

ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและเสียงรบกวน ของระบบหลังคาเขียวบนหลังคาเหล็กกรีดลอน

กันติทัต ทับสุวรรณ *

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kantitut.t@ku.th

พาสินี สุนากร **

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

pasinee.s@ku.th

ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ***

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

arccks@ku.ac.th

บทคัดย่อ

Received: April 4, 2019

Revised: June 20, 2019

Accepted: June 24, 2019

หลังคาเหล็กกรีดลอนเป็นส่วนประกอบของอาคารที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากทนทานต่อการกัดกร่อน น้ำหนักเบากว่ากระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา และมีช่วงพาดที่กว้าง ทำให้สามารถออกแบบอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้หลังคาประเภทนี้พบปัญหาที่ตามมาหลายประการ เช่น ความร้อนที่ส่งผ่านหลังคา และ เสียงน้ำฝนที่ตกกระทบบนหลังคา ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากวัสดุจำพวกโลหะ ที่มีการนำความร้อนสูง และมีการสั่นสะเทือนมาก งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้หลังคาเขียวประเภทแผ่นปูพรมน้ำหนักเบา (น้ำหนัก 25-60 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) มาคลุมบนหลังคาเหล็กกรีดลอนของอาคารโรงงานอุตสาหกรรม โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และเสียงตกกระทบของน้ำฝน ก่อน และหลังติดตั้งหลังคาเขียว ผลการตรวจวัดพบว่า หลังคาเขียวสามารถลดอุณหภูมิที่ผิวหลังคาได้ถึง 30 องศาเซลเซียสที่ผิวหลังคาด้านนอก ลดอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาได้ถึง 2-3 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และ 1 - 1.5 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน เมื่อไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ในส่วนของเสียงรบกวน พบว่า หลังคาเขียวสามารถลดเสียงตกกระทบจากน้ำฝนได้ถึง 14.5 เดซิเบล จึงสามารถสรุปได้ว่า หลังคาเขียวมีประสิทธิภาพในการลดปัญหาด้านความร้อนและเสียงรบกวนจากอาคารที่มีการติดตั้งด้วยหลังคาเหล็กกรีดลอน

คำสำคัญ: หลังคาเหล็กกรีดลอน หลังคาเขียว อุณหภูมิ เสียงรบกวน

* อาจารย์ ดร.

** รองศาสตราจารย์

*** รองศาสตราจารย์ ดร.

Thermal and Noise Reduction Performance of the Green Roof System on Metal Sheet Roofs

*Kantitut Tubsuwan **

Faculty of Architecture, Kasetsart University

Kantitut.t@ku.th

*Pasinee Sunakorn ***

Faculty of Architecture, Kasetsart University

pasinee.s@ku.th

*Chanikarn Yimprayoon ****

Faculty of Architecture, Kasetsart University

arccks@ku.ac.th

Abstract

Metal roofing is commonly used in Thailand, especially in factory buildings, since it has corrosion resistance, light in weight, and suitable for long spanning buildings, which promote more working space. However, there are some major drawbacks to buildings for occupants such as the overheating problem and the noise from the impact of rain. This research, therefore, examined the potential use of the extensive green roof mat system (weight 25-60 kg/m²) to overcome overheating and rain noise problems. The system was laid over the metal roof on an industrial building. The study observed the thermal and acoustic performances before and after the system was installed. The results showed that the outside surface temperature of the green roof was 30°C lower than the exposed metal roof surface temperature. The indoor temperature was reduced by 2-3°C during the daytime without air-conditioning when compared with the metal roof before green roof installation. For the nighttime, the indoor temperature was decreased by 1-1.5°C in the same scenario. Finally, for the acoustic performance during precipitation, the green roof can reduce the impact noise from rainwater up to 14.5 decibels compared with the impact noise from rainwater directly falling on the metal roof. In conclusion, a green roof can effectively be used to reduce the overheating and noise problems in buildings installed with metal roofing.

* Lecturer, Ph.D.

** Associate Professor

*** Associate Professor, Ph.D.

Keywords: Metal roof, Metal sheet, Green roof, Temperature, Rainwater noise

บทนำ

หลังคาของอาคารโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นหลังคาเหล็กเนื่องจากติดตั้งง่ายและผู้ประกอบการก่อสร้างในประเทศมีความชำนาญ หลังคาประเภทนี้ผลิตมาจากแผ่นเหล็กกล้ากำลังสูงนำมารีดเป็นแผ่นบาง จากนั้นจึงนำไปเคลือบด้วยโลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมและสังกะสี ทำให้หลังคาชนิดนี้มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และสามารถป้องกันสนิมที่เกิดจากน้ำฝนได้ คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้ากำลังสูงที่นำมาขึ้นรูปเป็นลอนนี้ ทำให้วัสดุหลังคาประเภทนี้สามารถวางพาดได้ในช่วงความยาวที่มากกว่ากระเบื้องลอนทั่วไป จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ในอาคารโรงงานที่มีช่วงห่างของเสามาก

ปัญหาที่มักเกิดจากการเลือกใช้หลังคาประเภทดังกล่าวพบว่า หลังคาโลหะมีการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารสูงกว่าหลังคาประเภทอื่น ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาของการสะสมความร้อนของอาคารในเวลากลางวัน และที่สำคัญอย่างยิ่งคืออุณหภูมิบริเวณพื้นผิวหลังคาภายนอก ซึ่งความร้อนนี้อาจส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง (urban heat island effect) ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของการเลือกใช้หลังคาเหล็ก คือ เสียงรบกวนจากภายนอก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเวลาฝนตก หยดน้ำฝนตกกระทบกับหลังคาเหล็ก ทำให้เกิดเสียงรบกวนประเภทที่เกิดจากโครงสร้าง (structure-borne noise) ซึ่งส่งผลโดยตรงกับห้องที่อยู่ใต้หลังคานั้นและห้องข้างเคียงภายในอาคาร รบกวนการทำงาน การสื่อสาร และก่อให้เกิดความรำคาญ ซึ่งเสียงนี้ยังส่งผลกระทบต่อบริเวณโดยรอบอาคารด้วย

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาหลังคาเหล็กให้มีการควมรวมวัสดุประเภทนวนกันความร้อน และกันเสียงไว้ใต้แผ่นหลังคา

เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว แต่สำหรับอาคารเก่า การเลือกที่จะติดตั้งหลังคาเหล็กที่มีฉนวนใหม่นั้น อาจเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า เนื่องจากต้องคำนึงถึงการรื้อถอนและติดตั้งใหม่

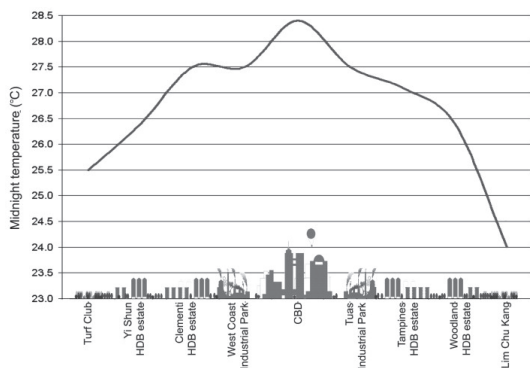
งานวิจัยนี้ศึกษาทางเลือกในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการใช่วิสดูทางเลือก คือ หลังคาเขียวประเภทน้ำหนักเบาแบบไม่ใช้สอย (extensive green roof: mat type) ที่สามารถติดตั้งบนหลังคาที่มีอยู่เดิมได้โดยอาศัยการเสริมกำลังของโครงสร้างเพียงเล็กน้อย ซึ่งการทดลองนี้ได้ทดสอบหลังคาเหล็ก ก่อนและหลังติดตั้งหลังคาเขียว ในอาคารประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะพิจารณาเรื่องการลดความร้อนในอาคาร และการลดเสียงรบกวนในอาคาร เพื่อให้ทราบถึงประโยชน์ในการติดตั้งหลังคาประเภทนี้ต่อไป

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ความร้อนจากหลังคาเหล็ก

อุณหภูมิของพื้นผิวหลังคาเหล็ก โดยพิจารณาจากข้อมูลของค่าการสะท้อนแสง หรือค่าอัลบีโด (Albedo) และอุณหภูมิพื้นผิวของผิววัสดุประเภทเหล็กเคลือบด้วยสังกะสีและอลูมิเนียมโดย ASTM 1980-98 มีค่าเท่ากับ 0.54 และ 60.1 องศาเซลเซียสตามลำดับ เทียบกับผิวคอนกรีตซึ่งมีค่าอัลบีโด และอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากับ 0.26 และ 50.8 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากการทดลองของ Prado and Ferreira (2005) ในประเทศบราซิล แม้ว่าค่าการสะท้อนแสงจากหลังคาเหล็กจะมากกว่าคอนกรีตเนื่องจากความมันวาวของพื้นผิว แต่ด้วยคุณสมบัติในการนำความร้อนที่สูงจากองค์ประกอบที่เป็นโลหะ ทำให้อุณหภูมิของหลังคาเหล็กนี้สูงกว่าหลังคาทั่วไป

ซึ่งผลจากอุณหภูมิพื้นผิวที่สูงเช่นนี้ ได้ส่งผลกระทบต่อเพียงแค่ความร้อนภายในอาคารเท่านั้น แต่อากาศโดยรอบอาคารก็ได้รับผลกระทบเช่นเดียวกัน ดังผลการศึกษาเรื่องสภาวะเกาะความร้อนในเมือง (Urban heat island) โดย Wong and Yu (2005) ซึ่งศึกษาผลกระทบประเภทอาคารต่างๆ ในประเทศสิงคโปร์ พบว่า นอกจากพื้นที่ในบริเวณเมืองที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติแล้ว บริเวณที่เป็นอาคารโรงงานก็มีอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ควรเช่นกัน ดังภาพที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ความเห็นว่า ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดขึ้นจากการเลือกใช้เปลือกอาคารที่เป็นหลักในโรงงานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 1 อุณหภูมิของอากาศในบริเวณต่างๆ ของประเทศสิงคโปร์ (Wong and Yu 2005)

ส่วนผลกระทบต่อความสบายในอาคารพบว่า อาคารที่ประกอบไปด้วยหลังคาเหล็กในประเทศมาเลเซียมีอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยภายในอาคาร (mean radiant temperature) อยู่ที่ประมาณ 33.2 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับหลังคาที่สร้างด้วยแผ่นกระเบื้องคอนกรีต ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 32.4 องศาเซลเซียส (Allen, Elias and Lim 2008) ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มสูงจากการใช้หลังคาเหล็กนี้ ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ ทำให้การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารสูงขึ้น

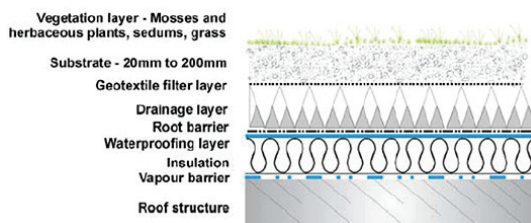
เสียงรบกวนจากหลังคาเหล็ก

ส่วนเสียงรบกวนที่เกิดจากใช้วัสดุประเภทหลังคาเหล็กนั้น เนื่องจากวัสดุที่ทำมาจากโลหะ ทำให้เสียงที่เกิดจากการตกกระทบของสสาร เกิดการสั่นสะเทือนผ่านโครงสร้างของแผ่นหลังคา (structure-borne noise) จากนั้นกระจายออกกลายเป็นเสียงรบกวนภายในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเวลาฝนตก (Carter, Villot and Horlaville 2002) ซึ่งเสียงที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีค่าระดับความดันเสียงสูงถึง 70 เดซิเบล (Idris, Musa and Ayob 2012) ซึ่งเป็นเสียงรบกวนภายนอกที่ดังกว่าเสียงจราจรทั่วไปที่มีค่าประมาณ 65 เดซิเบล เสียงฝนที่กระทบกับหลังคาเหล็กนั้น ไม่เพียงแต่ทำให้เกิดความรำคาญแก่ผู้อยู่อาศัย แต่ยังรบกวนการได้ยินต่างๆ ของผู้อยู่อาศัยเช่นกัน (Andy 2007) ซึ่งอาคาร หรือห้องที่จำเป็นต้องออกแบบให้มีเสียงรบกวนภายนอกต่ำ เช่น ห้องเรียน ห้องสมุด หรือห้องนอน ควรมีการพิจารณาผลกระทบจากการใช้หลังคาประเภทนี้ (Bluyssen 2010)

หลังคาเขียว

หลังคาเขียว (green roof) เป็นสถาปัตยกรรมที่เก่าแก่ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมๆ กับอารยธรรมของมนุษย์ ในเริ่มแรกอาศัยส่วนประกอบของพืชจำพวกใบไม้มาใช้ในการสร้างที่พักอาศัย แต่ไม่ได้คำนึงถึงความสวยงามด้านสถาปัตยกรรมภายหลัง เนื่องจากการพัฒนาในด้านอารยธรรมของมนุษย์ หลังคาเขียวที่มีลักษณะเป็นสวนหลังคาได้ถูกสร้างขึ้นคือ สวนลอยฟ้าแห่งบาบิโลน ซึ่งไม่มีหลักฐานทางกายภาพแต่ได้ถูกบันทึกไว้ในบันทึกของเฮโรโดตัส (Herodotus) ในช่วง ศตวรรษที่ 5 ก่อนคริสตศักราช (Ascione et al. 2013) และหลังคาเขียวในประเทศ แกลบสแกนดิเนเวีย มีมาตั้งแต่ ค.ศ. 1600 – 1800 ซึ่งป้องกันบ้านเรือนให้อบอุ่นในเขตหนาวเย็น แต่ด้วยน้ำหนักของหลังคาเขียวที่มากเนื่องจากดินที่ต้องการความหนาแน่น และการขนถ่ายของรากพืชซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของโครงสร้างอาคาร ทำให้หลังคาเขียวได้ลดความนิยมลงไป

สำหรับหลังคาเขียวในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาให้มีน้ำหนักที่เบาลง มีคุณสมบัติในการป้องกันการซอของรากพืช และเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บและระบายน้ำ โดยการแบ่งหลังคาเขียวเป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นทำหน้าที่ต่างกัน โดย Newton et al. (2007) ได้ให้นิยามส่วนประกอบหลังคาเขียวจากล่างขึ้นบนไว้ คือ โครงสร้างหลังคา วัสดุกันซึม วัสดุป้องกันการซอของราก วัสดุระบายน้ำ ชั้นแผ่นกรองดิน ชั้นดิน และชั้นพืชพันธุ์ที่เป็นส่วนบนสุดของหลังคาเขียว ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของหลังคาเขียว
(Newton et al. 2007)

การป้องกันความร้อนของหลังคาเขียว

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของหลังคาคือการลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยในภูมิประเทศในเขตหนาวหลังคาเขียวจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากภายในอาคารสู่ภายนอก ซึ่งในหลายๆ งานวิจัยพบว่า หลังคาเขียวสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้เล็กน้อยเมื่อนำมาติดตั้งในอาคารที่มีฉนวนกันความร้อนอยู่แล้ว (Castleton et al. 2010) หรือในบางครั้งหลังคาเขียวมีประสิทธิภาพต่ำกว่าฉนวนกันความร้อนประเภทอื่นๆ (Kotsiris et al. 2012) เนื่องจากการคายน้ำของพืช และการระเหยของน้ำในดิน ทำให้ความร้อนที่ควรจะถูกเก็บไว้ในอาคารได้ถูกนำออกไปผ่านกระบวนการดังกล่าว

แต่เมื่อหลังคาเขียวถูกนำมาใช้ในประเทศที่อยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนพบว่า หลังคาเขียวมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารอย่างมาก และจากการศึกษา

โดย Kotsiris et al. (2012) ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานจากการทำความเย็นของหลังคาเขียวที่มีความหนา 10 ซม. กับหลังคาคอนกรีตแบบไม่มีฉนวนกันความร้อน พบว่าหลังคาเขียวดังกล่าวสามารถลดพลังงานในการทำความเย็นลงได้ถึงร้อยละ 60 และ Berardi (2016) ตรวจวัดอุณหภูมิใต้หลังคาเขียวช่วงฤดูร้อนในประเทศแคนาดาพบว่า มีอุณหภูมิต่ำกว่าหลังคาคอนกรีต ประมาณ 1.1-2.0 องศา ซึ่งการทดลองของหลังคาเขียวในการลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ถูกศึกษาในมากมายหลายประเทศ (Jaffal, Ouldboukhite and Belarbi. 2012 ; Ouldboukhite et al., 2011 ; Lazzarin Gasparella and Dascanio, 2003 ; Sonne 2006 ; Solcerova et al. 2017)

สำหรับการศึกษาผลกระทบของหลังคาเขียวในประเทศไทย Permpituck and Namprakai (2012) ได้ทำการทดสอบการใช้พลังงานในการทำความเย็น โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ของหลังคาเขียวที่ถูกปกคลุมด้วยหญ้าในความหนาแน่นต่างๆ และนำไปคำนวณในแบบจำลอง พบว่าหลังคาเขียวสามารถลดพลังงานในการปรับอากาศได้ประมาณร้อยละ 31-37 เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีตเปล่า แต่การทดสอบหลังคาเขียวแบบไม่ใช้สอยกับสถานที่จริงมีเพียงการทดลองของ Sunakorn (2013) ที่ศึกษาการลดความร้อนจากหลังคาเขียวแบบแผ่นปู (green roof mat) เทียบกับฉนวนกันความร้อนแบบใยแก้ว และหลังคาคอนกรีตในประเทศไทย โดยวางบนหลังคาของกล่องทดสอบ พบว่ากล่องทดสอบที่ใช้หลังคาเขียวสามารถลดอุณหภูมิอากาศในกล่องได้มากที่สุดถึง 10.47 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และ 5.05 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีต ซึ่งประสิทธิภาพการลดความร้อนของหลังคาเขียวนั้น ทำได้สูงกว่ากล่องทดลองที่ใช้ฉนวนใยแก้ว ซึ่งลดอุณหภูมิอากาศได้เพียง 3.55 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และ 1.52 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีตเช่นกัน บ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของพืชพันธุ์ในการลดความร้อนจากการบังเงาของแสงแดด และการคายน้ำของพืช ซึ่งมีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในประเทศไทย

การป้องกันเสียงของหลังคาเขียว

งานวิจัยเกี่ยวกับการป้องกันเสียงในหลังคาเขียวส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การลดระดับความดันเสียงเมื่อเสียงเดินทางเหนือหลังคาเขียว เช่นการใช้หลังคาเขียวบนลานจอดรถใต้ดินเพื่อลดเสียงจราจรก่อนเข้าอาคาร ซึ่งสามารถลดความดันเสียงในย่านความถี่เหนือ 4000 Hz ได้ราว 4 เดซิเบล (Yang, Kang and Choi 2012) ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับเสียงในความถี่สูงนั้น Renterghem (2018) ได้ให้ข้อสรุปไว้ว่า ด้วยคุณสมบัติที่เป็นวัสดุที่เป็นรูพรุน (porous media) ของพืชพันธุ์ และวัสดุปลูกทำให้การดูดซับเสียงที่ความถี่สูงมีประสิทธิภาพกว่าย่านความถี่ต่ำ

ส่วนพฤติกรรมของหลังคาเขียวต่อเสียง กับความชื้นในวัสดุปลูกนั้น Renterghem and Botteldooren (2014) ได้ทำแบบจำลอง และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบระดับความดันเสียง โดยวัดจากอาคารข้างเคียง (ไม่ได้พิจารณาบริเวณห้องใต้หลังคาเขียว) พบว่า ในย่านความถี่ 250 ถึง 1250 Hz ประสิทธิภาพในการลดระดับความดันเสียงที่เดินทางผ่านหลังคาเขียวที่วัสดุปลูกเปียก และแห้งนั้นมีความต่างกันถึง 10 เดซิเบล

สำหรับการเป็นฉนวนกันเสียง (sound insulation) ของหลังคาเขียวนั้น ยังมีการศึกษาไม่มากนัก เนื่องจากข้อจำกัดของมาตรฐานการทดลองด้านเสียง ซึ่งต้องการพื้นที่ปิดเพื่อสร้างห้องที่มีความก้องกังวานสูง (reverberation chamber) ดังนั้น การทดสอบคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันเสียงของหลังคาเขียว จึงยากต่อการทดลองบนหลังคาจริง

อย่างไรก็ตามการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความเป็นฉนวนของหลังคาเขียวได้ถูกวิจัยโดย Galbrun and Scerri (2017) ซึ่งทำการทดสอบตัวอย่างหลังคาเขียวขนาด 1 ตารางเมตร พบว่า การเพิ่มความหนาของวัสดุปลูกไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนเท่ากับการเพิ่มช่องว่างในหลังคาเขียว เช่น การใช้ฉนวนใยหิน (rockwool) หนา 50 มิลลิเมตร ที่สามารถเพิ่มความหนา

ฉนวนกันเสียงได้ถึง 13 เดซิเบล ส่วนการเพิ่มความหนาของวัสดุปลูก 25 มิลลิเมตร สามารถเพิ่มความหนาแน่นได้เพียง 3 เดซิเบลเท่านั้น ส่วนการศึกษาการลดเสียงรบกวนจากหลังคาเขียวที่ติดตั้งเหนือหลังคาเหล็ก ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ จะทำการตรวจวัดอุณหภูมิและความดังของเสียงน้ำฝนตกกระทบหลังคาเหล็ก ก่อนและหลังติดตั้งหลังคาเขียว ซึ่งจะทำการตรวจวัดในสถานที่จริง

สถานที่ และช่วงเวลาในการทำวิจัย

สถานที่ทำการวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจาก บริษัท Thai Nishimatsu Construction Co., Ltd ตั้งอยู่ที่ ตำบลหน้าพระคู่ อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ให้ตรวจวัดอาคารสำนักงานขนาด 2 ชั้น ที่มีหลังคาเหล็ก ซึ่งภายหลังได้ถูกติดตั้งด้วยหลังคาเขียวแบบแผ่นสำเร็จรูป (GaiaMatTM Green roof) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) น้ำหนักของหลังคาเขียวแบบไม่ใช้สอยอยู่ระหว่าง 25 ถึง 60 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
- 2) ใช้วัสดุประเภทฉนวนใยหินทดแทนดินในการปลูกพืช

ช่วงเวลาที่ทำการทดลองคือเดือน มิถุนายน ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2560

อุปกรณ์ในการทำวิจัย

- 3) เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้น (HOBO รุ่น UX100) ซึ่งวัดอุณหภูมิอากาศได้ในช่วง -20 ถึง 70 องศาเซลเซียส ที่ความละเอียด ± 0.21 องศาเซลเซียส (ที่ 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส) และวัด

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ในช่วงร้อยละ 15 ถึง 95 ที่ความละเอียดร้อยละ ± 3.5 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 25 ถึง 85 ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (รูปภาพจากผู้ผลิต)

4) เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว (HOBO รุ่น UX120 และหัววัด Thermocouple Type K) ซึ่งวัดอุณหภูมิพื้นผิวได้ในช่วง -260 ถึง 1370 องศาเซลเซียส ที่ความละเอียด ± 0.7 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว (รูปภาพจากผู้ผลิต)

5) เครื่องวิเคราะห์คลื่นเสียงแบบพกพา (Bruel & Kjaer: Model 2260) และอุปกรณ์สอบเทียบ (Bruel & Kjaer: Calibrator 4230) ซึ่งสามารถวัดคลื่นเสียงที่ความถี่แบบ Octave band และ 1/3 Octave band ที่ช่วงความถี่ 6.3 Hz – 20 kHz ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5



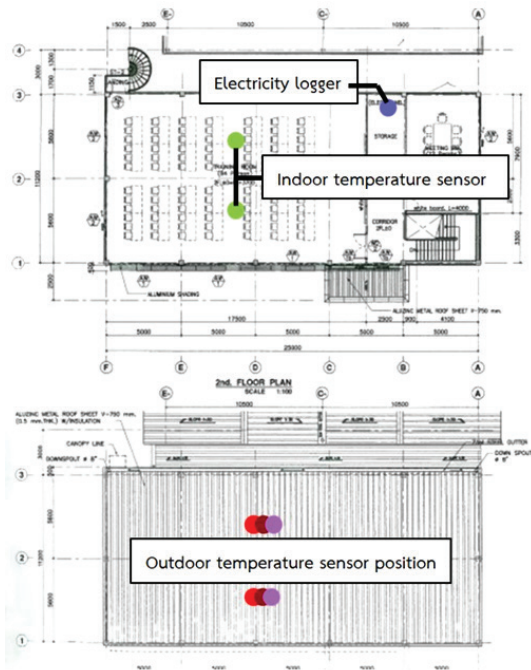
ภาพที่ 5 เครื่องวิเคราะห์คลื่นเสียงแบบพกพา (รูปภาพจากผู้ผลิต)

การทดสอบด้านอุณหภูมิ

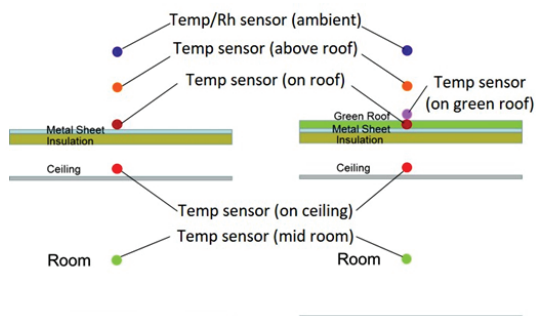
การตรวจวัดอุณหภูมิ จะทำการเก็บข้อมูลสองช่วงคือ ก่อนที่จะติดตั้งหลังคาเขียว และหลังติดตั้งหลังคาเขียว โดยตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 6

ส่วนสภาวะการใช้งานของอาคาร จะทำการทดสอบในสองสภาวะ คือ เมื่อห้องที่ตรวจวัดทำการเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส และเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ ดังนั้น การทดลองวัดอุณหภูมินี้จะแบ่งเป็น 4 การทดลองย่อยคือ

1) ทดลองวัดอุณหภูมิของหลังคาเหล็กที่ทดลอง เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ (25 มิถุนายน ถึง 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2560)



ภาพที่ 6 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิบนหลังคา และภายในห้อง (แปลน)
ส่วนตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิในแต่ละจุด แสดงในรูปตัดดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิบนหลังคา และภายในห้อง (รูปตัด)

- 2) ทดลองวัดอุณหภูมิของหลังคาเหล็กกรีดลอน เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส (18 กรกฎาคม ถึง 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2560)
- 3) ทดลองวัดอุณหภูมิของหลังคาเขียวที่ติดตั้งเหนือหลังคาเหล็กกรีดลอน เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ (17 กันยายน ถึง 24 กันยายน พ.ศ. 2560)
- 4) ทดลองวัดอุณหภูมิของหลังคาเขียวที่ติดตั้งเหนือหลังคาเหล็กกรีดลอน เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส (1 กันยายน ถึง 8 กันยายน พ.ศ. 2560)

แต่ละการทดลองย่อยจะใช้เวลา 7 วันในการวัดผล และตั้งค่าให้มีการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการติดตั้งหลังคาเขียวจะต้องรอให้พืชพันธุ์มีการปกคลุมอย่างสมบูรณ์ ทำให้เวลาในการวัดของแต่ละการทดลองย่อยนั้นมีความห่างกันหลายเดือน ดังนั้น การเปรียบเทียบผลการทดลองจะคัดเลือกวันที่มีสภาพอากาศใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบ

การทดสอบด้านเสียง

ทดสอบวัดระดับความดันเสียง (sound pressure level) โดยการปรับค่าความดังแบบ A (A-weighting filter) ซึ่งการทดลองนี้จะวัดระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่แล้วรวมเป็นค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ย ซึ่งถูกคำนวณโดยอัตโนมัติด้วยอุปกรณ์วัดระดับความดันเสียง ส่วนบริเวณที่วัดเสียงคือห้องประชุมชั้น 2 ซึ่งอยู่ใต้หลังคาดังภาพที่ 8 โดยการทดลองจะทำการวัดระดับความดันเสียงเมื่อห้องไม่มีผู้ใช้งาน และปิดเครื่องปรับอากาศ ก่อนและหลังติดตั้งด้วยหลังคาเขียว

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความไม่แน่นอนของวันที่เกิดฝนตก และปริมาณน้ำฝนของสถานที่ทำการทดลอง การเปรียบเทียบผลจะเลือกเวลาที่เกิดความระดับความดันเสียงเฉลี่ยในห้องที่มากที่สุดมาพิจารณา



ภาพที่ 8 การวัดระดับความดันเสียงภายในห้อง

ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเป็นสองส่วน คือ ผลการทดลองด้านอุณหภูมิ และผลการทดลองด้านเสียง

ผลการทดลองด้านอุณหภูมิ

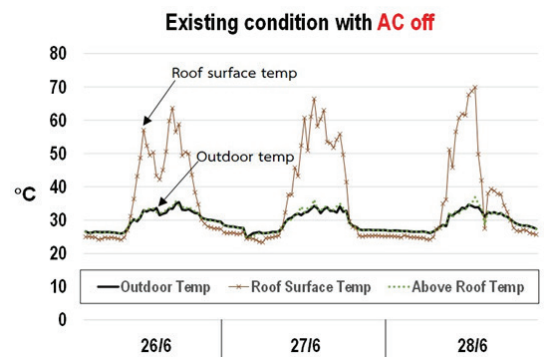
เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาดังที่กล่าวไว้ การเปรียบเทียบผลการทดลองจะเลือกระยะเวลาที่อุณหภูมิภายนอกมีความใกล้เคียงกัน โดยจะเปรียบเทียบอุณหภูมิในช่วงเวลา 3 วัน ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกของวันที่เลือกมาเปรียบเทียบนั้นอยู่ระหว่าง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และ 25 ถึง 28 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 60 ถึง 80 ในเวลากลางวัน และร้อยละ 40 ถึง 60 ในเวลากลางคืน ซึ่งผลการทดลองจะแสดงผลเป็นอุณหภูมิภายนอก และภายในอาคารดังนี้

1) อุณหภูมิของหลังคาเหล็ก เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ

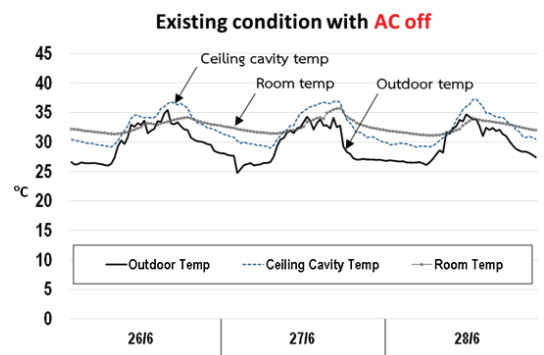
อุณหภูมิภายนอกของหลังคาเหล็กในกรณีนี้สามารถพิจารณาได้ 2 ตัวแปรคืออุณหภูมิของอากาศเหนือหลังคาเหล็ก และ อุณหภูมิของผิวหลังคาเหล็กเอง จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิของอากาศเหนือหลังคาเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศ ณ ขณะนั้น แต่อุณหภูมิ

ของหลังคาเหล็กมีค่ามากถึง 70 องศาเซลเซียสในบางเวลา ดังแสดงในภาพที่ 9

ส่วนอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาเหล็ก ในเวลากลางวัน อุณหภูมิของอากาศภายในห้องมีค่าอยู่ระหว่าง 32 ถึง 36 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเล็กน้อย (30 ถึง 35 องศาเซลเซียส) ส่วนในเวลากลางคืนพบว่า อุณหภูมิของอากาศภายในห้องจะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกประมาณ 5 ถึง 7 องศาเซลเซียสเสมอ สำหรับอุณหภูมิของช่องว่างอากาศเหนือฝ้านั้น จะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดเวลา แต่จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องในเวลากลางคืน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 อุณหภูมิภายนอกของหลังคาเหล็กที่วัดตอนเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ

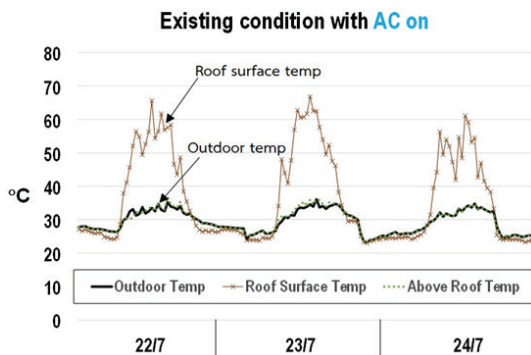


ภาพที่ 10 อุณหภูมิภายในของหลังคาเหล็กที่วัดตอนเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ

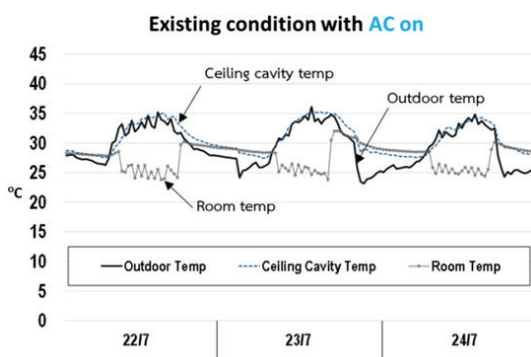
2) อุณหภูมิของหลังคาเหล็ก เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายนอกไม่ได้รับผลกระทบมากนัก โดยอุณหภูมิอากาศเหนือหลังคาเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศ และอุณหภูมิพื้นผิวของหลังคาเหล็กมีค่าสูงสุดราว 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 11

ส่วนอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาเหล็ก มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน แต่หลังจากปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 32 องศาเซลเซียส จากนั้นจะ



ภาพที่ 11 อุณหภูมิภายนอกของหลังคาเหล็กที่รื้อถอนเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 อุณหภูมิภายในของหลังคาเหล็กที่รื้อถอนเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส

ลดลงมาเล็กน้อยในเวลากลางคืน ซึ่งมีค่าประมาณ 28 ถึง 29 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกประมาณ 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิของช่องเปิดเหนือฝานั้น จะค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ แต่ในเวลากลางคืน (ปิดเครื่องปรับอากาศ) อุณหภูมิในบริเวณนี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 12

3) อุณหภูมิของหลังคาเขียวที่ติดตั้งเหนือหลังคาเหล็กเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ

เมื่อทดสอบกับหลังคาเหล็กที่ติดตั้งด้วยหลังคาเขียวขณะปิดเครื่องปรับอากาศพบว่า อุณหภูมิพื้นผิวของหลังคา (วัดที่ผิวหลังคาเขียว) มีค่าต่ำกว่าหลังคาเหล็กอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส และเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศพบว่า ในเวลากลางวันจะมีค่าสูงกว่าประมาณ 4 ถึง 7 องศาเซลเซียส ส่วนในเวลากลางคืนจะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 2 ถึง 4 องศาเซลเซียส

ส่วนอุณหภูมิของอากาศเหนือหลังคาเขียวพบว่า ในช่วงกลางวันในบางเวลา อุณหภูมิบริเวณนี้จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิจะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 13

ส่วนอุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาเหล็กที่ภายหลังการติดตั้งด้วยหลังคาเขียวพบว่า ในเวลากลางวันอุณหภูมิของอากาศภายในห้องจะมีค่าอยู่ระหว่าง 29 ถึง 33 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่ากรณีหลังคาเหล็กประมาณ 3 องศาเซลเซียส ส่วนในเวลากลางคืน อุณหภูมินี้จะมีค่ามากกว่าอากาศภายนอก และผิวหลังคาเขียวประมาณ 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายในช่องเปิดใต้หลังคาพบว่า จะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิภายนอกตลอดเวลา ซึ่งผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 14

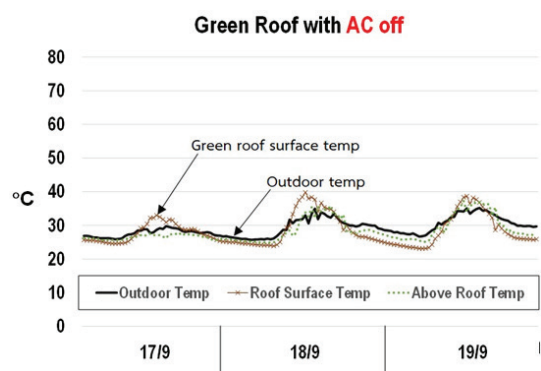
4) อุณหภูมิของหลังคาเขียวที่ติดตั้งเหนือหลังคาเหล็กเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส

สำหรับอุณหภูมิภายนอกของหลังคาเขียวเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศนั้น พบว่า รูปแบบพฤติกรรมของอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ มีความใกล้เคียงกับกรณีที่ปิดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้คือ 40 องศาเซลเซียสเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 15

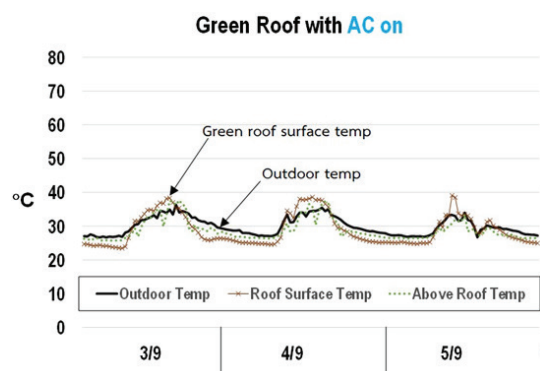
สำหรับอุณหภูมิภายในห้องมีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เนื่องจากเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน แต่หลัง

จากปิดเครื่องปรับอากาศแล้ว อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึง 30 องศาเซลเซียส (ต่ำกว่ากรณีหลังคาเหล็กประมาณ 3 องศา) จากนั้นมีค่าต่ำลงเล็กน้อยที่ 29 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน แต่อุณหภูมินี้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณ 2 ถึง 3 องศาเซลเซียสตลอดช่วงกลางคืน

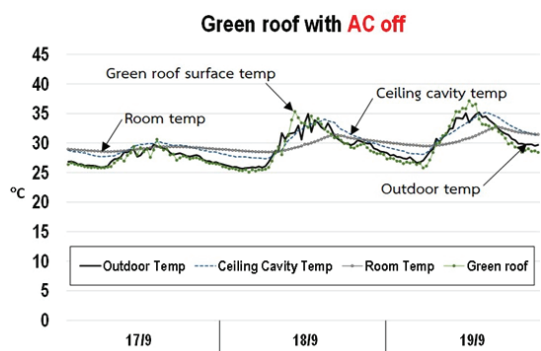
ส่วนอุณหภูมิในช่องว่างอากาศเหนือฝ้าเพดานนั้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในเวลากลางวันประมาณ 2 ถึง 3 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 16



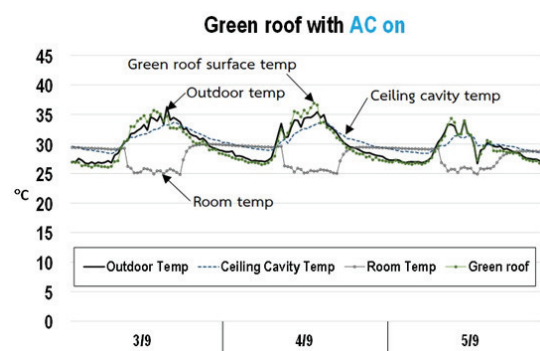
ภาพที่ 13 อุณหภูมิภายนอกของหลังคาเขียวเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 15 อุณหภูมิภายนอกของหลังคาเขียวเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส



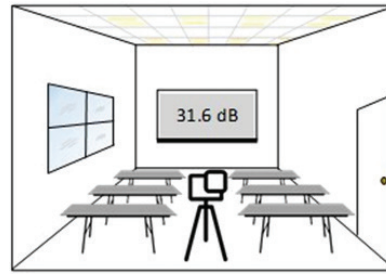
ภาพที่ 14 อุณหภูมิภายในของหลังคาเขียวเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 16 อุณหภูมิภายในของหลังคาเขียวเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองด้านเสียง

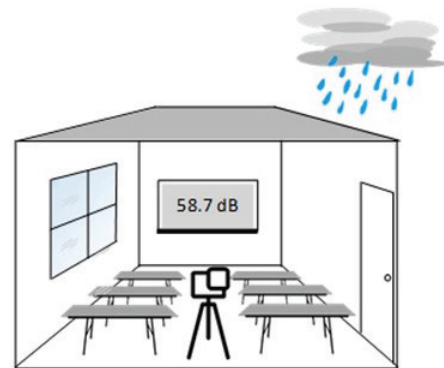
จากการทดสอบวัดระดับความดันเสียงภายในห้องใต้หลังคา ก่อน และ หลัง ติดตั้งหลังคาเขียวในเวลาที่เกิดฝนตกกระทบบนหลังคา พบว่า ระดับความดันเสียงเฉลี่ยในห้องทำงานใต้หลังคาเหล็กก่อนติดตั้งหลังคาเขียวมีค่าเท่ากับ 31.6 เดซิเบล โดยตรวจวัดในขณะที่ไม่มีฝนตก ปิดเครื่องปรับอากาศ และช่องเปิดต่างๆ เช่น ประตู หน้าต่าง ถูกปิดอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 17



All opening closed

ภาพที่ 17 ระดับความดันเสียงเฉลี่ยในห้องเมื่อไม่เกิดฝนตก

ระดับความดันเสียงเฉลี่ยในห้องทำงานใต้หลังคาเหล็กก่อนติดตั้งหลังคาเขียว โดยวัดในขณะที่เกิดฝนตก ปิดเครื่องปรับอากาศ และปิดช่องเปิดต่างๆ มีค่าเท่ากับ 58.7 เดซิเบล ดังแสดงในภาพที่ 18



Raining without green roof

ภาพที่ 18 ระดับความดันเสียงเฉลี่ยในห้องเมื่อเกิดฝนตก

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า เมื่อติดตั้งหลังคาเขียวแล้ว เสียงรบกวนที่เกิดจากการตกกระทบบนหลังคาของน้ำฝนกับหลังคาเหล็กลดลงไปได้ถึง 14.5 เดซิเบล

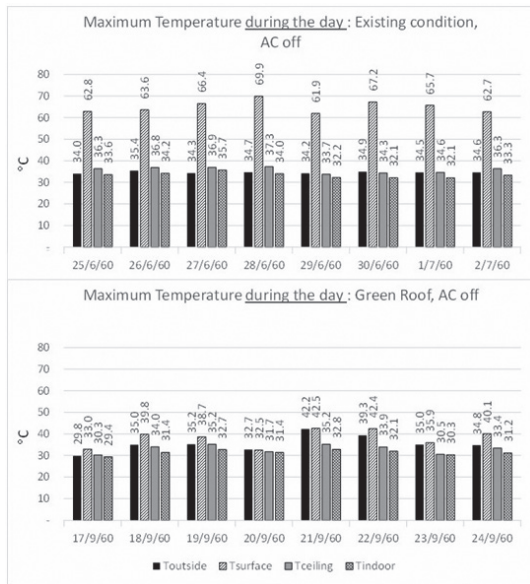
อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดสอบทางด้านอุณหภูมิของหลังคาเขียวที่ติดตั้งบนหลังคาเหล็ก พบว่า อุณหภูมิของผิวหลังคาในเวลากลางวันลดลงถึง 30 องศาเซลเซียส หลังจากติดตั้งหลังคาเขียว ส่วนอุณหภูมิภายในห้องเมื่อปิดเครื่องปรับอากาศลดลงประมาณ 2 ถึง 3 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน ดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละวัน



Raining with green roof

ภาพที่ 19 ระดับความดันเสียงเฉลี่ยในห้องเมื่อเกิดฝนตก (เมื่อติดตั้งด้วยหลังคาเขียว)



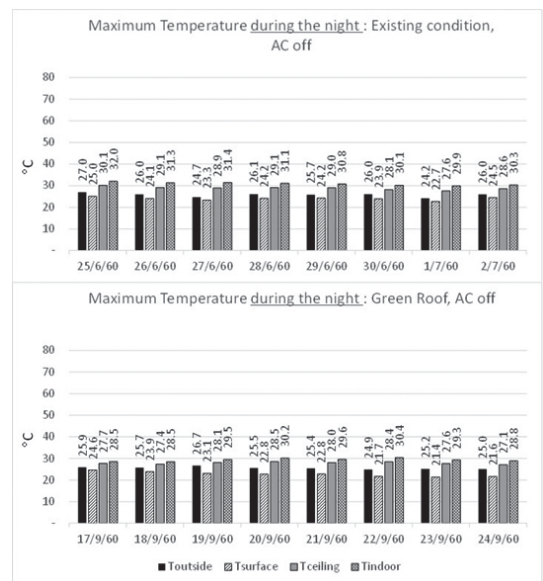
ภาพที่ 20 อุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในเวลากลางวัน (บน: ก่อนติดตั้งหลังคาเขียว, ล่าง: หลังติดตั้งหลังคาเขียว)

อุณหภูมิที่ลดลงไปในเวลากลางวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุณหภูมิพื้นผิว เกิดจากการปกคลุมของพืชซึ่งมีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 0.7 (Gaffin et al. 2005) ซึ่งสูงกว่าค่าสะท้อนแสง 0.54 ของหลังคาเหล็ก (Prado and Ferreira 2005) ทำให้การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของหลังคาเขียวต่ำกว่าหลังคาเหล็ก รวมทั้งพลังงานบางส่วนถูกนำไปใช้กับการคายน้ำของพืช ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกนำออกจากหลังคาในรูปแบบความร้อนแฝง (latent heat) ส่วนช่องว่างระหว่างพืชพันธุ์และวัสดุปลูกยังทำหน้าที่เสมือนเป็นช่องเปิด ซึ่งความร้อนบริเวณนี้สามารถนำออกโดยการคายความร้อนสัมผัส (sensible heat) จากลม และแรงลอยตัวของอากาศ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนหลายรูปแบบนี้ ทำให้อุณหภูมิที่ผิวหลังคาไม่มีการสะสมความร้อนเหมือนกับหลังคาเหล็ก

ส่วนอุณหภูมิภายในอาคาร เนื่องจากความร้อนที่สะสมไว้ที่ผิวหลังคาภายนอกต่ำกว่าหลังคาเหล็กมาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนของหลังคามีค่าต่ำไปด้วย รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของหลังคาเขียว ซึ่งประกอบไปด้วย ชั้นวัสดุปลูก และชั้นพืชพันธุ์ ทำให้หลังคามีค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิภายใน

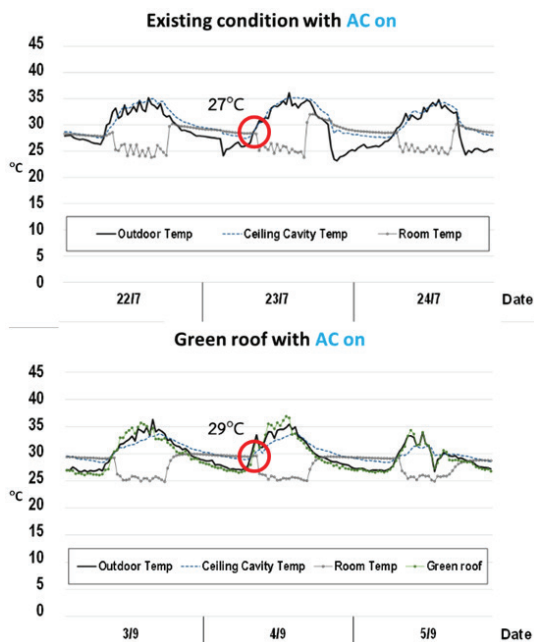
อาคารต่ำลงถึง 2 ถึง 3 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิพื้นผิวของหลังคาทั้งสองกรณีมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเล็กน้อย เนื่องจากการคายรังสีช่วงยาวของวัสดุในตอนกลางคืน ดังแสดงในภาพที่ 21 แต่หากพิจารณาวันที่มีอุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากัน เช่น วันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2560 (หลังคาเหล็ก) และ วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2560 (หลังคาเขียว) จะเห็นว่าอุณหภูมิของหลังคาเขียวมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย (0.3 องศา) เนื่องจากอุณหภูมิของหลังคาเขียวในตอนกลางคืนมีค่าน้อยกว่า

หากพิจารณาความแปรปรวนของอุณหภูมิพื้นผิวจะพบว่า หลังคาเขียวมีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำกว่าหลังคาเหล็ก เช่น หลังคาเหล็กสามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวจาก 67.2 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน จนเหลือ 23.9 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน (วันที่ 30 มิถุนายน) ส่วนหลังคาเขียวสามารถลดอุณหภูมิพื้นผิวจาก 39.8 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน เหลือ 23 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน (วันที่ 18 กันยายน) ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต่ำนี้ ทำให้ช่วยยืดอายุขัยของวัสดุ และระบบที่อยู่บนหลังคา เช่น วัสดุกันซึม และฉนวนกันความร้อน เป็นต้น



ภาพที่ 21 อุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งต่างๆ ในเวลากลางคืน (บน: ก่อนติดตั้งหลังคาเขียว, ล่าง: หลังติดตั้งหลังคาเขียว)

ส่วนอุณหภูมิภายในอาคารในเวลากลางคืน พบว่า หลังคาเขียวสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 1 ถึง 1.5 องศาเซลเซียส เมื่อไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ แต่เมื่อทดสอบโดยการเปิดเครื่องปรับอากาศ พบว่า เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศแล้ว อุณหภูมิอากาศในห้องเริ่มต้นด้วยค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 30 องศาเซลเซียส แต่หลังจากเวลาผ่านไปในช่วงกลางคืน อุณหภูมิในห้องกรณีหลังคาเหล็กมีการลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียสในช่วงเช้ามีด ซึ่งต่างจากกรณีติดตั้งหลังคาเขียว อุณหภูมิในห้องเวลากลางคืนจะลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29 องศาเซลเซียสในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องช่วงเวลากลางคืน ของหลังคาเหล็ก (บน) และหลังคาเขียว (ล่าง)

ซึ่งการลดลงของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าของหลังคาเขียวในเวลากลางคืนนั้น สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากการเพิ่มของชั้นวัสดุปลูก และชั้นพืชพันธุ์ ที่ให้ประสิทธิภาพของการนำความร้อนออกจากชั้นหลังคามีค่าต่ำลง เพราะการต้านทานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของชั้นหลังคาที่หนาขึ้น

โดยผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางคืนนั้น ทำให้ต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าเดิมในช่วงเช้า แต่พลังงานโดยรวมระหว่างเปิดเครื่องปรับอากาศมีค่าลดลง เนื่องจากการลดอุณหภูมิจากการติดตั้งหลังคาเขียว

ส่วนการป้องกันเสียงรบกวนจากน้ำฝน พบว่า หลังคาเขียวสามารถลดเสียงรบกวนลงได้ถึง 14.5 เดซิเบล เนื่องจากความเป็นรูพรุนของหลังคาเขียว ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายสปริง ทำให้แรงจากมวลน้ำฝนที่ตกกระทบหลังคาถูกดูดซับออกไป ต่างจากหลังคาเหล็กที่มีลักษณะเป็นแผ่นแข็ง แรงที่ตกกระทบหลังคาจะไม่ถูกดูดซับ แต่จะส่งผ่านโครงสร้าง ทำให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นได้

จากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า การใช้หลังคาเขียวบนหลังคาเหล็กสามารถลดปัญหาในด้านอุณหภูมิและเสียงรบกวนได้ อย่างไรก็ตาม การเสริมประสิทธิภาพของหลังคานี้ ควรคำนึงถึงการรับน้ำหนักของโครงสร้างเดิมด้วย

บรรณานุกรม

Allen, L. K. K., Elias, S. and Lim, C. H. *The Thermal Performance of Evaluation of Roofing Systems and Materials in Malaysian Residential Development*. In Proceedings of 9th SENVAR, ISESEE, Humanity and Technology, 387-395. Makaysia : Pusat Penerbitan University, 2008.

Andy, M. Virtual. "Acoustic Prototype Technique Applied to the Simulation of Noise from Rainfall on Skylights." Paper presented at 19th International Congress on Acoustics, Madrid, September 2-7, 2007.

- Ascione, F., Bianco, N., DE’Rossi, F., Turni, G. and Vanoli, G. P. “Green Roofs in European Climates: Are They Effective Solutions for the Energy Savings in Air-conditioning?” *Applied Energy* 104 (2013): 845-859.
- Berardi, U. “The Outdoor Microclimate Benefits and Energy Saving Resulting from Green Roofs Retrofits.” *Energy and Buildings* 121 (2016): 217-229.
- Bluyssen, P. M. “Towards New Methods and Ways to Create Healthy and Comfortable Buildings.” *Building and Environment* 45 (2010): 808-818.
- Carter, C., Villot, M. and Horlaville, C. “Study of Simulated Rainfall Noise on Roofs and Glazings. Prof Forum Acusticum.” *Sevilla* (January 2002).
- Castleton, H., Stovin, V., Beck, S. and Davison, J. “Green Roofs; Building Energy Savings and the Potential for Retrofit.” *Energy and Buildings* 42 (2010): 1582-1591.
- Gaffin, S., Rosenzweig, C., Parshall, L., Beattie, D., Berghage, R., O’keeffe, G. and Braman, D. Energy “Balance Modeling Applied to a Comparison of White and Green Roof Cooling Efficiency.” Paper presented to Proceedings of the 3rd Annual Greening Rooftops for Sustainable Cities Conference, Washington, D.C., May 4-6, 2005.
- Galbrun, L. & Scerri, L. “Sound Insulation Of Lightweight Extensive Green Roofs.” *Building And Environment* 116 (2017): 130-139.
- Idris, M. F. M., Musa, M. M. and Ayob, S. M. “Noise Generated by Raindrop on Metal Deck Roof Profiles: It’s Effect towards People Activities.” *Procedia - Social And Behavioral Sciences* 36 (2012): 485-492.
- Jaffal, I., Ouldboukhite, S. E. and Belarbi, R. “A Comprehensive Study of the Impact of Green Roofs on Building Energy Performance.” *Renewable Energy* 43 (2012): 157-164.
- Kotsiris, G., Androutsopoulos, A., Polychroni, E. and Nektarios, P. A. “Dynamic U-Value Estimation And Energy Simulation For Green Roofs.” *Energy And Buildings* 45 (2012): 240-249.
- Lazzarin, R. M., Gasparella, A. and D’ascanio, A. “Analysis of a Green Roof Application to An Industrial Building.” *International Journal of Ambient Energy* 24 (2003): 35-43.
- Newton, J., Gedge, D., Early, P. and Wilson, S.. *Building Greener: Guidance on The Use of Green Roofs, Greens Walls and Complementary Features on Buildings*. London: Construction Industry Research & Information Association (Ciria), 2007.
- Ouldboukhite, S.-E., Belarbi, R., Jaffal, I. and Trabelsi, A. “Assessment of Green Roof Thermal Behavior: A Coupled Heat and Mass Transfer Model.” *Building And Environment* 46 (2011): 2624-2631.
- Permpituck, S. and Namprakai, P. “The Energy Consumption Performance of Roof Lawn Gardens in Thailand.” *Renewable Energy* 40 (2012): 98-103.
- Prado, R. T. A. and Ferreira, F. L. “Measurement of Albedo and Analysis of Its Influence the Surface Temperature of Building Roof Materials.” *Energy And Buildings* 37 (2005): 295-300.
- Solcerova, A., Van De Ven, F., Wang, M., Rijdsdijk, M. and Van De Giesen, N. “Do Green Roofs Cool The Air?” *Building And Environment* 111 (2017): 249-255.

Sonne, J. "Evaluating Green Roof Energy Performance."
Ashrae Journal 48 (2006): 59-61.

Sunakorn, P. "***Thermal Performance of Green Roof Mat.***" In 1st International Conference on Architecture and Civil Engineering Proceedings 2013, 546-550. Singapore: Global Science and Technology Forum, 2013.

Renterghem, T. Van. "Chapter 3.8 - Green Roofs for Acoustic Insulation and Noise Reduction." In ***Nature based Strategies for Urban and Building Sustainability***, Pérez, G. and Perini, K. (eds.). Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018.

Renterghem, T. Van. and Botteldooren, D. "Influence of Rainfall on the Noise Shielding by a Green Roof." ***Building And Environment*** 82 (2014): 1-8.

Wong, N. H. and Yu, C. "Study of Green Areas and Urban Heat Island in a Tropical City." ***Habitat International*** 29 (2005): 547-558.

Yang, H. S., Kang, J. and Choi, M. S. "Acoustic Effects of Green Roof Systems on a Low-Profiled Structure at Street Level." ***Building And Environment*** 50 (2012): 44-55.