

ETM-93

ผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ต่อความสบายเชิงความร้อนในห้องที่มีหน้าต่างกระจก Effect of the solar radiation on the thermal comfort in the room with the glass window

นพรัตน์ คำพร² และสมศักดิ์ ไชยะภินันท์^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ถ.เพชรเกษม กรุงเทพฯ 10160

*ติดต่อ: E-mail: somsak.ch@chula.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 022186610, เบอร์โทรสาร 022522889

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างกระจกในแง่ความสบายเชิงความร้อน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทำนายค่าความสบายเชิงความร้อนของคนที่อยู่ใกล้หน้าต่างกระจก ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย และค่า PPD (Predicted percentage of dissatisfied) จะถูกเลือกให้เป็นตัวแปรในการบ่งบอกถึงสภาพความสบายเชิงความร้อน การศึกษากระทำโดยพิจารณาผลจากตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความสบายเชิงความร้อน ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ระยะของคนที่นั่งห่างจากหน้าต่างกระจก ขนาดของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในองค์ประกอบของรังสีแบบตรงและรังสีแบบกระจาย อุณหภูมิผิวของหน้าต่างกระจก และชนิดของหน้าต่างกระจก (กระจกใสและกระจกสีชา) ผลการศึกษาพบว่า ขนาดรังสีแสงอาทิตย์ทั้งแบบตรงและแบบกระจายมีผลโดยตรงต่อความสบายเชิงความร้อน ในขณะที่ระยะห่างของคนที่อยู่ใกล้หน้าต่างกระจกมีผลต่อขนาดของรังสีแบบตรงที่ตกกระทบต่อคน และมีผลโดยตรงต่อความสบายเชิงความร้อนจากค่าอุณหภูมิผิวและค่ารังสีแบบกระจาย หน้าต่างกระจกใสจะส่งผลกระทบต่อความไม่สบายเชิงความร้อนอันเนื่องมาจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านเข้ามากระทบผู้อยู่อาศัยเป็นหลัก แต่สำหรับหน้าต่างกระจกสีชาความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อนจะเกิดมาจากทั้งอุณหภูมิผิว และรังสีแสงอาทิตย์ แต่จะมีค่าต่ำกว่ากรณีของกระจกใส

คำหลัก: หน้าต่างกระจก; รังสีแสงอาทิตย์; ความสบายเชิงความร้อน; ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย; ค่า PPD

Abstract

This paper presents a study on the effect of the incident solar radiation on the glass window considering thermal comfort aspects. A mathematical model is developed for predicting thermal comfort of a person sitting near the glass window. The mean radiant temperature and PPD (Predicted percentage of dissatisfied) are chosen to be the parameters for describing the human thermal comfort. The related parameters for studying the effect of the incident solar radiation on the glass window are: the distance between the glass window and the occupant, the incident direct and diffuse solar radiation on glass window, the glass surface temperature and type of glass window (clear glass and tinted glass). From the study it is found that the magnitude of the incident direct and diffuse solar radiation affect directly on the thermal comfort condition. The distance between the glass window and the occupant who sitting near glass window affects on the magnitude of the direct solar radiation that incident on the occupant and also

ETM-93

affects on thermal comfort due to glass surface temperature and the magnitude of the incident diffuse solar radiation. It is found that the discomfort condition from the clear glass window mostly comes from the solar radiation effect. The discomfort condition from the tinted glass window comes from the solar radiation effect and the surface temperature effect. But the discomfort condition from the tinted glass window is lower than the discomfort from the clear glass window.

Keywords: glass window; solar radiation; thermal comfort; mean radiant temperature: PPD.

1. บทนำ

ในอาคารขนาดใหญ่และอาคารพาณิชย์ทั่วไปมักมีหน้าต่างกระจกจำนวนมากเป็นส่วนหนึ่งของกรอบอาคารหน้าต่างกระจกมีประโยชน์หลายอย่างเช่นช่วยให้ผู้อยู่อาศัยสามารถเห็นทิวทัศน์ภายนอกช่วยนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าสู่ห้องทำให้สามารถลดการใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าและยังสามารถใช้เป็นส่วนตกแต่งภายนอกอาคารที่ทำให้อาคารมีความสวยงามมากขึ้นเป็นต้นแต่ในขณะเดียวกันหน้าต่างกระจกก็ยังเป็นส่วนของอาคารที่ทำให้เกิดการส่งผ่านความร้อนจำนวนมากเข้าสู่ภายในอาคารทำให้ต้องมีการติดตั้งระบบปรับอากาศในการกำจัดความร้อนที่ถูกส่งผ่านหน้าต่างกระจกออกไปเพื่อรักษาภาวะภายในห้องให้มีความสบายเชิงความร้อนสำหรับผู้อยู่อาศัย นอกจากนี้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ยังส่งต่อความสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารเนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์สามารถส่งผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยโดยตรง และผลของความร้อนที่สะสมไว้ในตัวกระจกซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวของกระจกสูงขึ้น และแผ่รังสีความร้อนแบบคลื่นยาวมาสู่ผู้อยู่อาศัย

จากการศึกษาของ Chaiyapinunt et al. [2] พบว่าผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกมาตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยจะขึ้นกับคุณสมบัติการส่งผ่านรังสี และการดูดกลืนรังสีของหน้าต่างกระจก โดยกระจกที่มีค่าการส่งผ่านรังสี และมีค่าการดูดกลืนรังสีที่สูงจะก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายมากที่สุด และจากการศึกษาของ สมศักดิ์ ไชยะภินันท์และนพรัตน์ คำพร [7] ได้ทำการวิเคราะห์ผลจากความสบายเชิงความ

ร้อนของหน้าต่างกระจกด้วยการทดลองแต่ผลการทดลองกระทำที่ระยะห่างระหว่างคนกับหน้าต่างกระจกเท่ากับ 20 เซนติเมตร

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลกระทบของชนิดหน้าต่างกระจกคือ กระจกใส และกระจกสีชาที่มีผลกระทบต่อความสบายเชิงความร้อน และศึกษาผลกระทบของระยะห่างระหว่างหน้าต่างกระจก และผู้อยู่อาศัยภายในที่มีต่อความสบายเชิงความร้อน

2. คำดัชนีความสบายเชิงความร้อน

ความรู้สึกรบายเชิงความร้อน (thermal comfort) เป็นสภาวะที่ผู้อยู่อาศัยมีความพอใจต่อสภาวะของความร้อนรอบตัว Fanger [1] ได้กำหนดสมการที่ใช้แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของคนซึ่งขึ้นกับค่าตัวแปร 6 ตัว คือค่าอุณหภูมิอากาศค่าความเร็วลมค่าความชื้นค่าการผลิตพลังงานในร่างกายความต้านทานเชิงความร้อนของเสื้อผ้าที่สวมใส่และค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) และได้กำหนดคำดัชนีบ่งบอกความสบายไว้ 2 คำคือคำดัชนีคาดการณ์โหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote, PMV) และคำดัชนีคาดการณ์ร้อยละความไม่พอใจ (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) โดยคำดัชนีคาดการณ์โหวตเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากผลการลงความเห็นของคนกลุ่มใหญ่ โดยได้แบ่งเป็นค่าอยู่ 7 ระดับของความพอใจซึ่งจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ -3 (หนาวมาก) ถึง +3 (ร้อนมาก) และ 0 หมายถึงลักษณะปานกลาง (รู้สึกสบายพอดี) ส่วนคำดัชนีคาดการณ์ร้อยละความไม่พอใจเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่พอใจสภาวะที่อาศัยอยู่เป็นค่าตัวเลขจาก 5

ETM-93

ถึง 100 ซึ่งค่าดัชนีทั้ง 2 ค่าจะสามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$PMV = (0.303e^{-0.036 \cdot M} + 0.028) \times \left[\begin{aligned} &M(1-\eta) - 3.05 \times 10^{-3} \cdot (5733 - 6.99 \cdot M(1-\eta) - P_a) \\ &- 0.42 \cdot (M(1-\eta) - 58.15) \\ &- 1.7 \times 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_a) \\ &- 0.0014 \cdot M \cdot (34 - T_a) \\ &- 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \cdot ((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) \\ &- f_{cl} \cdot h_c (T_{cl} - T_a) \end{aligned} \right] \quad (1)$$

และ

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

เมื่อ M คือ อัตราการผลิพลังงานในร่างกาย,

$$(W / m^2)$$

P_a คือ ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ, (Pa)

f_{cl} คือ อัตราส่วนพื้นที่ของเสื้อผ้าที่สวมใส่ต่อพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด

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

T_a คือ ค่าอุณหภูมิอากาศ, ($^{\circ}C$)

T_{cl} คือ ค่าอุณหภูมิผิวเสื้อผ้าที่สวมใส่, ($^{\circ}C$)

h_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศอากาศกับเสื้อผ้า, ($W / (m^2 \cdot ^{\circ}C)$)

η คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของร่างกาย, ($^{\circ}C$)

ค่าอุณหภูมิผิวเสื้อผ้าที่สวมใส่สามารถหาได้โดยกระบวนการทำซ้ำจากสมการที่ (3) (4) และ (5)

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028M(1-\eta) - I_{cl} \left\{ \begin{aligned} &3.96 \times 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] \\ &+ f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (4)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 \quad (m^2 - K) / W \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078 \quad (m^2 - K) / W \end{cases} \quad (5)$$

เมื่อ v_{ar} คือ ค่าความเร็วลมที่ปะทะตัวคน, (m / s)

I_{cl} คือ ค่าความต้านทานเชิงความร้อนของ

เสื้อผ้า, $((m^2 - K) / W)$

ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยถูกนิยามให้เป็นอุณหภูมิสมมุติของผิวสมมุติภายในที่ให้การแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายคนเท่ากับความร้อนจากการแผ่รังสีที่ออกจากคนในสภาวะจริงสำหรับบริเวณที่ใกล้กับหน้าต่างกระจกนั้น รังสีแสงอาทิตย์สามารถส่งผ่านหน้าต่างกระจกมากระทบกับผู้ที่นั่งใกล้ จึงต้องพิจารณาค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยเป็นสองส่วนคือค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผนังภายในทั้งหมด(รวมทั้งผิวกระจก) และค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกมากระทบร่างกายคนรวมกับค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิผิวของผนังภายในทั้งหมดสามารถหาได้จากสมการของ La Gennusa et al.[3], [4] ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยทั้ง 2 ค่าจะสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{smrt} = [(t_{s1} + 273)^4 \cdot F_{p-1} + (t_{sj} + 273)^4 \cdot F_{p-2} + \dots + (t_{sn} + 273)^4 \cdot F_{p-n}]^{0.25} - 273 \quad (6)$$

$$T_{mrt} = \left[(T_{smrt} + 273)^4 + \frac{a_p}{\epsilon_p \sigma} (F_{p-win} I_{trdiff} + C_s \cdot f_p \cdot I_{trdir}) \right]^{0.25} - 273 \quad (7)$$

เมื่อ

T_{smrt} คือ ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยเนื่องจากอุณหภูมิผิว, ($^{\circ}C$)

t_{sj} คือ อุณหภูมิผิวสมมุติของผนังภายในที่จนถึงผนังที่ n , ($^{\circ}C$)

F_{p-i} คือ ค่า angle factor ระหว่างคนและผิวที่ i

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

F_{p-win} คือ ค่า angle factor ระหว่างคนและผิวกระจก

f_p คือ ค่า projected area factor

C_s คือ ค่า shading coefficient (มีค่าเท่ากับ 1

เมื่อมีรังสีแสงอาทิตย์แบบตรงมาตก

กระทบคน และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มี

รังสีแสงอาทิตย์แบบตรงมาตกกระทบ)

ETM-93

a_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของ
ผิวหนึ่งคน (ค่ามาตรฐาน = 0.6)

ε_p คือ ค่าการเปล่งรังสีจากผิวหนึ่งคน
(ค่ามาตรฐาน = 0.97)

σ คือ ค่าคงที่ Stefan Boltzmann,
($W / (m^2 \cdot K^4)$)

I_{trdir} คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงที่ผ่านหน้าต่าง
กระจกมากระทบตัวคน, W / m^2

I_{trdif} คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายที่ผ่าน
หน้าต่างกระจกมากระทบตัวคน, W / m^2

ค่า angle factor เป็นค่าที่ใช้แสดงอัตราการ
แผ่รังสีความร้อนโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างคน และ
พื้นผิว ซึ่งหาได้จากวิธีการของ Cannistraro et al. [5]
ตามสมการที่ (8)

$$F_{p-n} = F_{max} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-(a/c)}{\tau}\right) \right] \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-(b/c)}{\gamma}\right) \right] \quad (8)$$

โดยที่ $\tau = A + B \frac{a}{c}$ (9)

และ $\gamma = C + D + \frac{b}{c} + E \frac{a}{c}$ (10)

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ A, B, C, D, E และคือค่าตัว
แปรที่ขึ้นกับตำแหน่งบนพื้นผิวในแต่ละผนังเทียบกับ
ตำแหน่งและท่าทางของคน (นั่งหรือยืน) สำหรับค่า
สัมประสิทธิ์ a, b และ c เป็นตัวแปรที่กำหนดลักษณะ
รูปร่างของพื้นผิวภายใน (กว้างสูงและระยะห่าง) เทียบ
กับตำแหน่งของคนซึ่งสามารถหาได้จาก Cannistraro
et al. [5]

ค่า projected area factor, f_p เป็นค่าตัว
ประกอบพื้นที่ฉายของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับ
คน ซึ่งขึ้นกับค่ามุมการเอียงตัวของแสงอาทิตย์ (solar
altitude, β) รวมทั้งยังขึ้นกับการเอียงตัว ท่า นั่ง และค่า
มุมอะซิมูต (solar azimuth, α) ระหว่างคนกับ
แสงอาทิตย์ ค่า projected area factor สามารถหาได้
ตามวิธีการของ Rizzo et al. [6] ซึ่งสามารถแสดงได้
เป็น

$$f_p(\alpha, \beta) = \sum_{i=0}^4 A_i(\beta) \cdot \alpha^i \quad (11)$$

เมื่อ

$$A_i(\beta) = \sum_{j=0}^3 A_{ij} \cdot \beta^j \quad (12)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ A_i และ $A_{i,j}$ สามารถ
หาได้จาก Rizzo et al. [6]

ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงที่ผ่านหน้าต่าง
กระจกเข้ามามากกระทบกับตัวคนสามารถหาได้โดย

$$I_{trdir} = I_{dir} \cdot \tau(\theta) \quad (13)$$

เมื่อ

I_{dir} คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงภายนอกที่ตก
กระทบกับหน้าต่างกระจก, W / m^2

$\tau(\theta)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของหน้าต่าง
กระจกที่ขึ้นกับมุมตกกระทบ (θ)

ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายที่ผ่าน
หน้าต่างกระจกเข้ามามากกระทบกับตัวคนสามารถหา
ได้โดย

$$I_{trdif} = I_{dif} \cdot \tau_{dif} \quad (14)$$

เมื่อ

I_{dif} คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย
ภายนอกที่ตกกระทบกับหน้าต่างกระจก,
 W / m^2

τ_{dif} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของหน้าต่าง
กระจกแบบกระจาย

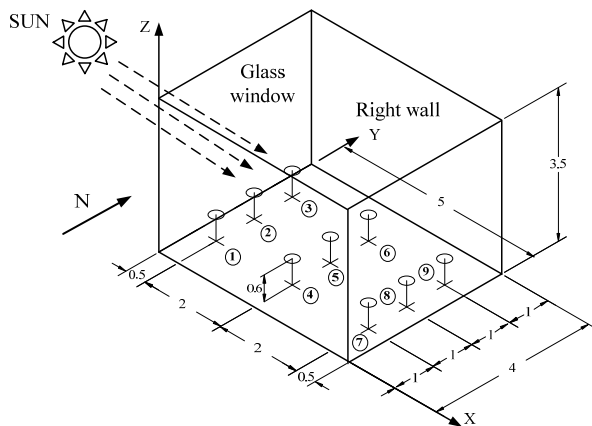
3. วิธีการ

ในการศึกษานี้ได้กำหนดสภาวะของอุณหภูมิ
อากาศภายในเท่ากับ 24.5 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์
เท่ากับ 50% ความเร็วลมเท่ากับ 1.2 m/s ค่าการทำ
กิจกรรมเท่ากับ 1.2 met และทำการคำนวณค่า
อุณหภูมิผิวกระจกตามเวลาเดียวกันกับการตรวจวัด
ค่ารังสีแสงอาทิตย์

3.1 รูปแบบของห้อง

ETM-93

ในการศึกษานี้ได้กำหนดลักษณะของห้องที่ใช้ในการจำลองมีขนาดกว้าง 4 เมตร(เป็นด้านที่รังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบ) ยาว 5 เมตร สูง 3.5 เมตร ผนังด้านที่รังสีตกกระทบเป็นหน้าต่างกระจกเต็มแผ่นหันหน้าไปทางทิศตะวันตก ตำแหน่งภายในห้องกำหนดให้เป็น 9 ตำแหน่ง ทุกตำแหน่งมีความสูงจากพื้นเท่ากับ 0.6 เมตร(จำลองลักษณะท่านั่งคน) มีระยะห่าง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ห้องที่ใช้ในการจำลอง

สำหรับพิกัดของจุดแต่ละจุดภายในห้องที่ใช้จำลอง ตำแหน่งต่างๆ จะถูกแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดของจุดต่างๆภายในห้องที่ใช้ในการจำลองและค่า angle factor ระหว่างคนและหน้าต่างกระจก

Point	X (m)	Y (m)	Z (m)	Fp-win
1	0.5	1.0	0.6	0.3207
2	0.5	2.0	0.6	0.3365
3	0.5	3.0	0.6	0.3207
4	2.5	1.0	0.6	0.0934
5	2.5	2.0	0.6	0.1017
6	2.5	3.0	0.6	0.0934
7	4.5	1.0	0.6	0.0418
8	4.5	2.0	0.6	0.0439
9	4.5	3.0	0.6	0.0418

3.2 ค่ารังสีแสงอาทิตย์

ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองจะใช้ค่ารังสีที่ได้จากการตรวจวัดจริง 1 วัน เพื่อใช้ในการคำนวณทั้งกรณีของกระจกใส และกระจกสีชา ทั้งนี้เพื่อต้องการเปรียบเทียบ จึงใช้ค่าของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกระจกใส และกระจกสีชามีค่าเท่ากัน โดย

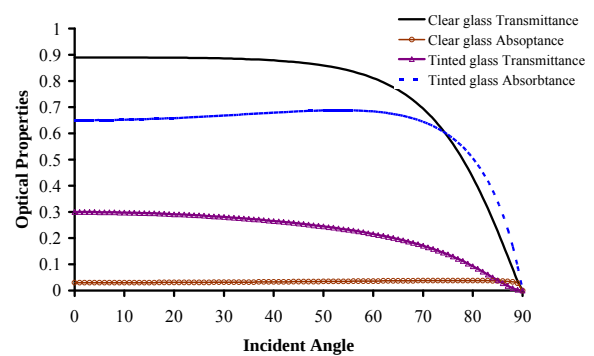
ทำการตรวจวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจายที่ตกกระทบตั้งฉากกับหน้าต่างกระจก ที่บริเวณชั้นที่ 4 อาคารอินส์ บันตลี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยรูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์



รูปที่ 2 เครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์แบบตรงและแบบกระจาย

3.3 คุณสมบัติของหน้าต่างกระจก

หน้าต่างกระจกที่ใช้ในการจำลองจะใช้หน้าต่างกระจก 1 ชั้น มีความหนา 6 มิลลิเมตร ชนิดใส และชนิดสีชา โดยมีค่าคุณสมบัติการส่งผ่านรังสีและการดูดกลืนรังสีแปรตามมุมตกกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 คุณสมบัติเชิง optic ของกระจกใส และกระจกสีชาที่แปรตามมุมตกกระทบ

ETM-93

4. ผลการจำลอง

ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาผลกระทบของระยะห่างของคนกับผนังของหน้าต่างกระจกที่มีผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านเข้ามาภายในห้องตามจุดต่างๆ จากสมการที่ (7) จะพบว่าผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์แบบตรงที่ตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยภายในตามจุดต่างๆ สามารถพิจารณาได้จากค่า shading coefficient, C_s โดยที่ $C_s = 1$ จะหมายถึง มีรังสีแสงอาทิตย์แบบตรงตกกระทบต่อผู้อยู่อาศัย และเมื่อ $C_s = 0$ จะหมายถึง ไม่มีรังสีมาตกกระทบต่อผู้อยู่อาศัยค่า C_s ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงจะไม่ตกกระทบกับผู้อยู่อาศัยภายในช่วงเช้า ($C_s = 0$) เนื่องจากหน้าต่างกระจกหันหน้าไปทางทิศตะวันตกจะทำให้ไม่มีรังสีแสงอาทิตย์แบบตรงมาตกกระทบ แต่ในช่วงเวลาประมาณ 14:50 น. ค่า C_s มีค่าเท่ากับ 1 ทุกจุดภายในห้อง นั้นหมายถึงรังสีแสงอาทิตย์สามารถตกกระทบได้ทั่วถึงของบริเวณห้องทั้งหมด

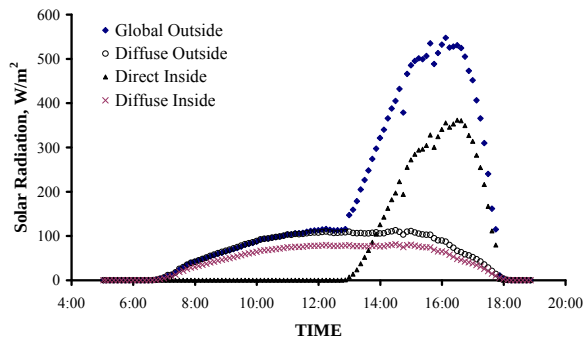
ตารางที่ 2 ค่า shading coefficient ที่จุดต่างๆ ภายในห้อง

Time	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6	Cs7	Cs8	Cs9
5:02:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:22:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:44:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:07:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:29:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:52:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:14:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:37:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:59:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:22:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:44:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:07:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:29:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:52:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:14:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:37:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:59:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:22:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:44:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:07:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:29:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:52:03	0	1	1	1	1	1	1	0	0
13:14:33	0	1	1	0	1	1	1	0	0
13:22:03	0	1	1	0	1	1	0	0	0
13:29:33	0	1	1	0	1	1	0	0	0
13:37:03	0	1	1	0	1	1	0	0	0
13:44:33	0	1	1	0	1	1	0	0	0
13:52:03	0	1	1	0	1	1	0	0	0
13:59:33	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:07:03	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:14:33	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:22:03	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:29:33	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:37:03	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:44:33	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14:52:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14:59:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:07:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:14:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:22:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:29:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:37:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:44:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:52:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15:59:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:07:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:14:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:22:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:29:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:37:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:44:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:52:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:59:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:07:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:14:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:22:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:29:33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:37:03	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17:44:33	0	1	1	0	1	1	0	1	1
17:52:03	0	1	1	0	1	1	0	1	1
18:14:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:37:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:44:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:52:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0

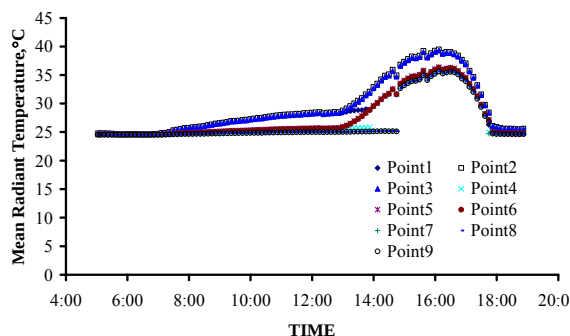
4.1 หน้าต่างกระจกใส

รูปที่ 4 แสดงถึงค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมและแบบกระจายที่ได้จากการตรวจวัด และรังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจายที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกใสเข้ามาในห้อง จากรูปที่ 4 จะพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และแบบกระจายมีค่าเท่ากันในช่วงเช้า (5:00 น. ถึง 13:00 น.) เนื่องจากหน้าต่างกระจกติดตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตกจึงทำให้ไม่มีค่ารังสีแบบรวมตกกระทบในช่วงเช้า และเนื่องจากคุณสมบัติการส่งผ่านรังสีของกระจกใสมีค่าสูงจึงส่งผลทำให้ค่ารังสีที่ส่งผ่านเข้ามาในห้องมีค่าสูงตามไปด้วย

ETM-93



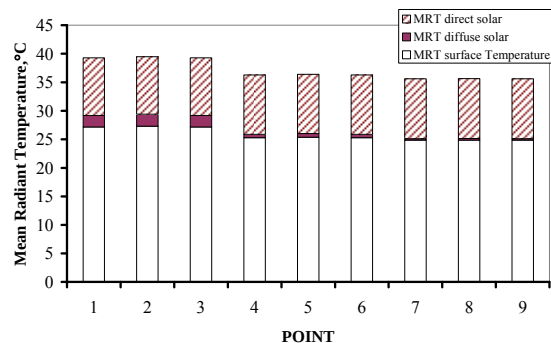
รูปที่ 4 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างกระจกใสและค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกใส



รูปที่ 5 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยทั้ง 9 จุดภายในห้อง ของกระจกใส

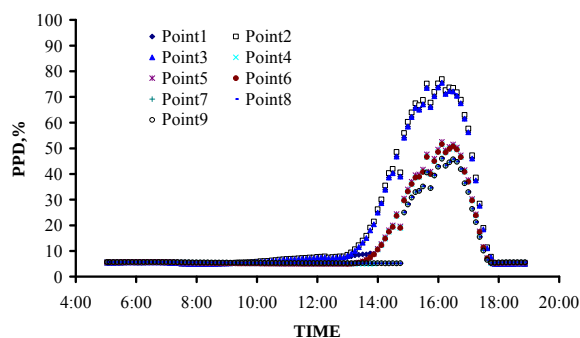
จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจุดที่ 1 ถึง 3 (มีระยะห่างจากกระจก 0.5 เมตร) มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 40 °C ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ส่วนจุดที่ 4 ถึง 6 (บริเวณกลางห้อง) จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจก โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ ประมาณ 35 °C ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ส่วนจุดที่ 7 ถึง 9 (บริเวณท้ายห้อง) จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีต่ำที่สุดโดยมีค่าลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจกจะสังเกตได้ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 15:00 น. ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในห้องซึ่งหมายถึงที่ตำแหน่งของห้อง ณ ตำแหน่งนี้จะไม่มีการกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์เลย แต่จะพบว่าเมื่อเวลาประมาณ 15:00 น. รังสีแสงอาทิตย์ สามารถส่งผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาตกกระทบผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้จึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และจากกราฟรูปที่ 5 จะพบว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระจกเมื่อเปรียบเทียบในระยะความลึกที่เท่ากัน(วัดไปตาม

แกน y) ดังนั้นจึงทำการพิจารณาเฉพาะตำแหน่งจุดที่ 2 5 และจุดที่ 8 เพื่อพิจารณาผลกระทบของค่ารังสีที่มีต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย



รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของค่าอุณหภูมิผิว ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลา 16:07 น.ของกระจกใส

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบอุณหภูมิผิวกระจก รังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลาประมาณ 16:07 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์เข้ามาตกกระทบภายในห้องทุกจุด จากรูปที่ 6 จะพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างคนและกระจกมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าลดลง ทั้งในส่วนที่เกิดจากอุณหภูมิผิว และเกิดจากรังสีแบบกระจายทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อระยะห่างระหว่างกระจกกับคนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า angle factor, F_{p-win} มีค่าลดลง

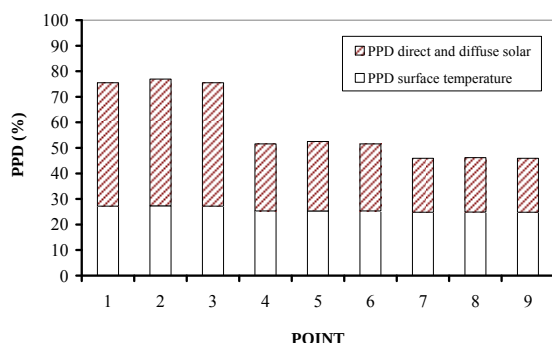


รูปที่ 7 ค่า PPD ทั้ง 9 จุดภายในห้อง ของกระจกใส

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าค่า PPD จุดที่ 1 ถึง 3 (มีระยะห่างจากกระจก 0.5 เมตร) มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 80% ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ส่วนจุดที่ 4 ถึง 6 (บริเวณกลางห้อง) จะมีค่า PPD ลดลง

ETM-93

ไปตามระยะที่ห่างจากกระจก โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 50% ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ส่วนจุดที่ 7 ถึง 9 (บริเวณท้ายห้อง) จะมีค่า PPD ต่ำสุดโดยมีค่าลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจกจะสังเกตได้ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 15:00 น. ค่า PPD ประมาณ 5% ซึ่งหมายถึงที่ตำแหน่งของห้อง ณ ตำแหน่งนี้คนจะรู้สึกสบาย โดยจะไม่มีผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์เลย แต่จะพบว่าเมื่อเวลาประมาณ 15:00 น. รังสีแสงอาทิตย์ สามารถส่องผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้จึงส่งผลให้ค่า PPD มีค่าเพิ่มสูงขึ้น และจากการกราฟรูปที่ 7 จะพบว่าค่า PPD จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระจกเมื่อเปรียบเทียบกับในระยะความลึกที่เท่ากัน (วัดไปตามแกน y) ซึ่งคล้ายกับกรณีของค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย ดังนั้นจึงทำการพิจารณาเฉพาะตำแหน่งจุดที่ 2 5 และจุดที่ 8 เพื่อพิจารณาผลกระทบของค่ารังสีที่มีต่อค่า PPD



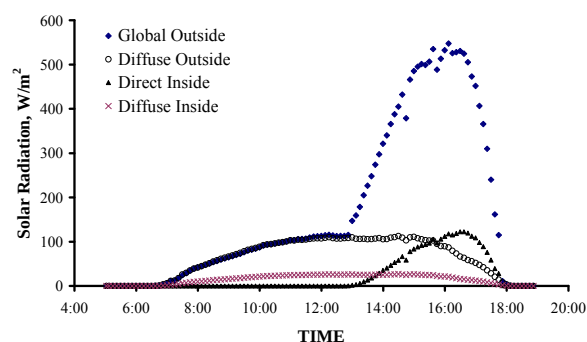
รูปที่ 8 ค่า PPD ที่เกิดจากผลกระทบของค่าอุณหภูมิผิว ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลา 16:07 น. ของหน้าต่างกระจกใส

รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่า PPD ที่เกิดจากผลกระทบอุณหภูมิผิวกระจก รังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลาประมาณ 16:07 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์เข้ามาตกกระทบบนให้ห้องทุกจุด จากรูปที่ 8 จะพบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างคนและกระจกมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า PPD มีค่าลดลง ทั้งในส่วนที่เกิดจากอุณหภูมิผิว และเกิดจากรังสีแบบตรง และกระจายทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อระยะห่างระหว่าง

กระจกกับคนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า angle factor, F_{p-win} มีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อรังสีแสงอาทิตย์สามารถเข้ามาตกกระทบบนภายในห้อง จะเห็นได้ค่าความรู้สึกของคนจะรู้สึกไม่สบายเนื่องจาก ค่า PPD มีค่าเกินกว่า 10% (เป็นสภาวะที่คนยังรู้สึกสบาย) สำหรับหน้าต่างกระจกใสความรู้สึกไม่สบายจะเกิดจากรังสีที่เข้ามาตกกระทบบนเป็นหลัก ถึงแม้ว่าคนจะนั่งห่างออกมาจากกระจกพอสมควร

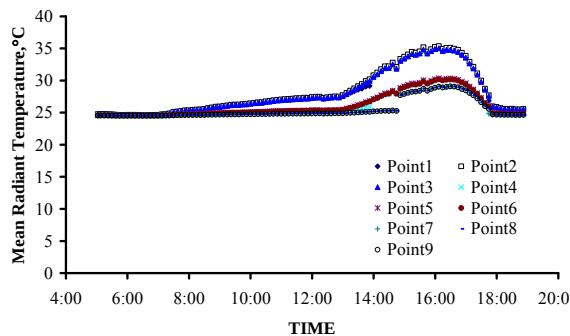
4.2 หน้าต่างกระจกสีชา

รูปที่ 9 แสดงถึงค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และแบบกระจายที่ได้จากการตรวจวัด และรังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจายที่ส่งผ่านหน้าต่างกระจกสีชาเข้ามาในห้อง จากรูปที่ 9 จะพบว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวม และแบบกระจายมีค่าเท่ากับกรณีของกระจกใส ในรูปที่ 4 ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ค่าของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนกระจกใส และกระจกสีชามีค่าเท่ากัน และเนื่องจากคุณสมบัติการส่งผ่านรังสีของกระจกสีชามีค่าต่ำกว่ากระจกใสจึงส่งผลทำให้ค่ารังสีที่ส่งผ่านเข้ามาในห้องมีค่าต่ำกว่ากรณีของกระจกใส โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 150 W/m^2 ที่เวลาประมาณ 16:30 น.



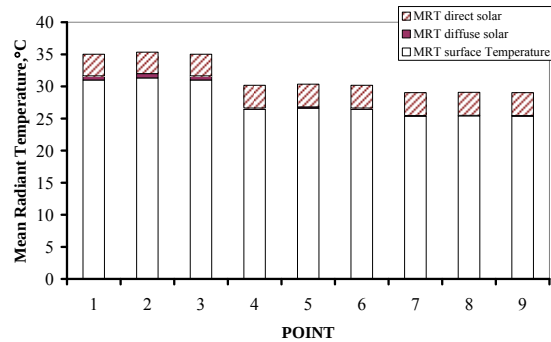
รูปที่ 9 ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหน้าต่างกระจกสีชาและค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านกระจกสีชา

ETM-93



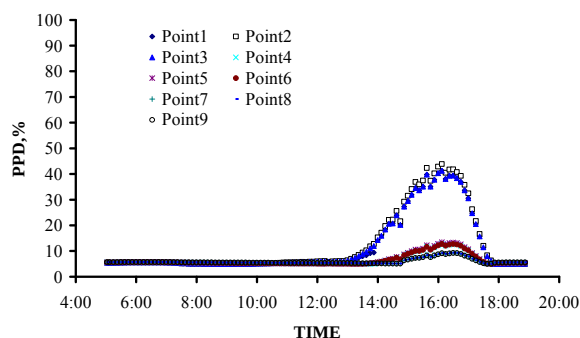
รูปที่ 10 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยทั้ง 9 จุดภายในห้อง ของกระจกสีชา

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจุดที่ 1 ถึง 3 (มีระยะห่างจากกระจก 0.5 เมตร) มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 35°C ที่เวลาประมาณ 16:00 น. แต่มีค่าต่ำกว่ากรณีของกระจกใส ส่วนจุดที่ 4 ถึง 6 (บริเวณกลางห้อง) จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจก โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 30°C ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ส่วนจุดที่ 7 ถึง 9 (บริเวณท้ายห้อง) จะมีค่าอุณหภูมิแผ่รังสีต่ำที่สุด โดยมีค่าลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจกจะสังเกตได้ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 15:00 น. ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในห้องซึ่งหมายถึงตำแหน่งของห้อง ณ ตำแหน่งนี้จะไม่เกิดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์เลย แต่จะพบว่าเมื่อเวลาประมาณ 15:00 น. รังสีแสงอาทิตย์ สามารถส่องผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้จึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และจากกราฟรูปที่ 10 จะพบว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระจกเมื่อเปรียบเทียบในระยะความลึกที่เท่ากัน (วัดไปตามแกน y) ดังนั้นจึงทำการพิจารณาเฉพาะตำแหน่งจุดที่ 2 5 และจุดที่ 8 เพื่อพิจารณาผลกระทบของค่ารังสีที่มีต่อค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย



รูปที่ 11 ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบของค่าอุณหภูมิผิว ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลา 16:07 น. ของหน้าต่างกระจกสีชา

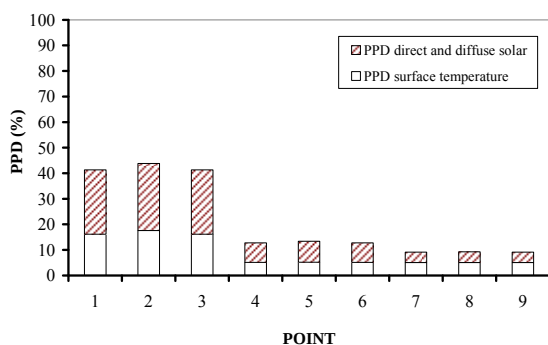
รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยที่เกิดจากผลกระทบอุณหภูมิผิวกระจก รังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลาประมาณ 16:07 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์เข้ามาตกกระทบบนให้ห้องทุกจุด จากรูปที่ 6 จะพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างคนและกระจกมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยมีค่าลดลง ทั้งในส่วนที่เกิดจากอุณหภูมิผิว และเกิดจากรังสีแบบกระจายทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อระยะห่างระหว่างกระจกกับคนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า angle factor, F_{p-win} มีค่าลดลง แต่สำหรับกระจกสีชา นั้น ค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยจะเกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจกเป็นหลักทั้งนี้จากกระจกสีชา มีค่าการดูดกลืนรังสีที่สูงกว่ากระจกใสจึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิผิวกระจกมีค่าสูงกว่ากรณีของกระจกใส



รูปที่ 12 ค่า PPD ทั้ง 9 จุดภายในห้อง ของหน้าต่างกระจกสีชา

ETM-93

จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าค่า PPD จุดที่ 1 ถึง 3 (มีระยะห่างจากกระจก 0.5 เมตร) มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 50% ที่เวลาประมาณ 16:00 น. แต่จะมีค่าต่ำกว่ากรณีของกระจกใสส่วนจุดที่ 4 ถึง 6 (บริเวณกลางห้อง) จะมีค่า PPD ลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจก โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ ประมาณ 15% ที่เวลาประมาณ 16:00 น. ส่วนจุดที่ 7 ถึง 9 (บริเวณท้ายห้อง) จะมีค่า PPD ต่ำสุดโดยมีค่าลดลงไปตามระยะที่ห่างจากกระจกจะสังเกตได้ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 15:00 น. ค่า PPD จะมีค่าสูงที่สุดประมาณ 5% ซึ่งหมายถึงตำแหน่งของห้อง ณ ตำแหน่งนี้คนจะรู้สึกสบาย โดยจะไม่มีผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์เลย แต่จะพบว่าเมื่อเวลาประมาณ 15:00 น. รังสีแสงอาทิตย์ สามารถส่องผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาตกกระทบบนผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้จึงส่งผลให้ค่า PPD มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 10% ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงของความสบาย และจากกราฟรูปที่ 12 จะพบว่าค่า PPD จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระจกเมื่อเปรียบเทียบกับระยะความลึกที่เท่ากัน (วัดไปตามแกน y) ซึ่งคล้ายกับกรณีของค่าอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย ดังนั้นจึงทำการพิจารณาเฉพาะตำแหน่งจุดที่ 2 5 และจุดที่ 8 เพื่อพิจารณาผลกระทบของค่ารังสีที่มีต่อค่า PPD



รูปที่ 13 ค่า PPD ที่เกิดจากผลกระทบของค่าอุณหภูมิผิว ค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลา 16:07 น. ของหน้าต่างกระจกสีชา

รูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า PPD ที่เกิดจากผลกระทบอุณหภูมิผิวกระจก รังสีแสงอาทิตย์แบบตรง และแบบกระจาย ที่เวลาประมาณ 16:07 น. ซึ่งเป็นเวลาที่รังสีแสงอาทิตย์เข้ามาตกกระทบบนให้ห้องทุก

จุด จากรูปที่ 13 จะพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างคนและกระจกมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า PPD มีค่าลดลง ทั้งในส่วนที่เกิดจากอุณหภูมิผิว และเกิดจากรังสีแบบตรง และกระจาย ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อระยะห่างระหว่างกระจกกับคนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า angle factor, F_{p-win} มีค่าลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าหน้าต่างกระจกสีชาสามารถลดผลกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ลงไปได้อย่างมากโดยมีค่า PPD ไม่เกิน 10% สำหรับหน้าต่างกระจกสีชาความรู้สึกไม่สบายจะเกิดจากอุณหภูมิผิวของกระจกเป็นหลัก แต่สามารถลดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ลงมาได้ถ้าคนนั่งห่างออกมาจากกระจกพอสมควร

4. สรุป

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของหน้าต่างกระจกที่มีผลกระทบต่อนผู้อยู่อาศัยภายใน โดยทำการศึกษาถึงชนิดของกระจกใส และกระจกสีชา รวมทั้งระยะห่างระหว่างคนกับหน้าต่างกระจก โดยการจำลองลักษณะของห้องที่มีหน้าต่างกระจกเป็นผนังเต็มผืนด้านทิศตะวันตกโดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่าทั้งกรณีของกระจกใส และกระจกสีชา ระยะห่างระหว่างกระจกยิ่งมากขึ้นจะช่วยลดผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ที่มีต่อผู้อยู่อาศัยให้ลดลง แต่กรณีของกระจกใสถึงแม้ผู้อยู่อาศัยจะนั่งห่างจากกระจกมาพอสมควร แต่เมื่อมีรังสีมาตกกระทบบนก็จะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายมากขึ้น ซึ่งจากผลการศึกษานี้ ถึงแม้ผู้อยู่อาศัยจะนั่งห่างจากกระจกเป็นระยะ 4.5 เมตร ก็ยังรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อน โดยมีค่า PPD สูงถึงประมาณ 50% แต่สำหรับกระจกสีชาเมื่อระยะห่างระหว่างกระจกเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ลดความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อนมากขึ้น โดยพบว่าที่ระยะห่างระหว่างกระจกเป็นระยะ 4.5 เมตร จะมีค่า PPD ไม่เกิน 10%

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกระจก จะพบว่าหน้าต่างกระจกใสจะส่งผลกระทบต่อความไม่สบายเชิงความร้อนอันเนื่องมาจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามากระทบบนผู้อยู่อาศัยเป็นหลัก แต่สำหรับหน้าต่างกระจกสีชาความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อนจะ

ETM-93

เกิดมาจากทั้งอุณหภูมิผิว และรังสีแสงอาทิตย์ แต่จะมีค่าต่ำกว่ากรณีของกระจกใส

เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- [2] 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), pp. 725-738.
- [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), 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, no. 5, pp. 594-606.
- [5] Cannistrato G., Franzitta G., Giaconia G., Rizzo G. (1992). Algorithms for the calculation of the view factors between human body and rectangular surfaces in parallelepiped environments, *Energy and Buildings*, vol. 19, no. 1, pp. 51-60.
- [6] Rizzo G., Franzitta G., Cannistrato G. (1991). Algorithms for the calculation of the mean projected area factors of seated and standing persons, *Energy and Buildings*, vol. 17, no. 3 (1991), pp. 221-230.
- [7] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ นพรัตน์ คำพร (2552). การวิเคราะห์ผลจากความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกด้วยการทดลอง, *การประชุมวิชาการ*