การทดสอบฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์แบบสองชั้นเพื่อกันความร้อน

Evaluating Double Layer Car Window Films for Heat Protection

พีระธเนศ ซึงเกิดพงษ์ธนัน[1,*], ภูมิ เจือศิริภักดี[1] และสิทธิชัย รัชยศโยธิน[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, เอกเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, บางพูด, ปากเกร็ด, นนทบุรี, 11120

Perathanet Suengkerdpongthanan[1], Poom Juasiripukdee[1] and Sitthichai Ruchayosyothin[1,*]

[1]Industrial Technology School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Bang Pood, Pak Kred, Nonthaburi, 11120, Thailand

***Corresponding Author E-mail:** 2629600335@stou.ac.th

Received: Sep 07, 2022; **Revised:** Mar 06, 2023; **Accepted:** Mar 27, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการต้านทานความร้อนของฟิล์มกรองแสง โดยการซ้อนทับฟิล์มในรูปแบบผิวสองชั้น เพื่อประเมินสมรรถนะเชิงอุณหภาพของฟิล์มกรองแสงชนิดต่าง ๆ ทั้งหมดสามชนิด ได้แก่ ฟิล์มกรองแสงเซรามิค ฟิล์มกรองแสงคาร์บอน และฟิล์มกรองแสงย้อมสี ถึงแม้ว่าฟิล์มกรองแสงชั้นเดียวชนิดเซรามิคจะมีคุณสมบัติการต้านทานการนำความร้อนที่ดีแต่ราคาที่สูง จึงได้ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงเกรดที่มีคุณสมบัติต่ำกว่า ราคาที่ถูกกว่า โดยทำการนำแผ่นฟิล์มกรองแสงมาติดซ้อนทับกับสองชั้น แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบติดทับซ้อนกันสองชั้น มี 2 ชนิด คือ ฟิล์มกรองแสงคาร์บอนและฟิล์มกรองแสงย้อมสี การทดสอบในครั้งนี้ได้ทำการซ้อนทับฟิล์มระหว่างกันเพื่อให้ได้ค่าความเข้มแสงสว่างอัตรา 38 Lux และ 114 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 5% และ 20% ซึ่งพบว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับกันสองชั้น โดยฟิล์มชั้นบนค่าแสงส่องผ่าน 35% ติดซ้อนทับด้วยฟิล์มค่าแสงส่องผ่าน 20% สามารถเพิ่มการต้านทานความร้อนได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นบนค่าแสงส่องผ่าน 20% ติดซ้อนทับด้วยฟิล์มค่าแสงส่องผ่าน 35% คิดเป็น 4.24% และเมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน ในกรณีฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสีที่มีค่าการต้านทานความร้อน 9.4°C/W มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 533 บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน ทั้งนี้ผลของลำดับการซ้อนทับกันยังมีผลต่อการต้านทานการนำความร้อน โดยเมื่อชั้นบนเป็นฟิล์มย้อมสีจะสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าหากแผ่นฟิล์มชั้นบนเป็นฟิล์มคาร์บอน นอกจากนี้ยังพบว่าการซ้อนทับฟิล์มกรองแสงสองชั้นข้างต้นมีค่าความต้านทานการนำความร้อนมากกว่าชนิดฟิล์มเซรามิคที่มีค่าแสงส่องผ่าน 5% และ 20% อีกด้วย

คำสำคัญ: ฟิล์มกรองแสง, ฟิล์มกันความร้อน, ฟิล์มกระจกรถยนต์, การต้านทานความร้อน, การนำความร้อน

Abstract

This research has studied the thermal resistance of automotive film using double-layer patterns to evaluate the thermal performance of three different types of film materials including ceramic, carbon, and dyed. Although the single-layer ceramic film filter has a good thermal conductivity resistance, but the price is high. Therefore, the lower grade and price of automotive films such as carbon and dyed films were used by overlaying them into a double layer. In this research, the films were overlapped between each other to obtain the luminous intensity of 38 Lux and 114 Lux with a light transmittance of 5% and 20%. The top layer, light

transmittance of 35%, overlaid with a light transmittance film of 20%, can increase thermal resistance better than the top layer of transmittance of 20%, overlaid with a light transmittance film of 35% by 4.24%. Considering the relative cost against thermal conductivity resistance rate, the double layer of dyed films which has the thermal resistance of 9.4°C/W have the least thermal conductivity resistance per unit cost of 533 bath per unit area. The overlaying order of the films also affects the thermal conductivity resistance. When the top layer is dyed film, it can prevent heat better than carbon film as a top layer. Moreover, the double-layer film patterns mentioned above have a better thermal conductivity resistance than ceramic film with a light transmittance of 5% and 20%.

Keywords: Window film, Heat protection film, Automotive window film, Thermal resistance, Thermal conductivity

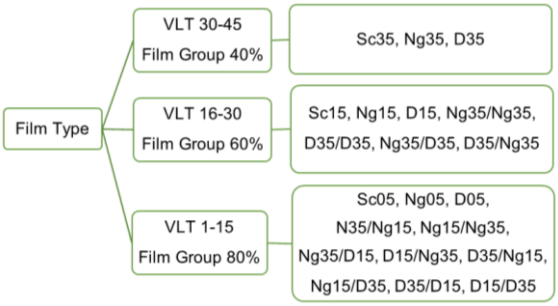
1. บทนำ

ในปัจจุบันฟิล์มกรองแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เจ้าของรถยนต์นิยมติดตั้งเพิ่มเติม จุดประสงค์ของการติดตั้งฟิล์มกรองแสงนั้นเพื่อเพิ่มสภาวความรู้สึกสบายให้กับผู้ขับขี่และผู้โดยสาร กระจกเป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่นำพาความร้อนภายนอกเข้าสู่ภายในห้องโดยสาร และส่งผลให้เกิดภาระงานที่มากขึ้นของระบบปรับอากาศของรถยนต์ ฟิล์มกรองแสงในยุคปัจจุบันมีสีสันสวยงามและมีความเข้มแสงให้เลือกอย่างหลากหลาย และยังเป็นการช่วยเพิ่มความโดดเด่นให้กับตัวรถ นอกจากฟิล์มกรองแสงจะช่วยการลดอุณภูมิความร้อนจากดวงอาทิตย์ แล้วยังช่วยป้องกันการบาดเจ็บต่อดวงตาและผิวหนัง สามารถลดความเสี่ยงของการเป็นต้อกระจก และการเกิดมะเร็งผิวหนังได้ เนื่องจากฟิล์มกรองแสงสามารถลดยูวีได้ถึง 99–100% [1]

การศึกษาในครั้งนี้เกิดขึ้นจากผู้ประกอบการร้านค้าติดตั้งฟิล์มกรองแสง ได้มีการนำเสนอผลิตภัณฑ์โดยแนะนำให้ลูกค้าติดฟิล์มกรองแสงแบบติดทับกันสองชั้น เพื่อเพิ่มความหนา เพิ่มคุณสมบัติในการลดอุณหภูมิและลดการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเป็นแนวคิดในการป้องกันรังสีความร้อนทะลุผ่านเข้าสู่ห้องโดยสารที่มีผลต่ออุณหภูมิในห้องโดยสาร โดยสมมุติฐานนี้ยังไม่ได้มีผลการวิจัยมารองรับ จึงเป็นเหตุผลทำให้เกิดกระบวนการทดสอบในครั้งนี้ เพื่อหาค่าสภาวการณ์ที่เหมาะสมในการต้านทานความร้อนโดยการซ้อนทับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ในรูปแบบผิวสองชั้น ผลการทดลองได้มีการเปรียบเทียบรูปแบบการติดฟิล์มกรองแสงที่มีความหนาและราคาที่แตกต่างกัน การศึกษาในครั้งนี้ได้ให้ความสำคัญของการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อน ค่าส่องผ่านของแสง โดยใช้เครื่องวัดวัดค่าโดยตรง การทดสอบในครั้งนี้ ทดสอบในตู้ทดสอบที่สร้างขึ้นมา ภายในตู้ทดสอบชั้นบนเปรียบเหมือนภายนอกห้องโดยสารรถยนต์ ภายในตู้ชั้นล่างเปรียบเหมือนภายในห้องโดยสารรถยนต์ ทำการทดสอบภายในห้องทดสอบที่มีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบไว้ที่ 28°C และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน

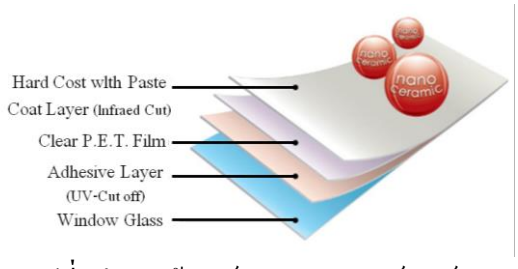
2. อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 3 ประเภท ดังรายละเอียดที่แสดงดัง**รูปที่ 1** ได้แก่ ฟิล์มเซรามิค (Sc) ฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) โดยฟิล์มแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบมีอัตราความเข้มของฟิล์ม 3 ระดับตามค่าความเข้มแสง ดังนี้ ค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 35% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 40% ค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 20% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 60% และค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 5% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 80% เช่น Sc35 คือ ฟิล์มเซรามิคที่มีค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 35% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 40% หรือNg15 คือ ฟิล์มคาร์บอนที่มีค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 20% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 60% เป็นต้น

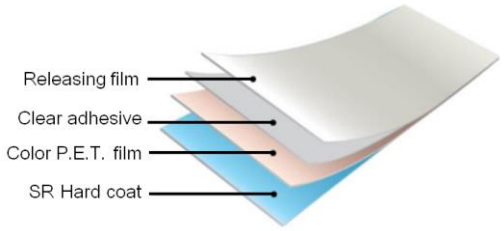


รูปที่ 1 กลุ่มชนิดฟิล์มตามอัตราความเข้มของแสงส่องผ่าน

ฟิล์มเซรามิค และ ฟิล์มคาร์บอนมีโครงสร้างเดียวกันโดยใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิต [2] โดยมีองค์ประกอบดัง**รูปที่ 2** ส่วนฟิล์มย้อมสี มีองค์ประกอบดัง**รูปที่ 3**



รูปที่ 2 โครงสร้างฟิล์มเซรามิคและฟิล์มคาร์บอน



รูปที่ 3 โครงสร้างฟิล์มย้อมสี

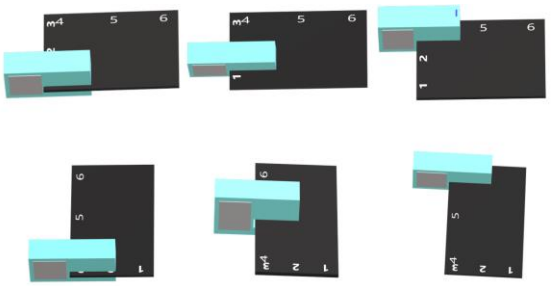
2.1.การดำเนินงานวิจัยและผลการทดสอบ

แบ่งการทดสอบฟิล์มกรองแสง ออกเป็น 2 สภาว 1) ทดสอบฟิล์มด้วยเครื่องวัดแสง และ 2) ทดสอบในตู้ทดสอบ

2.1.1.ขั้นตอนการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง

เครื่องวัดแสง (Linshang, Ls163A) มีคุณสมบัติสามารถวัดได้ 3 สัญญาณ คือ 1.ค่าความยาวคลื่นแสง VLT (Visible Light Transmitted) วัดค่าแสงสว่างส่องผ่านในช่วง 380-760 นาโนเมตร 2.ค่าอัลตราไวโอเลต UVR (Ultraviolet Rejection) วัดค่าการป้องกันรังสียูวีช่วง 365 นาโนเมตร 3. ค่าอินฟราเรด IRR (Infrared Rejection) วัดค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดในช่วง 1,400 นาโนเมตร

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ Sc35, Ng35, D35, Sc15, Ng15, D15, Sc05, Ng05 และ D05 ขนาด 20 × 40 cm ทำการทดสอบแต่ละชนิด ทำการทดสอบทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดัง**รูปที่ 4** จากนั้นนำข้อมูลการทดสอบมาคำนวณหาค่าลดความร้อนรวม TSER (Total Solar Energy Rejected) [3] ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน**ตารางที่ 1–3**



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบฟิล์มกรองแสง

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบทับซ้อนสองชั้น มีสองประเภท ได้แก่ ฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) การทดสอบแบ่งออกเป็นกลุ่มตามค่าความเข้มแสง แบ่งเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 60% มีทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ Ng35/Ng35 D35/D35 Ng35/D35 และ D35/Ng35 และกลุ่มฟิล์มชนิด 80% มีทั้งหมด 8 ตัวอย่าง ได้แก่ Ng35/Ng15, Ng15/Ng35, Ng35/D15, D15/Ng35, D35/Ng15, Ng15/D35, D35/D15 และD15/D35 ดังแสดงใน**รูปที่ 1** จากนั้นนำข้อมูลการทดสอบมาคำนวณหาค่าลดความร้อนรวม TSER (Total Solar Energy Rejected) [3] ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน**ตารางที่ 1–3**

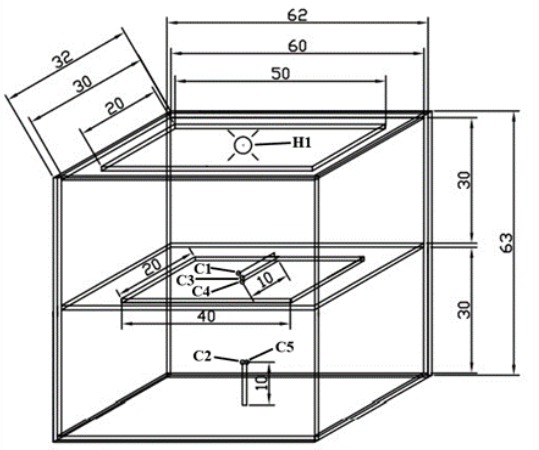
2.1.2.ขั้นตอนการทดสอบแผ่นฟิล์มในตู้ทดสอบ

ทำการทดสอบในตู้ ดัง**รูปที่ 5** ตู้ทดสอบที่สร้างขึ้นมาได้พัฒนามาจาก [3]ได้ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มลดความร้อนติดรถยนต์ โดยจำลองตู้ทดสอบซึ่งเป็นตัวแทนของรถยนต์ที่มีกระจกที่ติดฟิล์มกรองแสง [4] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและปริมาณแสงผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกและแผ่นสะท้อนความร้อน การทดลองโดยใช้หลอดไฟอินฟาเรด PHILIPS รุ่น 125IR กำลังไฟ 250 watt เพื่อทดแทนดวงอาทิตย์ เพื่อสร้างความร้อนและแสงสว่าง [5] ได้ศึกษาการแผ่รังสีความร้อนภายในห้องโดยสารรถโดยการทดสอบการจำลองการฉายรังสีความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งกำเนิดจากหลอดไฟอินฟราเรด 350W ในการทดสอบครั้งนี้เลือกใช้หลอดไฟ PHILIPS InfraRed รุ่น R95 IR 100W (H1) ผลการทดสอบหลอดไฟอินฟราเรด 100W โดยไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสง ค่าความเข้มของแสงที่มีค่าปริมาณ 756 Lux ณ. ตำแหน่งจุดที่วางแผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบ (C5)

ตู้ทดสอบนี้ มีขนาด 30 × 60 × 60 cm แบ่งเป็น 2 ส่วน ตู้ชั้นบนและตู้ชั้นล่างมีขนาดอย่างละ 30 × 30 × 60 cm ตู้ชั้นบนเปรียบเหมือนภายนอกห้องโดยสารรถยนต์ ภายในตู้ชั้นบนได้การติดตั้งหลอดไฟอินฟาเรด 100 วัตต์ (H1) ด้านบนตรงกลางตู้ทดสอบเพื่อสร้างความร้อนแทนความร้อนจากดวงอาทิตย์ และสร้างแสงสว่างตรงกลางตู้ระหว่างตู้ชั้นบนกับตู้ชั้นล่าง มีช่องว่างขนาด 20 × 40 cm เพื่อไว้วางแผ่นฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนตู้ชั้นล่างเปรียบเสมือนภายในห้องโดยสารรถยนต์ ดังแสดงใน**รูปที่ 5** ตู้ทดสอบสร้างจากวัสดุชนิดไม้ MDF ลักษณะตู้ทดสอบเป็นตู้ปิดทึบเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดจากภายนอก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าแสง Lux meter (TENMARS, TM-202) หน่วยการวัดเป็นลักซ์ (Lux) และอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ Thermocouple (Elitech, BT-3) หน่วยการวัดเป็นองศาเซลเซียส (°C) จำนวน 4 เครื่อง

ตู้ทดสอบมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ thermocouple type K (Elitech, BT-3) จำนวน 4 ตำแหน่ง ได้แก่ เซ็นเซอร์ภายในตู้ชั้นบน (C1) เซ็นเซอร์ภายในตู้ชั้นล่าง (C2) เซ็นเซอร์ผิวแผ่นฟิล์มด้านบน (C3) และ เซ็นเซอร์ผิวแผ่นฟิล์มด้านล่าง (C4) และเซ็นเซอร์วัดค่าแสงสว่าง (TENMARS, TM-202) จำนวน 1 ตำแหน่ง ได้แก่ เซ็นเซอร์ตู้ชั้นล่าง (C5) ดังแสดงใน**รูปที่ 5**



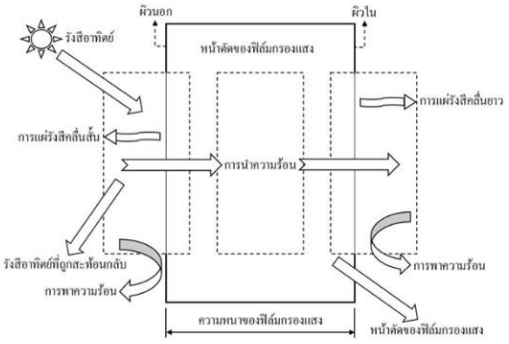
รูปที่ 5 ตู้ทดสอบพร้อมระบุตำแหน่งเซ็นเซอร์ทั้งหมด

2.2.ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบครั้งนี้ทำการทดสอบเฉพาะแผ่นฟิล์มกรองแสง โดยไม่มีการติดตั้งแผ่นฟิล์มกับแผ่นกระจก เนื่องจากต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของแผ่นฟิล์มกรองโดยตรง การทดสอบใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มเปิดสวิตช์ไฟส่องสว่างและเก็บข้อมูลทุก 3 นาที จนครบเวลา 30 นาที จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาสภาวการณ์ที่เหมาะสมในการต้านทานความร้อน ได้ทำการทดสอบตัวอย่างละ 2 การทดสอบ แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผ่นฟิล์มใหม่ ทั้งแบบแผ่นฟิล์มชั้นเดียวและแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น

3. ทฤษฎีและการคำนวณ

ทฤษฎีการนำความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านฟิล์มกรองแสง [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพความร้อนของฟิล์มป้องกันความร้อนต่างๆ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เมื่อตำแหน่งสองตำแหน่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน หรือ การเคลื่อนที่ของพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปอีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อย ๆ โดยเคลื่อนจากอุณหภูมิที่สูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อน ของวัสดุและปัจจัยหรือชนิดวัสดุมีผลในการนำความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิผิวทั้งสองด้าน ความหนาของวัสดุ ความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสความร้อน ดังแสดงใน**รูปที่ 6**



รูปที่ 6 การนำความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านแผ่นฟิล์มกรองแสง

3.1.การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

จากการที่ผนังของกระจกรถยนต์ด้านนอกมีการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้เกิดการนำความร้อนสู่ห้องโดยสารรถยนต์ภายใน ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน thermal conductivity (U) ของฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด โดยใช้สมการการถ่ายเท่ความร้อนของ Fourier's law แบบ 1 มิติ ดังสมการที่ (1) [7] ดังแสดงใน**รูปที่ 7** เพื่อนำค่าการนำความร้อนฟิล์มแต่ละชนิดไปทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด

$$q = UA\frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

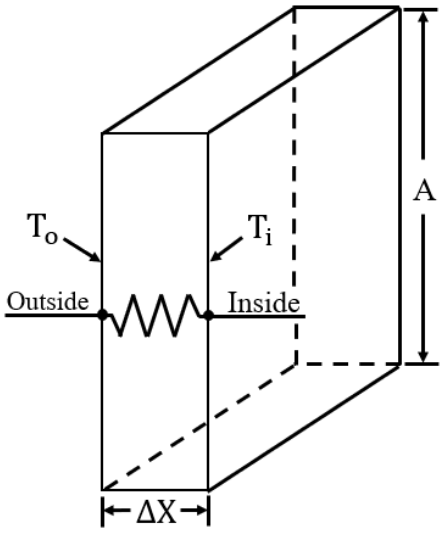
เมื่อ q = ปริมาณความร้อน, วัตต์, (W)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส (W/(m·°C))

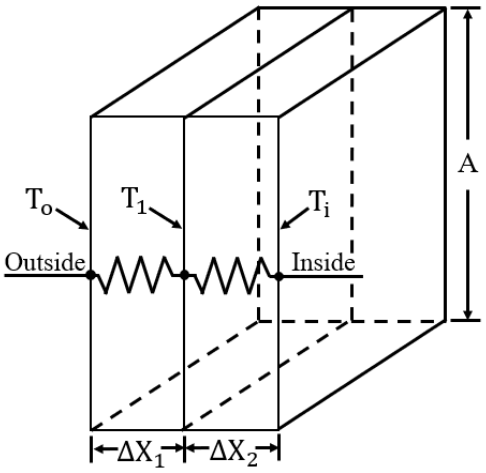
A = พื้นที่แผ่นฟิล์มกรองแสงการถ่ายเทความร้อน, ตารางเมตร (m2)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวฟิล์มด้านนอก (T_o) ลบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านใน (T_i), องศาเซลเซียส (°C)

Δx = ความหนาของแผ่นฟิล์ม, เมตร (m)



(**ก**)



(**ข**)

รูปที่ 7 ตัวแบบแสดงปัญหาการต้านทานความร้อนแบบ 1 มิติ (**ก**) สำหรับฟิล์มกรองแสงแบบชั้นเดียว และ (**ข**) สำหรับฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบแต่ละชนิดสามารถคำนวณหาค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุ (R_{cd}) ของแผ่นฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว จากสมการที่ (2) และค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุโดยรวม ($R_{cd,tot}$) สำหรับฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น จากสมการที่ (3)

$$R_{cd} = \frac{X}{kA} \quad (2)$$

$$R_{cd,tot} = \frac{\Delta X_1}{kA_1} + \frac{\Delta X_2}{kA_2} \quad (3)$$

เมื่อ R_{cd} = ค่าการต้านทานความร้อน, องศาเซลเซียสต่อวัตต์ (°C/W)

$R_{cd,tot}$ = ค่าการต้านทานความร้อนโดยรวม, องศาเซลเซียสต่อวัตต์ (°C/W)

X = ความหนาของแผ่นฟิล์มแต่ละชั้น, เมตร (m)

A = พื้นที่หน้าตัดแผ่นฟิล์มกรองแสงการถ่ายโอนความร้อน, ตารางเมตร (m^2)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส (W/(m·°C))

เมื่อได้ข้อมูลการทดสอบฟิล์มทุกตัวอย่างแล้ว นำข้อมูลมาทำการคำนวณหาค่าลดความร้อนรวม (Total Solar Energy Rejected, TSER) ค่า TSER หมายถึงค่าตัวเลขที่บอกถึงการต้านพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งความยาวคลื่นต่างชนิดกันก็จะส่งพลังงานในรูปแบบที่ต่างกันโดยปกติแสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสี 3 ชนิด ค่าพารามิเตอร์นี้สามารถคำนวณโดยประมาณได้จากการคำนวณเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของ %VLT, %IRR และ %UVR ที่วัดได้โดยกำหนดเป็นค่าโดยประมาณไว้ว่า Solar Energy ประกอบไปด้วย แสงที่มองเห็น(VLR) 44% แสงอินฟราเรด(IRR) 53% และแสงยูวี(UVR) 3% ค่าลดความร้อนรวม [8] คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$TSER = (44 \times VLR) + (53 \times IRR) + (3 \times IRR) \quad (4)$$

เมื่อ TSER = ค่าลดความร้อนรวม, เปอร์เซ็นต์, (%)
VLR = ค่าแสงสว่างส่องผ่าน, เปอร์เซ็นต์, (%)
IRR = ค่าอินฟราเรด, เปอร์เซ็นต์, (%)
UVR = ค่ารังสีอัลตราไวโอเลต, เปอร์เซ็นต์, (%)

3.2.การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาฟิล์มกรองแสงทั้ง 3 ชนิดนำมาศึกษามีระดับคุณภาพและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภคการเลือกติดตั้งฟิล์มกรองแสง [9] เพื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน คำนวณหาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนจากสมการที่ (5)

$$V = \frac{C}{R_{cd}} \quad (5)$$

เมื่อ V = ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน, บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน (Baht/(°C/W))
C = ต้นทุนค่าใช้จ่าย, บาท (Baht)
R_{cd} = ค่าการต้านทานความร้อน, องศาเซลเซียสต่อวัตต์ (°C/W)

4. ผลการการศึกษา

4.1.การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

ผลการศึกษาการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc35) มีค่าความต้านทานความร้อนดีที่สุด 7.6°C/W ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D35) ค่าความต้านทานความร้อน 7.4°C/W และฟิล์มคาร์บอน (Ng35) ค่าความต้านทานความร้อนน้อยที่สุด 7.1°C/W กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc15) มีค่าความต้านทานความร้อนดีที่สุด 9.1°C/W ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D15) ค่าความต้านทานความร้อน 7.7°C/W และฟิล์มคาร์บอน (Ng15) ค่าความต้านทานความร้อนน้อยที่สุด 6.6°C/W และกลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc05) มีค่าความต้านทานความร้อนดีที่สุด 9.1°C/W ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D05) ค่าความต้านทานความร้อน 8.8°C/W และฟิล์มคาร์บอน (Ng05) ค่าความต้านทานความร้อนน้อยที่สุด 5.9°C/Wเนื่องจากฟิล์มคาร์บอนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มากที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับสมการที่ (2) ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

Film type	**VLT (Lux)**	**VLT (%)**	**TSER (%)**	**Heat protection** (%)	**K** $(\mathbf{W/m \cdot ℃})$	$\mathbf{R_{cd,tot}}$ $(℃/\mathbf{W})$
Sc35	264	35	78	15.8	0.00063	7.6
Sc15	134	17	87	16.3	0.00052	9.1
Sc05	49	7	91	16.6	0.00052	9.1
Ng35	263	34	59	13.4	0.00067	7.1
Ng15	122	16	70	13.4	0.00072	6.6

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว (ต่อ)

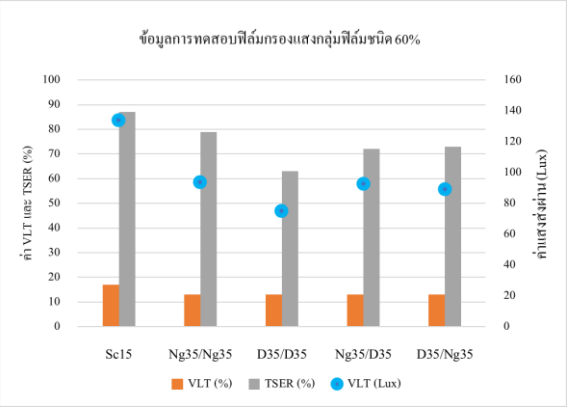
Film type	**VLT (Lux)**	**VLT (%)**	**TSER (%)**	**Heat protection** (%)	**K** $(W/m \cdot ℃)$	$R_{cd,tot}$ $(℃/W)$
Ng05	60	8	76	13.1	0.00081	5.9
D35	230	36	44	10.9	0.00064	7.4
D15	105	18	60	11.0	0.00062	7.7
D05	39	7	76	13.8	0.00054	8.8

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว กลุ่มฟิล์มชนิด 40%, 60% พบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุด (Heat protection) ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด และกลุ่มฟิล์มชนิด 80% จากการทดสอบพบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc05) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 16.6% ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D05) ป้องกันความร้อนได้ 13.8% และฟิล์มคาร์บอน (Ng05) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด 13.1% เนื่องจากฟิล์มคาร์บอนมีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด และจากการทดสอบพบว่าอัตราความเข้มแสงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงใน**ตารางที่ 1**

ผลการศึกษาค่าความต้านทานความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว พบว่าฟิล์มเซรามิคมีค่าความต้านทานความร้อนสูงสุดตามด้วยฟิล์มย้อมสี และฟิล์มคาร์บอน ดัง**ตารางที่ 4** ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุ พบว่าฟิล์มที่มีความเข้มแสงสูงจะมีอุณหภูมิผิวด้านในสูง ในทางกลับกันฟิล์มค่าความเข้มแสงต่ำ อุณหภูมิผิวด้านในจะมีค่าต่ำกว่า

ผลการศึกษาแผ่นฟิล์มติดทับซ้อมกัน 2ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% ค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 20% พบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc15) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 134 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 17% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีอัตราค่าความเข้มแสง 94 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 13% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอัตราค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด 75 Lux ดังแสดงใน**ตารางที่ 2** และ**รูปที่ 8**

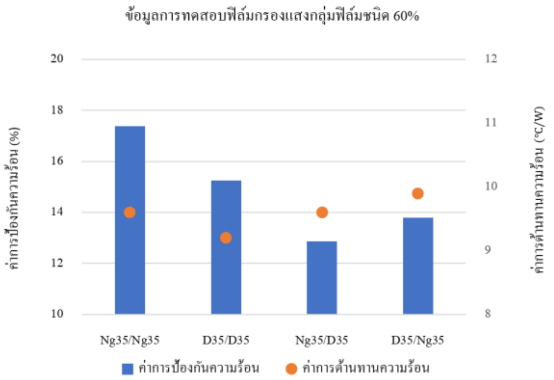
เมื่อพิจารณาค่าลดความร้อนรวม (TSER) ฟิล์มเซรามิค (Sc15) มีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 87% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีค่าลดความร้อนรวม 79% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุด 63% ดังแสดงใน**ตารางที่ 2** และ**รูปที่ 8**



รูปที่ 8 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อมกัน 2ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 17.7% ตามด้วยฟิล์มเซรามิค (Sc15) กับฟิล์มคาร์บอน40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนเท่ากัน 16.3% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% สามารถป้องกันความร้อนน้อยที่สุดได้ 12.9% ดังแสดงใน**ตารางที่ 2** และ**รูปที่ 9**

ผลการศึกษาค่าความต้านทานความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% จากการทดสอบพบว่าฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) มีค่าความต้านความร้อนสูงสุด 9.9 °C/W ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) กับฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากันที่ 9.6 °C/W และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าความต้านทานร้อนน้อยที่สุดที่ 9.2 °C/W ดังแสดงใน**ตารางที่ 2** และ**รูปที่ 9**



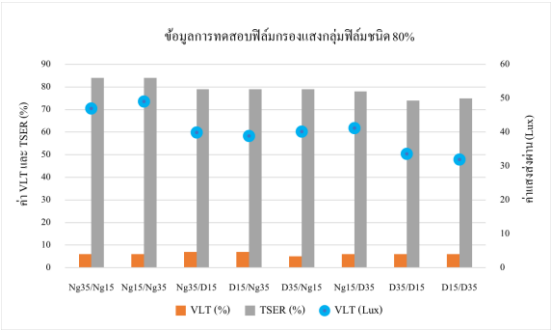
รูปที่9 ข้อมูลการทดสอบการป้องความร้อน และการต้านทานความร้อน ฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)	TSER (%)	Heat protection (%)	U_{tot} (W/(m·°C))	$R_{cd,tot}$ (°C/W))
Ng35/Ng35	94	13	79	16.3	0.00100	9.6
D35/D35	75	13	63	17.4	0.00103	9.2
Ng35/D35	93	13	72	15.3	0.00100	9.6
D35/Ng35	89	13	73	12.9	0.00096	9.9

ผลการศึกษาแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกัน 2 ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% ค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 5% พบว่าฟิล์มเซรามิค (Sc05) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 38 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 7% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) กับฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) มีค่าแสงส่องผ่านเท่ากัน และย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) มีค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด 5% ดังแสดงใน**ตารางที่ 3** และ**รูปที่ 10**

เมื่อพิจารณาค่าลดความร้อนรวม (TSER) ฟิล์มเซรามิคมีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 91% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) กับฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีค่าลดความร้อนรวมเท่ากัน 84% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุด 74% ดังแสดงใน**ตารางที่ 3** และ**รูปที่ 10**

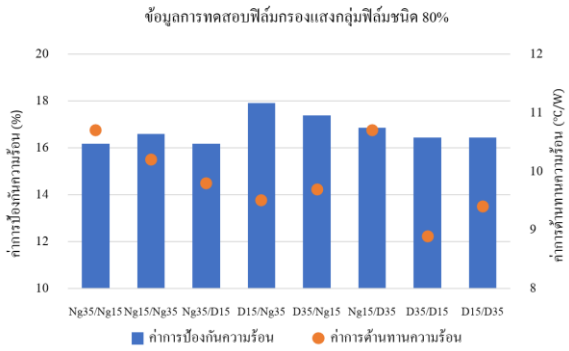


รูปที่ 10 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อมกัน 2ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคารบอน 40% (D15/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 17.9% ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคารบอน 60% (D35/Ng15) สามารถป้องกันความร้อนได้ 17.4%, ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) สามารถป้องกันความร้อนได้ 16.9%และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์ม

คาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) กับฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) สามารถป้องกันความได้น้อยที่สุดเท่ากัน 16.2% ดังแสดงใน**ตารางที่ 3** และ**รูปที่ 11**

ผลการศึกษาค่าความต้านทานความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนสองชั้น สำหรับกลุ่มฟิล์มชนิด 80% จากการทดลองพบว่าฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) กับฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) ถึงแม้ว่าอัตราการนำความร้อนสูงสุดของการนำความร้อนผ่านฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์สองชั้นที่มีลำดับสลับกันจะไม่เท่ากัน แต่ความสามารถของการลดค่าความร้อนรวมของลำดับวัสดุมีค่าเท่ากัน ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าความต้านความร้อน 10.2°C/W และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีค่าความต้านความร้อนน้อยที่สุด 8.9 °C/W ดังแสดงใน**ตารางที่ 3** และ**รูปที่ 11**



รูปที่ 11 ข้อมูลการทดสอบการป้องความร้อน และการต้านทานความร้อน ฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)	TSER (%)	Heat protection (%)	U_{tot} (W/(m·°C))	$R_{cd,tot}$ (°C/W))
Ng35/Ng15	47	6	84	16.2	0.00089	10.7
Ng15/Ng35	49	6	84	16.6	0.00093	10.2
Ng35/D15	40	7	79	16.2	0.00097	9.8
D15/Ng35	39	7	79	17.9	0.00101	9.5
D35/Ng15	40	5	79	17.4	0.00098	9.7
Ng15/D35	41	6	78	16.9	0.00089	10.7
D35/D15	34	6	74	16.5	0.00107	8.9
D15/D35	32	6	75	16.5	0.00102	9.4

4.2.การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว เมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ (C/R_{cd}) ซึ่งเป็นเกณฑ์วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าฟิล์มย้อมสีมีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุด ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน และฟิล์มเซรามิคมีค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด ดังแสดงใน**ตารางที่ 4**

ตารางที่ 4 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ ฟิล์มชั้นเดียว

Film type	C/R_{cd} (Baht/(°C/W)
Sc35	726
Sc15	603
Sc05	603
Ng35	496
Ng15	528
Ng05	598

ตารางที่ 4 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ ฟิล์มชั้นเดียว (ต่อ)

Film type	C/R_{cd} (Baht/(℃/W)
D35	338
D15	326
D05	285

ผลการศึกษาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน (C/R_{cd}) เทียบหน่วยพื้นที่ แผ่นฟิล์มกรองแสงซ้อนทับกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอัตราเชิงเศรษฐศาสตร์ที่มีต้นทุนน้อยที่สุดคือ 543 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าความต้านการนำความร้อน ส่วนฟิล์มเซรามิค 60% (Sc15) มีต้นทุนที่ 603 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าความต้านการนำความร้อน และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด 732 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าความต้านการนำความร้อน ดังแสดงใน**ตารางที่ 5**

ตารางที่ 5 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	C/R_{cd} (Baht/(℃/W)
Sc15	603
Nd35/Ng35	732
D35/D35	543
Ng35/D35	628
D35/Ng35	606

ผลการศึกษาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ แผ่นฟิล์มกรองแสงซ้อนทับกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 533 บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน ตามด้วยคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีต้นทุน 562 บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน ฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) มีต้นทุน 603 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าความต้านการนำความร้อน และคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนมากที่สุด 684 บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน ดังแสดงใน**ตารางที่ 6**

ตารางที่ 6 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	C/R_{cd} (Baht/(℃/W)
Sc05	603
Ng35/Ng15	562
Ng15/Ng35	684
Ng35/D15	612
D15/Ng35	637
D35/Ng15	617
Ng15/D35	656
D35/D15	564
D15/D35	533

5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบความต้านทานความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว ฟิล์มเซรามิคมีค่าความต้านร้อนดีที่สุด และพบว่าฟิล์มย้อมสีที่มีราคาถูกกว่าฟิล์มคาร์บอนกลับมีค่าความต้านทานความร้อนดีกว่าฟิล์มคาร์บอนที่มีราคาสูงกว่า เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มย้อมสีน้อยกว่าฟิล์มคาร์บอน

จากการทดสอบความต้านทานความร้อนแผ่นฟิล์มเซรามิคชั้นเดียวเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% แผ่นฟิล์มเซรามิค (Sc15) มีค่าความต้านทานร้อนน้อยกว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงติดซ้อนทับกับสองชั้น และกลุ่มฟิล์มชนิด 80% แผ่นฟิล์ม

เซรามิค (Sc05) แผ่นฟิล์มเซรามิค (Sc05) มีค่าความต้านทานร้อนน้อยกว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงติดซ้อนทับกับสองชั้นทุกตัวอย่าง มีเพียงตัวอย่างเดียวที่ฟิล์มเซรามิคมีค่าความต้านทานความร้อนมากกว่า คือ แผ่นฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15)

เมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ พบว่ากลุ่มฟิล์มชนิด 60% แผ่นฟิล์มย้อมสี 40% ติดซ้อนทับฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 543 บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน และกลุ่มฟิล์มชนิด 80% แผ่นฟิล์มย้อมสี 60% ติดซ้อนทับฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 533 บาทต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความต้านการนำความร้อน

เมื่อพิจารณาเรื่องการส่องผ่านของแสง(Lux) จากการทดสอบพบว่า ฟิล์มเซรามิค อาจเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าแสงส่องผ่านมากกว่าฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้นทุกตัวอย่าง ค่าแสงส่องผ่านยิ่งมากยิ่งดี ซึ่งจะทำให้เวลาขับรถตอนเวลากลางคืนมองเห็นได้ชัดเจนมากกว่า ฟิล์มที่มีค่าแสงส่องผ่านน้อย

จากการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับความสามารถในการป้องกันความร้อน และวิทัศนวิสัยที่ดีในการขับขี่สำหรับรถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งฟิล์มกรองแสงมาก่อน ฟิล์มเซรามิค 1 ชั้น ถือได้ว่าเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าต้านทานความร้อนที่ที่ดีและการป้องกันความร้อนได้ดี แต่สำหรับรถยนต์ที่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงอยู่แล้ว การติดตั้งฟิล์มกรองแสงฟิล์มย้อมสีหรือฟิล์มคาร์บอน ในกลุ่มฟิล์มชนิด 40% และ กลุ่มฟิล์มชนิด 60% จะช่วยลดค่าใช้จ่าย และทำให้ค่าความต้านทานความร้อนมากขึ้น

การตัดสินใจการเลือกติดตั้งฟิล์มกรองแสง ยังมีปัจจัยอื่นในการพิจารณา เช่น ค่าแสงส่องผ่าน สีของฟิล์มกรองแสง อายุการใช้งาน ราคา การรับประกัน การติดตั้งฟิล์มกรองแสงทับซ้อนกันสองชั้น ทางบริษัทจะถือว่าหมดประกันโดยมีผู้จัดจำหน่ายหลายบริษัทได้แจ้งไว้ในเงื่อนไขรับประกันสินค้า เรื่องการรบกวนสัญญาโทรศัพท์ และสัญญา GPS เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมถึงให้กำลังใจจาก ดร.สิทธิชัย รัชยศโยธิน ประธานกรรมการประจำสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูมิ เจือศิริภักดี อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช และอาจารย์อสุธารณ์ แก้วกิติชัย บริษัท ร็อคเวิลด์ ครีเอเทอร์ จำกัด

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนนักศึกษาและผู้มีส่วนเกี่ยว ข้องในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] International Window Film Association (IWFA). “About Window Film.” IWFA.com. https://www.iwfa.com/about-window-film (accessed: Sep. 26, 2022).

[2] Thai Window Film. “Knowledge of optical film.” thaiwindowfilm.com. https://www.thaiwindowfilm.com (accessed: Sep. 26, 2022).

[3] K. Wiriyaprasat, “Car Heat Reduction FilmTest.” chaladsue.com. https://chaladsue.com/article/2606 (accessed Sep. 26, 2022).

[4] T. Bunnag, R. Suwanmani and R. Sananaa, “Heat transfer and light transmission through polycarbonate corrucated and double layer reflective aluminium,” *Suthiparithat Journal*, vol. 19 no. 57, pp. 94–108, 2005.

[5] C. -Y. Tseng, Y. -A. Yan and J. C. Leong, “Thermal Accumulation in a General Car Cabin Model,” Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer, vol. 1, pp. 48–56, 2014, doi: 10.11159/jffhmt.2014.008.

[6] T. Kiawpan, “Study of Thermal Performance of Various Heat Protection Films for Vehicles,” M.E thesis, Dept. Energy Management Technology, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2014.

[7] T. Bunnag, “A Study of Heat and Light transmission through Windows of Building,” Faculty of Engineering, Dhurakijpundit University, Bangkok, Thailand, Final Rep., 2004.

[8] EDL Co., Ltd. “Basic film parameters/properties you should know.” kontrast.in.th. https://kontrast.in.th/technology/parameter (accessed Sep. 26, 2022)

[9] T. Srisilpsophon, “Influence of Solar Filter Film on Mean Radiant Temperature and Heat Transfer Phenomenon in Vehicle Cabin,” Ph.D. Thesis, Dept. Thermal Tech., King Mongkut’s Univ. of Tech. Thonburi, Bangkok, Thailand, 2006.