

แนวทางการลดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก จากอิทธิพลองค์ประกอบระนาบพื้น

ดร. พันธุ์วี กองบุญเทียม

อาจารย์ ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วุฒิกานต์ ประพรหม

อาจารย์ ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

อุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากอิทธิพลความร้อนของสภาพแวดล้อม เกิดจากการถ่ายเทความร้อนของผิววัสดุโดยรอบอาคารที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) องค์ประกอบระนาบพื้น มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศมากที่สุด จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติความจุความร้อน (Heat capacity) ของวัสดุพื้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิว ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อม วัสดุพื้นที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ได้แก่ คอนกรีต ดิน หญ้า และน้ำ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ +2.1, +1.2, -0.5, และ -1.7 องศาเซลเซียสตามลำดับ (ค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด 240 btu/ft²/h) วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนมาก เช่น น้ำ (Heat capacity=1 cal/g.°C) จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้อย (6.1 °C) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศน้อย (-1.7 = °C) และวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนน้อย เช่น คอนกรีต (Heat capacity=0.22 cal/g.°C) จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวมาก (24 °C) ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศมาก (max=+2.1 °C) อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของร่มเงาต้นไม้ไม่สามารถช่วยลดปริมาณความร้อนจากสภาวะการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ได้มากกว่าร้อยละ 83

แนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร (1) สร้างพื้นที่ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ เพื่อสกัดกั้นปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบวัสดุอาคารแข็ง (2) พื้นที่ดินแดน กำหนดให้เป็นวัสดุผิวดำอ่อน จำพวกพื้นหญ้าและแหล่งน้ำ ที่มีค่า Heat capacity มาก ลักษณะดังกล่าวจะสามารถลดอิทธิพลการเกิดความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศได้

คำสำคัญ: สภาพแวดล้อม / ระนาบพื้น / อุณหภูมิอากาศขนาดเล็ก

Guidelines for Reducing Air Temperature Using Effects of Ground Cover

Punravee Kongboontiam, Ph.D.

Lecturer, Faculty of Architecture and Environmental Design
Mae Jo University

Wuttigarn Puraprom

Lecturer, Faculty of Architecture and Environmental Design
Mae Jo University

Abstract

In Thailand, the increase in air temperature that is caused by heat transfer from the surroundings to a building is affected by site elements that have been exposed to solar radiation, which causes surface temperature to be higher than air-temperature. Ground cover have the greatest effect on change in air temperature. The study found that heat capacity of the ground elements has an effect on surface temperature and heat transfer to the environment. Ground cover that have the highest heat transfer rates are concrete, soil, grass and water. They change air temperature by +2.1, +1.2, -0.5, and -1.7 °C, respectively (with maximum solar radiation of 240 btu/ft²/h). Materials that have high heat capacity like water (Heat capacity = 1 cal/g.°C) will have relatively small change in surface temperature (6.1°C) and small change in air temperature (-1.7°C). Materials with low heat capacity like concrete (Heat capacity = 0.22 cal/g.°C) will have high change in surface temperature (24°C) and high change in air temperature (max = +2.1°C). The shading of trees can block heat from solar radiation as much as 83 percent.

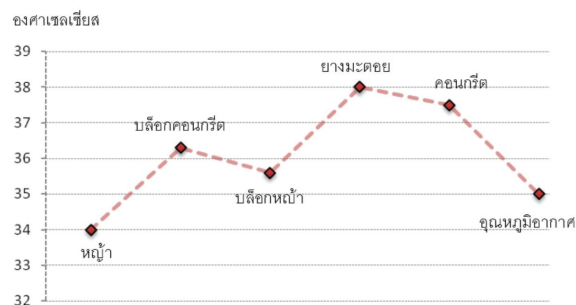
The design guidelines for outdoor are ; 1) create shades using large trees to prevent solar radiation from touching hardscape, 2) areas touched by sunlight should use softscape that have high heat capacity such as water and grass. Employing these two methods will reduce the heat effect of ground elements on air temperature.

Keywords: Environment / Ground cover / Micro-climate Temperature

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาศักยภาพด้านอาคารสถานที่ของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาทางด้านคุณภาพของบุคลากร คณาจารย์และนักศึกษา ที่มีปริมาณสัดส่วนเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาทางด้านกายภาพโดยรวมของมหาวิทยาลัยที่จะต้องรองรับจำนวนบุคลากรเหล่านั้น ไม่ว่าจะเป็นอาคาร สถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เนื่องด้วยแผนการพัฒนาด้านกายภาพดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ของบุคลากรและนักศึกษาภายในรั้วมหาวิทยาลัย ซึ่งการพัฒนาทางด้านกายภาพโดยรวมของมหาวิทยาลัย ยังไม่มีนโยบายในการรองรับปัญหาปริมาณความร้อนที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังเห็นได้จากการลดลงของสัดส่วนพื้นที่สีเขียว (Soft Scape) และถูกแทนที่ด้วยพื้นที่ลาดแข็ง (Hard scape) การตกระทบของรังสีดวงอาทิตย์กับวัสดุดังกล่าว ทำให้เกิดปรากฏการณ์สะสมความร้อนและถ่ายเทสู่สภาพแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมโดยรอบเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนจากสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น เกิดจากการสะสมความร้อนจากองค์ประกอบโดยรอบอาคาร ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ (Human comfort) และเป็นตัวแปรสำคัญต่อการการทำความเย็น (Cooling load) ในระบบปรับอากาศ มีผลให้การใช้พลังงานในอาคาร ปริมาณความร้อนจากสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ มาจากการสะสมความร้อนของวัสดุที่ได้รับอิทธิพลการตกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะ “พื้น” เป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลการตกระทบของรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้อุณหภูมิผิว (Surface temperature) ของวัสดุพื้นแต่ละชนิด สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ในระดับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลทำให้สภาพแวดล้อมดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย

จากการสำรวจข้อมูลอุณหภูมิอากาศเหนือวัสดุผิวพื้นแต่ละประเภท ในช่วงเวลา 12:00-13:00 น. ของเดือนพฤษภาคม ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ระดับความสูง 0.30 เมตรจากพื้นผิว เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไปที่ 35 องศาเซลเซียส พบว่า วัสดุพื้นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ได้แก่ บล็อกหญ้า (35.6°C) บล็อกคอนกรีต (36.3°C) คอนกรีต (37.5°C) และยางมะตอย (38.1°C) ส่วนวัสดุพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ได้แก่ หญ้า (34°C)



แผนภูมิที่ 1: แสดงอุณหภูมิอากาศเหนือวัสดุพื้นแต่ละประเภทที่ระดับความสูง 0.30 ม. เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศปกติ

งานวิจัยนี้เกิดจากการกำหนดทิศทางการพัฒนาสภาพแวดล้อมอย่างยั่งยืนที่เน้นการลดอุณหภูมิอากาศระดับ Micro Climate ซึ่งมีผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ทางด้านอุณหภูมิและการใช้พลังงานระบบปรับอากาศภายในอาคาร โดยมุ่งเน้นศึกษาตัวแปรการเกิดความร้อนจากองค์ประกอบพื้นที่ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบองค์ประกอบโดยรอบที่เหมาะสมกับภูมิอากาศร้อนชื้น (Hot-humid climate)

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น
2. เครื่องวัดอุณหภูมิผิวระยะไกล
3. เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์
4. คอมพิวเตอร์และโปรแกรม Microsoft Office

วิธีการศึกษา

1. ศึกษาอิทธิพลความร้อนจากองค์ประกอบพื้น

สำรวจและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) เหนือระนาบผิวพื้นประเภทต่างๆ อุณหภูมิผิวพื้น (Surface temperature) และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) เพื่อเปรียบเทียบการเกิดอิทธิพลความร้อนจากวัสดุพื้นแต่ละชนิด

2. หาความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ

เก็บข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากผิววัสดุพื้นกลุ่มตัวอย่างรายชั่วโมง 4 ชนิด ได้แก่ พื้นดิน พื้นคอนกรีต พื้นหญ้า และพื้นน้ำ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ที่ระดับความสูง 30 ซม. จากพื้นผิววัสดุ

3. กำหนดวัสดุในการออกแบบสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิอากาศ

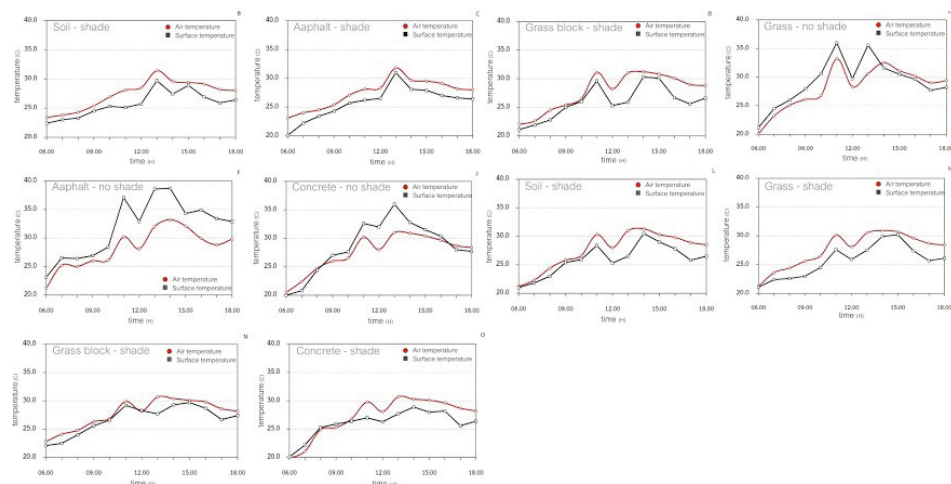
สร้างข้อกำหนด เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบ (Design guideline) องค์ประกอบโดยรอบอาคาร ที่มุ่งเน้นการลดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมระดับ Micro climate

3. ผลการศึกษา

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลพื้นที่ เพื่อหาปริมาณและแหล่งความร้อนจากองค์ประกอบพื้นที่โดยรอบ (Site Elements) อาคารภูมิทัศน์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เมื่อเวลา 12:00 น. (เดือนมิถุนายน) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ $240 \text{ Btu/ft}^2/\text{h}$ พบว่า องค์ประกอบระนาบพื้นที่ที่มีอิทธิพลการเกิดปริมาณความร้อนสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ วัสดุพื้นผิวคอนกรีต หินขัด และยางมะตอย ตามลำดับ ซึ่งวัสดุดังกล่าว เป็นวัสดุจำพวกตาดแข็ง (Hardscape) ที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนวัสดุพื้นผิวในร่ม ที่มีอุณหภูมิผิวต่ำสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ดิน หญ้า(นวลน้อย) และหญ้า(มาเลย์) ตามลำดับ ซึ่งวัสดุดังกล่าว เป็นวัสดุจำพวกตาดอ่อน (Soft Scape) ที่มาจากธรรมชาติ

จากการฟ วัดอุณหภูมิพื้น ที่มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ได้แก่ ตำแหน่ง E, F และ J ซึ่งเป็นพื้นผิวหญ้า คอนกรีต และพื้นดิน(แห้ง) มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 5, 6.6, และ 5°C ตามลำดับ ส่งผลทำให้ตำแหน่งดังกล่าวมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ย 33.2°C ในช่วงเวลา 13:00-14:00 น. ลดลงอย่างช้าๆ จนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์หมดอิทธิพลลง และมีอุณหภูมิ

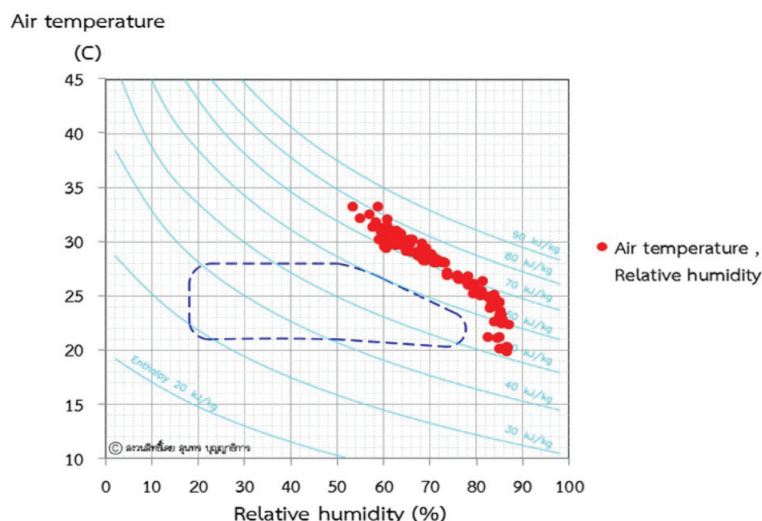
อากาศต่ำสุด 20.5°C ในช่วงเวลา 5:00-6:00 น. มีค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวัน (Day time) = 12.7°C ส่วนวัสดุพื้นที่มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดทั้งวัน ได้แก่ ตำแหน่ง B, D, L และ M ซึ่งเป็นพื้นผิวหญ้า และดินชุ่มน้ำในร่ม มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ $2.2, 0.9, 0.8$, และ 1°C ส่งผลทำให้ตำแหน่งดังกล่าว มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 31.3°C ในช่วงเวลา 14:00 น. และลดลงอย่างต่อเนื่องจนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์หมดอิทธิพลลง และมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุด 21.1°C ในช่วงเวลา 5:00-6:00 น. มีค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวัน (Day time) = 10.2°C จากการเก็บข้อมูลองค์ประกอบระนาบพื้นกลุ่มตัวอย่างบริเวณโดยรอบอาคารภูมิทัศน์ข้างต้น พบว่า ร้อยละ 70 เป็นวัสดุตาก่อน เช่น ดิน หญ้า และต้นไม้ ส่งผลทำให้มีอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยที่ 30.9°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป 2°C



แผนภูมิที่ 2: แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศ จากอิทธิพลองค์ประกอบระนาบพื้น 10 ชนิด โดยรอบตึกภูมิทัศน์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

จะเห็นว่า อิทธิพลของวัสดุระนาบผิวพื้นแต่ละประเภท ส่งผลถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก จากขอบเขตพื้นที่การเก็บข้อมูล $4,440\text{ m}^2$ ซึ่งร้อยละ 70 ของพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นดินและหญ้า มีเพียงร้อยละ 30 ที่เป็นพื้นคอนกรีต(สีเทา)และพื้นหินขัด(สีขาวสลับเกล็ดดำ) มีความแตกต่างกันของระดับอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาเดียวกันมากถึง 2°C แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลขององค์ประกอบระนาบพื้น ที่ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณดังกล่าวเปลี่ยนแปลง

จากกราฟ จะเห็นได้ว่าระดับอุณหภูมิอากาศและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อยู่นอกเขตสบายของมนุษย์ ถึงแม้ระดับอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวันจะอยู่ในเขตสบาย ที่ $22-27^{\circ}\text{C}$ แต่ยังคงมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงเกิน 70% ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีต้นไม้และพืชพันธุ์ปกคลุมพื้นที่ในสัดส่วนที่มาก ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 6:00-18:00 น. เท่ากับ 13.5°C และค่าความแตกต่างของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 33%

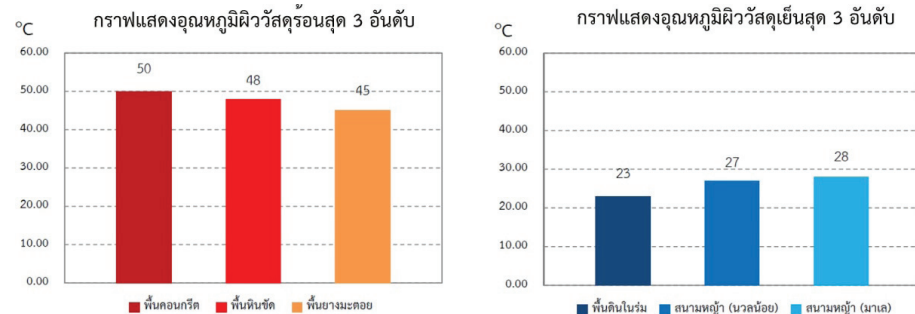


แผนภูมิที่ 3: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบอาคารที่ส่งผลต่อระดับสภาวะน่าสบายของมนุษย์

จากการสังเกตพบว่า วัสดุผิวคอนกรีตช่วงเวลาที่โดนแดดจัดจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงเวลาที่เริ่มเงาปกคลุม ผิวคอนกรีตยังคงความร้อนต่อเนื่องและลดอุณหภูมิผิวลงอย่างช้าๆ ส่งผลให้อุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน ส่วนผิวดิน(ชุ่มน้ำ) จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวสูงขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้อุณหภูมิผิวดินต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดทั้งวัน อีกทั้งตำแหน่งพื้นที่โดยรอบอาคารส่วนใหญ่มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ รวม 10 ตำแหน่ง ล้วนแต่เป็นวัสดุผิวดินธรรมชาติ และพื้นหญ้าในร่ม จึงเป็นข้อดีของการเก็บกักความเย็นจากดิน (Cool Storage) ที่ส่งผลทำให้ไม่มีปริมาณความร้อนที่กักเก็บในวัสดุ (Heat Storage) มากจนเกินไป

จากการนำข้อมูลมาเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกับประเภทวัสดุ พบว่า วัสดุคอนกรีต หญ้า และดิน มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดที่ 16, 15 และ 14 ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ได้รับอิทธิพลจากร่มเงาต้นไม้ด้วย ซึ่งอุณหภูมิผิวคอนกรีต มีอุณหภูมิผิวสูงสุดที่ 39 °C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 7 °C อุณหภูมิผิวหญ้า มีอุณหภูมิผิวสูงสุดที่ 36 °C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 3 °C และอุณหภูมิผิวดิน มีอุณหภูมิผิวสูงสุดที่ 35 °C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 2 °C

การกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา จากสัดส่วนสิ่งปลูกคลุมระนาบพื้นภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (เฉพาะส่วนสถาบันการศึกษา) ครอบคลุมอาณาเขตพื้นที่ 800 ไร่ และอัตลักษณ์ของการพัฒนามหาวิทยาลัยด้านเกษตรกรรม พบว่า สิ่งปลูกคลุมระนาบพื้นที่มีส่วนการใช้งานมากที่สุด ได้แก่ พื้นผิวคอนกรีต (ร้อยละ 38) พื้นผิวหญ้า (ร้อยละ 31) พื้นผิวดิน (ร้อยละ 29) และพื้นผิวน้ำ (ร้อยละ 2) ผู้วิจัยจะทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งปลูกคลุมระนาบพื้นที่ทั้ง 4 ชนิดกลางแจ้งเพื่อดูอิทธิพลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ



แผนภูมิที่ 4: แสดงการเปรียบเทียบวัสดุพื้น 3 อันดับต้น ที่มีอุณหภูมิผิวร้อนและเย็นที่สุด จากการสำรวจองค์ประกอบระนาบพื้น 15 ชนิด



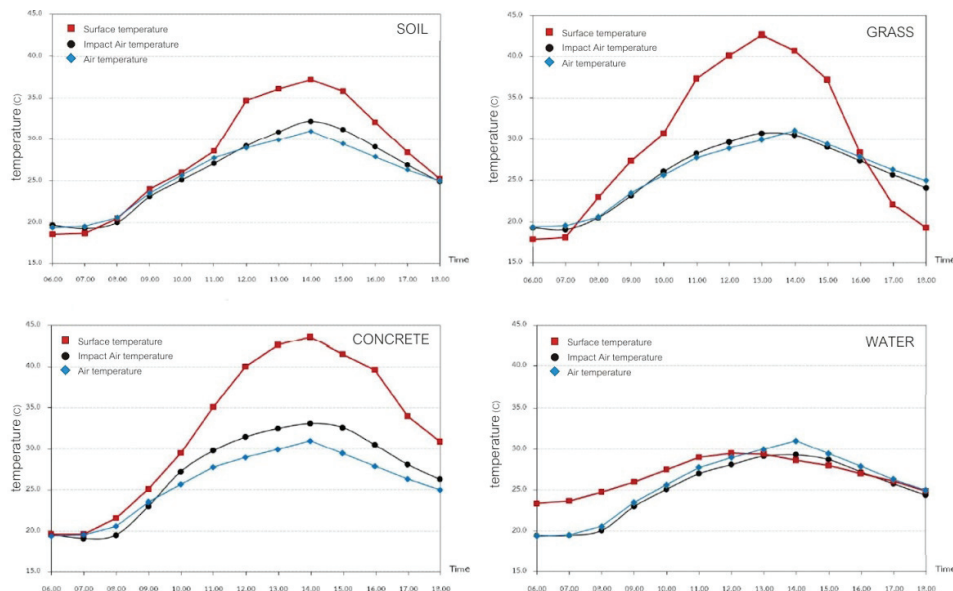
ภาพที่ 1: แสดงประเภทผิววัสดุคอนกรีตกับผิววัสดุดิน ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิว

Air temperature

ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ เกิดจากอิทธิพลโดยตรงของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์กระทำต่อผิววัสดุกลุ่มตัวอย่าง จากการเก็บข้อมูลช่วงเวลากลางวัน (Day time : 6:00-18:00 น.) พื้นผิววัสดุที่มีอุณหภูมิผิวสูงสุด ได้แก่ พื้นผิวคอนกรีตและพื้นผิวหญ้า แต่วัสดุทั้งสองมีพฤติกรรมความแตกต่างกัน คือ พื้นผิวคอนกรีตมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวที่ได้รับการสะสมความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และลดลงอย่างช้าๆ จนถึงช่วงหลัง 18:00 น. ระดับอุณหภูมิผิวพื้นคอนกรีตยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป แม้รังสีดวงอาทิตย์หมดอิทธิพลลง แต่ความร้อนยังคงสะสมในตัววัสดุแตกต่างจากพื้นผิวหญ้า ที่มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิผิวอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของตัววัสดุ ที่มีมวลสารบางและไม่หนาเช่นคอนกรีต จึงทำให้ไม่เกิดการสะสมความร้อนในตัววัสดุและการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อมเป็นไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งหญ้ามีกระบวนการเจริญเติบโตที่ต้องดึงน้ำจากใต้พื้นดินสู่สภาพแวดล้อมผ่านปากใบ ที่เรียกว่าการคายน้ำ (Transpiration) ดังเห็นได้จากระดับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ของอากาศบริเวณเหนือพื้นผิวหญ้าที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ทั่วไป ส่วนพื้นผิวดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศ และสูงสุดช่วงเวลา 14:00 น. ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและลดลง

อย่างซ้ำๆเช่นกัน ส่วนพื้นผิวน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดทั้งวันและลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 13:00-17:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดของวัน และหลังเวลา 18:00 น. อุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิผิวน้ำจนถึงรุ่งเช้า (6:00 น.) อุณหภูมิผิวน้ำยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ

ลักษณะดังกล่าว ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิววัสดุกลุ่มตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด คือ พื้นผิวกอนกรีต ดิน หญ้า และน้ำ โดยสามารถวัดค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดได้ 33.1, 32.2, 30.5, และ 29.3°C ตามลำดับ (time 14:00) ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศทั่วไป +2.1, +1.2, -0.5, และ -1.7°C จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของพื้นผิววัสดุที่ทำให้อากาศเพิ่มสูงขึ้น คือ พื้นคอนกรีตและพื้นดิน ส่วนวัสดุที่ทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงคือ พื้นหญ้าและพื้นน้ำ สามารถวัดค่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดได้ 19.6, 19.7, 19.3 และ 19.5°C ตามลำดับ (time 06:00) ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงสูงสุด-ต่ำสุดในรอบวัน มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิวพื้นคอนกรีตเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง ซึ่งวัดได้ 13.5°C พื้นดิน 12.5°C พื้นหญ้า 11.4°C และพื้นผิวน้ำมีอุณหภูมิอากาศเหนือผิวพื้นเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ซึ่งวัดได้ 9.8°C ตัวเลขดังกล่าวแสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความร้อนในตัววัสดุแต่ละชนิด จากแผนภูมิที่ 6 จะเห็นได้ว่าปริมาณความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์ 240 btu/ft²/h เท่ากัน ที่เวลา 12:00 น. พื้นน้ำสามารถทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิวพื้นสูงขึ้น 8.6°C (เฉลี่ย 28 btu/ft²/h ต่อ 1°C) พื้นหญ้า 10.4°C (เฉลี่ย 23 btu/ft²/h ต่อ 1°C) พื้นดิน 9.5°C (เฉลี่ย 25 btu/ft²/h ต่อ 1°C) และพื้นคอนกรีต 11.9°C (เฉลี่ย 20 btu/ft²/h ต่อ 1°C)



แผนภูมิที่ 5: แสดงอุณหภูมิผิววัสดุและอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากอิทธิพลของวัสดุปูผิวพื้น 4 ชนิด เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไป

ระดับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเหนือสิ่งปกคลุมพื้นผิวทั้ง 4 ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่สะสมในตัววัสดุ ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนที่แตกต่างตามคุณสมบัติความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Heat capacity) วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะมาก จะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนในตัวสูง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิววัสดุน้อย เช่น น้ำ (Heat capacity = 1 cal/g.°C) ส่วนวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะน้อย จะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนในตัวต่ำ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิววัสดุมาก ได้แก่ คอนกรีต (Heat capacity = 0.22 cal/g.°C) จากแผนภูมิที่ 5 จะแสดงให้เห็นได้ว่า พื้นน้ำ ที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนในตัววัสดุน้อย ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิววัสดุมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ส่วนพื้นคอนกรีตมีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำสุด จึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนในตัววัสดุมาก ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิววัสดุมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างและสูง

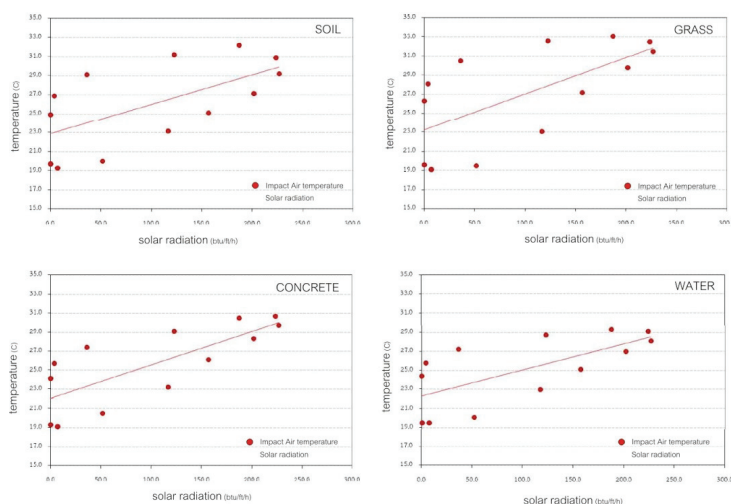
Solar radiation

การเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์แปรผันกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ โดยปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดที่เวลา 12:00 น. ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวดิน คอนกรีต และน้ำ สูงสุดที่เวลา 14:00 น. (Time lag 2 hr.) ส่วนอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวหญ้าสูงสุดที่เวลา 13:00 น. (Time lag 1 hr.) ซึ่งเป็นวัสดุพื้น ที่มีการรับรู้การเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์ได้ไวกว่าวัสดุชนิดอื่น จากแผนภูมิที่ 6 จะแสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูล พบว่า วัสดุพื้นผิวหญ้า มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศไวต่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวพื้นหญ้าในช่วงกว้าง กล่าวโดยสรุป คือ วัสดุพื้นผิวหญ้า มีการรับรู้และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศตามปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีที่สุด เนื่องจากไม่มีมวลสารในการสะสมความร้อน จึงทำให้มีระยะเวลาหน่วงความร้อน (Time lag) เพียง 1 ชั่วโมง และถ่ายเทสู่สภาพแวดล้อมทันที ส่วนวัสดุพื้นผิวกอนกรีต ดิน และน้ำ มีการรับรู้และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศตามปริมาณรังสีดวงอาทิตย์อย่างช้าๆ เนื่องจากมีมวลสารในการสะสมความร้อน จึงต้องรอให้ความร้อนบรรจุในมวลสารจนเต็มถึงจะถ่ายเทสู่สภาพแวดล้อมได้ โดยคอนกรีตมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ 0.22 cal/g.°C ดิน 0.7 cal/g.°C และน้ำ 1 cal/g.°C จึงเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวกอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด และพื้นผิวน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยสุด

	Ground cover	Solar radiation (btu/ft ² /h)	Air temperature (°C)
1.	Concrete	20	1
2.	Grass	23	1
3.	Soil	25	1
4.	Water	28	1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ 1 องศาเซลเซียส
เหนือผิวพื้นคอนกรีต หญ้า ดิน และน้ำ ที่ได้จากการเก็บข้อมูลวิจัย

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า คอนกรีต (Concrete) เป็นวัสดุปูพื้นที่ใช้ปริมาณความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) น้อยที่สุด เพียง 20 btu/ft²/h ที่จะทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C ส่วนวัสดุพื้นผิวน้ำ (Water) จะเป็นวัสดุที่ต้องใช้ปริมาณความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มากถึง 28 btu/ft²/h ที่จะทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C ถ้าในเวลากลางวัน ช่วงเดือนที่มีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดที่ 280 btu/ft²/h จะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวคอนกรีตมีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 14°C ส่วนพื้นน้ำจะสูงเพียง 10°C การสร้างแหล่งน้ำบริเวณที่มีลมพัดผ่านจะสามารถลดอุณหภูมิอากาศจากปัจจัยดังกล่าวลง 4°C ซึ่งถือเป็นสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ (Thermal comfort) ที่มนุษย์รู้สึกได้ ในทางเดียวกันการลดอิทธิพลของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ลง จะทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือสิ่งปกคลุมพื้นผิวลดตามไปด้วย



แผนภูมิที่ 6: แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศ ของวัสดุปูผิวพื้น 4 ชนิด

กระบวนการดังกล่าว ผู้วิจัยนำมาสร้างเป็นแนวทางออกแบบสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับ
เขตร้อนชื้น เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศให้ใกล้เคียงสภาวะน่าสบายของมนุษย์มากที่สุด

แนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อม

1. สร้างพื้นที่ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ เพื่อสกัดกั้นปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ
องค์ประกอบระนาบพื้น

จากการวิจัย พบว่า การสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ สามารถลดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ
เหนือสิ่งปกคลุมพื้นผิวได้ โดย การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ 1 °C ในรอบวัน จะต้องใช้ปริมาณรังสี

ดวงอาทิตย์ 20 btu/ft²/h สำหรับพื้นผิวคอนกรีต, 23 btu/ft²/h สำหรับพื้นผิวหญ้า, 25 btu/ft²/h สำหรับพื้นผิวดิน, และ 28 btu/ft²/h สำหรับพื้นผิวน้ำ ซึ่งรวมเงาจากต้นไม้ใหญ่สามารถสกัดกันปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิววัสดุได้มากถึง ร้อยละ 83

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ 280 btu/ft²/h

ส่งผลทำให้ อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นคอนกรีต เปลี่ยนแปลง	280/20 = 14 °C
อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นหญ้า เปลี่ยนแปลง	280/23 = 12.1 °C
อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นดิน เปลี่ยนแปลง	280/25 = 11.2 °C
อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นน้ำ เปลี่ยนแปลง	280/28 = 10 °C

อิทธิพลร่มเงาต้นไม้ใหญ่ ร้อยละ 83

ส่งผลทำให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ = 47.6 btu/ft²/h

ส่งผลทำให้ อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นคอนกรีต เปลี่ยนแปลง	47.6 / 20 = 2.38 °C
อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นหญ้า เปลี่ยนแปลง	47.6 / 23 = 2.06 °C
อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นดิน เปลี่ยนแปลง	47.6 / 25 = 1.9 °C
อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นน้ำ เปลี่ยนแปลง	47.6 / 28 = 1.7 °C

(กรณีศึกษาอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ จากสิ่งปกคลุมผิวพื้นกลางแจ้ง ในช่วงเวลากลางวัน)

ลักษณะดังกล่าวสามารถลดอิทธิพลที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิผิววัสดุ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมโดยรอบ

2. พื้นที่ยกกลางแจ้ง กำหนดให้เป็นวัสดุลาดอ่อน ที่มีค่า Heat capacity สูง

- เลือกสรรสิ่งปกคลุมผิวพื้นจากวัสดุธรรมชาติ

วัสดุพื้นผิวธรรมชาติหรือวัสดุลาดอ่อน (Soft scape) เช่น แหล่งน้ำ พื้นดิน และพื้นหญ้าชุ่มน้ำ เพราะ น้ำ เป็นองค์ประกอบที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยที่สุดและมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด การมีน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดอิทธิพลความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิววัสดุได้และลดอิทธิพลการสะสมความร้อนภายในตัววัสดุเอง

- จำกัดพื้นที่วัสดุลาดแข็ง (Hard scape)

จำกัดขอบเขตสิ่งก่อสร้างที่เป็นวัสดุลาดแข็งจำพวก พื้นคอนกรีต พื้นกระเบื้อง หรือพื้นยางมะตอย เฉพาะที่จำเป็น เช่น ทางเดิน ถนน และควรสร้างพื้นที่ร่มเงาให้กับวัสดุเหล่านั้น เพื่อสกัดกันปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์และควบคุมอุณหภูมิผิววัสดุไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ซึ่งจะเป็นตัวชะลอหรือลดการถ่ายเทความร้อนจากผิววัสดุสู่สภาพแวดล้อมได้

3. ให้ความสำคัญกับองค์ประกอบแหล่งน้ำ (Water Bodies)

การกำหนดพื้นที่แหล่งน้ำให้เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยโดยรอบลงได้ เพราะพื้นที่แหล่งน้ำจะช่วยดูดซับความร้อนได้ในปริมาณมาก โดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตัวเองน้อย กล่าวคือ “น้ำ” สามารถจุปริมาณความร้อนจาก

ดวงอาทิตย์ได้มากกว่าวัสดุอื่นใด (โดยน้ำมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ = 1 cal/g.°C) ส่งผลทำให้
อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ 280 btu/ft²/h

พื้นที่คอนกรีต 100%

ส่งผลทำให้ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง = 14 oC

กำหนดพื้นที่แหล่งน้ำ 10%

จะมี อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง = 13.6 oC

กำหนดพื้นที่แหล่งน้ำ 30%

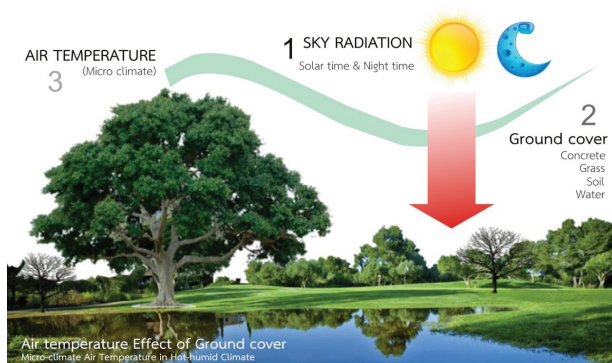
จะมี อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง = 12.8 oC

กำหนดพื้นที่แหล่งน้ำ 50%

จะมี อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง = 12 °C

อีกทั้ง แหล่งน้ำยังเป็นองค์ประกอบที่ช่วยสร้างความรู้สึกเย็นสบาย (Human Sensation)

จากการระเหยของไอน้ำสู่สภาพแวดล้อม



ภาพที่ 2: แสดงอิทธิพลรังสีดวง
อาทิตย์กระทำต่อระนาบพื้น ส่งผล
ทำให้อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

4. สรุปผลการศึกษา

ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างบริบทสังคมเมืองหลวงกับสังคมชนบท เกิดจาก
อิทธิพลความร้อนจากสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากสังคมในเมืองหลวงหรือเมืองใหญ่ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว
จะมีสิ่งปลูกสร้างเพื่อรองรับการอยู่อาศัยของประชากร ในสัดส่วนที่มากกว่าสังคมชนบท ทั้งๆที่ได้
รับอิทธิพลจากแหล่งความร้อนหลัก คือ ดวงอาทิตย์ ที่แผ่รังสีลงมาตกกระทบพื้นผิววัสดุในปริมาณ
ที่เท่ากัน แต่การตกกระทบดังกล่าวจะถูกแปรเปลี่ยนเป็นความร้อนและสะสมในวัสดุเหล่านั้น เมื่อ
ความร้อนถูกสะสมในตัววัสดุจนเต็มความจุ ก็จะถ่ายเทสู่สภาพแวดล้อมในรูปแบบของความร้อน ซึ่ง
สามารถวัดได้จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ฉะนั้น การเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Heat
island) ในเมืองใหญ่ จึงเป็นอิทธิพลความร้อนจากสิ่งปลูกสร้างของมนุษย์และเป็นแอ่งกระทะที่มีผล
ทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้น

การถ่ายเทความร้อนจากผิววัสดุสู่สภาพแวดล้อม มีระดับและปริมาณที่ต่างกันขึ้นอยู่กับความจุความร้อนจำเพาะ (Heat capacity) ของแต่ละวัสดุ สิ่งปลูกสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น คอนกรีต จะมีคุณสมบัติความจุความร้อนจำเพาะในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับน้ำ ที่ 100 หน่วย (Heat capacity=1 cal/g.°C) เมื่อความร้อนถูกสะสมในเนื้อคอนกรีตที่ 22 หน่วย (Heat capacity=0.22 cal/g.°C) ก็จะเต็มและถ่ายเทสู่สภาพแวดล้อม กล่าวคือ น้ำสามารถรองรับปริมาณความร้อนได้มากกว่าคอนกรีต 4.5 เท่า จึงเป็นผลทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวคอนกรีตสูงกว่าพื้นผิวน้ำตลอดทั้งวัน

หลักการลดอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อม จึงต้องเลือกใช้ชนิดและประเภทของวัสดุที่เหมาะสมกับสถานที่ตั้งและช่วงเวลา กรณีเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง ควรใช้วัสดุปลูกพื้นผิวที่มีค่าความจุความร้อนสูงเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อม หรือการสร้างร่มเงาเพื่อสกัดกั้นอิทธิพลการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ เพราะปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิอากาศเหนือสิ่งปกคลุมพื้น

5. ข้อเสนอแนะ

1. การต่อยอดของข้อมูล เพื่อใช้ในการสร้างสมการ (Equation) ทำนายอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งปี จากอิทธิพลตัวแปรโดยรอบที่ตั้ง
2. การศึกษาตัวแปรการสกัดกั้นปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ จากอิทธิพลร่มเงาของต้นไม้ (Vegetation) และอาคาร (Building) ต่อสิ่งปกคลุมผิวพื้นแต่ละชนิด ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ
3. การศึกษาอิทธิพลการระเหยของน้ำ จากแหล่งน้ำ (Water bodies) ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ

บรรณานุกรม

- America Society of Heating, (2001). *Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. ASHRAE Applications Handbook*. I-P Edition. Atlanta Georgia: (n.p.).
- Geografika Nusantara. (2011). *Why Is It Hotter in Jakarta? The Urban Heat Island Effect in Indonesia*. Kapi'olani Community College in Honolulu.
- Olgyay, V. (1992). *Design with Climate: Bioclimatic approach to Architectural Regionalism*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Stein, B. and Reynolds, J. S. (2000). *Mechanical and electrical equipment for Buildings*. 9thed. New York: John Wiley & Sons.
- กาญจนา สิริภัทรวิช. (2541). *การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร*. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ขวัญชัย กาแก้ว. (2548). **ประสิทธิภาพขององค์ประกอบสภาพภูมิทัศน์ต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรรณทิภา สายวัฒน์ และกฤตพร หัวเจริญ. (2552). **การพัฒนาพื้นที่โล่งในเขตเมืองเพื่อการแก้ปัญหาปรากฏการณ์เกาะความร้อน: กรณีศึกษา บริเวณถนนสีลม กรุงเทพมหานคร.** กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วรสันต์ บุรณากาญจน์. (2550). **โครงการวิจัยดัชนีระบบนิเวศยุคใหม่เพื่อความยั่งยืน.** กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุดสวาท ศรีสถาปัตย์. (2545). **การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทร บุญญาธิการ. (2542). **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อโนทัย ธนะเจริญกิจ. **การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับโซนสบาย.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.