

แบบจำลองเพื่อศึกษาความสามารถเป็นฉนวนกันความร้อนของหลังคาเขียว MODELLING FOR STUDY THE THERMAL CONDUCTION OF MODULAR GREEN ROOF

ฐาปกรณ์ สากลปัญญา¹ และ วิรุฬห์ คำชุม^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

*Corresponding author address: viroon.ka@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การเติบโตของชุมชนเมือง ทำให้พื้นที่สีเขียวมีบริเวณลดน้อยลง และก่อให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน ส่งผลให้ปริมาณความร้อนเพิ่มสูงขึ้นทั้งภายนอกและภายในอาคาร หลังคาเขียวหรือหลังคาที่มีพืชปกคลุมสามารถช่วยบรรเทาผลกระทบเกาะความร้อนและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากอากาศภายนอกเข้าสู่ตัวอาคาร ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของหลังคาเขียวนี้อาจเปลี่ยนแปลง ขึ้นกับการเจริญเติบโตของพืชบนหลังคา งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของดินและพืช จากแบบจำลองหลังคาเขียว โดยคำนึงผลการเปลี่ยนแปลงจากการเติบโตของพืชต่อการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียว สร้างแบบจำลองหลังคาจากคอนกรีตเพื่อจำลองหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคาร และทำการปลูกหญ้าแพรกอยู่ด้านบนเพื่อจำลองเป็นหลังคาเขียวชนิดไม่ใช้สอย มีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่าอุณหภูมิแบบสามารถเก็บค่าได้จาก Arduino ทดสอบด้วยการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านบนและด้านล่างของหลังคา ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิความร้อนระหว่างภายในอาคารของแบบจำลองหลังคา 3 กรณีคือ 1. หลังคาคอนกรีต หรือหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคาร 2. หลังคาคอนกรีตที่มีชั้นดิน โดยมีปริมาณน้ำในดินเปลี่ยนแปลง และ 3. หลังคาเขียว หรือหลังคาคอนกรีตที่มีชั้นดินและพืชปกคลุมผิว โดยศึกษาช่วงการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่าหลังคาเขียวที่มีหญ้าแพรกช่วงการเจริญเติบโต 0 ถึง 21 วัน สามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้มากกว่าหลังคาคอนกรีต โดยมีความแตกต่างกันระหว่างช่วงการเจริญเติบโตของพืชเล็กน้อย และพบว่าเมื่อปริมาณน้ำในดินลดลง ความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: หลังคาเขียว, ฉนวนป้องกันความร้อน, อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

Abstract

Urban growth making green areas less space and causing the phenomenon of the heat island. Green roofs or plant-covered roofs can help mitigate the impact of heat islands and provide insulators to prevent heat from outside the building. The performance of this green roof as a thermal insulator may change depending on the plant growth in the soil. This research focuses on the thermal protection efficiency of soil and plants. From a modular concrete roof model taking into account the effect of transition from plant to the thermal protection of green roofs. Roof model made of concrete to simulate the rooftop concrete of the building. And there is Bermuda grass planted on top to simulate an Extensive type of green roof. A device for measuring temperature that can be collected data is developed from the Arduino board. The method of testing was temperature sensors on the top and below of the rooftop were performed to compare the thermal temperature between the interior of the building model. Compared 3 cases: 1. A Concrete roof or a rooftop concrete of a building, 2. A concrete roof with a soil layer with a varying amount of water in the soil and 3. A green roof or a concrete roof with soil and plants covering the soil surface with consideration of different plant ages. From the results of this research, it was found that green roofs with plants ages 0 to 21 days can be an insulator. Reduce the temperature inside the building more than a concrete roof just slightly different and founded the amount of water in the soil is less water in the soil, heat insulation capacity of the roof is increasing.

Keywords: Green roof, Heat insulant, Temperature sensors

1. คำนำ

หลังคาเขียว (Green roof) หลังคาของอาคารที่มีพืชปกคลุมผิว มีประโยชน์ต่อพื้นที่เขตเมือง เป็นมิตรกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน คุณประโยชน์ของหลังคาเขียวทางด้านวิศวกรรม

โดยทั่วไปมักเกี่ยวข้องกับความสามารถในการบรรเทาผลกระทบจากสภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายในและภายนอกของอาคาร [1] การเพิ่มความสามารถการกักเก็บน้ำในดิน ช่วยลดปริมาณน้ำผิวดินในสถานการณ์พายุฝน [2] และสามารถลดปริมาณ

ฝนควันที่เป็นปัญหาในเขตเมืองที่มีปริมาณฝนควันสูงได้ [3] นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียง ลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อน และพื้นฟูระบบนิเวศในพื้นที่โดยรอบ [1] โดยสถานการณ์ปัจจุบัน ปรากฏการณ์เกาะความร้อน และการเพิ่มขึ้นของประชากรในเขตเมือง ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณเขตเมืองมีค่าสูงขึ้น [4] การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความสามารถการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียว เพื่อลดผลกระทบจากสภาวะอุณหภูมิความร้อน และเพิ่มพื้นที่สีเขียวในบริเวณตัวเมือง โดยศึกษาความสามารถการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียว ด้วยแบบจำลองหลังคาคอนกรีต ปลูกหญ้าแพรกไว้ด้านบน ทำการทดสอบความสามารถการเป็นฉนวนของหลังคาด้วยการตรวจวัดค่าอุณหภูมิความร้อนภายในและภายนอกของอาคาร ระหว่างหลังคา 3 แบบคือ 1.หลังคาคอนกรีตทั่วไปหรือหลังคาชั้นลาดฟ้าของอาคาร 2.หลังคาคอนกรีตที่มีชั้นดินปกคลุม และ 3.หลังคาคอนกรีตที่มีชั้นดินและพืชหญ้าปกคลุม

2. วัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย

ศึกษาความสามารถการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียว ที่มีความสัมพันธ์กับช่วงอายุของพืช และปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลังคาเขียว (Green roof) มีหลากหลายชื่อเช่น vegetated roof covers, eco-roofs โดยแต่ละชื่อแสดงถึงลักษณะที่มีความคล้ายเคียงกัน คือหลังคาที่มีพืชพรรณอยู่ด้านบนหลังคา ซึ่งถูกนำไปใช้งานในหลากหลายประเทศ หลากหลายสภาพภูมิอากาศ จากการศึกษาข้อมูลพบว่ามีการเริ่มใช้หลังคาเขียวตั้งแต่ช่วงยุคสมัยอารยธรรมเมโสโปเตเมีย ในสวนลอยแห่งกรุงบาบิโลน ซึ่งกล่าวได้ว่าหลังคาเขียวถือกำเนิดมานานกว่า 1,000 ปี [5] [6]

ในยุโรป ได้มีการใช้หลังคาเขียวมาตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1960 และเฉพาะในปีค.ศ. 2017 จากการสำรวจของ Green roofs for Healthy Cities (GRHS) ในสหรัฐอเมริกาพบว่า มีจำนวนโครงการหลังคาเขียวกว่า 1,000 โครงการ เฉพาะใน 39 รัฐของสหรัฐอเมริกา ครอบคลุมพื้นที่หลังคามากถึง 502,000 ตารางเมตร และในบางเมืองได้มีการออกกฎหมายที่ส่งเสริมและจูงใจในการก่อสร้างเพื่อใช้หลังคาเขียว [7] และสำหรับหลังคาเขียวในประเทศไทย มีการใช้มาแล้วประมาณ 30 กว่าปี โดยเริ่มต้นนั้นเป็นเพียงการตกแต่ง และใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างบนหลังคาหรือชั้นลาดฟ้า [8] โดยในปัจจุบันมีการก่อสร้างที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น ทั้งเรื่องความสามารถการรับน้ำหนัก การป้องกันการรั่วซึม และสามารถต่อเติมหลังคาอาคารเดิมเพื่อให้เหมาะสมสำหรับหลังคาเขียวได้ อีกทั้งมีเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับอาคารระหว่างใช้งาน จัดทำโดยสถาบันอาคารเขียวไทยร่วมมือกับ

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และสมาคมสถาปนิกสยาม [9] ที่กล่าวถึง ความสามารถของหลังคาเขียวซึ่งสามารถลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง และหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในไทยที่เกี่ยวข้องกับหลังคาเขียว ให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินการหลังคาเขียว ซึ่งคาดว่าจะทำให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจหลังคาเขียวมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาความสามารถที่เป็นประโยชน์ของหลังคาเขียว อีกทั้งสามารถเป็นคะแนนพิเศษ สำหรับการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมของอาคาร

3.1. ชนิดหลังคาเขียว

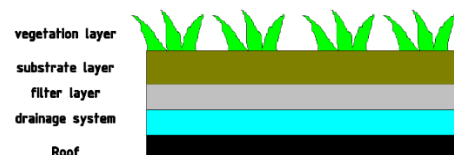
หลังคาเขียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการใช้งานและลักษณะของหลังคาเขียวดังนี้

1. หลังคาเขียวชนิดไม่ใช้สอย (Extensive green roof) มีความหนาชั้นดินต่ำกว่า 200 มิลลิเมตร, น้ำหนักประมาณ 60 ถึง 150 กิโลกรัมต่อตารางเมตร, ชนิดพืชพรรณที่เหมาะสมเป็นพืชพรรณขนาดเล็ก (เช่น หญ้า, มอส และพืชสมุนไพร), มีต้นทุนการก่อสร้างและบำรุงรักษาต่ำ [1]
2. หลังคาเขียวชนิดใช้สอย (Intensive green roof) มีความหนาชั้นดินมากกว่า 200 มิลลิเมตร, ส่วนมากจะมีน้ำหนัก 300 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (บางกรณีต้องมีการเสริมกำลังรับแรงของโครงสร้าง), ชนิดพืชพรรณที่เหมาะสมเป็นพืชพรรณขนาดเล็ก-ใหญ่ (เช่น หญ้า, ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้น), มีต้นทุนการก่อสร้างและบำรุงรักษาสูง [1]

โดยการศึกษาเลือกจำลองหลังคาเขียว เป็นหลังคาเขียวชนิดไม่ใช้สอย (Extensive green roof) เนื่องจากเป็นหลังคาเขียวชนิดที่เน้นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักที่เบา การบำรุงรักษาต่ำ เมื่อเทียบกับหลังคาเขียวชนิดใช้สอย

3.2. ส่วนประกอบของหลังคาเขียว

ส่วนประกอบของหลังคาเขียวในการทดสอบนี้ แบ่งตามระดับชั้นความลึกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ 1.ชั้นพืชพรรณ (vegetation layer), 2.ชั้นดิน (substrate layer), 3.ชั้นกรอง (filter layer), 4.ชั้นระบายน้ำ (drainage system) และ 5. ชั้นของพื้นผิวหลังคา (Roof) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของหลังคาเขียว

3.3. ประโยชน์ของหลังคาเขียว

หลังคาเขียวสามารถช่วยบรรเทาผลกระทบจากปรากฏการณ์

เกาะความร้อน, มลพิษในอากาศ, บรรเทาน้ำท่วมเนื่องจากฝนตกในปริมาณมาก, รวมไปถึงเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่ตัวเมือง และเพิ่มทัศนียภาพแก่บริเวณโดยรอบ

3.4. การถ่ายเทความร้อน

รูปแบบการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการส่งผ่านความร้อนที่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง โดยที่ตัวกลางนั้นอยู่นิ่ง รูปร่างคงที่ เช่น โลหะที่นำความร้อน และหลังคาเขียวที่ทำการทดสอบ

2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการส่งผ่านความร้อนที่อาศัยตัวกลาง โดยที่ตัวกลางนั้นเกิดการเคลื่อนที่ เช่น การพาความร้อนจากหลอดไฟความร้อนไปยังหลังคาเขียว ผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศเคลื่อนที่ภายในแบบจำลองการทดลอง

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการปล่อยพลังงานความร้อนในรูปแบบของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยไม่อาศัยตัวกลาง เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์มายังโลกนั้น จะเกิดจากการแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากไม่มีตัวกลางที่เป็นอากาศ เดินทางผ่านอากาศซึ่งมีสถานะเป็นสุญญากาศ

โดยการศึกษาเป็นการศึกษาถึงความสามารถการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียว ในเบื้องต้นจะศึกษาด้วยการจำลองความร้อนของดวงอาทิตย์ จากอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นผิวหลังคาทั่วไป โดยจำลองความร้อนจากหลอดไฟความร้อน ที่มีอุณหภูมิความร้อนประมาณ 45 องศา และเกิดการพาความร้อนจากหลอดไฟไปยังหลังคาเขียวด้วยตัวกลางที่เป็นอากาศ และความร้อนนี้จะถูกนำความร้อนผ่านแบบจำลองหลังคาเขียวเข้าสู่ภายในแบบจำลองอาคารเพื่อจำลองความร้อนสะสมระหว่างวันในอาคาร จากบริเวณผิวหลังคาเข้าสู่ภายในอาคาร

4. การทดสอบ

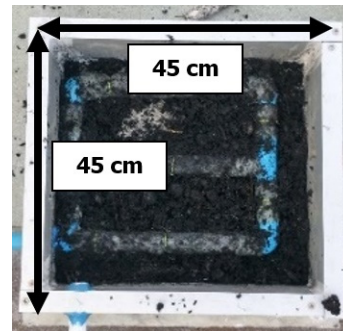
การศึกษาศักยภาพการเป็นฉนวนกันความร้อน ศึกษาจากแบบจำลองทางกายภาพ โดยสร้างแบบจำลองหลังคา และแบบจำลองอาคาร ให้ความร้อนกับบริเวณด้านบนหลังคาเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง และทำการตรวจวัดอุณหภูมิระหว่างด้านบนและด้านล่างของหลังคา(ด้านในอาคาร)ตลอดระยะเวลาการทดสอบ

4.1. วิธีอุปกรณ์การศึกษา

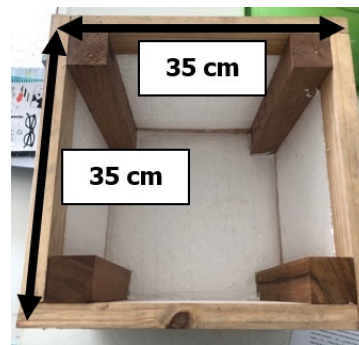
4.1.1. แบบจำลองหลังคาคอนกรีตและอาคาร

แบบจำลองหลังคาสร้างจากคอนกรีตเพื่อจำลองเป็นหลังคาชั้นดาดฟ้าของอาคาร มีขนาดความหนา 5 เซนติเมตร กว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร และแบบจำลองอาคารที่มีขนาดความกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร สร้างจากแผ่นโฟมประกอบกับไม้เพื่อความแข็งแรง และกักเก็บ

อุณหภูมิความร้อนไว้ภายในเพื่อจำลองลักษณะของอาคารที่มีการสะสมความร้อนในระหว่างวัน ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 แบบจำลองหลังคาคอนกรีตและระบบระบายน้ำ



รูปที่ 3 แบบจำลองอาคาร ประกอบจากโฟมและไม้

4.1.2. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

การตรวจวัดอุณหภูมิ โดยทั่วไปเลือกใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือ อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิอื่น แต่การทดสอบนี้ต้องการที่จะบันทึกผลและเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างด้านบนกับด้านล่างของแบบจำลองหลังคา จึงได้ทำการศึกษาและเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่สามารถจัดเก็บค่าได้ จาก Microcontroller (Arduino board) ซึ่งทำการประยุกต์ใช้ Source Code จากบริษัทผู้ผลิต ต่อบอร์ด Arduino ร่วมกับบอร์ด Datalogger สำหรับการจัดเก็บค่าและจอ LCD เพื่อแสดงผล โดยเซนเซอร์ตรวจวัดค่าที่เลือกใช้เป็นรุ่น DHT22 ที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ช่วง -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส มีความละเอียดของการวัดที่ ± 0.1 องศาเซลเซียส และสามารถวัดค่าความชื้นในอากาศได้ โดยส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมินี้ได้แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการประกอบอุปกรณ์ตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิ

1. เซนเซอร์ DHT22 (ด้านบนซ้าย)
2. บอร์ด Arduino UNO (ด้านบนขวา)
3. บอร์ด Datalogger (ด้านล่างซ้าย)
4. หน้าจอ LCD (ด้านล่างขวา)

4.1.3. แหล่งกำเนิดความร้อน

แหล่งกำเนิดความร้อนในการทดสอบนี้เลือกใช้ หลอดไฟความร้อนขนาด 125 วัตต์ เพื่อจำลองความร้อนจากแสงอาทิตย์ในระหว่างวัน และควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่แบบจำลองนั้นคงที่ โดยให้ความร้อนอยู่ที่ประมาณ 45 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิโดยรอบแบบจำลองให้อุณหภูมิคงที่ตลอดการทดสอบที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อลดความผันผวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิโดยรอบแบบจำลอง ด้วยการเปิดเครื่องปรับอากาศก่อนทำการทดสอบ

4.1.4. ชนิดพืช

พืชที่เลือกใช้ในการทดสอบนี้ คือหญ้าแพรก (ชื่อวิทยาศาสตร์ Cynodon dactylon) หรือหญ้าเบอร์มิวด้า เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถเติบโตได้ดี ทนทานต่อสภาวะความร้อน ความแห้งแล้ง พื้นตัวได้รวดเร็ว สามารถเพาะพันธุ์ได้จากเมล็ด หรือการใช้แผ่นหญ้าปลูก โดยหญ้าแพรกนี้ต้องการแสงแดดในปริมาณมาก เพื่อการเจริญเติบโตได้ดี [10] จึงเหมาะสมกับการปลูกบนหลังคาเขียวที่จะต้องรับแสงแดดตลอดเวลาในช่วงกลางวัน โดยในการทดสอบนี้จะเพาะพันธุ์หญ้าแพรกจากเมล็ด เพื่อสามารถตรวจวัดอายุของพืชได้โดยตรง เริ่มนับอายุของพืชจากวันที่โปรยเมล็ดพืช

4.1.5. ดิน

ดินที่ใช้สำหรับปลูกหญ้าแพรกในการทดสอบนี้ คือดินดำ หรือดินมูลไส้เดือน (ความหนาชั้นดินประมาณ 10 เซนติเมตร) เนื่องจากในดินดำนั้นมีสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชสามารถระบายน้ำได้ดี ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกหญ้าแพรก และสามารถหาซื้อได้สะดวก

4.2. ขั้นตอนการทดสอบ

เริ่มต้นการทดสอบด้วยการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในแบบจำลอง ที่ระยะห่างจากแบบจำลองหลังคา 2 เซนติเมตร ทั้งด้านบนและล่าง ต่อสายอุปกรณ์ทั้งหมด เปิดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนแก่แบบจำลองเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิจะตรวจวัดอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดสอบ ดังรูปที่ 5 แสดงภาพขณะทำการทดสอบ โดยการทดสอบจะเป็นออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ทดสอบกรณีหลังคาคอนกรีตเปล่าเพื่อเป็นค่าอ้างอิงสำหรับกรณีอาคารที่ไม่มีหลังคาเขียวบนดาดฟ้า
2. ทดสอบกรณีหลังคาคอนกรีตที่มีชั้นดิน เพื่อศึกษาปริมาณน้ำในชั้นดินเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อความสามารถการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยจะตรวจสอบปริมาณน้ำในดินจากค่าแรงดึงน้ำในดิน (Suction) ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ Tensiometer ที่สามารถวัดค่าแรงดึงน้ำในดินในช่วง 0 ถึง -100 kPa (ค่า Pore Water Pressure ที่เป็นลบ)
3. ทดสอบกรณีหลังคาเขียว หรือหลังคาคอนกรีตที่มีชั้นดิน และพืชปกคลุม โดยทดสอบเพื่อศึกษาความสามารถของพืชที่อายุแตกต่างกันต่อความสามารถการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยก่อนทำการทดสอบจะควบคุมปริมาณน้ำในดินให้ใกล้เคียงกันทุกการทดสอบด้วยการเติมน้ำ เพื่อให้ค่าแรงดึงน้ำในดินเท่ากับ 0 kPa ทุกครั้ง ก่อนทำการทดสอบ

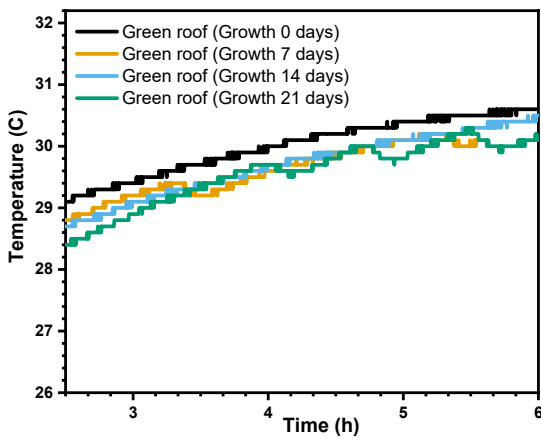


รูปที่ 5 ภาพขณะทำการทดสอบ

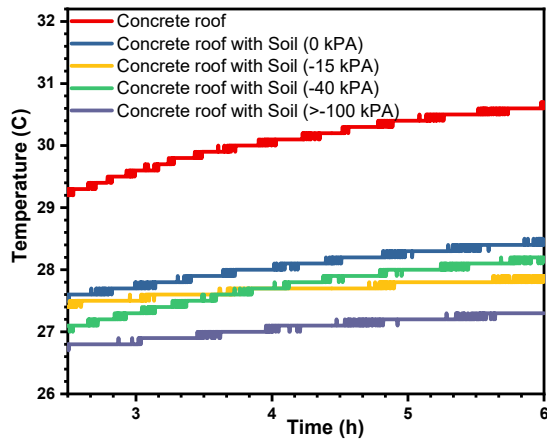
5. ผลการทดสอบ

ความสามารถของหลังคาเขียวสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 โดยอายุของพืชส่งผลต่อการป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารเล็กน้อยขณะที่กำลังเจริญเติบโตในช่วง 21 วัน ดังแสดงในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอายุของพืชต่อความสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร พบว่าความแตกต่างของอายุพืชต่อความสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารนั้น

แตกต่างกันไม่เกิน 1.0 องศาเซลเซียส ในช่วงพีชกำลังเจริญเติบโตจากเมล็ดที่ 21 วัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารอย่างชัดเจนคือ ปริมาณน้ำในดิน โดยเมื่อปริมาณน้ำในดินที่ลดต่ำลงจะส่งผลให้ความสามารถการป้องกันความร้อนเพิ่มสูงขึ้นดังรูปที่ 7 ช่วงแรงดึงน้ำในดินไม่เกิน -100 kPa อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ แตกต่างกันไม่เกิน 0.6 องศาเซลเซียส แต่เมื่อแรงดึงน้ำในดินที่มากกว่า -100 kPa อุณหภูมิภายในอาคารจะลดลงได้มากถึง 1.1 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายในอาคารเมื่อแรงดึงน้ำในดินเท่ากับ 0 kPa



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการทดสอบ ของอุณหภูมิภายในอาคาร กรณีหลังคาเขียวที่มีอายุพืชแตกต่างกัน



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการทดสอบ ของอุณหภูมิภายในอาคาร กรณีแรงดึงน้ำในดินแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการทดสอบ (กรณีอายุพืชแตกต่างกัน)

หลังคา	อายุพืช (วัน)	อุณหภูมิภายในอาคาร (องศาเซลเซียส)*
คอนกรีตและชั้นดิน	0	30.5
	7	30.1
หลังคาเขียว	14	30.3
	21	30.2

หมายเหตุ: * อุณหภูมิ ณ วินาทีที่ 20,000 วินาที

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการทดสอบ (กรณีแรงดึงน้ำในดินแตกต่างกัน)

หลังคา	แรงดึงน้ำในดิน (-kPa)	อุณหภูมิภายในอาคาร (องศาเซลเซียส)*
คอนกรีตและชั้นดิน	0	28.4
	15	28.1
	40	27.8
	>100	27.3

หมายเหตุ: * อุณหภูมิ ณ วินาทีที่ 20,000 วินาที

6. สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบพบว่า ความแตกต่างของอายุพืชนั้นส่งผลต่อความสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนในดินเล็กน้อย ซึ่งคาดว่าเกิดจากอายุพืชที่ทำการทดสอบเป็นช่วงต้นของการเจริญเติบโต และพืชทยอยยังขึ้นปกคลุมผิวดินไม่ทั่วบริเวณ หากพืชปกคลุมผิวดินทั่วบริเวณ และมีอายุการเจริญเติบโตที่มากขึ้น คาดว่าจะส่งผลต่อความสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของหลังคาเขียวมากยิ่งขึ้น และจากการทดสอบเฉพาะหลังคาทั้งชั้นดินพบว่า ปัจจัยปริมาณน้ำในดิน ส่งผลต่อความสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนอย่างชัดเจน เมื่อปริมาณน้ำในดินลดลง อุณหภูมิภายในอาคารจะลดลง แสดงถึงความสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น แปรผันตามปริมาณน้ำในดินที่ลดลง ซึ่งสรุปผลการทดสอบได้ว่า ปริมาณน้ำในดินส่งผลต่อความสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อน มากกว่าการเจริญเติบโตของพืชในช่วงต้น (0 ถึง 21 วัน) แต่อย่างไรก็ตามผลการทดสอบที่ได้ ณ ที่นี้อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์การตรวจวัด รวมไปถึงสถานที่ทำการทดสอบที่จำเป็นต้องย้ายสถานที่ทดสอบเนื่องด้วยสถานการณ์โรคระบาด ซึ่งอาจส่งผลให้สภาวะโดยรอบการทดลองนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดการทดสอบ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนการศึกษาวินิจฉัยนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์ คณะผู้ดำเนินการทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือมา ณ ที่นี้ด้วย

8. การอ้างอิง

- [1] Umberto, B., AmirHosein, G., & Ali, G. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411-428. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047
- [2] Kristin, L. G., D. Bradley, R., & Jeffrey, A. A. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31(4), 225-231. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2007.06.004
- [3] Zheming, T., Thomas, H. W., Andrew, L., & Benjamin, F. (2016). A case study of air quality above an urban roof top vegetable farm. *Environmental Pollution*, 208, 256-260. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.07.006
- [4] Arifwidodo, S., & Tanaka, T. (2015, 05). The Characteristics of Urban Heat Island in Bangkok, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 423-428. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.06.484
- [5] University, L. T. (n.d.). History of Greenroofs. (Stormwater Institute) Retrieved March 29, 2021, from https://www.ltu.edu/water/greenroofs_history.asp
- [6] Shimmin, H. (2012, July 7). A Brief History of Roof Gardens. Retrieved March 1, 2021, from <http://www.heathershimmin.com/a-brief-history-of-roof-gardens>
- [7] Kiger, P. J. (2018, October 11). Why Don't More Cities Require Green Roofs? Retrieved March 1, 2021, from <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-tech/sustainable/why-dont-more-cities-require-green-roofs.htm>
- [8] หิริพงษ์ เทพศิริอำนวย. (2018, March 26). หลังกาเขียวกับหลังกาไทย. Retrieved March 20, 2021, from <https://progreencenter.org/2018/03/26/green-roof-หลังกาเขียวกับหลังกา/>
- [9] (TGBI), T. G. (n.d.). Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for Existing Building: Operation and Maintenance. Retrieved March 20, 2021, from https://www.tgbi.or.th/uploads/trees/เกณฑ์%20TREES-EB_160921.pdf
- [10] M., M. (2020, July 24). Bermuda Grass Features, Planting and Care. Retrieved March 5, 2021, from <https://www.lowes.com/n/buying-guide/bermuda-grass-features-planting-and-care>