

ผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกที่มีต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย
Effect of installing a venetian blind to the glass window on the mean radiant
temperature

นพรัตน์ คำพร^{1*}, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ถ.เพชรเกษม กรุงเทพฯ 10160

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

*ติดต่อ: afluid98@hotmail.com, 0-2457-0068 ต่อ 121, 0-2457-0068 ต่อ 5244

บทคัดย่อ

ในบทความนี้จะนำเสนอการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกชนิดกระจกใส 1 ชั้น ต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะหาได้จากการประมวลผลจากผลการตรวจวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ และอุณหภูมิผิวของผนังภายในห้อง และยืนยันผลกับค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อน การทดลองถูกกระทำขึ้นในห้องทดสอบที่สร้างขึ้น หน้าต่างกระจกจะถูกติดตั้งบนผนังด้านที่หันหน้าไปทางทิศตะวันตก ในการทดลองจะทำการวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกระจก รังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่โดยทำการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 45 และ -45 องศา ตามลำดับ ทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอก และด้านใน อุณหภูมิผิวของมู่ลี่ อุณหภูมิผนังต่าง ๆ ในห้องทดสอบ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกของห้องทดสอบ ความเร็วของอากาศ อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (operative temperature) จากนั้นจะนำเอาข้อมูลที่วัดได้ไปประมวลและแสดงผลของค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณจากการตรวจวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ กับเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนมีค่าสอดคล้องกันดี และมุมเอียงของใบมู่ลี่มีผลกระทบต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิผิว และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่ โดยมู่ลี่ที่ปรับมุม 45 องศา สามารถลดผลกระทบจากการแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิวกระจก และลดค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผู้อยู่อาศัยภายในได้มากที่สุด

คำหลัก: อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย/ มู่ลี่/ รังสีแสงอาทิตย์

Abstract

This paper presents an experimental study on the effect of installing a venetian blind to a clear glass window on the mean radiant temperature. The mean radiant temperature is calculated from the measured value of the transmitted solar radiation through the glass window and venetian blind and the measured value of the wall inside surface temperatures. The calculated mean radiant temperature was compared with the mean radiant temperature evaluated from thermal comfort meter for verification purpose. The experiment is performed in the test room. The tested glass window is installed in the chamber wall facing west direction. The incident solar radiation and transmitted solar radiation were measured during the experiment. The blind slat angle was set to 0 45 and -45 degree during the test, respectively. The outside and inside glass surface temperature, slat blind surface temperature, inside wall

ETM-2042

surface temperatures, inside and outside air temperature, air velocity and operative temperature are also measured during experiment. The measured data were processed and evaluated for the mean radiant temperature. From the results of the study, the mean radiant temperature predicted from the mathematical model agreed quite well with the mean radiant temperature evaluated from the measured operative temperature. It was found that the blind slat angle had a significant effect on the mean radiant temperature that accounted only for surface temperature and the mean radiant temperature that accounted for surface temperature and solar radiation. The blind slat angle setting at 45 degree gave the most reduction of the effect of long wave radiation and the effect of transmitted solar radiation through the glass window and a venetian blind to occupant.

Keywords: mean radiant temperature/ venetian blind/ solar radiation

1. บทนำ

มู่ลี่เป็นอุปกรณ์บังเงาชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายโดยมักนำมาติดตั้งเข้ากับหน้าต่างกระจกเพื่อควบคุมความเป็นส่วนตัว และยังสามารถใช้ควบคุมความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาสู่อาคารได้ตามความต้องการ และทำให้ผู้อยู่อาศัยภายในเกิดความรู้สึกสบายเชิงความร้อนมากขึ้น ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยจะขึ้นกับตัวแปรหลักอยู่ 6 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ความเร็วลม ความต้านทานเสื้อผ้า อัตราการเผาผลาญในร่างกาย และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) โดยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเป็นตัวแปรที่มีผลกระทบอย่างมากสำหรับคนที่นั่งใกล้กับหน้าต่างกระจก โดยอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยถูกนิยามให้เป็นค่าอุณหภูมิสมมติของพื้นผิวสีดำที่ถูกปิดล้อมที่ให้การแผ่รังสีระหว่างคนกับพื้นผิวนั้นเทียบเท่ากับพื้นผิวจริง จากการศึกษาของ Chaiyapinunt et al. [1] พบว่าเมื่อผู้อยู่อาศัยนั่งใกล้กับหน้าต่างกระจกจะเกิดความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อนจาก 2 สาเหตุ คือ ความรู้สึกไม่สบายเนื่องมาจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกมากระทบผู้อยู่อาศัยโดยตรงและความรู้สึกไม่สบายเนื่องจากความร้อนที่สะสมไว้ในตัวหน้าต่างกระจกซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวกระจกสูงขึ้นสุดท้ายจะแผ่รังสีความร้อนจากกระจกมายังผู้อยู่อาศัยที่นั่งใกล้ ผลกระทบดังกล่าวจะถูกอธิบายด้วยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย La Gennusa et al. [2, 3] ได้

พัฒนาสมการสำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกมาตกกระทบต่อผู้อยู่อาศัย ซึ่งสมการที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ไม่สามารถนำมาใช้คำนวณในกรณีของหน้าต่างกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่ได้โดยตรง เนื่องจากหน้าต่างกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่ จะทำให้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านระบบหน้าต่างกระจกมีความซับซ้อนมากขึ้น(ค่ารังสีแสงอาทิตย์บางส่วนสามารถลอดผ่านมู่ลี่ได้ และบางส่วนจะถูกใบมู่ลี่กั้นไว้ทำให้รังสีแสงอาทิตย์ไม่สามารถผ่านมู่ลี่ได้) และค่าของอุณหภูมิผิวของผนังด้านที่ติดตั้งมู่ลี่จะมีค่าไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอุณหภูมิผิวของกระจก และมู่ลี่มีค่าแตกต่างกันอย่างมากโดยเฉพาะเมื่อมีรังสีมาตกกระทบ จากศึกษาของ Bessoudo et al. [2] แสดงวิธีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังเงาไว้ภายในแต่ไม่สามารถยืนยันความถูกต้องของค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้ในกรณีที่อุปกรณ์บังเงาเป็นมู่ลี่

ในบทความนี้จะนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยสำหรับหน้าต่างกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่ไว้ภายในและทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบของมู่ลี่เป็น -45 0 และ 45 องศา และทำการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ทำการตรวจวัดทั้ง 3 กรณี

ETM-2042

2. อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย

อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิผิวของผนังภายในทั้งหมด และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่เข้ามาตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยภายใน สำหรับค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิผิวภายในทั้งหมดสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{mrt,surf} = [(t_{s1} + 273)^4 \cdot F_{p-1} + (t_{s2} + 273)^4 \cdot F_{p-2} + \dots + (t_{sn} + 273)^4 \cdot F_{p-n}]^{0.25} - 273 \quad (1)$$

เมื่อ

$T_{mrt,surf}$ คือค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยเนื่องจากอุณหภูมิผิวภายใน ($^{\circ}C$)

t_{sj} คือค่าอุณหภูมิผิวภายในที่ j ($^{\circ}C$)

F_{p-i} คือค่า angle factor ระหว่างคนและผิว i
($\sum_{i=1}^n F_{p-i} = 1$)

สำหรับผนังภายในด้านที่เป็นกระจกและมู่ลี่นั้น อุณหภูมิผิวของกระจกและมู่ลี่จะมีค่าแตกต่างกัน มีผลทำให้ค่ารังสีคลื่นยาวที่แผ่ออกมาจากผนังด้านนี้มีค่าไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นการหาค่าอุณหภูมิผิวของผนังด้านที่มีค่าอุณหภูมิผิวไม่สม่ำเสมอ อย่างเช่น ผนังด้านที่เป็นกระจก และมู่ลี่สามารถหาได้โดยการรวมผลของการแผ่รังสีคลื่นยาวที่ออกมาจากกระจก และมู่ลี่ ตามสัดส่วนของพื้นที่ฉายแล้วทำการเฉลี่ยค่าของอุณหภูมิผิวกระจก และมู่ลี่ ให้เป็นค่าอุณหภูมิเทียบเท่า ($t_{s,eff}$) โดยการถ่วงน้ำหนักด้วยพื้นที่ฉายของแต่ละพื้นผิว ภายใต้ข้อสมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของกระจก และมู่ลี่ มีค่าการเปล่งรังสีเท่ากัน จะได้เป็น

$$t_{s,eff} = [F_{sh} \cdot t_b^4 + (1 - F_{sh}) \cdot t_g^4]^{0.25} \quad (2)$$

เมื่อ

$t_{s,eff}$ คือค่าอุณหภูมิผิวเทียบเท่าของกระจก และมู่ลี่ (K)

t_b คือค่าอุณหภูมิของผิวมู่ลี่ (K)

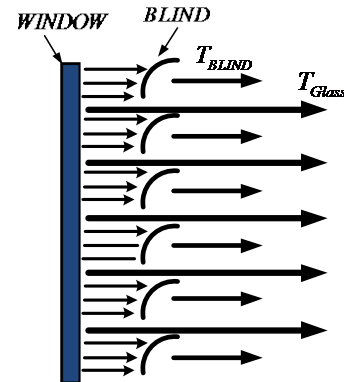
t_g คือค่าอุณหภูมิของผิวกระจก (K)

F_{sh} คือค่า shading fraction ($F_{sh} = \frac{A_b}{A_{Total}}$)

A_b คือพื้นที่ฉายของผิวของมู่ลี่ (m^2)

A_g คือพื้นที่ฉายของผิวของกระจก (m^2)

A_{Total} คือพื้นที่ฉายรวมของผิวของกระจก และมู่ลี่ (m^2) โดยที่ $A_{Total} = A_b + A_g$



รูปที่ 1 การแผ่รังสีคลื่นยาวออกจากกระจก และมู่ลี่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ

ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยในกรณีนี้รวมผลของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่เข้ามาตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยภายใน และการแผ่รังสีคลื่นยาวของผนังภายในอาคารซึ่งเรียกว่า ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (T_{mrt}) โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{mrt} = \left[(T_{mrt,surf} + 273)^4 + \frac{a_p}{(\varepsilon_p \cdot \sigma)} \left(\begin{aligned} & f_p(\alpha, \beta) \cdot I_{im,dir-dir} \\ & + F_{p-win} \cdot I_{im,dir-dif} \\ & + F_{p-win} \cdot I_{im,dif} \end{aligned} \right) \right]^{0.25} - 273 \quad (3)$$

เมื่อ

a_p คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของร่างกายคน (ค่ามาตรฐาน = 0.6)

ε_p คือค่าการเปล่งรังสีของร่างกายคน (ค่ามาตรฐาน = 0.97)

σ คือค่า Stefan Boltzmann constant, $5.67 \times 10^{-8} W / (m^2 \cdot K^4)$

f_p คือค่า projected area factor

ETM-2042

F_{p-win} คือค่า angle factor ระหว่างคนและผิวกระจก(เท่ากับ 0.312 ที่ระยะห่างระหว่างคนและผิวกระจกเท่ากับ 0.2 m)

$I_{tm,dir-dir}$ คือค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงที่ลอดผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่(ไม่กระทบใบมู่ลี่)ไปตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยโดยตรง ซึ่งจะเรียกว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง(direct to direct), (W / m^2)

$I_{tm,dir-dif}$ คือค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงที่ตกกระทบนหน้าต่างกระจกและมู่ลี่และสะท้อนไปมาไปตกกระทบบนผู้อยู่อาศัย ซึ่งจะเรียกว่าค่ารังสีแบบตรงไปกระจาย(direct to diffuse), (W / m^2)

$I_{tm,dif}$ คือค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ไปตกกระทบบนผู้อยู่อาศัย ซึ่งจะเรียกว่าค่ารังสีแบบกระจายไปกระจาย(diffuse to diffuse), (W / m^2)

สำหรับค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ไปตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยที่แสดงในสมการที่ (3) จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปกระจาย และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายไปกระจาย ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรงสามารถคำนวณได้จาก

$$I_{tm,dir-dir} = I_{dir} \cdot \tau_g(\theta) \cdot \tau_b(\phi_s) \quad (4)$$

เมื่อ

I_{dir} คือค่ารังสีแบบตรงที่ตกกระทบกับหน้าต่างกระจก (W / m^2)

$\tau_g(\theta)$ คือค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกที่ขึ้นกับค่ามุมตกกระทบ

$\tau_b(\phi_s)$ คือค่าการส่งผ่านรังสีแบบตรงไปตรงของใบมู่ลี่ที่ขึ้นกับค่ามุม solar profile ซึ่งหาได้จากวิธีการของ Chaiyapinunt and Worasinchai [5]

θ คือค่ามุมตกกระทบ

ϕ_s คือค่ามุม solar profile (มุมที่ฉายจากเส้นรังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบของกระจก)

สำหรับค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ไปตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยแบบตรงไปกระจายสามารถคำนวณได้จาก

$$I_{tm,dir-dif} = I_{dir} \cdot T_{\{1,M\}}^{FH} \quad (5)$$

เมื่อ

$T_{\{1,M\}}^{FH}$ คือค่าการส่งผ่านรังสีตรงไปกระจายด้านหน้าของระบบหน้าต่างกระจกแบบมีทิศทางเฉลี่ยเชิงครึ่งทรงกลม ซึ่งหาได้จากวิธี Matrix layer calculation ของ Klems [6, 7]

สำหรับค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายไปกระจายที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ไปตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยสามารถคำนวณได้จาก

$$I_d = T_{\{1,M\},dif,sky}^{FH} \cdot I_{dif,sky} + T_{\{1,M\},dif,grnd}^{FH} \cdot I_{dif,grnd} \quad (6)$$

เมื่อ

$T_{\{1,M\},dif,sky}^{FH}$ คือค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายไปกระจายจากท้องฟ้าที่ผ่านระบบหน้าต่างกระจกซึ่งหาได้จากวิธี Matrix layer calculation ของ Klems [6, 7]

$T_{\{1,M\},dif,grnd}^{FH}$ คือค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายไปกระจายจากพื้นดินที่ผ่านระบบหน้าต่างกระจกซึ่งหาได้จากวิธี Matrix layer calculation ของ Klems [6, 7]

$I_{dif,sky}$ คือค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากท้องฟ้าที่ตกกระทบบนหน้าต่างกระจก (W / m^2)

$I_{dif,grnd}$ คือค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากพื้นดินที่ตกกระทบบนหน้าต่างกระจก (W / m^2)

นอกเหนือจากการหาค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยด้วยการคำนวณตามสมการที่ (3) การหาค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยยังสามารถหาด้วยวิธีการตรวจวัด โดยวิธี

ETM-2042

ของการตรวจวัดนั้นจะเป็นการหาค่าโดยทางอ้อม ซึ่งต้องอาศัยการตรวจวัดค่าตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วทำการคำนวณย้อนกลับมาเป็นค่าอุณหภูมิแผรังสีเฉลี่ย โดยสามารถใช้เครื่องตรวจวัดค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (operative temperature) แล้วทำการคำนวณย้อนกลับออกมาเป็นค่าอุณหภูมิแผรังสีเฉลี่ย โดยอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟถูกนิยามให้เป็น ค่าอุณหภูมิสม่ำเสมอของสภาพแวดล้อมปิดที่ให้ผลของการแผรังสี และการพาความร้อนจากคนได้เหมือนกับสภาพแวดล้อมจริงที่มีสภาวะไม่สม่ำเสมอ เครื่องตรวจวัดค่าอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟจะมีเป็นเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงรีสี่เหลี่ยม ทั้งนี้เพื่อให้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผรังสี และการพาความร้อนใกล้เคียงกับคนมากที่สุด มีความยาวเท่ากับ 160 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 54 มิลลิเมตร ภายในจะติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์อยู่ตรงแกนกลาง โดยเซนเซอร์จะทำการสมดุลความร้อนโดยการพาความร้อน และการแผรังสีที่รอบนอกผิวกับอุณหภูมิที่อยู่ในของเซนเซอร์ โดยเขียนให้อยู่ในรูปของค่าอุณหภูมิแผรังสีเฉลี่ยได้เป็น

$$T_{mrt} = \left[(T_o + 273)^4 + \frac{h_{cg}}{\epsilon_g \sigma} (T_o - T_a) \right]^{0.25} - 273 \quad ^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$h_{cg} = \max \text{ of } \begin{cases} 18 \times v_a^{0.55} \\ 3 \times (|T_o - T_a|)^{0.25} \end{cases} \quad (8)$$

เมื่อ T_o คืออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ ($^\circ\text{C}$)

T_a คืออุณหภูมิอากาศภายในห้อง ($^\circ\text{C}$)

v_a คือค่าความเร็วลม (m/s)

ϵ_g คือค่าการเปล่งรังสีของโอเปอร์เรทีฟ

เทอร์โมมิเตอร์ (ค่ามาตรฐาน = 0.95)

h_{cg} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

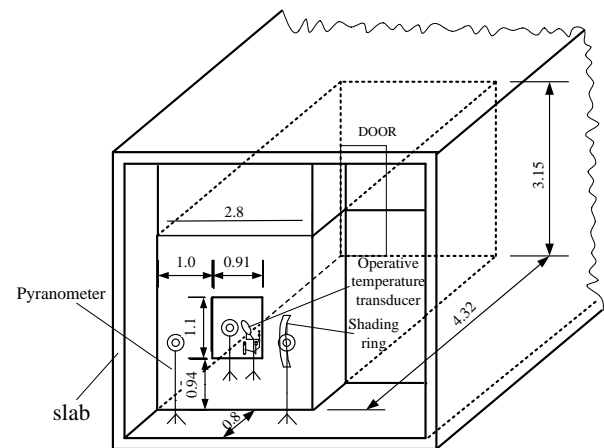
ระหว่างอากาศ และโอเปอร์เรทีฟ

เทอร์โมมิเตอร์, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

σ คือค่า Stefan Boltzmann constant, $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$

3. ห้องทดลองและอุปกรณ์การวัด

ห้องทดลองในการศึกษานี้ถูกสร้างขึ้นที่ชั้น 4 อาคารฮันส์ บันตลี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องมีขนาดหน้ากว้าง 2.8 เมตร ยาว 4.32 เมตร สูง 3.15 เมตร (ด้านที่ติดหน้าต่างกระจกหันหน้าไปทางทิศตะวันตก) ผนังสามด้านและเพดานเป็นผนังยิปซัม 2 ชั้น บุด้วยใยแก้วหนา 2 นิ้ว ผนังด้านที่ติดตั้งกระจกและมู่ลี่นั้น ด้านนอกเป็นผนังอลูมิเนียม ผนังด้านในเป็นผนังยิปซัมบุด้วยใยแก้วหนา 2 นิ้ว ผนังด้านในและเพดานทาด้วยสีด้า หน้าต่างกระจกที่ทดสอบมีขนาดกว้าง 0.9 เมตร สูง 1.1 เมตร ตัวหน้าต่างกระจกถูกติดตั้งให้ขอบด้านล่างอยู่สูงกว่าพื้นเป็นระยะ 0.94 เมตร มู่ลี่ถูกติดตั้งบริเวณด้านหลังของหน้าต่างกระจก 40 มิลลิเมตร อุณหภูมิภายในห้องถูกควบคุมด้วยเครื่องปรับอากาศ ด้วยข้อจำกัดของการสร้างห้องทำให้หน้าต่างกระจกถูกบังจากขอบอาคารที่อยู่ด้านข้างและด้านบน ตัวหน้าต่างถูกติดตั้งห่างจากขอบอาคารประมาณ 0.8 เมตร รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของห้องทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะของห้องทดลอง

อุปกรณ์การวัดประกอบด้วยเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ (pyranometer) ของบริษัท Kipp&Zonen รุ่น CM6B และ CMP6 ทั้งหมดจำนวน 3 เครื่อง พร้อมแหวนบังเงา (shading ring) 1 ชุด โดยเครื่องวัด 2 ตัว จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารบนขาตั้งหันตัวรับแสงอาทิตย์ให้อยู่ในแนวตั้งเพื่อวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบ

ETM-2042

รวมและแบบกระจายที่ตกกระทบในระนาบแนวตั้ง เครื่องวัดอีกตัวจะถูกติดตั้งบนขาตั้งอยู่ด้านหลังของมู่ลี่ ประมาณกึ่งกลางกระจกเพื่อวัดรังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกเข้ามาในห้อง อุณหภูมิผิวของผิวหน้าต่างกระจกทั้งด้านนอกและด้านใน รวมทั้งอุณหภูมิผิวของผนังห้อง และเพดานทำการวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเจ (J) ติดที่ผนังต่างๆ สำหรับอุณหภูมิผิวกระจกมีการติดแผ่นบังเงาขนาดเล็กเพื่อลดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรงกับตัวเทอร์โมคัปเปิล ค่าอุณหภูมิที่วัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์คัปเปิลจะถูกสอบเทียบกับตัวตรวจรู้อุณหภูมิที่มีความละเอียดและแม่นยำ (มีความแม่นยำ ± 0.5 °C) ค่าอุณหภูมิของผนังต่าง ๆ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ถูกจัดเก็บด้วยเครื่องจัดเก็บข้อมูล (data logger) อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟถูกวัดด้วยหัววัดของบริษัท Innova จำกัด การเอียงทำมุมของหัววัดจะจำลองสภาพของมนุษย์ที่อยู่ในตำแหน่งยืน นั่งและนอนได้ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 สำหรับรูปที่ 4 และ 5 แสดงถึงเครื่องมือวัดต่าง ๆ



รูปที่ 3 หัววัดอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่อยู่ในตำแหน่งจำลองสภาพนั่ง



รูปที่ 4 ตำแหน่งของหัววัดอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟที่มุมเอียงต่างๆ ที่จำลองลักษณะของคน [8]

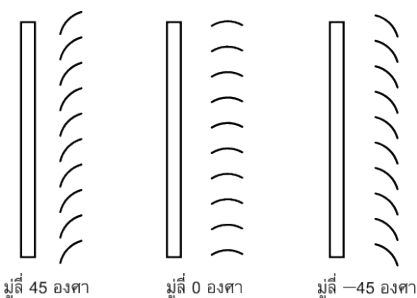


รูปที่ 5 เครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และแบบกระจายภายนอกห้องทดลอง



รูปที่ 6 หัววัดอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ และเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวม ที่ติดตั้งอยู่ในห้องทดลอง

การทดลองกระทำกับหน้าต่างกระจกใสหนา 6 มม. พร้อมติดตั้งมู่ลี่ (สีครีม) ให้มีระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และตำแหน่งกึ่งกลางของมู่ลี่เท่ากับ 40 มม. ในการทดลองจะทำการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 (เปิดสุด) 45 และ -45 องศา



รูปที่ 7 ลักษณะการปรับมุมใบของมู่ลี่ ที่มุมต่างๆ

ภายในห้องทดลอง จะทำการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องทดลองประมาณ 25 องศาเซลเซียส หัววัดอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟจะถูกติดตั้งห่างจากผิวหน้าต่างกระจกด้านในเป็นระยะ 200 มม. และปรับเอียงทำมุมเท่ากับ 30 องศา จากแนวตั้งเพื่อจำลองสภาพคนนั่ง

ETM-2042

หันด้านข้างเข้าสู่ผนังกระจก คุณสมบัติเชิงแสงของ
หน้าต่างกระจก และใบมู่ลี่ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงแสงของกระจก และมู่ลี่

ชนิดกระจก	Visible		Solar Energy		
	Trn	Ref	Trn	Ref	Ab
กระจกใส	0.89	0.08	0.80	0.08	0.12
ใบมู่ลี่				0.71	0.29

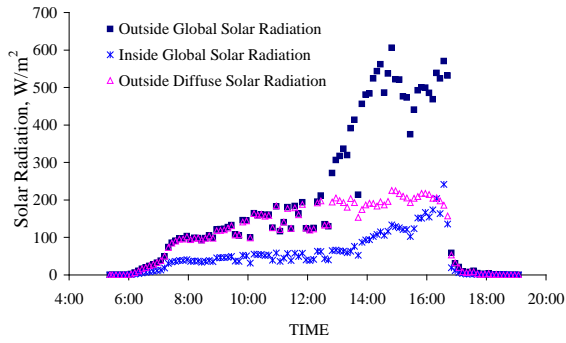
หมายเหตุ: Trn = transmittance, Ref = reflectance, Ab = absorptance

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

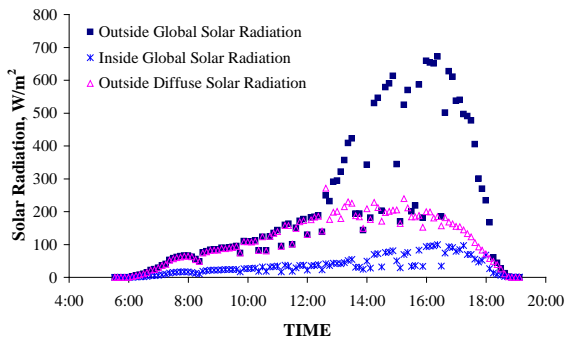
การทดลองจะกระทำในวันที่ 19 ถึง 21 พฤษภาคม 2554 (3 วัน) สำหรับกรณีของมู่ลี่ปรับมุม 0 45 และ -45 องศา ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และสภาวะของอากาศภายนอกมีค่าใกล้เคียงกัน ข้อมูลบางส่วนที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาแสดง และข้อมูลบางส่วนจะถูกนำไปประมวลผลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 8 ถึง 10 แสดงถึงค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ถูส่งผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่เข้ามาสู่ภายในห้องทดลองโดยปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 45 และ -45 องศา ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมและค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายมีค่าสอดคล้องและใกล้เคียงกันในช่วงเช้า (5:00 – 12:00 น.) เนื่องจากหน้าต่างกระจกถูกติดตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก ในช่วงเช้าจะมีแต่รังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายกระทบบนหน้าต่าง ดังนั้นค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมและรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจากการวัดจึงมีค่าเท่ากัน จากการตรวจวัดค่ารังสีแบบรวมทั้ง 3 วัน จะพบว่าค่ารังสีแบบรวมที่ตกกระทบบนจะมีค่าสูงที่สุด (ประมาณ 700 W/m^2) ที่เวลาประมาณ 16:00 น. สำหรับค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่เข้ามาสู่ภายในห้องนั้น กรณีปรับมุมใบมู่ลี่ 0 องศา ในช่วงเวลา 13:00 น. ถึง 16:00 น. ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ผ่านหน้าต่างกระจกจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่รังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนใบของมู่ลี่ และจะถูกใบของมู่ลี่บังไว้จึงทำให้แสงอาทิตย์ไม่สามารถลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาตก

กระทบบนหน้าต่างได้โดยตรง และจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงที่สุดที่เวลา 16:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งเกือบตั้งฉากกับหน้าต่างกระจก จึงทำให้แสงอาทิตย์ลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบบนหน้าต่างภายในได้ แต่ช่วงเวลาหลังจาก 16:00 น. เป็นช่วงเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมีค่าลดลงจึงทำให้ค่ารังสีที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่เริ่มมีค่าลดลง กรณีปรับมุมใบมู่ลี่ 45 องศา ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ที่เข้ามาสู่ภายในห้องนั้น จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีการปรับมุมใบเป็น 0 องศา ทั้งนี้เนื่องจากผลของการบังของใบมู่ลี่ที่มีมากขึ้น จึงทำให้ไม่มีรังสีจากแสงอาทิตย์แบบตรงลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบบนหน้าต่างภายในได้ สำหรับค่ารังสีที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบ -45 องศา เข้ามาสู่ภายในห้องนั้น จะเห็นได้ว่ารังสีสามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างใบของมู่ลี่เข้ามาตกกระทบบนหน้าต่าง จนทำให้ค่ารังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา 15:00 ถึง 16:30 น. ซึ่งมีค่าสูงที่สุดประมาณ 350 W/m^2 และจะพบว่ามู่ลี่ที่ปรับมุมใบ -45 องศา สามารถทำให้รังสีแสงอาทิตย์เข้ามาสู่ภายในห้องทดลองในช่วงเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนยังมีค่าสูงอยู่จึงส่งผลทำให้ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกและมู่ลี่เข้ามาในห้องมีค่าที่สูงตามไปด้วย และรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของมู่ลี่ที่ปรับมุมใบ 0 และ 45 องศา แต่ในช่วงระหว่างเวลา 16:30 ถึง 18:30 น. จะสังเกตเห็นได้ว่ามีค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่เข้ามาในห้องเริ่มมีค่าลดลงเนื่องมาจากผลการบังของใบมู่ลี่ ประกอบกับค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมีค่าลดลง

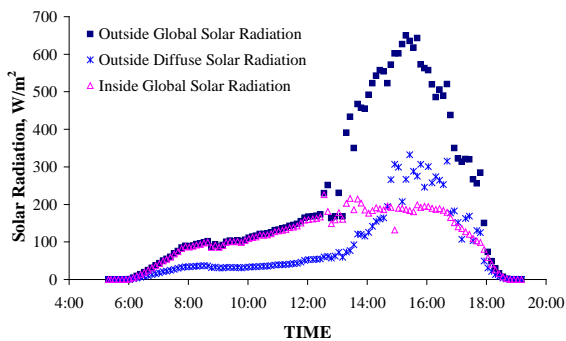
ETM-2042



รูปที่ 8 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสติดมุมลิ้นปรับมุม 0 องศา



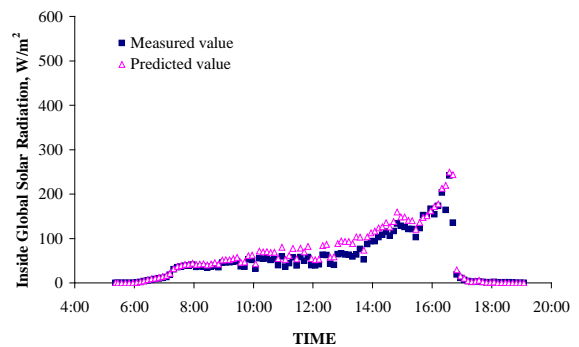
รูปที่ 9 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสติดมุมลิ้นปรับมุม 45 องศา



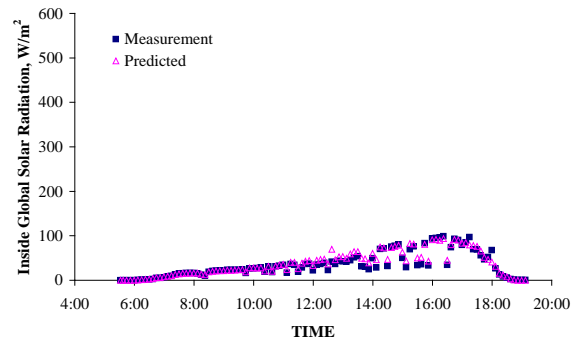
รูปที่ 10 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสติดมุมลิ้นปรับมุม -45 องศา

สำหรับรูปที่ 11 ถึง 13 แสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ผ่านหน้าต่างกระจก และมุมลิ้นที่ได้จากการตรวจวัด และได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหน้าต่างกระจกติดมุมลิ้นปรับมุมเป็น 0 45 และ -45 องศา โดยค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ได้จากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเป็นค่าผลรวมของรังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย จากรูปที่ 11 ถึง 13 จะเห็นได้ว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่าน

หน้าต่างกระจก และมุมลิ้น ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียง และมีแนวโน้มสอดคล้องกันดี แต่สำหรับกรณีปรับมุมใบ 0 องศา (รูปที่ 11) ในช่วงเวลา 11:00 ถึง 14:00 น. ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดมาจากความถูกต้องของการปรับมุมใบมุมลิ้นไม่ได้ 0 องศา ซึ่งความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจก และมุมลิ้น จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการคำนวณหาค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยตามสมการที่ (3)

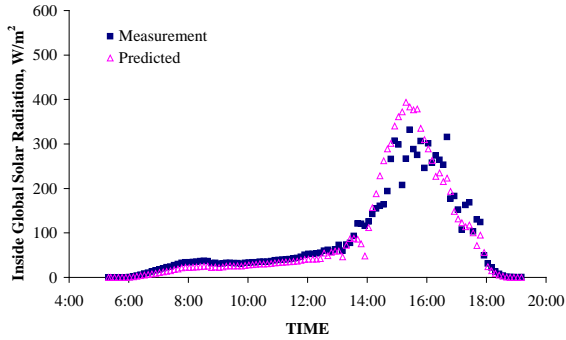


รูปที่ 11 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ส่งผ่านที่ได้จากการตรวจวัดและได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระจกใสติดมุมลิ้นปรับมุมใบ 0 องศา



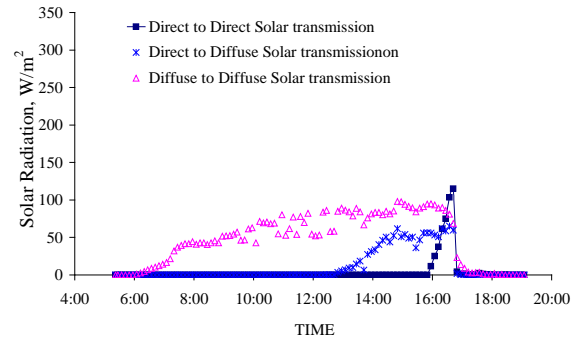
รูปที่ 12 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ส่งผ่านที่ได้จากการตรวจวัดและได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระจกใสติดมุมลิ้นปรับมุมใบ 45 องศา

ETM-2042

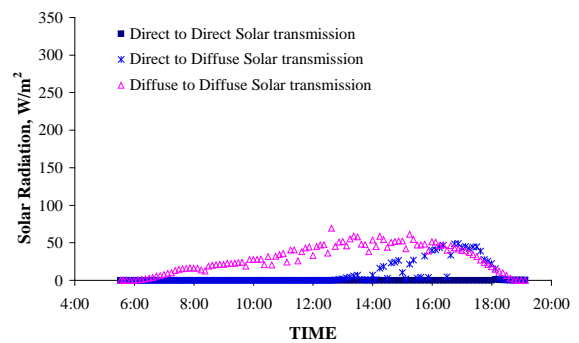


รูปที่ 13 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ส่งผ่านที่ได้จากการตรวจวัดและได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุมใบ -45 องศา

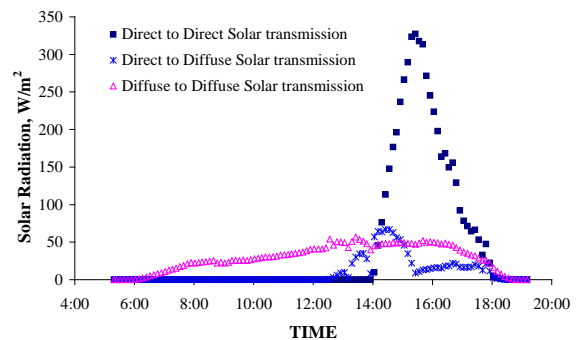
รูปที่ 14 ถึง 16 แสดงถึงค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่ปรับมุมเป็น 0 45 และ -45 องศา โดยได้แยกองค์ประกอบของรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านเป็น รังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง ไปกระจาย และกระจายไปกระจาย จากรูปที่ 14 จะพบว่า มู่ลี่ปรับมุมใบ 0 องศา จะมีค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรงเริ่มที่เวลา 16:00 น. ซึ่งหมายถึงรังสีแสงอาทิตย์จะเริ่มลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาภายในห้องได้ และช่วงเวลา 13:30 ถึง 17:00 น. จะมีค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปกระจาย ซึ่งหมายถึงเป็นช่วงเวลาที่มู่ลี่แสงอาทิตย์ผ่านกระจก และมาตกกระทบกับใบของมู่ลี่ แต่ไม่สามารถลอดผ่านใบของมู่ลี่เข้าไปภายในห้องได้โดยตรง และจากรูปที่ 15 จะเห็นได้ว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงมู่ลี่ที่ปรับมุมใบ 45 องศา สามารถกันรังสีแสงอาทิตย์ไม่ให้เข้าไปตกกระทบภายในได้โดยตรง แต่สำหรับมู่ลี่ปรับมุมเป็น -45 องศา (รูปที่ 16) จะเห็นได้ว่าจะมีค่ารังสีแสงอาทิตย์ในส่วนของรังสีแบบตรงไปตรงสูงที่สุด โดยมีค่าประมาณ 350 W/m^2 ที่เวลาประมาณ 15:00 น. ซึ่งหมายถึงรังสีแสงอาทิตย์สามารถลอดผ่านมู่ลี่เข้ามาตกกระทบภายในได้มากกว่ากรณีปรับมุมใบเป็น 0 และ 45 องศา



รูปที่ 14 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง ตรงไปกระจาย และกระจายไปกระจายที่ส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุมใบ 0 องศา



รูปที่ 15 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง ตรงไปกระจาย และกระจายไปกระจายที่ส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุมใบ 45 องศา

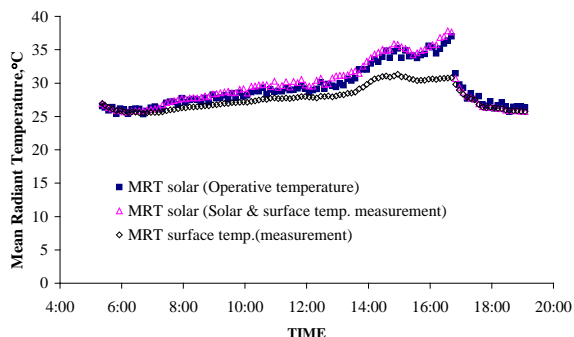


รูปที่ 16 ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไปตรง ตรงไปกระจาย และกระจายไปกระจายที่ส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุมใบ -45 องศา

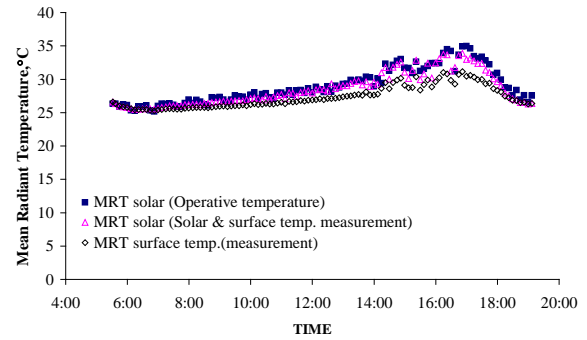
รูปที่ 17 ถึง 19 แสดงถึงค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด และคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของหน้าต่างกระจกติดมู่ลี่ปรับมุม 0 45 และ -45 องศา โดยแสดงค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิผิวของผนังห้องภายใน (รวมทั้งอุณหภูมิผิวกระจก และมู่ลี่) เพียงอย่างเดียว

ETM-2042

และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีที่รวมผลกระทบจากอุณหภูมิผิวของผนังห้องภายใน และผลของรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ เข้ามาตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยภายใน จากรูปที่ 17 ถึง 19 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียง และมีแนวโน้มสอดคล้องกันดี โดยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามช่วงที่มีรังสีแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่ สำหรับมู่ลี่ปรับมุมใบ 0 องศา ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่ และมีค่าสูงที่สุดประมาณ 38 °C และมีค่ามากกว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลกระทบของอุณหภูมิผิวห้องเพียงอย่างเดียวอยู่ประมาณ 10 K (38 °C - 28 °C) ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์สามารถลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบหัววัดที่อยู่ภายในได้ สำหรับมู่ลี่ปรับมุมใบเป็น 45 องศา จากรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าสูงที่สุดประมาณ 35 °C โดยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิผิวรวมกับผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่าน มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิผิวเพียงอย่างเดียวอยู่ประมาณ 3 K (35 °C - 27 °C) ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ซึ่งอธิบายได้ว่ามู่ลี่ที่ปรับมุมใบเป็น 45 องศา สามารถลดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่มีต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยได้มากกว่ากรณีปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 องศา

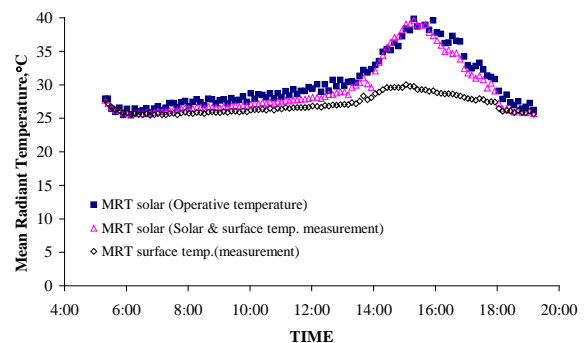


รูปที่ 17 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากคำนวณจากการตรวจวัด และได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระจกติดมู่ลี่ปรับมุมใบ 0 องศา



รูปที่ 18 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากคำนวณจากการตรวจวัด และได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระจกติดมู่ลี่ปรับมุมใบ 45 องศา

สำหรับมู่ลี่ปรับมุมใบเป็น -45 องศา จากรูปที่ 19 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าสูงที่สุดประมาณ 40 °C โดยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิผิวรวมกับผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่าน มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิผิวเพียงอย่างเดียวอยู่ประมาณ 13 K (40 °C - 27 °C) ที่เวลาประมาณ 14:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์สามารถลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบหัววัดที่อยู่ภายในได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของมู่ลี่ที่ปรับมุมใบเป็น 0 และ 45 องศา จะพบว่ามู่ลี่ที่ปรับมุมใบเป็น -45 องศา จะทำให้มีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งเกิดมาจากผลกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่เป็นหลัก



รูปที่ 19 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากคำนวณจากการตรวจวัด และได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระจกติดมู่ลี่ปรับมุมใบ -45 องศา

ETM-2042

4. สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกที่มีต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย สำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็นมุม 0 45 และ -45 องศา ด้วยวิธีการทดลอง และคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิผิวของผนังเพียงอย่างเดียว และอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบจากอุณหภูมิผิวของผนัง และผลกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่รวมเข้าไปด้วย ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงและมีความสอดคล้องกันดี สำหรับมู่ลี่ที่ปรับมุมใบเป็น -45 องศา จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยสูงที่สุด(40 °C) เมื่อเปรียบเทียบกับมู่ลี่ที่ปรับมุมเป็น 0 และ 45 องศา โดยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่เป็นหลัก สำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 45 องศา จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยน้อยที่สุด (35 °C) โดยมู่ลี่ปรับมุมใบเป็น 45 องศา สามารถลดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่ได้มากที่สุด ดังนั้นการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกจะมีกระทบโดยตรงต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยตามการปรับมุมใบของมู่ลี่

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Chaiyapinunt, S., Phueakphongsuriya, B., Mongkornsaksit, K., and Khomporn, N. (2005). Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission, *Energy and Building*. Vol. 37(7), July 2005, pp. 725-738.

[2] Bessoudo, M., Tzempelikos, A., Athienitis, A.K. and Zmeureanu, R. (2010). Indoor thermal environment conditions near glazed facades with shading devices – Part I: Experiment and building thermal Model, *Building and Environment*. vol.45(11), November 2010, pp. 2506–2516.

[3] Gennusa, M.L., Nucara, A., Rizzo, G. and Scaccianoce, G. (2005). The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation-a generalised algorithm, *Building and Environment*, vol. 40(3), March 2005, pp. 367-375.

[4] Gennusa, M.L., Nucara, A., Pietrafesa, M. and Rizzo, G. (2007). A model for managing and evaluating solar radiation for indoor thermal comfort, *Solar Energy*, vol. 81(5), March 2007, pp. 594-606.

[5] Chaiyapinunt, S. and Worasinchai, S. Development of a mathematical model for a curved venetian blind with thickness. *Solar Energy*. Vol. 83(7), July 2009, pp. 1093-1113.

[6] Klems, J.H. (1994). A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration systems: Overview and Derivation of the Matrix Layer Calculation, *ASHRAE Transaction*, vol. 100(1), 1994, pp. 1065-1072.

[7] Klems, J.H. (1994). A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration systems: Detailed Description of the Matrix Layer Calculation, *ASHRAE Transaction*, vol. 100(1), 1994, pp. 1073-1086.

[8] INNOVA. *Thermal comfort*, INNOVA Air Tech Instruments.