การศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มสำหรับหน้าต่างกระจกแบบชั้นเดียวของอาคาร ในแง่ของความสบายเชิงความร้อน

A Study of Films for Building's Single Pane Glass Windows in Aspect of Thermal Comfort

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์[1*] นพรัตน์ คำพร[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ. พญาไท กรุงเทพมหานคร 10330
โทร. 0-2218-6610 โทรสาร. 0-2252-2889 Email: fmescy@eng.chula.ac.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ถ. เพรชเกษม กรุงเทพมหานคร 10160
โทร. 0-2457-0068 ต่อ 121 โทรสาร. 0-2457-3982 Email: nopparat.k@siam.edu

Somsak Chaiyapinunt[1*] Nopparat Khamporn[2]
[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai, Bangkok 10330
Tel. 0-2218-6610 Fax. 0-2252-2889 Email: fmescy@eng.chula.ac.th
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University, Petchkasem, Bangkok 10160
Tel. 0-2457-0068 ต่อ 121 Fax. 0-2457-3982 Email: nopparat.k@siam.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาและการเลือกฟิล์มกรองแสงเพื่อใช้กับหน้าต่างกระจกแบบชั้นเดียวของอาคารที่มีชนิดและความหนาต่าง ๆ กัน การเลือกจะพิจารณาถึงความสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยใกล้กับหน้าต่างกระจกเพิ่มเติมขึ้นมานอกเหนือจากการพิจารณาข้อมูลคุณลักษณะเชิงแสง ความสามารถในการลดรังสีอัลตราไวโอเลตและการลดรังสีแสงอาทิตย์ของฟิล์มจากบริษัทผู้ผลิต การศึกษาพบว่าการจะหาค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์และค่าการดูดกลืนรังสีของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำหนดค่าความสบายเชิงความร้อนในรูปของค่า PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) นั้น จำเป็นต้องหาจากค่าอัตราส่วนระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็นต่อค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ และความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นกับชนิดของกระจกและความหนาของกระจกที่นำฟิล์มไปติด แต่จะไม่ขึ้นกับชนิดของฟิล์ม แต่เมื่อนำค่าที่ได้ไปทำการกำหนดค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน (PPD) กลับพบว่าในส่วนของค่า PPD ที่มีผลจากอุณหภูมิผิวจะแปรตามค่าการดูดกลืนรังสีและชนิดของฟิล์ม แต่กลับไม่แปรตามความหนาและชนิดของกระจก ส่วนค่า PPD จากผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงที่ตกกระทบต่อผู้อยู่อาศัยนั้นจะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีเป็นเชิงเส้นเพียงอย่างเดียว

Abstract

This paper describes a study and the selection of film for applying to the building's single pane glass window of different types and thickness. The selection will also consider on the thermal comfort condition of the occupants near the glass window besides the data of visible properties, the reduction in ultraviolet, and the solar reduction capacity from the film manufacturing. The study indicated that the solar transmittance and absorptance of the glass window with film, which are the parameters used in defining the thermal comfort index in terms of the PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), could be found from the ratio of the visible transmittance and the solar heat reduction. The relationships of such parameters are dependent on the type and the thickness of the glass windows and are not dependent on the types of the film. But when using the parameters obtained to define the thermal comfort index (PPD), it is found that the PPD due to the surface temperature effect is varied with the absorptance and the types of film but not the types and thickness of the glass windows. The PPD due to solar radiation effect directed on the occupants is varied linearly with the solar transmittance only.

1. บทนำ

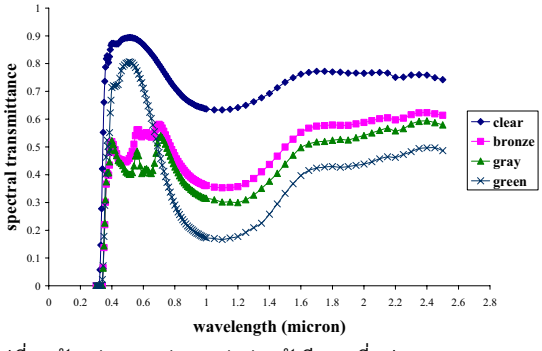
เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร อากาศร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อาคารขนาดใหญ่ไม่ว่าจะเป็นอาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ หรืออาคารที่อยู่อาศัยต่างต้องใช้เครื่องปรับอากาศในการให้ความเย็นเพื่อรักษาสภาพที่อยู่อาศัยให้มีอุณหภูมิภายในที่เหมาะสมและสะดวกสบาย (comfort) พลังงานของการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อนำเอาความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกรอบอาคารเข้ามาในอาคารทิ้งออกไปนั้นมีจำนวนมหาศาล และจากการที่ประเทศไทยได้มีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และกฎกระทรวงที่ออกตามพระราชบัญญัติดังกล่าว ที่ได้กำหนดค่ามาตรฐานของพลังงานความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารไว้เพื่อควบคุมไม่ให้อาคารที่เข้าข่ายควบคุมทั้งเก่าและที่จะสร้างใหม่นั้นมีกรอบอาคารที่ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารเกินค่าที่กำหนด ดังนั้นกรอบอาคารใดที่มีการส่งผ่านพลังงานความร้อนเกินค่าที่กำหนด เจ้าของอาคารจะต้องทำการปรับปรุงกรอบอาคารนั้นเพื่อทำให้การส่งผ่านพลังงานความร้อนอยู่ในค่าที่กำหนด การปรับปรุงกรอบอาคารอาจทำได้โดยนำฟิล์มกรองแสงมาติดเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติการส่งพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจก การเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงที่เหมาะสมเพื่อลดพลังงานความร้อนผ่านกรอบอาคารและรักษาความสบายเชิงความร้อนให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิง optic ที่แปรตามความยาวคลื่นของกระจกตัวเปล่า และของฟิล์มที่จะนำมาติด แต่ปัญหาก็คือ ค่าข้อมูลทางเทคนิคของฟิล์มกรองแสงที่มีขายในประเทศไทยมักจะมีน้อย และไม่พอเพียงในการที่จะนำไปใช้วิเคราะห์สมรรถนะของหน้าต่างกระจกภายหลังการติดตั้งฟิล์ม ข้อมูลที่ให้ก็มักจะอ้างอิงกับกระจกใสเพียงอย่างเดียว แต่ในความเป็นจริงหน้าต่างกระจกที่จำเป็นต้องติดฟิล์มจะมีกระจกหลายชนิดและหลายความหนา ดังนั้นบทความนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาวิธีการที่ใช้เลือกฟิล์มกรองแสงที่เหมาะสมไปใช้กับหน้าต่างกระจกแบบชั้นเดียวเพื่อลดการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยมีการพิจารณาความสบายเชิงความร้อนประกอบไปด้วย

2. สมรรถนะของหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม

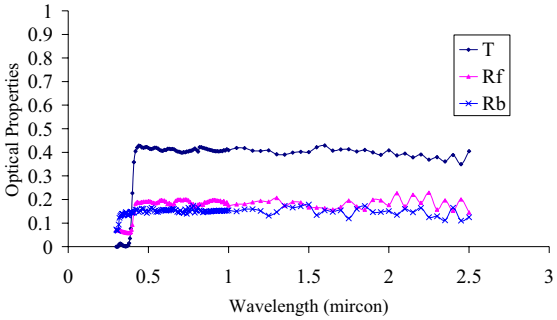
การวิเคราะห์ความสบายเชิงความร้อนของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มนั้นจำเป็นจะต้องรู้ค่าคุณสมบัติทาง optic ของหน้าต่างกระจกที่ติดฟิล์มที่แปรตามความยาวคลื่น ค่าคุณสมบัติที่จำเป็นต้องรู้ได้แก่ ค่าการส่งผ่านรังสี (transmittance) ค่าการดูดกลืนรังสี (absorptance) และค่าการสะท้อนรังสี (reflectance) ความยาวคลื่นที่จะพิจารณาจะแบ่งออกเป็น ช่วงการมองเห็น (visible range) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 360 ถึง 760 นาโนเมตร (.36 ถึง .76 ไมครอน) และช่วงรังสีอินฟาเรดที่มีค่าตั้งแต่ 760 นาโนเมตรขึ้นไปจนถึงประมาณ 3500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงการแผ่รังสีความร้อนคลื่นยาว และช่วงรังสีแสงอาทิตย์ (solar) จะเป็นช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 360 ถึง 2500 นาโนเมตร Chaiyapinunt et al.[1] ได้วิเคราะห์หาสมรรถนะของกระจกติดฟิล์มในแง่ความสบายเชิงความร้อนและการส่งถ่ายความร้อน โดยการใช้ค่าคุณสมบัติทาง optic ที่แปรตามความยาวคลื่นของกระจกติดฟิล์ม และค่าดัชนีของความสบายเชิงความร้อนที่เลือกใช้คือ ค่า Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)[2] และค่าดังกล่าวจะสามารถแบ่งออกเป็นค่า PPD ที่เกิดจากผลการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ และค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจก และยังพบว่าค่า PPD ที่เกิดจากผลการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์นั้นจะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์ของกระจกติดฟิล์ม และค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจกจะแปรตามค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์ม ในการศึกษานั้น Chaiyapinunt et al.[1] ใช้ฟิล์มจำนวน 14 ชนิด กับกระจกชั้นเดียว (กระจกใส กระจกสีบรอนซ์ กระจกสีเทา และกระจกสีเขียว) ที่ความหนา 6 มม. โดยที่การศึกษานั้นไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์ และค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์มจากข้อมูลฟิล์มซึ่งไม่มีค่าคุณลักษณะเชิง optic ที่แปรตามความยาวคลื่นที่ทางบริษัทผู้ผลิตฟิล์มให้มา ในขณะที่ สมศักดิ์และนพรัตน์[3] ได้ศึกษาและพัฒนาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลือกฟิล์มกรองแสงโดยใช้ได้เฉพาะกับกระจกใสหนา 6 มม. และใช้ฟิล์มทั้งหมด 47 ชนิด (จาก library ของโปรแกรม optic5[4]) การพิจารณากระทำโดยตรวจสอบคุณลักษณะของการส่งผ่านรังสีและการสะท้อนรังสีที่แปรตามความยาวคลื่นของฟิล์มแต่ละชนิดและทำการจับกลุ่มของฟิล์มที่มีลักษณะของคุณสมบัติที่มีความคล้ายคลึงกัน ในการศึกษาจะสามารถจับกลุ่มได้ 6 กลุ่ม ผลการศึกษาใช้ได้ดีในกรณีของกระจกใส 6 มม. แต่เมื่อนำเอาหลักการเดียวกันไปวิเคราะห์กับกระจกที่มีสีต่าง ๆ กัน และความหนาต่าง ๆ กัน พารามิเตอร์และความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาในกรณีของกระจกใส 6 มม.นั้นจะไม่แม่นยำ

3. การวิเคราะห์

ในการศึกษานี้จึงได้นำฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่มีจำหน่าย (จาก library ของโปรแกรม optic5[4]) มาพิจารณาใหม่ และได้ตัดฟิล์มซึ่งมีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานในประเทศเมืองร้อน (ให้ค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็น (visible transmittance) ต่ำมากแต่กลับมีค่าการส่งผ่านรังสีสูงมากในช่วงอินฟาเรด ซึ่งจะทำให้ฟิล์มประเภทนี้ยอมให้พลังงานความร้อนผ่านกระจกติดฟิล์มจำนวนมาก จึงเหมาะสำหรับประเทศเมืองหนาว) ออกไปเป็นจำนวน 5 ชนิด ทำให้มีฟิล์มที่จะทำการศึกษาอยู่ 42 ชนิด และจากนั้นจึงนำฟิล์มดังกล่าวมาแปะติดกับกระจกใส กระจกสีบรอนซ์ กระจกสีเทา และกระจกสีเขียว หนา 3 6 8 และ 12 มม. ทำให้มีจำนวนกระจกติดฟิล์มที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันถึง 672 ชิ้นที่ต้องทำการศึกษา รูปที่ 1 และ 2 จะแสดงถึงตัวอย่างของค่าคุณสมบัติเชิง optic ที่แปรตามความยาวคลื่นของกระจกตัวเปล่าและฟิล์มตัวเปล่า



รูปที่ 1 ตัวอย่างของค่าการส่งผ่านรังสี (*T*) ที่แปรตามความยาวคลื่นของกระจกสีต่าง ๆ กันที่ความหนา 6 มม.



รูปที่ 2 ตัวอย่างของค่าการส่งผ่านรังสี(*T*) การสะท้อนรังสีด้านหน้า(*Rf*) และการสะท้อนรังสีด้านหลัง(*Rb*)ที่แปรตามความยาวคลื่นของฟิล์มชนิดหนึ่ง

การหาค่าคุณสมบัติของหน้าต่างกระจกที่ติดฟิล์มจะกระทำโดยนำค่าคุณสมบัติเชิง optic ของกระจกตัวเปล่าและของฟิล์มมาวิเคราะห์ตามวิธีที่นำเสนอโดย Rubin et al.[5] และ Finalayson et al.[6] ซึ่งจากการวิเคราะห์ตามวิธีที่ได้กล่าวถึงจะทำให้ได้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระจกติดฟิล์ม อันได้แก่ ค่าการส่งผ่านรังสี ค่าการสะท้อนรังสี และค่าการดูดกลืนรังสีที่แปรตามความยาวคลื่น ค่าการส่งผ่านรังสี ค่าการสะท้อนรังสี และค่าการดูดกลืนรังสีในรูปรวมในช่วงการมองเห็นและในช่วงของรังสีแสงอาทิตย์ และค่าสัมประสิทธิ์บังเงา (shading coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าอุณหภูมิผิว การวิเคราะห์จะกระทำโดยอ้างอิงกับข้อมูลภูมิอากาศประเทศไทยตามเอกสารอ้างอิง [1]

4. ผลการวิเคราะห์

เมื่อได้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ แล้ว จึงนำค่าดังกล่าวมาประมวลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้นำไปคำนวณค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนต่อไป ค่าพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีประโยชน์ในการเลือกฟิล์มคือค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (solar heat reduction) ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

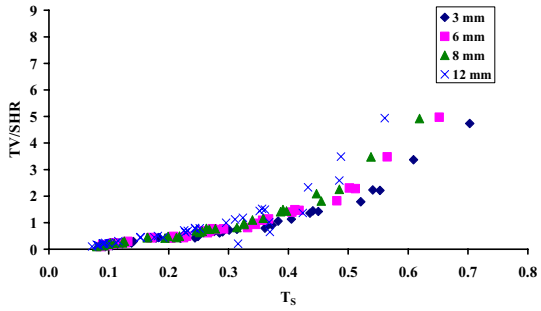
$$SHR = \frac{SC_{glass} - SC_{glass\ with\ film}}{SC_{glass}} \times 100 \quad \text{เปอร์เซ็นต์} \qquad (1)$$

โดยที่ *SHR* คือ solar heat reduction เปอร์เซ็นต์

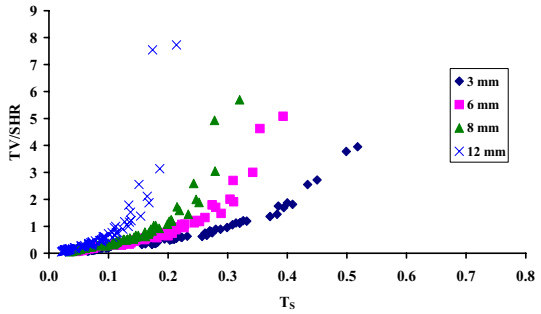
SC_{glass} คือ ค่าสัมประสิทธิ์บังเงาของกระจกตัวเปล่า

$SC_{glass\ with\ film}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์บังเงาของกระจกติดฟิล์ม

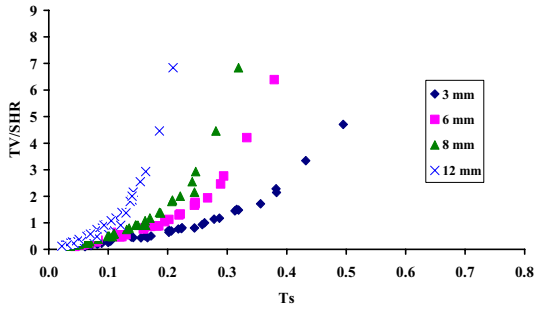
จากการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์อีกตัวที่มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์และค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์มคือ ค่าอัตราส่วนของการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็นกับค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ของกระจกติดฟิล์ม *(Tv/SHR)* ดังนั้นเมื่อนำเอาพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* มาพล็อตเทียบกับค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ (*Ts*) จะพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแปรตามชนิดของกระจกและความหนาของกระจกดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3 4 และ 5



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* กับค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ (*Ts*) ของกระจกใสติดฟิล์มทุกชนิดที่ความหนา 3 6 8 และ 12 มม

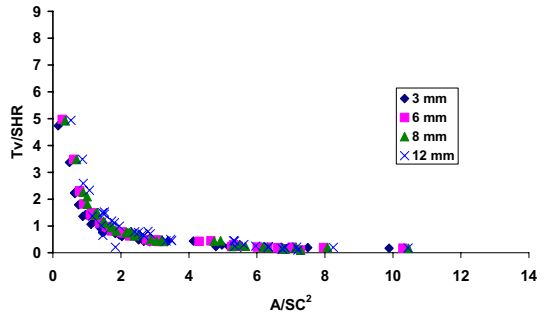


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* กับค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ (*Ts*) ของกระจกสีบรอนซ์และสีเทาติดฟิล์มทุกชนิดที่ความหนา 3 6 8 และ 12 มม

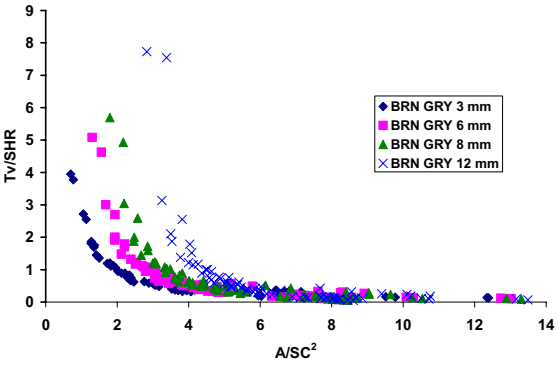


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* กับค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ (*Ts*) ของกระจกสีเขียวติดฟิล์มทุกชนิดที่ความหนา 3 6 8 และ 12 มม

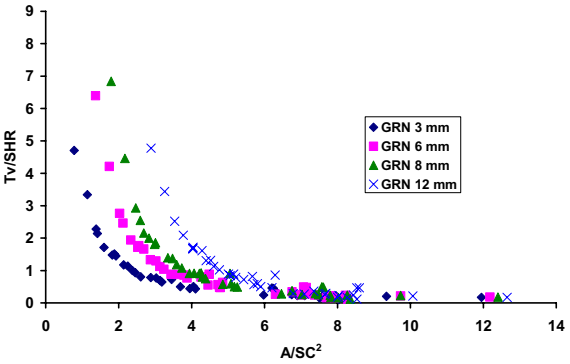
เมื่อนำเอาค่าอัตราส่วนของการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็นและค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ของกระจกติดฟิล์มทั้งหมด *(Tv/SHR)* มาพล็อตเทียบกับอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนรังสีกับค่าสัมประสิทธิ์การบังเงายกกำลังสอง (A/SC^2) จะพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแปรตามชนิดของกระจกและความหนาของกระจกดังที่แสดงไว้ใน รูปที่ 6 7 และ 8



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* กับอัตราส่วนค่าการดูดกลืนรังสีต่อค่าสัมประสิทธิ์บังเงายกกำลังสอง *(A/SC²)* ของกระจกใสติดฟิล์มทุกชนิดที่ความหนา 3 6 8 และ 12 มม



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* กับอัตราส่วนค่าการดูดกลืนรังสีต่อค่าสัมประสิทธิ์บังเงายกกำลังสอง *(A/SC²)* ของกระจกสีบรอนซ์และสีเทาติดฟิล์มทุกชนิดที่ความหนา 3 6 8 และ 12 มม



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ *(Tv/SHR)* กับอัตราส่วนค่าการดูดกลืนรังสีต่อค่าสัมประสิทธิ์บังเงายกกำลังสอง *(A/SC²)* ของกระจกสีเขียวติดฟิล์มทุกชนิดที่ความหนา 3 6 8 และ 12 มม

ความสัมพันธ์จากรูปที่ 3 ถึง 8 ทำให้สามารถเขียนความสัมพันธ์ในการกำหนดค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ และค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์มได้เป็น

กระจกใส 3 มม $T_S = 0.388 + 0.175\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (2)

$$\frac{A}{SC^2} = 1.2536\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.992} \quad (3)$$

กระจกใส 6 มม $T_S = 0.3553 + 0.161\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (4)

$$\frac{A}{SC^2} = 1.546\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.9015} \quad (5)$$

กระจกใส 8 มม $T_S = 0.337 + 0.1528\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (6)

$$\frac{A}{SC^2} = 1.7073\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.8554} \quad (7)$$

กระจกใส 12 มม $T_S = 0.326 + 0.1525\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (8)

$$\frac{A}{SC^2} = 1.8055\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.8427} \quad (9)$$

กระจกสีบรอนซ์และสีเทา 3 มม $T_S = 0.3077 + 0.1285\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (10)

$$\frac{A}{SC^2} = 1.9797\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.7568} \quad (11)$$

กระจกสีบรอนซ์และสีเทา 6 มม $T_S = 0.227 + 0.089\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (12)

$$\frac{A}{SC^2} = 2.833\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.565} \quad (13)$$

กระจกสีบรอนซ์และสีเทา 8 มม $T_S = 0.1844 + 0.07\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (14)

$$\frac{A}{SC^2} = 3.371\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.4733} \quad (15)$$

กระจกสีบรอนซ์และสีเทา 12 มม $T_S = 0.1208 + 0.043\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (16)

$$\frac{A}{SC^2} = 4.356\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.3420} \quad (17)$$

กระจกสีเขียว 3 มม $T_S = 0.270 + 0.1246\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (18)

$$\frac{A}{SC^2} = 2.451\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.7316} \quad (19)$$

กระจกสีเขียว 6 มม $T_S = 0.1953 + 0.0907\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (20)

$$\frac{A}{SC^2} = 3.4916\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.560} \quad (21)$$

กระจกสีเขียว 8 มม $T_S = 0.1641 + 0.0754\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (22)

$$\frac{A}{SC^2} = 4.018\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.4883} \quad (23)$$

กระจกสีเขียว 12 มม $T_S = 0.1078 + 0.0486\ln\left(\frac{T_V}{SHR}\right)$ (24)

$$\frac{A}{SC^2} = 4.892\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^{-0.3896} \quad (25)$$

โดยที่ A = ค่าการดูดกลืนรังสี (absorptance)

SHR = ค่าการลดลงของความร้อนจากแสงอาทิตย์ (solar heat reduction) (percent)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (shading coefficient)

Ts = ค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ (solar transmittance)

T_V = ค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ (visible transmittance

ในขณะเดียวกันข้อมูลคุณลักษณะของฟิล์มจากบริษัทผู้ผลิตมักเป็นข้อมูลที่อ้างอิงกับกระจกที่มีความหนา 3 มม ซึ่งทำให้อาจไม่มีข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ *Tv/SHR* และค่า *SC* ที่ความหนาอื่น การหาค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ (*Ts*) และค่าการดูดกลืนรังสี (*A*) อาจมีปัญหา ในการศึกษานี้จึงทำการพัฒนาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ความหนาต่าง ๆ กันของกระจกต่างชนิดกัน ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

กระจกใส

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{6mm} = 1.0419\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} - 0.0117 \quad (26)$$

$$SC_{6mm} = 0.9066SC_{3mm} + 0.0405 \quad (27)$$

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{8mm} = 1.0254\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} - 0.0021 \quad (28)$$

$$SC_{8mm} = 0.8458SC_{3mm} + 0.0659 \quad (29)$$

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{12mm} = 1.0363\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0048 \quad (30)$$

$$SC_{12mm} = 0.7491SC_{3mm} + 0.1067 \quad (31)$$

กระจกสีบรอนซ์และสีเทา

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{6mm} = 0.1039\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^2_{3mm} + 0.8412\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0154 \quad (32)$$

$$SC_{6mm} = 0.7279SC_{3mm} + 0.0964 \quad (33)$$

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{8mm} = 0.1721\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^2_{3mm} + 0.6773\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0417 \quad (34)$$

$$SC_{8mm} = 0.5891SC_{3mm} + 0.1428 \quad (35)$$

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{6mm} = 0.1532\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^3_{3mm} + 0.3853\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^2_{3mm} + 1.1748\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0797 \quad (36)$$

$$SC_{12mm} = 0.4049SC_{3mm} + 0.2031 \quad (37)$$

กระจกสีเขียว

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{6mm} = 0.0745\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^2_{3mm} + 1.007\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0186 \quad (38)$$

$$SC_{6mm} = 0.734SC_{3mm} + 0.0895 \quad (39)$$

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{6mm} = 0.0858\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^2_{3mm} + 1.0339\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0257 \quad (40)$$

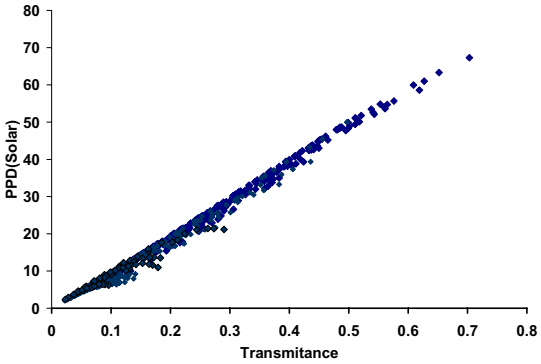
$$SC_{8mm} = 0.6274SC_{3mm} + 0.1294 \quad (41)$$

$$\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{6mm} = -0.0002\left(\frac{T_V}{SHR}\right)^2_{3mm} + 1.0007\left(\frac{T_V}{SHR}\right)_{3mm} + 0.0375 \quad (42)$$

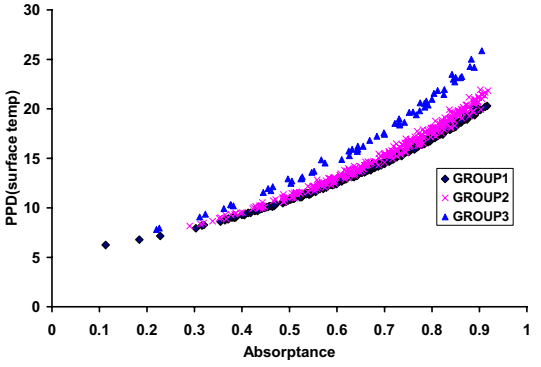
$$SC_{12mm} = 0.4168SC_{3mm} + 0.1988 \quad (43)$$

จากความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่ได้พัฒนามาพอสรุปได้ว่า ขั้นตอนในการเลือกใช้ฟิล์มสำหรับอาคารที่พิจารณาในแง่ความสบายเชิงความร้อน ซึ่งต้องการรู้ค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ และค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกที่ติดฟิล์มแต่ไม่มีข้อมูลดังกล่าว (เนื่องจากข้อมูลคุณสมบัติของกระจกติดฟิล์มที่มักถูกกำหนดให้จากบริษัทผู้ผลิตฟิล์มส่วนใหญ่จะมีเฉพาะค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็น และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาเท่านั้น) ก็คือ นำค่าสัมประสิทธิ์บังเงาของกระจกที่ติดฟิล์มไปทำการหาค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์จากสมการที่ 1 และจากนั้นจึงนำเอาค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่าอัตราส่วนของค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็นต่อค่าการลดลงของความร้อนจากแสงอาทิตย์ (*Tv/SHR*) นำไปหาค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงรังสีแสงอาทิตย์ และค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกที่ติดฟิล์มจากสมการที่ 2 ถึง 25 หรือ ใช้สมการที่ 26 ถึง 43 ช่วยในกรณีที่รู้ค่าคุณสมบัติของกระจกติดฟิล์มเฉพาะที่ความหนา 3 มม

จากค่าคุณลักษณะทางเชิง optic ของกระจกติดฟิล์มที่แปรตามความยาวคลื่นทั้งหมดและค่าอุณหภูมิผิวของกระจก สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่า PPD ที่เกิดจากผลการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์ และค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจกตามวิธีการและเงื่อนไขที่นำเสนอในเอกสารอ้างอิง [1] และนำผลมาพล็อตกับค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์และค่าการดูดกลืนรังสีดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PPD ที่เกิดจากผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์กับค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์ของกระจกติดฟิล์มทั้งหมดที่พิจารณา



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกับค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์มทั้งหมดที่พิจารณา

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ากระจกติดฟิล์มทั้งหมดจะมีค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อน ที่เป็นค่า PPD ที่เกิดจากผลการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์จะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์เป็นเชิงเส้น ในขณะที่รูปที่ 10 แสดงถึงค่า PPD ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิผิวกระจกจะแปรตามค่าการดูดกลืนรังสีกระจายตามกลุ่มฟิล์มอยู่ 3 กลุ่ม โดยจากการศึกษาพบว่าในจำนวนฟิล์ม 43 ชนิด ฟิล์มกลุ่มที่ 1 จะเป็นฟิล์มจำนวน 18 ชนิดซึ่งเมื่อนำไปติดกับกระจกแล้วค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกติดฟิล์มจะมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกตัวเปล่า ฟิล์มกลุ่มที่ 2 จะเป็นฟิล์มอีก

จำนวน 18 ชนิดซึ่งเมื่อนำไปติดกับกระจกแล้วค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกติดฟิล์มจะมีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกตัวเปล่าเล็กน้อย ในขณะที่ฟิล์มกลุ่มที่ 3 เป็นฟิล์มจำนวน 4 ชนิดซึ่งเมื่อนำไปติดกับกระจกแล้วค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกติดฟิล์มมีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกตัวเปล่ามากถึงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ตารางที่ 1 แสดงถึงกลุ่มฟิล์มทั้ง 3 กลุ่มที่มีชื่อตามแฟ้มข้อมูล optic [4]

ตารางที่ 1 กลุ่มฟิล์มทั้ง 3 กลุ่ม

ฟิล์มกลุ่มที่ 1	ฟิล์มกลุ่มที่ 2	ฟิล์มกลุ่มที่ 3
RE20NEAR_MMM	P18AR_MMM	P19AR_MMM
RE35NEAR_MMM	RE15SIX_MMM	LE30CUAR_MMM
RE50NEAR_MMM	NRMS_CPF	LE35AMAR_MMM
RE70NEAR_MMM	R20-CPF	LE50AMAR_MMM
S35NEAR_MMM	R50-CPF	
N1020G_CPF	V28_CPF	
N1035G_CPF	V38_CPF	
N1050G_CPF	N1020B_CPF	
NRM_CPF	N1035B_CPF	
V58_CPF	N1050B_CPF	
V33_CPF	R15GO_CPF	
V45_CPF	R15B_CPF	
RE20BRAR_MMM	R15BL_CPF	
RE35BRAR_MMM	R15G_CPF	
RE50BRAR_MMM	NV_15	
RE25SLAR_MMM	NV_25	
RE35SLAR_MMM	NV_35	
RE50SLAR_MMM	NV_45	

จากรูปที่ 9 และ 10 ค่าดัชนีความสบายสำหรับกระจกชั้นเดียวติดฟิล์มที่มีกระจกต่างชนิดและความหนาต่างกันจะสามารถเขียนได้เป็น

$$PPD(solar) = 98.853Ts - 1.0723 \quad (45)$$

ฟิล์มกลุ่มที่ 1 $$PPD(surface\ temp) = 5.40404e^{1.5239A} \quad (46)$$

ฟิล์มกลุ่มที่ 2 $$PPD(surface\ temp) = 5.1101e^{1.5598A} \quad (47)$$

ฟิล์มกลุ่มที่ 3 $$PPD(surface\ temp) = 5.3676e^{1.7082A} \quad (48)$$

โดย

$PPD(solar)$ = Predicted Percentage of Dissatisfied due to solar

$PPD(surface\ temp)$ = Predicted Percentage of Dissatisfied due to surface temperature

Ts = Solar transmittance

A = Absorptance

5. สรุป

บทความนี้ได้แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาวิธีการที่จะใช้เลือกฟิล์มกรองแสงซึ่งมีข้อมูลคุณสมบัติค่อนข้างจำกัดมาใช้กับหน้าต่างกระจกแบบชั้นเดียวของอาคารที่มีชนิดและความหนาต่างกันโดยมีการพิจารณาความสบายเชิงความร้อนประกอบไปด้วย ผลการศึกษาได้พัฒนาวิธีการเลือกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์บังเงาของหน้าต่างกระจกติดฟิล์มนำมาหาค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ และนำไปหาค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่าอัตราส่วนของการส่งผ่านรังสีในช่วงการมองเห็นกับค่าการลดลงของความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (*Tv/SHR*) และจากค่าดังกล่าวจึงนำไปใช้หาค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์และค่าการดูดกลืนรังสีของกระจกติดฟิล์มชนิดและความหนาที่ต่างกัน จากค่าคุณสมบัติทั้งสองค่าก็จะสามารถนำไปหาค่าดัชนีความสบายเชิงความร้อนของกระจกติดฟิล์มดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับฟิล์มอื่น ๆ เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการเลือกฟิล์มมาใช้กับอาคารนอกเหนือจากการพิจารณาในแง่การลดลงของการส่องสว่าง และการส่งผ่านความร้อน จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าค่า PPD ที่มีผลจากอุณหภูมิผิวจะแปรตามค่าการดูดกลืนรังสีและชนิดของฟิล์ม แต่กลับไม่แปรตามความหนาและชนิดของกระจก ส่วนค่า PPD จากผลของการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงที่ตกกระทบต่อผู้อยู่อาศัยนั้นจะแปรตามค่าการส่งผ่านรังสีในช่วงแสงอาทิตย์เป็นเชิงเส้นเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ บริษัท เทคโนเซล (เฟรย์) จำกัด บริษัท กระจกพีเอ็มเค-เซนทรัล จำกัด บริษัทกระจกไทยอาซาฮี จำกัดที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Chaiyapinunt, B. Phueakphongsuriya, K. Mongkornsaksit, and N. Khamporn, “Performance Rating of Glass Windows and Glass Windows with Films in Aspect of Thermal Comfort and Heat Transmission,” Energy and Buildings, Vol. 37, No. 7, July 2005, pp. 725 – 738.

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

[3] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ นพรัตน์ คำพร, 2548. การเลือกฟิล์มสำหรับหน้าต่างกระจกอาคารโดยพิจารณาถึงความสบายเชิงความร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, หน้า 895 - 900

[4] Windows and Daylighting Group, Lawrence Berkeley National laboratory, “Optic5,” URL:http//windows.lbl.gov /materials/optic5/ (accessed on September 2005).

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

[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.