

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การวิเคราะห์ผลกระทบของหน้าต่างกระจกที่ติดตั้งมู่ลี่ต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อน ด้วยการทดลอง

Experimental analysis on the effect of installing a venetian blind to the glass window on human thermal comfort

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์¹ และนพรัตน์ คำพร^{1,2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ. พญาไท กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์: 0-218-6610 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: somsak.c@eng.chula.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ถ. เพชรเกษม กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์: 0-2457-0068 ต่อ 121 โทรสาร 0-2457-0068 ต่อ 5244 E-mail: affluid98@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในบทความนี้จะนำเสนอการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการติดตั้งมู่ลี่เข้ากับหน้าต่างกระจกใส 1 ชั้น ต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนของคนที่นั่งอยู่ใกล้หน้าต่างกระจก การทดลองถูกกระทำขึ้นในห้องทดสอบที่สร้างขึ้น ผนังโดยรอบและเพดานถูกสร้างเป็นผนังสองชั้นเพื่อลดการส่งผ่านความร้อน หน้าต่างกระจกที่ใช้ในการทดลองจะถูกติดตั้งโดยหันหน้าไปทางทิศตะวันตก ในการทดลองจะทำการวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกระจก รังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่โดยการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 45 และ 90 องศาตามลำดับ อุณหภูมิผิวกระจกด้านนอก และด้านใน อุณหภูมิผิวของมู่ลี่ อุณหภูมิผนังต่าง ๆ ในห้องทดสอบ อุณหภูมิอากาศ ด้านในและด้านนอกของห้องทดสอบ ความเร็วของอากาศ และอุณหภูมิ operative จากนั้นจะนำเอาข้อมูลที่วัดได้ ไปประมวลและแสดงผลของค่าความสบายเชิงความร้อนในรูปของ Predicted percentage of dissatisfied (PPD) ผลของการศึกษาพบว่าหน้าต่างกระจกใส 1 ชั้น ที่มีการติดตั้งมู่ลี่ที่ปรับมุมใบ 0 45 และ 90 องศา สามารถลดค่า PPD ได้ประมาณ 10 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเทียบกับกระจกใสที่ไม่มีการติดตั้งมู่ลี่

คำหลัก: หน้าต่างกระจก, มู่ลี่, ความสบายเชิงความร้อน, PPD

Abstract

This paper presents an experimental study on the effect of installing a venetian blind to the clear glass window on thermal comfort conditions of occupants sitting near glass windows. The experiment is performed in the testing chamber. The chamber is constructed with double walls and double ceiling to minimize the heat loss. 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 experimentation. The blind slat angle was set to 0, 45 and 90 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). It is found that by varying the blade slat angle

from 0, 45 and 90 degree, the PPD value can be reduced as much as 10, 60 and 80 percent respectively compared to the PPD value of a clear glass window without the blind.

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

1. บทนำ

อาคารสำนักงาน และอาคารพาณิชย์โดยส่วนใหญ่มักมีหน้าต่างกระจกจำนวนมากเป็นส่วนหนึ่งของกรอบอาคาร หน้าต่างกระจกมีประโยชน์ในแง่ของการทำให้ตัวอาคารมีลักษณะโดดเด่นและสวยงาม อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารเห็นทิวทัศน์ภายนอก นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของการนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนของการแสงสว่างลงได้ แต่การใช้หน้าต่างกระจกเป็นกรอบอาคารนั้นยังส่งผลกระทบต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ของผู้อยู่อาศัยที่นั่งใกล้กับหน้าต่างกระจกอันเกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกมาตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยโดยตรง และเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ในตัวหน้าต่างกระจกซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวกระจกสูงขึ้น สุดท้ายจะแผ่รังสีความร้อนจากผิวกระจกมายังผู้อยู่อาศัยที่นั่งใกล้ Chaipinunt และคณะ[1] Chaipinunt และ Khamporn [2] พบว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเป็นตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อความสบายของผู้อยู่อาศัยในอาคารที่นั่งใกล้กับกระจก โดยค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่เกิดจากการแผ่รังสีจากผิวกระจกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของผู้อยู่อาศัย และกรณีที่เกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาตกกระทบผู้อยู่อาศัยโดยตรง การปรับปรุงสภาวะของอากาศเพื่อที่จะทำให้ผู้อยู่อาศัยที่นั่งใกล้กับบริเวณหน้าต่างกระจกรู้สึกสบายด้วยนั้นจึงจำเป็นต้องปรับลดค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยลง

ในการใช้งานจริงผู้อยู่อาศัยมักนิยมติดตั้งอุปกรณ์บังเงาภายใน เช่น มู่ลี่หลังหน้าต่างกระจกไว้เพื่อควบคุมแสงสว่าง และควบคุมความเป็นส่วนตัว ดังนั้นในการที่จะควบคุมให้เกิดความสบายเชิงความร้อนต่อผู้อยู่อาศัยที่ใช้งานในอาคารจริง จึงควรมี

การศึกษาผลกระทบของหน้าต่างกระจกที่ติดมู่ลี่ในแง่ความสบายเชิงความร้อนด้วย ในบทความนี้จะนำเสนอการศึกษาผลของการติดตั้งมู่ลี่เพื่อทำให้ผู้อยู่อาศัยที่อยู่ใกล้มีความรู้สึกสบายเชิงความร้อนด้วยวิธีการทดลอง

2. ความสบายเชิงความร้อน และดัชนีที่เกี่ยวข้อง

ความรู้สึกสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เป็นสภาวะที่ผู้อยู่อาศัยมีความพอใจในลักษณะความร้อนรอบตัว [3-5] Fanger [4] ได้กำหนดสมการที่แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของคนซึ่งขึ้นกับค่าตัวแปร 6 ตัว คือ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเร็วลม ค่าความชื้น ค่าการผลิตพลังงานในร่างกาย ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่ และค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature (MRT)) และได้กำหนดค่าดัชนีความสบายไว้ 2 ค่า คือ ค่า Predicted mean vote (PMV) และค่า Predicted percentage of dissatisfied (PPD) ค่า Predicted mean vote (PMV) จะเป็นค่าที่ได้จากผลการลงความเห็นของคนกลุ่มใหญ่ โดยได้แบ่งเป็นค่าอยู่ 7 ระดับของความพอใจ ซึ่งจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ -3 (หนาวมาก) ถึง +3 (ร้อนมาก) และ 0 หมายถึงลักษณะปานกลาง (รู้สึกสบายพอดี) ส่วนค่า Predicted percentage of dissatisfied (PPD) เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พอใจสภาวะที่อาศัยอยู่เป็นค่าตัวเลขจาก 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

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-\left(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2\right)} \quad (2)$$

เมื่อ M คือ อัตราการผลิตพลังงานในร่างกาย
เนื่องจากการทำกิจกรรม, (W/m^2)

P_a คือ ค่าความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ,
(Pa)

f_{cl} คือ อัตราส่วนพื้นที่ของเสื้อผ้าที่สวมใส่ต่อ
พื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด

T_{mrt} คือ ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย, $^{\circ}C$

T_a คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายใน, $^{\circ}C$

T_{cl} คือ ค่าอุณหภูมิเสื้อผ้าที่สวมใส่, $^{\circ}C$

h_{cl} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
ระหว่างอากาศกับเสื้อผ้า, $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$

ในการศึกษาค่าความไม่สบายของผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้หน้าต่างกระจก Chaiyapinunt et al. [1] พบว่าจะเกิดจากปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือค่าไม่สบายที่เกิดจากการส่งรังสีแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาระทบผู้คนที่อยู่ใกล้หน้าต่างกระจกโดยตรง และค่าความไม่สบายที่เกิดจากอุณหภูมิผิวด้านในของหน้าต่างกระจก ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของ PPD ได้เป็น

$$PPD (total) = PPD(surface temperature) + PPD(solar radiation) \quad (3)$$

เมื่อ

$PPD (total)$ = ค่า PPD รวม

$PPD(surface temperature)$ = ค่า PPD ที่คิด
เฉพาะผลจากอุณหภูมิผิว

$PPD(solar radiation)$ = ค่า PPD ที่คิดเฉพาะผล
จากรังสีแสงอาทิตย์

ดังนั้นค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (MRT) ซึ่งถูกนิยามเป็นอุณหภูมิสมมุติของผิวสมมุติภายในที่ให้การแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายคนเท่ากับความร้อนที่แผ่ออกจากสภาวะจริง จึงต้องแบ่งเป็นสองส่วนคือ ค่า MRT ที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผิวกระจกและค่า MRT ที่รวมถึงผลจากอุณหภูมิผิวกระจกและรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกมาระทบร่างกายคน ค่า MRT ทั้ง 2 ค่า จะสามารถเขียนได้เป็น

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

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

เมื่อ

T_{mrt} = ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจาก
อุณหภูมิของผิวกระจก $^{\circ}C$

T_{smrt} = ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมถึงผลจาก
อุณหภูมิผิวกระจกและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ $^{\circ}C$

t_{sj} = ค่าอุณหภูมิผิวของผนังด้านที่ j

F_{p-i} = ค่า View factor ระหว่างคนกับผนังด้านที่ i

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

f_p = Projected area factor

a_p = ค่าการดูดกลืนของผิวด้านนอกของมนุษย์
(standard value = 0.6)

ε = Emittance of the outer surface of the
person (standard value = 0.95)

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

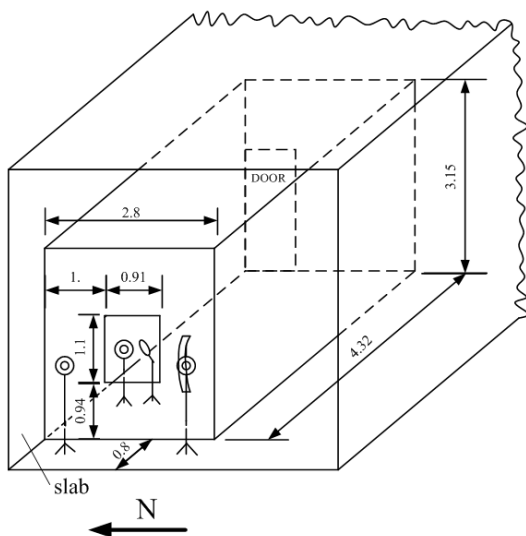
I_{total} = ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ผ่านหน้าต่าง
กระจก และมู่ลี่เข้ามาในห้อง, W/m^2

ในการคำนวณค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนในรูปของ PPD นั้นจะสามารถนำค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมถึงผลจากอุณหภูมิผิวกระจกและรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก และมู่ลี่ มาระทบร่างกายคนตามสมการที่ 5 ไปแทนค่าในสมการที่ 1 และ 2 หา ค่า PPD รวม ($PPD(total)$) ได้ และในทำนองเดียวกันเมื่อนำค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิผิวกระจกตามสมการที่ 4 ไปแทนค่าในสมการที่ 1 และ 2 ก็จะสามารถหาค่า PPD ที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผิวกระจกเพียงอย่างเดียวได้

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 ผนังด้านที่ติดตั้งหน้าต่างกระจกนั้นด้านนอกเป็นผนังอะลูมิเนียม ผนังด้านในเป็นผนังยิปซัมบุด้วยใยแก้วหนา 2 นิ้ว ผนังด้านในและเพดานทาด้วยสีทาหน้าต่างกระจกที่ทดสอบมีขนาด กว้าง 0.9 เมตร สูง 1.1 เมตร ตัวหน้าต่างกระจกถูกติดไว้ให้ขอบด้านล่างอยู่สูงกว่าพื้นเป็นระยะ 0.94 เมตร มุ้ที่ถูกติดตั้งบริเวณด้านหลังหน้าต่างกระจก มีระยะห่างจากหน้าต่างกระจก 40 มม. อุณหภูมิภายในห้องถูกควบคุมด้วยเครื่องปรับอากาศ ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ในการสร้างห้อง ทำให้หน้าต่างกระจกถูกบังจากขอบอาคารที่อยู่ด้านข้างและด้านบน ตัวหน้าต่างกระจกถูกติดตั้งห่างจากขอบอาคารประมาณ 0.8 เมตร รูปที่ 1 แสดงถึงลักษณะของห้องทดลอง



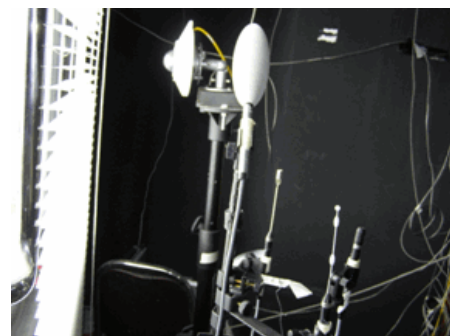
รูปที่ 1 ลักษณะของห้องทดลอง

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

กระจกทั้งด้านนอกและด้านใน รวมทั้งอุณหภูมิผิวของผนังห้องและเพดานทำการวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด J ติดที่ผนังต่าง ๆ สำหรับอุณหภูมิผิวกระจกมีการติดแผ่นบังเงาขนาดเล็กเพื่อลดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรงกับตัวเทอร์โมคัปเปิล ค่าอุณหภูมิที่วัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลจะถูกสอบเทียบกับตัวตรวจรู้อุณหภูมิที่มีความละเอียดและแม่นยำ (มีความแม่นยำ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) ค่าอุณหภูมิของผนังต่าง ๆ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ถูกจัดเก็บด้วยเครื่องจัดเก็บข้อมูล (data logger) ค่าอุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศและอุณหภูมิ operative ถูกวัดด้วยหัววัดของบริษัท Innova จำกัด สำหรับหัววัดอุณหภูมิ operative จะมีลักษณะเป็นรูปวงรีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 มม. ยาว 160 มม. ตัวหัววัดถูกออกแบบให้มีค่าอัตราส่วนของการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีกับการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนเหมือนกับของร่างกายมนุษย์ การเอียงท่ามุมของหัววัดจะจำลองสภาพของมนุษย์ที่อยู่ในตำแหน่งยืน นั่งและนอนได้ รูปที่ 2 และ 3 แสดงถึงเครื่องมือวัดต่าง ๆ



รูปที่ 2 เครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมและแบบกระจาย



รูปที่ 3 หัววัดอุณหภูมิ operative และเครื่องเก็บข้อมูลและประมวลผลความสบายเชิงความร้อน

นอกจากนั้นในการทดลองยังใช้เครื่องเก็บและประมวลผลข้อมูลเฉพาะของบริษัท Innova จำกัด รุ่น 1221 ซึ่งจะถูกรเรียกว่าเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนเพื่อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศความเร็วอากาศและอุณหภูมิ operative และทำการประมวลผลเป็นค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) และทำการประมวลผลให้ค่า predicted percentage of dissatisfied (PPD) ความสัมพันธ์ที่เครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนใช้ในการประมวลผลค่าอุณหภูมิ operative มาเป็นค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย [6] จะสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{mrt} = [(t_o + 273)^4 + (h_{cg} / \epsilon \sigma)(t_o - t_a)^4]^{0.25} - 273^\circ C \quad (6)$$

$$h_{cg} = \max of \begin{cases} 18 \times v_a^{0.55} & \text{Forced convection} \\ 3 \times (t_o - t_a)^{0.25} & \text{Free convection} \end{cases} \quad (7)$$

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

t_o = อุณหภูมิ operative $^\circ C$

t_a = อุณหภูมิอากาศ $^\circ C$

ϵ = Emittance of the outer surface of the person (standard value = 0.95)

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

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การทดลองกระทำกับหน้าต่างกระจกใสหนา 6 มม. พร้อมติดตั้งมู่ลี่ (สีครีม) ห่างจากกระจกเป็นระยะ 40 มม. ในการทดลองจะทำการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 45 และ 90 องศา ทำการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องประมาณ 25 องศาเซลเซียส และกำหนดให้แบบจำลองของผู้อาศัยแต่งตัวแบบผู้ทำงานปกติ (office) (Clothing insulation = 0.5 clo) และมีการทำงานแบบนั่งทำงานในสำนักงาน (1.2 met ($1 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$)) หัววัดอุณหภูมิ operative จะถูกตั้งห่างจากมู่ลี่เป็นระยะ 120 มม. และปรับเอียงทำมุมเท่ากับ 30 องศาจากแนวระนาบ เพื่อจำลองสภาพคนนั่งหันด้านข้างเข้าสู่หน้าต่างกระจก คุณสมบัติเชิงแสงของหน้าต่างกระจกและใบมู่ลี่ ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1

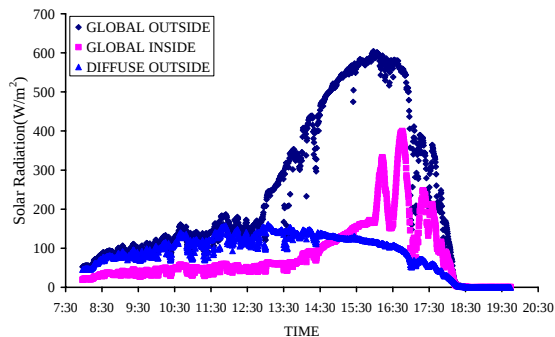
ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงแสงของกระจก และใบมู่ลี่

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

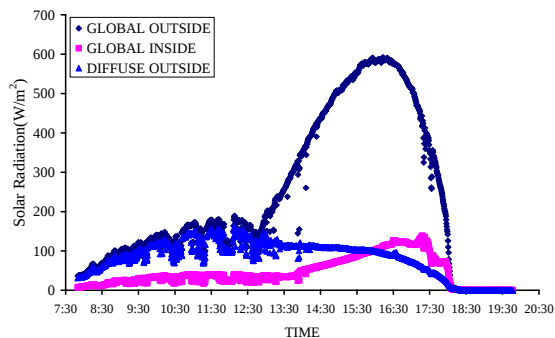
หมายเหตุ: Trn = transmittance, Ref = reflectance, Ab = absorptance

การทดลองจะกระทำในระหว่างวันที่ 2 ถึง 8 กุมภาพันธ์ 2553 ข้อมูลบางส่วนที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาแสดงและข้อมูลบางส่วนจะถูกนำไปประมวลผลทั้งจากเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 4 5 และ 6 แสดงถึงค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมที่ถูกส่งผ่านหน้าต่างกระจกเข้าสู่ภายในห้องทดลองโดยปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 45 และ 90 ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายมีค่าสอดคล้องกันในช่วงเช้า เนื่องจากหน้าต่างกระจกหันหน้าไปทางทิศตะวันตก จึงทำให้มีเฉพาะค่ารังสีแบบกระจายตกกระทบบัววัด ดังนั้นค่ารังสีแบบรวมและแบบกระจายในช่วงเช้าจึงมีค่าเท่ากัน สำหรับค่ารังสีแบบรวมที่ส่งผ่านเข้ามาในห้องในช่วงเวลา 13:30 ถึง 15:30 น. จะมีค่าลดลงเนื่องจากผลการบังของใบมู่ลี่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการลดลงตามการปรับมุมใบของมู่ลี่ และสำหรับกรณีของการปรับมุมใบมู่ลี่ 0 องศา ค่ารังสีแบบรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่เวลาประมาณ 15:30 น. เนื่องจากที่มุมตกกระทบบัววัดรังสีอยู่ในระดับต่ำจึงทำให้รังสีแสงอาทิตย์สามารถผ่านช่องของใบมู่ลี่เข้ามาตกกระทบบัววัดรังสีที่อยู่ภายในได้ แต่สำหรับกรณีของมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบ 45 และ 90 องศา นั้นรังสีแสงอาทิตย์จะถูกใบของมู่ลี่กั้นจึงทำให้รังสีสามารถลอดผ่านเข้ามาภายในห้องได้น้อย รูปที่ 7 8 และ 9 แสดงถึงอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศภายใน อุณหภูมิอากาศระหว่างกระจกกับมู่ลี่อุณหภูมิผิวด้านในและด้านนอกของหน้าต่างกระจก และอุณหภูมิผิวด้านบน และด้านล่างของมู่ลี่ และอุณหภูมิ operative จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งของค่าอุณหภูมิ

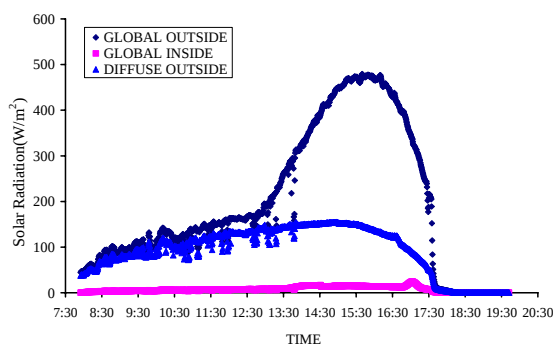
operative มีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกับเส้นโค้งของค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านหน้าต่างกระจกและผนัง



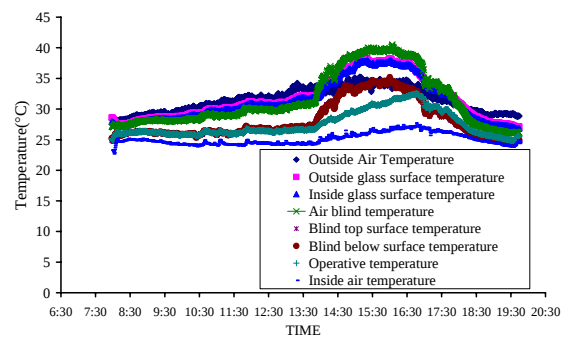
รูปที่ 4 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา



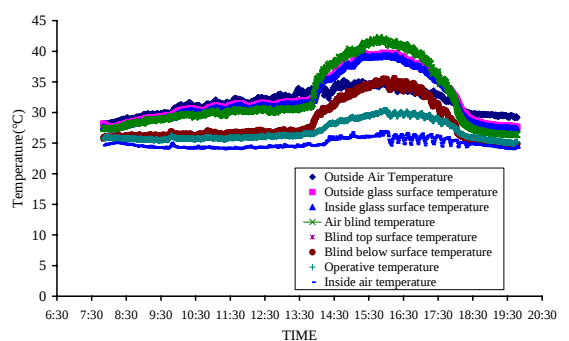
รูปที่ 5 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา



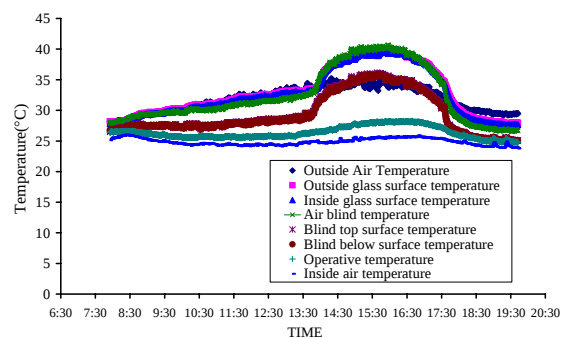
รูปที่ 6 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบ และค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 90 องศา



รูปที่ 7 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก ค่าอุณหภูมิผิวกระจกและค่าอุณหภูมิ operative ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา



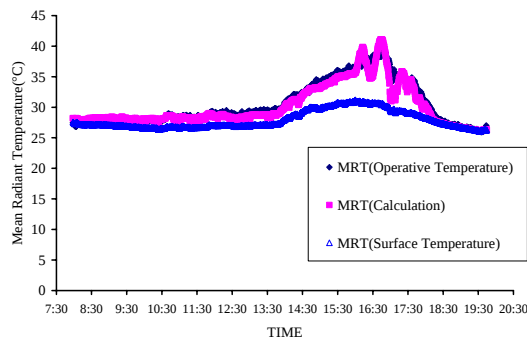
รูปที่ 8 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก ค่าอุณหภูมิผิวกระจกและค่าอุณหภูมิ operative ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา



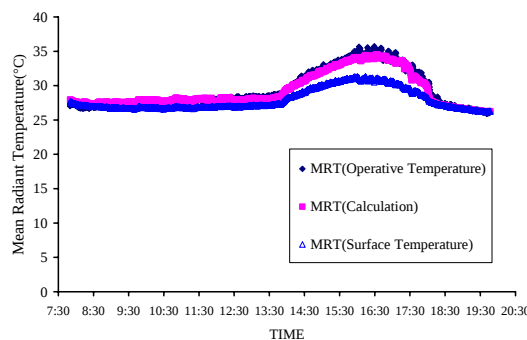
รูปที่ 9 ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก ค่าอุณหภูมิผิวกระจกและค่าอุณหภูมิ operative ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 90 องศา

รูปที่ 10 11 และ 12 แสดงถึงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยจากผลของอุณหภูมิผิว และค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่รวมผลของรังสีแสงอาทิตย์เข้าไปด้วยที่ได้จากการคำนวณ (สมการที่ 4 และ 5) ในรูปยังแสดงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่หาค่าได้จากการ

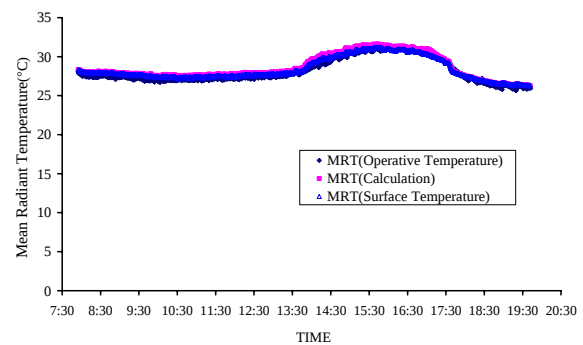
ประมวลผลด้วยเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนจากข้อมูลของค่าอุณหภูมิ operative ที่วัดได้จากหัววัดเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 0 45 และ 90 องศา ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าผลจากการตรวจวัด และผลจากแบบจำลองจะมีความสอดคล้องกันดี ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงเช้า เนื่องจากปริมาณรังสีที่ผ่านหน้าต่างกระจกและมู่ลี่มีค่าต่ำ สำหรับการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 องศา ในช่วงเวลาที่รังสีตกกระทบกับใบมู่ลี่ (13:30 น. ถึง 15:30 น.) ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิผิวของใบมู่ลี่ที่มีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากที่เวลาประมาณ 15:30 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีสามารถลอดผ่านใบมู่ลี่มาตกกระทบบนหัววัดรังสี แต่สำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 45 และ 90 องศา นั้น ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเพิ่มตามค่าของอุณหภูมิผิวของใบมู่ลี่เป็นหลัก แต่สำหรับกรณีมุมใบ 90 องศา จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยน้อยที่สุด



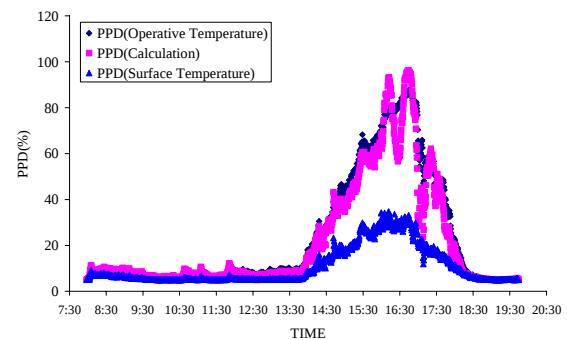
รูปที่ 10 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา



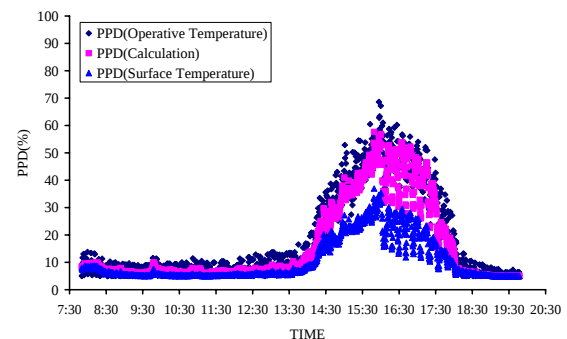
รูปที่ 11 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา



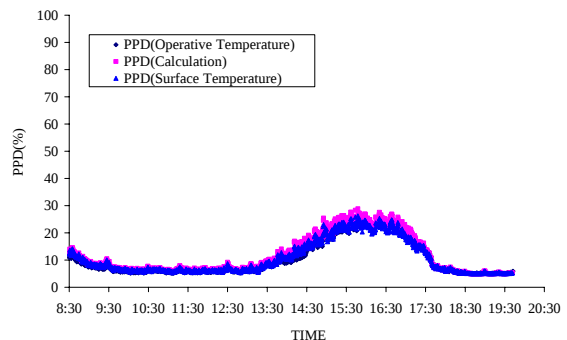
รูปที่ 12 ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยของห้องที่ติดกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 90 องศา



รูปที่ 13 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 องศา

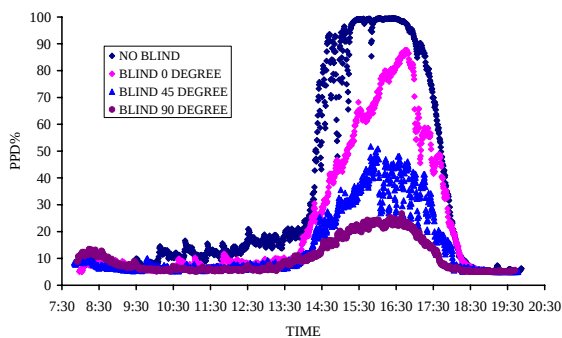


รูปที่ 14 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 45 องศา



รูปที่ 15 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 90 องศา

รูปที่ 13 14 และ 15 แสดงถึงค่า PPD ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่า PPD จากเครื่องประมวลผลความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกติดมู่ลี่ปรับมุมใบเป็น 0 45 และ 90 ตามลำดับ ในรูปแสดงค่าดัชนีบ่งบอกระดับความรู้สึกไม่สบายอันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิผิว และผลจากรังสีที่ส่งผ่านเข้ามาตกระทบผู้อยู่อาศัยภายในจากรูปจะพบว่าผลจากการประมวลผลจากเครื่องตรวจวัด และแบบจำลองมีความสอดคล้องกันดี โดยค่า PPD ทั้ง 3 กรณี จะมีค่าสอดคล้องตามค่าของอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย จะเห็นได้ว่าการปรับมุมใบมู่ลี่เป็น 0 องศา ค่าของ PPD ยังคงมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูง(ประมาณ 90 เปอร์เซนต์) โดยเฉพาะเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์ลอดผ่านใบมู่ลี่เข้ามาในห้อง แต่เมื่อมีการปรับมุมใบเป็น 45 และ 90 องศา ค่า PPD จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยค่า PPD มีค่าสูงสุดประมาณ 60 เปอร์เซนต์สำหรับมุมใบ 45 องศา และ 25 เปอร์เซนต์ สำหรับมุมใบ 90 องศา



รูปที่ 16 ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกใสติดมู่ลี่ปรับมุม 0 45 และ 90 องศา

รูปที่ 16 จะแสดงถึงค่า PPD แบบรวมที่ได้จากการตรวจวัดของทั้ง 4 วัน ซึ่งมีลักษณะของการกระจายของรังสีแสงอาทิตย์คล้ายคลึงกัน จากรูปแสดงค่า PPD ของกระจกตัวเปล่า และกระจกที่มีการติดตั้งมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 0 45 และ 90 องศา จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อกระจกมีการติดตั้งมู่ลี่ จะทำให้ค่า PPD มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งมู่ลี่ โดยการติดตั้งมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบ 90 องศา จะมีค่า PPD ต่ำที่สุด และสำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบ 0

องศา สามารถลดค่า PPD ให้ลดลงในช่วงเวลา 13:30 ถึง 15:30 น. เท่านั้น

5. สรุป

จากการทดลองจะพบว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย และมุมใบของมู่ลี่มีผลโดยตรงต่อค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนในรูปของ PPD หน้าต่างกระจกที่ติดตั้งมู่ลี่ปรับมุมใบ 0 องศา จะสามารถลดค่า PPD ลงได้ แต่จะไม่ได้ช่วยลดค่า PPD ในช่วงที่รังสีแสงอาทิตย์ส่งผ่านใบมู่ลี่เข้ามาภายในห้อง และสำหรับมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบเป็น 45 และ 90 องศา จะสามารถลดค่าของ PPD ลงได้อย่างชัดเจน สำหรับกรณีของการปรับมุมใบ 90 องศาจะมีค่า PPD ต่ำที่สุดประมาณ 20 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิผิวของใบมู่ลี่เพียงอย่างเดียว จากผลการศึกษาจะพบว่าการติดตั้งใบมู่ลี่ที่มีการปรับมุมใบในตำแหน่งที่ไม่ให้แสงอาทิตย์เข้ามาตกระทบภายในห้องจะสามารถช่วยลดความรู้สึกไม่สบายต่อผู้อยู่อาศัยเป็นอย่างมาก โดยเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าต่างกระจกที่ไม่ได้ติดตั้งมู่ลี่ และจะพบว่าค่าผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าที่ได้จากข้อมูลการวัดด้วยหัววัดเฉพาะมีแนวโน้มสอดคล้องกันดี แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแม่นยำของการวัด และข้อจำกัดของการติดตั้งอุปกรณ์ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] ISO 7730, (1995). *Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*.
- [4] Fanger, P.O., (1970). *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- [5] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2001). *ASHRAE Handbook of Fundamental 2001*, pp. 8.1 – 8.29.
- [6] *Thermal Comfort*, (2002). Bruel & Kjaer Innova Air Tech Instruments, Denmark.