การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษาการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม

A Study on Thermal Energy Transmission of Glass Windows and Glass Windows with Films

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

บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาคุณลักษณะของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มในแง่ของการส่งผ่านพลังงานความร้อน กระจกแบบต่างๆ อันได้แก่ กระจกใส กระจกสี กระจกสะท้อนแสง กระจก 2 ชั้น กระจก low-E ถูกนำมาศึกษา ฟิล์มชนิดต่างๆ ที่มีคุณลักษณะทาง optic ต่างกันถูกนำมาศึกษาและนำไปติดกับหน้าต่างกระจก การวิเคราะห์กระทำโดยอ้างอิงกับสภาวะภูมิอากาศออกแบบที่ถูกคัดเลือกจากข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครจำนวน 12 ปี ค่าความร้อนสัมพัทธ์ (Relative Heat Gain) ถูกเลือกมาเป็นค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อน ค่าดัชนีดังกล่าวจะสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลจากการนำความร้อน และส่วนที่เป็นผลจากการส่งรังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจก จากการศึกษาจะพบว่าสำหรับหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มทุกชนิดที่วิเคราะห์จะมีค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนในส่วนที่เป็นผลจากรังสีแสงอาทิตย์นั้นสูงกว่าค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนในส่วนที่มีผลจากการนำความร้อนผ่านกระจกมาก หน้าต่างกระจกสะท้อนแสงและหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีกระจกสะท้อนแสงอยู่ด้านนอกจะมีค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนน้อยที่สุด การติดฟิล์มกับหน้าต่างกระจกจะส่งผลให้ความร้อนจากการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ลดลงบ้างตามคุณสมบัติของฟิล์ม แต่จะมีผลต่อการนำความร้อนน้อยมาก และค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนจะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีเป็นสมการเชิงเส้น ในขณะที่ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนดังกล่าวจะแปรผกผันกับค่าดูดกลืนรังสีเป็นสมการเชิงเส้น

Abstract

. This article is about a study on the properties of glass window and glass window with film of different types in aspect of thermal energy transmission. Different types of glass window; clear glass, tinted glass, reflective glass, double pane glass, and low e coated glass are investigated. Films with different optical properties are studied and adhered to the glass windows. The analysis is done based on the outside weather condition which selected from 12 years of Bangkok meteorological data. Relative heat gain (RHG) is selected as the thermal energy transmission index. The index can be divided into two parts. The first part is the heat gain due to conduction. The second part is the heat gain due to solar radiation. The analysis indicates that the relative heat gain due to solar radiation for all of the glass windows and glass windows with films considered are higher than the relative heat gain due to conduction. The single pane and double panes of the reflective glass have the lowest relative heat gain values. Adhered film to the glass window shall result in lowering the relative heat gain due to solar radiation in the amount corresponding to the film property. But the film has very few effects on the relative heat gain due to conduction. The relative heat gain shall vary linearly with the transmittance of the glass windows and glass window with films. The relative heat gain shall also vary inversely with the absorptance of glass windows and glass window with films in a linear fashion.

1. บทนำ

อาคารสำนักงานและอาคารพาณิชย์ส่วนใหญ่ในประเทศไทยมักนิยมติดตั้งหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มจำนวนมากเป็นกรอบอาคาร เนื่องจากกระจกและกระจกติดฟิล์มมีข้อเด่นตรงที่ทำให้อาคารดูสวยงาม และยังช่วยให้ผู้อยู่อาศัยสามารถเห็นทิวทัศน์ภายนอกต่างๆ อย่างชัดเจน นอกจากนั้นกรอบอาคารที่เป็นกระจกยังใช้ประโยชน์ในการแสดงสินค้า แต่เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตรและมีอากาศร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี ดังนั้นนอกจากผลดีในแง่ความรู้สึกเกี่ยวกับเรื่องทิวทัศน์และความสวยงามแล้ว กระจกยังทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรง ก่อให้เกิดการส่งผ่านความร้อนปริมาณมากเข้าสู่อาคาร ทำให้เกิดเป็นภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศต้องกำจัดออกจากอาคารเพื่อรักษาสภาวะภายในให้อยู่ในสภาพที่ยอมรับได้ ดังนั้นความเข้าใจในคุณสมบัติและสมรรถนะของการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจกและกระจก

ติดฟิล์มจึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการเลือกใช้กรอบอาคารที่เหมาะสม บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม

2. ดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อน

หน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มที่รับแสงอาทิตย์โดยตรงจะรับความร้อนเข้าสู่อาคารอยู่ในรูปผลรวมของความร้อนจากการส่งรังสีแสงอาทิตย์แบบตรงและแบบกระจายผ่านกระจกและกระจกติดฟิล์ม กับความร้อนจากผิวด้านในของกระจกและกระจกติดฟิล์มที่เกิดจากการแผ่รังสีและการพาความร้อน ซึ่งจะสามารถเขียนได้เป็น [1]

$$q_A = E_D\tau_D + E_d\tau_d + q_{Rci} \quad (1)$$

โดยที่

q_A = ค่าความร้อนผ่านกระจกและกระจกติดฟิล์ม, W/m^2

$E_D\tau_D$ = ค่าการส่งความร้อนผ่านกระจกจากรังสีแสงอาทิตย์แบบตรง, W/m^2

$E_d\tau_d$ = ค่าการส่งความร้อนผ่านกระจกจากรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย , W/m^2

q_{Rci} = ค่าความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากผลของการแผ่รังสีและการพาความร้อนจากผิวด้านในของกระจกและกระจกติดฟิล์ม, W/m^2

ซึ่งสมการที่ 1 อาจจะสามารถเขียนใหม่โดยจัดรูปแบ่งเป็นความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีผ่านกระจกและกระจกติดฟิล์มกับความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจกและกระจกติดฟิล์ม และส่วนของการแผ่รังสีผ่านกระจกและกระจกติดฟิล์มยังสามารถเขียนแยกออกได้เป็น ความร้อนจากการส่งผ่านรังสีและความร้อนจากรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ในกระจกและกระจกติดฟิล์ม ดังนั้นค่าความร้อนผ่านกระจกและกระจกติดฟิล์มจะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น [1]

$$q_A = E_t\,\tau + N_i(\alpha E_t) + U\,(t_0 - t_i) \quad (2)$$

โดยที่ E_t = รังสีแสงอาทิตย์แบบรวม, W/m^2

τ = ค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม

α = ค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม

N_i = สัดส่วนของค่าความร้อนที่ถูกดูดกลืนในกระจกและกระจกติดฟิล์มที่ถูกถ่ายเทเข้าสู่ด้านใน

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, $W/(m^2\text{-}^\circ C)$

t_0 = อุณหภูมิอากาศภายนอก, $^\circ C$

t_i = อุณหภูมิอากาศภายใน, $^\circ C$

ในทางปฏิบัติสมการที่ 2 จะถูกทำให้ใช้งานง่ายขึ้นโดยจัดให้เขียนใหม่อยู่ในรูปของ [1]

$$q_A = SC\,x\,SHGF + U\,(t_0 - t_i) \quad (3)$$

โดยที่ SC = ค่าสัมประสิทธิ์บังเงา (shading coefficient)

$SHGF$ = แฟคเตอร์ความร้อนเพิ่มจากแสงอาทิตย์ (solar heat gain factor), W/m^2

ในการศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของการส่งผ่านความร้อนของกระจกและกระจกติดฟิล์มชนิดต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบเดียวกัน เพื่อนำไปเป็นเกณฑ์ในการเลือกชนิดหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มชนิดต่างๆ ในแง่การถ่ายเทความร้อน ค่าความร้อนที่ผ่านเข้าสู่กรอบอาคารภายใต้เงื่อนไขการออกแบบที่กำหนดจะถูกเรียกว่า ค่าความร้อนสัมพัทธ์ (Relative heat gain, RHG) ซึ่งจะถูกกำหนดเป็นดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนในการศึกษานี้ และสามารถเขียนได้เป็น [1]

$$RHG = SC\,x\,SHGF + U\,(t_0 - t_i) \quad (4)$$

3. เงื่อนไขสภาวะภูมิอากาศออกแบบ

ในการคำนวณค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อน (Relative heat gain) จำเป็นต้องใช้ค่าสภาวะภูมิอากาศภายนอกและภายในเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการที่ 4 ซึ่งสำหรับในการศึกษานี้จะทำการเลือกค่าสภาวะภูมิอากาศภายนอกจากข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครจำนวน 12 ปี (พ.ศ. 2531 ถึง พ.ศ. 2542) การคัดเลือกดำเนินการโดยพิจารณาหาค่าข้อมูลวันออกแบบจากวันที่มีค่ารังสีแสงอาทิตย์แบบรวมสูงสุดที่มีโอกาสเป็นไปได้ 0.4% ของข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมทั้งปี การคัดเลือกเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่ ASHRAE[2] ใช้ รายละเอียดในการคัดเลือกถูกแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง[6] [7] ค่าสภาวะภูมิอากาศภายนอกและภายในจะถูกกำหนดเป็น

ค่ารังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบกับหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม	658 W/m^2
ค่ารังสีกระจายที่ตกกระทบผิวหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม	111 W/m^2
ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอก	35 $^\circ C$
ค่าความเร็วลมภายนอก	3.8 m/s
ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายใน	25 $^\circ C$

และห้องที่จะใช้ทำการศึกษาการส่งผ่านพลังงานความร้อนจะถูกกำหนดให้มีขนาด 4เมตรx4เมตรx3เมตร โดยมีหน้าต่างกระจกเต็มบานอยู่ทางด้านทิศตะวันตก และมีผนังภายในอีก 3 ด้าน

4. การวิเคราะห์

หน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มที่จะทำการศึกษาในบทความนี้จะประกอบด้วย หน้าต่างกระจกใส หน้าต่างกระจกสีบรอนซ์ หน้าต่างกระจกสีเทา หน้าต่างกระจกสีเขียว หน้าต่างกระจกสะท้อนแสง ที่นำกระจกมาเคลือบสารสะท้อนแสง ได้แก่ หน้าต่างกระจกใสเคลือบสารสะท้อนแสง หน้าต่างกระจกสีบรอนซ์เคลือบสารสะท้อนแสง หน้าต่างกระจกสีเทาเคลือบสารสะท้อนแสง หน้าต่างกระจกสีเขียวเคลือบสารสะท้อนแสง หน้าต่างกระจก 2 ชั้นที่ประกอบด้วยกระจกขนาด 6 มม. 2 แผ่นโดยมีช่องอากาศขนาด 6 มม.คั่นกลาง ซึ่งกระจก 2 ชั้นดังกล่าวจะประกอบด้วย กระจกแผ่นในเป็นกระจกใส กระจกแผ่นนอกเป็นกระจกใส กระจกสีบรอนซ์ กระจกสีเทา กระจกสีเขียว กระจกใสสะท้อนแสง กระจกสีบรอนซ์สะท้อนแสง กระจกสีเทาสะท้อนแสง กระจกสีเขียวสะท้อนแสง กระจกใสเคลือบสาร low E (low emittance) กระจกสีบรอนซ์เคลือบสาร low E กระจกสีเทาเคลือบสาร low E และกระจกสีเขียวเคลือบสาร low E นอกจากนั้นในการศึกษานี้ยังทำการวิเคราะห์ฟิล์มอีก 4 ชนิด ที่มีคุณสมบัติทาง optic ที่แปรตามความยาวคลื่นต่างๆ กันไปนำมาติดกับหน้าต่างกระจกที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น และทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจก

ติดฟิล์มดังกล่าว ฟิล์มที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ฟิล์มในกลุ่ม REXXNEARL REXXBRARL REXXSLARL และ PNTHRXX ฟิล์มกลุ่ม REXXNEARL เป็นฟิล์มสี neutral ฟิล์มกลุ่ม REXXBRARL เป็นฟิล์มสีบรอนซ์ ฟิล์มกลุ่ม REXXSLARL เป็นฟิล์มสีเทาอมน้ำเงิน และฟิล์มกลุ่ม PNTHRXX เป็นฟิล์มสี neutral แบบไม่สะท้อนรังสี

จะเห็นได้ว่าในการคำนวณหาค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มนั้น จำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา และค่าแฟคเตอร์ความร้อนเพิ่มจากแสงอาทิตย์ของกระจกและกระจกติดฟิล์มแต่ละชนิดภายใต้สภาวะภูมิอากาศออกแบบ สำหรับการหาค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกติดฟิล์มนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลคุณสมบัติทาง optic ของกระจกตัวเปล่า และของฟิล์มตัวเปล่าที่แปรตามความยาวคลื่น และใช้วิธีคำนวณตามที่ Rubin [3] เสนอ เพื่อให้ได้ค่าคุณสมบัติทาง optic ของกระจกภายหลังที่ได้ถูกติดฟิล์ม แล้วจึงใช้ข้อมูลดังกล่าวภายใต้สภาวะการออกแบบที่กำหนดทำการคำนวณค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนค่าอื่นๆ ที่จำเป็นในการคำนวณหาค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม โดยใช้วิธีการที่เสนอโดย Finalayson et al [4] วิธีดังกล่าวได้ถูกนำเสนอในโปรแกรม WINDOW 4.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกที่พัฒนาโดย Windows and Daylighting Group, Lawrence Berkeley Laboratory และได้มีการยืนยันผลเฉลยกับการทดสอบจนได้รับการยอมรับในความแม่นยำ ข้อมูลทาง optic ของกระจกตัวเปล่าชนิดต่างๆ และฟิล์มซึ่งเป็นของบริษัท 3M นั้นนำมาจากแฟ้มข้อมูลจากโปรแกรม WINDOW 4.1 และโปรแกรม OPTIC5.02[5]

ในการศึกษานี้ คณะผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาช่วยในการคำนวณหาคุณสมบัติเชิง optic ของกระจกติดฟิล์ม ค่าตัวแปรอื่นๆที่จำเป็น และค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจกและกระจกติดฟิล์มต่างๆ ตามวิธีการคำนวณที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายผลเฉลย รายละเอียดตัวโปรแกรมและการตรวจสอบแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง [7]

5. ผลการวิเคราะห์

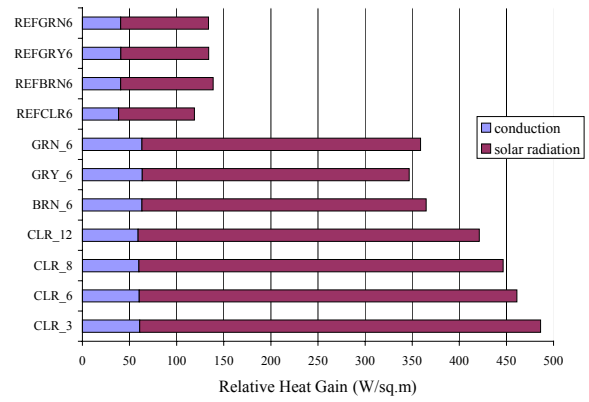
ผลจากการวิเคราะห์ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1 และในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 5 ตารางที่ 1 จะแสดงถึงชนิดของกระจกและกระจกติดฟิล์ม ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าการส่งผ่านรังสี ค่าการดูดกลืนรังสี ค่าสัมประสิทธิ์บังเงา ภายใต้สภาวะการออกแบบ โดยที่ CLR จะหมายถึงกระจกใส BRN จะหมายถึงกระจกสีบรอนซ์ GRY จะหมายถึงกระจกสีเทา GRN จะหมายถึงกระจกสีเขียว ตัวเลขที่ตามหลังชื่อกระจกจะเป็นความหนาของกระจก ส่วนกระจกที่มีตัวอักษร REF นำหน้าจะหมายถึงกระจกสะท้อนแสงแบบต่างๆ Low E จะหมายถึงกระจกที่เคลือบสาร Low E (low emittance) สำหรับกระจก 2 ชั้น ชื่อกระจกที่อยู่นำหน้าจะเป็นกระจกแผ่นนอก และชื่อตามหลังจะเป็นกระจกแผ่นใน โดยที่กระจก 2 ชั้นทั้งหมดจะถูกคั่นกลางด้วยช่องอากาศขนาด 6 มม. และสำหรับกระจกที่ติดฟิล์มจะใช้ชื่อฟิล์มนำหน้าชื่อกระจก ฟิล์มจะถูกติดไว้ที่ผิวด้านในของกระจกแผ่นใน

โดยรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 5 จะแสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของความร้อนสัมพัทธ์ (Relative Heat Gain) กับชนิดของหน้าต่างและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม โดยที่ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนจะสามารถแบ่งออกได้เป็น ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากการนำความร้อน และค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ จากผลการศึกษาจะพบว่าในบรรดากระจกและกระจกติดฟิล์มที่พิจารณาทั้งหมดจะมีค่าค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์สูงกว่าค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนจากการนำความร้อนมาก รูปที่ 1 จะแสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกใสที่มีความหนาจาก 3 มม. ถึง 12 มม.และของกระจกสีบรอนซ์ สีเทา สีเขียว กระจกใสสะท้อนแสง กระจกสีบรอนซ์สะท้อนแสง กระจกสีเทาสะท้อนแสง กระจกสีเขียวสะท้อนแสง จะพบว่ากระจกใสให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนสูงสุด และเมื่อกระจกหนาขึ้นค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนก็จะลดลง และกระจกสะท้อนแสงจะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนต่ำกว่ามาก รูปที่ 2 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจก 2 ชั้น จะพบว่ากระจก 2 ชั้นจะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนต่ำกว่ากระจกแบบเดียวกันที่มีชั้นเดียว และกระจกใส 2 ชั้นยังคงให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนสูงสุด ในขณะที่กระจก 2 ชั้นที่มีกระจกสะท้อนแสงเป็นกระจกแผ่นนอกจะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนต่ำสุด รูปที่ 3 และรูปที่ 4 จะแสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจกชั้นเดียวติดฟิล์มชนิดต่างๆ ในขณะที่รูปที่ 5 จะแสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจกใส 2 ชั้นติดฟิล์มชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่าหน้าต่างกระจกที่ติดฟิล์มส่วนใหญ่จะมีค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนต่ำกว่าหน้าต่างกระจกชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ติดฟิล์ม แต่ขนาดของการลดจะขึ้นกับชนิดและคุณสมบัติเชิงความร้อนของฟิล์มแต่ละชนิด ในการศึกษานี้จะเห็นว่าฟิล์มชนิด RE20NEARL จะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนต่ำกว่าฟิล์มชนิดอื่น และฟิล์มชนิด PNTHRXX จะลดค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับกระจกชนิดเดียวกัน สาเหตุเพราะฟิล์มชนิด PNTHRXX จะมีคุณสมบัติในการลดแสงสว่างได้มากในขณะที่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านในปริมาณสูง ในขณะที่ฟิล์มชนิด REXXNEARL จะมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงสว่างและความร้อนผ่านค่อนข้างคงที่ตลอดความยาวคลื่น รูปที่ 6 แสดงถึง ตัวอย่างของค่าการส่งผ่านรังสีของฟิล์มตลอดความยาวคลื่น โดยที่ความยาวคลื่นในช่วง 0.36 ถึง 0.76 ไมครอน จะถือว่าเป็นช่วงการมองเห็น (visible range) และช่วงตั้งแต่ 0.76 ถึง 3.5 ไมครอนจะเป็นช่วงการแผ่รังสีความร้อนคลื่นยาว รายละเอียดดูในเอกสารอ้างอิง [7] การเลือกฟิล์มจึงต้องรู้ถึงคุณสมบัติทาง optic ที่แปรตามความยาวคลื่นเพื่อจะได้เลือกใช้ได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ นอกจากนั้นในการศึกษานี้ยังได้ทำการหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทาง optic ของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มกับค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อน รูปที่ 7 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนกับค่าการส่งผ่านรังสีของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม ซึ่งจะพบว่าความสัมพันธ์แปรเป็นเชิงเส้น โดยสามารถแบ่งเป็นหน้าต่างกระจก 4 กลุ่ม หน้าต่างกระจกกลุ่มที่ 1 จะ

หมายถึง กระจกใสและกระจกสี 1 ชั้นทั้งที่ติดฟิล์มและไม่ติดฟิล์ม รวมทั้งกระจก 2 ชั้นที่ไม่ติดฟิล์ม หน้าต่างกระจกกลุ่มที่ 2 จะหมายถึงกระจก 2 ชั้นที่ติดฟิล์ม หน้าต่างกระจกชุดที่ 3 จะหมายถึง กระจก low E 2 ชั้น หน้าต่างกระจกชุดที่ 4 จะหมายถึงกระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นและ 2 ชั้น จะเห็นได้ว่ากระจกและกระจกติดฟิล์มส่วนใหญ่จะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนสูงถ้ามีค่าการส่งผ่านรังสีสูง ยกเว้นกระจกสะท้อนแสง ซึ่งโดยตัวมันเองจะมีค่าการส่งผ่านรังสีต่ำอยู่แล้ว (มีค่าการสะท้อนรังสีสูง) ในรูปที่ 8 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนกับค่าการดูดกลืนรังสีของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม ซึ่งจะพบว่าความสัมพันธ์แปรผกผันเป็นเชิงเส้น และจะเห็นได้ว่ากระจกและกระจกติดฟิล์มส่วนใหญ่จะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนสูงถ้ามีค่าการดูดกลืนรังสีต่ำ ยกเว้นกระจกสะท้อนแสง และกระจก Low E

6. สรุป

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่า ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนขึ้นกับชนิดของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มเป็นอย่างมาก สำหรับกระจกตัวเปล่าที่พิจารณานั้น กระจกสะท้อนแสง 1 ชั้นและ 2 ชั้นจะให้ค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนต่ำสุด และการติดฟิล์มกรองแสงช่วยลดค่าการส่งผ่านความร้อนได้มากพอควรขึ้นกับชนิดของฟิล์มและชนิดของกระจก และตัวกำหนดชนิดของกระจกและกระจกติดฟิล์มที่มีผลต่อการส่งผ่านพลังงานความร้อนคือ ค่าการส่งผ่านรังสีและค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม ดังนั้นในการเลือกกระจกและกระจกติดฟิล์มมาเป็นกรอบอาคารจึงจำเป็นต้องทำการพิจารณาคุณสมบัติทาง optic และคุณสมบัติเชิงความร้อนของกระจกและกระจกติดฟิล์มอย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ได้กรอบอาคารที่มีประสิทธิภาพ แต่นอกเหนือจากการพิจารณาในเรื่องการส่งผ่านความร้อนแล้ว ผู้ใช้หรือเจ้าของอาคารควรพิจารณาสมรรถนะของกระจกและกระจกติดฟิล์มในแง่ของความสบายเชิงความร้อน [6] [7] และสมรรถนะในด้านการส่องสว่างประกอบไปด้วย เพื่อจะได้ตัดสินใจเลือกใช้กระจกและกระจกติดฟิล์มชนิดต่างๆ มาเป็นกรอบอาคารได้อย่างเหมาะสมโดยได้คำนึงถึงการพิจารณาด้านความสวยงาม ด้านการส่งผ่านพลังงานความร้อนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และด้านความสบายเชิงความร้อนด้วย



รูปที่ 1 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจก 1 ชั้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณในการสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

[1] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Fundamentals. USA, 1997, chapter 29, 29.1-29.51

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

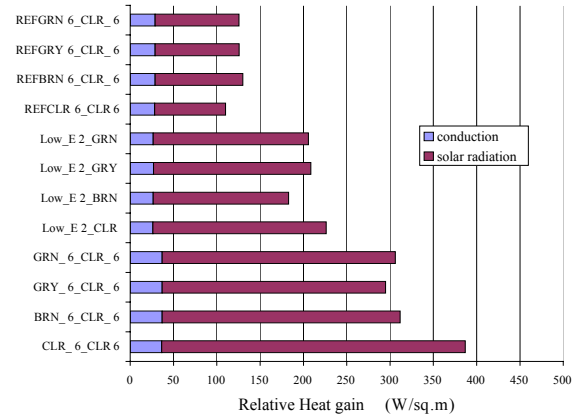
[3] Rubin, M., Rottkay, K.V., and Powles, R. “Window optics,” Solar Enegy, vol. 62, 1988, 149-161

[4] 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.

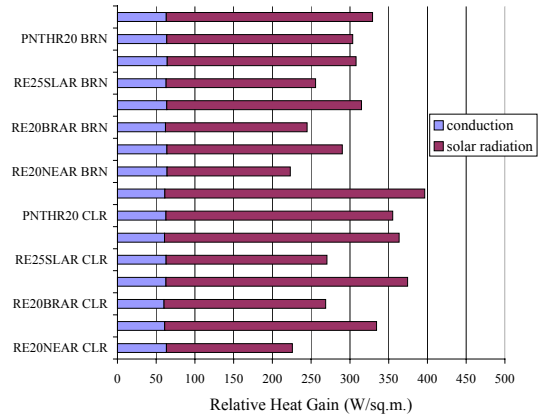
[5] Windows and Daylighting Group, Lawrence Berkeley National laboratory, “Optic5,” URL:http//windows.lbl.gov /materials/optic5/

[6] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ นพรัตน์ คำพร บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ และ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธ์. “การศึกษาหน้าต่างกระจกในแง่ความสบายเชิงความร้อน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 14-16 ตุลาคม พ.ศ. 2545 จังหวัดภูเก็ต, หน้า 90-95

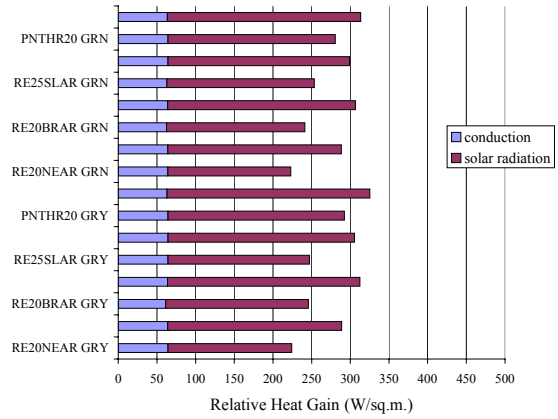
[7] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธ์ นพรัตน์ คำพร และ บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ รายงานฉบับสมบูรณ์ “การวิเคราะห์ดัชนีของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มของอาคารภายใต้ภาวะภูมิอากาศของประเทศไทยในแง่ความสบายและการส่งผ่านพลังงานความร้อน,” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย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



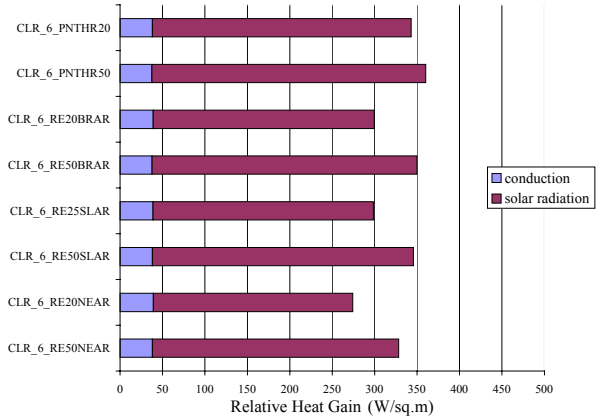
รูปที่ 2 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจก 2 ชั้น



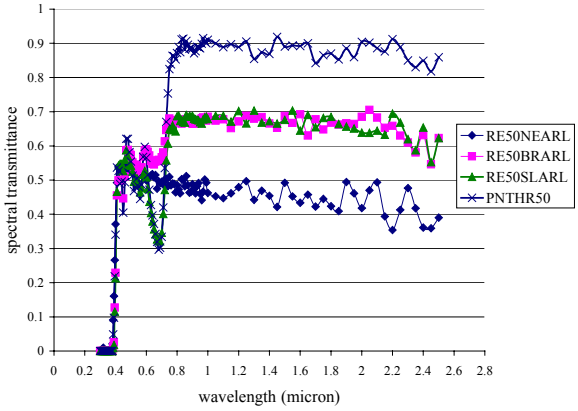
รูปที่ 3 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจกติดฟิล์ม



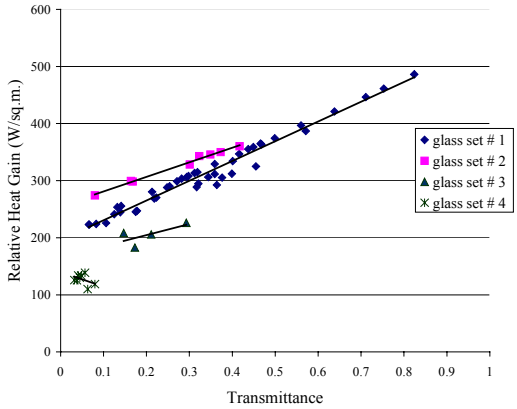
รูปที่ 4 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจกติดฟิล์ม



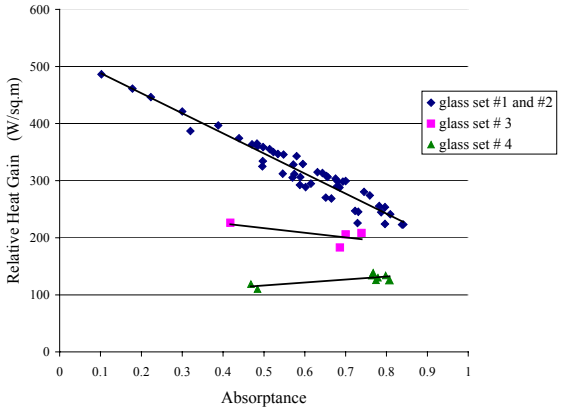
รูปที่ 5 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของกระจก 2 ชั้นติดฟิล์ม



รูปที่ 6 แสดงถึงค่าการส่งผ่านรังสีที่แปรตามความยาวคลื่นของฟิล์ม



รูปที่ 7 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนกับค่าการส่งผ่านรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม



รูปที่ 8 แสดงถึงค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนกับค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกและกระจกติดฟิล์ม

ตารางที่ 1 แสดงถึงคุณสมบัติทาง optic คุณสมบัติเชิงความร้อน และค่าดัชนีการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจก และหน้าต่างกระจกติดฟิล์มชนิดต่างๆ

T = transmittance ของกระจกและกระจกติดฟิล์ม , A =absorptance ของกระจกและกระจกติดฟิล์ม , U อยู่ในหน่วย W/m^2-°C

ชนิด	U	T	A	SC	ชนิด	U	T	A	SC
CLR_3	6.07	0.824	0.102	0.990	RE50SLAR_GRY	6.43	0.289	0.664	0.560
CLR_6	6.03	0.753	0.178	0.932	PNTHR20_GRY	6.43	0.248	0.711	0.531
CLR_8	5.99	0.711	0.223	0.899	PNTHR50_GRY	6.31	0.346	0.610	0.609
CLR_12	5.90	0.638	0.300	0.842	RE20NEAR_GRN	6.41	0.067	0.838	0.370
BRN_6	6.30	0.466	0.483	0.702	RE50NEAR_GRN	6.40	0.248	0.685	0.521
GRY_6	6.35	0.416	0.534	0.659	RE20BRAR_GRN	6.23	0.125	0.809	0.416
GRN_6	6.32	0.449	0.498	0.687	RE50BRAR_GRN	6.39	0.294	0.656	0.564
REFCLR6	3.84	0.080	0.468	0.187	RE25SLAR_GRN	6.28	0.132	0.796	0.444
REFBRN6	4.05	0.057	0.767	0.228	RE50SLAR_GRN	6.44	0.271	0.680	0.545
REFGRY6	4.07	0.041	0.798	0.217	PNTHR20_GRN	6.43	0.213	0.745	0.503
REFGRN6	4.05	0.048	0.764	0.217	PNTHR50_GRN	6.34	0.312	0.643	0.581
RE20NEAR_CLR	6.31	0.106	0.729	0.378	CLR_6_CLR_6	3.62	0.571	0.320	0.816
RE50NEAR_CLR	6.09	0.401	0.497	0.636	BRN_6_CLR_6	3.69	0.359	0.574	0.639
RE20BRAR_CLR	6.00	0.218	0.665	0.485	GRY_6_CLR_6	3.70	0.321	0.615	0.599
RE50BRAR_CLR	6.26	0.499	0.439	0.725	GRN_6_CLR_6	3.69	0.344	0.589	0.626
RE25SLAR_CLR	6.27	0.223	0.651	0.483	LOW_E_CLR	2.62	0.293	0.418	0.465
RE50SLAR_CLR	6.06	0.468	0.471	0.705	LOW_E_BRN	2.65	0.173	0.686	0.364
PNTHR20_CLR	6.24	0.437	0.514	0.681	LOW_E_GRY	2.69	0.147	0.739	0.422
PNTHR50_CLR	6.13	0.560	0.388	0.780	LOW_E_GRN	2.66	0.211	0.700	0.417
RE20NEAR_BRN	6.40	0.066	0.841	0.370	REFCLR6_CLR_6	2.81	0.063	0.484	0.191
RE50NEAR_BRN	6.39	0.254	0.679	0.527	REFBRN6_CLR_6	2.88	0.045	0.779	0.236
RE20BRAR_BRN	6.20	0.139	0.787	0.425	REFGRY6_CLR_6	2.88	0.032	0.807	0.226
RE50BRAR_BRN	6.36	0.319	0.631	0.585	REFGRN6_CLR_6	2.87	0.038	0.774	0.225
RE25SLAR_BRN	6.27	0.141	0.782	0.449	CLR_6_RE20NEAR	3.93	0.080	0.759	0.546
RE50SLAR_BRN	6.42	0.298	0.653	0.567	CLR_6_RE50NEAR	3.81	0.301	0.572	0.675
PNTHR20_BRN	6.37	0.282	0.675	0.558	CLR_6_RE20BRAR	3.89	0.164	0.700	0.606
PNTHR50_BRN	6.30	0.359	0.595	0.619	CLR_6_RE50BRAR	3.78	0.373	0.523	0.726
RE20NEAR_GRY	6.44	0.058	0.864	0.372	CLR_6_RE25SLAR	3.89	0.168	0.693	0.604
RE50NEAR_GRY	6.39	0.248	0..688	0.523	CLR_6_RE50SLAR	3.80	0.349	0.548	0.716
RE20BRAR_GRY	6.14	0.122	0.814	0.428	CLR_6_PNTHR20	3.82	0.323	0.580	0.709
RE50BRAR_GRY	6.37	0.310	0.642	0.578	CLR_6_PNTHR50	3.76	0.417	0.484	0.750
RE25SLAR_GRY	6.42	0.125	0.809	0.425					

หมายเหตุ CLR = clear glass BRN = Bronze glass GRY = Gray glass GRN = Green glass REF = reflective glass REXXNEAR =ฟิล์ม REXXBRAR = ฟิล์ม REXXSLAR = ฟิล์ม PNTHRXX = ฟิล์ม LOW_E = low-e glass

CLR_6 = clear glass of 6 mm. CLR_6_CLR = double glass made of clear glass with 6 mm. air gap

SC= shading coefficient