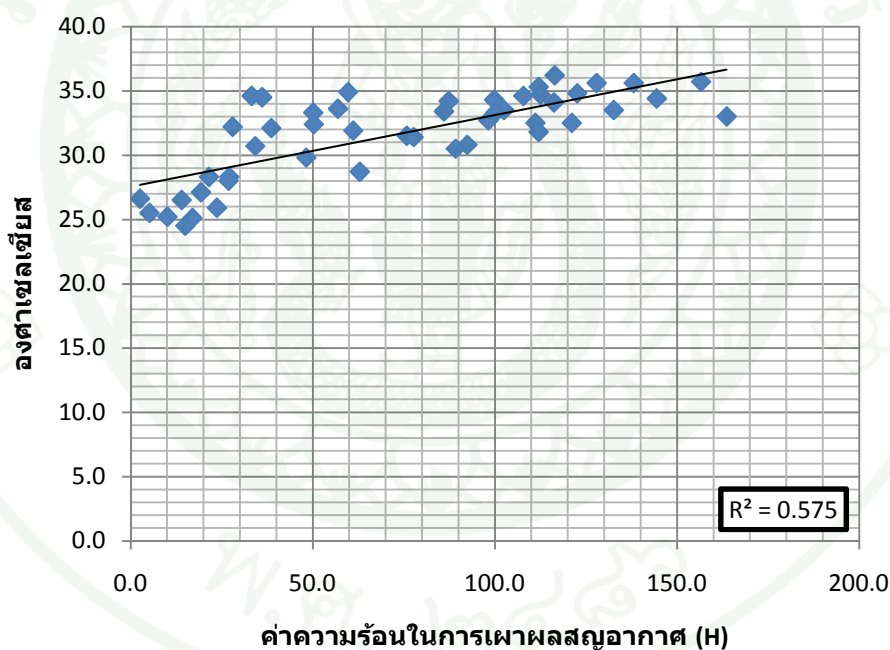
ลำดับ	เวลา	R_n	H	LE
		W/m ²		
1	7:00	3.6	0.1	3.5
2	8:00	43.5	12.4	31.1
3	9:00	128	31.2	96.8
4	10:00	207	36.8	170.2
5	11:00	206.8	38.7	168.1
6	12:00	385.6	89.3	296.4
7	13:00	418.2	87.3	331
8	14:00	275.7	53.6	222.1
9	15:00	281.2	52.3	228.9
10	16:00	215.5	32.6	182.9
11	17:00	135	10.9	124.1
12	18:00	43.6	5.4	49.0

ซึ่งพลังงานความร้อนหลักจากรังสีสุทธิ (net radiation) ประกอบไปด้วยความร้อน 2 ประเภท ได้แก่ ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H) และความร้อนน้ำระเหย(LE) ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อกัน ดังนี้เมื่อความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) ลดลง จะมีผลทำให้ความร้อนน้ำระเหย (LE) เพิ่มขึ้นด้วย โดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยยะสำคัญ และเมื่อความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) เพิ่มขึ้น จะทำให้ความร้อนน้ำระเหย (LE) ลดลง การศึกษาในครั้งนี้จึงทำการศึกษากภาวะที่ต้องการให้ความร้อนน้ำระเหยมีค่ามากกว่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ ซึ่งจากสมมติฐานดังกล่าวหากมีความร้อนน้ำระเหยมากกว่า ความร้อนในการเผาผลาญอากาศ จะทำให้พื้นที่ประเภทรูปนั้นๆ มีความเย็นเพิ่มขึ้นจากไอน้ำ หรือหากใช้พื้นที่สีเขียวในการช่วยลดปริมาณความร้อน ความเย็นที่เพิ่มขึ้นจะมากจากการคายระเหยของพืช หรือพื้นที่สีเขียว

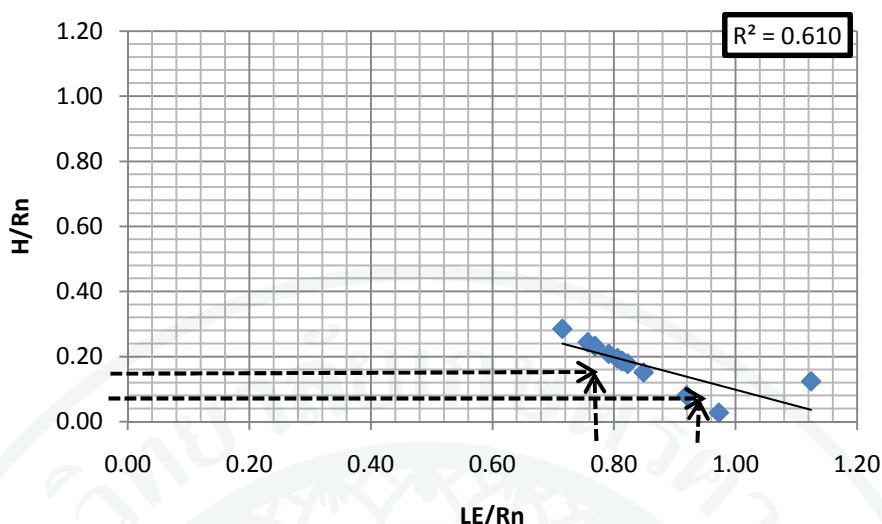
จากข้อมูลของค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ได้นำมาหาความสัมพันธ์ต่อรังสีสุทธิ จากข้อมูลความร้อนในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C100%G0%) เพื่อทำการพิสูจน์ค่าความร้อนหลักทั้งสองประเภท โดยคาดว่าความร้อนทั้งสองประเภทจะมีค่าแปรผกผันกัน เมื่อความร้อนน้ำระเหย (LE) เพิ่มขึ้น ความร้อนที่ใช้ในการ

เผาผลาญอากาศ (H) จะลดลง ในอัตราส่วนที่พอดีกัน จากภาพที่ 22 เพื่อหาความสัมพันธ์ โดยให้ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศส่วนค่ารังสีสุทธิ (H/R_n) และค่าความร้อนน้ำระเหยส่วนรังสีสุทธิ (LE/R_n) เพื่อให้รังสีสุทธิ (R_n) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความร้อนหลักทั้งสองประเภทจากภาพที่ 23 จึงสามารถสรุปได้ว่า “เมื่อค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศลดลง (H) ค่าความร้อนน้ำระเหยจะเพิ่มขึ้น (LE)”

จากการศึกษาข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) จากภาพที่ 22 และ 23 พบว่า ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศหากมีค่าเพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิอากาศจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย โดยที่มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร $R^2 = 0.572$ อยู่ในระดับสูง จึงสามารถสรุปได้ว่า “ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการเพิ่มของค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H)”



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศ และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H)



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ของความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และความร้อนน้ำระเหย (LE) จากปริมาณรังสีสุทธิ (R_n)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่ใช้การเผาผลาญอากาศ (H) ต่อค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) อัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio) และช่วงเวลา

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโบเวนต่อค่าความร้อน

ในช่วงเวลากลางวันระหว่างเวลา 07.00-18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่แสงอาทิตย์สามารถส่องลงสู่พื้นโลกได้โดยตรงและการทำมุมของโลกกับดวงอาทิตย์เป็นมุม 1 องศาถึง 180 องศาในแนวราบ ซึ่งแสงของดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ และเข้าใกล้อุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. โดยที่พื้นดินมีการเก็บสะสมพลังงานความร้อนในรูปของรังสีคลื่นสั้น (short waveradiation) และรังสีคลื่นยาว (long wave radiation) ทั้งที่สะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศ และสะสมอยู่ในวัตถุ โดยพื้นดินจะเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่ช่วงมีแสงจากดวงอาทิตย์ (ก่อนเที่ยง) จนถึงช่วงเวลาที่มีแสงจากดวงอาทิตย์หมดลงในช่วงพลบค่ำ ซึ่งการเก็บสะสมพลังงานโลกจะเก็บสะสมไว้ที่พื้นผิวของวัตถุ

โดยทั่วไปหากไม่มีสิ่งก่อสร้างแล้ว พลังงานความร้อนถูกใช้ในการระเหยน้ำที่อยู่ในบรรยากาศซึ่งความร้อนน้ำระเหย/ไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ทำให้พลังงานความร้อนในส่วนนี้มีค่าความร้อนลดลง หรือมีความเย็นเพิ่มมากขึ้น พลังงานความร้อนส่วนที่เหลือคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ

ซึ่งไม่ได้ใช้ในการระเหยน้ำในชั้นบรรยากาศ ซึ่งก็คือ ไม่มีการลดลงของความร้อน จึงทำให้ความร้อนในส่วนนี้มีค่าคงตัวไปตลอด จนกว่าจะได้นำมาใช้ในการระเหยน้ำในชั้นบรรยากาศ และความร้อนส่วนที่เหลือนี้ เมื่อพลังงานความร้อนในรูปของแสงอาทิตย์ตกลงสู่พื้นดิน พื้นดินจะเก็บสะสมไว้และมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาจากพื้นผิวเมื่อถึงจุดอิ่มตัว และจะมีการคายพลังงานความร้อนออกมาทำให้ความร้อนในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณความร้อนสูงกว่าในช่วงเวลาเช้าที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ และปริมาณความร้อนจะลดน้อยลงในช่วงเวลาเย็นก่อนพลบค่ำตามวัฏจักรการขึ้นลงของดวงอาทิตย์

ผลการศึกษาค่าความร้อนนั้น พบว่า ความร้อนน้ำระเหย (LE) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่มีระดับต่ำกว่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) เนื่องจากในช่วงเวลาเช้าต้นไม้ หรือพื้นที่สีเขียวมีการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการคายระเหยน้ำ (evaporation) ทำให้ในชั้นบรรยากาศช่วงก่อนมีแสงจากดวงอาทิตย์นั้น มีปริมาณความชื้นในอากาศสูงกว่าในช่วงเวลาอื่นซึ่งสังเกตได้จากหยดน้ำในช่วงเช้ามีด และจะเกิดการระเหยเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนน้ำระเหยเหล่านี้จะมีปริมาณน้อยกว่า ความร้อนที่ใช้การเผาผลาญอากาศ

ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ที่มากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 73.5 วัตต์ต่อตารางเมตร และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่าความร้อนมากที่สุดในช่วงเวลา 15.00 น. เท่ากับ 112.0 วัตต์ต่อตารางเมตร และอัตราส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ต่อความร้อนน้ำระเหยหรืออัตราส่วนโบเวน ในช่วงเวลาที่สูงที่สุด คือ 12.00 น. คิดเป็นค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่ามากกว่าความความร้อนน้ำระเหย (LE) ถึง 8.6 เท่า ซึ่งเป็นสัดส่วนความร้อนสูงที่สุดในสภาวะอากาศปกติ

ตารางที่ 11 อัตราส่วน Bowen ของพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%)
ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

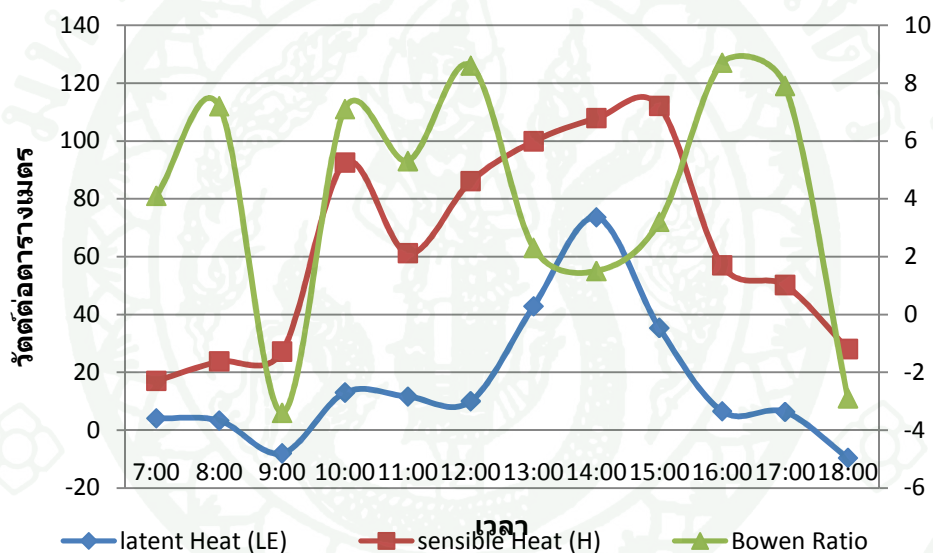
ลำดับ	เวลา	cement 100% green 0%		
		latent Heat (LE)	sensible Heat (H)	Bowen Ratio
1	07.00	4.1	17.0	4.1
2	08.00	3.3	23.7	7.2
3	09.00	-8.0	27.1	-3.4
4	10.00	13.0	92.4	7.1
5	11.00	11.6	61.1	5.3
6	12.00	10.0	86.0	8.6
7	13.00	42.8	99.8	2.3
8	14.00	73.5	107.8	1.5
9	15.00	35.3	112.0	3.2
10	16.00	6.5	56.9	8.7
11	17.00	6.3	50.1	7.9
12	18.00	-9.6	28.0	-2.9

กล่าวโดยสรุป คือ ความร้อนที่อยู่ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) นั้น มีการสะสมอยู่ในพื้นผิวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00 น. เป็นต้นไป ถึงช่วงพลบค่ำโดยที่ช่วงเวลา 18.00 น. ความร้อนน้ำระเหย (LE) มีแนวโน้มสูงขึ้น และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีแนวโน้มที่ลดลง อย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเวลาหนึ่งๆ คือ ความร้อนน้ำระเหยจะสูงขึ้นต่อเนื่องไปจนถึงชั่วโมงที่ 7 ในช่วงเวลา 14.00 น. และลดลงหลังจากช่วงเวลาดังกล่าว โดยมีค่าความร้อนน้ำระเหยอยู่ในระดับต่ำสุดในช่วงเวลา 07.00 น. เท่ากับ 4.1 วัตต์ต่อตารางเมตร และสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00 น. เท่ากับ 73.5 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณความร้อนน้ำระเหย (H) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 17.0 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเวลา 7.00 น. เช่นเดียวกับค่าปริมาณความร้อนน้ำระเหยแต่ค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศจะสูงขึ้นต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 9 และมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 15.00 น. มีค่าเท่ากับ 112.0 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีปริมาณสัดส่วนของความร้อนในการเผาผลาญอากาศ ต่อความร้อนน้ำระเหย เท่ากับ 4.1, 7.2, -3.4, 7.1, 5.3, 8.6, 2.3 1.5 3.2 และ 8.7 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับซึ่ง

อัตราส่วนโบเวนที่สูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 16.00 น. และอัตราส่วนโบเวนเริ่มลดลงในช่วงเวลา 16.00 น. จนถึงในเวลาที่ไม่มีแสงแดด โดยมีอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 7.9 และ -2.9 ตามลำดับ

ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ในช่วงเวลา 14.00 น. นั้นจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอัตราส่วนโบเวน คือ เป็นช่วงที่ค่าความร้อนน้ำระเหยมีค่าสูงที่สุด และอัตราส่วนโบเวนมีค่าต่ำที่สุดของช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน ซึ่งจากผลที่ได้จากการศึกษานี้ คือพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) นั้น จะมีค่าความร้อนอยู่ในปริมาณที่สูงและมีค่าความร้อนไม่แน่นอนตลอดช่วงวัน (มีความแปรปรวนของปริมาณความร้อนสูง) ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายนอกอื่นๆ เช่น กระแสลม ทิศทางลม และสภาวะความแปรปรวนของอากาศ เป็นต้นดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%)

สำหรับพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) นั้น มีพื้นที่ศึกษาอยู่ที่บริเวณลานสวนสนามภายในโรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศพื้นถิ่น (micro climate) เดียวกันกับพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยมีระยะทางห่างกัน 14.0 กิโลเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในสภาพภูมิอากาศ (homogenous climate) โดยในช่วงวัน และเวลาการเก็บข้อมูล สภาพอากาศมีลักษณะ ฟ้าโปร่ง มีเมฆเล็กน้อย บริเวณพื้นที่ในทิศเหนือ ทิศใต้ และ

ทิศตะวันตก ไม่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างกีดขวาง และในทิศตะวันออก มีแนวต้นไม้ตลอดแนว ห่างจากพื้นที่ศึกษา เป็นระยะทาง 30 เมตร จึงไม่ได้รับอิทธิพลจากอาคารสิ่งก่อสร้าง และแสงเงาจากวัตถุ

ผลการศึกษาในพื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ 75% และพื้นที่สีเขียว 25% (G75%C25%) พบว่า ความร้อนน้ำระเหย (LE) นั้นจะมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. (ไม่นับค่าในช่วงเวลา 17.00-18.00 น. เนื่องจากมีฟ้าครึ้ม เมฆมาก ใกล้เคียงสภาพอากาศที่มีฝน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 57.3 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าต่ำที่สุดในช่วงเวลา 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 6.5 วัตต์ต่อตารางเมตร (เนื่องจากมีสภาพอากาศแปรปรวนเล็กน้อย) ซึ่งหากไม่นำช่วงเวลาดังกล่าวมาพิจารณา พบว่า ในช่วงเวลา 07.00 น. จะมีปริมาณความร้อนน้ำระเหย (LE) ต่ำที่สุด คิดเป็นร้อยละ 8.8 วัตต์ต่อตารางเมตร เนื่องจากสภาวะก่อนมีแสงอาทิตย์นั้นมีความชื้นในบรรยากาศสูง พลังงานความร้อนในรูปแบบแสงอาทิตย์ที่ทำมุมเล็กน้อย และอยู่ในระยะห่างที่สุกกับจุดตรวจวัด จึงทำให้เป็นจุดเริ่มของการรับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มีแนวโน้มสูงขึ้นไปหลังจากที่ได้รับพลังงานความร้อน 6 ชั่วโมง และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องหากไม่เกิดความแปรปรวนของอากาศ

โดยมีค่าความร้อนน้ำระเหยในช่วงระยะเวลา 07.00-13.00 น. มีค่าเท่ากับ 8.8, 26.2, 16.0, 31.9, 38.9, 39.2 และ 57.3 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และพลังงานความร้อนเริ่มลดลงในชั่วโมงที่ 7 เป็นต้นไป ตั้งแต่ช่วงเวลา 14.00-18.00 น. โดยพลังงานความร้อนน้ำระเหย(LE) มีค่าเท่ากับ 6.5, 36.5 (คลาดเคลื่อนเนื่องจากเป็นสภาพอากาศก่อนมีฝน), 7.9, 84.3 (คลาดเคลื่อนเนื่องจากเป็นสภาพอากาศก่อนมีฝน) และ 4.9 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ในสภาพพื้นที่ดังกล่าว นั้น มีลักษณะเช่นเดียวกันกับความร้อนน้ำระเหย (LE) คือ มีแนวโน้มสูงขึ้นไปและลดลงในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่นเดียวกัน คือ ความร้อนในการเผาผลาญอากาศ(H) ปริมาณมากที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าเท่ากับ 156.6 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 7.00 น. มีค่าเท่ากับ 2.6 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้นไปตั้งแต่เวลา 7.00-12.00 น. จนถึงชั่วโมงที่ 5 ของช่วงเวลาที่มิแสงจากดวงอาทิตย์

โดยความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H) ตามช่วงเวลา มีค่าเท่ากับ 2.6, 21.5, 75.8, 98.2, 102.5, และ 156.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) เริ่มลดลงตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 เป็นต้นไป ซึ่งเป็นช่วงเวลา 13.00-18.00 น. โดยมีค่าความร้อน

ที่ใช้เผาผลาญอากาศ(H) เท่ากับ 127.9, 116.4, 111.1, 87.3, 59.7 และ 33.2 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 อัตราส่วนโอบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25%(C75%G25%)
ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

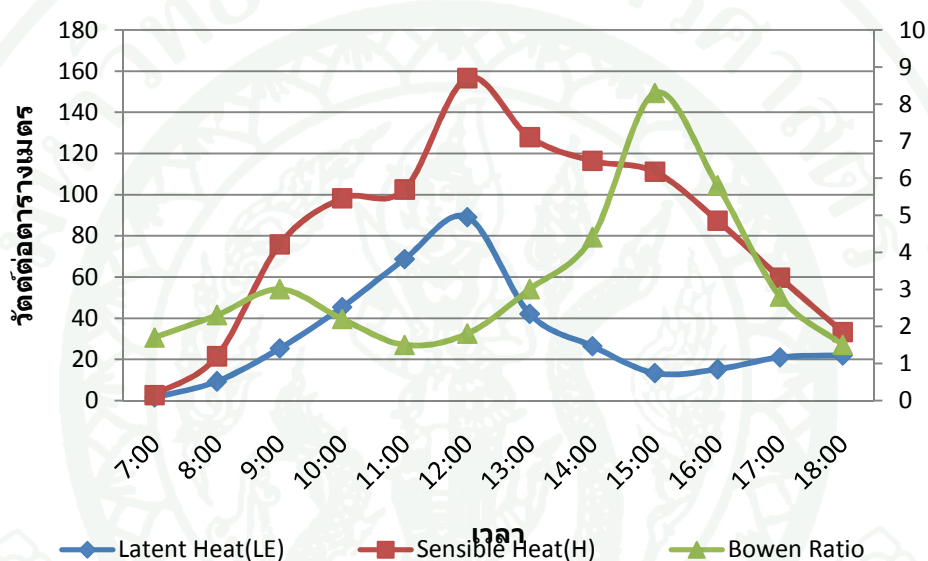
ลำดับ	เวลา	cement 75% green 25%		
		latent Heat (LE)	sensible Heat (H)	Bowen Ratio
1	07.00	1.5	2.6	1.7
2	08.00	9.2	21.5	2.3
3	09.00	25.3	75.8	3.0
4	10.00	45.4	98.2	2.2
5	11.00	68.7	102.5	1.5
6	12.00	89.1	156.6	1.8
7	13.00	42.1	127.9	3.0
8	14.00	26.4	116.4	4.4
9	15.00	13.3	111.1	8.3
10	16.00	15.1	87.3	5.8
11	17.00	21.0	59.7	2.8
12	18.00	21.9	33.2	1.5

สัดส่วนโอบเวนในพื้นที่ศึกษาประเภท พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) มีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ต่อค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) สูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 15.00 น. โดยมีสัดส่วนของความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ คิดเป็น 8.3 ของค่าความร้อนน้ำระเหย และอัตราส่วนโอบเวนที่มีค่าต่ำที่สุด อยู่ในช่วงเวลา 11.00 และ 18.00 น. คิดเป็นความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (LE) 1.5 เท่า ของความร้อนน้ำระเหย(H)

สัดส่วนของค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H) ต่อค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) นั้นมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา 7.00-9.00 น. เท่ากับ 1.7, 2.3 และ 3.0 อัตราส่วนโอบเวนเริ่มลดลงในช่วงเวลา 10.00-11.00 น. มีค่าเท่ากับ 2.2, และ 1.5 และเริ่มมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเวลา 15.00 น. มีค่าอัตราส่วนโอบเวนเท่ากับ 1.8, 3.0, 4.4 และ 8.3 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่

อัตราส่วนโบเวนสูงที่สุด ปริมาณความร้อนจะเริ่มลดลงจนถึงช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ซึ่งอัตราส่วนโบเวนมีค่าเท่ากับ 5.8, 2.8 และ 1.5 ตามลำดับดังภาพที่ 25

ในช่วงเวลา 11.00 น. นั้น ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับความร้อนน้ำระเหย (LE) และมีค่าผกผันกับอัตราส่วนโบเวน และยังพบว่า หากมีปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) และความร้อนน้ำระเหย (LE) ลดลงแล้ว อัตราส่วนโบเวนจะมีค่าสูงขึ้น



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25%

พื้นที่ซีเมนต์ 50% และพื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%) โดยพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณลานสวนสนาม โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมืองเช่นเดียวกัน จึงทำให้สภาพอากาศท้องถิ่น (micro climate) มีสภาพภูมิอากาศเช่นเดียวกับพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) คือ มีลักษณะท้องฟ้าโปร่ง มีเมฆเพียงเล็กน้อย และมีแนวต้นสนปลูกในแนวยาวในทิศตะวันออก ไม่มีแนวอาคารเป็นสิ่งกีดขวาง จึงไม่ได้รับอิทธิพลจากแสงเงาในทุกช่วงเวลาเช่นเดียวกับพื้นที่อื่นๆ ผลการศึกษาพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) นั้นพบว่า ความร้อนน้ำระเหย (LE) ในช่วงเวลาเช้า มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระยะเวลา 13.00 น. ซึ่งมีค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (LE) เท่ากับ 57.3 วัตต์ต่อตารางเมตร และเริ่มลดน้อยลงในช่วงเวลา

14.00 น. เป็นต้นไป และเริ่มมีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นค่าความร้อนน้ำระเหยสูงสุดของวันมีค่าเท่ากับ 84.3 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) มีลักษณะขึ้นลงไม่แน่นอน และมีความแปรปรวนสูง ในช่วงเวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

โดยภาพรวมในช่วงเวลา 07.00-18.00 น. นั้น ความร้อนน้ำระเหย มีค่าเท่ากับ 8.8, 26.2, 31.9, 38.9, 39.2, และ 57.3 วัตต์ต่อตารางเมตร และเริ่มมีค่าลดน้อยลงเท่ากับ 6.5, 36.5, 7.9, 84.3, และ 4.9 วัตต์ต่อตารางเมตร จากผลการศึกษาพบว่าในช่วงเวลา 18.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ ความร้อนน้ำระเหย (LE) มีค่าน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.9 วัตต์ต่อตารางเมตรเท่านั้น

พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) นั้น ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่าสูงกว่าความร้อนน้ำระเหย (LE) แต่จะไม่มี ความผกผันซึ่งกันและกัน โดยความแปรปรวนของค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) รายชั่วโมงในปริมาณที่ เล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่า สูงที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับโลก และเริ่มลดลงจนถึงช่วงที่ ไม่มีแสงจากอาทิตย์ ซึ่งในภาพรวมของวันพบว่า ความร้อนที่สะสมเริ่มมีการเพิ่มขึ้นในช่วงที่มี แสงอาทิตย์ คือ เวลา 07.00 น. โดยมีความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) รายชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 26.9, 48.2, 121.1, 10.1, และ 144.4 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่ง ช่วงเวลาที่มีค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (H) สูงที่สุด หลังจากนั้นจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ช่วงเวลา 14.00 น. เป็นต้นไป โดยมีความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) เท่ากับ 138.1, 36.1, 38.6, 50.3, 77.7 และ 34.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับดังตารางที่ 13

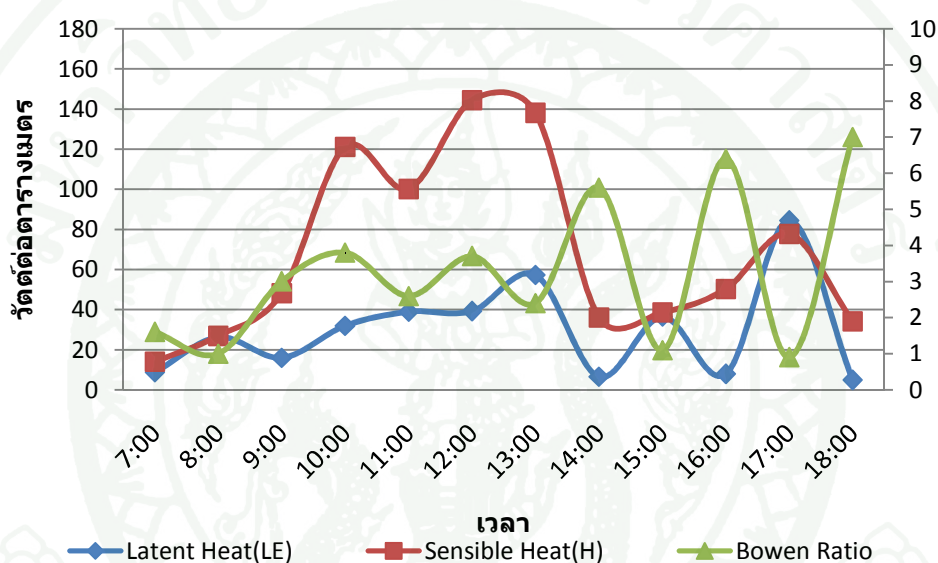
ตารางที่ 13 อัตราส่วนโอบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%)
ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

ลำดับ	เวลา	cement 50% green 50%		
		latent Heat (LE)	sensible Heat (H)	Bowen Ratio
1	07.00	8.8	14.0	1.6
2	08.00	26.2	26.9	1.0
3	09.00	16.0	48.2	3.0
4	10.00	31.9	121.1	3.8
5	11.00	38.9	100.1	2.6
6	12.00	39.2	144.4	3.7
7	13.00	57.3	138.1	2.4
8	14.00	6.5	36.1	5.6
9	15.00	36.5	38.6	1.1
10	16.00	7.9	50.3	6.4
11	17.00	84.3	77.7	0.9
12	18.00	4.9	34.2	7.0

ในภาพรวมค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ในพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) นั้น พบว่าความร้อนน้ำระเหย (LE) มีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. และ 17.00 น. มีค่าเท่ากับ 57.3 และ 84.3 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ โดยความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 12.00 น. และเริ่มมีค่าลดลงในช่วงเวลา 13.00 น. เป็นต้นไป โดยมีค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) สูงที่สุดเท่ากับ 144.4 วัตต์ต่อตารางเมตรในเวลา 12.00 น.

สัดส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ต่อความร้อนน้ำระเหย พบว่า ในสภาพพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) อัตราส่วนโอบเวนมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ไม่สม่ำเสมอตั้งแต่ช่วงเวลา 07.00 น. เป็นต้นไป โดยมีความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (H) มีค่าเท่ากับ 1.6, 1.0, 3.0, 3.8, 2.6, 3.7, 2.4, และ 5.6 ของความร้อนน้ำระเหย (LE) ตั้งแต่ช่วงเวลา 15.00 น. เป็นต้นไป อัตราส่วนโอบเวนเริ่มมีค่าลดลงเข้าใกล้ 0 โดยมีค่าเท่ากับ 1.1, 6.4, 0.9 และ 7.0 ในช่วงเวลาที่ไม้ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ โดยพบว่าเมื่อมีการศึกษาถึงสภาพพื้นที่ที่มีสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ที่มีอยู่ในปริมาณมากนั้นความปั่นป่วน (turbulence) ของความร้อนในชั้นบรรยากาศ

จะมีมากกว่าพื้นที่ที่มีพื้นที่สีเขียวในปริมาณมาก และในช่วงเวลา 12.00 น.พบว่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) เริ่มมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีการเพิ่มขึ้นในปริมาณเล็กน้อยในช่วงเวลา 17.00 น. ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น โดยที่ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) มีลักษณะความร้อนที่มีค่าไม่แน่นอนคือ มีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ ในรายชั่วโมง และแปรผกผันกับอัตราส่วนโบเวน คือ ในช่วงเวลา 14.00 น. ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ลดลง และอัตราส่วนโบเวนมีค่าสูงขึ้น โดยในเวลา 15.00 น. ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น และอัตราส่วนโบเวนมีค่าลดต่ำลง จนถึงช่วงเวลาที่ไม้ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ ดังตารางที่ 13 ภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหยและความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 50% และพื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%)

การศึกษาวิจัยมีการเพิ่มปริมาณพื้นที่สีเขียวให้เพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไขหลักของการศึกษาคือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้มีปริมาณมากขึ้นจะช่วยทำให้อัตราส่วนโบเวนลดลง โดยกำหนดให้พื้นที่สีเขียวมีปริมาณที่แตกต่างกันในปริมาณพื้นที่ในพื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75) ณ พื้นที่ศึกษาบริเวณลานสวนสนามของโรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมืองเช่นเดียวกันกับพื้นที่ศึกษา ประเภท พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) และพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) โดยผลจากการศึกษาพบว่า

พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ในช่วงเวลา 07.00 น. ไม่สูงมากนัก แต่มีความสม่ำเสมอของค่าความร้อนน้ำระเหยเพิ่มสูงขึ้นในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน จนถึงเวลา 18.00 น. และพบว่าความร้อนน้ำระเหย (LE) มีค่าเท่ากับ 4.8, 13.3, 21.6, 36.1, 31.5, และ 46.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ (LE) เท่ากับ 46.2 วัตต์ต่อตารางเมตรนั้น เป็นค่าที่สูงที่สุดในช่วงก่อนเที่ยง. ดังตารางที่ 14

ความร้อนน้ำระเหย (LE) ในพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เวลา 13.00 -18.00 น. โดยมีค่าเท่ากับ 36.7, 29.1, 23.0, 39.5, 116.2 และ 51.1 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) เท่ากับ 116.2 วัตต์ต่อตารางเมตรในช่วงเวลา 17.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ค่าความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ (LE) สูงที่สุดในช่วงวัน

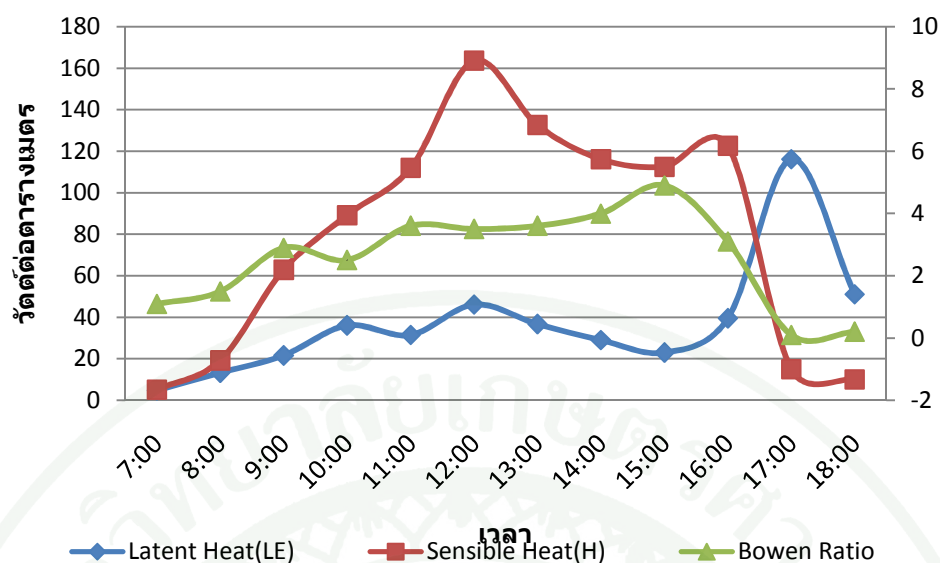
สำหรับความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) นั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงเริ่มมีแสงจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 07.00 น. เป็นต้นไป มีค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่าเท่ากับ 5.2, 19.3, 62.9, 89.2, 112.0 และ 163.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับซึ่งค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) สูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าเท่ากับ 163.6 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยตั้งแต่เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องจนเข้าใกล้เวลาที่แสงจากดวงอาทิตย์หมด มีค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ(H) ตามช่วงเวลาเท่ากับ 132.6, 116.2, 112.5, 122.6, 15.0 และ 10.1 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และยังพบต่อไปว่าค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) นั้นในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีแสงจากดวงอาทิตย์ช่วงเวลานั้น มีค่าต่ำกว่าในช่วงเวลาไม่มีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาเย็นเสมอ ดังตารางที่ 14 ภาพที่ 27

ตารางที่ 14 อัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%)
ตามช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

ลำดับ	เวลา	cement 25% green 75%		
		latent heat (LE)	sensible heat (H)	Bowen Ratio
1	07.00	4.8	5.2	1.1
2	08.00	13.3	19.3	1.5
3	09.00	21.6	62.9	2.9
4	10.00	36.1	89.2	2.5
5	11.00	31.5	112.0	3.6
6	12.00	46.2	163.6	3.5
7	13.00	36.7	132.6	3.6
8	14.00	29.1	116.2	4.0
9	15.00	23.0	112.5	4.9
10	16.00	39.5	122.6	3.1
11	17.00	116.2*	15.0*	0.1*
12	18.00	51.1*	10.1*	0.2*

หมายเหตุ *เวลา 17.00 – 18.00 น. มีฝนตกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

สำหรับอัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) มีค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (H) ต่อ ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE)เท่ากับ 1.1, 1.5, 2.9, 2.5, 3.6, 3.5, 3.6, 4.0 และ 4.9 ตั้งแต่เวลา 07.00 ถึง 15.00 น. ตามลำดับ และอัตราส่วนโบเวนเริ่มลดลงเข้าใกล้ศูนย์ตั้งแต่ช่วงเวลา 16.00 - 18.00 น. คือ จนกระทั่งถึงช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 3.1, 0.1 และ 0.2 ตามลำดับ และเป็นที่น่าสังเกตเช่นเดียวกันกับพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) คือ ในช่วงเวลาก่อนแสงจากดวงอาทิตย์จะหมดนั้น ความร้อนน้ำระเหย (LE) จะมีค่าแปรผันกับอัตราส่วนโบเวนเสมอ ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ โดยอัตราส่วนโบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 25% และพื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%)

เงื่อนไขสุดท้ายของการทดลองนั้น คือ การลดพื้นที่ซีเมนต์ ให้เหลือ 0% และเพิ่มพื้นที่สีเขียว ให้เป็นสัดส่วน 100% (C0% G100%) ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวไม่เข้าหลักเกณฑ์ของพื้นที่เพื่อการสร้างอาคารที่พักอาศัยเช่นเดียวกับพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) แต่การศึกษาวิจัยได้ทำเพื่อให้เห็นความแตกต่าง และประสิทธิภาพของการดูดซับ และการปลดปล่อยรังสีของพื้นที่ประเภทต่างๆ ในสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียวที่ต่างกักันจึงทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลจากพื้นที่ดังกล่าว เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างกันของค่าความร้อนในแต่ละพื้นที่ได้อย่างชัดเจน

ผลการศึกษา พบว่าค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นสูงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) และมีลักษณะของการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยจะเห็นได้จากในช่วงการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ 07.00-18.00 น. นั้น พบว่า ช่วงเวลาที่ความร้อนน้ำระเหย (H) เริ่มสะสมในปริมาณน้อยไปจนถึงมีปริมาณมากในช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 3.5, 31.1, 96.8, 170.2 168.1, 296.4 และ 331.0 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 15

โดยที่ค่าความร้อนน้ำระเหยสูง (LE) สูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 13.00 น. และมีแนวโน้มลดลงจากช่วงเวลาดังกล่าวจนถึงเวลาที่ไม่มีแสงจากดวงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 222.1, 228.9, 182.9, 124.1 และ 49.0 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ในพื้นที่สีเขียว 100% นั้นจะมีความแตกต่างของอัตราส่วนโบเวน จากพื้นที่ประเภทอื่นๆ ได้อย่างชัดเจน โดยค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) จะมีค่าสูงอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.00 ถึง 16.00 น. หรือในระยะเวลา 6 ชั่วโมงภายหลังจากพื้นผิวโลกได้รับพลังงานความร้อนจากแสงจากดวงอาทิตย์ เกิดการสะสมที่พื้นผิว และสะท้อนออกไปสู่ชั้นบรรยากาศ

สำหรับค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) พบว่าในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) ค่าความร้อนดังกล่าว มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและลดลงเช่นเดียวกันกับความร้อนน้ำระเหย (LE) แต่การเพิ่มและลดลงมีอัตราที่ต่ำกว่าค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) โดยค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H)ในพื้นที่นั้น มีอัตราการเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ช่วงเวลา 07.00 ถึง 12.00 น. เท่ากับ -0.1, 12.4, 31.2, 36.8, 38.7, 89.3 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ และมีค่าความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ (H) สูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าเท่ากับ 89.3 วัตต์ต่อตารางเมตร และภายหลังจากเวลา 12.00 น. จนถึงเวลา 18.00 น. อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H) จะเริ่มลดน้อยลง โดยมีค่าเท่ากับ 87.3, 53.6, 52.3, 32.6, 10.9 และ -5.4 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยปริมาณความร้อนที่เผาผลาญอากาศ(H) ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) จะมีความร้อนน้ำระเหย (LE) สูงที่สุด และจะมีความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศต่ำ (H) ที่สุด และต่ำกว่าพื้นที่ผิวประเภทอื่นๆ ดังตารางที่ 15 ภาพที่ 28

ตารางที่ 15 อัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%)

ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

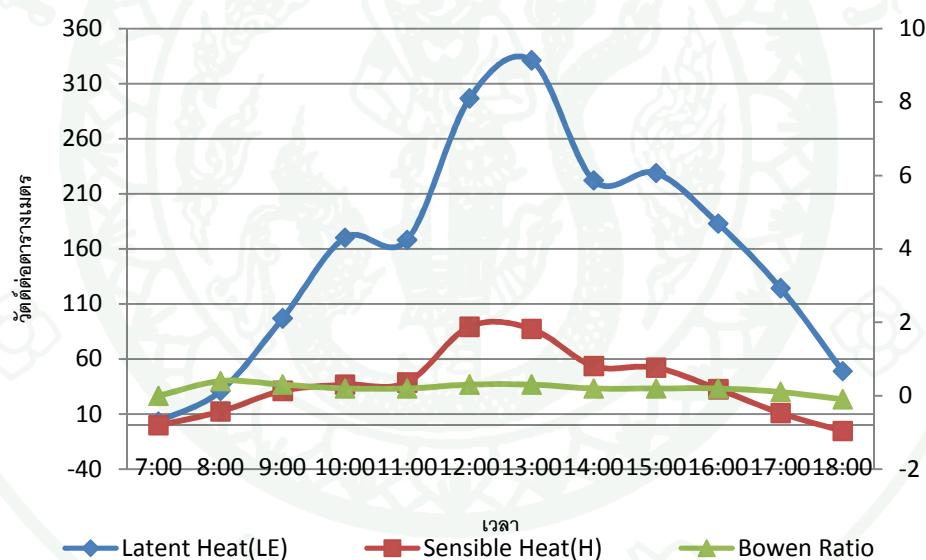
ลำดับ	เวลา	cement 0% green 100%		
		latent heat (LE)	sensible heat (H)	Bowen Ratio
1	07.00	3.5	-0.1	0.0
2	08.00	31.1	12.4	0.4
3	09.00	96.8	31.2	0.3
4	10.00	170.2	36.8	0.2
5	11.00	168.1	38.7	0.2
6	12.00	296.4	89.3	0.3
7	13.00	331.0	87.3	0.3
8	14.00	222.1	53.6	0.2
9	15.00	228.9	52.3	0.2
10	16.00	182.9	32.6	0.2
11	17.00	124.1	10.9	0.1
12	18.00	49.0	-5.4	-0.1

โดยสรุปผลการศึกษาในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) นั้น พบว่าพื้นที่สีเขียว 100% ช่วยให้มีปริมาณค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) อยู่ในระดับที่สูงกว่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ และมีแนวโน้มเข้าใกล้ศูนย์ โดยอัตราส่วนความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ต่อความร้อนน้ำระเหย (LE) หรือ อัตราส่วนโบเวน ในช่วงเวลา 07.00 -12.00 น. ของพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 0.0, 0.4, 0.3, 0.2, 0.2, และ 0.3 ตามลำดับ และภายหลังช่วงเวลา 12.00 น ถึง 18.00 น. ค่าสัดส่วนโบเวนมีค่าเท่ากับ 0.3, 0.2, 0.2, 0.2, 0.1, -0.1 ตามลำดับ โดยช่วงเวลา 12.00 น. เป็นช่วงเวลาที่ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H) สูงที่สุดเท่ากับ 89.3 วัตต์ ต่อตารางเมตร

หากเปรียบเทียบกับค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ(H) กับพื้นที่ประเภทอื่นๆ แล้วพบว่า ค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ(H) มีปริมาณต่ำกว่าความร้อนน้ำระเหย (LE) จึงทำให้ค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) ในพื้นที่ซีเมนต์ 0%พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) มีอัตราส่วนโบเวนอยู่ในระดับต่ำ จึงทำให้พื้นดังกล่าวมีความเย็นเพิ่มมากขึ้นซึ่งสมดุลความร้อนใน

พื้นที่สีเขียว 100% นั้นสามารถช่วยในการรักษาสมดุลของความร้อนในพื้นที่ได้ เพื่อไม่ให้เกิดภาวะที่ความร้อนสูงเกินไป ดังภาพที่ 28

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโอบเวนของความร้อนน้ำระเหย (LE) และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% นั้น จากผลการศึกษามีความต้องการเพิ่มค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) เพิ่มมากขึ้นให้มากกว่าค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) โดยเฉลี่ย 10 เท่าโดยทำให้อัตราส่วนโอบเวนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด โดยจะสังเกตได้จาก ภาพที่ 28 นั้น อัตราการเพิ่มของค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่เพิ่มขึ้น และลดลงในอัตราที่ต่ำในช่วงเท่าๆ กันที่พบได้อย่างชัดเจน คือ ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) นั้น มีค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) อยู่ในอัตราที่สูง จึงทำให้อัตราส่วนโอบเวนในช่วงเวลาต่าง ๆ นั้น มีอัตราส่วนโอบเวนที่เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนค่าความร้อนน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้เผาผลาญอากาศ โดยวิธีอัตราส่วนโอบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% และพื้นที่สีเขียว 100% (C100%G0%)

หากพิจารณาเงื่อนไขของพื้นที่แล้ว พบว่าการใช้ประโยชน์เพื่อสร้างโครงสร้างอาคารเพื่อการอยู่อาศัยแล้ว หากใช้เงื่อนไขอัตราส่วนโอบเวนที่มีค่าใกล้ศูนย์นั้น ต้องมีพื้นที่สีเขียว 100% จึงไม่เหลือพื้นที่ปลูกสร้างพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัย หรือต้องเป็นการก่อสร้างพื้นที่อยู่อาศัยที่ไม่มีวัสดุประเภทซีเมนต์ ในการก่อสร้าง (ซึ่งปัจจุบันไม่สามารถเป็นไปได้) พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว

100% (C0% G100%) จึงไม่มีความเหมาะสมด้านสมดุลความร้อนเพื่อการก่อสร้างที่อยู่อาศัย หากแต่สามารถช่วยเพิ่มความเย็นในพื้นที่ได้ โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อเป็นกันชนระหว่างอาคาร สิ่งปลูกสร้างต่างๆ เพื่อช่วยในการลดความร้อนจากสิ่งก่อสร้างในการพัดพาที่อยู่อาศัยโดยตรง ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่กันชน (buffer zone) ในการลดอุณหภูมิจากพื้นที่รอบข้างที่เป็นซีเมนต์ ก่อนความร้อนจะเข้ามาสู่อาคารในบริเวณที่พักอาศัยได้จากข้อกำหนดพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) จึงไม่ใช่สัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสมดุลของค่าความร้อนเพื่อการอยู่อาศัยของมนุษย์

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%), พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%), พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50%(C50% G50%), พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25%(C75% G25%) และพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) พบว่า เมื่อมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียว เข้าไปในพื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียวแต่ละประเภทแล้ว สิ่งสำคัญที่พบจากการศึกษา ข้อมูล เห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเข้าไปมากขึ้นจะทำให้ความแปรปรวนของ อัตราส่วนโบเวนลดต่ำลง และค่าความร้อนจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ที่ใกล้เคียงกัน

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโบเวนในแต่ละช่วงเวลา

อัตราส่วนโบเวนจะสัมพันธ์กับความร้อนน้ำระเหย (LE) และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ(H)โดยเป็นวิธีการหาค่าสัดส่วนของค่าความร้อนหลัก 2 ชนิดได้แก่ ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ต่อค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ซึ่งค่าสัดส่วนความร้อนในสภาวะที่ไม่มีความชื้น ต่อสภาวะค่าความร้อนที่มีความชื้น ซึ่งหากอัตราส่วนโบเวนมีค่ามากกว่า 1 หมายถึง ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่ามากกว่า ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) 1 เท่า

ซึ่งจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) พบว่า ค่าความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) ในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีซีเมนต์ หรือสิ่งก่อสร้างในปริมาณมาก จะทำให้อากาศในบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามค่าสัดส่วนของอัตราส่วนโบเวน

ผลการศึกษาอัตราส่วนโบเวนในครั้งนี้อย่างพิจารณาตามเงื่อนไขของแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันตามสัดส่วนของพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว โดยจากผลการศึกษาพบว่า

1. อัตราส่วนโบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% และพื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 07.00-18.00 น. นั้น อัตราส่วนโบเวนจะมีค่าสูงที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.7 หมายถึง ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) มีค่ามากกว่าค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ถึง 8.7 เท่า และในเวลา 12.00 น. มีอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 8.6 เท่า ซึ่งจากข้อมูลอัตราส่วนโบเวนจะมีค่าความแปรปรวนสูงในสภาพพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) และมีการเพิ่มขึ้น ลดลงในแต่ละช่วงเวลาที่ไม่แน่นอน ซึ่งสัดส่วนพื้นที่ดังกล่าวจะพบในชุมชนเมืองที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างคอนกรีต หรือซีเมนต์ ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ใจกลางเมืองที่เป็นพื้นที่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูง โดยพบว่าในพื้นที่ดังกล่าว นั้น จะมีอุณหภูมิสูง ไม่มีความคงที่ของอุณหภูมิอากาศ ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความร้อนตลอดเวลา เมื่อได้รับอิทธิพลจากกระแสลม และปัจจัยอื่นๆ

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนโบเวนตามช่วงเวลา ราย 3 ชั่วโมง ได้แก่ ในช่วงเวลา 07.00-09.00 น., 10.00-12.00 น., 13.00-15.00น., และ 15.00-18.00 น.รวม 4 ช่วงเวลา ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย ราย 3 ชั่วโมงในช่วงเวลา 07.00-09.00 น. มีค่าอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย เท่ากับ 4.9 เท่า ในช่วงเวลา 10.00-12.00 น. มีค่าอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย เท่ากับ 7.0 เท่า ช่วงเวลา 13.00-15.00 น. มีค่าอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย เท่ากับ 2.3 เท่า และช่วงเวลา 15.00-18.00 น. มีค่าอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย เท่ากับ 6.5 เท่า โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนโบเวนราย 12 ชั่วโมง เท่ากับ 5.2 เท่าของความร้อนน้ำระเหย(LE) และมีค่าพิสัย (range) คือ ค่าระหว่างอัตราส่วนโบเวนที่สูงที่สุด และอัตราส่วนโบเวนที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 7.2

2. อัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 75% และพื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพื้นที่สีเขียวเข้าไปในพื้นที่ศึกษาในปริมาณ 1 ใน 4 ของพื้นที่ทั้งหมด และทำการเก็บข้อมูลอัตราส่วนโบเวน จากผลการศึกษาค่าอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าจะมีช่วงของอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่สูงที่สุดเพียงช่วงเวลาเดียวเท่านั้น คือ ในช่วงเวลา 15.00 น. มีค่าเท่ากับ 8.3 และอัตราส่วนโบเวนแต่ละช่วงเวลาของพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) เริ่มมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ที่เป็นซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) โดยพบว่าอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย ราย 3 ชั่วโมง ในเวลา 07.00-09.00 น.

นั้นอัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) มีค่าเท่ากับ 2.3 ซึ่งลดลงมากกว่าช่วงเวลาเดียวกันของพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) โดยอัตราส่วนโบเวนมีความสม่ำเสมอมากขึ้น และมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลตามเวลาที่ลดลง

ในช่วงเวลา 10.00-12.00 น. อัตราส่วนโบเวนมีค่าลดลงจากในช่วงเวลา 07.00-09.00 น. อัตราส่วนโบเวนมีค่าเท่ากับ 1.8 และในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. อัตราส่วนโบเวนมีค่าเท่ากับ 5.2 เท่า และในช่วงเวลา 16.00-18.00 น. อัตราส่วนโบเวนมีค่าเท่ากับ 3.4 เท่า เมื่อพิจารณารายวันอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย 12 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3.2 และมีค่าพีสัย ความร้อนสูงที่สุดและความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 3.2 เท่า

3. อัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 50% และ พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) การเพิ่มเงื่อนไขแบบ 1 ต่อ 1 ของพื้นที่เพื่อต้องการศึกษาถึงแนวโน้มการลดลงของสัดส่วนความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ต่างๆ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนโบเวนเริ่มมีการลดลงอย่างต่อเนื่องในปริมาณที่สม่ำเสมอ แต่ยังมีอัตราส่วนโบเวนที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) อยู่บ้างในบางช่วงเวลา โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการเพิ่มพื้นที่สีเขียว คือ เมื่อมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวมากขึ้น จะทำให้อัตราส่วนโบเวนจะลดปริมาณลงจนเข้าใกล้ศูนย์ จากการศึกษาวิจัยต่อไปพบว่า อัตราส่วนโบเวนที่สูงที่สุดมีค่าลดลงจาก 8.3 ในพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) คงเหลือ 6.4 เมื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวเป็น 50% ของพื้นที่ทั้งหมดในช่วงเวลา 16.00 น.

เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาที่ได้กำหนดไว้ พบว่า อัตราส่วนโบเวนในช่วงเวลา 07.00-09.00 น. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.9 เมื่อมีการเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ที่มากกว่าค่าอัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%) นั้น จะเริ่มมีปริมาณอัตราส่วนโบเวนที่ลดลง และช่วงเวลา 10.00-12.00 น. อัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 3.4 และช่วงเวลา 13.00-15.00 น. มีอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 3.0 และในช่วงเวลาก่อนแสงอาทิตย์จะหมดนั้นพบว่า มีอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 4.8 ของค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) และมีค่าความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนโบเวนระหว่างวันเท่ากับ 6.1 ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 อัตราส่วนโบเวนของแต่ละพื้นที่ ในช่วงเวลา 07.00-18.00 น.

ลำดับ	เวลา	Bowen Ratio					
		C100% G0%	C75% G25%	C50% G50%	C75% G25%	C0% G100%	
1	7:00	4.1	1.7	1.6	1.1	0.0	
2	8:00	7.2	2.3	1.0	1.5	0.4	
3	9:00	3.4	3.0	3.0	2.9	0.3	
เฉลี่ย 3 ชั่วโมง		4.9	2.3	1.9	1.8	0.2	
4	10:00	7.1	2.2	3.8	2.5	0.2	
5	11:00	5.3	1.5	2.6	3.6	0.2	
6	12:00	8.6	1.8	3.7	3.5	0.3	
เฉลี่ย 3 ชั่วโมง		7.0	1.8	3.4	3.2	0.2	
7	13:00	2.3	3.0	2.4	3.6	0.3	
8	14:00	1.5	4.4	5.6	4.0	0.2	
9	15:00	3.2	8.3	1.1	4.9	0.2	
เฉลี่ย 3 ชั่วโมง		2.3	5.2	3.0	4.2	0.2	
10	16:00	8.7	5.8	6.4	3.1	0.2	
11	17:00	7.9	2.8	0.9	0.1	0.1	
12	18:00	2.9	1.5	7.0	0.2	0.1	
เฉลี่ย 3 ชั่วโมง		6.5	3.4	4.8	1.1	0.1	
เฉลี่ย 12 ชั่วโมง		5.2	3.2	3.3	2.6	0.2	
Range (Max-Min)		7.2	6.8	6.1	4.8	0.4	

4. อัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ซีเมนต์ 25% และพื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%) เกือบไขประกายต่อมา คือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวเข้าไปอีก 25 เปอร์เซ็นต์ ให้มีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวมากกว่าพื้นที่ซีเมนต์ เพื่อยืนยันความสามารถของพื้นที่ว่า พื้นที่สีเขียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นในกระบวนการคายระเหยน้ำของพื้นที่นั้นเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนในอุณหภูมิอากาศได้จริง โดยผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนโบเวนยังลดลงอย่างต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 4.9 ในช่วงเวลา 15.00 น.

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนโบเวนตามช่วงเวลาของพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%) พบว่า ช่วงเวลาที่มีอัตราส่วนโบเวนสูงที่สุด คือช่วงเวลาที่บ่าย ตั้งแต่เวลา 13.00-15.00 น. โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 4.2 และในช่วงเวลา 10.00-12.00 น. มีอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 เท่า ช่วงเวลา 07.00-09.00 น. มีอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.8 และช่วงเวลา 16.00-18.00 น. มีอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ยเท่ากับ 1.1 ตามลำดับ และมีอัตราส่วนโบเวนเฉลี่ย 12 ชั่วโมง เท่ากับ 2.6 โดยมีช่วงของอัตราส่วนโบเวนสูงที่สุด และอัตราส่วนโบเวนต่ำที่สุด เท่ากับ 2.6 จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ อัตราส่วนโบเวนลดลง

5. อัตราส่วนโบเวนในพื้นที่สีเขียว 100% (G100% C0%) กำหนดให้พื้นที่สีเขียว 100% เป็นพื้นที่อ้างอิงอัตราส่วนโบเวนที่ต่ำที่สุด โดยพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่สนามหญ้าทั้งหมด ที่สนามฟุตบอล (อินทรีย์) ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน โดยในระยะใกล้เคียงรัศมี 50 เมตร ไม่มีสิ่งก่อสร้างบดบังเงาจากจุดติดตั้งเครื่องมือ พบว่าอัตราส่วนโบเวนเริ่มมีค่าใกล้เคียงศูนย์ โดย ณ เวลาที่มีอัตราส่วนโบเวนที่สูงที่สุด คือช่วงเวลา 08.00 น. มีค่าเท่ากับ 0.4 เท่า ของค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) และจากการศึกษาต่อไปยังพบว่า อัตราส่วนโบเวนนั้นมีค่าไม่เกินศูนย์ในทุกช่วงเวลา และอัตราส่วนโบเวนมีการลดลงอย่างสม่ำเสมอในทุกช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง

จากข้อมูลอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่สีเขียว 100% อัตราส่วนโบเวนมีค่าเฉลี่ยที่คงที่ตลอดช่วงเวลา 07.00-15.00 น. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 และจะมีค่าสัดส่วนโบเวนที่ลดลงในช่วงเวลา 16.00-18.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1 ของค่าความร้อนน้ำระเหย และมีค่าความแตกต่างระหว่างความร้อนระหว่างวันเท่ากับ 0.4 ของค่าความร้อนน้ำระเหยดังตารางที่ 16

โดยสรุปในภาพรวมความสัมพันธ์ของสมดุลพลังงานต่ออัตราส่วนโบเวน จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (sensible heat; H) และความร้อนน้ำระเหย (latent; LE) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของพลังงานความร้อนนั้นในช่วงฤดูที่ร้อนที่สุดของประเทศไทยนั้น เพื่อการประยุกต์ใช้สัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมในการลดความร้อนในเขตเมือง สามารถสรุปผลการศึกษาได้ ดังต่อไปนี้

1. ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) มีอัตราส่วนโบเวนมีความแปรปรวนสูง และไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดเวลา และจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนโบเวนมีค่ามากกว่า 1 เท่าในทุกช่วงเวลา และช่วงเวลาที่อัตราส่วนโบเวนมากที่สุด ได้แก่ ช่วงเวลา 16.00 น. มีค่าเท่ากับ 8.7 และมีอัตราส่วนโบเวนต่ำที่สุดในช่วงเวลาก่อนพลบค่ำ หรือก่อนหมดแสงอาทิตย์

2. ในพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25%(C75%G25%) อัตราส่วนโบเวนเริ่มมีค่าความแปรปรวนต่ำลงโดยอัตราส่วนโบเวนสูงที่สุดในช่วงเวลา 15.00 น. มีค่าเท่ากับ 8.3 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับอัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) และอัตราส่วนโบเวนต่ำที่สุดในช่วงเวลาก่อนพลบค่ำเช่นกัน โดยมีค่ากับ 1.5

3. ในพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50%G50%) อัตราส่วนโบเวนมีความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าสูงและต่ำสลับกันในทุกช่วงเวลา และมีอัตราส่วนโบเวนสูงที่สุดในช่วงเวลา 18.00 น. และในช่วงเวลาที่อัตราส่วนโบเวนต่ำที่สุดอยู่ในช่วงก่อนเวลา 08.00 น. โดยมีอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 1.0

4. ในพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) อัตราส่วนโบเวนเริ่มมีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยลง โดยมีอัตราส่วนโบเวนเพิ่มขึ้นตลอดเวลาและมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 15.00 น. เท่ากับ 4.9 และช่วงที่มีอัตราส่วนโบเวนน้อยที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 17.00 น. หรือเป็นช่วงเย็นก่อนพลบค่ำ ซึ่งมีค่าอัตราส่วนโบเวนเท่ากับ 0.1

5. ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0%G100%) อัตราส่วนโบเวนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ทุกช่วงเวลา หากพิจารณาการใช้ประโยชน์พื้นที่สีเขียวเพื่อการอยู่อาศัยแล้ว พื้นที่ประเภทนี้เป็นเพียงพื้นที่อ้างอิงเรื่องของการลดปริมาณความร้อนโดยใช้พื้นที่สีเขียวเท่านั้น เนื่องจากไม่มีปริมาณของพื้นที่ที่เป็นสิ่งก่อสร้าง หรือจะอนุมานเป็นพื้นที่อยู่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้ หรือสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ต้องเป็นวัสดุจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

จากข้อมูลอัตราส่วนโบเวน พื้นที่สีเขียวมีความสามารถในการลดความร้อนได้ โดยเมื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวเข้าไปในพื้นที่คอนกรีตมากขึ้นเท่าใด อัตราส่วนโบเวนของพื้นที่จะมีปริมาณลดลง โดยในพื้นที่สีเขียว 100% อัตราส่วนโบเวนในช่วงเวลาที่ค่ามากที่สุด คือ ช่วงเวลา 08.00 น. มีค่า

เท่ากับ 0.4 ซึ่งแปรผกผันกับอัตราส่วนโบเวนในสภาพพื้นที่อื่นๆ และมีอัตราส่วนโบเวนต่ำที่สุดในช่วงเวลา 07.00 น. คือ ในช่วงก่อนมีแสงอาทิตย์ในช่วงเช้า มีค่าเท่ากับ 0.0 เท่าลักษณะของเส้นกราฟ มีความลาดชันต่ำเกือบเป็นเส้นตรง

การประยุกต์ใช้ค่าสัดส่วนโบเวน เพื่อการกำหนด ออกแบบและการวางผังเมือง

ความสัมพันธ์ของค่าสัดส่วนโบเวน อุณหภูมิอากาศ ค่าความร้อนน้ำระเหย(LE) และค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H)

ผลการศึกษาพื้นที่ที่มีสัดส่วนที่แตกต่างกันทั้งหมด จำนวน 5 พื้นที่ สามารถที่จะจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. พื้นที่อ้างอิง ได้แก่ พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) และพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) จากตารางที่ 17 พบว่า อัตราส่วนโบเวนของพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) มีค่าสูงที่สุดในทุกพื้นที่ ซึ่งไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในเรื่องของปริมาณความร้อน คือ เป็นพื้นที่ที่มีค่าความร้อนสูง และมีค่าความแปรปรวนของอัตราส่วนโบเวนในปริมาณสูง ซึ่งพิจารณาได้จากค่าพิสัย (range) ของอัตราส่วน โบเวน และอัตราส่วนโบเวนมีลักษณะมีการเพิ่มขึ้น/ลดลง ไม่คงที่และไม่มีทิศทางที่แน่นอน

ดังนั้นการพิจารณาพื้นที่ที่สามารถอนุมานได้คือ พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100% G0%) มีลักษณะเหมือนพื้นที่ก่อสร้างที่ไม่มีพื้นที่สีเขียว ทำให้พื้นผิวสะสมความร้อนได้สูงเนื่องจากไม่มีกระบวนการคายระเหยของต้นไม้เพื่อเพิ่มปริมาณความชื้น ทำให้ปริมาณความร้อนน้ำระเหย (LE) มีค่าต่ำ ดังนั้นความเย็นจากไอน้ำจึงไม่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้มีค่าความร้อนสะสมอยู่ในพื้นที่ซีเมนต์ 100% และความร้อนจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ

ในพื้นที่อ้างอิง พื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C100% G0%) อัตราส่วนโบเวนมีปริมาณที่ต่ำ คือ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่นั้นนั้นมีปริมาณความชื้นสูงกว่าเนื่องจากเกิดความเย็นจากการคายระเหยของพืชได้มากกว่าพื้นที่ประเภทซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%)

2. พื้นที่ทดลอง ได้แก่ พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) และพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G50%) ผลการศึกษาอัตราส่วนโบเวนเมื่อพิจารณารายพื้นที่ พบว่า พื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75% G25%) มีอัตราส่วนโบเวนใกล้เคียงกับพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) และพบค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิในพื้นที่ที่มีอัตราที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) เช่นกัน

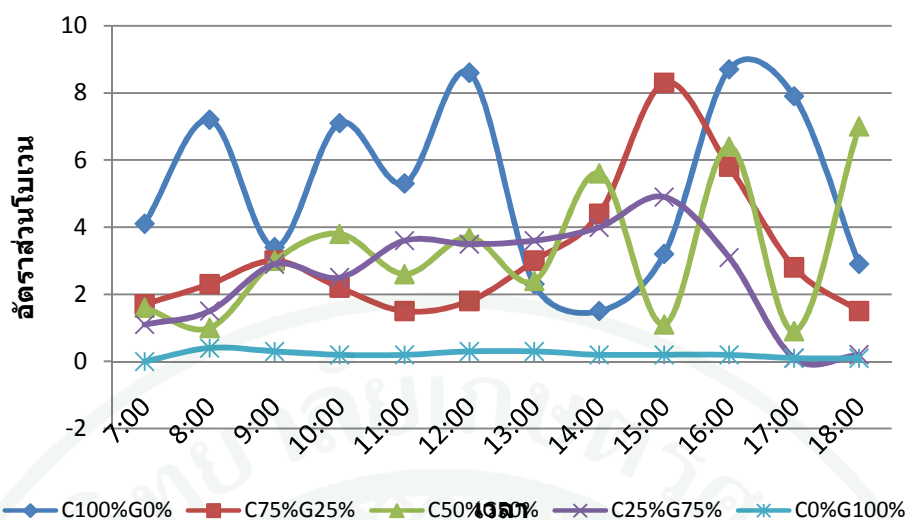
พื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) พบว่า อัตราส่วนโบเวนเริ่มมีค่าลดลง ซึ่งทำให้อัตราส่วนโบเวนในบางช่วงเวลาที่มีความเสถียร คือ ช่วงเวลาเช้านั้น มีค่าความแปรปรวนของอัตราส่วนโบเวนต่ำกว่าพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) เมื่อศึกษาเปรียบเทียบกับพื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) จะพบว่าพื้นที่ซีเมนต์ 75% พื้นที่สีเขียว 25% (C75%G25%) มีอัตราส่วนโบเวนสูงสุดเท่ากับ 6.4 พื้นที่ซีเมนต์ 100% พื้นที่สีเขียว 0% (C100%G0%) มีอัตราส่วนโบเวนสูงสุดเท่ากับ (ในช่วงเวลาปกติ) 8.6 โดยพื้นที่สัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50%(C50%G50%) ทำให้อัตราส่วนโบเวนลดลงได้ถึงร้อยละ 25.58

พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25%G75%) เริ่มมีอัตราส่วนโบเวนลดลงอย่างชัดเจน โดยอัตราส่วนโบเวนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.9 ในช่วงเวลา 15.00 น. และอัตราส่วนโบเวนเริ่มมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ในพื้นที่ศึกษา เมื่อพิจารณาร่วมกับความแปรปรวนของค่าอัตราส่วนโบเวน พบว่ามีค่าความแปรปรวนต่ำที่สุด หากพิจารณาเพียงแค่ค่าจากอัตราส่วนโบเวน สัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดพื้นที่ที่อยู่อาศัย คือ พื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% ดังตารางที่ 17 และภาพที่ 29

ตารางที่ 17 อัตราส่วนโบนตามช่วงเวลา ในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	เวลา	พื้นที่					
		C100% G0%	C75% G25%	C50% G50%	C25% G75%	C0% G100%	
1	7:00	4.1	1.7	1.6	1.1	0.0	
2	8:00	7.2	2.3	1.0	1.5	0.4	
3	9:00	3.4	3.0	3.0	2.9	0.3	
4	10:00	7.1	2.2	3.8	2.5	0.2	
5	11:00	5.3	1.5	2.6	3.6	0.2	
6	12:00	8.6	1.8	3.7	3.5	0.3	
7	13:00	2.3	3.0	2.4	3.6	0.3	
8	14:00	1.5	4.4	5.6	4.0	0.2	
9	15:00	3.2	8.3	1.1	4.9	0.2	
10	16:00	8.7	5.8	6.4	3.1	0.2	
11	17:00	7.9	2.8	0.9	0.1	0.1	
12	18:00	2.9	1.5	7.0	0.2	0.1	

โดยสรุปหากพิจารณาจากค่าอัตราส่วนโบน ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนความร้อนของความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) ต่อ ค่าความร้อนน้ำระเหย (LE) ซึ่งจากข้อกำหนดที่ได้พิสูจน์ เรื่องความสัมพันธ์ของอิทธิพลของความร้อนในการเผาผลาญอากาศ ต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ คือ เมื่อค่าความร้อนการเผาผลาญอากาศเพิ่มมากขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มมากขึ้นไปด้วยซึ่งอัตราส่วนโบน จึงมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น คือ หากมีอัตราส่วนโบนเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความร้อนในการเผาผลาญอากาศ (H) และอุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature) จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 29 อัตราส่วนโบเวน ในช่วงเวลา 07.00 – 18.00 น. ของพื้นที่ศึกษา

ค่าสัดส่วนโบเวนที่เหมาะสมเพื่อกำหนดเขตการออกแบบ และการวางผังเมือง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลกับพื้นที่ต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาวิจัย และรวบรวมไว้ในพื้นที่ของประเทศไทย พบว่า การศึกษาข้อมูลโดยใช้อัตราส่วนโบเวน มีการใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นการช่วยในการหาปริมาณน้ำท่าที่เหมาะสม เพื่อหาวิธีที่ไม่ให้พื้นที่ลุ่มน้ำสูญเสียความชื้น การประยุกต์ใช้อัตราส่วนโบเวนในครั้งนี้ มีหลักการเดียวกัน คือ ไม่ต้องการให้พื้นที่เมืองสูญเสียความชื้น และต้องการให้พื้นที่เมืองเพิ่มความชื้นโดยใช้พื้นที่สีเขียว โดยให้อัตราส่วนโบเวนเป็นมาตรฐานในการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกำหนดขอบเขตการวางผังเมือง ซึ่งผลการศึกษาจากตารางที่ 18 พบว่า

การเก็บข้อมูลอัตราส่วนโบเวนส่วนใหญ่ที่มีการบันทึกข้อมูลทางวิชาการ เก็บข้อมูลในพื้นที่เกษตรกรรม และป่าไม้ ได้แก่ นาข้าว ป่าไม้ ป่าสัก เป็นต้น จากผลการศึกษาที่ได้จึงทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนโบเวนที่ได้จากการศึกษา และที่ได้จากการเก็บรวบรวมของนักวิชาการต่างๆ จะเห็นว่าพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ปลูกพืชหรือพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดนั้น อัตราส่วนโบเวนจะมีค่าไม่เกิน 1 โดยอยู่ในช่วง 0.3 – 0.4 เท่านั้น และผลจากพื้นที่ศึกษามีอัตราส่วนโบเวน ในพื้นที่ซีเมนต์ 0% พื้นที่สีเขียว 100% (C0% G100%) มีค่าเท่ากับ 0.2 ซึ่งใกล้เคียงกับพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้ โดยหากพิจารณาร่วมกับ ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโบเวน อุณหภูมิ และอัตราส่วนโบเวนจากการศึกษาในตารางที่ 18 ร่วมกันนั้น สัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดเขตการ

ออกแบบ การวางผังเมืองเพื่ออยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อลดความร้อนจากอุณหภูมิอากาศนั้น ควรมีพื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) และพื้นที่สัดส่วนซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) และมีอัตราส่วนโบเวน คือ ค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ (H) ต่อดัชนีความร้อนน้ำระเหย (LE) เท่ากับ 2.6 ถึง 3.2

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ประเภทต่างๆ

ลำดับ	พื้นที่	Average Bowen Ratio
1	พื้นที่ศึกษา	
	พื้นที่ ซีเมนต์ 100% และพื้นที่สีเขียว 0%	5.2
	พื้นที่ ซีเมนต์ 75% และพื้นที่สีเขียว 25%	3.2
	พื้นที่ ซีเมนต์ 50% และพื้นที่สีเขียว 50%	3.2
	พื้นที่ ซีเมนต์ 25% และพื้นที่สีเขียว 75%	2.6
	พื้นที่ ซีเมนต์ 0% และพื้นที่สีเขียว 100%	0.2
2	พื้นที่นาข้าวจังหวัดสุโขทัย ¹	0.4
	พื้นที่ป่าเต็งรังผสมเบญจพรรณ ¹	0.4
3	พื้นที่ไร่ข้าวโพด ²	0.3
	พื้นที่ไร่อ้อย ²	0.3

ที่มา: Somnimit (2001); ปิยพงษ์ (2544)

ข้อเสนอในการกำหนดเขต การออกแบบ และการวางผังเมือง

จากผลการศึกษาการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว เพื่อการอยู่อาศัย และการกำหนดขอบเขตการวางผังเมือง เพื่อทราบสัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดการใช้ประโยชน์จากหัวข้อที่กล่าวมา สัดส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุด คือ พื้นที่สีเขียวมีสัดส่วนเท่ากับ 50-75% ของพื้นที่ซีเมนต์ (C50% G50%) และ (C25% G75%) เพื่อให้อัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio) มีค่าใกล้เคียงศูนย์ และความร้อนมีอัตราการเปลี่ยนแปลงในระดับต่ำ คือ มีค่าความแปรปรวนต่ำ ซึ่งหากในพื้นที่มีพื้นที่ซีเมนต์เป็นสัดส่วนที่สูงมาก จะทำให้ความแปรปรวนของค่าความร้อนจะมีมากขึ้นเช่นกัน

โดยการวางผังเมืองเพื่อให้เข้ากับภาวะน่าสบาย (comfort zone) จึงต้องทำให้เกิดความร้อนไม่มากไปกว่าภาวะที่ร่างกายสูญเสียน้ำ (body heat loss) และร่างกายได้รับน้ำ (body heat gain) ซึ่งรูปแบบของการวางผังเพื่อลดความร้อนพิจารณาจากโครงสร้างของเมือง โดยการลดพื้นที่สิ่งก่อสร้างที่มีองค์ประกอบของซีเมนต์ โดยเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้มากขึ้น ร่วมกับการควบคุมการเพิ่มขึ้นของประชากรในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยใช้หลักการพื้นฐานได้แก่การลดความร้อน (heat reduction) ด้วยพื้นที่สีเขียว ด้วยการเสนอแนะ 2 วิธี ได้แก่

วิธีการที่ 1 : การออกแบบ และการวางภูมิทัศน์เมืองมหภาค (landscape macro-designing) โดยการผสมผสาน การออกแบบร่วมกันระหว่าง ระบบขนส่งมวลชนพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่ย่านธุรกิจ ศูนย์กลางการปกครอง/ศูนย์ราชการ พื้นที่เพื่อการศึกษา พื้นที่เพื่อการนันทนาการ พื้นที่เพื่อการลงทุนด้านอุตสาหกรรม พื้นที่กำจัดและบำบัดของเสีย ร่วมกับการใช้ประโยชน์จากพื้นที่สีเขียว

วิธีการที่ 2: การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และพื้นที่แหล่งน้ำ (green patch localization pond construction) ได้แก่ การสร้างสวนสาธารณะ สวนสนุก สวนพฤกษศาสตร์เพื่อการเรียนรู้ สวนดอกไม้ การปลูกต้นไม้บริเวณบาทวิถี และเกาะกลางถนน

ซึ่งวิธีการต่างๆ เป็นวิธีการที่นักวิจัย ผู้เชี่ยวชาญและสถาปนิก ได้แก่ Takebayashi *et al.* (2014); Zhang *et al.* (2013); Akbari *et al.* (1992); Santamouris (2012); Ketterer and Matzarakis (2014), Honjo and Takakura (1990); Mangone and Linden (2014); Ng *et al.* (2012); McPherson (1988); McPherson and Simpson (1992); McPherson and Rowntree (1993); Shahidan *et al.* (2012); Maimaitiyiming *et al.* (2014) กล่าวไว้โดยสรุป คือ ทั้ง 2 วิธีการเป็นวิธีการลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสร้างสิ่งปลูกสร้างที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นของประชากร หากกรุงเทพมหานครมีการนำเอาวิธีการต่างๆ เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ จะทำให้กรุงเทพมหานครมีอุณหภูมิที่ลดลง ไม่เพียงแต่การใช้พื้นที่สีเขียวจะทำให้อุณหภูมิลดลงเท่านั้น พื้นที่สีเขียว ยังสามารถช่วยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การกรองฝุ่น และยังเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับประชากรได้อีกด้วย

หากพิจารณาจากผลการศึกษาดังกล่าวพื้นที่สีเขียวสามารถช่วยลดความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และจากการเก็บสะสมไว้ที่พื้นผิวของวัสดุได้ส่วนหนึ่ง ซึ่งหากนำมาพิจารณาเรื่องการกำหนดขอบเขต และการวางผังแล้ว พื้นที่สีเขียวจึงสามารถลดความร้อนได้ โดยหากมีการ

พิจารณาการสร้างที่พักอาศัย และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อลดความร้อนแล้ว ควรกำหนดพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัยให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. สัดส่วนพื้นที่เพื่อการอยู่อาศัยควรมีพื้นที่ซีเมนต์ ต่อพื้นที่สีเขียว เท่ากับพื้นที่ซีเมนต์ 50% พื้นที่สีเขียว 50% และ/ หรือ พื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% นอกนั้นควรจัดให้เป็นพื้นที่สีเขียว หรือควรมีพื้นที่สีเขียวอยู่ระหว่าง 75-50% ของพื้นที่ทั้งหมด
2. ควรหันหน้าที่พักอาศัยไปทางทิศใต้ เพื่อให้ได้รับลมจากทิศใต้ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งการหันหน้าออกทางทิศใต้ จะทำให้มีอากาศเย็นในฤดูร้อน และมีอากาศไม่หนาวจนเกินไปในช่วงฤดูหนาว
3. การตั้งอาคารที่อยู่อาศัยไม่ควรชิดด้านใดด้านหนึ่ง ควรตั้งอยู่ตรงกลางที่สามารถให้ลมผ่านได้สะดวกทุกทิศทาง เพราะพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้านทิศตะวันออกได้รับจะสะสมที่ผนังไม่เกิน 6 ชั่วโมงและยังไม่ถึงจุดอิมของการสะสมพลังงาน ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไปทิศตะวันตก และจะมีการให้พลังงานความร้อนเพียงไม่เกิน 2-3 ชั่วโมงในช่วงบ่าย การวางทิศดังกล่าวจะทำให้มีช่วงเวลาในการสะสมพลังงานน้อย และมีช่วงเวลาในการปล่อยปล่อยพลังงานความร้อนมาก จึงทำให้ช่วยปล่อยอุณหภูมิจะเย็นลงอย่างรวดเร็ว

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาคือการประเมินน้ำระเหย และความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ในเขตเมือง กรุงเทพมหานคร เพื่อใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมเมืองโดยใช้พื้นที่สีเขียว โดยเฉพาะการลดการคายระเหยของน้ำในพื้นที่เมืองเพื่อให้มีอุณหภูมิอากาศเย็นขึ้น สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสมมูลรังสี บริเวณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน และบริเวณโรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง ในปี พ.ศ.2557 ในช่วงเวลา 07.00 – 18.00 น. รังสีดวงอาทิตย์รวมที่ได้เข้าจากชั้นบรรยากาศรวมทั้งที่มีการสะท้อนออกไปในชั้นบรรยากาศ ($R_{sd}+R_{su}+R_{Ld}+R_{Lu}$) (incoming solar radiation) คิดเป็นพลังงานความร้อนเท่ากับ 852.4 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงหรือคิดเป็น 877.7 แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที และมีค่าพลังงานความร้อนสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 852.4 วัตต์ต่อตารางเมตร และพลังงานจากความร้อนที่สะท้อนกลับไปยังชั้นบรรยากาศนอกโลกสุทธิมีค่าเท่ากับ 602.8 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง หรือเท่ากับ 620.6 แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที

2. อัตราส่วนโบเวนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ ต่อความร้อนน้ำระเหย หรือ อัตราส่วนโบเวนที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 2.6 – 3.2 ซึ่งพบในพื้นที่ที่มีสัดส่วนของพื้นที่ซีเมนต์ เท่ากับ 50% พื้นที่สีเขียว 50% (C50% G50%) และพื้นที่ซีเมนต์ 25% พื้นที่สีเขียว 75% (C25% G75%) ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการช่วยในการลดความร้อนในพื้นที่อยู่อาศัยได้มากกว่าสัดส่วนพื้นที่อื่นๆ

3. ผลการศึกษาทำให้กำหนดวิธีการในการลดความร้อนโดยเพิ่มพื้นที่สีเขียว ด้วย 2 วิธีการ ได้แก่

3.1 การออกแบบ และการวางภูมิทัศน์เมืองมหภาค (landscape macro-designing)

3.2 การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และพื้นที่แหล่งน้ำ (green patch localization pond construction)

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ประโยชน์ที่ดิน และยังทราบต่อไปว่า การใช้พื้นที่สีเขียวในการลดความร้อนในเขตเมืองเป็นสิ่งที่จำเป็นในการช่วยลดภาวะโลกร้อนที่กำลังเกิดขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญสำหรับประชากรในเขตเมืองพร้อมทั้งยังสามารถเพื่อช่วยให้ประชากรมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

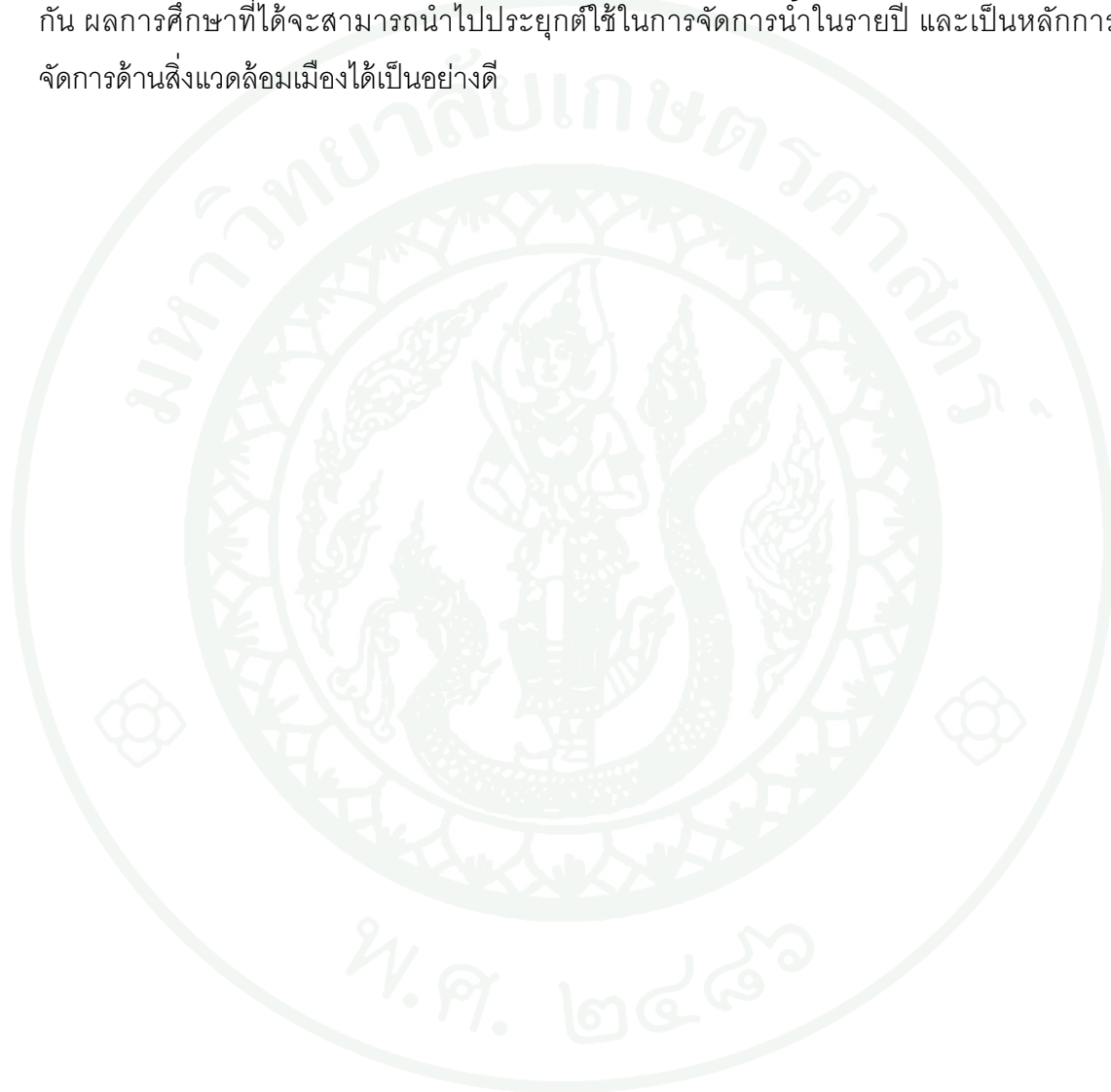
1. การกำหนดสัดส่วนพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นการกำหนดขึ้นเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างพื้นที่ซีเมนต์ และพื้นที่สีเขียว ซึ่งพื้นที่สีเขียวมีกระบวนการคายระเหยน้ำ ทำให้พื้นที่มีความชื้น และมีความเย็นเพิ่มมากขึ้น ในครั้งต่อไปหากมีศึกษาในพื้นที่ต่างๆ ที่มีศักยภาพในการเพิ่มปริมาณความชื้น เช่น การเพิ่มสัดส่วนพื้นที่น้ำ (water pond) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในแนวตั้ง เป็นต้น จะช่วยให้เกิดความหลากหลายของแนวทางในการลดความร้อนในเขตเมือง และยังเป็นข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำมาอ้างอิงเหตุผลทางวิชาการได้

2. เครื่องมือ Ultrasonic Anemometer(IRGASON) และ Net Radiometer (NR - 01) มีความสามารถในการเก็บข้อมูลได้หลายประเภท และสามารถเชื่อมต่อกันเพื่อเก็บข้อมูลระดับมหภาคได้ แต่เนื่องจากเครื่องมือมีราคาสูงหากมีการร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่มีเครื่องมือประเภทนี้ จะทำให้สามารถเก็บข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดใหญ่ได้

การนำไปใช้ประโยชน์

การศึกษาวิจัยในเรื่องบทบาทความร้อนน้ำระเหยต่อความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญอากาศ เพื่อช่วยในการหาวิธีการเก็บรักษาความชื้นให้คงอยู่ในพื้นที่ และหาวิธีการเพิ่มอัตราการคายระเหยน้ำของพืช ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการประยุกต์ใช้จากอัตราส่วนโบเวนในวิธีการจัดการลุ่มน้ำ เพื่อการควบคุมการสูญเสียจากพื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ ให้สามารถรักษาระดับการคายระเหยให้เพียงพอกับความต้องการของลุ่มน้ำได้

ซึ่งการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาข้อมูลในช่วงฤดูร้อน และเป็นการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนเมษายน ในปี พ.ศ.2557 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความร้อนสูง หรืออุณหภูมิสูงที่สุดของประเทศไทย และฤดูร้อนเป็นฤดูกาลที่สั้นที่สุดของประเทศไทย โดยมีช่วงเวลาระหว่างฤดูกาลเพียง 2 เดือนเท่านั้นและการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาในฤดูกาลเดียว หากมีการเก็บข้อมูลในฤดูกาลอื่นๆ ร่วมด้วย และมีการเก็บข้อมูลในหลายๆ พื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการน้ำในรายปี และเป็นหลักการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเมืองได้เป็นอย่างดี



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกษม จันทร์แก้ว. 2515. **อุทกวิทยาลุ่มน้ำ**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2522. **คู่มือประกอบการบรรยาย อุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดิน**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2539. **หลักการจัดการลุ่มน้ำ**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ตริงใจ บูรณสมภพ. 2539. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน**. บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- นิวัติ เรืองพานิช. 2547. **หลักการจัดการลุ่มน้ำ**. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยพงษ์ องดีนอก. 2544. **การประเมินค่าการคายระเหยน้ำโดยวิธี Bowen ratio ในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายรูปแบบของจังหวัดสุโขทัย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รังสรรค์ อาภาศัพท์กุล. 2547. **อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วิชา นิยม. 2535. **อุทกวิทยาป่าไม้**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิบูลย์ บุญขชลโรธ. 2526. **หลักการชลประทาน**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วีระพล แต่สมบัติ. 2533. **หลักอุทกวิทยา**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

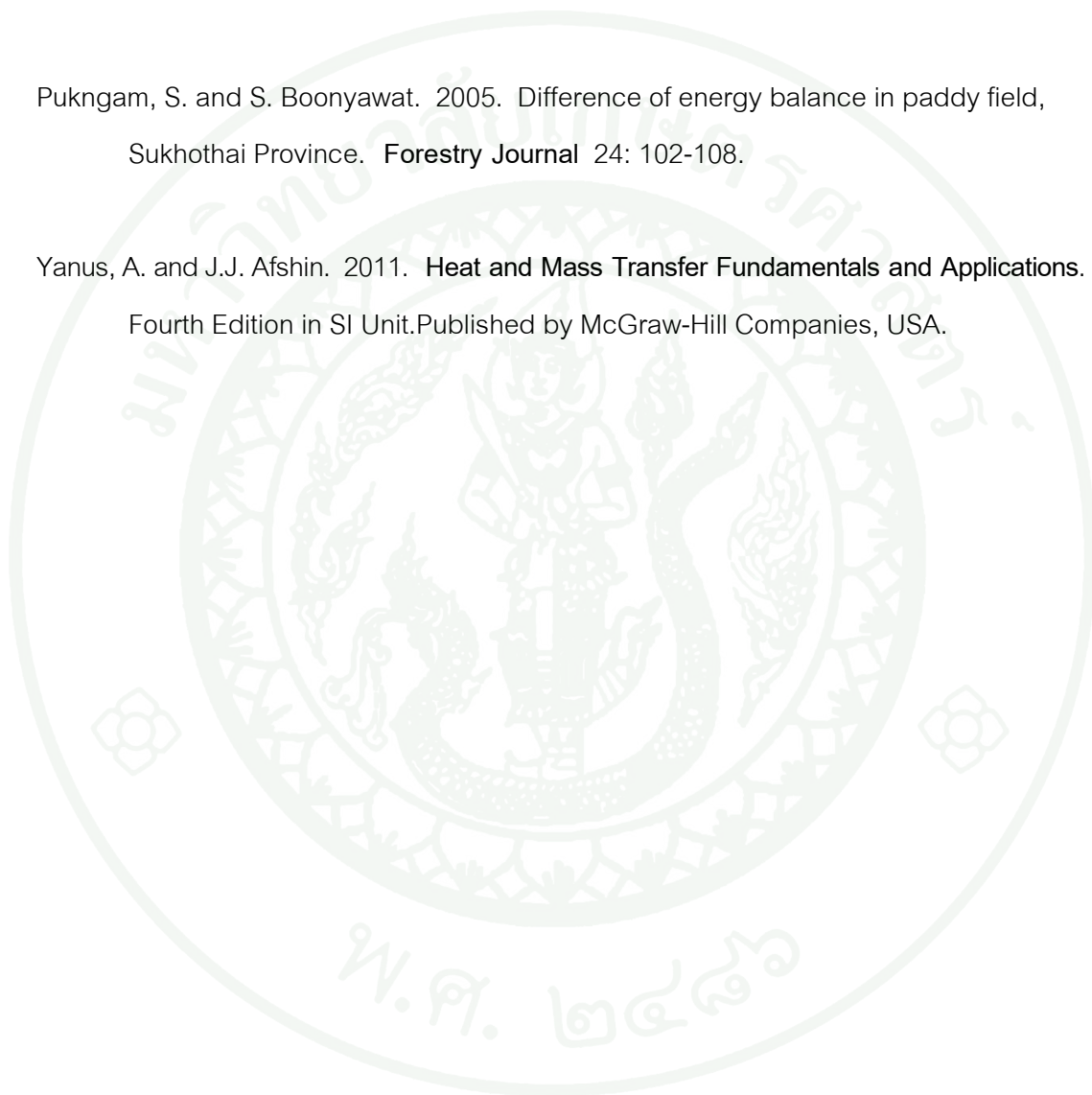
- ศักดิ์ดา มหาอัมรพฤกษ์. 2538. **อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น**. สำนักส่งเสริมวิชาการ
สถาบันราชภัฏนครราชสีมา, นครราชสีมา.
- ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. 2556. **สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี
(พ.ศ.2424-2553)**. รายงานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเลขที่ 551.586-01-2556.
กระทรวงเทคโนโลยีและสารสนเทศ, กรุงเทพฯ.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น**.
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สวรรฤดี ดีปู้. 2548. **อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์.
- สุรพงษ์ สุวจิตตานนท์. 2527. **สมุดลย์เทอร์โมไดนามิกส์**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
O.S.Printing House Co., Ltd., กรุงเทพฯ.
- เอนก พิสุทธิจารุ. 2553. **สมดุลพลังงานและการคายระเหยน้ำจริงในพื้นที่นาข้าวจังหวัด
สุโขทัย และพื้นที่สวนสัก จังหวัดลำปาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Aoki, M., T. Machimure, Y. Hideshima, N. Obase, N. Wada and T. Sato. 1997. "A Data
Acquisition System for Evapotranspiration Measurement in Remote Fields Using
Mobile Telephone and Small D.C. Generator. *Journal of Agriculture.Meteorology*
52 (5): 605-608.
- Givoni, B. 1969. **Man Climate and Architecture**. Elsevier Publishing Co., Ltd., London.
- M. NECATI OZISIK. 1985. **Heat Transfer, a Basic Approach**. McGraw-Hill.Inc.
Library of Congress Cataloging in Publication Data, USA.

Olgay, V. 1992. **Design with Climate**. Van Nostrand Reinhold, USA.

Pukngam, S. 2001. **The Comparative Study on Evapotranspiration of Paddy Field and Different Forest Types in the Northern Thailand based on Bowen Ratio Method**. Ph.D. Dissertation, Kasetsart University.

Pukngam, S. and S. Boonyawat. 2005. Difference of energy balance in paddy field, Sukhothai Province. **Forestry Journal** 24: 102-108.

Yanus, A. and J.J. Afshin. 2011. **Heat and Mass Transfer Fundamentals and Applications**. Fourth Edition in SI Unit. Published by McGraw-Hill Companies, USA.



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายอลงกรณ์ อินทร์รักษา
วัน/เดือน/ปีเกิด	13 มีนาคม 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2539 ศศ.บ. (สังคมวิทยาและมานุษยวิทยา) คณะสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2544 วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประวัติการทำงาน	- อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - ผู้เชี่ยวชาญด้านเศรษฐกิจและสังคม โครงการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - นักวิจัย ประจำโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก พระราชดำริ สำนักงานกรุงเทพฯ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ 10900
สถานที่ทำงาน	วิทยานิพนธ์ดีเด่นระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2545 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	