การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษาหน้าต่างกระจกติดฟิล์มในแง่ความสบายเชิงความร้อน

A Study on Glass Windows with Films in Aspect of Thermal Comfort

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ นพรัตน์ คำพร และ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6610 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: fmescy@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาคุณลักษณะของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มในแง่ของความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) ที่มีต่อผู้อยู่อาศัย การศึกษากระทำโดยนำเอาฟิล์ม 4 แบบที่มีคุณลักษณะทาง optic ต่างกันมาแปะติดกับหน้าต่างกระจกชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ กระจกใส กระจกสีบรอนซ์ กระจกสีเทา กระจกสีเขียว และกระจกใส 2 ชั้น การวิเคราะห์กระทำโดยอ้างอิงกับสภาวะภูมิอากาศออกแบบที่ถูกคัดเลือกจากข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครจำนวน 12 ปี และกำหนดเงื่อนไขสภาวะภายใน ค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนในรูปของ Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) ถูกเลือกมาเป็นตัวชี้วัด ผลการวิเคราะห์พบว่า คุณสมบัติของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มที่แปรตามความยาวคลื่นนั้นจะสอดคล้องกับคุณลักษณะรวมระหว่างคุณลักษณะของหน้าต่างกระจกตัวเปล่าและคุณลักษณะของฟิล์ม และคุณสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญอย่างมาก ฟิล์มใดที่มีคุณลักษณะการส่งผ่านรังสีต่ำก็จะส่งผลให้หน้าต่างกระจกติดฟิล์มดังกล่าวมีความไม่สบายที่เกิดจากผลของการส่งผ่านรังสีต่ำตามไปด้วย แต่หน้าต่างกระจกติดฟิล์มทุกตัวจะมีค่าความไม่สบายที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการติดฟิล์มทำให้ค่าการดูดกลืนรังสีรวมเพิ่มขึ้น จากการศึกษายังพบว่าความสัมพันธ์ของคุณสมบัติรวมของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มที่เป็นค่าการส่งผ่านรังสีและการดูดกลืนรังสีกับดัชนีความสบายเชิงความร้อนจะอยู่ในรูปของเชิงเส้นและใกล้เคียงกับเชิงเส้น

Abstract

. This article is about a study on glass windows with films of different types in aspect of thermal comfort of the person in the enclosure. Four different types of film adhered to different types of glass window; clear glass, tinted glass; bronze, gray, and green, and double pane clear glass are investigated. The study is done based on the outside weather condition which selected from 12 years of Bangkok meteorological data and based on inside design condition. Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) is selected as the thermal comfort index. The analysis shows that the spectral optical properties of glass window with film shall be corresponding to the combination of glass window and film individual optical properties. Film with low transmittance will lower the values of PPD due to solar radiation of the glass window with film. While every film when adhered to the glass window, it shall increase the values of PPD due to surface temperature because of the increase in the absorptance of glass window with film. The analysis also indicates that the PPD due to solar radiation and the PPD due to surface temperature shall vary with the transmittance and absorptance of glass window and glass window with film in a linear and almost a linear fashion.

1. บทนำ

หน้าต่างกระจกเป็นกรอบอาคารแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมอย่างมากของอาคารสำนักงานและอาคารพาณิชย์ส่วนใหญ่ในประเทศไทย เนื่องจากหน้าต่างกระจกมีประโยชน์ในการใช้แสดงสินค้า และช่วยให้ผู้อยู่อาศัยสามารถเห็นทิวทัศน์ภายนอกอย่างชัดเจน และยังทำให้ตัวอาคารดูสวยและสง่างาม แต่ในขณะเดียวกันหน้าต่างกระจกก็จะเป็นกรอบอาคารชนิดที่รับแสงสว่างและความร้อนจำนวนมากเข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง ก่อให้เกิดเป็นภาระการทำความเย็นจำนวนมากที่ต้องกำจัดออกจากอาคารเพื่อรักษาสภาวะภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งประเทศไทยได้มีการออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และได้มีการออกกฎกระทรวงเพื่อควบคุมไม่ให้อาคารที่เข้าข่ายควบคุมทั้งเก่าและที่จะสร้างใหม่นั้นมีกรอบอาคารที่ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารเกินค่าที่กำหนด ดังนั้นกรอบอาคารใดที่มีการส่งผ่านพลังงานความร้อนเกินค่าที่กำหนด เจ้าของอาคารจะต้องทำการปรับปรุงกรอบอาคารนั้นเพื่อทำให้การส่งผ่านพลังงานความร้อนอยู่ในค่าที่กำหนด อาคารที่มีกรอบอาคารเป็นหน้าต่างกระจกจำนวนมากจะเป็นอาคารที่มีปัญหาดังกล่าวเป็นส่วนใหญ่ การปรับปรุงอาคารอาจทำได้โดยการเปลี่ยนหน้าต่างกระจกบางส่วนเป็นวัสดุทึบแสง หรือนำวัสดุทึบแสงมาปิดหลังกระจก หรือนำฟิล์มมาติดเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติการส่งพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจก ในกรณีที่นำฟิล์มมาติดหน้าต่างกระจกมักจะเกิดปัญหาขึ้นสอง

เรื่อง เรื่องแรกคือค่าข้อมูลทางเทคนิคของฟิล์มกรองแสงที่มีขายในประเทศไทยมักจะมีน้อย และไม่พอเพียงในการที่จะนำไปใช้วิเคราะห์สมรรถนะของหน้าต่างกระจกภายหลังการติดตั้งฟิล์ม ข้อมูลที่ให้ก็มักจะอ้างอิงกับกระจกใสเพียงอย่างเดียว และเรื่องที่สองก็คือความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มที่มีต่อผู้อยู่อาศัยใกล้หน้าต่างกระจก ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิผิวกระจก ดังนั้นบทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาหน้าต่างกระจกชนิดต่างๆซึ่งติดฟิล์มต่างชนิดในแง่ความสบายเชิงความร้อน

2.หน้าต่างกระจกติดฟิล์ม

ในการวิเคราะห์ความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มจำเป็นต้องรู้ค่าคุณสมบัติทาง optic ของหน้าต่างกระจกที่ติดฟิล์มที่แปรตามความยาวคลื่น ค่าคุณสมบัติที่จำเป็นต้องรู้ได้แก่ ค่าการส่งผ่านรังสี (transmittance) ค่าการดูดกลืนรังสี (absorptance) และค่าการสะท้อนรังสี (reflectance) ความยาวคลื่นที่จะพิจารณาจะแบ่งออกเป็น ช่วงการมองเห็น (visible range) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 360 ถึง 760 นาโนเมตร (.36 ถึง .76 ไมครอน) และช่วงรังสีอินฟาเรดที่มีค่าตั้งแต่ 760 นาโนเมตรขึ้นไปจนถึงประมาณ 3500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงการแผ่รังสีความร้อนคลื่นยาว และเนื่องจากฟิล์มติดกระจกที่มีขายในท้องตลาดเมืองไทย บริษัทผู้ผลิตมักไม่ให้ข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทาง optic ที่แปรตามความยาวคลื่น ให้แต่ข้อมูลเป็นค่าเปอร์เซนต์ของแสงส่งผ่าน และสัมประสิทธิ์การบังเงา (shading coefficient, SC) ซึ่งไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ การศึกษาจึงใช้ข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ optic5.02 [1] ซึ่งเป็นฟิล์มของบริษัท 3M และเนื่องจากฟิล์มของบริษัท 3M มีจำนวนมาก ในบทความนี้จะเลือกมา 4 แบบ ซึ่งเป็นกลุ่มของ REXXNEARL REXXBRARL REXXSLARL และ PNTHRXX รูปที่ 1 ถึง 4 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มตัวเปล่าที่แปรตามความยาวคลื่น ในรูปที่ 1 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มแบบ REXXNEARL ที่มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดความยาวคลื่น โดยที่ RE70NEARL มีค่าการส่งผ่านรังสีประมาณ 0.7 ในขณะที่ค่าตัวเลข(XX)ในชื่อยิ่งน้อยจะหมายถึงการส่งผ่านรังสีได้ยิ่งน้อย จากรูปที่ 1 อาจกล่าวได้ว่าฟิล์มชนิดนี้เมื่อติดกระจกไปแล้วจะมีค่าการลดการส่งผ่านทั้งแสงสว่างและความร้อนในสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากความยาวคลื่นในช่วงการมองเห็น (.36 ถึง .76 ไมครอน) และช่วงการแผ่รังสีความร้อน (.76 ไมครอนขึ้นไป) ในขณะที่รูปที่ 2 และ 3 จะแสดงถึงฟิล์มแบบ REXXBRARL และ REXXSLARL ซึ่งมีคุณสมบัติการส่งผ่านแสงสว่างน้อยกว่าการส่งผ่านความร้อน และมีปริมาณการส่งผ่านแปรตามตัวเลข(XX)ในชื่อ ส่วนรูปที่ 4 เป็นค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มแบบ PNTHRXX ซึ่งจะมีคุณสมบัติการส่งผ่านรังสีในช่วงความร้อนใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชนิด มีค่าประมาณ 0.9 แต่ในช่วงการมองเห็นจะมีค่าการส่งผ่านรังสีที่แตกต่างกันมาก ฟิล์มแบบนี้จึงน่าจะมีจุดมุ่งหมายหลักในการลดการส่งผ่านแสงสว่างเป็นหลักในขณะที่ยังคงยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามามาก สำหรับค่าการสะท้อนรังสีจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับแบบของฟิล์ม แต่มีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับค่าการดูดกลืนรังสีจะมีค่าตรงกันข้ามกับค่าการส่งผ่านรังสี เนื่องจากผลรวมของค่าการส่งผ่านรังสี การดูดกลืนรังสี และการสะท้อนรังสีมีค่าเท่ากับ 1 และเนื่องจากค่าการดูดกลืนรังสีและการสะท้อนรังสีมีผลไม่เด่นชัดเท่ากับค่าการส่งผ่านรังสี และข้อจำกัดในเรื่องความยาวของบทความ จึงจะไม่นำเสนอในที่นี้ รายละเอียดเพิ่มเติมจะสามารถหาดูได้ในเอกสารอ้างอิง [7] รูปที่ 5 จะแสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกตัวเปล่า 5 ชนิด คือ กระจกใส กระจกสีบรอนซ์ กระจกสีเทา กระจกสีเขียว และกระจกใส 2 ชั้น กระจกชั้นเดียวที่พิจารณาจะมีความหนา 6 มม. สำหรับกระจก 2 ชั้นจะเป็นกระจกใสขนาดความหนา 6 มม. 2 แผ่น วางห่างกัน 6 มม.โดยมีอากาศคั่นกลาง จะเห็นว่ากระจกใสจะมีค่าการส่งผ่านรังสีสูงในช่วงการมองเห็นโดยมีค่าสูงสุดประมาณ 0.9 และมีค่าการส่งผ่านรังสีลดลงมาเป็นประมาณ 0.63 ในช่วงความยาวคลื่น 0.8 – 1.4 ไมครอน และมีค่าเพิ่มกลับขึ้นเป็น 0.76 ในขณะที่กระจกใส 2 ชั้นจะมีคุณลักษณะคล้ายกับกระจกใส แต่จะมีลักษณะการส่งผ่านรังสีช่วงความร้อนน้อยกว่ากระจกชั้นเดียว สำหรับกระจกสีเขียวจะมีค่าการส่งผ่านรังสีที่แปรตามความยาวคลื่นคล้ายกับกระจกใส 1 ชั้น และ 2 ชั้น โดยมีค่าในช่วงการแผ่รังสีความร้อนอยู่ต่ำที่สุดของกระจกทั้ง 5 ชนิด กระจกสีบรอนซ์และสีเทาจะมีค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็นน้อยกว่ากระจกทั้ง 3 ชนิดแรก และมีค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงการแผ่รังสีความร้อนน้อยกว่ากระจกใส 1 ชั้นและ 2 ชั้น

ในบทความนี้จะแสดงถึงค่าคุณสมบัติทาง optic ของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มเมื่อเลือกเอาฟิล์มกรองแสงทั้ง 4 แบบเฉพาะที่มีตัวเลข 50 (RE50NEARL RE50BRARL RE50SLARL และ PNTHR50) มาแปะติดกับกระจกทั้ง 5 ชนิด ค่าคุณสมบัติทาง optic ของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มจะหาได้จากค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกตัวเปล่าและของฟิล์มตัวเปล่าด้วยการคำนวณตามวิธีที่นำเสนอโดย Rubin [2] รูปที่ 6 ถึง 10 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของหน้าต่างกระจก 5 ชนิดที่ติดฟิล์มทั้ง 4 แบบ โดยที่ค่าการส่งผ่านรังสีของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มจะมีลักษณะการแปรตามความยาวคลื่นเป็นผลรวมของค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกตัวเปล่าและฟิล์มตัวเปล่าที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 ถึง 5 ตารางที่ 1 จะแสดงถึงค่าคุณสมบัติรวมของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มในช่วงการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ และในช่วงการมองเห็น

3. ดัชนีความสบายเชิงความร้อน

ความรู้สึกสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เป็นสภาวะที่ผู้อยู่อาศัยมีความพอใจในลักษณะความร้อนรอบตัว Fanger [3] ได้กำหนดสมการที่ใช้แสดงค่าความสบายเชิงความร้อนของคนซึ่งขึ้นกับค่าตัวแปร 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) ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$PMV = \left(0.352e^{-0.042\cdot met} + 0.032\right)\cdot[met - 0.35\cdot(43 - 0.061\cdot met - P_a) - 0.42\cdot(met - 50) - 0.0023\cdot met\cdot(44 - P_a) - 0.0014\cdot met\cdot(34 - T_a) - 3.4\times10^{-8} f_{cl}\cdot\left((T_{cl}+273)^4 - (T_{mrt}+273)^4\right) - f_{cl}\cdot h_c(T_{cl} - T_a)] \quad (1)$$

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

เมื่อ met = อัตราการผลิตพลังงานภายในร่างกายเนื่องจากการทำกิจกรรม, kcal/ hr m^2

P_a = Partial Pressure ของไอน้ำ, mm Hg

f_{cl} = อัตราส่วนพื้นที่ของเสื้อผ้าที่สวมใส่ต่อพื้นที่ผิวร่างกายทั้งหมด

T_{mrt} = ค่า Mean radiant temperature (MRT), $^{\circ}C$

T_a = อุณหภูมิอากาศภายใน, $^{\circ}C$

T_{cl} = อุณหภูมิเสื้อผ้าที่สวมใส่, $^{\circ}C$

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศและเสื้อผ้า,W/m^2

ค่า Predicted Mean Vote (PMV) จะเป็นค่าที่ได้จากผลการลงความเห็นของคนกลุ่มใหญ่โดยได้แบ่งเป็นค่าอยู่ 7 ระดับของความพอใจ ซึ่งจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ –3 (หนาวมาก) ถึง +3 (ร้อนมาก) และ 0 หมายถึงลักษณะปานกลาง (รู้สึกสบายพอดี) ส่วนค่า Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) เป็นค่าเปอร์เซนต์ของคนที่ไม่พอใจสภาวะที่อาศัยอยู่เป็นค่าตัวเลขจาก 0 ถึง 100 ถ้าค่ามากก็แสดงว่ามีคนจำนวนมากเป็นเปอร์เซนต์ตามค่าบ่งว่าสภาวะที่อยู่เป็นที่ไม่น่าพอใจ ค่า PPD ประมาณ 10 % จะเป็นค่าที่ยอมรับได้เป็นส่วนใหญ่ว่าค่อนข้างสบายมาก ค่าที่มากกว่านี้ในหลายกรณีก็ยังเป็นที่ยอมรับว่าสบายพอสมควร

ในการศึกษาค่าความไม่สบายของผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้หน้าต่างกระจก สมศักดิ์และคณะ [7] พบว่าจะเกิดจากปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือ ค่าไม่สบายที่เกิดจากการส่งรังสีแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามากระทบผู้คนที่อยู่ใกล้หน้าต่างกระจกโดยตรง และค่าความไม่สบายที่เกิดจากอุณหภูมิผิวด้านในของหน้าต่างกระจก ดังนั้นค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (MRT) ซึ่งถูกนิยามเป็นอุณหภูมิสม่ำเสมอของผิวสมมุติภายในที่ให้การแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายคนเท่ากับความร้อนที่แผ่ออกจากสภาวะจริง จึงต้องแบ่งเป็นสองส่วนคือ ค่า MRTที่คิดเฉพาะผลจากอุณหภูมิของผิวกระจกและค่า MRTที่รวมถึงผลจากอุณหภูมิผิวกระจกและการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจกมากระทบร่างกายคน ส่วนค่า PMV ที่แสดงไว้ในสมการที่ 1 นั้นเป็นค่า PMV ที่ได้จากผลการทดลองของ Fanger [3] นำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยไม่ได้คำนึงถึงผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์มากระทบผิวคน หากนำค่าMRT ที่คิดผลของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ มาคำนวณค่า PMV ในสมการที่ 1 จะทำให้ค่าเกินที่ Fanger กำหนด ดังนั้นในการคิดค่า PMV ในกรณีที่พิจารณาผลของการแผ่รังสีจะต้องใช้วิธีการที่ Lyons [4] เสนอ เป็นการหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า PMV ต่อค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกมากระทบผิวคน ด้วยสมการ

$$\frac{dPMV}{dq} = \frac{\partial PMV}{\partial MRT} \cdot \frac{\partial MRT}{\partial (\alpha f_p q)} \cdot \frac{\partial (\alpha f_p q)}{\partial q} \quad (3)$$

เมื่อ α = ค่าการดูดกลืนรังสีที่ผิวคน

f_p = ค่า project area factor

q = ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าต่างกระจกและผ่านเข้ามากระทบที่ผิวคน W/m^2

ดังนั้น ค่า PMV ในกรณีที่คิดผลของแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านจะหาได้โดยสมการที่ 4

$$PMV = PMV_{no\ solar} + \frac{dPMV}{dq} \cdot q \quad (4)$$

เมื่อได้ค่า PMV แล้ว จึงนำไปคำนวณหาค่า PPD จากสมการที่ 2 รายละเอียดการคำนวณหาค่า MRT, PMV, dPMV/dq ดูได้จากเอกสารอ้างอิง [7]

ในการคำนวณค่าดัชนีความสบาย PPD จำเป็นต้องใช้ ค่าอุณหภูมิภายนอก ค่ารังสีแสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิภายใน ค่าสภาวะภายใน และอุณหภูมิผิวกระจกเพื่อนำไปคำนวณค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (MRT) สำหรับในการศึกษานี้จะทำการเลือกค่าสภาวะภูมิอากาศภายนอกจากข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครจำนวน 12 ปี (พ.ศ. 2531 ถึง พ.ศ. 2542) การคัดเลือกดำเนินการโดยพิจารณาหาค่าข้อมูลวันออกแบบจากวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมสูงสุดที่มีโอกาสเป็นไปได้ 0.4% ของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมทั้งปี การคัดเลือกเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่ ASHRAE [5] ใช้ รายละเอียดในการคัดเลือกแสดงอยู่ในเอกสารอ้างอิง [7] โดยได้ค่าสภาวะภายนอกเป็น

ค่ารังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบกับหน้าต่างกระจก	658 W/m^2
ค่ารังสีกระจายที่ตกระทบผิวหน้าต่างกระจก	111 W/m^2
ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอก	35 $^{\circ}C$
ค่าความเร็วลมภายนอก	3.8 m/s

สำหรับสภาวะภายในได้กำหนดในสภาวะของลักษณะคนทำงานทั่วไปที่อยู่ในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครที่มีความสบายในสภาวะที่ยอมรับได้ โดยมีค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายใน	25 $^{\circ}C$
ค่าความเร็วลมภายใน	0.15 m/s
ค่าความชื้นสัมพันธ์	50 %
ค่าความต้านทานเสื้อผ้าเชิงความร้อน	0.5 clo
ค่าการทำกิจกรรม	1.2 Met

และห้องที่จะใช้ทำการศึกษาจะถูกกำหนดให้มีขนาด 4x4x3 เมตร โดยมีหน้าต่างกระจกติดฟิล์มเต็มบานอยู่ทางด้านทิศตะวันตก และผนังภายในอีก 3 ด้าน และผู้อาศัยจะนั่งอยู่ในด้านผนังห่างจากหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม 1 เมตร โดยจะหันด้านข้างเข้าสู่หน้าต่างกระจก

4. การวิเคราะห์

จะเห็นได้ว่าในการคำนวณหาค่าดัชนีความสบายนั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดสภาพภูมิอากาศภายนอกและภายในและกิจกรรมของผู้อยู่อาศัย และยังต้องทราบอุณหภูมิผิวด้านในของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มด้วย ในการศึกษานี้คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณหาค่าอุณหภูมิผิวของกระจกติดฟิล์ม ค่า MRT และค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน (PPD) ภายใต้สภาวะภูมิอากาศออกแบบภายนอกและภายในที่กำหนด โดยใช้ข้อมูลขาเข้าเป็นค่าคุณสมบัติ optic ของกระจกติดฟิล์มที่แปรตามความยาวคลื่นตามที่ได้จัดหามาในหัวข้อที่ 2 สำหรับในส่วนของการคำนวณหาค่าอุณหภูมิผิวกระจก และค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกนั้นใช้หลักการคำนวณที่เสนอโดย Finalayson et al [6] วิธีดังกล่าวได้ถูกนำเสนอในโปรแกรม

WINDOW 4.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนของกระจกที่พัฒนาโดย Windows and Daylighting Group, Lawrence Berkeley Laboratory และได้มีการยืนยันผลเฉลยกับการทดสอบจนได้รับการยอมรับในความแม่นยำ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายผลเฉลย รายละเอียดตัวโปรแกรมและการตรวจสอบแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง [7]

5. ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ของความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มถูกแสดงอยู่ในรูป PPD กับชนิดของกระจกตัวเปล่าและกระจกติดฟิล์มไว้ในรูปที่ 11 โดยค่า PPD ที่แสดงจะแบ่งเป็นค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจก และ PPD ที่เกิดจากผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์มากระทบต่อผิวของร่างกายคนที่นั่งอยู่ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่า ผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ที่มีต่อความสบายของชุดกระจกและกระจกติดฟิล์มที่ศึกษาจะมีค่ามากกว่าผลจากอุณหภูมิผิวกระจกมาก และเมื่อพิจารณาค่า PPD ของกระจกตัวเปล่ากับกระจกติดฟิล์มจะพบว่า การติดฟิล์มจะทำให้ค่า PPD รวมของกระจกติดฟิล์มลดลง โดยเมื่อพิจารณาจากค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกติดฟิล์มกับกระจกตัวเปล่าในรูปที่ 6 ถึง 10 และตารางที่ 1 จะพบว่าค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกติดฟิล์มลดลง ในขณะที่ค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระจกตัวเปล่า และเมื่อพิจารณาต่อไปในรูปที่ 11 จะเห็นว่าการติดฟิล์มนั้นทำให้ค่า PPD ที่เกิดจากผลการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์มีค่าลดลง แต่ในขณะเดียวกันกระจกติดฟิล์มทุกตัวจะมีค่า PPD ที่เกิดจากอุณหภูมิผิวกระจกติดฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลอธิบายได้ว่าเมื่อกระจกถูกติดฟิล์มค่าการดูดกลืนรังสีจะมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้อุณหภูมิผิวกระจกสูงขึ้น และก็จะทำให้ค่า PPD จากอุณหภูมิผิวกระจกเพิ่มตามไปด้วย และจะเห็นว่าฟิล์มแบบ RE50NERAL เมื่อติดกระจกไปแล้วจะลดค่า PPD ได้มากสุด ในขณะที่ฟิล์มแบบ PNTHR50 จะให้ค่า PPD ที่สูงสุด และกระจกสีเทาจะมีค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนต่ำกว่ากระจกอีก 4 แบบ จากการศึกษายังพบว่าค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มจะขึ้นกับค่าการส่งผ่านรังสีและค่าการดูดกลืนรังสีอย่างมาก รูปที่ 12 แสดงถึงค่า PPD ที่เกิดจากผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์มากระทบกับผู้อยู่อาศัยกับค่าการส่งผ่านรังสีของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม ซึ่งจะเห็นว่าค่า PPD ดังกล่าวจะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีเป็นเชิงเส้น รูปที่ 13 แสดงถึงค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกับค่าการดูดกลืนรังสีของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม โดยสำหรับหน้าต่างกระจก 1 ชั้น และหน้าต่างกระจก 1 ชั้นติดฟิล์มจะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีเกือบเป็นเส้นตรง ในขณะที่กระจก 2 ชั้นที่ติดฟิล์มก็จะแปรในลักษณะเดียวกันแต่มีค่าความชันมากกว่า (หมายเหตุ: ข้อมูลของกระจกและกระจกติดฟิล์มในรูปที่ 12 และ 13 จะเป็นกระจกใสที่มีความหนาต่างกันตั้งแต่ 3 ถึง 19 มม. กระจกสีบรอนซ์ สีเทา สีเขียว ความหนาตั้งแต่ 3 ถึง 8 มม. กระจกใส 2 ชั้น แต่ละชั้นหนา 6 มม. และช่องอากาศ 6 มม. และฟิล์ม RE20 35 50 70 NEARL RE20 35 50 BRARL RE25 35 50 SLARL PNTHR5 20 35 50)

6. สรุป

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD สามารถแบ่งเป็นค่าที่เกิดจากผลของการส่งรังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจกติดฟิล์มมากระทบผู้อยู่อาศัย และค่าที่เกิดจากอุณหภูมิผิวของกระจกติดฟิล์ม ค่าความไม่สบายทั้ง 2 ค่าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับคุณสมบัติของกระจกติดฟิล์ม คุณสมบัติทาง optic ของกระจกและกระจกติดฟิล์มที่แปรตามความยาวคลื่นจะมีผลอย่างมากต่อค่าการส่งผ่านพลังงานความร้อนและค่าความสบายเชิงความร้อน ดังนั้นผู้ที่จะเลือกใช้หน้าต่างกระจก หรือฟิล์มเพื่อนำมาติดหน้าต่างกระจก จำเป็นต้องเข้าใจถึงคุณลักษณะของมันอย่างถ่องแท้เพื่อจะสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามต้องการ การศึกษายังสามารถสร้างความสัมพันธ์ของค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนกับค่าการส่งผ่านรังสีและค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์มภายใต้สภาวะออกแบบของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกกระจก และกระจกติดฟิล์มในแง่ความสบายเชิงความร้อน

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

[1] Windows and Daylighting Group, Lawrence Berkeley National laboratory, “Optic5,” URL:http//windows.lbl.gov /materials/optic5/

[2] Rubin, M., Rottkay, K.V., and Powles, R. “Window optics,” Solar Enegy, vol. 62, 1988, 149-161 “

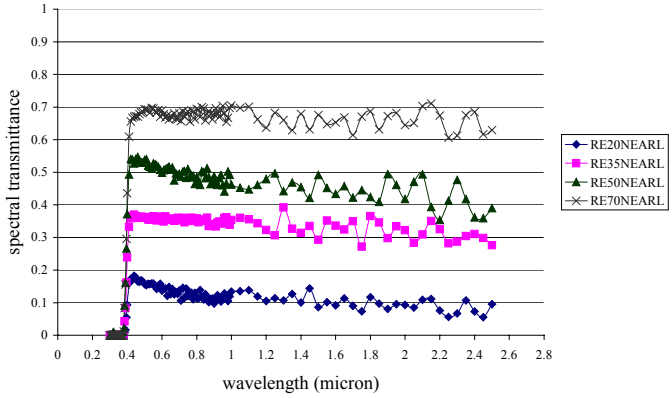
[3] Fanger, P.O. “Thermal comfort analysis and application in environmental engineering,” Kansas State University, McGraw-Hill, 1970

[4] Lyons, P.R. “Window performance for human thermal comfort,” AHRAE Transaction., 2000 :594-602

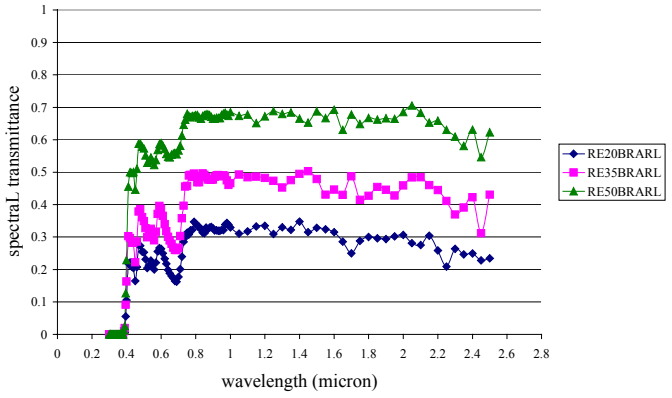
[5] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Fundamentals. USA, 1997, chapter 26, 26.1-26.53

[6] Finalayson, E., Arastech, D., Huizenga, C., Rubin, M., and Reilly, S. “Window 4.0 Documentation of calculation procedures,” Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory Report 33943, August 1993.

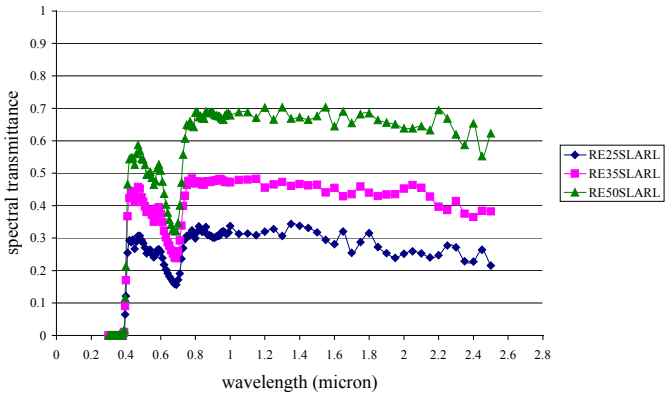
[7] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธ์ นพรัตน์ คำพร และ บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ, รายงานฉบับสมบูรณ์ “การวิเคราะห์ดัชนีของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มของอาคารภายใต้ภาวะภูมิอากาศของประเทศไทยในแง่ความสบายและการส่งผ่านพลังงานความร้อน,” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สนับสนุนโดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พฤศจิกายน พ.ศ. 2545



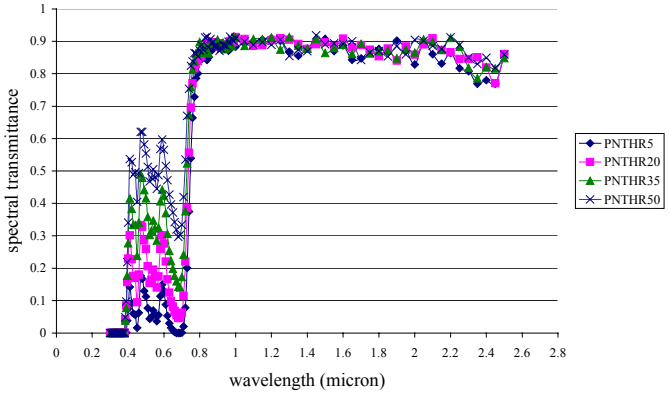
รูปที่ 1 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มชนิด REXXNEARL



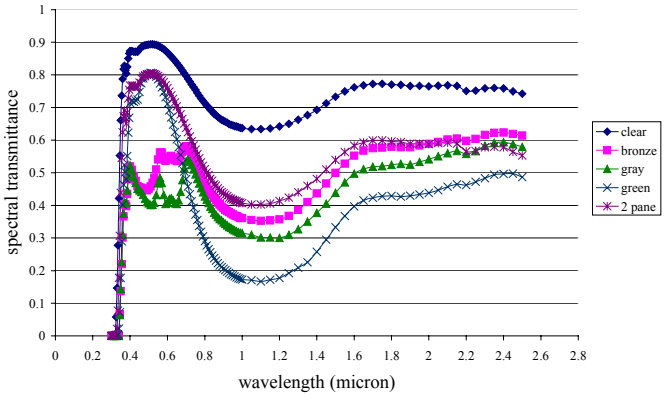
รูปที่ 2 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มชนิด REXXBRARL



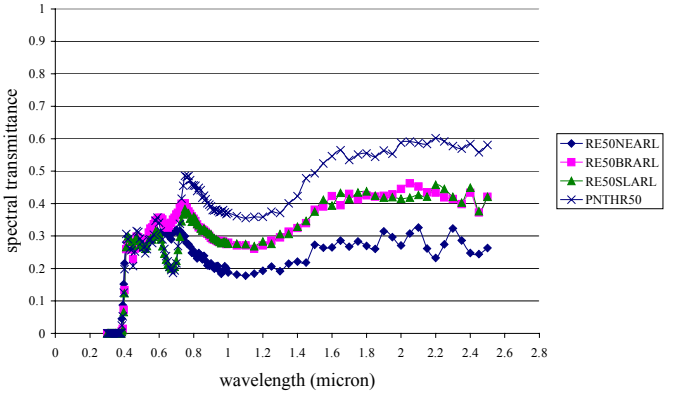
รูปที่ 3 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มชนิด REXXSLARL



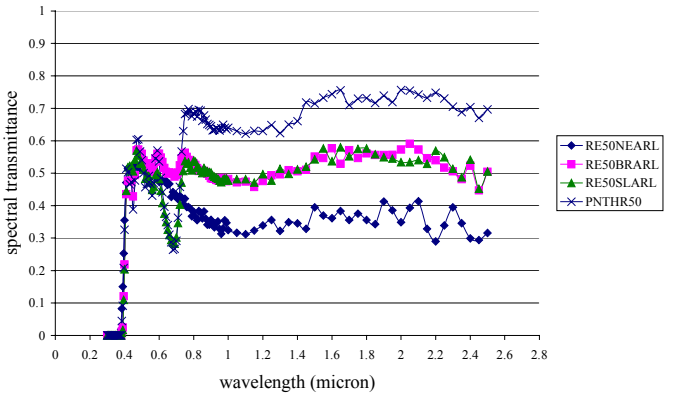
รูปที่ 4 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มชนิด PNTHRXX



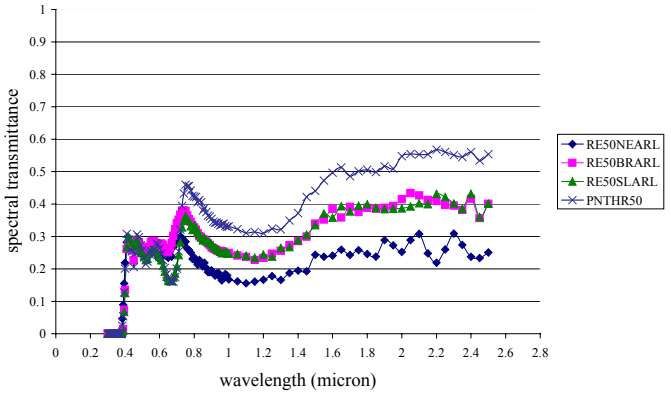
รูปที่ 5 แสดงถึงการส่งผ่านรังสีของกระจกชนิดต่าง ๆ



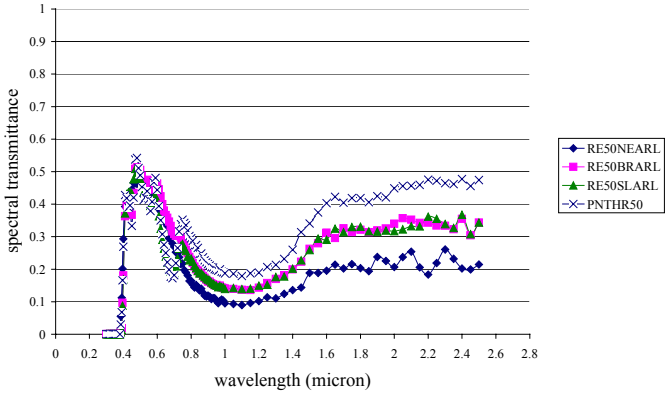
รูปที่ 6 แสดงถึงการส่งผ่านรังสีของกระจกใสติดฟิล์ม



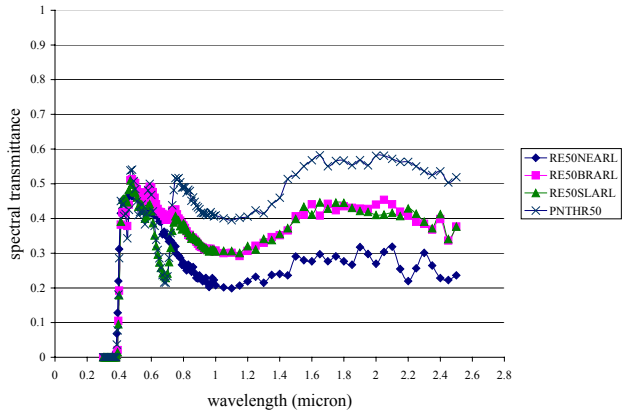
รูปที่ 7 แสดงถึงการส่งผ่านรังสีของกระจกสีบรอนซ์ติดฟิล์ม



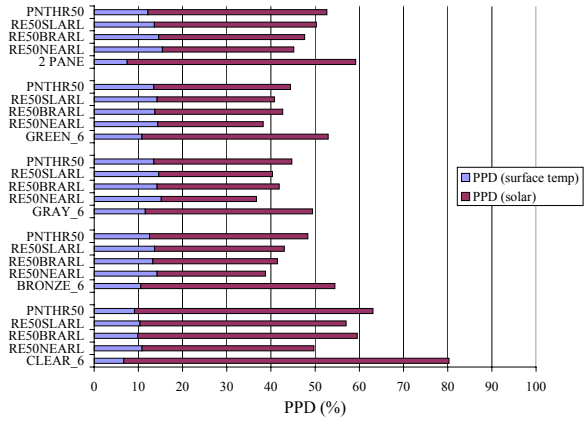
รูปที่ 8 แสดงถึงการส่งผ่านรังสีของกระจกสีเทาติดฟิล์ม



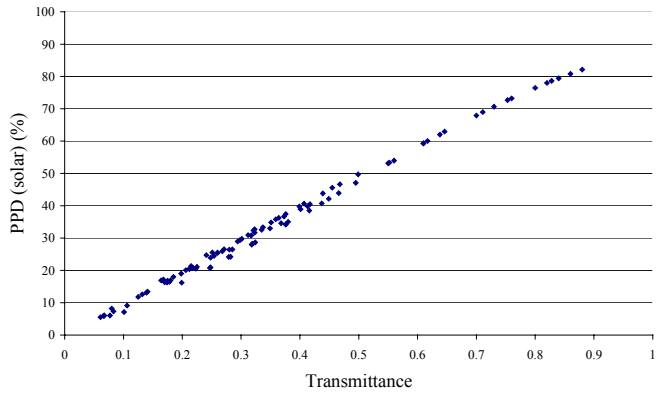
รูปที่ 9 แสดงถึงการส่งผ่านรังสีของกระจกสีเขียวติดฟิล์ม



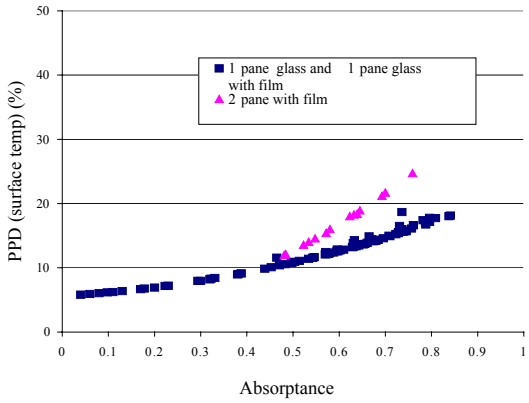
รูปที่ 10 แสดงถึงการส่งผ่านรังสีของกระจก 2 ชั้นติดฟิล์ม



รูปที่ 11 แสดงถึงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ของหน้าต่างกระจกชนิดต่างๆ และหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม



รูปที่ 12 แสดงถึงดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ที่แปรตามค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม



รูปที่ 13 แสดงถึงค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจกที่แปรตามค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม

ตารางที่ 1 แสดงถึงคุณสมบัติในรูปรวมของกระจกและกระจกติดฟิล์มที่ช่วงการส่งผ่านพลังงานความร้อนและช่วงการมองเห็น
T = ค่าการส่งผ่านรังสี Rf = ค่าการสะท้อนรังสีด้านหน้า Rb = ค่าการสะท้อนรังสีด้านหลัง A = ค่าการดูดกลืนรังสี

ชนิดกระจก	ความหนา	ช่วง solar				ช่วง visible		
	(มม,)	T	Rf	Rb	A	T	Rf	Rb
กระจกใส	6	0.753	0.069	0.069	0.178	0.882	0.081	0.081
กระจกสีบรอนซ์	6	0.466	0.051	0.051	0.483	0.522	0.055	0.055
กระจกสีเทา	6	0.411	0.047	0.047	0.532	0.431	0.048	0.048
กระจกสีเขียว	6	0.449	0.053	0.053	0.496	0.758	0.066	0.066
กระจกใส 2 ชั้น	6	0.590	0.111	0.111	0.299	0.781	0.143	0.143
กระจกใสติดฟิล์ม RE50NEARL	6	0.397	0.101	0.103	0.502	0.499	0.115	0.103
กระจกใสติดฟิล์ม RE50BRARL	6	0.492	0.061	0.057	0.447	0.531	0.066	0.062
กระจกใสติดฟิล์ม RE50SLARL	6	0.461	0.059	0.059	0.480	0.473	0.061	0.063
กระจกใสติดฟิล์ม PNTHR50	6	0.551	0.052	0.051	0.397	0.486	0.052	0.053
กระจกสีบรอนซ์ติดฟิล์ม RE50NEARL	6	0.250	0.066	0.098	0.684	0.301	0.069	0.095
กระจกสีบรอนซ์ติดฟิล์ม RE50BRARL	6	0.313	0.049	0.050	0.638	0.322	0.051	0.054
กระจกสีบรอนซ์ติดฟิล์ม RE50SLARL	6	0.292	0.048	0.052	o.660	0.285	0.049	0.056
กระจกสีบรอนซ์ติดฟิล์ม PNTHR50	6	0.351	0.045	0.042	0.604	0.294	0.046	0.046
กระจกสีเทาติดฟิล์ม RE50NEARL	6	0.223	0.058	0.097	0.719	0.254	0.059	0.094
กระจกสีเทาติดฟิล์ม RE50BRARL	6	0.280	0.045	0.049	0.675	0.271	0.046	0.052
กระจกสีเทาติดฟิล์ม RE50SLARL	6	0.262	0.045	0.051	0.693	0.241	0.045	0.055
กระจกสีเทาติดฟิล์ม PNTHR50	6	0.315	0.042	0.040	0.643	0.247	0.042	0.044
กระจกสีเขียวติดฟิล์ม RE50NEARL	6	0.246	0.066	0.099	0.688	0.432	0.094	0.099
กระจกสีเขียวติดฟิล์ม RE50BRARL	6	0.289	0.049	0.050	0.662	0.459	0.057	0.058
กระจกสีเขียวติดฟิล์ม RE50SLARL	6	0.267	0.048	0.052	0.685	0.410	0.054	0.060
กระจกสีเขียวติดฟิล์ม PNTHR50	6	0.305	0.044	0.040	0.651	0.421	0.046	0.049
กระจกใส 2 ชั้นติดฟิล์ม RE50NEARL	6	0.312	0.130	0.115	0.558	0.444	0.170	0.123
กระจกใส 2 ชั้นติดฟิล์ม RE50BRARL	6	0.380	0.105	0.075	0.515	0.470	0.131	0.085
กระจกใส 2 ชั้นติดฟิล์ม RE50SLARL	6	0.354	0.104	0.074	0.542	0.419	0.128	0.081
กระจกใส 2 ชั้นติดฟิล์ม PNTHR50	6	0.417	0.098	0.073	0.486	0.430	0.120	0.072