

แนวทางการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาตาดฟ้าอาคาร

The Use of Roof Garden to Reduce Heat Transfer Through Flat Slab Roof

ศุภกิจ ยิ้มสรวล¹

ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

การที่หลังคาตาดฟ้าอาคารได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้มีการสะสมและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร มีผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นซึ่งกระทบต่อสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิของผู้ใช้อาคารและการะในการปรับอากาศ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาตาดฟ้าอาคาร โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารต่ำที่สุดโดยกำหนดรูปแบบการทดลองทั้งสิ้น 5 รูปแบบ ดังนี้ การทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของดินปลูกในการป้องกันความร้อนของสวนหลังคาการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นภายในดินปลูกที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคาการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของวัสดุคลุมดินที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคาการทดลองที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคา และการทดลองที่ 5 การศึกษาอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การใช้สวนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนและลดอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลจากดิน อิทธิพลของความชื้นภายในดินและอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาตาดฟ้าอาคารกับดินซึ่งในการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาตาดฟ้าอาคารนั้นควรใช้วัสดุปลูกคลุมผิวดิน อาทิ หญ้า พืชคลุมดิน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นภายในดินและช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวดิน อีกทั้งควรใช้ประโยชน์จากพุ่มใบของไม้พุ่มและไม้ยืนต้นเพื่อปรับสภาพแวดล้อมเหนือผิวดินและช่วยป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากดิน วัสดุคลุมดิน ความชื้นภายในดินและการปรับสภาพแวดล้อมโดยการบังเงาให้แก่สวนหลังคาจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สวนหลังคา หลังคาตาดฟ้าอาคาร การถ่ายเทความร้อน

Abstract

The temperature of the rooftop surface drastically increased due to the direct effect of solar radiation. This high temperature is then transferred to the bottom surface of the rooftop and result in unfavorable high temperature inside the building. For this reason, this research aims to investigate the five main factors affecting the reduction of heat transfer by the use of the roof garden. It intends to find the ways to minimize the bottom surface temperature of the rooftop. According to this, the influence of soil covering was studied significantly. The bottom surface temperature of uncovered roof and soil covering roof was monitored primarily. The soil moisture of roof covering was then studied. In testing the effect of soil moisture, dry and wet soils was examined comparatively. Similarly, wet soil without any cover, wet soil cover with grass and wet soil cover with crops were used as roof covering for testing the influence of soil surface. For monitoring the environmental conditions

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

over the roof garden, wet soil cover with grass only, with grass and shrubs, and with grass and trees were investigated. In addition, wet soil cover with in-shade grass and wet soil cover with outdoor grass were studied for the impact of solar radiation.

Resulting in a decrease of the rooftop bottom surface temperature, heat sinks and heat exchange between the rooftop and soil can reduce the effect of heat transfer. In practice, ground covering is very significant; it transfers coolness into soil and maintains soil moisture. Besides, grass, crops, shrubs and trees can improve the environment over the roof garden by screening and blocking solar radiation. Thus, it can be concluded that roof garden can be considered as an insulation for flat slab roof and reduce heat transfer considerably.

Keywords: Roof Garden Flat Slab Roof Heat Transfer

1. บทนำ

ประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจึงมีอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงเกือบตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการปรับอากาศภายในอาคารให้อยู่ในขอบเขตของสภาวะน่าสบายซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศเพิ่มขึ้น อีกทั้งอาคารในประเทศไทยโดยมากนิยมก่อสร้างโดยใช้วัสดุที่มีความสามารถในการสะสมความร้อนสูง อาทิ คอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นวัสดุก่อสร้างหลัก ซึ่งโดยพฤติกรรมคอนกรีตจะสะสมความร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์และมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารโดยเฉลี่ยประมาณ 10 องศาเซลเซียส และค่อยๆ ถ่ายเทเข้าสู่ภายในตัวอาคารด้วยหลักการการนำความร้อน ส่งผลอุณหภูมิผิวด้านในอาคารสูงขึ้นตามลำดับ และมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคารและสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร (ASHRAE, 1995) ซึ่งในการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้น นอกจากการผสมผสานการออกแบบเพื่อให้อาคารใช้พลังงานได้น้อยที่สุดหรือมีประสิทธิภาพสูงที่สุดแล้ว ยังต้องคำนึงการออกแบบเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายให้แก่ผู้ใช้อาคารและหาวิธีการเพื่อลดภาระการทำความเย็นในการปรับอากาศภายในอาคารโดยการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร (Givoni, 1998) วิธีการสำคัญในการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารวิธีหนึ่ง คือ การลดอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางหลังคาอาคาร เนื่องจากหลังคาเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารที่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มากที่สุด (Olgay, 2015) เมื่อหลังคาสะสมความร้อนไว้จนมีอุณหภูมิสูงระดับหนึ่งก็จะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หากไม่มีการป้องกันความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ความร้อนจากภายนอกอาคารจะเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้น และส่งผลต่อภาระการปรับอากาศภายในอาคารรวมทั้งสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิของผู้ใช้อาคาร

โดยทั่วไปนั้นการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคามักจะมุ่งเน้นหาวิธีการในการลดอุณหภูมิที่ผิวหลังคาภายนอกและภายในให้ได้มากที่สุด อาทิ การใช้วัสดุปกคลุมหลังคา การใช้หลังคาสองชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้หลังคาได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์โดยตรง รวมถึงการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันความร้อน แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคารยังคงอยู่ ซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะสมความร้อนของวัสดุ ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อนการคายรังสีความร้อนของวัสดุ รวมถึงอิทธิพลของมวลสารที่ต่างกันทำให้วัสดุมีความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุปกคลุมหลังคาอาคารที่สามารถทำให้เกิดพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่หลังคาอาคารลงได้

การใช้ฉนวนบนหลังคาเพื่อปกคลุมหลังคาดาดฟ้าอาคาร เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งไม่เพียงแต่ป้องกันไม่ให้หลังคาดาดฟ้าอาคารได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เท่านั้น ยังช่วยป้องกันความร้อนไม่ให้สะสมในหลังคาดาดฟ้าอาคาร

เนื่องจากวัสดุปลูกหรือพืชพันธุ์ต่าง ๆ ของสวนบนหลังคานั้นจะช่วยป้องกันรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ รวมถึงความเย็นและความชื้นจากดินปลูกจะช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านล่างของหลังคาอาคารซึ่งช่วยลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาอาคารสู่ผู้ใช้อาคารลง ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารใกล้เคียงกับขอบเขตของสภาวะน่าสบายมากยิ่งขึ้น (Robinette, 1983) นอกจากนี้การใช้สวนบนหลังคายังช่วยลดการยืดหดตัวการแตกร้าวของผิวหลังคาอาคารและการรั่วซึมของน้ำที่เกิดจากการแตกร้าวของผิวหลังคาเข้าสู่ภายในอาคารได้อีกด้วย (Watson, 1993)

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางหลังคาอาคารโดยการใช้องค์ประกอบจากสวนหลังคา รวมทั้งศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการหน่วงเหนี่ยวและป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำประโยชน์ของสวนบนหลังคามานำใช้ในการออกแบบและปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและเกิดความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยมุ่งเน้นการศึกษาแนวทางการใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาอาคารโดยมีวัตถุประสงค์หลักในการวิจัย 3 ประการ ดังนี้

- 2.1 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้สวนหลังคาเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารผ่านทางหลังคาอาคาร
- 2.2 ศึกษาอิทธิพลของมวลสารของสวนหลังคาในการหน่วงเหนี่ยวและป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร
- 2.3 ศึกษาแนวทางในการใช้องค์ประกอบจากสวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนโดยทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารต่ำที่สุด

3. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- 3.1 ทำการศึกษาจากสถานที่จริงโดยทำการวิจัยจากสวนหลังคาของอาคารโรงพยาบาลราชธานี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทำการสร้างพื้นที่ทดลองขนาดความกว้าง 4.00 เมตรความยาว 4.00 เมตรความสูง 3.50 เมตรใต้พื้นที่สวนหลังคาและก่อสร้างผนังแบบ Composite Wall โดยรอบพื้นที่ทดลองเพื่อป้องกันอิทธิพลจากภายนอกอาคารให้ได้มากที่สุด
- 3.2 ทำการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนระหว่างหลังคาที่ไม่มีความลาดชัน (Flat Slab) กับหลังคาที่มีสวนหลังคาปกคลุมเพื่อศึกษาอิทธิพลของดินปลูก อิทธิพลของความชื้นภายในดิน อิทธิพลของสภาพผิวดิน อิทธิพลของวัสดุคลุมดิน อิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือดินและอิทธิพลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์
- 3.3 ใช้พืชพันธุ์ในการทดสอบ 4 ประเภท ได้แก่ หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและต้นไม้ เพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคาร
- 3.4 ทำการศึกษากฎการการถ่ายเทความร้อนผ่านทางสวนหลังคาแบบหนักที่มีความลึกของดินปลูกที่ระดับ 0.60 เมตร เท่านั้น
- 3.5 ทำการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนมีนาคมและเมษายน พ.ศ. 2557 ซึ่งดวงอาทิตย์ทำมุมประมาณ 95-98 องศาทิศใต้และมีมุมยกประมาณ 80 องศาที่ระดับพื้นสวนหลังคาในช่วงเที่ยงวัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้ จึงเป็นข้อมูลเฉพาะในช่วงเวลาดังกล่าวเท่านั้นไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปี
- 3.6 เป็นการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาและการป้องกันความร้อนของสวนหลังคาเท่านั้นจึงไม่ครอบคลุมการศึกษาในมิติอื่นๆ

4. เครื่องมือและวิธีการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย

4.1 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger) ขนาด 32 ช่องสัญญาณ จำนวน 2 เครื่อง

4.2 สายสัญญาณและหัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermistor) สำหรับใช้ต่อกับเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิไปยังจุดที่ต้องการวัดค่าอุณหภูมิและส่งสัญญาณเข้าเครื่อง Data Logger ทำการแปลงสัญญาณผ่านเข้าโปรแกรม Gen 200 เพื่อประมวลข้อมูล

4.3 เครื่องวัดความเร็วลม จำนวน 1 เครื่อง

4.4 เครื่องวัดปริมาณแสงอาทิตย์ จำนวน 1 เครื่อง

ในการทดลองได้ทดสอบอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวดินล่างหลังคาอาคารใน 2 รูปแบบ ได้แก่ ตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์และตัวแปรเพื่อศึกษาพฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคา

1. ตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

1.1 อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารที่ความสูง 1.00 จากพื้นสวนหลังคาประกอบด้วย

- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

1.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ระดับ 1.50 เมตรจากพื้นอาคารทดลองและเหนือระดับฝ้าของพื้นที่ทดลอง 30 เซนติเมตร

1.3 อุณหภูมิผิวดินปลูกของสวนหลังคา

1.4 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 0.60 เมตรจากระดับผิวดินปลูก

1.5 อุณหภูมิผิวดินล่างหลังคาอาคาร

1.6 ความเร็วลม (Wind Speed) ที่ระดับเหนือผิวดิน

1.7 ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

2. ตัวแปรเพื่อศึกษาพฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาประกอบด้วย

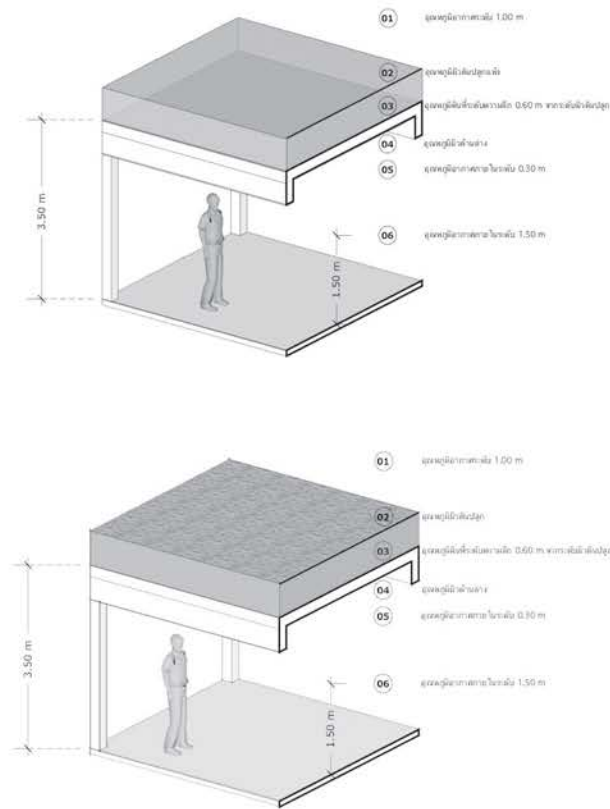
2.1 อิทธิพลของดินปลูก

2.2 อิทธิพลของความชื้นภายในดิน

2.3 อิทธิพลของวัสดุคลุมดิน

2.4 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือดิน

2.5 อิทธิพลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ เพื่อศึกษาอิทธิพลในการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

จากตัวแปรที่กำหนดข้างต้น สามารถกำหนดชุดการทดลองได้ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของดินปลูกในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการใช้สวนหลังคา

ชุดการทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นภายในดินที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

ชุดการทดลองที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของวัสดุคลุมดินที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

ชุดการทดลองที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคา

ชุดการทดลองที่ 5 การศึกษาอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา

จากชุดการทดลองดังกล่าวสามารถกำหนดจุดติดตั้งสัญญาณได้ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 การวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิอากาศภายในอาคารระดับ 1.50 เมตรจากระดับพื้นของพื้นที่ทดลอง
2. อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเหนือระดับฝ้าของพื้นที่ทดลอง 30 เซนติเมตร

ตำแหน่งที่ 2 การวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารที่ระดับ 1.00 เมตรจากพื้นสวนหลังคาประกอบด้วย

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

ตำแหน่งที่ 3 การวัดค่าอุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาแดดฟ้าอาคาร

ตำแหน่งที่ 4 การวัดค่าอุณหภูมิผิวดินปลูก ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิผิวดินแห้ง (ความชื้นในดินน้อย)
2. อุณหภูมิผิวดินเปียก (ความชื้นในดินมาก)
3. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้า
4. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน
5. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าใต้ไม้พุ่ม
6. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าใต้ต้นไม้
7. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้ากลางแจ้ง (โดนแดด)

ตำแหน่งที่ 5 การวัดค่าอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 0.60 เมตร จากระดับสวนหลังคาประกอบด้วย

1. อุณหภูมิผิวดินแห้ง (ความชื้นในดินน้อย)
2. อุณหภูมิผิวดินเปียก (ความชื้นในดินมาก)
3. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้า
4. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน
5. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าใต้ไม้พุ่ม
6. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าใต้ต้นไม้
7. อุณหภูมิผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้ากลางแจ้ง (โดนแดด)

ตำแหน่งที่ 6 การวัดค่าอุณหภูมิมิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคาร ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม
2. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินแห้ง (ความชื้นในดินน้อย)
3. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินเปียก (ความชื้นในดินมาก)
4. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยหญ้า
5. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน
6. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าใต้ไม้พุ่ม
7. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าใต้ต้นไม้
8. อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาแดดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยหญ้ากลางแจ้ง (โดนแดด)

5. การวิเคราะห์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยสวนหลังคา โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Regression Analysis) เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

5.1 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารระหว่างหลังคาอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุมกับหลังคาอาคารที่มีการใช้ดินปกคลุม ทำการวิเคราะห์ตัวแปร ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม

5.1.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยสวนหลังคา

5.2 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารระหว่างหลังคาอาคารที่มีความชื้นภายในดินแตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปร ดังนี้

5.2.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินแห้ง (ความชื้นในดินน้อย)

5.2.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินเปียก (ความชื้นในดินมาก)

5.3 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินซึ่งผิวดินปราศจากสิ่งปกคลุมกับผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าและพืชคลุมดิน โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปร ดังนี้

5.3.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินที่ปราศจากวัสดุคลุมดิน

5.3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้า

5.3.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน

5.4 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าที่อยู่ในที่โล่งและผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าใต้ไม้พุ่มและผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าใต้ต้นไม้ โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปรดังนี้

5.4.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้า

5.4.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยพืชคลุมดิน

5.4.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าใต้ไม้พุ่ม

5.5 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในร่มและผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้ากลางแจ้ง (โดนแดด) โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปร ดังนี้

5.5.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าใต้ต้นไม้

5.5.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้ากลางแจ้ง (โดนแดด)

6. ผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

6.1 การศึกษาอิทธิพลของดินในการป้องกันความร้อน

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของดินในการป้องกันความร้อน พบว่า อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินแห้งมีอุณหภูมิเกือบคงที่โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุมที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 องศาเซลเซียสและมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยกว่าซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มมวลสาร ดังนั้นสวนหลังคาทำหน้าที่เปรียบเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่หลังคาตาดฟ้าอาคาร เนื่องจากดินมีค่าความจุความร้อนมากกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคาร จึงทำให้มีอุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิผิวดินคงที่และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม รวมทั้งการที่ดินมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคารและมีมวลสารมาก ทำให้มีการกักเก็บความร้อนไว้ในดินและมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากขึ้นส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่หลังคาตาดฟ้าอาคารได้ช้าลง อีกทั้งกระแสลมที่พัดผ่านเหนือผิวดินจะช่วยพัดพาความร้อนที่ผิวดินออกไปจึงทำให้มีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีดินปกคลุมต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม

6.2 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นภายในดิน

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นภายในดิน พบว่า ความชื้นภายในดินเพิ่มขึ้นทำให้ดินมีค่าความจุความร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอุณหภูมิที่ผิวดินและอุณหภูมิภายในดินคงที่ การที่ดินมีความชื้นสูงขึ้นทำให้มีการหน่วงเหนี่ยวความเย็นจากผิวดินลงสู่ดินใต้ดียิ่งขึ้นด้วยหลักการนี้ทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินที่มีความชื้นมาก (26.90 องศาเซลเซียส) ต่ำกว่าดินที่มีความชื้นน้อย (27.80 องศาเซลเซียส) ประมาณ 0.90 องศาเซลเซียส

6.3 การศึกษาอิทธิพลของวัสดุคลุมดิน

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุคลุมดินพบว่า การใช้วัสดุคลุมดิน อาทิ หญ้าและพืชคลุมดิน จะช่วยป้องกันความร้อนและรังสีดวงอาทิตย์แก่ผิวดิน เมื่อผิวดินมีความเย็นจะมีการหน่วงเหนี่ยวความเย็นลงสู่ดิน หญ้าและพืชคลุมดินเป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่ผิวดินและช่วยในการระเหยของน้ำ ทำให้มีการคายความร้อนสู่สภาพแวดล้อมมากขึ้นซึ่งมีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาตาดฟ้าอาคารกับดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิผิวดิน อุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารลดลง โดยที่อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปราศจากจากวัสดุคลุมดินมีอุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียสในขณะที่อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าและพืชคลุมดินมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.80 และ 26.70 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่า 0.20 และ 0.30 องศาเซลเซียสตามลำดับ

6.4 การศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคา

สภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคาที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน จากการวิจัยพบว่า ไม้พุ่มและต้นไม้จะช่วยบังเงาและกรองแสงอาทิตย์รวมทั้งหญ้าที่ปกคลุมผิวดิน ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิวดินแล้วอิทธิพลของไม้พุ่มและต้นไม้จะช่วยลดความร้อนให้แก่สภาพแวดล้อมโดยพุ่มไม้จะช่วยปรับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมให้ลดลง ส่งผลให้ผิวดินมีอุณหภูมิต่ำลงและเกิดการหน่วงเหนี่ยวความเย็นลงสู่ดิน นอกจากนี้หญ้า ไม้พุ่มและต้นไม้จะทำหน้าที่ช่วยในการดูดน้ำหรือความชื้นภายในดินมาระเหย เมื่อมีกระแสลมที่พัดผ่านเหนือผิวดินจะช่วยพัดพาความร้อนที่ผิวดินออกไปและช่วยในการระเหยของน้ำทำให้มีการการคายความร้อนจากดินสู่สภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น โดยอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าที่อยู่ใต้ร่มเงาของไม้พุ่มและต้นไม้มีอุณหภูมิต่ำกว่าหญ้าในที่โล่งประมาณ 0.20 และ 0.60 องศาเซลเซียส

6.5 การศึกษาอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยหญ้าที่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง (โดนแดด) จะสูงกว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยหญ้าในที่ร่มประมาณ 1.15 องศาเซลเซียส แสดงว่า การให้ร่มเงาแก่สวนหลังคาที่มีความจำเป็นมากในการลดอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ การใช้วัสดุคลุมดินและการให้ร่มเงาจะช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิวดิน เมื่อผิวดินมีความเย็นจะมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดินจึงส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารลดต่ำลง

7. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า สวนหลังคาเปรียบเสมือนเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่หลังคาตาดฟ้าอาคาร และสามารถลดอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์และทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาตาดฟ้าอาคารกับดินและวัสดุคลุมดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งอิทธิพลความเย็นจากดินที่ผิวด้านบนหลังคาตาดฟ้าอาคารสัมผัสนั้น สามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาตาดฟ้าอาคารลงได้โดยขึ้นอยู่กับตัวแปร ดังนี้

7.1 อิทธิพลของดิน

การใช้ดินเป็นวัสดุหลักปกคลุมหลังคาตาดฟ้าอาคารเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มมวลสารและเป็นฉนวนป้องกันอิทธิพลจากรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์เนื่องจากดินมีค่าความจุความร้อนมากกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคารจึงทำให้อุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิผิวดินคงที่และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม ซึ่งการใช้ดินปกคลุมหลังคาตาดฟ้าอาคารนั้นสามารถลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดและช่วยลดผลกระทบจาก Sol-Air Temperature ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การที่ดินมีมวลสารมากทำให้มีการกักเก็บความร้อนและการหน่วงความร้อนมากขึ้น จากการวิจัยพบว่าดินมีค่าการหน่วงความร้อนประมาณ 4-6 ชั่วโมงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาตาดฟ้าอาคารมีอัตราที่ช้าลง ซึ่งจะช่วยหน่วงและลดความร้อนในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารสูงที่สุดได้ นอกจากนี้การที่ดินมีอุณหภูมิคงที่และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคารนั้น ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวด้านบนสัมผัสดินกับดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่มีสวนหลังคาปกคลุมต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปราศจากสิ่งปกคลุม

7.2 อิทธิพลของความชื้นภายในดิน

การที่มีความชื้นภายในดินมากขึ้นส่งผลให้ดินมีค่าความจุความร้อนสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิผิวดินคงที่และมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าดินที่มีความชื้นภายในดินน้อย เมื่อดินมีอุณหภูมิผิวดินที่ต่ำลงจะทำให้มีการเหนี่ยวนำความเย็นได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นซึ่งมีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ผิวด้านบนสัมผัสดินกับดินที่เป็นวัสดุหลักของสวนหลังคา การมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นนี้ ส่งผลให้หลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินที่มีความชื้นมากมีอุณหภูมิผิวด้านล่างต่ำกว่าหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยดินที่มีความชื้นน้อย

7.3 อิทธิพลของวัสดุคลุมดิน

สภาพผิวดินที่แตกต่างกันส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารแตกต่างกัน การใช้วัสดุปกคลุมผิวดิน เช่น หญ้าและพืชคลุมดินจะช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิวดิน เมื่อผิวดินมีอุณหภูมิที่ลดลงจะมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ดังนั้นหญ้าและพืชคลุมดินจึงเป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่ผิวดินรวมทั้งช่วยในการระเหยของน้ำ ทำให้มีการคายความร้อนจากดินสู่สภาพแวดล้อมมากขึ้น ด้วยเหตุนี้เอง อุณหภูมิผิวดินจึงเย็นลงและส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารลดต่ำลงด้วย นอกจากนี้กระแสลมที่พัดผ่านเหนือผิวดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยพาความร้อนสะสมที่ผิวดิน

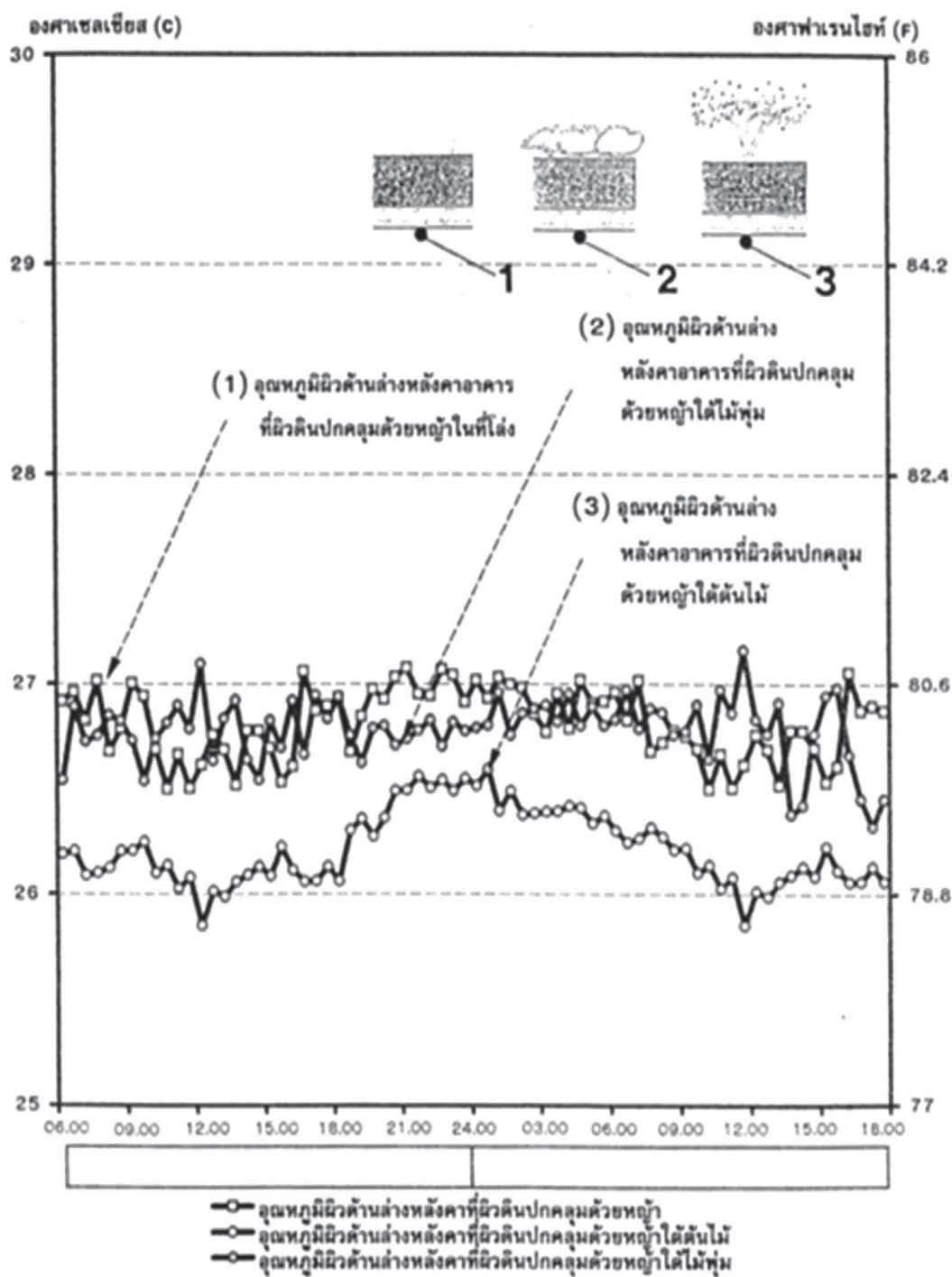
ออกไปรวมทั้งช่วยในการระเหยของน้ำและการคายความร้อนจากดินสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งผลจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารที่ผิวด้านบนสัมผัสดินกับดินที่เป็นวัสดุหลักของสวนหลังคาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง เห็นได้จากอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าและพืชคลุมดินจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดินปลูกที่ปราศจากวัสดุปกคลุมตลอดเวลา

7.4 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคา

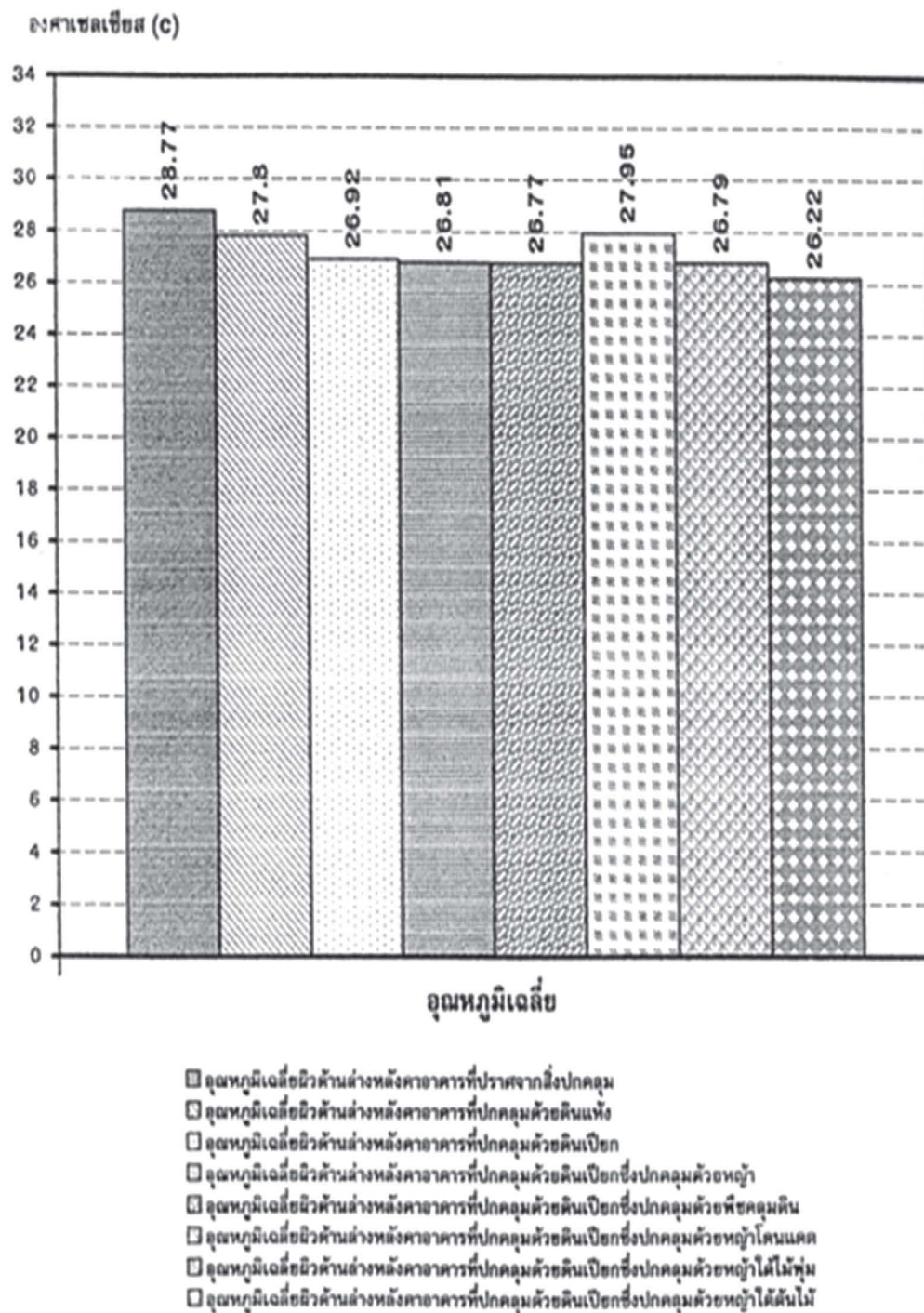
สภาพแวดล้อมเหนือสวนหลังคาที่แตกต่างกันส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารแตกต่างกัน การใช้วัสดุคลุมดิน เช่น หญ้า พืชคลุมดินจะช่วยป้องกันความร้อนให้กับผิวดิน รวมทั้งการใช้พืชพันธุ์ต่างๆ เช่น ไม้พุ่ม ต้นไม้จะช่วยบังเงาและป้องกันอิทธิพลจากรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ซึ่งช่วยลดความร้อนให้แก่สภาพแวดล้อม การที่สภาพแวดล้อมเหนือผิวดินมีอุณหภูมิต่ำลง ส่งผลให้ผิวดินมีความเย็นและเกิดการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน นอกจากนี้หญ้า พืชคลุมดิน ไม้พุ่มและต้นไม้จะทำหน้าที่ช่วยดูดน้ำหรือความชื้นภายในดินมาระเหย ทำให้อุณหภูมิผิวดินลดลงเมื่อมีกระแสลมที่พัดผ่านเหนือผิวดินจะช่วยพาความร้อนที่ผิวดินออกไปสู่สภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าได้ต้นไม้อาจมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าที่อยู่ในที่โล่งตลอดเวลา

7.5 อิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

การใช้วัสดุคลุมดินเป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่ผิวดินและช่วยในการระเหยของน้ำทำให้มีการคายความร้อนสู่สภาพแวดล้อมมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิผิวดินจึงเย็นลงและส่งผลให้อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลงจากการวิจัยพบว่า ผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าในที่ร่ม (ไม่โดนแดด) จะมีอุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารต่ำกว่าผิวดินที่ปกคลุมด้วยหญ้าที่ได้รับอิทธิพลของดวงอาทิตย์ (โดนแดด) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของสวนหลังคา ดังนั้นการให้ร่มเงาแก่ผิวดินจะช่วยลดอิทธิพลจากรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์และช่วยลดความร้อนสะสมที่ผิวดินมีผลให้อุณหภูมิผิวดินและอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง



รูปที่ 2 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาตาดฟ้าอาคารที่ปกคลุมด้วยวัสดุสวนหลังคา



รูปที่ 3 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังการตากข้าวที่ปลูกด้วยวัสดุสวนหลังคาในรูปแบบต่างๆ



เอกสารอ้างอิง

- American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers, Inc. (1995). **ASHRAE Application Handbook**. Georgia.
- Givoni, B. (1998). **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Wiley, New York.
- Olgyay, V. (2015). **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton University Press, New Expansion Edition, New Jersey.
- Robinette, G. (1983). **Landscape Planning for Energy Conservation**. ASLA Foundation. Mclean, Virginia.
- Stein, B. and Reynolds, J. (1989). **Mechanical and Equipment for Building**. 8th Edition. USA.
- Watson, D.; FAIA and Kanneth Labs. (1993). **Climatic Building Design: Energy- Efficient Building Principles and Practices**. McGraw-Hill, USA.