

รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์สำหรับระบบผนังกระจกสองชั้น ในเขตร้อนชื้น

สุวิชา เบญจพร^{1*} วชรินทร์ จินต์วุฒิ² และ ขวัญชัย ไกรทอง³

A characteristic of an adaptive green shading for double skin facade in a tropical climate

Suwicha Benjaporn^{1*} Watcharin Jinwuth² and Kwanchai Kaitong³

^{1,2}คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

^{1,2}Faculty of Architecture Naresuan University

³ Faculty of Engineering Naresuan University

*Corresponding author. E-mail address : suwichab57@email.nu.ac.th

received August 13, 2019

revised October 18, 2019

accepted November 24, 2019

บทคัดย่อ

วิกฤตการณ์ด้านพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติที่ลดลงทั่วโลกมีส่วนผลักดันความต้องการมาตรฐานของระบบผนังอาคารด้านสมรรถนะพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ดียิ่งขึ้น ระบบผนังกระจกสองชั้น (Double Skin Façade หรือ DSF) เป็นเทคโนโลยีผนังที่บูรณาการรูปลักษณะผนังอาคารโปร่งใสผสมผสานกับคุณสมบัติโดดเด่นด้านการอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงถูกนำมาติดตั้งกับอาคารประสิทธิภาพสูงหลายอาคารทั่วโลก อย่างไรก็ตามปัญหาความร้อนสะสมในช่องว่างระบบผนังที่มีระดับสูงมากเกินไป (Overheating) ส่งผลให้สมรรถนะของระบบผนังกระจกสองชั้นลดลง ในกรณีนี้การใช้พืชพันธุ์เสมือนอุปกรณ์บังแดดสามารถลดโอกาสการเกิดสภาวะความร้อนที่สูงเกินไปได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งแสวงหารูปแบบการประยุกต์ใช้พืชพันธุ์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพระบบผนังกระจกสองชั้น ในภูมิอากาศร้อนชื้น ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านรูปทรงอุปกรณ์บังแดดที่ประยุกต์ด้วยพืชพันธุ์ชนิดต้นหวดฤๅษีในห้องปฏิบัติการโดยกำหนดอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ต่อตารางเมตรพื้นที่ผนังที่ 1000 g/m² พบว่า วิธีการควบคุมรูปทรงพืชพันธุ์และติดตั้งแบบกระจายครอบคลุมทั้งกรอบบานสามารถลดระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องว่างขึ้นส่วนตัวอย่างระบบผนัง DSF ได้ดีที่สุด และเมื่อนำรูปแบบดังกล่าวมาศึกษาปัจจัยด้านมวลของพืชพันธุ์ตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m² พบว่า อุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ 1500 g/m² มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันสภาวะความร้อนที่สูงเกินไปได้ตลอดช่วงเวลาทดสอบ ดังนั้นผลลัพธ์ของการศึกษาจึงสรุปได้ว่าวิธีการประยุกต์ใช้พืชพันธุ์ซึ่งควบคุมรูปทรงที่ติดตั้งแบบกระจายตัวครอบคลุมทั้งกรอบบาน และมีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์เท่ากับ 1500 g/m² เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับระบบผนัง DSF ในเขตร้อนชื้น

คำสำคัญ: ระบบผนังกระจกสองชั้น อุปกรณ์บังแดด พืชพันธุ์ เขตภูมิอากาศร้อนชื้น

ABSTRACT

The crisis of global energy and natural resources has stimulated the requirement for higher standard in energy and environmental impacts of building façade. In this case, the Double Skin Façade (DSF), has been known as an advanced façade technology that integrated the transparency glass façade with the outstanding features in energy conservation and environmentally friendly technology. For this reason, they were installed into several high performance buildings worldwide. However, effects from overheating in the cavity is causing reduction in its their performances. In this case, using plant as a shading device within the DSF's cavity could decrease the possibility of overheating. Therefore, the main objective of this research is focused on the application of a green shading device, in order to improve the thermal performance of the DSF in a tropical

climate. Result from the laboratory testing to determine the green shading's figure, which was adapted by controlling the mass ratio of *Tillandsia usneoides* at 1000 g/m² of wall area, found that the DSF specimen with controlled figure of green shading together with distributed installation covering the entire inner skin, could decrease the lowest air temperature within the cavity. Then the previous outcomes were determined to study the influences from mass of the plants, which were in the range of 250 to 2000 g/m². Result showed, the 1500 g/m² green shading performed the most effective in preventing overheating throughout the testing period. In conclusion the green shading device with controlled figure and the mass of plant to wall ratio at 1500 g/m² is an effective application for the DSF in a tropical climate.

Keywords: Double Skin Façade (DSF), Green Shading, Plants, Tropical Climate

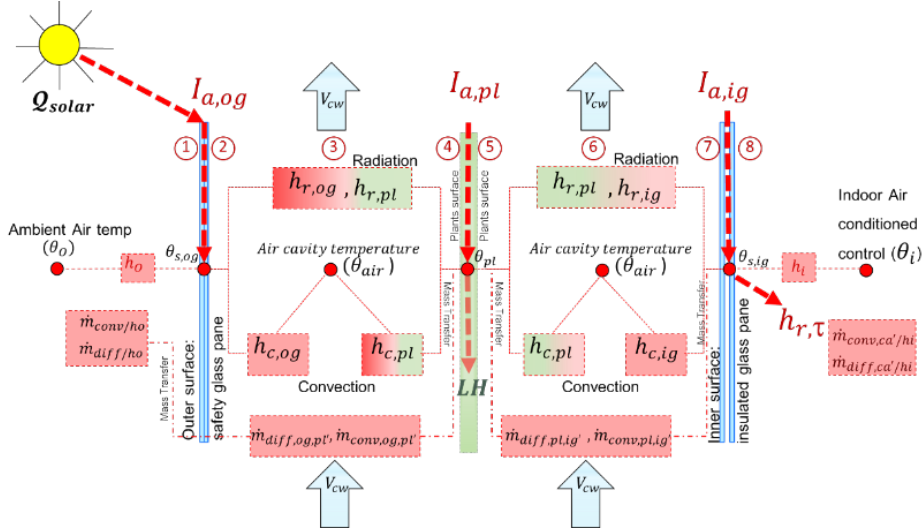
บทนำ

แนวทางการพัฒนาทางเศรษฐกิจในปัจจุบันจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมควบคู่กันเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการพิจารณาประเมินคุณภาพและระดับประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร เนื่องจากการบริโภคพลังงานในภาคส่วนอาคารมีการใช้พลังงานคิดเป็นสัดส่วนราว 2 ใน 5 ของปริมาณการใช้พลังงานโดยรวมของโลก (Pérez-Lombard et al., 2011) นอกจากนี้การบริโภคพลังงานโดยรวมของอาคารยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศอันเนื่องมาจากการกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 32 (Lucon et al., 2014) ในขณะที่กระแสความนิยมอาคารกระจกและวัสดุโปร่งแสงเพื่อเน้นรูปลักษณ์อาคารที่โปร่งใส เพื่อสื่อถึงความโปร่งใสของการดำเนินงานขององค์กร (Hendriksen et al., 2000) กลับทำให้มีปริมาณความร้อนถ่ายเทผ่านระบบผนังอาคารเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers-ASHRAE, 2013) รวมทั้งทำให้ภาระทำความเย็นและอัตราความต้องการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน (Tzempelikos, Athienitis, and Nazos, 2010) ดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุระบบผนังอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านการควบคุมสภาวะสบายทางอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งควรนำมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจกำหนดรูปแบบระบบผนังเพื่อช่วยลดความต้องการใช้พลังงานโดยรวมในภาคส่วนของอาคารและเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ระบบผนัง DSF เป็นเทคโนโลยีระบบผนังที่มีคุณสมบัติโดดเด่นในด้านการควบคุมสภาวะแวดล้อมและปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร ประสิทธิภาพด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมของระบบผนังชนิดนี้คือเหตุผลสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยีระบบผนัง DSF ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารสมรรถนะสูงเพิ่มมากขึ้น (Gratia and De Herde, 2004) แต่จุดอ่อนสำคัญของเทคโนโลยีระบบผนัง DSF คือ สภาวะระดับความร้อนในช่องว่างอากาศที่สูงเกินไป (Overheating) ซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ผลกระทบจากสภาวะดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานและปกป้องอาคารจากสภาพภูมิอากาศของระบบผนังลดลง (Boake, 2014) ดังนั้นวิธีป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสภาวะน่าสบายและการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการระเหยของระบบปรับอากาศจึงจำเป็นต้องพิจารณาแนวทางที่สามารถป้องกันการเกิดสภาวะ Overheating ภายในช่องว่างของระบบผนัง เป็นสำคัญโดยเฉพาะอาคารที่ใช้ระบบผนัง DSF ในเขตภูมิอากาศร้อนและร้อนชื้น

การป้องกันสภาวะ Overheating ของระบบผนัง DSF โดยทั่วไปมักนิยมใช้วิธีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดภายในช่องว่างระบบผนัง ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่กึ่งกลางช่องว่างระบบผนังเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมมากที่สุด (Gratia and De Herde, 2007) และมิติช่องว่างของระบบผนัง DSF ที่ระยะ 1.00 เมตรเป็นระยะที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงาน (Rahmani, Kandar and Rahmani, 2012) วิธีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดจำเป็นต้องอาศัยใช้กระแสลมธรรมชาติเพื่อช่วยควบคุมระดับอุณหภูมิในช่องว่างระบบผนังและลดภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ (Koonsawasdikool, 2010; Wong, Prasad, and Behnia, 2008) ในกรณีนี้วิธีการใช้พืชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดเป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพในป้องกันอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบผนังได้เช่นกัน โดยผลการประยุกต์ใช้พืชพันธุ์ชนิดแผงไม้เลื้อยที่มีโครงยึดเกาะ (Climbing Plants on Trellis System) ติดตั้งภายในช่องว่างระบบผนัง DSF แสดงให้เห็นว่า พืชพันธุ์สามารถลดอุณหภูมิในช่องว่างอากาศรวมทั้งอุณหภูมิผิวผนังกระจกชั้นในได้ดีกว่าการใช้อุปกรณ์บังแดด ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถลดอัตราการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารลงได้ประมาณร้อยละ 15 ถึง 20 (Stec and Paassen, 2005a) ทั้งนี้

กลไกการถ่ายเทความร้อนและมวลของระบบผนัง DSF ที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดสามารถพิจารณาได้ในรูปแบบสมการการถ่ายเทความร้อนและมวลผ่านองค์ประกอบระบบผนัง (①-⑧) (Stec et al., 2005b) ได้ดังนี้



ภาพ 1 กลไกทางฟิสิกส์ของการถ่ายเทความร้อนและมวลของระบบผนัง DSF ที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์เสมือนอุปกรณ์บังแดด

จากรูปที่ 1 แสดงกลไกทางฟิสิกส์ของการถ่ายเทความร้อนและมวลของระบบผนัง DSF ที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์เสมือนทำหน้าที่เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดซึ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลตั้งแต่ผิวผนังชั้นนอก ผ่านช่องว่างอากาศที่มีพืชพันธุ์แทนอุปกรณ์บังแดดจนกระทั่งถึงผิวผนังชั้นใน (①-⑧) โดยที่ผิวอาคารชั้นนอก (①) ซึ่งโดยทั่วไปติดตั้งเป็นกระจกนิรภัยและเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นผิวอาคารชั้นนอกนี้ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและเกิดกระบวนการนำความร้อนผ่านผนังกระจกชั้นนอกนี้ (①-②) ทั้งนี้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนในชั้นนี้สามารถแสดงในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$I_{a,og} = h_o(\theta_{s,og} - \theta_o) + h_{r,og}(\theta_{s,og} - \alpha_{og,pl} \cdot \theta_{s,air}) + h_{c,og}(\theta_{s,og} - \theta_{air}) \quad (1)$$

ที่ช่องว่างภายในระบบผนัง DSF (③) กระบวนการถ่ายเทความร้อนของอากาศกับผิวสัมผัสที่ผิวอาคารชั้นนอกและผิวของพืชพันธุ์ กระบวนการถ่ายเทความร้อนจึงปรากฏทั้งการนำ การพา การแผ่รังสี และการคายน้ำของพืช ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$\rho_{air} \cdot C_p \cdot v_{cw} \cdot \frac{\partial \theta_{air}}{\partial h_z} = h_{c,pl}(\theta_{s,pl} - \theta_{air}) + h_{c,og}(\theta_{s,og} - \theta_{air}) + h_{r,pl}(\theta_{s,pl} - \theta_{air}) + h_{r,og}(\theta_{s,og} - \theta_{air}) \quad (2)$$

กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งติดตั้งพืชพันธุ์ (④-⑤) คุณสมบัติของพืชพันธุ์สามารถดูดกลืนความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และแปลงให้เป็นความร้อนแฝง (LH) ทั้งนี้พืชพันธุ์ยังมีการคายน้ำจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศโดยรอบ ดังนั้นในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนจำเป็นต้องนำค่าความร้อนแฝงมาประกอบการพิจารณา จากกระบวนการที่กล่าวมาสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_{a,pl} = 2h_{c,pl}(\theta_{s,pl} - \theta_{air}) + h_{r,pl}(\theta_{s,pl} - \alpha_{og,pl} \cdot \theta_{s,og}) + h_{r,pl}(\theta_{s,pl} - \alpha_{pl,ig} \cdot \theta_{ig}) - LH \quad (3)$$

$$\text{โดย } LH = W \cdot \lambda \quad (4)$$

ที่ช่องว่างด้านในระบบผนัง DSF (⑥) กระบวนการถ่ายเทความร้อนของอากาศกับผิวสัมผัสที่ผิวของพืชพันธุ์และผิวอาคารชั้นใน กระบวนการถ่ายเทความร้อนจึงปรากฏทั้งการนำ การพา การแผ่รังสี และการคายน้ำของพืช ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$\rho_{air} \cdot C_{p,air} \cdot v_{cw} \cdot \frac{\partial \theta_{air}}{\partial h_z} = h_{c,pl}(\theta_{s,pl} - \theta_{air}) + h_{c,ig}(\theta_{s,ig} - \theta_{air}) + h_{r,pl}(\theta_{s,pl} - \theta_{air}) + h_{r,ig}(\theta_{s,ig} - \theta_{air}) \quad (5)$$

ที่ผิวอาคารชั้นใน (๗-๘) โดยทั่วไปติดตั้งเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนที่เคลือบสาร Low-e ซึ่งปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนในชั้นนี้สามารถแสดงในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$I_{a,ig} = h_{r,ig}(\theta_{ig} - \alpha_{pl,ig}\theta_{air}) + h_{c,ig}(\theta_{ig} - \theta_{air}) + h_i(\theta_{ig} - \theta_i) \quad (6)$$

ความหมายสัญลักษณ์ ตัวย่อ

α	อัตราการดูดกลืนความร้อน	θ_o, θ_i	อุณหภูมิอากาศภายนอก, ภายใน (°C)
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m ³)	θ_s	อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (°C)
τ	อัตราการส่งผ่านความร้อน (-)	C_p	ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันอากาศ
λ	ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ (kJ/kg)	V_w	ความเร็วลม (m/s)
h_c	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/(m ² K))	og	กระจกชั้นนอก (Outer glass)
h_r	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (W/(m ² K))	ig	กระจกชั้นใน (Inner glass)
I_a	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน(W/(m ² K))	pl	พืชพันธุ์ (Plant)
W	อัตราการคายน้ำของพืช (g/s m ²)	cw	ช่องว่างภายในระบบผนัง (Cavity)

เมื่อพิจารณาสมการที่ (1) ถึง (6) พบว่าปัจจัยสำคัญที่ช่วยควบคุมสภาวะอุณหภูมิของช่องว่างระบบผนัง DSF ที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์มาทำหน้าที่เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดด คือ กลไกการพาความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศภายในช่องว่างระบบผนังและกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชพันธุ์ที่ดูดกลืนความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้กลายเป็นความร้อนแฝง ในกรณีนี้ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งพืชพันธุ์ดูดกลืน (ดูสมการที่ 3 และ 4 ประกอบ) สามารถพิจารณาได้จากส่วนต่างระหว่างผลรวมความร้อนด้วยการพาและการแผ่รังสีจากพื้นผิวของพืชพันธุ์ที่ถ่ายเทสู่อากาศภายในช่องว่างระบบผนังและพื้นผิวกระจก (๒และ๗) กับความร้อนที่ถูกพืชพันธุ์ดูดกลืนในรูปแบบความร้อนแฝง กลไกของพืชพันธุ์ดังกล่าวทำให้อุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างระบบผนังลดลง ผลการประยุกต์ใช้พืชพันธุ์ชนิดต้นหนวดฤาษีที่มีความหนาแน่นมวลของพืชพันธุ์ต่อตารางเมตรพื้นที่ผนังแตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ 350 450 และ 750 กรัมมาประยุกต์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดยังคงปรากฏสภาวะ Overheating ในขณะที่ผลการทบทวนวรรณกรรมพบว่าต้นหนวดฤาษีสามารถดัดแปลงควบคุมรูปทรงให้เป็นไปตามรูปแบบที่ต้องการได้ (Fang et al., 2011) ซึ่งหากนำพืชพันธุ์ชนิดนี้มาควบคุมรูปทรงเพื่อประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์บังแดดของระบบผนัง DSF ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระดับความร้อนสะสมภายในช่องว่างระบบผนัง ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดข้อสังเกตว่าอิทธิพลจากรูปทรงของพืชพันธุ์ที่มีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราส่วนความกว้างและความสูง (Aspect Ratio) ของช่องว่างระบบผนังเพิ่มขึ้น อิทธิพลจากรูปทรงและมวลของพืชพันธุ์ดังกล่าวจึงส่งผลกระทบต่อรูปแบบการไหลและอัตราการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศภายในช่องว่างระบบผนัง DSF รวมทั้งส่งผลต่อสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนที่สะสมภายในช่องว่างของระบบผนัง DSF อย่างมีนัยยะสำคัญ (Xu and Yang, 2008) อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติจริงยังไม่ปรากฏรูปแบบการประยุกต์พืชพันธุ์มาบูรณาการร่วมกับอาคารที่ติดตั้งระบบผนัง DSF โดยมีเพียงผลการทดสอบในสภาวะควบคุม ดังนั้นจากประเด็นดังกล่าวจึงสามารถนำมากำหนดเป็นวัตถุประสงค์ของการแสวงหารูปแบบของอุปกรณ์บังแดดซึ่งประยุกต์รูปทรงของพืชพันธุ์ที่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมของระบบผนัง DSF ในครั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

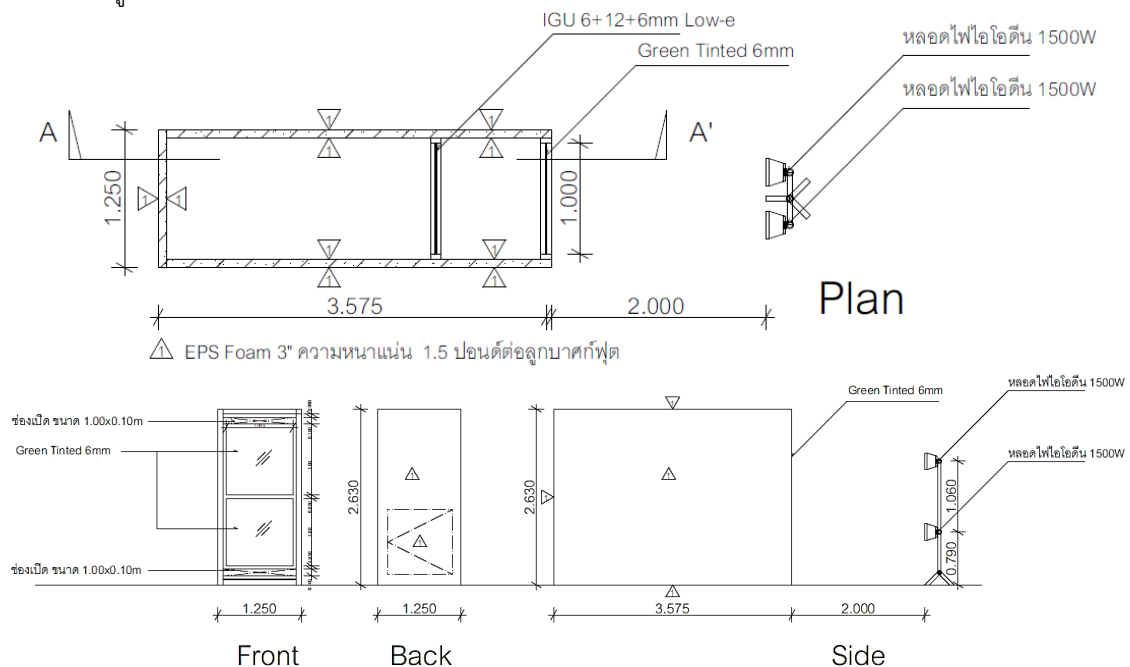
1. เพื่อศึกษาอิทธิพลจากรูปทรงและมวลของพืชพันธุ์ที่นำมาประยุกต์เสมือนอุปกรณ์บังแดดของระบบผนัง DSF ในสภาวะอากาศร้อนชื้น
2. เพื่อเสนอแนะรูปแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์บังแดดที่ประยุกต์รูปแบบด้วยการใช้พืชพันธุ์สำหรับระบบผนัง DSF ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

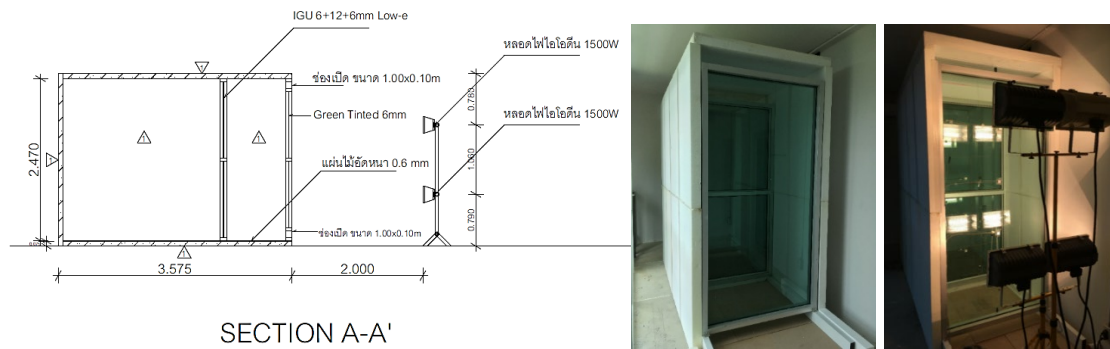
การศึกษาอิทธิพลของอุปกรณ์บังแดดที่ใช้พื้พ่นรัศมีครั้งนี้เป็นการวิธีทดสอบตัวแปรด้านรูปทรงและอัตราส่วนมวลพื้พ่นรัศมีชนิดต้นหวดถาซีต่อพื้นที่ผนังที่มีผลกระทบต้อปริมาณความร้อนและมวลภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ด้วยการทดสอบการถ่ายเทความร้อนผ่านชิ้นส่วนตัวอย่างแบบจำลองระบบผนัง DSF ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ตามมาตรฐานทดสอบของ ASTM C1363-97 สำหรับการทดสอบการถ่ายเทความร้อนแบบ Hot Box Apparatus ในสภาวะ Steady State โดยชิ้นส่วนแบบจำลองระบบผนัง DSF ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นบานช่องแสงติดตายแบบ Fixed Includes Non-standard Shapes ขนาด 1220 x 1830 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดตามมาตรฐาน ASTM E 1423-99 ระบุ

วัสดุสำหรับจัดทำ Guard Box ของชิ้นตัวอย่างทดสอบระบบ DSF เป็นแผ่นฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (Expanded Polystyrene Foam) หนา 75 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต โดยวัสดุผนัง พื้น และหลังคาชนิดนี้มีการต้านทานความร้อน (R-value) 2.34 ตารางเมตรองศาเคลวินต่อวัตต์ ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-value) 0.42 วัตต์ต่อตารางเมตร องศาเคลวิน ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) สำหรับใต้แผ่นพื้นของ Guard Box เป็นโครงเคร่าเหล็กปูทับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หนา 16 มิลลิเมตรที่มีค่าการต้านทานความร้อน (R-value) $1.1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

ทั้งนี้รูปแบบของชิ้นตัวอย่างทดสอบแบบจำลองระบบผนัง DSF สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้



ภาพ 2 แสดงมิติชิ้นตัวอย่างแบบจำลองระบบผนัง DSF ตามมาตรฐาน ASTM E 1423-99 และวิธีการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 1363-97



ภาพ 2 แสดงมิติขึ้นตัวอย่างแบบจำลองระบบผนัง DSFตามมาตรฐาน ASTM E 1423-99 และวิธีการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 1363-97 (ต่อ)

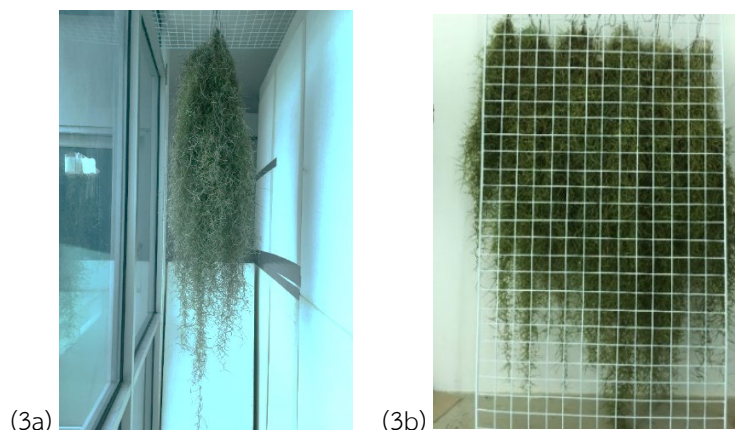
1. การศึกษาอิทธิพลของรูปทรงพืชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนและมวลภายในช่องว่างระบบผนัง DSF

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลที่เกิดจากรูปทรงและมวลของต้นหนวดถาชีซึ่งเป็นพืชที่สามารถนำมาประยุกต์รูปร่างและรูปทรงได้เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นอุปกรณ์บังแดดภายในช่องว่างของระบบผนัง DSF โดยวิธีการทดสอบประยุกต์จากมาตรฐานการทดสอบการถ่ายเทความร้อนผ่านชิ้นส่วนตัวอย่างแบบจำลองระบบผนัง DSF ในห้องปฏิบัติการที่สอดคล้องกับมาตรฐานการทดสอบแบบ Hot Box ในสภาวะ Steady State ตามกำหนดของมาตรฐาน ASTM ที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขในงานวิจัยซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1.1 ตัวแปรควบคุม ประกอบด้วย

- 1.1 คุณสมบัติเชิงความร้อนของชิ้นส่วนตัวอย่างแบบจำลองระบบผนัง DSF
- 1.2 มิติช่องว่างของชิ้นส่วนตัวอย่างแบบจำลองระบบผนัง DSF ที่ระยะ 1.00 m
- 1.3 มวลของพืชพันธุ์ (ต้นหนวดถาชี) ต่อหน่วยพื้นที่ผนัง ทุกเงื่อนไขเท่ากันที่ 1000 g/m^2
- 1.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งพืชพันธุ์

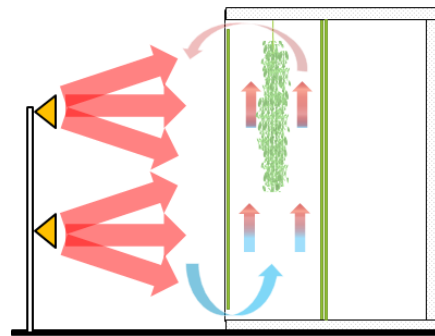
1.2 ตัวแปรตาม ในกรณีนี้คือ รูปทรงของพืชพันธุ์ที่นำมาประยุกต์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดภายใน ช่องว่างระบบผนัง DSF ประกอบด้วย รูปทรงธรรมชาติ (ดูรูปที่ 3a) และรูปทรงควบคุม (ดูรูปที่ 3b)



ภาพ 3 แสดงการประยุกต์ใช้ต้นหนวดถาชีเป็นอุปกรณ์บังแดดติดตั้งแขวนเป็นรูปทรงธรรมชาติ (รูป 3a) และรูปทรงควบคุม (รูป 3b)

1.3 คุณสมบัติอุปกรณ์บังแดด 4 รูปแบบ ได้แก่

เงื่อนไขที่ 1 อุปกรณ์บังแดดชนิดรูปทรงธรรมชาติที่ติดตั้งครอบคลุมกรอบบานเฉพาะช่วงบน

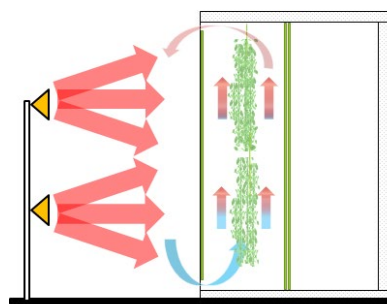


• Free form of Green Shading



ภาพ 4 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปทรงพืชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ตามเงื่อนไขที่ 1

เงื่อนไขที่ 2 อุปกรณ์บังแดดชนิดรูปทรงธรรมชาติที่ติดตั้งครอบคลุมกรอบบานทั้งช่วงบนและล่าง

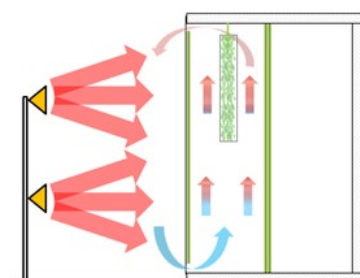


• Free form of Green Shading



ภาพ 5 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปทรงพืชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ตามเงื่อนไขที่ 2

เงื่อนไขที่ 3 อุปกรณ์บังแดดชนิดรูปทรงควบคุมที่ติดตั้งครอบคลุมกรอบบานเฉพาะช่วงบน

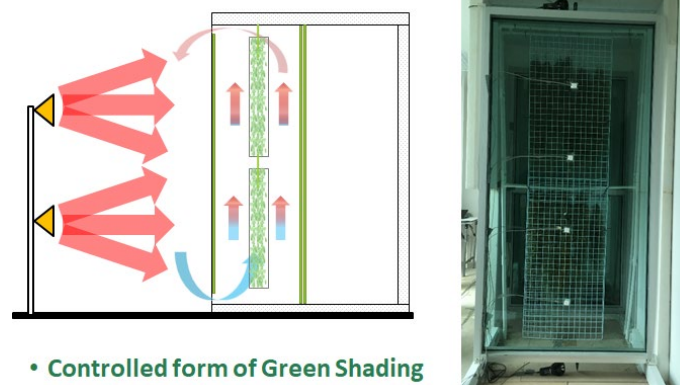


• Controlled form of Green Shading



ภาพ 6 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปทรงพืชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ตามเงื่อนไขที่ 3

เงื่อนไขที่ 4 อุปกรณ์บังแดดชนิดรูปทรงควบคุมที่ติดตั้งครอบคลุมกรอบบานทั้งช่วงบนและล่าง

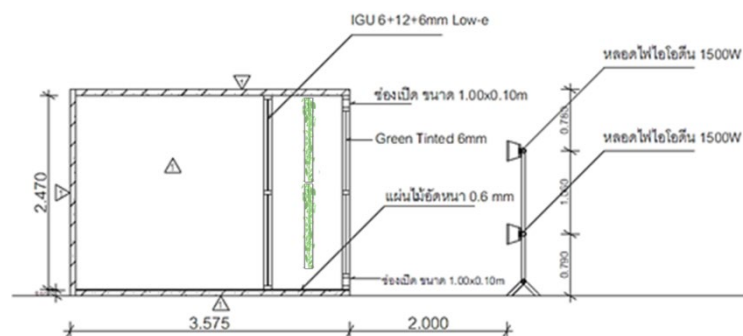


• Controlled form of Green Shading

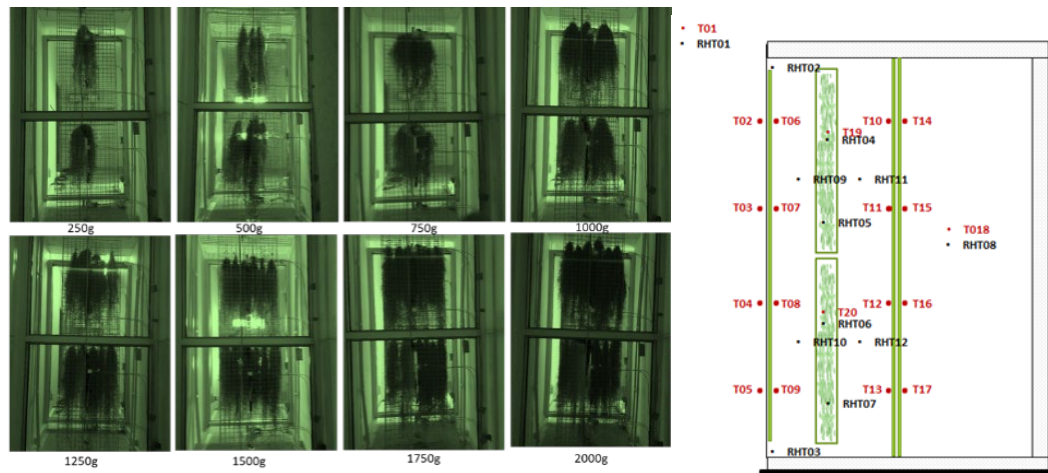
ภาพ 7 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปทรงพืชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ตามเงื่อนไขที่ 4

จากรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 7 ทุกเงื่อนไขการทดสอบกำหนดจุดที่ติดตั้งพืชพันธุ์ที่ระยะกึ่งกลางช่องว่างระบบผนัง และควบคุมอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์เท่ากับ 1000 g/m^2 พื้นที่ผนัง เพื่อควบคุมปัจจัยด้านอัตราส่วนมวลต่อพื้นที่ผนังที่ทำให้เป็นเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการศึกษาปัจจัยด้านรูปทรง โดยแหล่งความร้อนภายนอกกำหนดใช้ดวงโคมหลอดไอโอดีน ขนาด 1500 วัตต์ จำนวน 4 ดวง ติดตั้งห่างจากชิ้นส่วนตัวอย่างระบบผนัง DSF 2.00 เมตร ผลลัพธ์รูปทรงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมสภาวะอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่องว่างของชิ้นส่วนแบบจำลองระบบผนัง DSF จากการทดสอบในขั้นตอนนี้จะถูกนำไปดำเนินการศึกษาอิทธิพลจากมวลสารของพืชพันธุ์ในขั้นตอนต่อไป

2.การศึกษาอิทธิพลจากมวลของพืชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ขั้นตอนนี้เป็นวิธีการทดสอบ DSF ในห้องปฏิบัติการตามการทดสอบรูปแบบเดียวกันกับการศึกษาขั้นต้น โดยนำผลลัพธ์จากการศึกษาด้านปัจจัยรูปทรงของพืชพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจากการทดสอบในการควบคุมสภาวะอากาศภายในช่องว่างระบบผนังมากำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุม ส่วนตัวแปรตามคืออัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ต่อพื้นที่ผนังเริ่มต้นตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m^2 พื้นที่ผนัง เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลที่เกิดจากมวลของพืชพันธุ์ซึ่งส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในช่องว่างระบบผนัง DSF สำหรับรูปแบบการทดสอบชิ้นส่วนแบบจำลองระบบผนัง DSF ที่ติดตั้งพืชพันธุ์ตามที่กล่าวมาข้างต้นสามารถพิจารณาได้ดังนี้



ภาพ 8 แสดงรูปแบบการทดสอบชิ้นส่วนแบบจำลองระบบผนัง DSF ที่ติดตั้งพืชพันธุ์อัตราส่วนมวลตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m^2 พื้นที่ผนัง



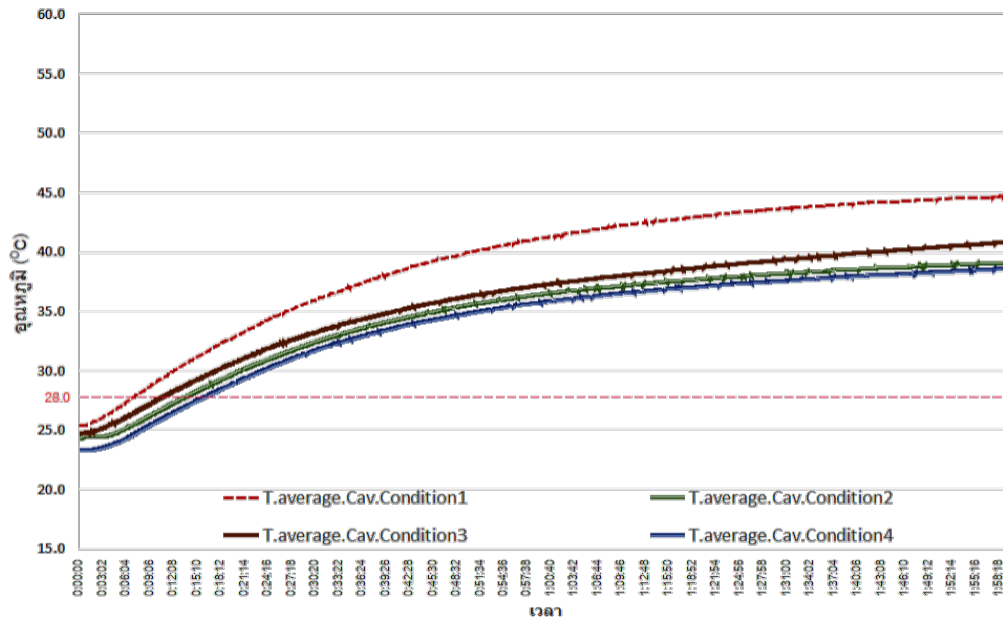
ภาพ 8 แสดงรูปแบบการทดสอบขึ้นส่วนแบบจำลองระบบผนัง DSF ที่ติดตั้งพืชพันธุ์อัตราส่วนมวลตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m² พื้นที่ผนัง (ต่อ)

ผลสรุปที่ได้รับทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ต่างกันของอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ต่อพื้นที่ผนังข้างต้นสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวทางการกำหนดรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์ทั้งในส่วนขนาดเล็ก รูปทรง อัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ต่อพื้นที่ผนัง และตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปสรุปเป็นคำตอบของงานวิจัยได้ต่อไป

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาปัจจัยด้านรูปทรงของพืชพันธุ์มีผลกระทบต่อสภาวะอากาศภายในช่องว่างระบบผนัง DSF

ผลการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในช่องว่างขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด และอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในช่องว่างขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF ที่ติดตั้งพืชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดด้วยวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปได้ว่า เมื่อควบคุมอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ 1000 g/m² พื้นที่ผนังเท่ากัน คุณสมบัติอุปกรณ์บังแดดเงื่อนไขที่ 4 ชนิดรูปทรงควบคุมที่ติดตั้งกระจายตัวครอบคลุมกรอบบานทั้งช่วงบนและล่างสามารถควบคุมสภาวะอากาศในช่องว่างระบบผนังได้ดีที่สุด โดยมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องว่างอากาศต่ำที่สุดเท่ากับ 33.96°C รองลงมาคือ อุปกรณ์บังแดดเงื่อนไขที่ 2 อุปกรณ์บังแดดเงื่อนไขที่ 3 และอุปกรณ์บังแดดเงื่อนไขที่ 1 ซึ่งมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องว่างอากาศเท่ากับ 35.13°C 36.22°C และ 39.66°C ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดสอบเปรียบเทียบรูปทรงของพืชพันธุ์ที่ประยุกต์เป็นอุปกรณ์บังแดดจึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์บังแดดชนิดรูปทรงควบคุมของพืชพันธุ์ที่ติดตั้งกระจายตัวครอบคลุมกรอบบานทั้งช่วงบนและล่างเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ติดตั้งภายในช่องว่างระบบผนังเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพระบบผนัง DSF ทั้งนี้ผลการทดสอบขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF ที่ติดตั้งพืชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดทั้ง 4 เงื่อนไขสามารถพิจารณาได้ตามรูปที่ 9 ต่อไปนี้



ภาพ 9 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในช่องว่างขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF ที่ติดตั้งพีชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดทั้ง 4 เงื่อนไข

จากแผนภูมิแสดงผลการทดสอบขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF เงื่อนไขที่ 4 ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์บังแดดรูปทรงควบคุมที่ครอบคลุมรอบบานทั้งช่วงบนและล่าง พบว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศระหว่างบริเวณด้านหน้ากับด้านหลังแผงพีชพันธุ์ที่รูปทรงควบคุมจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิอากาศบริเวณด้านหน้าแผงพีชพันธุ์มีระดับสูงกว่าด้านหลังตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบ ผลที่ปรากฏดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพีชพันธุ์รูปทรงควบคุมซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดจึงสามารถทำให้อุณหภูมิอากาศด้านหลังแผงพีชพันธุ์ภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ลดลง และเป็นผลดีต่อการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบผนังเช่นกัน โดยสามารถพิจารณาได้จากระดับอุณหภูมิอากาศภายในขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นต่ำกว่าระดับอุณหภูมิของสภาวะ Overheating ตลอดช่วงเวลาที่ดำเนินการทดสอบ

2. ผลการศึกษาอิทธิพลมวลของพีชพันธุ์ที่มีผลกระทบต่อสภาวะอากาศภายในช่องว่างระบบผนัง DSF

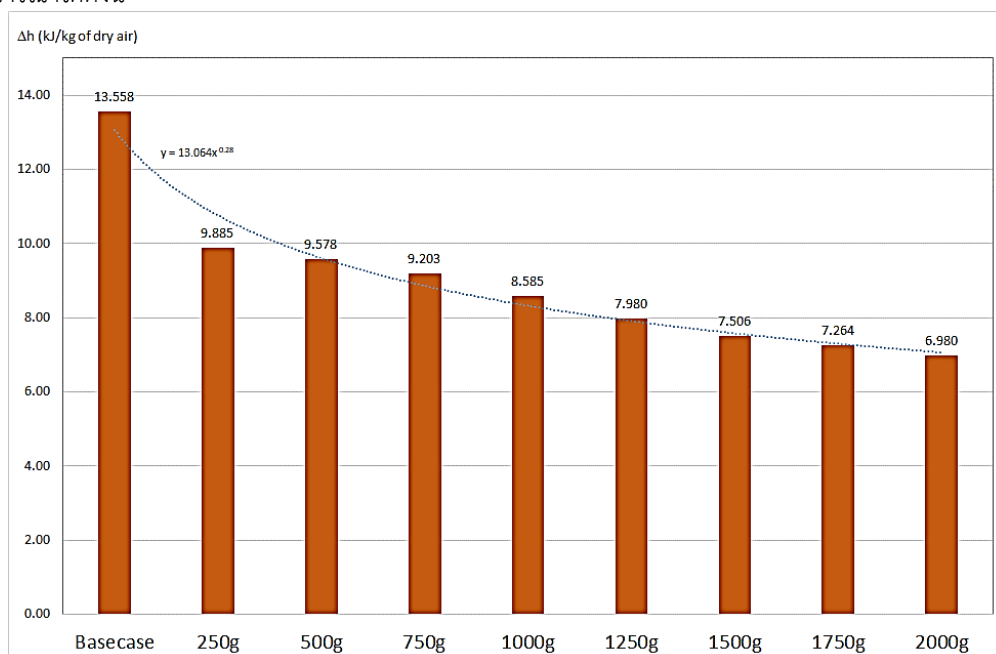
2.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาอิทธิพลจากมวลของพีชพันธุ์ที่มีอัตราส่วนตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m² พื้นที่ผนัง ซึ่งติดตั้งที่กึ่งกลางภายในช่องว่างขึ้นตัวอย่างระบบผนัง DSF พบว่า สภาวะอุณหภูมิในช่องว่างระบบผนัง ซึ่งติดตั้งพีชพันธุ์ที่มีอัตราส่วนของมวลต่อพื้นที่ตั้งแต่ 1000 g/m² ขึ้นไปมีประสิทธิภาพในการควบคุมระดับอุณหภูมิอากาศภายในแบบจำลองไม่ให้สูงถึงระดับสภาวะ Overheating (28°C) ตลอดช่วงระยะเวลาที่ดำเนินการทดสอบ ในขณะที่การทดสอบอุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนของมวลต่อพื้นที่ต่ำกว่า 750 g/m² ปรากฏสภาวะดังกล่าวในช่วงกลางของระยะเวลาที่ทดสอบ ผลลัพธ์ที่ปรากฏมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผนังกระจกสองชั้นในเขตภูมิอากาศหนาวที่ติดตั้งแผงต้นหนวดฤาษีแบบแขวนรูปทรงอิสระ ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของมวลพีชพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นไม่เอื้อประโยชน์ต่อการควบคุมสภาวะ Overheating ภายในช่องว่างระบบผนัง DSF (Fang et al., 2011) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนมวลของพีชพันธุ์ให้มากขึ้นสามารถหน่วงเวลา (Time Lag) ของการเกิดสภาวะ Overheating ได้ แสดงว่าอิทธิพลจากมวลสารของพีชพันธุ์ (Thermal Mass) มีประโยชน์ต่อการควบคุมสภาวะอากาศภายในช่องว่างระบบผนังไม่ให้เพิ่มสูงขึ้นเกินระดับสภาวะ Overheating ทั้งนี้ผลการศึกษาอิทธิพลที่เกิดจากมวลสารของพีชพันธุ์ดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงระยะเวลาการเกิดสภาวะระดับอุณหภูมิอากาศที่สูงเกินไป (Overheating) ภายในช่องว่างด้านหลังพีชพันธุ์ ซึ่งมีอัตราส่วนตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m² พื้นที่ผนัง

DSF Model	ระยะเวลาเกิดสภาวะ Overheating ที่ช่องว่างอากาศด้านหลังแผงพีชพันธุ์ (นาท.วินาที)
DSFไม่มีอุปกรณ์บังแดด	8.48
250 g/m ²	20.34
500 g/m ²	29.50
750 g/m ²	51.24
1000 g/m ²	62.16
1250 g/m ²	68.08
1500 g/m ²	91.30
1750 g/m ²	93.42
2000 g/m ²	92.56

จากตารางที่ 1 พบว่า การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนมวลของพีชพันธุ์ตั้งแต่ 1500 ถึง 2000 g/m² พื้นที่ผนัง ปรากฏระยะเวลาการเกิดสภาวะ Overheating ของอุณหภูมิอากาศด้านหลังพีชพันธุ์ภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ที่แตกต่างกัน 2 นาที 12 วินาที ผลการทดสอบดังกล่าวพิจารณาได้ว่าอิทธิพลของมวลพีชพันธุ์ในช่องว่างระบบผนังตั้งแต่ 1500 g/m² ขึ้นไปไม่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ปรากฏสภาวะ Overheating ภายในช่องว่างระบบผนัง ดังนั้นการประยุกต์คุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดดด้วยการใช้ประโยชน์จากอิทธิพลของมวลพีชพันธุ์สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการควบคุมระดับสภาวะอุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างระบบผนัง DSF ไม่ให้สูงเกินสภาวะ Overheating ได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทดสอบ

2.2 ผลการเปรียบเทียบผลต่างระดับค่าเอนทัลปีของอากาศภายในช่องว่างระบบผนังกับระดับค่าเอนทัลปีของอากาศภายในชั้นตัวอย่างระบบผนัง DSF ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนมวลของพีชพันธุ์ตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m² พื้นที่ผนัง สามารถพิจารณาได้ดังนี้



ภาพ 10 แผนภูมิแสดงผลต่างระดับค่าเอนทัลปีเฉลี่ยระหว่างอากาศภายในช่องว่างชั้นตัวอย่างระบบผนัง DSF กับอากาศภายใน ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนมวลของพีชพันธุ์ตั้งแต่ 250 ถึง 2000 g/m² พื้นที่ผนัง

จากรูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าระดับเอนทัลปีเฉลี่ยของอากาศภายในช่องว่างของระบบผนังกับค่าเฉลี่ยระดับเอนทัลปีของอากาศภายในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองอุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ 2000 g/m^2 ต่อตารางเมตรพื้นที่ผนังมีคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนและมวลผ่านระบบผนัง DSF สูงสุด รองลงมาคือแบบจำลองอุปกรณ์บังแดดที่มีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ 1750 g/m^2 และ 1500 g/m^2 ตามลำดับ ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลจากมวลของพืชพันธุ์ที่ส่งผลโดยตรงต่อสภาวะอากาศภายในช่องว่างของระบบผนัง โดยผลต่างระหว่างค่าระดับเอนทัลปีเฉลี่ยดังกล่าวแปรผันตามอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ต่อตารางเมตรพื้นที่ผนังที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำระยะเวลาการเกิดสภาวะระดับ Overheating ของอากาศด้านหลังพืชพันธุ์ (ดูตารางที่ 1 ประกอบ) มาพิจารณาร่วมกับอิทธิพลจากมวลของพืชพันธุ์ที่ส่งผลต่อค่าผลต่างระดับเอนทัลปีเฉลี่ยดังกล่าว ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการใช้พืชพันธุ์ที่ควบคุมรูปทรงและมีอัตราส่วนมวลเท่ากับ 1500 g/m^2 มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์เป็นอุปกรณ์บังแดดสำหรับระบบผนัง DSF ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

สรุปผล

การทดสอบแนวทางการใช้พืชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดสำหรับระบบผนัง DSF ในห้องปฏิบัติการซึ่งประยุกต์วิธีการทดสอบการถ่ายเทความร้อนแบบ Hot Box Apparatus ในสภาวะ Steady Stage ตามมาตรฐาน ASTM C1363-97 ด้วยการทดสอบชิ้นส่วนแบบจำลองบานช่องแสงติดตายแบบ Fixed Includes Non-standard Shapes ขนาด 1220×1830 มิลลิเมตร ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E 1423-99 ผลของการศึกษาทำให้ทราบว่าคุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดดที่ควบคุมรูปทรงและมีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์ต่อพื้นที่ผนังสูงสามารถหน่วงเวลาการเกิดสภาวะ Overheating ประกอบกับการที่มวลของพืชพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นภายใต้การควบคุมปริมาตรของรูปทรงทำให้ช่องว่างระหว่างพืชพันธุ์ลดลงจึงช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันอิทธิพลจากแหล่งความร้อนภายนอกที่ถ่ายเทผ่านอุปกรณ์บังแดดได้ ทั้งนี้การประยุกต์ใช้พืชพันธุ์เสมือนเป็นอุปกรณ์บังแดดซึ่งเป็นรูปแบบที่กล่าวสรุปข้างต้นสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 12 ต่อไปนี้



ภาพ 12 แสดงรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่ควบคุมรูปทรงและมีอัตราส่วนมวลของพืชพันธุ์เท่ากับ 1500 g/m^2 พื้นที่ผนัง ติดตั้งกระจายครอบคลุมพื้นผิวผนังทั้งช่วงบนและล่าง

ดังนั้นผลลัพธ์ของการแสวงหารูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมจากการประยุกต์คุณสมบัติของพืชพันธุ์ชนิดต้นหนวดฤาษีเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพระบบผนัง DSF ในภูมิอากาศร้อนชื้นสามารถสรุปได้ดังนี้

- วิธีการควบคุมรูปทรงของพืชพันธุ์เกิดขึ้นจากการควบคุมมิติทรงพุ่มเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่สะสมภายในช่องว่างระบบผนังและลดโอกาสการเกิดสภาวะ Overheating

- การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ประยุกต์ใช้พืชพันธุ์ด้วยรูปแบบกระจายครอบคลุมกรอบบานช่วงบนและล่างของระบบผนัง DSF เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมสภาวะอุณหภูมิอากาศภายในช่องว่างระบบผนัง เนื่องจากรูปแบบการติดตั้งลักษณะนี้สามารถลดอิทธิพลจากการถ่ายเทรังสีความร้อนผ่านระบบผนัง

-การประยุกต์ใช้อิทธิพลจากมวลของพืชพันธุ์ซึ่งควบคุมรูปทรงและมีอัตราส่วนเท่ากับ 1500 g/m^2 พื้นที่ผนัง ติดตั้งกระจายครอบคลุมพื้นผิวผนังทั้งช่วงบนและล่างของระบบผนัง DSF เป็นรูปแบบอุปกรณ์บังแดดที่มีประสิทธิภาพในการลดโอกาสเกิดสถานะ Overheating ภายในช่องว่างระบบผนังซึ่งส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผนัง DSF ที่เหมาะสมสำหรับเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยสามารถบรรลุผลสำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยรังสิต และในการนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาที่มีคุณค่าจาก ผศ.ดร.วัชรินทร์ จินต์วุฒิ ผศ.ดร.ขวัญชัย ไกรทอง รศ.สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา และ อ.ธนสาร ช่างนาวา

เอกสารอ้างอิง

- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2013). **ASHRAE Greenguide : Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings** (4th ed.). Atlanta, Ga: ASHRAE.
- Boake, T. M. (2014). Hot Climate Double Facades: Avoiding Solar Gain. **Façade Techtonics**, 14(1), 2-25. doi: https://www.academia.edu/4812685/Hot_Climate_Double_Facades_Avoiding_Solar_Gain
- Fang, W., Xiaosong, Z., Junjie, T. and Xiuwei, L. (2011). The thermal performance of double skin façade with Tillandsia usneoides plant curtain. **Energy and Buildings**, 43(9), 2127-2133. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.04.021
- Gratia, E. and De Herde, A. (2004). Natural cooling strategies efficiency in an office building with a double-skin facade. **Energy and Buildings**, 36(11), 1139-1152.
- Gratia, E. and De Herde, A. (2007). The most efficient position of shading devices in a double-skin facade. **Energy and Buildings**, 39(3), 364-373. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.09.001>
- Koonsawasdikool, S. (2010). **An Appropriate Glass Double Skin Facade (DSF) for Retrofitting Buildings in Thailand**. (Master of Architecture (Building Innovation)), Kasetsart University, Bangkok.
- Lucon, O., D. Ü.-V., A. Zain Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L.F. Cabeza, N. Eyre, A. Gadgil, L.D.D. Harvey, Y. Jiang, E.Lipphoto, S. Mirasgedis, S. Murakami, J. Parikh, C. Pyke and M.V. Vilariño. (2014). **Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. (Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Retrieved 25th May, 2019, from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter9.pdf
- Hendriksen, O.J., Sorensen, H., Svensson, A. and Aaqvist, P. (2000). Double skin facades – Fashion or a step towards sustainable buildings. **Proceedings of ISES, Eurosun**.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Coronel, J. F. and Maestre, I. R. (2011). A review of HVAC systems requirements in building energy regulations. **Energy and Buildings**, 43(2–3), 255-268. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.10.025>

- Rahmani, B., Kandar, M. Z. and Rahmani, P. (2012). How Double Skin Façade's Air-Gap Sizes Effect on Lowering Solar Heat Gain in Tropical Climate? **World Applied Sciences**, 18(6), 774-778. doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.18.06.3184
- Stec, W. J. and Paassen, A. H. C. V. (2005a). Symbiosis of the double skin façade with the HVAC system. **Energy and Buildings**, 37(5), 461-469. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.007>
- Stec, W. J., Paassen, A. H. C. V. and Maziarz, A. (2005b). Modelling the double skin façade with plants. **Energy and Buildings**, 37(5), 419-427. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.008>
- Tzempelikos, A., Athienitis, A. K. and Nazos, A. (2010). Integrated Design of Perimeter Zones with Glass Facades. **ASHRAE Transactions**, 116(1), 461-477.
- Wong, P. C., Prasad, D. and Behnia, M. (2008). A new type of double-skin façade configuration for the hot and humid climate. **Energy and Buildings**, 40(10), 1941-1945. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.04.014>
- Xu, X. L. and Yang, Z. (2008). Natural ventilation in the double skin facade with venetian blind. **Energy and Buildings**, 40(8), 1498-1504. doi: 10.1016/j.enbuild.2008.02.012