

ผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกต่อความสบายเชิงความร้อน

The impact of installing a venetian blinds to the glass window on thermal comfort

นพรัตน์ คำพร^{1*}, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์²

^{1, 2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ. พญาไท กรุงเทพฯ 10330

*E-mail: afluid98@hotmail.com โทรศัพท์: 0-218-6610 โทรสาร 0-2252-2889

บทคัดย่อ

ในบทความนี้จะนำเสนอการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกใส 1 ชั้น ต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนของคนที่นั่งอยู่ใกล้หน้าต่างกระจก การทดลองถูกกระทำขึ้นในห้องทดสอบที่สร้างขึ้น หน้าต่างกระจกที่ใช้ในการทดลองจะถูกติดตั้งโดยหันหน้าไปทางทิศตะวันตก ในการทดลองจะทำการวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกระจก รังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่โดยการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 45 และ -45 องศา ตามลำดับ อุณหภูมิผิวกระจกด้านนอก และด้านใน อุณหภูมิผิวของมู่ลี่ อุณหภูมิผนังต่าง ๆ ในห้องทดสอบ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกของห้องทดสอบ ความเร็วของอากาศ อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ(operative temperature) จากนั้นจะนำเอาข้อมูลที่วัดได้ไปประมวลและแสดงผลของค่าความสบายเชิงความร้อนในรูปของค่าดัชนีคาดการณ์ร้อยละไม่พอใจ (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) ผลการศึกษาพบว่ามู่ลี่ที่ปรับมุม 0 และ -45 องศา ทำให้ค่า PPD มีค่าสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 45 องศา ส่งผลให้ค่า PPD มีค่าสูงสุด 60 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก: หน้าต่างกระจก, มู่ลี่, ความสบายเชิงความร้อน, PPD

Abstract

This paper presents an experimental study on the variables that effect on thermal comfort conditions of occupants sitting near glass windows installed with a venetian blind. The experiment is performed in the testing room. The tested glass window is installed in the chamber wall facing in west direction. The incident solar radiation, transmitted solar radiation, outside and inside glass surface temperature, inside walls and ceiling temperature, inside and outside air temperature, air velocity and operative temperature were measured during the experiment. The blind slat angle was set to 0, 45 and -45 degree in the study. The measured data were processed and evaluated for the thermal comfort condition in the form of predicted percentage of dissatisfied(PPD). From the studied results, It is found that by adjusting the blade slat angle at 0 and -45 degree, the PPD value can be reached to peak value as 90 percent and the blade slat angle that were adjusted 45 degree give the PPD value as 60 percent.

Keywords : Glass window, Venetian blind, Thermal comfort, PPD.

1. บทนำ

อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ และอาคารพาณิชย์ทั่วไป มักติดตั้งหน้าต่างกระจกเป็นกรอบอาคาร หน้าต่างกระจกเป็นวัสดุกรอบอาคารชนิดหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน และความสบายเชิงความร้อนของผู้ใช้อาศัยภายในอาคาร[3], [4] สำหรับระบบหน้าต่างกระจกที่ใช้ในปัจจุบันจะมีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของความสบายเชิงความร้อน และการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งอาจจะใช้ระบบหน้าต่างกระจกเป็นกระจกชนิดพิเศษ มีจำนวนชั้นของกระจกมากขึ้น หรืออาจติดอุปกรณ์บังเงาไว้ด้านหลังหน้าต่างกระจก เช่น มู่ลี่

มู่ลี่เป็นอุปกรณ์บังเงาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมักนิยมนำมาติดตั้งเข้ากับหน้าต่างกระจกเพื่อเพิ่มความเป็นส่วนตัว อีกทั้งยังสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ออกจากอาคาร และในเวลาเดียวกันก็สามารถนำแสงสว่างเข้ามาสู่ตัวอาคารทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนของการแสงสว่างลงได้ เนื่องจากมู่ลี่มีคุณลักษณะทางโครงสร้างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีใบวางเป็นระยะห่างซ้อนกันซ้อนกันหลายใบคั่นด้วยช่องว่างอากาศ ทำให้คุณสมบัติเชิงคลื่นแสง และคุณสมบัติเชิงความร้อนของมู่ลี่มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังขึ้นกับตัวแปรอีกหลายตัวได้แก่ มุมเอียงของใบ ระยะห่างระหว่างใบมู่ลี่ ความกว้างใบ สีของใบ ซึ่งตัวแปรทั้งหมดนี้จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการส่งผ่านรังสี การสะท้อนรังสี และการดูดกลืนรังสี ของระบบหน้าต่างกระจกและมู่ลี่

นอกจากนี้ มู่ลี่ยังส่งผลกระทบต่อความสบายเชิงความร้อนต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร จากการศึกษาของ Chaiyapinunt et al. [3] พบว่าเมื่อผู้อยู่อาศัยนั่งใกล้กับหน้าต่างกระจก จะเกิดความไม่สบายเชิงความร้อนจาก 2 สาเหตุ คือเนื่องมาจากรังสีที่ผ่านหน้าต่างกระจกมากระทบกับผู้อยู่อาศัยโดยตรง และเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ในตัวหน้าต่างกระจกซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวกระจกสูงขึ้น สุดท้ายจะแผ่รังสีความร้อนจากกระจกมายังผู้อยู่อาศัยที่นั่งใกล้ ผลกระทบดังกล่าวจะถูกอธิบายด้วยค่า

อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย La Gennusa et al. [5] ได้พัฒนาสมการสำหรับคำนวณค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผู้อยู่อาศัย จากการศึกษาของสมศักดิ์ และนพรัตน์[2] Bessoudo et al.[2] พบว่าการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกสามารถลดค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยลงได้เป็นอย่างมากเมื่อมีการปรับมุมใบเป็น 90 องศา(ปิดหมด) และ 45 องศา (เปิดครึ่งเดียว)

ในบทความนี้จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่ที่มีต่อความสบายเชิงความร้อนต่อยอดจากงานที่ผ่านมา[6] โดยศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ของมู่ลี่ ได้แก่ มุมเอียงของใบ ระยะห่างระหว่างใบมู่ลี่และหน้าต่างกระจก ด้วยการทดลอง

2. แบบจำลองความสบายเชิงความร้อน

ความรู้สึกสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เป็นสภาวะที่ผู้อยู่อาศัยมีความพอใจในลักษณะความร้อนรอบตัว [1],[7] และ [8] Fanger [8] ได้กำหนดสมการที่ใช้แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของคนซึ่งขึ้นกับค่าตัวแปร 6 ตัว คือ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเร็วลม ค่าความชื้น ค่าการผลิพลังงานในร่างกาย ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ และค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature (MRT)) และได้กำหนดค่าดัชนีบ่งบอกความสบายไว้ 2 ค่า คือค่าดัชนีคาดการณ์โหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote, PMV) และค่าดัชนีคาดการณ์ร้อยละไม่พอใจ (Predicted percentage of dissatisfied, PPD) โดยค่าดัชนีคาดการณ์โหวตเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากผลการลงความเห็นของคนกลุ่มใหญ่โดยได้แบ่งเป็นค่าอยู่ 7 ระดับของความพอใจ ซึ่งจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ -3 (หนาวมาก) ถึง +3 (ร้อนมาก) และ 0 หมายถึงลักษณะปานกลาง (รู้สึกสบายพอดี) ส่วนค่าดัชนีคาดการณ์ร้อยละไม่พอใจเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พอใจสภาวะที่อาศัยอยู่เป็นค่าตัวเลขจาก 0 ถึง 100 ซึ่งค่าดัชนีทั้ง 2 ค่า จะสามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - T_a) - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4\} - f_{cl}h_c(T_{cl} - T_a) \quad (1)$$

และ

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0.0353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (2)$$

เมื่อ M คือ อัตราการผลิพลังงานในร่างกาย

เนื่องจากการทำกิจกรรม, (W/m^2)

P_a คือ ค่าความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ,

(Pa)

f_{cl} คือ อัตราส่วนพื้นที่ของเสื้อผ้าที่สวมใส่ต่อพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด

T_{mrt} คือ ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

T_a คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, °C

T_{cl} คือ ค่าอุณหภูมิเสื้อผ้าที่สวมใส่, °C

h_{cl} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

ระหว่างอากาศกับเสื้อผ้า, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature, MRT) ถูกนิยามให้เป็นอุณหภูมิสมำเสมอของผิวสมมุติภายในที่ให้การแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายคนเท่ากับความร้อนที่แผ่ออกจากสภาวะจริง จึงต้องแบ่งเป็นสองส่วนคือ ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผนังภายในทั้งหมด (รวมทั้งผิวกระจกกับมู่ลี่) และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมถึงผลจากอุณหภูมิผิวของผนังภายใน และรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกมากระทบร่างกายคน ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยทั้ง 2 ค่า จะสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{mrt,sur} = \left[\sum_{i=1}^N F_{p-i} t_{s,i} \right] \quad (3)$$

เมื่อ

$T_{mrt,sur}$ คือค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผิวภายในทั้งหมด °C

$t_{s,i}$ คือค่าอุณหภูมิผิวของผนังภายในด้านที่ i

$F_{p,i}$ คือ ค่า View factor ระหว่างคนกับผนังด้านที่ i

$$\left(\sum_i^n F_{p-i} = 1 \right)$$

สำหรับผนังภายในด้านที่เป็นกระจกและมู่ลี่นั้น

อุณหภูมิผิวของกระจกและมู่ลี่จะมีค่าไม่เท่ากัน มีผลทำให้ค่ารังสีคลื่นยาวที่แผ่ออกมาจากทั้งสองผิวนี้มีค่าไม่สมำเสมอ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีเฉลี่ยค่ารังสีคลื่นยาวโดยการถ่วงน้ำหนักของพื้นที่แต่ละส่วน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$t_{g,bl} = [(1 - F_{sh}) \cdot t_g^4 + F_{sh} \cdot t_{bl}^4]^{0.25} \quad (4)$$

เมื่อ

$t_{g,bl}$ คือ ค่าอุณหภูมิผิวของกระจก และมู่ลี่เฉลี่ย

t_g คือ ค่าอุณหภูมิผิวของกระจก

t_{bl} คือ ค่าอุณหภูมิผิวของมู่ลี่เฉลี่ย

F_{sh} คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ฉายของมู่ลี่กับพื้นที่ผิวของกระจก ($F_{sh} = A_b / A_g$)

A_b คือ พื้นที่ฉายของผิวมู่ลี่ ที่ขึ้นกับมุมเอียงของใบมู่ลี่

m^2

A_g คือ พื้นที่ผิวของกระจก m^2

$$T_{smrt} = \left[\sum_{i=1}^N F_{p-i} T_i^4 + \frac{a_p f_p I_{total}}{\epsilon \sigma} \right]^{1/4} \quad (5)$$

เมื่อ

T_{smrt} = ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมถึงผลจากอุณหภูมิผิวกระจกและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ °C

f_p = Projected area factor

a_p = ค่าการดูดกลืนของผิวด้านนอกของมนุษย์ (standard value = 0.6)

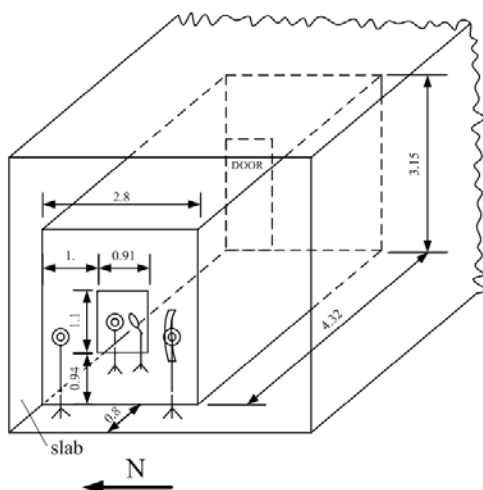
ϵ = ค่าการเปล่งรังสีจากผิวหนึ่งคน (ค่ามาตรฐานใช้ 0.95)

σ = Stefan Boltzmann constant, $W/m^2 \cdot K^4$

I_{total} = ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ผ่านหน้าต่างกระจก และมู่ลี่เข้ามาในห้อง, W/m^2

3. ห้องทดลองและอุปกรณ์การวัด

ห้องทดลองในการศึกษานี้ถูกสร้างขึ้นที่ชั้น 4 อาคารฮันส์ บันตลี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องมีขนาดหน้ากว้าง (ด้านที่ติดหน้าต่างกระจกและหันออกนอกอาคารไปทางทิศตะวันตก) 2.8 เมตร สูง 3.15 เมตร ยาว 4.32 เมตร ผนังสามด้านและเพดานเป็นผนังยิปซัม 2 ชั้นบุด้วยใยแก้วหนา 2 นิ้ว ผนังด้านที่ติดหน้าต่างกระจกนั้นด้านนอกเป็นผนังอะลูมิเนียม ผนังด้านในเป็นผนังยิปซัมบุด้วยใยแก้วหนา 2 นิ้ว ผนังด้านในและเพดานทาด้วยสีดำ หน้าต่างกระจกที่ทดสอบมีขนาด กว้าง 0.9 เมตร สูง 1.1 เมตร ตัวหน้าต่างกระจกถูกติดไว้ให้ขอบด้านล่างอยู่สูงกว่าพื้นเป็นระยะ 0.94 เมตร มู่ลี่ถูกติดตั้งบริเวณด้านหลังหน้าต่างกระจก มีระยะห่างจากหน้าต่างกระจก 20 มม. และ 40 มม. อุณหภูมิภายในห้องถูกควบคุมด้วยเครื่องปรับอากาศ ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ในการสร้างห้อง ทำให้หน้าต่างกระจกถูกบังจากขอบอาคารที่อยู่ด้านข้างและด้านบน ตัวหน้าต่างกระจกถูกติดตั้งห่างจากขอบอาคารประมาณ 0.8 เมตร รูปที่ 1 แสดงถึงลักษณะของห้องทดลอง



รูปที่ 1 ลักษณะของห้องทดลอง

อุปกรณ์การวัดประกอบด้วยเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ (pyranometer) ของบริษัท Kipp&Zonen รุ่น CM6B จำนวน 3 เครื่อง พร้อมแหวนบังเงา (shading ring) 1 ชุด โดยเครื่องวัด 2 ตัว จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคารบน

ขาตั้งหันตัวแผ่นรับแสงอาทิตย์ให้อยู่ในแนวตั้งเพื่อวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมและแบบกระจายที่ตกกระทบในระนาบแนวตั้ง เครื่องวัดอีกตัวจะถูกติดตั้งบนขาตั้งอยู่ด้านหลังของมู่ลี่ประมาณกึ่งกลางกระจกเพื่อวัดรังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกเข้ามาในห้อง อุณหภูมิของผิวหน้าต่างกระจกทั้งด้านนอกและด้านใน รวมทั้งอุณหภูมิผิวของผนังห้องและเพดานทำการวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเจ (J) ติดที่ผนังต่าง ๆ สำหรับอุณหภูมิผิวกระจกมีการติดแผ่นบังเงาขนาดเล็กเพื่อลดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรงกับตัวเทอร์โมคัปเปิล ค่าอุณหภูมิที่วัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลจะถูกสอบเทียบกับตัวตรวจรู้อุณหภูมิที่มีความละเอียดและแม่นยำ (มีความแม่นยำ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) ค่าอุณหภูมิของผนังต่าง ๆ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ถูกจัดเก็บด้วยเครื่องจัดเก็บข้อมูล (data logger) ค่าอุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟถูกวัดด้วยหัววัดของบริษัท Innova จำกัด อุณหภูมิโอเปอเรทีฟถูกนิยามให้เป็นอุณหภูมิสม่ำเสมอของผิวสมมติภายในที่ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน รวมกับการพาความร้อนจากร่างกายคนกับผิวสมมติภายในเท่ากับความร้อนที่แผ่ออกจากสถานะแวดล้อมจริง สำหรับหัววัดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟมีลักษณะเป็นรูปวงรีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 มม. ยาว 160 มม. ตัวหัววัดถูกออกแบบให้มีความอัตราส่วนของการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีกับการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนเหมือนกับของร่างกายมนุษย์ การเอียงท่ามุมของหัววัดจะจำลองสภาพของมนุษย์ที่อยู่ในตำแหน่งยืน นั่งและนอนได้ รูปที่ 2 และ 3 แสดงถึงเครื่องมือวัดต่าง ๆ



รูปที่ 2 เครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมและแบบกระจาย



รูปที่ 3 หัววัดอุณหภูมิโอเพอเรทีฟ เครื่องเก็บข้อมูลและประมวลผลความสบายเชิงความร้อน

นอกจากนั้นในการทดลองยังใช้เครื่องเก็บและประมวลผลข้อมูลเฉพาะของบริษัท Innova จำกัด รุ่น 1221 ซึ่งจะถูกระบุว่าเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนเพื่อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศและอุณหภูมิโอเพอเรทีฟ หลังจากนั้นทำการประมวลผลเป็นค่าอุณหภูมิแผ่รังสี และค่าดัชนีคาดการณ์ร้อยละไม่พอใจ ความสัมพันธ์ที่เครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนใช้ในการประมวลผลค่าอุณหภูมิโอเพอเรทีฟมาเป็นค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย [6] จะสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{mrt} = [(t_o + 273)^4 + (h_{cg} / \epsilon \sigma)(t_o - t_a)^{0.25}]^{0.25} - 273^\circ \text{C} \quad (5)$$

$$h_{cg} = \max \text{ of } \begin{cases} 18 \times \nu_a^{0.55} & \text{Forced convection} \\ 3 \times (t_o - t_a)^{0.25} & \text{Free convection} \end{cases} \quad (6)$$

เมื่อ T_{mrt} = อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย $^\circ\text{C}$

t_o = อุณหภูมิ operative $^\circ\text{C}$

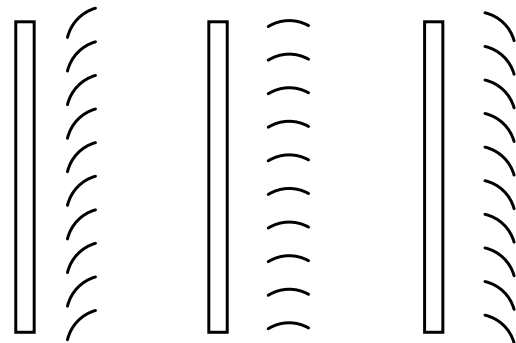
t_a = อุณหภูมิอากาศ $^\circ\text{C}$

ϵ = ค่าการเปล่งรังสีจากผิวผนังคน (ค่ามาตรฐานใช้ 0.95)

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

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การทดลองกระทำกับหน้าต่างกระจกใสหนา 6 มม. พร้อมติดตั้งมู่ลี่ (สีครีม) ตำแหน่งกึ่งกลางใบมู่ลี่ห่างจากกระจกเป็นระยะ 20 มม. และ 40 มม. ในการทดลองจะทำการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 (เปิดสุด) 45 และ -45 องศา



มู่ลี่ 45 องศา

มู่ลี่ 0 องศา

มู่ลี่ -45 องศา

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการปรับมุมใบของมู่ลี่ ที่มุมต่างๆ

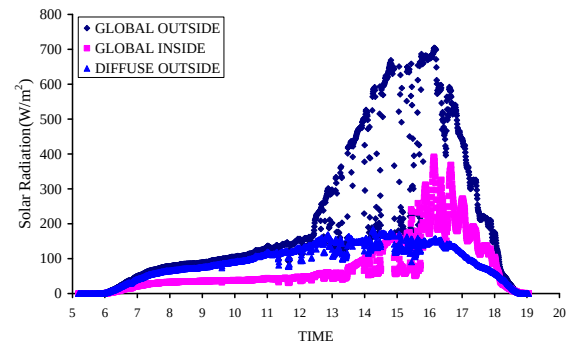
ภายในห้องทดลองจะทำการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส และกำหนดให้แบบจำลองของผู้อาศัยแต่งตัวแบบผู้ทำงานปกติ (office) (Clothing insulation = 0.5 clo) และมีการทำงานแบบนั่งทำงานในสำนักงาน (1.2 met (1 met = 58 W/m^2)) หัววัดอุณหภูมิโอเพอเรทีฟจะถูกตั้งห่างจากมู่ลี่เป็นระยะ 120 มม. และปรับเอียงทำมุมเท่ากับ 30 องศา จากแนวตั้ง เพื่อจำลองสภาพคนนั่งหันด้านข้างเข้าสู่หน้าต่างกระจก คุณสมบัติเชิงแสงของหน้าต่างกระจก และใบมู่ลี่ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงแสงของกระจก และใบมู่ลี่

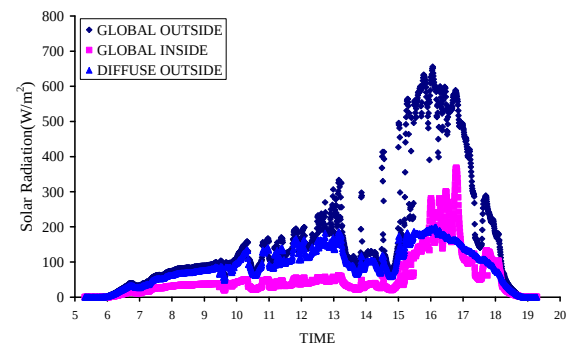
ชนิดกระจก	Visible t		Solar Energy		
	Trn	Ref	Trn	Ref	Ab
กระจกใส	89	8	80	8	12
ใบมู่ลี่	-	-	-	71	29

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

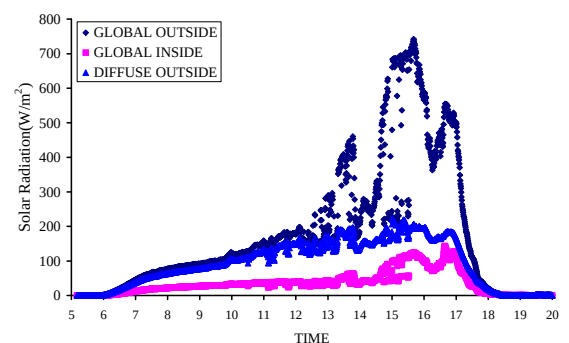
การทดลองจะกระทำในเดือนพฤษภาคม 2554 ข้อมูลบางส่วนที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาแสดงและข้อมูลบางส่วนจะถูกนำไปประมวลผลทั้งจากเครื่องประมวลผล ความสบายเชิงความร้อนและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 5 ถึง 10 แสดงถึงค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ถูกส่งผ่านหน้าต่างกระจกเข้าสู่ภายในห้องทดลองโดยปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 องศา และ -45 องศา ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายมีค่าสอดคล้องกันในช่วงเช้า เนื่องจากหน้าต่างกระจกหันหน้าไปทางทิศตะวันตก จึงทำให้มีเฉพาะค่ารังสีแบบกระจายตกกระทบบนหัววัด ดังนั้นค่ารังสีแบบรวมและแบบกระจายในช่วงเช้าจึงมีค่าเท่ากัน สำหรับค่ารังสีแบบรวมที่ส่งผ่านเข้ามาในห้องในช่วงเวลา 13:30 ถึง 15:30 น. จะมีค่าลดลงเนื่องจากผลการบังของใบมู่ลี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการลดลงตามการปรับมุมใบของมู่ลี่ และสำหรับกรณีของการปรับมุมใบมู่ลี่ 0 องศา ค่ารังสีแบบรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่เวลาประมาณ 16:00 น. สำหรับระยะห่างใบมู่ลี่กับผิวกระจกเท่ากับ 20 มม. และ 40 มม. ตามลำดับ เนื่องจากที่มุมตกกระทบบนของรังสีอยู่ในระดับต่ำจึงทำให้รังสีแสงอาทิตย์สามารถผ่านช่องของใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบบนหัววัดรังสีที่อยู่ภายในได้ สำหรับกรณีของมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบ 45 องศา นั้น รังสีแสงอาทิตย์จะถูกใบของมู่ลี่กั้นจึงทำให้รังสีสามารถลอดผ่านเข้ามาภายในห้องได้น้อย แต่กรณีของมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบ -45 องศา จะพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์สามารถลอดผ่านมู่ลี่มาตกกระทบบนหัววัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาประมาณ 15:00 น. จนถึงเวลา 18:00 น. ทั้งกรณีของระยะห่างใบเท่ากับ 20 มม. และ 40 มม.



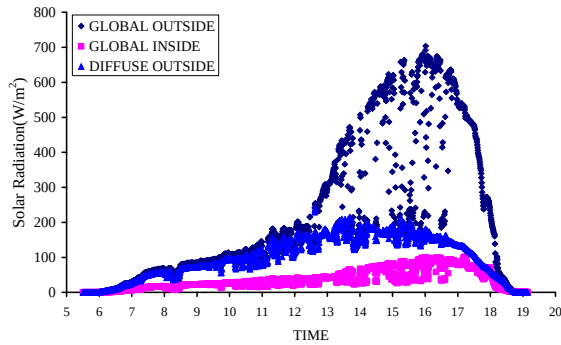
รูปที่ 5 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



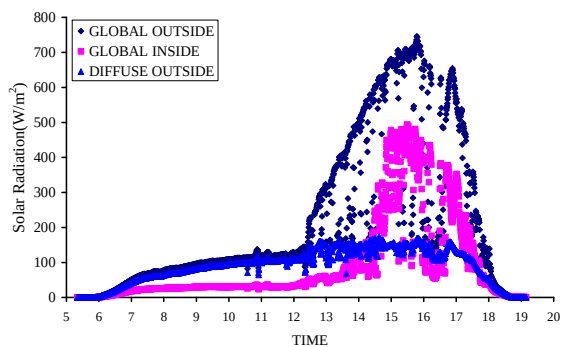
รูปที่ 6 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



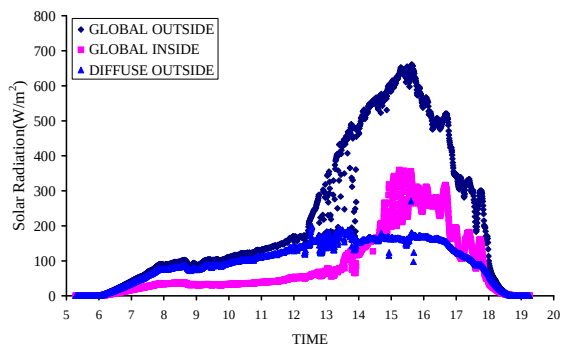
รูปที่ 7 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



รูปที่ 8 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกโสตติตมุมปรับมุม 45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



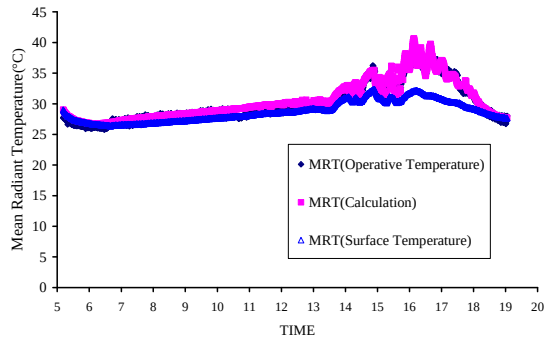
รูปที่ 9 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกโสตติตมุมปรับมุม -45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



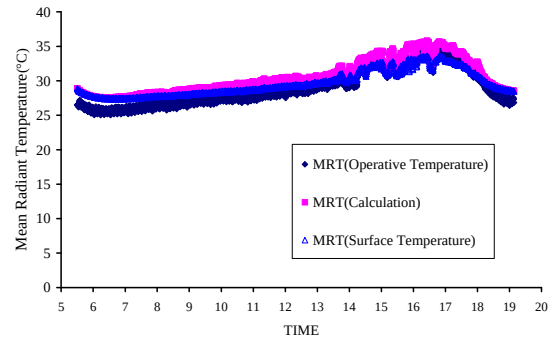
รูปที่ 10 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกโสตติตมุมปรับมุม -45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.

รูปที่ 11 ถึง 16 แสดงถึงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากผลของอุณหภูมิผิว และค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมผลของรังสีแสงอาทิตย์เข้าไปด้วยที่ได้จากการคำนวณ (สมการที่ 4 และ 5) ในรูปยังแสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่หาค่าได้จากการประมวลผลด้วยเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนจากข้อมูลของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่วัดได้จากหัววัดเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 0 45 และ -45 องศา ตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และตำแหน่งกึ่งกลางมู่ลี่เท่ากับ 20 มม. และ 40 มม. จากรูปจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจากผลการตรวจวัด และผลจากแบบจำลองจะมีความสอดคล้องกันดี ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงเช้า เนื่องจากปริมาณรังสีที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่มีค่าต่ำ สำหรับการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 องศา ในช่วงเวลาที่รังสีตกกระทบบนใบมู่ลี่ (13:30 น. ถึง 15:30 น.) ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิผิวของกระจก และใบมู่ลี่ที่มีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่เวลาประมาณ 15:30 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีสามารถลอดผ่านใบมู่ลี่มาตกกระทบบนหัววัดรังสี ทำให้ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยเกิดจากทั้งผลกระทบของอุณหภูมิผิว และผลมาจากรังสีแสงอาทิตย์รวมกัน แต่สำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 45 นั้น ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเพิ่มตามค่าของอุณหภูมิผิวของใบมู่ลี่ และอุณหภูมิผิวกระจกเท่านั้นเป็นหลักแต่เนื่องจากการปรับมุมใบในตำแหน่ง 45 องศา รังสีแสงอาทิตย์แบบตรงไม่สามารถลอดผ่านหน้าต่างกระจกและใบมู่ลี่มาตกกระทบบนหัววัดได้ แต่สำหรับกรณีมุมใบ -45 องศา จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 14:00 น. เนื่องจากผลของรังสีแสงอาทิตย์ที่ลอดผ่านมู่ลี่มาตกกระทบบนหัววัด และผลของอุณหภูมิผิวกระจก และอุณหภูมิผิวของใบมู่ลี่เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของระยะห่างผิวกระจกด้านในจนถึงตำแหน่งกึ่งกลางของใบมู่ลี่ จะสังเกตได้ว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยของกรณีระยะห่างเท่ากับ 20 มม. จะมีค่าที่สูงกว่ากรณีระยะห่าง

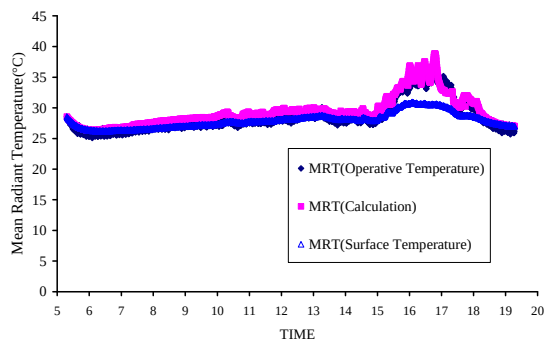
เท่ากับ 40 มม. อยู่เล็กน้อย สำหรับตำแหน่งมุมใบ
มุม 0 45 และ -45 องศา



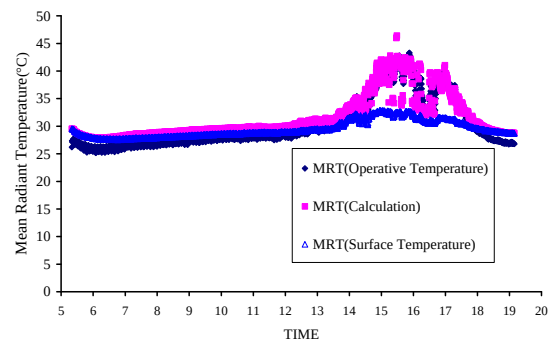
รูปที่ 11 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจก
ใสติดมุมลิ้นปรับมุม 0 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้าน
ใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



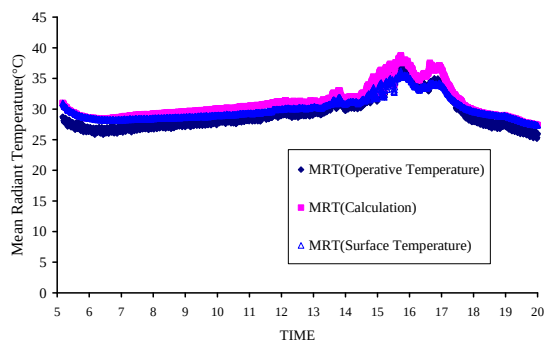
รูปที่ 14 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจก
ใสติดมุมลิ้นปรับมุม 45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจก
ด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



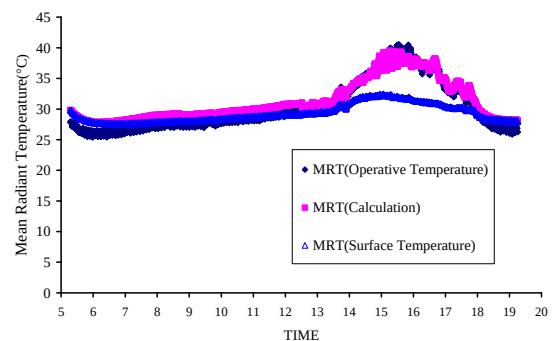
รูปที่ 12 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจก
ใสติดมุมลิ้นปรับมุม 0 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้าน
ใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



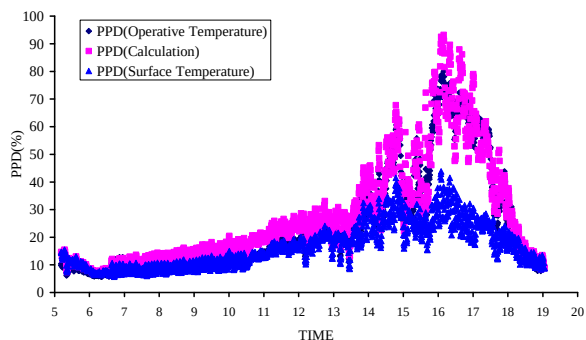
รูปที่ 15 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจก
ใสติดมุมลิ้นปรับมุม -45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจก
ด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



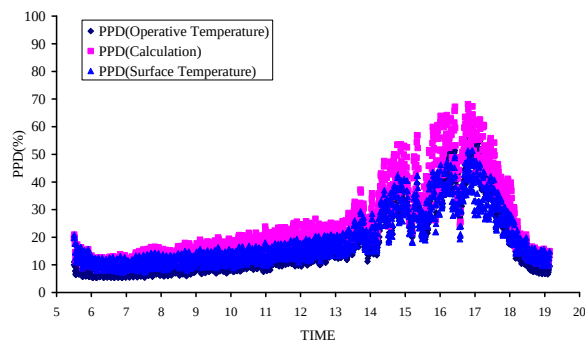
รูปที่ 13 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจก
ใสติดมุมลิ้นปรับมุม 45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจก
ด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



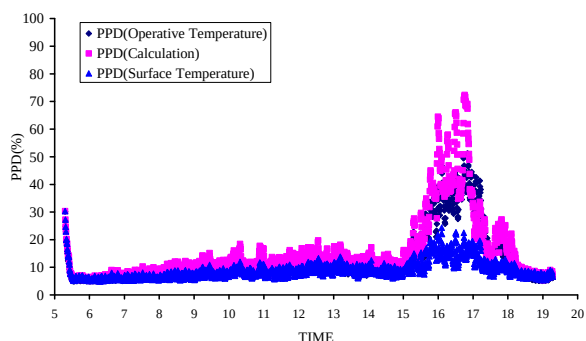
รูปที่ 16 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจก
ใสติดมุมลิ้นปรับมุม -45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจก
ด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



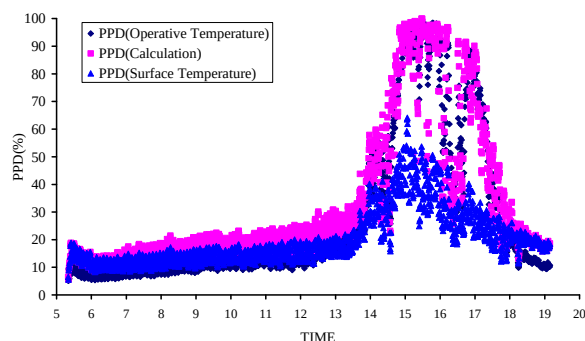
รูปที่ 17 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



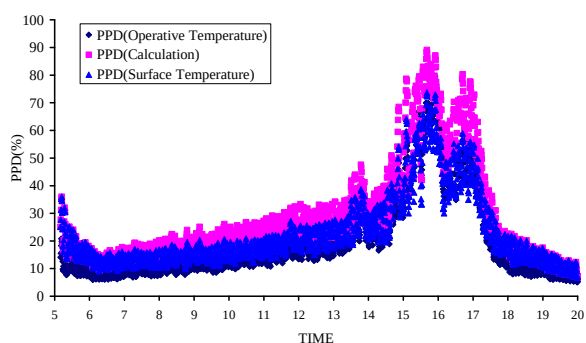
รูปที่ 20 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



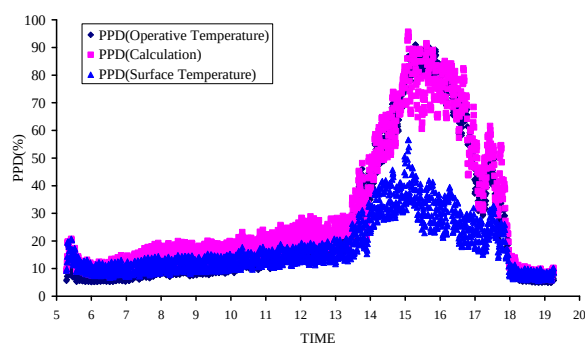
รูปที่ 18 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.



รูปที่ 21 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม -45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



รูปที่ 19 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 20 มม.



รูปที่ 22 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม -45 องศา ระยะห่างระหว่างผิวกระจกด้านใน และกึ่งกลางใบมู่ลี่เท่ากับ 40 มม.

รูปที่ 17 ถึง 22 แสดงถึงค่า PPD ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่า PPD จากเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อน ของหน้าต่างกระจกติดมู่ลี่ปรับมุมใบเป็น 0 45 และ -45 ตามลำดับ ในรูปแสดงค่าดัชนีบ่งบอกระดับความรู้สึกไม่สบายอันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิผิว และผลจากรังสีที่ส่งผ่านเข้ามาตกกระทบผู้อยู่อาศัยภายใน จากรูปจะพบว่าผลจากการประมวลผลจากเครื่องตรวจวัด และแบบจำลองมีความสอดคล้องกันดี โดยค่า PPD ทั้ง 3 กรณี จะมีค่าสอดคล้องตามค่าของอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย จะเห็นได้ว่ากรณีของการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 องศา และ -45 องศา ค่าของ PPD ยังคงมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูง(ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์) โดยเฉพาะเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์ลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาในห้อง แต่เมื่อมีการปรับมุมใบเป็น 45 องศา ค่า PPD จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลความไม่สบายจะเกิดจากผลของอุณหภูมิผิวของมู่ลี่เป็นหลัก โดยค่า PPD มีค่าสูงสุดประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของระยะห่างผิวกระจกด้านในจนถึงตำแหน่งกึ่งกลางของใบมู่ลี่ จะสังเกตได้ว่าค่า PPD ของกรณีที่ระยะห่างเท่ากับ 20 มม. จะมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่ระยะห่างเท่ากับ 40 มม. อยู่เล็กน้อย สำหรับตำแหน่งมุมใบมู่ลี่ 0 45 และ -45 องศา

5. สรุป

จากการทดลองจะพบว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และมุมใบของมู่ลี่มีผลโดยตรงต่อค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนในรูปของ PPD หน้าต่างกระจกที่ติดตั้งมู่ลี่ปรับมุมใบ 0 และ -45 องศา ไม่ได้ช่วยลดค่า PPD โดยเฉพาะในช่วงที่รังสีแสงอาทิตย์ส่งผ่านใบมู่ลี่เข้ามาภายในห้อง ซึ่งมีค่า PPD สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 45 จะสามารถลดค่าของ PPD ลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยผลกระทบจะเกิดจากอุณหภูมิผิวของกระจก และมู่ลี่เป็นหลักเนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์ไม่สามารถลอดช่องของใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบห้วัดได้ สำหรับผลกระทบของระยะห่างผิวกระจกด้านในจนถึง

ตำแหน่งกึ่งกลางของใบมู่ลี่ พบว่าระยะห่างเท่ากับ 20 มม. จะส่งผลให้ค่า PPD จะมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่ระยะห่างเท่ากับ 40 มม. อยู่เล็กน้อย สำหรับตำแหน่งมุมใบมู่ลี่ 0 45 และ -45 องศาตามลำดับ จากผลการศึกษาจะพบว่าค่าผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าที่ได้จากข้อมูลการวัดด้วยห้วัดเฉพาะมีแนวโน้มสอดคล้องกันดี แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแม่นยำของการวัด และข้อจำกัดของการติดตั้งอุปกรณ์ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

7. เอกสารอ้างอิง

3.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2001). ASHRAE Handbook of Fundamental 2001, pp. 8.1 – 8.29.
- [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, no. 11, pp. 2506–2516.
- [3] Chaiyapinunt, S., Phueakphongsuriya, B., Mongkornsaksit, K., Khomporn, N., (2005). Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission. Energy and Building. 37, 7, 2005, pp. 725-738.
- [4] Chaiyapinunt, S. and Khamporn, N., (2009). Selecting glass window with film for building in a hot climate, Engineering Journal, vol. 13 issue 1, 2009, pp. 29-42.

[5] La Gennusa, M., Nucara, A., Rizzo, G., Scaccianoce, G.,(2007). The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation—a generalised algorithm, Building and Environment, vol. 40, no. 3, pp. 367 – 375.

[6] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ นพรัตน์ คำพร (2553). การวิเคราะห์ผลกระทบของหน้าต่างกระจกที่ติดมู่ลี่ต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนด้วยการทดลอง, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

3.2 หนังสือ

[7] ISO 7730, (1995). Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.

[8] Fanger, P.O., (1970). Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York.