

การทดสอบฟิล์มกรองแสงติตรถยนต์แบบสองชั้นเพื่อกันความร้อน



นายพีระธเนศ ซึ่งเกิดพงษ์รัตน์

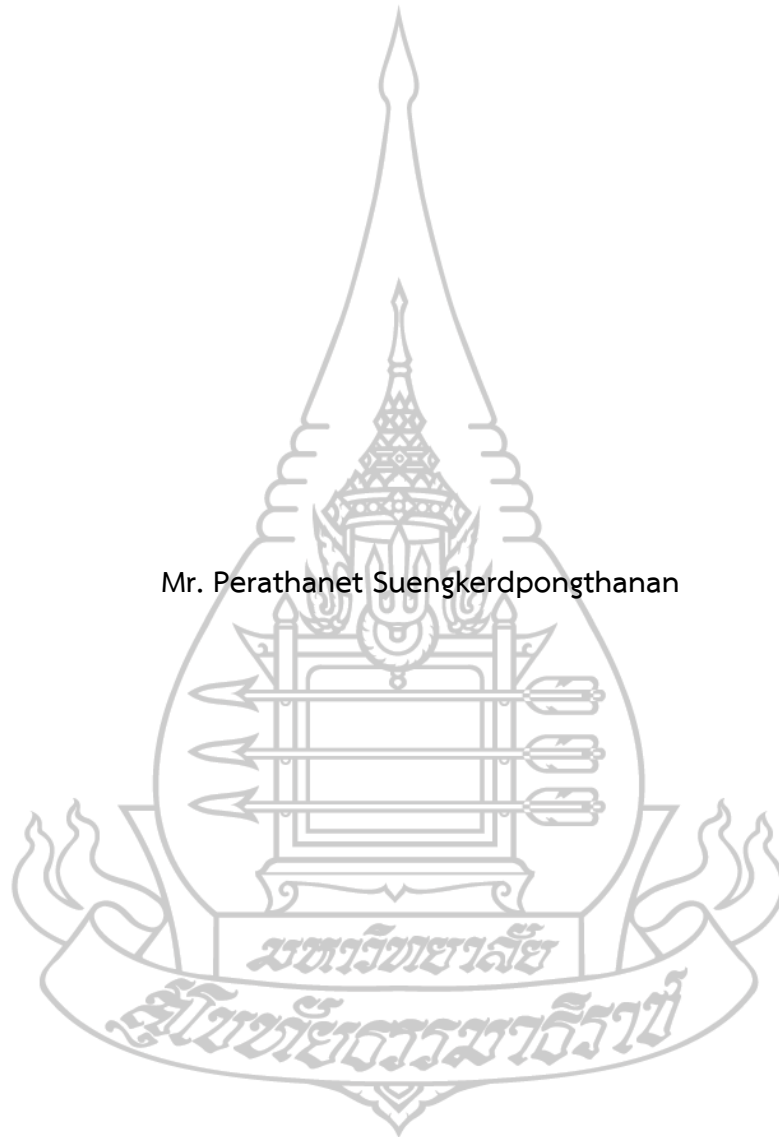
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยี

อุตสาหกรรม)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

พ.ศ. 2566

Evaluating Double Layer Car Window Films For Heat Protection



Mr. Perathanet Suengkerdpongthanan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Science (Industrial Technology)

School of Science and Technology
Sukhothai Thammathirat Open University

2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบฟิล์มกรองแสงติตรถยนต์แบบสองชั้นเพื่อกันความร้อน
ชื่อและนามสกุล	นายพีระธเนศ ซึ่งเกิดพงษ์ธนน
แขนงวิชา / วิชาเอก	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย รัชยศโยธิน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิ เจือศิริภักดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.นราธิป ศรีราม)

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทดสอบฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์แบบสองชั้นเพื่อกันความร้อน

ผู้วิจัย นายพีระธเนศ ซึ่งเกิดพงษ์ธนนัน รหัสนักศึกษา 2629600335

ปริญญา: วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา (1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย รัชชศโยธิน (2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิ
เจือศิริภักดี ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการต้านทานการนำความร้อนของฟิล์มกรองแสงโดยการซ้อนทับฟิล์มในรูปแบบผิวสองชั้นเพื่อประเมินสมรรถนะเชิงอุณหภูมิของฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มกรองแสงเซรามิก ฟิล์มกรองแสงคาร์บอน และฟิล์มกรองแสงย้อมสี

โดยทั่วไปฟิล์มกรองแสงชั้นเดียวชนิดเซรามิกจะมีค่าการต้านทานการนำความร้อนที่ดีที่สุดแต่มีราคาที่สูง จึงได้ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงเกรดที่มีคุณสมบัติต่ำกว่า ราคาที่ถูกกว่า และใช้แขนงตัดสินใจในการได้มาซึ่งสภาวะการณที่เหมาะสมจากการนำแผ่นฟิล์มกรองแสงแต่ละวัสดุมาติดซ้อนทับกันสองชั้น แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบติดทับซ้อนกันสองชั้น มี 2 ชนิด คือ ฟิล์มกรองแสงคาร์บอนและฟิล์มกรองแสงย้อมสี การทดสอบในครั้งนี้จึงได้ทำการซ้อนทับฟิล์มระหว่างกันเพื่อให้ได้ค่าความเข้มแสงสว่างอัตรา 38 Lux และ 114 Lux และมีค่าแสงส่องผ่านอยู่ที่ 5% และ 20% ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับกันสองชั้นโดยฟิล์มชั้นบนค่าแสงส่องผ่าน 35% ติดซ้อนทับด้วยฟิล์มค่าแสงส่องผ่าน 20% สามารถเพิ่มค่าการต้านทานการนำความร้อนของวัสดุโดยรวมได้ดีกว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นบนค่าแสงส่องผ่าน 20% ติดซ้อนทับด้วยฟิล์มค่าแสงส่องผ่าน 35% คิดเป็น 4.24% และเมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่อค่าการต้านทานการนำความร้อน ในกรณีฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสีที่มีค่าการต้านทานการนำความร้อน 9.4 องศาเซลเซียสต่อวัตต์ มีอัตราต้นทุนต่อค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยที่สุดที่ 533 บาทต่อองศาเซลเซียสต่อวัตต์ ทั้งนี้ผลของลำดับการซ้อนทับกันยังมีผลต่อค่าการต้านทานการนำความร้อนของวัสดุโดยรวม โดยเมื่อชั้นบนเป็นฟิล์มย้อมสีจะสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าหากแผ่นฟิล์มชั้นบนเป็นฟิล์มคาร์บอน นอกจากนี้ยังพบว่า การซ้อนทับฟิล์มกรองแสงสองชั้นข้างต้นมีค่าการต้านทานการนำความร้อนมากกว่าชนิดฟิล์มเซรามิกที่มีค่าแสงส่องผ่าน 5% และ 20% อีกด้วย

คำสำคัญ ฟิล์มกรองแสง ฟิล์มกันความร้อน ฟิล์มกระจกรถยนต์ การต้านทานการนำความร้อน,
การนำความร้อน

Thesis title: Evaluating Double Layer Car Window Films For Heat Protection

Researcher: Mr. Perathanet Suengkerdpongthanan; ID: 2629600335;

Degree: Master of Science (Industrial Technology);

Thesis advisors: (1) Assistant Professor Dr. Sitthichai Ruchayosyothin;(2) Assistant Professor Dr. Poom Juasiripukdee ; Academic year: 2023

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 automotive film materials, including ceramic, carbon, and dyed.

Although the single-layer ceramic film filter has a good thermal conductivity resistance, the price has become more expensive for customers. Therefore, the lower grade and price of automotive films, such as carbon and dyed films, were used by overlaying them into a double layer. The research has applied the decision tree to optimize automotive films in the conditions of luminous intensity of 38 Lux and 114 Lux with a light transmittance of 5% and 20%, respectively.

The top layer, light transmittance of 35%, overlaid with a light transmittance film of 20%, can increase overall thermal conductivity 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 a thermal conductivity resistance of 9.4 °C/W, has the least thermal conductivity resistance per unit cost of 533 baht/°CW¹. The overlaying order of the films also affects the overall thermal conductivity resistance. When the top layer has been in place of dyed film, it can protect heat flux better than carbon film as a top layer. Moreover, the double-layer film patterns mentioned above have a better quantity of thermal conductivity resistance than a ceramic film with a light transmittance of 5% and 20%.

Keywords : window film heat protection film automotive window film thermal resistance
thermal conductivity

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมถึงให้กำลังใจจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย รัชชโยธิน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิ เจือศิริภักดี อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และอาจารย์อสุธารณ์ แก้วกิติชัย บริษัท ร็อคเวิลด์ ครีเอเทอร์ จำกัด

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะอาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนักศึกษาและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่านที่ได้ กรุณาให้การสนับสนุนช่วยเหลือ และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจตลอดมาจึงทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ สมบูรณ์ได้ด้วยดี



นายพีระธเนศ ชิงเกิดพงษ์ธนน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์การวิจัย	2
3. กรอบแนวคิดการวิจัย	2
4. ขอบเขตการวิจัย	3
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
1. ข้อมูลทั่วไป แนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง	4
1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฟิล์มกรองแสง	1
1.2 ประเภทของฟิล์มกรองแสง	8
1.3 ระดับความเข้มของฟิล์มกรองแสง	12
1.4 สมบัติทางแสงของฟิล์มกรองแสง	13
1.5 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านฟิล์มกรองแสง	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
1. แผ่นฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบ	23
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	24
3. ระเบียบวิธีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	28
4. ทฤษฎีและการคำนวณ	33
4.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม	33
4.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	36
5. การวิเคราะห์ข้อมูล	36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	37
1. ผลการทดสอบฟิล์มกรองแสงโดยเครื่องวัดแสง	37
2. ผลการทดสอบในตัวทดสอบ	47
3. สรุปผลการทดสอบ	66
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	74
1. สรุปการวิจัย	74
2. อภิปรายผล	76
3. ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	81
ก ตารางคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสง และราคาการติดตั้ง	82
ข ตารางข้อมูลผลการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง และการทดสอบในตู้ทดสอบ	84
ค ข้อมูลการทดสอบในตู้ทดสอบ	98
ประวัติผู้วิจัย	100



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันฟิล์มกรองแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เจ้าของรถยนต์นิยมติดตั้งเพิ่มเติมในยานพาหนะของตัวเอง โดยวัตถุประสงค์ของการติดตั้งฟิล์มกรองแสงนั้นเพื่อป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความรู้สึกสบายให้กับผู้ขับขี่และผู้โดยสาร กระจกถือว่าเป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ประกอบเข้ากับตัวถังรถยนต์ โดยเป็นชิ้นส่วนที่เกิดปรากฏการณ์นำพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องโดยสาร และส่งผลให้เกิดภาระงานทำความเย็นที่มากขึ้นของระบบปรับอากาศในรถยนต์ ฟิล์มกรองแสงในยุคปัจจุบันมีสีสันสวยงามและมีความเข้มแสงให้เลือกอย่างหลากหลาย และยังเป็นการช่วยเพิ่มความโดดเด่นให้กับตัวรถ นอกจากนี้ฟิล์มกรองแสงจะช่วยลดอุณหภูมิความร้อนที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์ แล้วยังช่วยป้องกันการบาดเจ็บต่อดวงตาและผิวหนัง สามารถลดความเสี่ยงของการเป็นต่อกระจก และการเกิดมะเร็งผิวหนังได้ เนื่องจากฟิล์มกรองแสงสามารถลดรังสียูวีได้ถึง 99% - 100%



ภาพที่ 1.1 คุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงเพื่อป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์

การศึกษาในครั้งนี้เกิดขึ้นจากผู้ประกอบการร้านค้าติดตั้งฟิล์มกรองแสงสำหรับกระจกรถยนต์ ได้มีการนำเสนอผลิตภัณฑ์โดยแนะนำให้ลูกค้าติดฟิล์มกรองแสงแบบติดทับกันสองชั้น เพื่อเพิ่มความหนา เพิ่มคุณสมบัติในการลดอุณหภูมิจากและสะท้อนการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเป็นแนวคิดในการป้องกันรังสีความร้อนทะลุผ่านเข้าสู่ห้องโดยสารที่มีผลต่ออุณหภูมิในห้องโดยสาร โดยสมมุติฐานนี้ยังไม่ได้มีผลการวิจัยมารองรับ จึงเป็นเหตุผลทำให้เกิดกระบวนการทดสอบในครั้งนี้ เพื่อหาค่าสภาวะการณ์ที่เหมาะสมในการต้านทานการนำความร้อนโดยการซ้อนทับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ในรูปแบบผิวสองชั้น ผลการทดลองได้มีการเปรียบเทียบรูปแบบการติดฟิล์มกรองแสงที่มีความหนาและราคาที่แตกต่างกัน การศึกษาในครั้งนี้ได้ให้ความสำคัญของการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อน ค่าการส่องผ่านของแสง โดยใช้เครื่องวัดวัดค่าโดยตรง การทดสอบในครั้งนี้ ทดสอบในตู้ทดสอบที่สร้างขึ้นมา ภายในตู้ทดสอบชั้นบนเปรียบเสมือนภายนอกห้องโดยสารรถยนต์ ภายในตู้ชั้นล่างเปรียบเสมือนภายในห้องโดยสารรถยนต์ ทำการทดสอบภายในห้องทดสอบที่มีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดสอบไว้ที่ 28°C และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาผลของลำดับชั้นของการติดตั้งฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์แบบสองชั้นต่อการต้านทานการนำความร้อน และค่าความเข้มแสงส่องผ่าน
- 2.2 เพื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนผ่านวัสดุฟิล์มกรองแสง

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

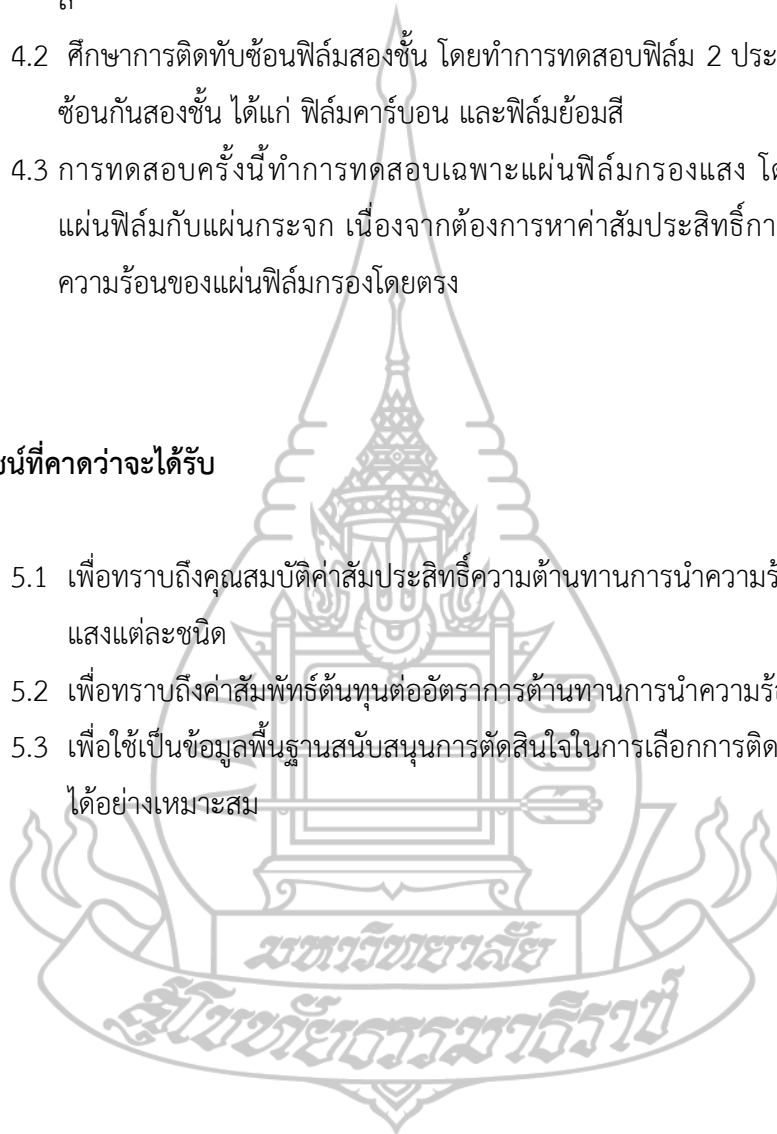
ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถนำมากำหนดประเด็นในการศึกษาในครั้งนี้ มุ่งเน้นเรื่องการต้านทานการนำความร้อน การวิจัยในครั้งนี้ได้ให้ความสำคัญของการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อน และการส่องผ่านของแสง โดยใช้เครื่องมือวัดวัดค่าโดยตรง

4. ขอบเขตการวิจัย

- 4.1 ศึกษาฟิล์มกรองแสงทั้งหมด 3 ประเภท ฟิล์มเซรามิก ฟิล์มคาร์บอน และฟิล์มย้อมสี
- 4.2 ศึกษาการติดทับซ้อนฟิล์มสองชั้น โดยทำการทดสอบฟิล์ม 2 ประเภทที่นำมาติดทับซ้อนกันสองชั้น ได้แก่ ฟิล์มคาร์บอน และฟิล์มย้อมสี
- 4.3 การทดสอบครั้งนี้ทำการทดสอบเฉพาะแผ่นฟิล์มกรองแสง โดยไม่มีการติดตั้งแผ่นฟิล์มกับแผ่นกระจก เนื่องจากต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานการนำความร้อนของแผ่นฟิล์มกรองโดยตรง

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 5.1 เพื่อทราบถึงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการนำความร้อนของฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด
- 5.2 เพื่อทราบถึงค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน
- 5.3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกการติดตั้งฟิล์มกรองแสงได้อย่างเหมาะสม



บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่อง “การทดสอบฟิล์มกรองแสงติตรถยนต์แบบสองชั้นเพื่อกันความร้อน” ในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ศึกษาจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย จากตำรา เอกสาร ข้อมูลสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต และงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งผู้วิจัยจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฟิล์มกรองแสงและสมบัติต่างๆ ตลอดจนความรู้เกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานการนำความร้อนของประเภทและวัสดุในการผลิตฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด เพื่อนำทฤษฎีและหลักการมาประยุกต์ในการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลให้ถูกต้องมากขึ้น แนวทางการทำกรวิทยานิพนธ์ มีแนวคิดและทฤษฎีเบื้องต้นที่ควรศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลทั่วไป แนวคิด ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ฟิล์มกรองแสง

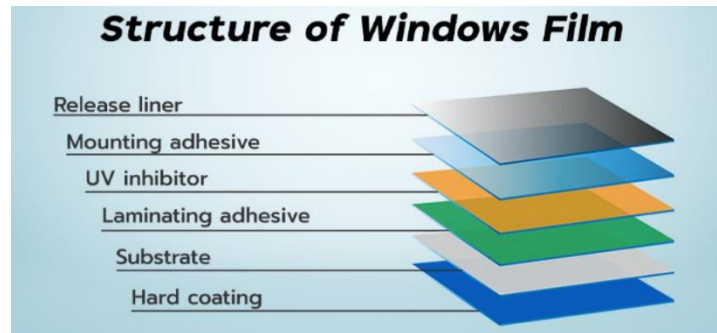
ฟิล์มกรองแสง คือ วัสดุโปร่งแสงที่ทำหน้าที่ในการกรองแสงและรังสีต่างๆ ที่มาจากดวงอาทิตย์ ผลิตจากแผ่นโพลีเอสเตอร์ (Polyester หรือ P.E.T.) โดยมีการพัฒนาของอุตสาหกรรมฟิล์มกรองแสง ฟิล์มโพลีเอสเตอร์เริ่มมีการผลิตตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 หรือปี พ.ศ. 2473 ฟิล์มกรองแสงเริ่มมีการผลิตตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 หรือปี พ.ศ.2503 (<http://www.ozone film.com/filminfo.php>) ฟิล์มกรองแสงทุกประเภทใช้ฟิล์มโพลีเอสเตอร์เป็นพื้นฐานเป็นฐานรากในการผลิต ฟิล์มโพลีเอสเตอร์ผลิตจากพอลิเมอร์ Polyethylene Terephthalate หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า PET วัสดุ PET ผลิตขึ้นโดยการรวมกรดเทเรพทาลิกและโมโนเอทิลีนไกลคอลซึ่งได้มาจากวัตถุดิบปิโตรเลียมหรือเรซินเมื่อโพลีเมอร์ไรเซชันเสร็จสิ้น ขั้นตอนการผลิตต่อไปคือให้พอลิเมอร์ผ่านกระบวนการอัดรีดเกรดโพลีเอสเตอร์ โพลีเมอร์ถูกอัดรีดลงบนดรัมหล่อเพื่อให้ฟิล์มพลาสติกมีผิวเรียบ (https://www.johnson windowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=160)

แนวคิดของฟิล์มติดกระจกสำหรับใช้ในงานกระจกแบบควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ มีมาตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1960 วัตถุประสงค์ของการออกแบบฟิล์มดั้งเดิมคือเพื่อควบคุมความไม่สมดุลของความร้อนและภาระทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนของแสงอาทิตย์ พบว่าฟิล์มยุคแรกๆเป็นวัสดุโพลีเอสเตอร์ที่ย้อมสีเป็นหลัก ต่อจากนั้นได้มีการพัฒนาการเคลือบสะท้อนแสงบนโพลีเอสเตอร์เพื่อให้

ฟิล์มสะท้อนแสง เพื่อลดอุณหภูมิความร้อนของดวงอาทิตย์หรือสะท้อนออกไปด้านนอก จากคุณสมบัติค่าการปลดปล่อยออกของการแผ่รังสีของผิว ทำให้ลักษณะของฟิล์มยังมีความเข้ม ยิ่งลดอุณหภูมิความร้อนได้มาก ฟิล์มยิ่งเงาจะมีความสามารถในการสะท้อนความร้อนได้มากขึ้น เช่น การป้องกันการสะท้อนของแสงอาทิตย์ที่บริเวณหน้าต่าง เพื่อป้องกันไม่ให้พื้นผิวภายในห้องโดยสารร้อนขึ้น ตามปกติหากได้รับแสงแดดโดยตรงในขณะที่ยังคงมองเห็นผ่านกระจกได้ก็จะมีผลทำให้ภาระทำความเย็นในห้องโดยสารมากขึ้น เมื่อแนวคิดของฟิล์มติดกระจกได้รับการพัฒนาและปรับปรุง ความต้องการฟิล์มควบคุมแสงแดดที่มีสีพัฒนาขึ้นซึ่งจะช่วยเสริมการออกแบบสถาปัตยกรรม (<https://iwfa.com/about-window-film/>)

ในปี ค.ศ. 1966 ฟิล์มกรองแสงภายใต้เครื่องหมายการค้า 3M ได้จดสิทธิบัตรฟิล์มกรองแสงอาทิตย์ครั้งแรก ฟิล์มกรองแสง 3M ได้คิดค้นฟิล์มกรองแสงขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ฟิล์มกรองแสงผลิตจากพลาสติกชนิดหนึ่งซึ่งทำจากแผ่นโพลีเอสเตอร์ต่างๆ (PVDF, Tedlar Foils Metallized Film, Acetate, PET, Polyolefins and Polycarbonates) โดยใช้เทคโนโลยีในการเคลือบชั้นฟิล์มต่างๆกัน เช่น สี กาว โลหะ สารดูดซับรังสี UV และสารกันรอยขีดข่วน ซึ่งแผ่นโพลีเอสเตอร์เป็นวัสดุที่เหมาะสมต่อการผลิตฟิล์มเนื่องจากมีความเหนียว ยืดหยุ่นน้อย ทนทาน ดูดซับความชื้นน้อย และสามารถทนอุณหภูมิได้ทั้งสูงต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ติดฟิล์มกระจก เช่น ติดกระจกรถยนต์ ติดกระจกรถโดยสาร ติดกระจกอาคารที่พักอาศัย และกระจกในที่ต่างๆ (https://www.3m.co.th/3M/th_TH/home-window-solutions-th/)

ในช่วงต้นทศวรรษ 1970 ได้เกิดความสนใจในอีกแง่มุมหนึ่งของการใช้ฟิล์มติดกระจก เพื่อการลดการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอก พบว่าฟิล์มโพลีเอสเตอร์มีแนวโน้มที่จะดูดซับและแผ่ความร้อนอินฟราเรดคลื่นยาวแทนที่จะทำหน้าที่เป็นสื่อโปร่งใส จากการทดสอบวัสดุและโครงสร้างฟิล์มใหม่ได้รับการพัฒนาซึ่งช่วยเสริมคุณลักษณะนี้ ฟิล์มเหล่านี้ช่วยเพิ่มการกักเก็บความร้อนภายในห้องได้อย่างมาก ประสิทธิภาพของฟิล์มกระจกควบคุมแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสภาพอากาศในห้องถิ่น สภาพการบังแสงจากภายนอก อย่างไรก็ตามด้วยต้นทุนด้านพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ผลกระทบอย่างเช่น ฟิล์มติดกระจกจึงมีมูลค่าเพิ่มขึ้นในฐานะการลงทุนสำหรับเจ้าของอาคารพาณิชย์ ที่อยู่อาศัย และผู้จัดการอาคารพาณิชย์ (<https://iwfa.com/about-window-film/>) ฟิล์มควบคุมแสงอาทิตย์ ฟิล์มนิรภัย มีหลายประเภทและหลายแบบ ฟิล์มกรองแสงประกอบด้วยพื้นผิวโพลีเอสเตอร์ซึ่งเคลือบกันรอยขีดข่วนที่ด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งมีชั้นกาวสำหรับติดและแผ่นปิดป้องกัน เมื่อลอกแผ่นปิดออก ด้านนั้นของฟิล์มที่มีกาวจะถูกนำไปใช้กับพื้นผิวภายในของกระจก ดังแสดงในรูป 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างฟิล์มกรองแสง

ที่มา <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
(accessed Sep. 26, 2022)

องค์ประกอบพื้นฐานของฟิล์มกรองแสง ประกอบด้วย

Release liner ชั้นที่อยู่หน้าสุดเพื่อป้องกันชั้นกาวของฟิล์ม ชั้นนี้จะต้องลอกทิ้งเมื่อติดตั้งบนกระจก

Mounting adhesive ชั้นกาวที่ทำหน้าที่ยึดติดฟิล์มกับกระจก

UV inhibitor ชั้นป้องกันรังสี UV บางโครงสร้าง ชั้น B และ C รวมมาเป็นชั้นเดียวกัน

Laminating adhesive ชั้นกาวภายในที่ทำหน้าที่ยึดชั้นต่างๆภายในของฟิล์ม

Substrate ชั้นโพลีเอสเตอร์ (PET) ที่ผู้ผลิตมักจะใส่คุณสมบัติพิเศษหรือหน้าที่พิเศษลงไปชั้นนี้ ชั้นนี้จึงอาจจะมีหลายชั้นในตัวเพื่อสร้างคุณสมบัติที่หลากหลายให้กับฟิล์ม เช่นเป็นชั้นที่สร้างเฉดสี ชั้นคาร์บอน ชั้นเซรามิก ชั้นโลหะ(ซิลเวอร์ โครเมียม) หรือชั้นโฟโตโครมิก เป็นต้น

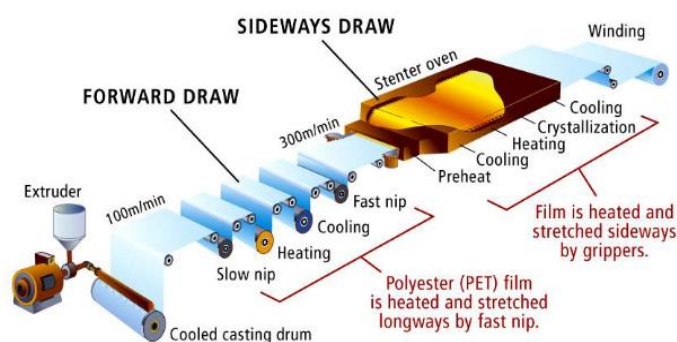
Hard coating ชั้นเคลือบด้วยอะคริลิกแข็งเป็นชั้นที่มีผิวหน้าแข็งป้องกันการขีดข่วนจะเป็นชั้นนอกสุดของฟิล์มเพื่อปกป้องให้ฟิล์มใสและสวยงาม

ฟิล์มกรองแสงผลิตมาจากโพลีเอสเตอร์ P.E.T. (Polyethylene terephthalate) มีความเหนียว มีความบางเรียบ ไร้รอยย่น และสามารถแนบสนิทเป็นเนื้อเดียวกับกระจกที่นำฟิล์มไปติด ซึ่งยึดกระจกได้ด้วยกาวที่มีความใส ไม่ทำให้ภาพที่มองเห็นผ่านฟิล์มมีความบิดเบือน (Distortion) โดยปกติแล้ว ฟิล์มกรองแสงทำหน้าที่ในการลดหรือกรองแสงสว่าง ที่ส่องผ่านเข้ามาทางกระจก ฟิล์มกรองแสงในอดีตใช้การย้อมสีในฟิล์มเป็นหลัก เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะการกรองแสงสว่างเท่านั้น แต่ฟิล์มกรองแสงในยุคปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ให้ดีมากกว่าฟิล์มกรองแสงในอดีต ยกตัวอย่างเช่น ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีนาโนเทคโนโลยีมาผลิตที่สามารถลดความร้อนได้สูง

สามารถป้องกันทั้งรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรด ตลอดจนยังสามารถผลิตฟิล์มนิรภัยระดับลดแรงปะทะของการระเบิด (Bomb Blast) ได้ด้วยเป็นต้น

ฟิล์มกรองแสงทุกประเภทใช้ฟิล์มโพลีเอสเตอร์ฐานเป็นรากฐาน ฟิล์มโพลีเอสเตอร์ผลิตจากพอลิเมอร์ Polyethylene Terephthalate หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า PET PET ผลิตโดยการรวมกรดเทเรพทาติกและโมโนเอทิลีนไกลคอลซึ่งได้มาจากวัตถุดิบปิโตรเลียมหรือเรซิน

เมื่อพอลิเมอร์เซชันเสร็จสมบูรณ์ขั้นตอนการผลิตต่อไปคือให้พอลิเมอร์ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป เกรดโพลีเอสเตอร์โพลีเมอร์ถูกอัดลงบนถาดหล่อเพื่อให้ฟิล์มพลาสติกมีพื้นผิวเรียบ ความหนาของฟิล์มฐานโพลีเอสเตอร์โดยทั่วไปมีตั้งแต่ 1 ไมครอน ถึง 350 ไมครอน ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มกรองแสง (Base Film Extruder)

ที่มา https://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=160
(accessed Nov. 3, 2022)

ความหนาของฟิล์มกรองแสงจะมีหน่วยวัดเป็น MIL (มิล) โดย 1 MIL = 0.001 นิ้ว (1/1000 นิ้ว) ความหนาของฟิล์มกรองแสงจะอยู่ระหว่าง 1.5-2.0 มิล. (0.0015-0.0020 นิ้ว) ระดับของการกันรอยขีดข่วน (Scratch Resistant / SR or SCR) ณ ปัจจุบันมี 3 ระดับคือ 1H 2H และ 3H ฟิล์มกรองแสงที่ดี มีความทนทานต่อสภาพอากาศทั้งสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี ในเนื้อฟิล์มกรองแสงจะมีวัสดุที่ใช้เพื่อป้องกันความร้อนและรังสียูวี โดยใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นชั้น ๆ ผสานด้วยกาวพิเศษเพื่อการยึดเกาะได้อย่างเหนียวแน่น (<http://www.ozonofilm.com/filminfo.php>)

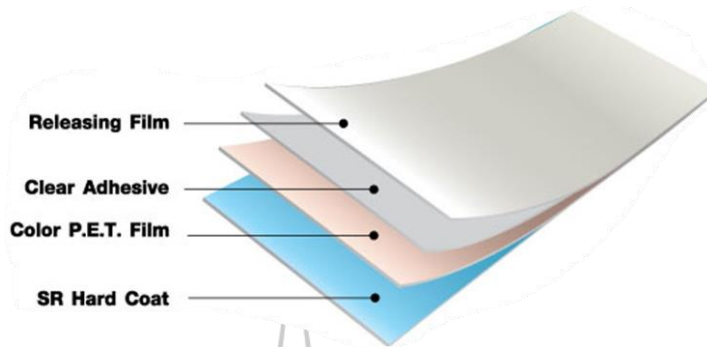
ฟิล์มกรองแสงที่ดีจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติของกาวด้วย กาวที่ดีต้องมีความบางใส และเหนียว เมื่อติดแล้วต้องทนทานต่อสภาวะความร้อนเย็นของกระจกที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ยึดติดกับกระจกได้ดีไม่ทำให้ฟิล์มกรองแสงนั้นๆ พอง ลอก ล่อน เป็นฟองอากาศ นอกจากนี้ ฟิล์มที่ดีจะต้องมีความสามารถในการป้องกันรอยขีดข่วน หรือเคลือบสารกันรอยขีดข่วน

ฟิล์มกรองแสงทำมาจากโพลีเอสเตอร์ มีจุดอ่อนในเรื่องความอ่อนของผิว ซึ่งมักสามารถเป็นรอยเส้น คล้ายรอยขนแมวได้ง่าย เมื่อมีการขีดข่วนจากการใช้งานปกติ แต่ปัจจุบันได้มีการคิดค้นสารเคมีที่ทำหน้าที่เคลือบแข็งบนผิวของฟิล์ม ทำหน้าที่ในการป้องกันการขีดข่วนจากการใช้งานปกติ คุณสมบัตินี้ทำให้ฟิล์มมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น และดูสวยงามตลอดอายุการใช้งาน

ฟิล์มกรองแสงที่ดี ไม่ใช่ฟิล์มที่ช่วยลดแสงจ้าได้เพียงอย่างเดียว แต่ต้องมีความสามารถในการสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ ทำให้ผู้ใช้รู้สึกสบายในการขับขี่ รวมทั้งช่วยประหยัดพลังงานในการทำงานของเครื่องปรับอากาศในรถด้วย ซึ่งการเลือกฟิล์มที่มีค่าลดความร้อนรวม (Total Solar Energy Rejected, TSER) ที่มีสูงๆ ยิ่งค่า TSER ยิ่งสูงยิ่งลดความร้อนได้มาก และทำระบบการทำงาน ความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศภายในรถยนต์ก็ทำงานน้อยลงหรือคอมเพรสเซอร์ไม่ต้องทำงานหนักมากเพื่อให้ได้ความเย็นตามต้องการ ซึ่งระบบเครื่องปรับอากาศนั้นก็ใช้พลังงานป้อนจากการหมุนของเครื่องยนต์ดังนั้นถ้าแอร์สามารถทำงานได้น้อยลง เครื่องยนต์ก็ทำงานน้อยลงด้วยจึงทำให้สามารถช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ และมีของแถมด้วยคือลดรายจ่ายในการดูแลรักษาระบบแอร์ด้วย ทั้งอะไหล่และน้ำยาแอร์ ดังนั้นการเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงที่ลดความร้อนดี ๆ ก็มีช่วยในการลดใช้พลังงานและช่วยลดภาวะโลกร้อนไปในตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันฟิล์มกรองแสงคุณภาพสูงนั้นมิให้เลือกมากและราคาถูก ทุกวันนี้ฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ที่วางขายในตลาดมีหลากหลายรายการค้า ซึ่งมีทั้งแบบที่มันคงถาวรและแบบสร้างเครื่องหนายการค้าใหม่ภายใต้บริษัทผลิตเดิม

1.2 ประเภทของฟิล์มกรองแสง สามารถจำแนกออกเป็น 5 ประเภทได้ดังนี้

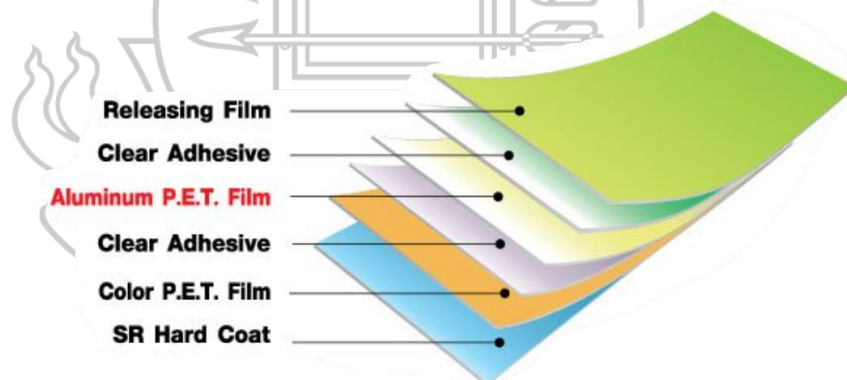
1.2.1 ฟิล์มย้อมสี (Chip Dyed Window Films) ฟิล์มกรองแสงประเภทธรรมดาแบบชนิดสีอยู่ในเนื้อฟิล์มโดยฟิล์มชนิดนี้เป็นฟิล์มที่ไม่มีการเคลือบไอโลหะผสมจึงไม่เกิดสะท้อนเงา ฟิล์มย้อมสีที่นิยมใช้กันมานานกว่า 50 ปี ฟิล์มกรองแสงประเภทนี้มีผู้ผลิตมากมาย มีลักษณะคล้ายคลึงกันเมื่อมองด้วยตาเปล่า แต่จะมีความแตกต่างในเรื่องอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิต เช่น Polyester กาว การเคลือบสารกันรอย เป็นต้น เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการติดตั้งเพื่อป้องกันแสงสว่างทำให้สบายตาเวลาขับขี่รถยนต์และเพิ่มความเป็นส่วนตัว โดยทั่วไปจะมีความหนารวม 1 Millimeter ฟิล์มย้อมสี (Dyed Film) เป็นฟิล์มที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีขั้นต่ำโดยจะนำสีมาย้อมที่กาวโพลีเอสเตอร์ มีคุณสมบัติในการกรองแสงได้แต่สามารถลดความร้อนได้น้อย เมื่อเสื่อมสภาพ สีจะจางลง สีจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง โป่งพอง ทำให้รบกวนทัศนวิสัย อายุการใช้งานสั้นไม่เกิน 3-5 ปี



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างฟิล์มย้อมสี (Chip Dyed Window Films)

ที่มา <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
(accessed Sep. 26, 2022)

1.2.2 ฟิล์มเคลือบไอโลหะ (Metallized Evaporation Window Films) ฟิล์มกรองแสงโดยการใช้โลหะ (Metal) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิต จึงมีลักษณะสะท้อนเงาเล็กน้อยถึงมาก ขึ้นกับระดับความเข้ม (Optical Density, OD) ของส่วนที่เป็นโลหะ ฟิล์มประเภทนี้มีสีสันทันให้เลือกมากที่สุดเพราะสามารถเพิ่มเติมชั้นที่เป็นสีเข้าไปอีกได้ โดยทั่วไปจะมีความหนารวม 1.5 Millimeter ฟิล์มที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงโดยใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์นำเอาอนุภาคของโลหะมาเคลือบไว้บนแผ่นโพลีเอสเตอร์ทำให้สามารถสะท้อนพลังงานความร้อนได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถลดความร้อนได้ดีกว่าฟิล์มย้อมสีมาก อายุการใช้งานประมาณ 5-7 ปี

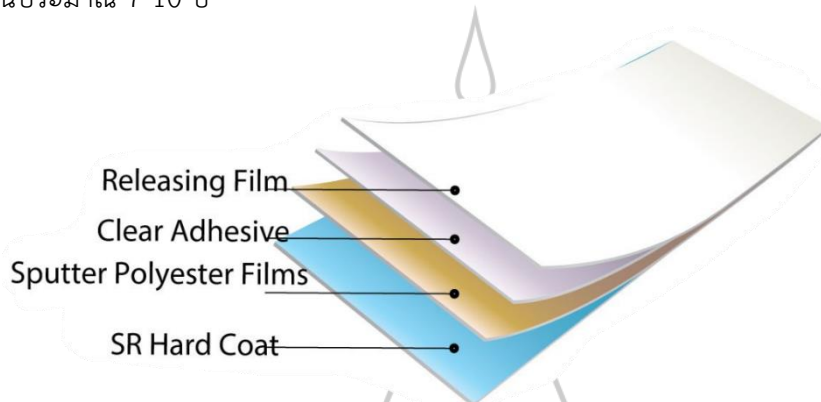


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างฟิล์มเคลือบไอโลหะ (Metallized Evaporation Window Films)

ที่มา <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
(accessed Sep. 26, 2022)

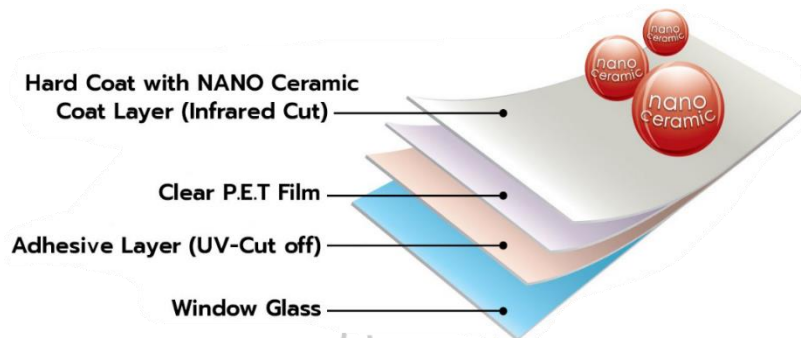
1.2.3 ฟิล์มเคลือบอนุภาคโลหะ (Metal Sputtering Window Films) ฟิล์มกรองแสงเคลือบอนุภาคโลหะ (Metal Sputtering Film) เป็นฟิล์มที่มีลักษณะคล้ายกับ Metallized Films แต่เป็นการเคลือบด้วยไอโลหะหรือการเคลือบด้วยวิธี Sputtering จึงได้ฟิล์มที่มีลักษณะโปร่งแสงและความใสดีกว่าตลอดจนมีอายุการใช้งานที่ยาวนานนับ 10 ปี เพียงแต่สีของฟิล์มมีให้เลือกตาม

สีของอนุภาคโลหะเท่านั้นจะไม่มีการใช้สี (Dye) เข้าไปเป็นส่วนประกอบ โดยทั่วไปจะมีความหนารวม 1.5-2 Millimeter พิล์มเคลือบอนุภาคโลหะใช้การเหนียวนำของประจุไฟฟ้าในสุญญากาศให้อนุภาคโลหะไปเกาะติดบนแผ่นโพลีเอสเตอร์ ทำให้ได้ฟิล์มที่มีความคงทนมาก ลดความร้อนได้สูง มีอายุการใช้งานประมาณ 7-10 ปี



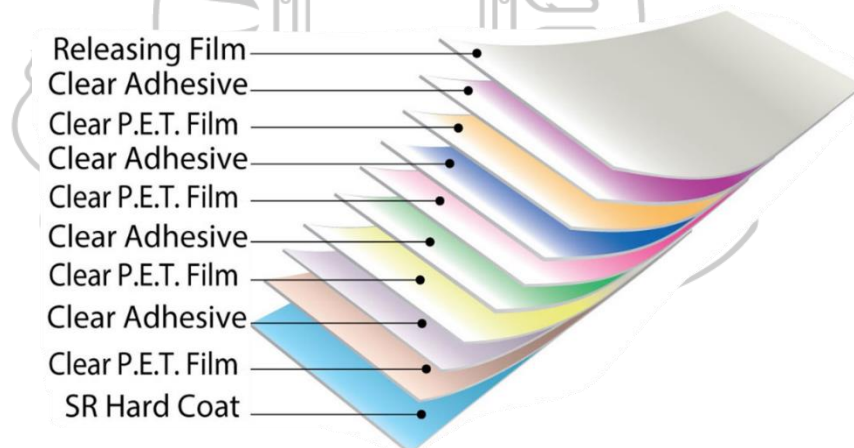
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างฟิล์มเคลือบอนุภาคโลหะ(Metal Sputtering Window Films)
ที่มา <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
(accessed Sep. 26, 2022)

1.2.4 ฟิล์มกรองแสงนาโน (Nano-Super IR Window Films) ฟิล์มนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) ได้นำเทคโนโลยีนาโน มาประยุกต์ใช้ในการผลิตฟิล์มกรองแสง ด้วยการคัดเลือก Nano Materials ที่มีขนาด 1 ในพันล้านส่วน (1นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร) เช่น เซรามิก (Ceramic), ATO (Antium Tin Oxide), ITO (Indium Tin Oxide) เป็นต้นนำมาเข้ากระบวนการผลิตร่วมกับแผ่น P.E.T. ชนิดใสพิเศษจนได้แผ่นที่สามารถกั้นคลื่นความร้อน และรังสียูวี ได้เกือบ 100% โดยไม่ต้องมีสีหรือโลหะเป็นส่วนประกอบโดยทั่วไปจะมีความหนารวม 1.5-2 mm. ฟิล์มนาโนเทคโนโลยีเป็นการนำ nano material มาใช้เป็นส่วนผสมของการผลิต อาทิ Carbide-99, Indium Tin Oxide (ITO), Antimony Tin Oxide (ATO), Titanium Nitride (TiN) ผลิตด้วยนาโนเทคโนโลยี ทำให้ได้ฟิล์มกรองแสงที่สามารถลดรังสีอินฟราเรด (Infrared rays) หรือคลื่นความร้อน ที่เป็นตัวการสำคัญของความร้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดได้มากถึง 99% ส่งผลให้ลดความร้อนได้สูงแม้เนื้อฟิล์มจะมีความใส มีอายุการใช้งานประมาณ 7-10 ปี



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างฟิล์มกรองแสงนาโน (Nano-Super IR Window Films)
 ที่มา <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
 (accessed Sep. 26, 2022)

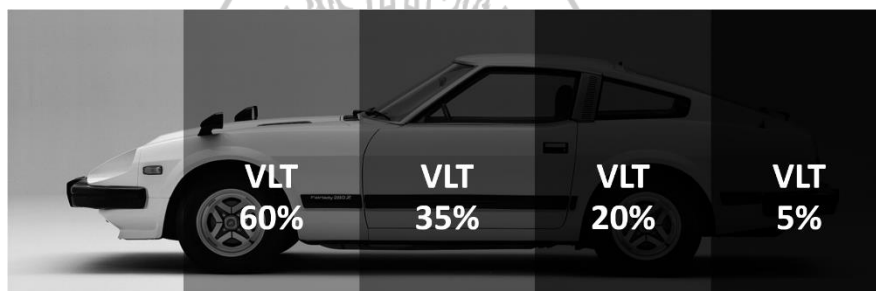
1.2.5 ฟิล์มนิรภัย (Safety & Security Window Films) ฟิล์มนิรภัยเป็นฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนการผลิต เช่นเดียวกับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์อื่นๆ แต่มีความแตกต่างตรงที่ใช้แผ่น Polyester ที่มีความหนา (Thickness) ตั้งแต่ 4-21 Millimeter ตลอดจนใช้ชนิดและปริมาณของกาว (ADHESIVE) ที่มีคุณสมบัติในการยึดติดกับกระจกได้อย่างเหนียวแน่นกว่ามาก ส่วนการจะเพิ่มความหนาของชั้น Polyester และกาวจะมากเท่าใด ก็ขึ้นอยู่กับระดับความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกมากเป็นพิเศษเท่าที่ต้องการ



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างฟิล์มนิรภัย (Safety & Security Window Films)
 ที่มา <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
 (accessed Sep. 26, 2022)

1.3 ระดับความเข้มของฟิล์มกรองแสง

ระดับความเข้มของฟิล์มกรองแสงนั้น หมายถึง ค่าร้อยละในการกันรังสีอาทิตย์ ในช่วงความยาวคลื่นที่สายตาคนเราสามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ของฟิล์มกรองแสงนั้นๆ ในประเทศไทยนั้นมีการเรียกความเข้มของฟิล์มกรองแสงไว้ 4 ระดับ คือ ฟิล์มเข้ม 80% ฟิล์มเข้ม 60% ฟิล์มเข้ม 40% และฟิล์มใส ซึ่งเป็นความเข้าใจผิดของผู้จำหน่ายและผู้บริโภค การเรียกความเข้มของฟิล์มกรองแสงที่ถูกต่อนั้น จะต้องพิจารณาค่าแสงสว่างส่องผ่าน VLT (Visible Light Transmission) ยิ่งแสงสว่างส่องผ่านได้น้อยฟิล์มกรองแสงมีสีเข้ม และสามารถกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้ดีขึ้นด้วย เพราะฉะนั้นติดฟิล์มรถยนต์ที่เข้ม 80% เหมือนกันอาจจะมีเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่านที่ต่างกันทำให้ความเข้มจริงๆต่างกันก็เป็นไปได้ ซึ่งในยุคแรกๆ ทั้งผู้บริโภคและร้านค้ายังไม่ทราบรายละเอียดดังกล่าวจึงใช้การประมาณความเข้มของฟิล์มแทน เช่น ฟิล์มมีค่าแสงส่องผ่านได้ 5% ฟิล์มจะมีความเข้ม 95% แต่เรียกฟิล์มเบอร์นี้ว่าฟิล์ม 80% ฟิล์มมีค่าแสงส่องผ่านได้ 20% ฟิล์มจะมีความเข้ม 80% แต่เรียกฟิล์มเบอร์นี้ว่าฟิล์ม 60% และฟิล์มมีค่าแสงส่องผ่านได้ 40% ฟิล์มจะมีความเข้ม 60% แต่เรียกฟิล์มเบอร์นี้ว่า 40% ซึ่งการเรียกดังกล่าวยังเข้าใจกับผิด ๆ อยู่จนทุกวันนี้



ภาพที่ 2.8 รูประดับความเข้มแสง

ฟิล์มเข้ม 80% คือ ฟิล์มที่มีค่าแสงสว่างส่องผ่าน (VLT) ประมาณ 5% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 80%

ฟิล์มเข้ม 60% คือ ฟิล์มที่มีค่าแสงสว่างส่องผ่าน (VLT) ประมาณ 20% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 60%

ฟิล์มเข้ม 40% คือ ฟิล์มที่มีค่าแสงสว่างส่องผ่าน (VLT) ประมาณ 35% จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิด 40%

ฟิล์มใส คือ ฟิล์มที่มีค่าแสงสว่างส่องผ่าน (VLT) ประมาณ 60% ขึ้นไป จัดเป็นกลุ่มฟิล์มชนิดใส

1.4 สมบัติของฟิล์มกรองแสง

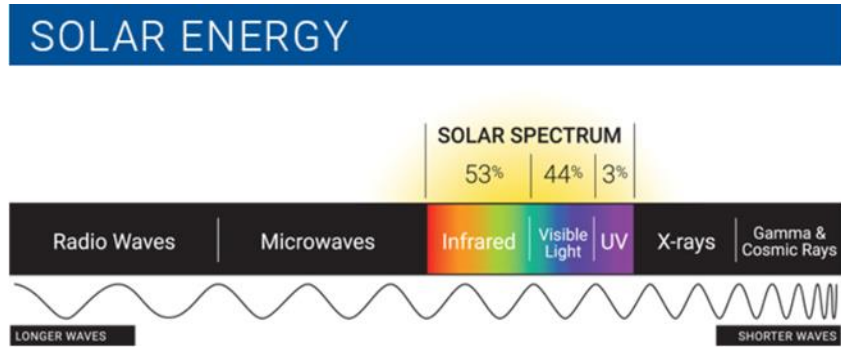
สมบัติของฟิล์มกรองแสงสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม

1.4.1 สมบัติด้านพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) มีผลต่อฟิล์มกรองแสง ประกอบด้วย การสะท้อนกลับ (Reflectance) การส่องผ่านของแสง (Transmittance) การดูดกลืน (Absorptance) เมื่อมีรังสีจากแสงอาทิตย์มาตกกระทบวัสดุ ผิววัสดุจะมีการสะท้อนพลังงานส่วนหนึ่ง กลับออกไปและดูดกลืนพลังงานส่วนหนึ่งเอาไว้ หากเป็นวัสดุโปร่งแสง เช่น กระจก และฟิล์มกรองแสง ซึ่งจะมีพลังงานบางส่วนสามารถส่องผ่านฟิล์มกรองแสงไปได้ โดยพลังงานที่สะท้อนกลับออกไปต่อพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบ คือ การสะท้อน ส่วนพลังงานที่ดูดซับไว้ต่อพลังงานที่ตกกระทบ คือ การดูดกลืน และพลังงานที่ส่องผ่านที่ตกกระทบ คือ การส่องผ่านของวัสดุ โดยค่าทั้ง 3 ของวัสดุนั้น รวมกันต้องเท่ากับ

1.4.2 สมบัติทางสเปกตรัมของแสง (Solar Spectrum) มีผลต่อฟิล์มกรองแสง ประกอบด้วย การส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmitted, VLT) การส่องผ่านรังสียูวี (Ultraviolet Transmitted, UV) และการส่องผ่านของรังสีอินฟราเรด (Infrared Transmittance, IRR) แสงแดดซึ่งถือว่าเป็นแสงสีขาว (Day Light) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงที่สายตาของเราสามารถมองเห็นได้ แต่ถ้าคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ของแสงซึ่งสายตาเราจับไม่ได้ นั่นจะเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) หรือเรียกว่ารังสีสีม่วง และคลื่นความถี่ไฟฟ้าที่มีค่าความถี่ต่ำกว่าค่าของแสงรังสีอินฟราเรด (Infrared) หรือเรียกว่า สเปกตรัมของแสง ซึ่งรังสีอาทิตย์ที่แผ่มาซึ่งพื้นโลกมีองค์ประกอบที่แยกตามความยาวคลื่นดังนี้ (<https://kontrast.in.th/technology/parameter>)

ลำแสงที่มองเห็น (Visible Light) มีความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ในลำแสงสเปกตรัมลำแสงที่เรามองเห็นได้คิดเป็น 44% ของลำแสงทั้งหมด

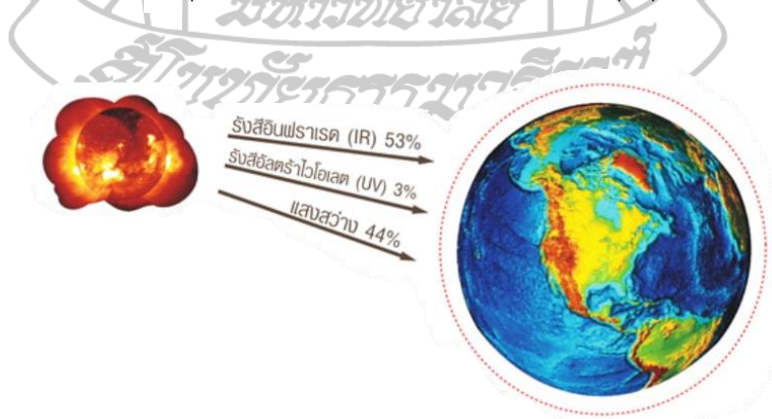
ลำแสงที่มองไม่เห็น (Invisible Light) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ต มีความคลื่น 100-400 นาโนเมตร ในลำแสงสเปกตรัมมีรังสีอัลตราไวโอเล็ต คิดเป็น 3% ของลำแสงทั้งหมด และรังสีอินฟราเรด มีความยาวคลื่น 700 ถึง 2,400 นาโนเมตร ในลำแสงสเปกตรัมมีรังสีอินฟราเรด คิดเป็น 53% ของลำแสงทั้งหมด



รูปสมบัติทางสเปกตรัมของแสง (Solar Spectrum)

ที่มา https://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=244
(accessed Nov. 3, 2022)

ความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ นั้นเกิดจากรังสีอินฟราเรดและแสงสว่าง รวมกันมีได้เกิดจากรังสีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง รังสีอินฟราเรดของดวงอาทิตย์มองไม่เห็นด้วยตามนุษย์ แต่เรายังคงรู้สึกว่ามันเป็นความร้อน ผู้ผลิตฟิล์มกรองแสงในหลายบริษัทอ้างว่ามีฟิล์มกรองแสง ป้องกันการปฏิเสธอินฟราเรดมากกว่า 90% ดังนั้นหากรังสีอินฟราเรดเป็นพลังงานแสงอาทิตย์เรารู้สึก ว่าเป็นความร้อนนั้นหมายความว่าฟิล์มเหล่านี้ปิดกั้นความร้อนของดวงอาทิตย์ได้มากกว่า 90% หรือไม่ แม้ว่ามนุษย์เราจะประสบกับรังสีอินฟราเรดเป็นความร้อน แต่ก็มีสัดส่วนเพียงประมาณ 53% ของความร้อนทั้งหมดที่เราได้รับจากดวงอาทิตย์ ทั้งแสงที่มองเห็นได้ 44% และแสงอัลตราไวโอเล็ต 3% คิดเป็น 47% ที่เหลือของความร้อนของดวงอาทิตย์ที่มาถึงร่างกายมนุษย์บนโลก ดังนั้นฟิล์ม กรองแสงที่ดีต้องสามารถป้องกันได้ทั้ง 2 ส่วน นั่นก็คือค่าการลดความร้อนจากแสงแดด (Total Solar Energy Rejected) นั่นเอง (<http://www.ozonefilm.com/filminfo.php>)

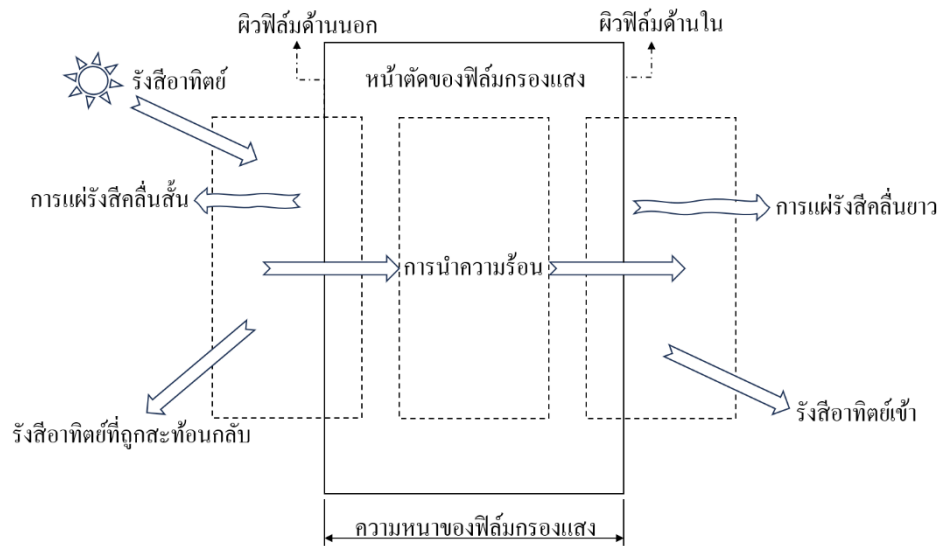


ภาพที่ 2.10 ที่มาของความร้อนของดวงอาทิตย์

ที่มา <https://twilightautotint.com.au/is-infrared-rejection-the-same-as-heat-rejection/>
(accessed Nov. 3, 2022)

1.5 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านฟิล์มกรองแสง

การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เมื่อตำแหน่งสองตำแหน่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน หรือ การเคลื่อนที่ของพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปอีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อย ๆ โดยเคลื่อนจาก อุณหภูมิที่สูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนนั้น ขึ้นอยู่กับ สภาพการนำความร้อน ของวัสดุและปัจจัยหรือชนิดวัสดุมีผลในการนำความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิผิว ทั้งสองด้าน ความหนาของวัสดุ ความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัส ความร้อน (ธวัชชัย ศรีศิลป์โสภณ, 2006, น.25)



ภาพที่ 2.11 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านแผ่นฟิล์มกรองแสง

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนกระบวนการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย การนำ ความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน รวมถึงองค์ประกอบรังสีอาทิตย์ ปัจจัยการ ส่งผ่านความร้อน และปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ ต่อจากนั้นเป็นรายงานผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ด้านการถ่ายเทความร้อนหลักการถ่ายเทความร้อน กระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเมื่อบริเวณ สองบริเวณมีอุณหภูมิแตกต่างกันทำให้มีการเคลื่อนที่พลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำกว่า กลไกการถ่ายเทความร้อน ซึ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้สามวิธี คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การนำความร้อน คือการถ่ายโอนความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปอีกที่ หนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของ ความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกันในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่าน

โมเลกุลของสารโดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ซึ่งปริมาณของความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุ และเป็นปัจจัยอื่นๆที่มีผลในการนำความร้อน ได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวของวัสดุทั้ง 2 ด้าน ความหนาแน่นของวัสดุ ความหนาของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสความร้อนการถ่ายเทความร้อนผ่านฟิล์มกรองแสงสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟูรีเยร์ (Fourie's Law)

กฎของฟูรีเยร์ กล่าวว่า “เมื่อพิจารณาการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q_x) ที่ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นจะเป็นจะแปรผัน โดยตรงกับพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวทั้งสองด้านต่อความหนาของวัสดุนั้น (dT/dX)”

สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง X ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state) อุณหภูมิในตัวกลาง $T = T(X)$ จากกฎของฟูรีเยร์

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dX}$$

ซึ่งมีสาระสำคัญคือ การพาความร้อน คือการถ่ายโอนความร้อนโดยอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการพาความร้อน เช่นการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุออกจากผนังทำให้อากาศโดยรอบร้อนขึ้น ทำให้อากาศซึ่งมีความหนาแน่นต่ำลอยตัวสูงขึ้น เพราะมีมวลอากาศเบา อากาศเย็นก็จะเข้ามาแทนที่ ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ การพาความร้อนแบบออกเป็น 2 ประเภท 1.การพาความร้อนแบบอิสระโดยธรรมชาติ อาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือกระแสอากาศไหลเวียนตามธรรมชาติ 2.การพาความร้อนแบบบังคับ ใช้แรงภายนอกมาบังคับการเคลื่อนตัวของของไหลที่เคลื่อนตัวต่างพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

การแผ่รังสีความร้อนคือ การถ่ายเทความร้อนออกนอกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องใช้ตัวกลางในการถ่ายเทพลังงาน พลังงานจะเดินทางในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากจุดอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศได้ เช่น ความร้อนจากแสงดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ 0 K (เคลวิน) มีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำจะแผ่รังสีออกมาเป็นคลื่นยาว วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีออกมาเป็นคลื่นสั้น เช่น สิ่งแวดล้อมและสิ่งต่างๆรอบตัวเราหรือวัตถุอื่นๆ การแผ่รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวทางความร้อนของอนุภาคในเรื่อง สสารทั้งหมดที่มีอุณหภูมิมากกว่าศูนย์สัมบูรณ์

จะแผ่รังสีความร้อนออกมาจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคส่งผลให้เกิดการเร่งประจุไฟฟ้า ซึ่งก่อให้เกิดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า จากความรู้สึกร้อนสัมผัส จากทางร่างกาย เราารู้สึกร้อนมากเมื่อเราเดินอยู่ท่ามกลางแสงแดด และรู้สึกหนาวในเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติภักดิ์ วิริยะประสาท(2560) ได้ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มลดความร้อนติดรถยนต์ เพื่อวัดความสามารถของฟิล์มกรองแสง การทดลองครั้งนี้ทำการทดสอบทั้งหมด 4 แบบ 1.ทดสอบการป้องกันรังสียูวีช่วง UVA และ UVB 2.ทดสอบการส่องผ่านของแสง 3.ทดสอบการลดรังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อน 4.ทดสอบการป้องกันความร้อนสะสม ได้จำลองตู้ทดสอบขนาดปริมาตร 0.5 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งเป็นตัวแทนของรถยนต์ที่มีกระจกที่ติดฟิล์มตัวอย่าง ปิดอยู่ด้านบน รับแสงจากหลอดไฟฮาโลเจนขนาด 2,000 วัตต์ โดยมีเครื่องวัดแสงเชิงสเปกตรัมอยู่ภายใน และตัววัดอุณหภูมิภายนอกและภายใน ซึ่งผลการวัดจะแสดงถึงความสามารถในการกันแสงและความร้อนของฟิล์มตัวอย่าง ตู้ทดสอบประกอบด้วย แผ่นฟิล์มกรองแสงตัวอย่าง เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดแสงสเปกตรัมค่า UV และIRR ที่ช่วงความถี่ 280-1,000 นาโนเมตร ผลการทดสอบพบว่าทุกๆ ยี่ห้อสามารถป้องกันแสง UV ได้ใกล้เคียงกัน การป้องกันความร้อน ถ้าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิด้านนอกกับด้านในมีน้อย แสดงว่าสามารถกันความร้อนได้ดีและพบว่า Hi-Kool มีความสามารถกันความร้อนความร้อนได้ดีกว่าทุกยี่ห้อ แต่ความสามารถของการส่องผ่านแสงช่วงสายตามองเห็น ผ่านเข้ามาได้ค่อนข้างน้อย หากค่าแสงช่วงสายตามองเห็นได้ผ่านเข้ามาได้น้อยเกินไปก็ทำให้การมองเห็นได้ไม่ดี อาจจะทำให้ทัศนวิสัยในการขับรถได้ สำหรับในการพิจารณาเรื่อง การส่องผ่านแสงช่วงสายตามองเห็น ค่าความสว่างของแสง (Lux) มากจะทำให้การมองเห็นชัดเจนกว่าค่าความสว่างของแสงน้อย ซึ่งจะเห็นผลชัดเจนเวลาขับรถเวลากลางคืนทำให้ฟิล์ม 3M อาจเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด

ติเกะ บุนนาค, โรจน์ สุวรรณมณี และรุสดี สานานะอะ(2005) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและปริมาณแสงผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกและแผ่นสะท้อนความร้อน การทดลองโดยใช้หลอดไฟ PHILIPS รุ่น 125IR กำลังไฟ 250 watt เพื่อทดแทนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เพื่อสร้างความร้อนและแสงสว่าง ตัวอย่างการทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ได้แก่ แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกสีเทา แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกสีฟ้า แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกสีน้ำเงิน แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกสีน้ำตาล และแผ่นสะท้อนความร้อนแบบอลูมิเนียมสองชั้น มีขนาด 50×50

เซนติเมตร ในตู้ทดลองขนาด ใช้เวลาในการทดลองตัวอย่าง 360 นาที เก็บข้อมูลทุกๆ 20 นาที ทำการทดลองตัวอย่างละ 5 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าทางสถิติที่ค่าความเชื่อถือได้ 90% จากการศึกษาพบได้ว่าแผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกแผ่นสีเทาและสีฟ้า ซึ่งมีความเข้มน้อยกว่าสีน้ำเงิน แต่กลับมีค่าความเข้มของแสงที่ต่ำกว่า เนื่องมาจากแผ่นสีเทาและสีฟ้าได้ถูกเคลือบด้วยวัสดุสะท้อนแสง ทำให้แสงถูกสะท้อนออกไปมากกว่าการส่งผ่านแสงจึงมีค่าต่ำกว่าแผ่นสีน้ำเงิน ซึ่งไม่มีการเคลือบวัสดุสะท้อนแสง ค่าความเข้มของแสง

ติกะ บุนนาค และคณะ(2004) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการส่งผ่านกระจกอาคารหลายรูปแบบ ทำการทดสอบด้วยใช้หลอดไฟ OSRAM POWERSTAR HQI-E 250W แทนแสงอาทิตย์เทียม กล่องทดสอบทำจากโลหะ 2 ชั้น กว้าง 50 cm ยาว 40 cm สูง 30 cm ภายในบุนนวนใยแก้วระหว่างชั้น กระจกที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาดกว้าง 30 cm ยาว 30 cm หนา 6 mm มีทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่กระจกใสชั้นเดียวติดฟิล์มต่างกัน 4 ชนิด คือ สีฟ้าใส สีเงินเข้ม และสีเทาเข้ม กระจก 2 ชั้น 3 ชนิด คือ กระจกสองชั้น ด้านบนติดฟิล์มสีเงินเข้มด้านล่างใส กระจกสองชั้นด้านบนใสด้านล่างติดฟิล์มสีเข้ม และกระจกสองชั้นลักษณะเดียวกันที่เจาะช่องระบายอากาศจากด้านในสู่ด้านนอก ใช้หลอดไฟสร้างความร้อน มีการวัดอุณหภูมิความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิล และวัดความสว่างด้วยเครื่อง Lux meter วิเคราะห์ข้อมูลภายใต้สภาวะคงที่ เพื่อหาค่าการส่งผ่านความร้อนทางกระจกและช่วงการหน่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกและชนิด ผลการทดสอบพบว่ากระจกชั้นเดียวจะยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้มากกว่ากระจกสองชั้น การทดสอบพบว่าสีของฟิล์มกรองแสงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนดังนี้ ฟิล์มสีฟ้าอ่อน(ค่าแสงส่องผ่านมาก) มีอุณหภูมิภายในห้องมากที่สุด ในทางกลับกันฟิล์มสีน้ำเงิน(ค่าแสงส่องผ่านน้อย) มีอุณหภูมิภายในห้องน้อยที่สุด ผลการทดสอบสามารถใช้ประกอบในการเลือกชนิดของกระจกประกอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

C.-Y. Tseng, Y.-A. Yan and J.C. Leong(2014) ได้ศึกษาการแผ่รังสีความร้อนภายในห้องโดยสารรถ โดยทำการจำลองการฉายรังสีความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งกำเนิดจากหลอดไฟอินฟราเรด 350W ในระยะห่างแบบจำลองที่ 30 ซม. ตัวแบบและมุมเงย 30 องศา โดยการจำลองการวัดอุณหภูมิพบว่าหลังคากลางและไม้หลังคามีอุณหภูมิ 38.4°C และ 42.1°C ตามลำดับ ภายใต้สิ่งนี้การตั้งค่า หลังคาของแบบจำลองดูดซับมากของพลังงานความร้อนแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดแสง ผลที่ตามมาพบว่าหลังคาทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนอีกแหล่งหนึ่งในการถ่ายเทความร้อนการวัดผลการทดลองในปัจจุบันชี้ให้เห็นว่าห้องโดยสารที่มีหลังคาไม้โดยทั่วไปจะเย็นกว่า 5 องศาเซลเซียสกว่าหลังคาสแตนเลสทั้งที่พื้นผิวด้านบนของหลังคาไม้มีอุณหภูมิโดยทั่วไปสูงกว่าประมาณ 5°C อุณหภูมิร้อนกว่าหลังคาสแตนเลส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในห้องโดยสารจะลดลงขึ้นอยู่กับสีของหลังคาด้วย อย่างไรก็ตาม นอกจากนี้ยังพบว่าการติดตั้งฟิล์มกระจกทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมากในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการทำความร้อน เนื่องจากอัตราการสะสมความร้อนภายในห้องโดยสาร

ลดลงอย่างมากในช่วงแรก หลังจากช่วงระยะเวลาหนึ่ง อัตราของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทั้งที่มีฟิล์มกรองแสงและไม่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงปรากฏว่ามีอุณหภูมิเท่ากัน ผลการทดสอบพบว่าการติดตั้งฟิล์มกรองแสงช่วยลดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในห้องโดยสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการติดตั้งของพวกเขาจะช่วยประหยัดพลังงานรถยนต์โดยรวมอย่างมีนัยสำคัญและดังนั้นจึงขยายระยะทางการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง และพบว่าความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะเข้าสู่พื้นที่ห้องโดยสารผ่านการนำผ่าน หลังคาห้องโดยสารผลการทดลองในปัจจุบันยืนยันว่าเพดานห้องโดยสาร ฉนวนกันความร้อนช่วยลดอุณหภูมิอากาศในห้องโดยสารโดยรวมได้อย่างมาก

ชมลวรรณ เขียวปาน(2557) ได้ศึกษาสมรรถนะเชิงคุณภาพของฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ ได้ทำการศึกษาและการทดสอบเก็บข้อมูลจริงกับตัวอย่างฟิล์มกรองแสงทั้ง 3 ชนิด ผลการทดสอบพบว่าฟิล์มกรองแสงที่มีความเข้มแสงสูงจะมีค่าอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านในสูง แต่ในทางกลับกันฟิล์มกรองแสงที่มีค่าความเข้มแสงต่ำ อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านในมีค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน พบว่าฟิล์มกรองแสงกันความร้อนสามารถลดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนได้ดีที่สุดประมาณ 6.8 °C เมื่อทำการวิเคราะห์การถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านกระจกติดฟิล์มกรองแสงเข้าสู่ภายในห้องโดยสารรถยนต์ และพบว่ารถยนต์ที่ไม่ได้ติดฟิล์มกรองแสง มีค่าพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ภายในห้องโดยสารรถยนต์สูงถึง 1,638 วัตต์ แต่เมื่อติดฟิล์มกรองแสงกันความร้อน ปริมาณพลังงานความร้อนเข้าสู่ห้องโดยสารจะลดลงได้ถึง 940 วัตต์ เมื่อคิดการลดพลังงานความร้อนเป็นเปอร์เซ็นต์ฟิล์มกรองแสงกันความร้อนลดความร้อนได้ 57% จากการศึกษาพบว่า ฟิล์มกรองแสงกันความร้อนที่ดีควรมีค่า SHGC ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากดวงอาทิตย์ ต่ำกว่า 0.47 (47%) ค่า SHGC ยังมีค่าต่ำยิ่งดี แต่ควรพิจารณาประกอบกับค่าการส่งผ่านของแสง(VLT) ด้วย ค่า VLT ยิ่งมากยิ่งขึ้นยิ่งดี ผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์อัตราผลตอบแทน พิจารณาจากผลการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงและค่าเงินลงทุนในการติดตั้งฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ ฟิล์มกรองแสงความเข้ม 80% ให้อัตราผลตอบแทน เท่ากับ 52% ฟิล์มกรองแสงกันความร้อนมีความสามารถในการลดปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงได้ดีที่สุด

นายรัชชชัย ศรีศิลป์โสภณ(2549) ได้ทำการศึกษาค่าการเปรียบเทียบรถยนต์ที่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงกลุ่มฟิล์มชนิด 40% 60% และ80% เปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ไม่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงที่กระจกและรถยนต์ พบว่ารถยนต์ที่ติดตั้งฟิล์มกรองแสงที่มีความทึบเพิ่มขึ้น จะช่วยลดค่าอุณหภูมิลงได้ดีขึ้น แต่เมื่อความทึบเกิน 60% ค่าอุณหภูมิมีแนวโน้มว่าจะลดลงไม่มากนัก สำหรับรถยนต์ไม่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากดวงอาทิตย์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่เกิดจากการแผ่รังสีของรถยนต์ที่ติดตั้งฟิล์มกรองแสงที่กระจกจะมีค่าน้อยกว่า รถยนต์ที่ไม่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงตลอดวันที่ทำการทดสอบเช่นกัน และค่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบที่เกิดจากการแผ่รังสีจะใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิ อากาศภายใน และอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ของระบบปรับอากาศ สำหรับผลการเปรียบเทียบภาวะ

การทำความเย็น และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงพบว่ารถยนต์ที่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงกลุ่มฟิล์มชนิด 40% 60% และ 80% ที่กระจกค่าเฉลี่ยภาระการทำความเย็นลดลงได้ 14% 18% และ 20% ตามลำดับ และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลงได้ 11.4% 14.4% และ 18%

สมศักดิ์ และคณะ(2546) พัฒนาแบบจำลองเพื่อคำนวณหาการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกใสและกระจกติดฟิล์มกรองแสง พบได้ว่าหน้าต่างกระจกสะท้อนแสงและหน้าต่างกระจกสองชั้นที่มีแผ่นกระจกสะท้อนแสงอยู่ด้านนอกมีค่าการผ่านความร้อนต่ำที่สุด กระจก Low-e ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ค่อนข้างต่ำกว่ากระจกติดฟิล์มกรองแสง และกระจกชั้นเดียว

Burns et al.,(1999)ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการติดฟิล์มกรองแสงกระจกบานหน้ารถยนต์ต่อประสิทธิภาพการมองเห็น เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้สูงวัยกับกลุ่มหนุ่มสาว โดยกระจกบานหน้าติดฟิล์มกรองแสงที่มีค่าการส่องผ่านของแสงที่มองเห็นได้ 35% (หรือเมืองไทยเรียกว่าฟิล์มกลุ่ม 40%) พบว่าฟิล์มกรองแสงส่งผลถึงการมองเห็น การตรวจจับเป้าหมาย ความปลอดภัยบนท้องถนนอาจถูกลดทอนลงตามอายุ การรับรู้และการประมวลผลภาพลดลงตามอายุ การทดลองสองการทดลองของคนหนุ่มสาวและผู้สูงอายุ ได้ทำการทดลองทั้งหมดสองครั้ง การทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการมองเห็นสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุเฉลี่ย 70.6 ปี ค่าแสงส่องผ่านควรไม่น้อยกว่า 63 % (VLT) และสำหรับกลุ่มหนุ่มสาวอายุเฉลี่ย 22.8 ปีนิยมใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพการมองเห็นค่าแสงส่องผ่านควรไม่น้อยกว่า 20% (VLT)

นางสาวมณฑิรา สุริยะปฐมธรร(2559) ได้ศึกษาปัจจัยการเลือกซื้อฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ โดยเลือกปัจจัยส่วนประสมการตลาด (7Ps) ประกอบด้วย 1.ด้านผลิตภัณฑ์ (Product) 2.ด้านราคา (Price) 3.ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) 4.ด้านการส่งเสริมการตลาด(Promotion) 5.ด้าน บุคลากร (People) 6.ด้านการสร้างและนำเสนอลักษณะทางกายภาพ (Physical Evidence) 7.ด้านกระบวนการ (Process) พบว่ามีเพียง 2 ปัจจัยในการตัดสินใจ คือ 1.ด้านราคา (Price) 2.ด้านการสร้างและนำเสนอลักษณะทางกายภาพ แปรนด้นำเชื่อถือ (Physical Evidence) ด้านปัจจัยด้านเพศ รายได้ ด้านกระบวนการ ไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการเลือกซื้อฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์

นางสาวอรจิรา แซ่เม่ง(2564) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีต่อผู้บริโภคในการเลือกติดฟิล์มกรองแสงกลุ่มตัวอย่างมีรายได้ระหว่าง 10,001-20,000 บาท ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเลือกติดฟิล์มกรองแสงรถยนต์มากที่สุด คือ 1.แบรนด์ผลิตภัณฑ์ 2.สถานที่จัดจำหน่าย 3.ราคาและการส่งเสริมการขาย ผู้บริโภคพึงพอใจกับราคาที่เหมาะสมเมื่อกับคุณภาพ และคุณสมบัติ (ฉัตรธนะ กุลมา & ดร.พีรพงษ์ พุศิริ, 2555) ความพึงพอใจฟิล์มกรองแสงกลุ่มตัวอย่าง ที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนละ 15,001 – 20,000 บาท มีค่าใช้จ่ายในการติดฟิล์มกรองแสงเฉลี่ยต่อครั้ง 2,001 – 3,000 บาท ผู้ใช้มากกว่า

ครั้งหนึ่งยังไม่เคยเปลี่ยนฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ เหตุผลเนื่องจากยังคิดว่าฟิล์มกรองแสง ยังสามารถป้องกันความร้อน และรังสี UV จากแสงแดดได้อยู่

เกรียงไกร โอวาสีทธิ์(2550) ได้ศึกษาปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีผลต่อกระบวนการตัดสินใจซื้อฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์พบว่า เพศชายเพศหญิงไม่มีผลต่อกระบวนการตัดสินใจซื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าลักษณะประชากรศาสตร์ในด้านรายได้ที่แตกต่างกันส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อที่ฟิล์มกรองแสงแตกต่างกัน บุญญรัตน์ กุศลสง(2554) ทศนคติของผู้บริโภคต่อแนวโน้มพฤติกรรมในการซื้อติดตั้งฟิล์มกรองพบว่าผู้ชายและผู้หญิง มีการซื้อฟิล์มกรองแสงแตกต่างกันในเรื่องราคา สีฟิล์มกรองแสงและค่าแสงส่องผ่านโดยเพศชายมีพฤติกรรมการซื้อที่น้อยกว่าเพศหญิง และพบว่ารายได้ที่แตกต่างกันมีแนวโน้มการซื้อฟิล์มกรองแสงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการสืบค้นรายงานไว้ข้างต้นเกี่ยวกับฟิล์มกรองแสง พบว่าการติดตั้งฟิล์มกรองแสงมีผลต่อการลดปริมาณความร้อนเนื่องจากรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่รถยนต์ ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิภายในห้องโดยสารรถยนต์ที่สบาย ลดอุณหภูมิผิวของกระจกด้านใน รวมถึงภาระการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศภายในห้องโดยสารและลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง สมบัติของฟิล์มกรองแสงมีผลต่อความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่ห้องโดยสารได้แก่ ค่าแสงสว่างส่องผ่าน ค่าการส่องผ่านรังสี ค่าการต้านทานการนำความร้อน ค่าการสะท้อนรังสีอินฟราเรด ประเภทของฟิล์มกรองแสง การนำความร้อน การลดความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านฟิล์มกรองแสงและกระจก สามารถดำเนินการลดความร้อนได้หลายวิธี ด้วยการเลือกประเภทของฟิล์มกรองแสง การเลือกใช้การเพิ่มขึ้นของกระจก เช่น เพิ่มขึ้นกระจก 2 ชั้น กระจก 3 ชั้น ต่างก็มีข้อได้เปรียบ ข้อเสียเปรียบ แต่ต่างกัน แนวทางในการวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบการนำฟิล์มกรองแสงมาติดทับซ้อนกันสองชั้นเพื่อเพิ่มความต้านทานการนำความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนผ่านฟิล์มกรองแสง ในสภาวะการณ์ที่เหมาะสมในการต้านทานการนำความร้อนโดยการซ้อนทับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ในรูปแบบผิวสองชั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติการต้านทานการนำความร้อนฟิล์มกรองแสงโดยการทดสอบในครั้งนี้ ทดสอบในห้องปิด มีข้อดีคือสามารถกำหนดพื้นที่รับแสงและอุณหภูมิภายในห้องทดลอง เพื่อลดผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนทำให้ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือได้ว่าพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของห้องทดสอบ ผู้ทดลองได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดภายในตู้ทดลอง ภายในตู้ทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1.ภายในตู้ชั้นบน มีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิความร้อน 2 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน และวัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มกรองแสงด้านบน 2.ภายในตู้ชั้นล่าง มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ทั้งหมด 3 จุด ติดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 จุด เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มกรองแสงด้านล่าง และติดตั้งเซ็นเซอร์วัดแสงสว่าง ในการทดสอบได้ ออกแบบการทดสอบที่ประกอบไปด้วยแสงจำลองดวงอาทิตย์จากหลอดไฟกำลังไฟ 100 วัตต์ เพื่อ สร้างแสงสว่างและสร้างอุณหภูมิความร้อน ขั้นตอนการทดสอบโดยทำการเป็นสวิตซ์หลอดไฟ เพื่อ สร้างอุณหภูมิความร้อนและแสงสว่าง เป็นเวลา 30 นาที เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มเปิดสวิตซ์ไฟโดยที่ อุณหภูมิภายในตู้ทดสอบอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 28.0-28.5°C เก็บข้อมูลทุกๆ 3 นาที จนครบเวลา 30 นาที โดยการเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน อุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง อุณหภูมิผิวฟิล์มกรอง แสงด้านบน อุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง และค่าการส่องผ่านของแสงส่องสว่าง นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาการต้านทานการนำความร้อนของฟิล์มกรอง แสง โดยการซ้อนทับฟิล์มในรูปแบบผิวสองชั้นเพื่อประเมินสมรรถนะเชิงอุณหภาพของฟิล์มกรอง แสงชนิดต่างๆ ศึกษาสมรรถนะที่เหมาะสมในการต้านทานการนำความร้อนโดยการซ้อนทับฟิล์มกรอง แสงติดรถยนต์ในรูปแบบผิวสองชั้นโดยการใช้การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research)

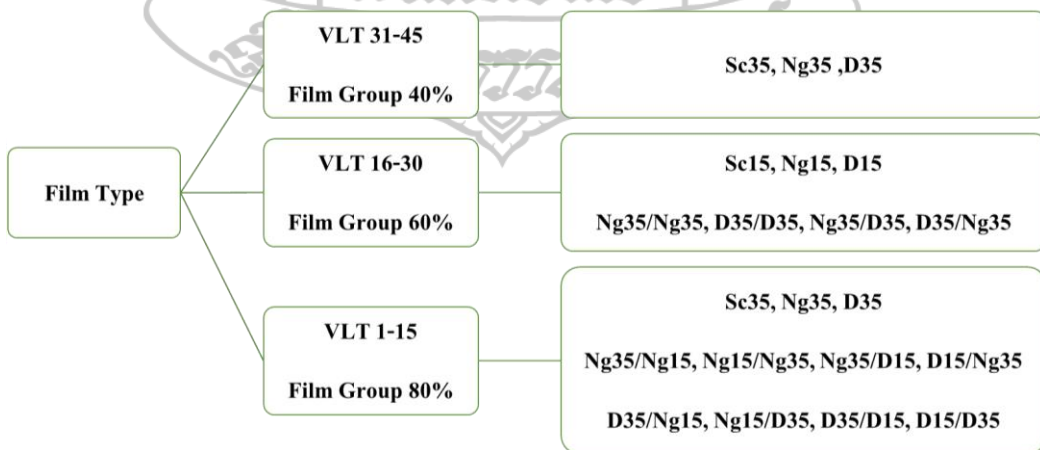
1. แผ่นฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบ

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 3 ประเภท ภาพที่ได้แก่ ฟิล์มเซรามิค ฟิล์มคาร์บอน และฟิล์มย้อมสี โดยฟิล์มแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบมีอัตราความเข้มของฟิล์ม 3 ระดับตามค่าแสงส่องผ่าน ฟิล์ม 40% ฟิล์ม 60% และฟิล์ม 80% รหัสฟิล์มที่ใช้เรียกกันในท้องตลาดส่วนใหญ่ รหัส 35 คือ ฟิล์ม 40% ค่าแสงส่องผ่านประมาณ 35% เป็นฟิล์มที่เข้มน้อยที่สุด รหัส 15 คือ ฟิล์ม 60% ค่าแสงส่องผ่านประมาณ 20% เป็นฟิล์มที่เข้มระดับกลางๆ และรหัส 05 คือ ฟิล์ม 80% ค่าแสงส่องผ่านประมาณ 5% ฟิล์ม 80% เป็นฟิล์มที่มีความเข้มมากที่สุด ชื่อย่อหน้าหน้าในรหัสฟิล์มกรองแสงแต่ละบริษัทเรียกไม่เหมือนกัน ชื่อนำในการศึกษาในครั้งนี้ตามที่บริษัทตั้งไว้เช่น Sc ย่อมาจากฟิล์มเซรามิค Ng ย่อมาจากฟิล์มคาร์บอน และD ย่อมาจากฟิล์มย้อมสี

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทำการทดสอบตัวอย่างฟิล์มทั้งหมด 21 ตัวอย่าง แบ่งเป็นแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว 9 ตัวอย่าง ได้แก่ Sc35 Ng35 D35 Sc15 Ng15 D15 Sc05 Ng05 และ D05 แผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น 12 ตัวอย่าง แผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้นโดยใช้ฟิล์มสองประเภท ได้แก่ ฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) การทดสอบแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มตามค่าความเข้มแสง ดังแสดงในภาพที่ 3.1

กลุ่มฟิล์มชนิด 60% มีทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ Ng35/Ng35 D35/D35 Ng35/D35 และ D35/Ng35

กลุ่มฟิล์มชนิด 80% มีทั้งหมด 8 ตัวอย่าง ได้แก่ Ng35/Ng15 Ng15/Ng35 Ng35/D15 D15/Ng35 D35/Ng15 Ng15/D35 D35/D15 และD15/D35



ภาพที่ 3.1 กลุ่มชนิดฟิล์มตามอัตราความเข้มของแสงส่องผ่าน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่องวัดแสง (Linshang, Ls163A)



ภาพที่ 3.2 เครื่องวัดแสง (Linshang, Ls163A)

ที่มา https://www.linshangtech.com/product/LS163A_EN.html,
(accessed Sep. 26, 2022)

คุณสมบัติของวัดแสงที่นำมาทดสอบแผ่นฟิล์มฟิล์ม สามารถวัดค่าได้ 3 ค่าประกอบไปด้วย

1. ค่าความยาวคลื่นแสง VLT (Visible Light Transmitted) วัดค่าแสงสว่างส่องผ่านในช่วง 380-760 นาโนเมตร, conform to the CIE photopic luminosity function
 2. ค่าอัลตราไวโอเล็ต UVR (Ultraviolet Rejection) วัดค่าการป้องกันรังสียูวีช่วง 365 นาโนเมตร
 3. ค่าอินฟราเรด IRR (Infrared Rejection) วัดค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดในช่วง 1,400 นาโนเมตร
- ความแม่นยำ $\pm 2\%$ (Colorless and transparent material)

2.2 เครื่องวัดแสง Lux meter (TENMARS, TM-202)



ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดแสง (TENMARS, TM-202)

ที่มา <http://www.tenmars.com/m/2001-1682-690321,c19126-1.php?Lang=en>
(accessed Sep. 26, 2022)

คุณสมบัติของเครื่องวัดแสง สามารถวัดค่าได้ 2 ค่าประกอบไปด้วย Lux หรือ Foot-candle

ช่วงการวัด Lux 20, 200, 2000, 20000, 200000 และช่วงการวัด Foot candle 20, 200, 2000, 20000

การตอบสนองสเปกตรัมตรงตามมาตรฐานการส่องสว่าง CIE เลือกลงหน่วย Lux หรือ Foot-candle ได้

ความแม่นยำ $\pm 3\%$ (Calibrated to standard incandescent lamp 2856° K), $\pm 6\%$ (other visible light source)

ตรงตามมาตรฐาน JISC1609:1993 and CNS 5119 general A class specifications

2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ thermocouple type K (Elitech, BT-3)

เครื่องวัดอุณหภูมิ thermocouple type K ทั้งหมดจำนวน 4 เครื่อง แบ่งเป็นการวัดอุณหภูมิออกเป็น 2 ส่วน 1.วัดอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสง 2 ตัว คือ วัดอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบนและอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง 2.วัดอุณหภูมิภายในตู้ 2 ตัว วัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบนและอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ thermocouple type K (Elitech, BT-3)
ที่มา <https://elitechthailand.com/product/elitech-temperature-and-humidity-bt-3/>
(accessed Sep. 26, 2022)

สมบัติของเครื่องวัดอุณหภูมิ
ช่วงการวัดความชื้น (Indoor) 20% ถึง 99% RH
ความแม่นยำของการวัดความชื้น $\pm 5\%$ RH
ช่วงการวัดอุณหภูมิ (Indoor) 0 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส
ช่วงการวัดอุณหภูมิ (Outdoor) -50 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส
ความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ ± 1 องศาเซลเซียส
มาตรฐานการผลิต ISO9001 และผ่านการรับรอง ROHS20

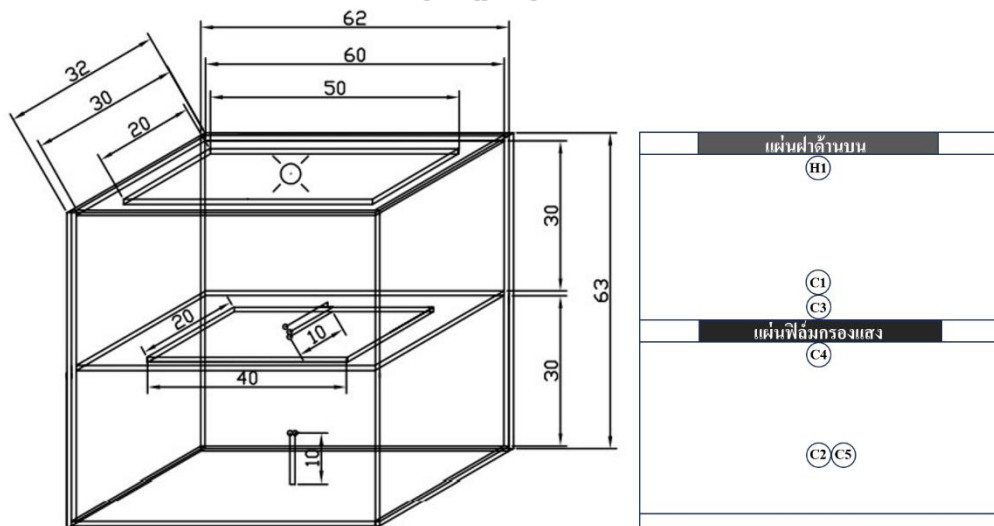
2.4 หลอดไฟ PHILIPS InfraRed Healthcare Heat Incandescent R95 IR 100W
หลอดไฟอินฟราเรด 100 วัตต์ ติดตั้งด้านบนตรงกลางตู้ทดสอบเพื่อสร้างความร้อนแทนความร้อนจากดวงอาทิตย์ และสร้างแสงสว่างตรงกลางตู้ระหว่างตู้ชั้นบนกับตู้ชั้นล่าง



ภาพที่ 3.5 หลอดไฟ PHILIPS InfraRed Healthcare Heat Incandescent R95 IR 100W
ที่มา https://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/special-lamps /infrared/infrared-healthcare-heat-incandescent/ 923244544201_ EU /product (accessed Sep. 26, 2022)

2.5 ตู้ทดลอง

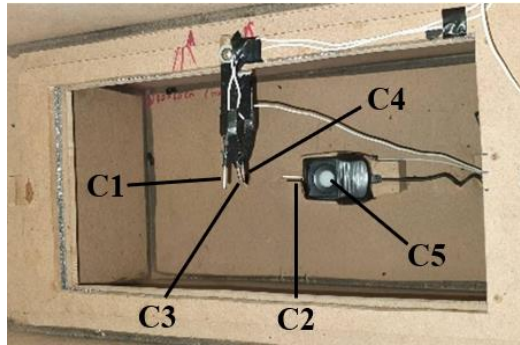
ตู้ทดลองนี้ มีขนาด 32×62×63 cm แบ่งเป็น 2 ส่วน ตู้ชั้นบนและตู้ชั้นล่างมีขนาดอย่างละ 30×30×60 cm ตู้ชั้นบนเปรียบเหมือนภายนอกห้องโดยสารรถยนต์ ภายในตู้ชั้นบนได้มีการติดตั้งหลอดไฟอินฟราเรด 100 วัตต์ (H1) ด้านบนตรงกลางตู้ทดลองเพื่อสร้างความร้อนแทนความร้อนจากดวงอาทิตย์ และสร้างแสงสว่างตรงกลางตู้ระหว่างตู้ชั้นบนกับตู้ชั้นล่าง มีช่องว่างขนาด 20×40 cm เพื่อไว้วางแผ่นฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนตู้ชั้นล่างเปรียบเสมือนภายในห้องโดยสารรถยนต์ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ตู้ทดลองสร้างจากวัสดุชนิดไม้ MDF ลักษณะตู้ทดลองเป็นตู้ปิดทึบเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดจากภายนอก



ภาพที่ 3.6 ตู้ทดลอง

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบภายในตู้ทดลอง ประกอบไปด้วยดังนี้

1. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1)
2. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2)
3. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มด้านบน (C3)
4. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มด้านล่าง (C4)
5. เซ็นเซอร์วัดค่าแสงสว่าง (C5)
6. หลอดไฟอินฟราเรด (H1)



ภาพที่ 3.7 รูปตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ภายในตู้ทดสอบ

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ ประกอบไปด้วยดังนี้

1. เครื่องวัดอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบน (M1)
2. เครื่องวัดอุณหภูมิในตู้ชั้นล่าง (M2)
3. เครื่องวัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มด้านบน (M3)
4. เครื่องวัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มด้านล่าง (M4)
5. เครื่องวัดค่าแสงสว่าง (M5)



ภาพที่ 3.8 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและค่าแสงสว่าง

3. ระเบียบวิธีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

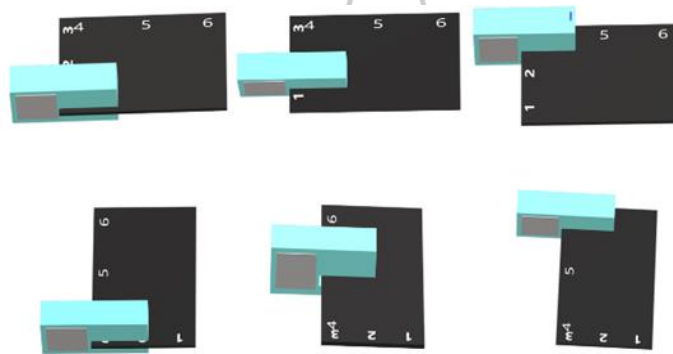
ขั้นตอนการดำเนินการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ 1. การทดสอบเก็บข้อมูล โดยเครื่องวัดแสง 2. การทดสอบในตู้ทดสอบ

3.1 ขั้นตอนการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง

เครื่องวัดแสง (Linshang, Ls163A) มีคุณสมบัติสามารถวัดได้ 3 สัญญาณ คือ 1. ค่าความยาวคลื่นแสง VLT (Visible Light Transmitted) วัดค่าแสงสว่างส่องผ่านในช่วง 380-760 นา

โนเมตร 2.ค่าอัลตราไวโอเล็ต UVR (Ultraviolet Rejection) วัดค่าการป้องกันรังสียูวีช่วง 365 นาโนเมตร 3.ค่าอินฟราเรด IRR (Infrared Rejection) วัดค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดในช่วง 1,400 นาโนเมตร

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบขนาด 20x40 cm ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงทั้งหมด 6 ตำแหน่งประกอบไปด้วย ด้านแคบ 3 ตำแหน่ง ด้านกว้าง 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูป 3.8 จากนั้นนำข้อมูลการทดสอบมาคำนวณหาค่าลดความร้อนรวม TSER (Total Solar Energy Rejected)



ภาพที่ 3.9 ตำแหน่งการทดสอบฟิล์มกรองแสง

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ Sc35 Ng35 D35 Sc15 Ng15 D15 Sc05 Ng05 และD05

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบทับซ้อนสองชั้น มีสองประเภท ได้แก่ ฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) การทดสอบแบ่งออกเป็นกลุ่มตามค่าความเข้มแสง แบ่งเป็นกลุ่ม 2 กลุ่มดังนี้ ฟิล์มชนิด 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

เมื่อได้ข้อมูลการทดสอบฟิล์มทุกตัวอย่างแล้ว นำข้อมูลมาทำการคำนวณหาค่าลดความร้อนรวม (Total Solar Energy Rejected , TSER) ค่า TSER หมายถึงค่าตัวเลขที่บอกถึงการต้านพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งความยาวคลื่นต่างชนิดกันก็จะส่งพลังงานในรูปแบบที่ต่างกันโดยปกติแสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสี 3 ชนิด ค่าพารามิเตอร์นี้สามารถคำนวณโดยประมาณได้จากการคำนวณเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของ %VLR %IRR และ %UVR ที่วัดได้โดยกำหนดเป็นค่าโดยประมาณไว้ว่า TSER ประกอบไป

ด้วยแสงที่มองเห็น(VLR) 44% แสงอินฟราเรด(IRR) 53% และแสงยูวี(UVR) 3% ค่าลดความร้อนรวม
คำนวณได้จากสมการ (1) (<https://www.linshangtech.com/tech/tech68.html>)

$$TSER = (44\% \times VLR) + (53\% \times IRR) + (3\% \times UVR) \quad (1)$$

เมื่อ $TSER$ = ค่าลดความร้อนรวม, เปอร์เซ็นต์, %

VLR = ค่าแสงสว่างส่องผ่าน, เปอร์เซ็นต์, %

IRR = ค่าอินฟราเรด, เปอร์เซ็นต์, %

UVR = ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ต, เปอร์เซ็นต์, %

ทำการทดสอบในตู้ ตู้ทดสอบที่สร้างขึ้นมาได้พัฒนามาจากการทดสอบของ (กิตติภัต
วิริยะประสาท, 2017) ซึ่งได้ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มลดความร้อนติดรถยนต์ โดยจำลองตู้ทดสอบซึ่ง
เป็นตัวแทนของรถยนต์ที่มีกระจกที่ติดฟิล์มกรองแสง (ติกะ บุนนาค และคณะ, 2005) ได้ศึกษาการ
ถ่ายเทความร้อนและปริมาณแสงผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูกและแผ่นสะท้อนความร้อน การ
ทดสอบโดยใช้หลอดไฟอินฟราเรด PHILIPS รุ่น 125IR กำลังไฟ 250 watt เพื่อทดแทนดวงอาทิตย์
เพื่อสร้างความร้อนและแสงสว่าง (ติกะ บุนนาค และคณะ, 2004) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการ
ส่งผ่านกระจกอาคารหลายรูปแบบ ทำการทดสอบด้วยใช้หลอดไฟ OSRAM POWERSTAR HQI-E
250W แทนแสงอาทิตย์เทียบ (C.-Y. Tseng และคณะ, 2014) ได้ศึกษาการแผ่รังสีความร้อนภายใน
ห้องโดยสารรถ โดยการทดสอบการจำลองการฉายรังสีความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งกำเนิด
จากหลอดไฟอินฟราเรด 350W ในการทดสอบครั้งนี้เลือกใช้หลอดไฟ PHILIPS InfraRed รุ่น R95 IR
100W (H1) ผลการทดสอบหลอดไฟอินฟราเรด 100W โดยไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสง ค่าความเข้มของ
แสงที่มีค่าปริมาณ 756 Lux ณ ตำแหน่งจุดที่วางแผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบ (C5)

ตู้ทดสอบนี้ มีขนาด 30×60×60 cm แบ่งเป็น 2 ส่วน ตู้ชั้นบนและตู้ชั้นล่างมีขนาด
อย่างละ 30×30×60 cm ตู้ชั้นบนเปรียบเหมือนภายนอกห้องโดยสารรถยนต์ ภายในตู้ชั้นบนได้ติดตั้ง
หลอดไฟอินฟราเรด 100 วัตต์ (H1) ด้านบนตรงกลางตู้ทดสอบเพื่อสร้างความร้อนแทนความร้อนจาก
ดวงอาทิตย์ และสร้างแสงสว่างตรงกลางตู้ระหว่างตู้ชั้นบนกับตู้ชั้นล่าง มีช่องว่างขนาด 20×40 cm
เพื่อไว้วางแผ่นฟิล์มกรองแสงที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนตู้ชั้นล่างเปรียบเสมือนภายในห้องโดยสาร
รถยนต์ ตู้ทดสอบสร้างจากวัสดุชนิดไม้ MDF ลักษณะตู้ทดสอบเป็นตู้ปิดทึบเพื่อป้องกันผลกระทบที่
เกิดจากภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 3.6

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าแสง Lux meter (TENMARS, TM-202) หน่วยการวัดเป็นลักซ์ (Lux) และอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ Thermocouple (Elitech, BT-3) หน่วยการวัดเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) จำนวน 4 เครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 3.6

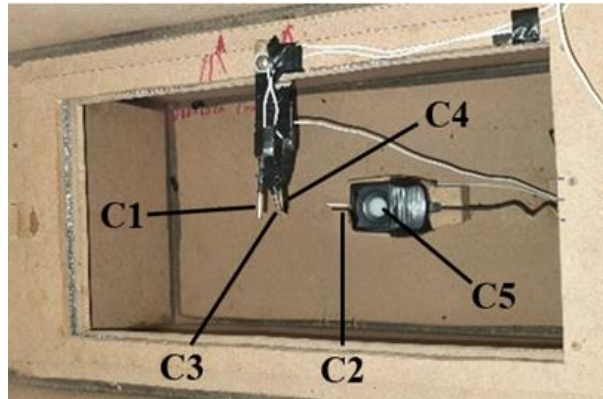
ผู้ทดสอบมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ thermocouple type K (Elitech, BT-3) จำนวน 4 ตำแหน่ง ได้แก่ เซ็นเซอร์ภายในตู้ชั้นบน (C1) เซ็นเซอร์ภายในตู้ชั้นล่าง (C2) เซ็นเซอร์ผิวแผ่นฟิล์มด้านบน (C3) และเซ็นเซอร์ผิวแผ่นฟิล์มด้านล่าง (C4) และเซ็นเซอร์วัดค่าแสงสว่าง (TENMARS, TM-202) จำนวน 1 ตำแหน่ง ได้แก่ เซ็นเซอร์ตู้ชั้นล่าง (C5) ดังแสดงในภาพที่ 3.6

การทดสอบครั้งนี้ทำการทดสอบเฉพาะแผ่นฟิล์มกรองแสง โดยไม่มีการติดตั้งแผ่นฟิล์มกับแผ่นกระจก เนื่องจากต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานการนำความร้อนของแผ่นฟิล์มกรองโดยตรง การทดสอบใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มเปิดสวิตช์ไฟส่องสว่างและเก็บข้อมูลทุก 3 นาที จนครบเวลา 30 นาที จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาสภาวะการณ์ที่เหมาะสมในการต้านทานการนำความร้อน ได้ทำการทดสอบตัวอย่างละ 2 การทดสอบเพื่อให้ได้ค่าทางสถิติที่ค่าความเชื่อถือได้ แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบเป็นแผ่นฟิล์มใหม่ ทั้งแผ่นฟิล์มชั้นเดียวและแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น



ภาพที่ 3.10 รูปห้องทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการทดสอบตู้เปล่าโดยไม่มีการวางแผ่นฟิล์มกรองแสงกั้นกลาง เพื่อนำข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลข้างต้นเพื่อใช้ในการนำมาวิเคราะห์ ในการทดสอบไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสงครั้งนี้มีการเก็บข้อมูลทั้งหมด 2 ค่า 1.อุณหภูมิความร้อนภายในชั้นบนและชั้นล่าง 2.ค่าส่องสว่างของแสง โดยการเก็บข้อมูลการทดสอบตู้เปล่า โดยไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสงกั้นกลางตู้ตำแหน่งที่วางแผ่นฟิล์มกรองแสง เพื่อนำมาวิเคราะห์กับกรณีการมีแผ่นฟิล์มกรองแสง ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบตู้เปล่า

ขั้นตอนที่ 2 ทำการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสง แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบ ขนาด 20×40 cm ตัวอย่างแผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบทั้งหมด 21 ตัวอย่าง เริ่มจากการวางแผ่นฟิล์มกรองแสงไว้ตรงกลางตู้ เมื่อวางแผ่นฟิล์มกรองแสง ตรงกลางของแผ่นฟิล์มกรองแสงจะทับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิความร้อนผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนที่ 2 การวางแผ่นฟิล์มกรองแสง

ขั้นตอนที่ 3 วางกรอบไม้เพื่อทำการทับแผ่นฟิล์มกรองแสง เพื่อให้แผ่นฟิล์มกรองแสงตึงเรียบ ตรงกลางกรอบไม้จะมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนที่ 3 การวางกรอบไม้ทับแผ่นฟิล์มเพื่อให้แผ่นฟิล์มตึงเรียบ

ขั้นตอนที่ 4 ปิดฝาตู้ด้านบน ที่ตำแหน่งตรงกลางฝาตู้จะมีการติดตั้งหลอดไฟกำลังไฟ 100 วัตต์ เพื่อสร้างความร้อน และแสงส่องสว่าง

ขั้นตอนที่ 5 เริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้นเปิดสวิตซ์ไฟ เก็บข้อมูลทุกๆ 3 นาที การทดสอบครั้งละ 30 นาที ทำการทดสอบตัวอย่างละ 2 การทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยนำมาทำการวิเคราะห์

4. ทฤษฎีและการคำนวณ

4.1 การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

ทฤษฎีการนำความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านฟิล์มกรองแสง (ชมลวรรณ เขียวพาน, 2014) ได้ศึกษาประสิทธิภาพความร้อนของฟิล์มป้องกันความร้อนต่างๆ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เมื่อตำแหน่งสองตำแหน่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน หรือการเคลื่อนที่ของพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปอีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อย ๆ โดยเคลื่อนจากอุณหภูมิที่สูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพการนำความร้อน ของวัสดุและปัจจัยหรือชนิดวัสดุมีผลในการนำความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิผิวทั้งสองด้าน ความหนาของวัสดุ ความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสความร้อน

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Thermal Conductivity (U) ของฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด โดยใช้สมการการถ่ายเทความร้อนของ Fourier's law แบบ 1 มิติ จากสมการ (2) เพื่อนำค่าการถ่ายเทความร้อนฟิล์มแต่ละชนิดไปทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานการนำความร้อนของแผ่นฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด

$$q = UA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2)$$

เมื่อ q = ปริมาณความร้อน, วัตต์, (W)

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

A = พื้นที่แผ่นฟิล์มกรองแสงการถ่ายเทความร้อน, ตารางเมตร, (m²)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวฟิล์มด้านนอก (T_1) ลบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านใน (T_2), องศาเซลเซียส, (°C)

ΔX = ความหนาของแผ่นฟิล์ม, เมตร, (m)

จากสมการเครื่องหมายลบที่อยู่ในสมการเนื่องมาจากกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิก ซึ่งกำหนดค่าความร้อนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่อุณหภูมิลดลงเสมอ และอัตราการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนา รูปร่าง ของตัวกลางและอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างสองตำแหน่งของตัวกลาง (k) ถือเป็นสมบัติของตัวกลางและจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ แต่การนำไปใช้งานในด้านปฏิบัติส่วนใหญ่จะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ ที่หาจากอุณหภูมิต่ำเฉลี่ย คือ ตัวกลางที่มีค่า k สูงเรียกว่า ตัวนำ (Conductor) เช่น ฟิล์มกรองแสง กระจกและตัวกลางที่มีค่า k ต่ำ จะเรียกว่า ฉนวน (Insulator) เช่น โลหะ สำหรับฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux, Q_{cond}) ซึ่งเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานการนำความร้อน (R_f) การความร้อนจากดวงอาทิตย์แผ่รังสีลงมาก่อนจะเข้าห้องโดยสารจนถึงพื้นที่ภายใน จะมีการต้านทานการนำความร้อนจากวัสดุชนิดต่างๆ โดยวัสดุจะมีค่าความต้านทานความร้อนต่างกัน ทั้งนี้เราจะศึกษาฟิล์มกรองแสงชนิดที่ไม่มีส่วนประกอบจากโลหะ ฟิล์มแต่ละชนิดจะมีค่าความต้านทานความร้อนต่างกันค่าการต้านทานการนำความร้อน หรือ ค่า R Value เป็นค่าแสดงความสามารถในการต้านทานการนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ มีหน่วยเป็น m²K/W หรือ hr.ft².°F/Btu โดยที่ค่า R ยิ่งมากจะยิ่งต้านทานความร้อนได้ดี หากเราต้องการลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่ภายในห้องโดยสารรถยนต์ จึงควรเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงที่มีค่า R สูง ค่าความต้านทานความร้อนหรือ R Value ของวัตถุแปรผันตามมวลความหนาและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุ สิ่งสำคัญคือค่าความต้านทานความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามมวลความหนาของวัตถุ (แต่ค่าสัมประสิทธิ์ยังคงเดิม) ค่าการต้านทานการนำความร้อนมีหน่วยเป็น m²K/W

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบแต่ละชนิด สามารถคำนวณหาค่าการต้านทานการนำความร้อนของวัสดุ (R_{cd}) ของแผ่นฟิล์มกรองแสงแต่

ละชนิดแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว จากสมการ (3) และค่าการต้านทานการนำความร้อนของวัสดุ โดยรวม ($R_{cd,tot}$) สำหรับฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น จากสมการ (4)

$$R_{cd} = \frac{X}{kA} \quad (3)$$

$$R_{cd,tot} = \frac{\Delta X_1}{kA_1} + \frac{\Delta X_2}{kA_2} \quad (4)$$

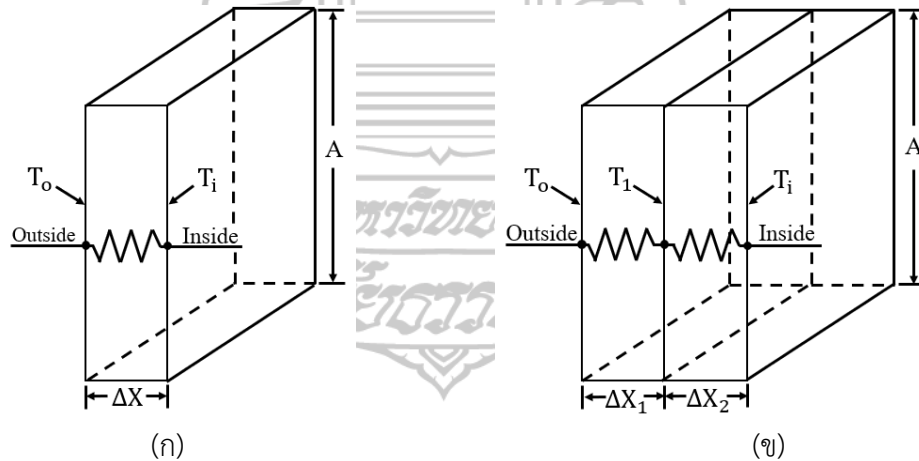
เมื่อ R_{cd} = ค่าการต้านทานการนำความร้อน, องศาเซลเซียสต่อวัตต์, ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

$R_{cd,tot}$ = ค่าการต้านทานการนำความร้อนโดยรวม, องศาเซลเซียสต่อวัตต์, ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

x = ความหนาของแผ่นฟิล์มแต่ละชั้น, เมตร, (m)

A = พื้นที่หน้าตัดแผ่นฟิล์มกรองแสงการถ่ายโอนความร้อน, ตารางเมตร, (m^2)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส, ($\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$)



ภาพที่ 3.24 ตัวแบบแสดงปัญหาการต้านทานการนำความร้อนแบบ 1 มิติ (ก) สำหรับฟิล์มกรองแสงแบบชั้นเดียว และ (ข) สำหรับฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น

จากสมการการคำนวณค่า k และ ค่า R จะเห็นว่า ค่า R จะหาได้จาก ความหนาวัสดุหารด้วยค่า k ดังนั้น ค่า R จึงแปรผกผันกับค่า k และหากเราต้องการวัสดุฟิล์มกรองแสงที่จะช่วยป้องกันความร้อนเข้าสู่ห้องโดยสาร ควรเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงที่มีค่า k ต่ำ หรือ ค่า R สูง เพื่อให้ความช่วย

ลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่ห้องโดยสารได้ดียิ่งขึ้นจะเห็นว่าความหนาของฟิล์มกรองแสงยิ่งมาก ก็ยังมีค่าการต้านทานการนำความร้อนสูง จึงยิ่งกันความร้อนได้ดี

4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาฟิล์มกรองแสงทั้ง 3 ชนิดนำมาศึกษามีระดับคุณภาพและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภคการเลือกติดตั้งฟิล์มกรองแสง เพื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน คำนวณหาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน (5)

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

เมื่อ V = ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน, บาทต่อหน่วยพื้นที่.ค่าความต้านทานการนำความร้อน, (Baht/(°C/W))

C = ต้นทุนค่าใช้จ่าย, บาท, (Baht)

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

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบฟิล์มกรองแสงแต่ละตัวอย่างมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มกรองแสงหนึ่งชั้นกับฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น

5.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เนื่องจากฟิล์มกรองแสงทั้ง 3 ชนิดนำมาศึกษามีระดับคุณภาพและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกติดตั้งฟิล์มกรองแสง ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราผลตอบแทนประสิทธิภาพการต้านทานการนำความร้อน การตัดสินใจในการเลือกติดตั้งฟิล์มกรองแสงที่จะให้ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์มากที่สุด และเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภคการเลือกติดตั้งฟิล์มกรองแสง มาคำนวณหาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานการนำความร้อนของฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ และเพื่อศึกษาพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนโดยแบ่งการทดสอบฟิล์มกรองแสง ออกเป็น 2 สภาวะการณ คือ 1.ทดสอบวิธีทัศนกรรมการมองเห็นของฟิล์มด้วยเครื่องวัดแสง 2.ทดสอบคุณสมบัติด้านการแลกเปลี่ยนความร้อนของฟิล์มในห้องโดยสารรถยนต์จำลอง

1. ผลการทดสอบฟิล์มกรองแสงโดยเครื่องวัดแสง

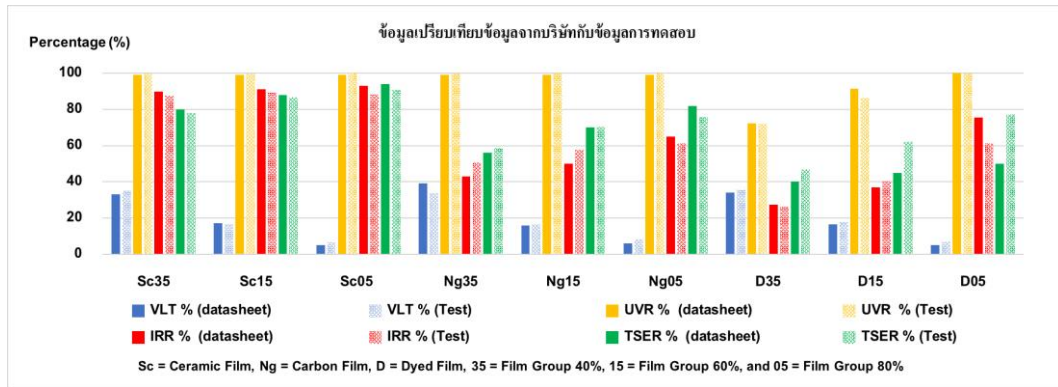
การทดสอบฟิล์มกรองแสงโดยใช้เครื่องมือวัดสมบัติของแสง (Linshang, Ls163A) มีคุณสมบัติสามารถวัดได้ 3 สัญญาณ คือ 1.ค่าความยาวคลื่นแสง VLT (Visible Light Transmitted) วัดค่าแสงสว่างส่องผ่านในช่วง 380-760 นาโนเมตร 2.ค่าป้องกันคลื่นอัลตราไวโอเล็ต UVR (Ultraviolet Rejection) โดยวัดค่าป้องกันรังสียูวีช่วง 365 นาโนเมตร 3.ค่าป้องกันคลื่นอินฟราเรด IRR (Infrared Rejection) โดยวัดค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดในช่วง 1,400 นาโนเมตร เพื่อนำข้อมูลการทดสอบมาทำการคำนวณหาค่าลดความร้อนรวม (Total Solar Energy Rejected, TSER) การทดสอบในครั้งนี้เพื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงตามค่าที่ทางบริษัทได้แจ้งไว้บนฉลากสินค้า และการคำนวณหาค่าลดความร้อนรวมของฟิล์มในรูปแบบติดทับซ้อนกันสองชั้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับฟิล์มกรองแสงชั้นเดียวที่มีคุณสมบัติสูง เช่น ฟิล์มชนิดเซรามิก

แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียวที่นำมาทดสอบทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ Sc35 Ng35 D35 Sc15 Ng15 D15 Sc05 Ng05 และD05

แผ่นฟิล์มกรองแสงที่นำมาทดสอบทับซ้อนสองชั้น มีสองประเภท ได้แก่ ฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) การทดสอบแบ่งออกเป็นกลุ่มตามค่าความเข้มแสง แบ่งเป็นกลุ่ม

ฟิล์มชนิด 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

1.1 การทดสอบแผ่นฟิล์มชั้นเดียวเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลบริษัทกับข้อมูลการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงข้อมูลบริษัทเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง

1.1.1 การเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน (VLT) พบว่า ฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) และฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) เท่ากับค่าทางบริษัทแจ้ง ฟิล์มย้อมสี 40% (D35) ฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีค่าแสงส่องผ่านมากกว่าค่าบริษัทแจ้ง 1% ฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) ฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) ฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) ฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีค่าแสงส่องผ่านมากกว่าค่าบริษัทแจ้ง 2% และฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) ที่มีค่าแสงส่องผ่านน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 5% ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน แผ่นฟิล์มชั้นเดียว

Film type	VLT % (Company)	VLT % (Test)	Differential Test (%)
Sc15	17	17	0
Ng15	16	16	0
D35	34	36	< 1
D15	16	18	< 1
Sc35	33	35	< 2
Sc05	5	7	< 2
Ng05	6	8	< 2
D05	5	7	< 2
Ng35	39	34	> 5

1.1.2 การเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบค่าการป้องกันรังสี UV (UVR) พบว่าฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีค่าการป้องกันรังสี UV เท่ากับค่าทางบริษัทแฉ่ง มีฟิล์มที่มีค่ามากกว่าบริษัทแฉ่ง 1% จำนวน 7 ตัวอย่าง และฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีค่าการป้องกันรังสี UV น้อยกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 5% ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการทดสอบค่าการป้องกันรังสี UV (UVR)

Film type	UVR Company (%)	UVR Test (%)	Differential Test (%)
D35	72	72	0
Sc35	99	100	< 1
Sc15	99	100	< 1
Sc05	99	100	< 1
Ng35	99	100	< 1
Ng15	99	100	< 1
Ng05	99	100	< 1
D05	99	100	< 1
D15	91	86	> 5

1.1.3 การเปรียบเทียบข้อมูลการทดสอบค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) พบว่าฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดน้อยกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 1% ฟิล์มเซรามิค 40% (Sc35) ฟิล์มเซรามิค (Sc15) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดน้อยกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 2% ฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดน้อยกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 4% ฟิล์มเซรามิค (Sc05) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดน้อยกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 5% ฟิล์มย้อมสี (D05) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดน้อยกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 14% ฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดมากกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 4% และยังพบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) ฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดมากกว่าค่าทางบริษัทแฉ่ง 8% ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการทดสอบค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR)

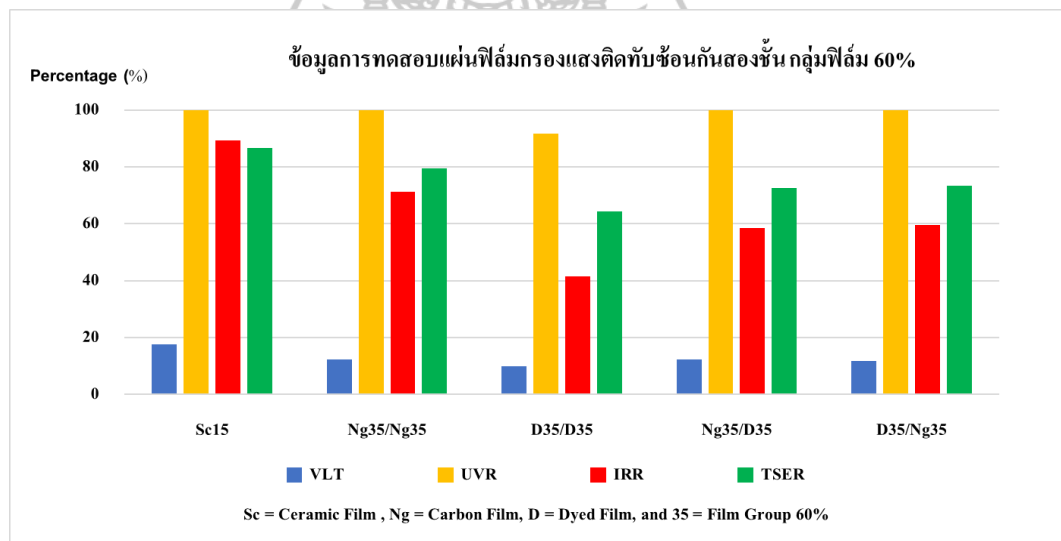
Film type	IRR Company (%)	IRR Test (%)	Differential Test (%)
D35	27	26	> 1
Sc35	90	88	> 2
Sc15	91	89	> 2
Ng05	65	61	> 4
Sc05	93	88	> 5
D05	76	61	> 14
D15	37	41	< 4
Ng35	43	51	< 8
Ng15	50	58	< 8

1.1.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลค่าลดความร้อนรวม (TSER) พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีค่าการลดความร้อนรวมน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 1% ฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) มีค่าการลดความร้อนรวมน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 2% ฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) มีค่าการลดความร้อนรวมน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 3% ฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีค่าการลดความร้อนรวมน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 6% ฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 17% ฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีค่าการลดความร้อนรวมน้อยกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 27% ฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) มีค่าลดความร้อนรวมมากกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 1% ฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) มีค่าลดความร้อนรวมมากกว่าค่าทางบริษัทแจ้ง 3% และฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีค่าการลดความร้อนรวมมากกว่าการค่าทางบริษัทแจ้ง 7% ดังแสดงในตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการทดสอบค่าลดความร้อนรวม (TSER)

Film type	TSER Company (%)	TSER Test (%)	Differential Test (%)
Sc15	88	87	> 1
Sc35	80	78	> 2
Sc05	94	91	> 3
Ng05	82	76	> 6
D15	45	62	> 17
D05	50	77	> 27
Ng15	70	71	< 1
Ng35	56	59	< 3
D35	40	47	< 7

1.2 ผลการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว และแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 60% ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

1.2.1 การทดสอบค่าแสงส่องผ่าน (VLT) กลุ่มฟิล์ม 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc15) มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด 18% ฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้นทั้งหมด 4 ตัวอย่างมีค่าแสงส่องผ่านเท่ากันที่ 12% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 10% ดังแสดงในตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลผลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	VLT (%)
Sc15	18
Ng35/Ng35	12
Ng35/D35	12
D35/Ng35	12

1.2.2 การทดสอบค่าการป้องกันรังสี UV (UVR) พบว่ามีฟิล์ม 4 ตัวอย่างที่มีค่าการป้องกันรังสี UV ได้ถึง 100% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าการป้องกันรังสี UV 92% ดังแสดงในตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลผลการทดสอบค่าการป้องกันรังสี UV (UVR)

Film type	UVR (%)
Sc15	100
Ng35/Ng35	100
Ng35/D35	100
D35/Ng35	100
D35/D35	92

1.2.3 การทดสอบค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรดมากที่สุด 89% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) ป้องกันรังสีอินฟราเรด 71% ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) ป้องกันรังสีอินฟราเรดได้ 60% ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) ป้องกันรังสีอินฟราเรดได้ 59% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) ป้องกันรังสีอินฟราเรดได้น้อยที่สุดที่ 42% ดังแสดงในตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลผลการทดสอบค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR)

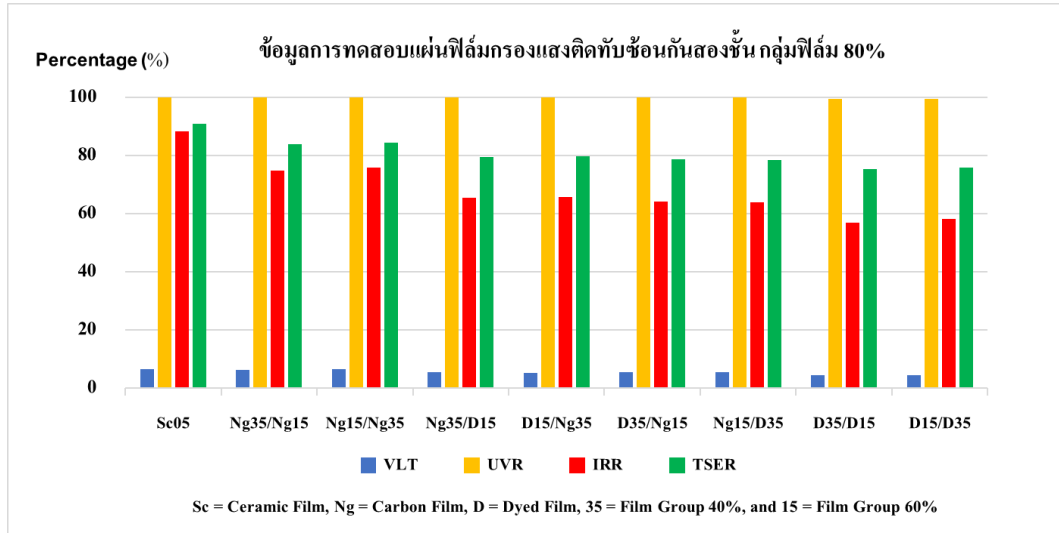
Film type	IRR (%)
Sc15	89
Ng35/Ng35	71
D35/Ng35	60
Ng35/D35	59
D35/D35	42

1.2.4 การวิเคราะห์ค่าลดความร้อนรวม (TSER) กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 87% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีค่าลดความร้อนรวม 79% ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) กับฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าลดความร้อนรวมเท่ากัน 73% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) ค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุดที่ 64% ดังแสดงในตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าลดความร้อนรวม (TSER)

Film type	TSER (%)
Sc15	87
Ng35/Ng35	79
D35/Ng35	73
Ng35/D35	73
D35/D35	64

1.3 ผลการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว และแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 80% ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

1.3.1 การทดสอบค่าแสงส่องผ่าน (VLT) กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่ามีฟิล์ม 3 ตัวอย่าง มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด ฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) และฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าแสงส่องผ่าน 6% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) และฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) มีค่าแสงส่องผ่านเท่ากับ 5% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) และฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 4% ดังแสดงในตาราง 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลผลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	VLT (%)
Sc05	6
Ng35/Ng15	6
Ng15/Ng35	6
Ng35/D15	5
D15/Ng35	5
D35/Ng15	5
Ng15/D35	5
D35/D15	4
D15/D35	4

1.3.2 การทดสอบค่าการป้องกันรังสี UV (UVR) กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่ามีฟิล์ม 7 ตัวอย่างที่สามารถป้องกันรังสี UV 100% เท่ากัน และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) กับฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีค่าการป้องกันรังสี UV เท่ากัน 99% ดังแสดงในตาราง 4.10

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลผลการทดสอบค่าการป้องกันรังสี UV (UVR) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	UVR (%)
Sc05	100
Ng35/Ng15	100
Ng15/Ng35	100
Ng35/D15	100
D15/Ng35	100
D35/Ng15	100
Ng15/D35	100
D35/D15	99
D15/D35	99

1.3.3 การทดสอบค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

พบว่าฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) สามารถป้องกันรังสีอินฟราเรดได้มากที่สุด 88% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) สามารถป้องกันได้ 76% ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) ป้องกันได้ 75 % ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) ป้องกันได้ 66% ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) ป้องกันได้เพียง 65% ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) ป้องกันได้ 64% ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) ป้องกันได้ 58% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) ป้องกันได้น้อยที่สุดที่ 57% ดังแสดงในตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลผลการทดสอบค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	IRR (%)
Sc05	88
Ng15/Ng35	76
Ng35/Ng15	75
D15/Ng35	66
Ng35/D15	65
D35/Ng15	64
Ng15/D35	64
D15/D35	58
D35/D15	57

1.3.4 การวิเคราะห์ค่าลดความร้อนรวม (TSER) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

พบว่าฟิล์มเซรามิก 80 % (Sc05) มีค่าลดความร้อนรวมได้มากที่สุด 91% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) กับฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าลดความร้อนรวม 84% ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) มีค่าลดความร้อนรวม 80% ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) มีค่าลดความร้อนรวมที่ 79% ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) มีค่าลดความร้อนรวม 78% ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีค่าลดความร้อนรวม 76% และ

ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุดที่ 75% ดังแสดงในตาราง 4.12

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าลดความร้อนรวม (TSER) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	TSER (%)
Sc05	91
Ng35/Ng15	84
Ng15/Ng35	84
D15/Ng35	80
Ng35/D15	79
D35/Ng15	79
Ng15/D35	78
D15/D35	76
D35/D15	75

2. ผลการทดสอบในตู้ทดสอบ

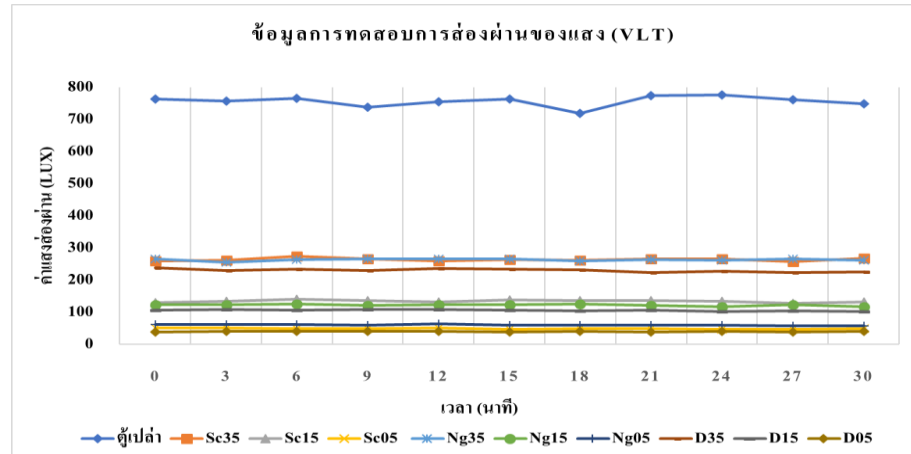
ผลการวิเคราะห์ในตู้ทดสอบแบ่งออกเป็น 5 การทดสอบ 1.การส่องผ่านของแสง (VLT) 2.อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบน 3.อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง 4.อุณหภูมิภายในตู้ข้างบน 5.อุณหภูมิภายในตู้ข้างล่าง

2.1 การทดสอบค่าแสงส่องผ่าน (VLT)

การทดสอบค่าการส่องผ่านของแสง วัตถุประสงค์ในการติดตั้งฟิล์มกรองแสงเพื่อลดความเข้มแสงเข้าสู่ภายในห้องโดยสารรถยนต์ และเพิ่มระดับความปลอดภัยในส่วนตัวภายในรถ ความเข้มของฟิล์มกรองแสงมีผลต่อทัศนวิสัยในการขับขี่ ฟิล์มที่ดีต้องให้ค่าแสงส่องผ่านที่มากกว่า แต่มีค่าต้านทานความร้อนที่สูง และป้องกันความร้อนได้มากเท่าไรยิ่งดี ค่าแสงส่องผ่านมีผลต่อผู้ขับขี่ได้เห็นทัศนวิสัยภายนอก การทดสอบแสงส่องผ่านแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1.ทดสอบตู้เปล่าโดยไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสงกั้นกลาง 2.ทดสอบตัวอย่างฟิล์มแบบแผ่นฟิล์มชั้นเดียว และแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น การทดสอบเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ การป้องกันแสงส่องผ่านฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิด

2.1.1 การทดสอบการส่องผ่านของแสงแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว ดังแสดงใน

ภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบค่าแสงส่องผ่านแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

ผลการทดสอบการส่องผ่านของแสงแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 การทดสอบดังนี้

การทดสอบตู้เปล่าโดยไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสง พบว่ามีค่าแสงสว่าง 756 Lux

การทดสอบแผ่นฟิล์มชั้นเดียวกุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด 264 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 65.1% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) มีค่าแสงส่องผ่าน 263 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 65.2% และฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 230 Lux สามารถป้องกันแสงสว่างได้ 69.6%

การทดสอบแผ่นฟิล์มชั้นเดียวกุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc35) มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด 134 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 82.3% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) มีค่าแสงส่องผ่าน 122 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 83.8% และฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 105 Lux สามารถป้องกันแสงสว่างได้ 86.1%

การทดสอบแผ่นฟิล์มชั้นเดียวกุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด 60 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 92.1% ตามด้วยฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) มีค่าแสงส่องผ่าน 49 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 93.5% และฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 39 Lux สามารถป้องกันแสงสว่างได้ 94.8 %

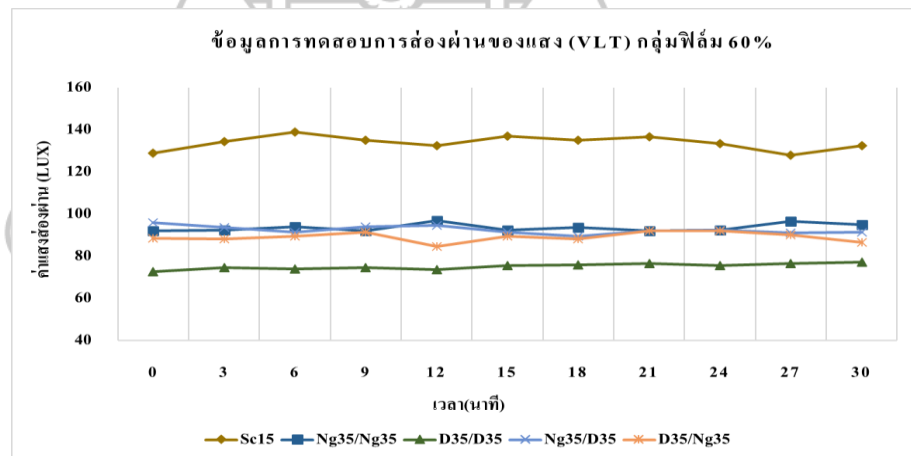
จากการทดสอบกุ่มฟิล์ม 40% และ 60% พบว่าฟิล์มกรองแสงเซรามิกมีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด ตามด้วยคาร์บอน และฟิล์มย้อมสี การทดสอบกุ่มฟิล์ม 80% ฟิล์มคาร์บอนมีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด ตามด้วยฟิล์มเซรามิก และฟิล์มย้อมสี ดังแสดงในตาราง 4.13

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลผลการทดสอบมูลค่าแสงส่องผ่านแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)
ตู้เปล่า	756	100.0
Sc35	264	34.9
Ng35	263	34.8
D35	230	30.4
Sc15	134	17.7
Ng15	122	16.2
D15	105	13.9
Ng05	60	7.9
Sc05	49	6.5
D05	39	5.2

2.1.2 การทดสอบการส่องผ่านของแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% ดังแสดงในภาพที่

4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

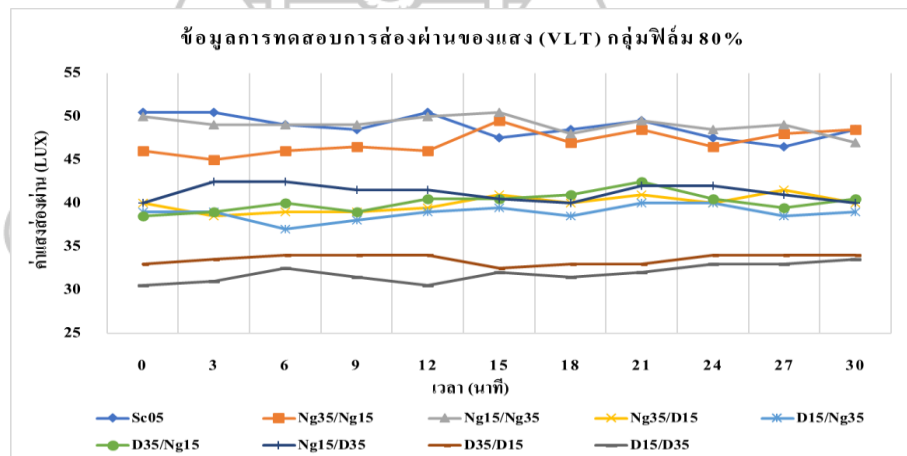
การทดสอบการส่องผ่านของแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด 134 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 82.3% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีค่าแสงส่องผ่าน 94 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 87.6% ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าแสงส่องผ่าน 93 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 87.8% ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35)

มีค่าแสงส่องผ่าน 89 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 88.2% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 75 Lux ป้องกันแสงสว่างได้ 90.1% จากการทดสอบพบว่า แผ่นฟิล์มชั้นบนเป็นฟิล์มคาร์บอนติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี มีค่าการส่องผ่านของแสงมากกว่าฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน ดังแสดงในตาราง 4.14

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลผลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)
Sc15	134	17.7
Ng35/Ng35	94	12.4
Ng35/D35	93	12.2
D35/Ng35	89	11.8
D35/D35	75	9.9

2.1.3 การทดสอบการส่องผ่านของแสง กลุ่มฟิล์ม 80% ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

การทดสอบการส่องผ่านของแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) และฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด 49 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 93.5% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีค่าแสงส่องผ่าน 47 Lux ป้องกันแสงส่องผ่านได้ 93.8% ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) มีค่าแสงส่องผ่าน 41 Lux ป้องกันแสงส่อง

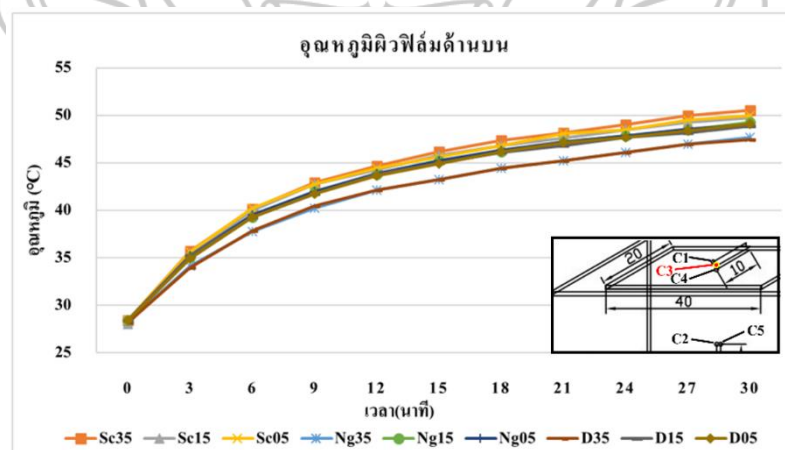
ผ่านได้ 94.5% และฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด 32 Lux สามารถป้องกันแสงสว่างได้ 95.8 % จากการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มคาร์บอนติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี มีค่าแสงส่องผ่านมากกว่าฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน ดังแสดงในตาราง 4.15

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลผลการทดสอบค่าแสงส่องผ่าน กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)
Sc05	49	6.5
Ng15/Ng35	49	6.5
Ng35/Ng15	47	6.2
Ng15/D35	41	5.5
D35/Ng15	40	5.3
Ng35/D15	40	5.3
D15/Ng35	39	5.1
D35/D15	34	4.4
D15/D35	32	4.2

2.2 การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน

2.2.1 อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบนแผ่นฟิล์มชั้นเดียว ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบน (C3) ของแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองชั้นเดียว กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 50.5 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) มีอุณหภูมิผิวข้างบนที่ 47.7 °C และฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 47.4 °C ดังแสดงในตาราง 4.16

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลผลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 40%

Film type	Temperature (°C)
Sc35	50.5
Ng35	47.7
D35	47.4

การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองชั้นเดียว กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 49.8 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) มีอุณหภูมิ 49.3°C และฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 48.9 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลผลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	Temperature (°C)
Sc15	49.8
Ng15	49.3
D15	48.9

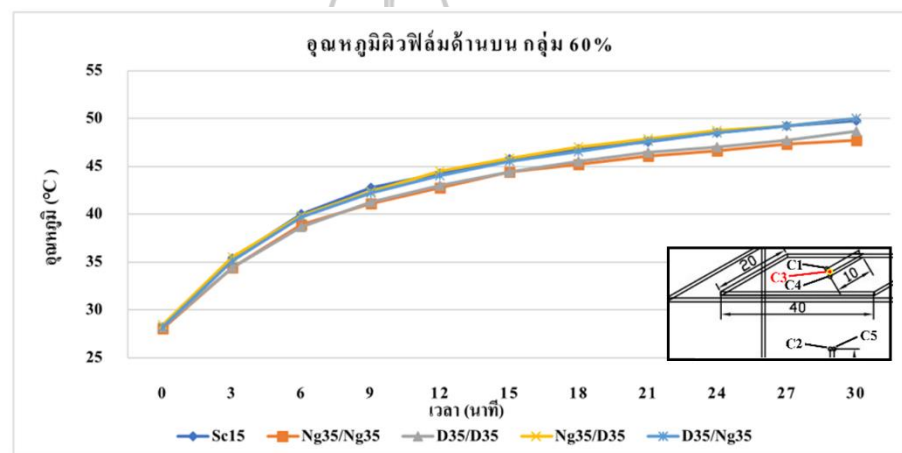
การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองชั้นเดียว กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 50.0 °C ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีอุณหภูมิที่ 49.1 °C และฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีอุณหภูมิผิวด้านน้อยที่สุด 49.0 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลผลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	Temperature (°C)
Sc05	50.0
D05	49.1
Ng05	49.0

2.2.2 อุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 60% ดังแสดงในภาพที่

4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบน (C3) กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

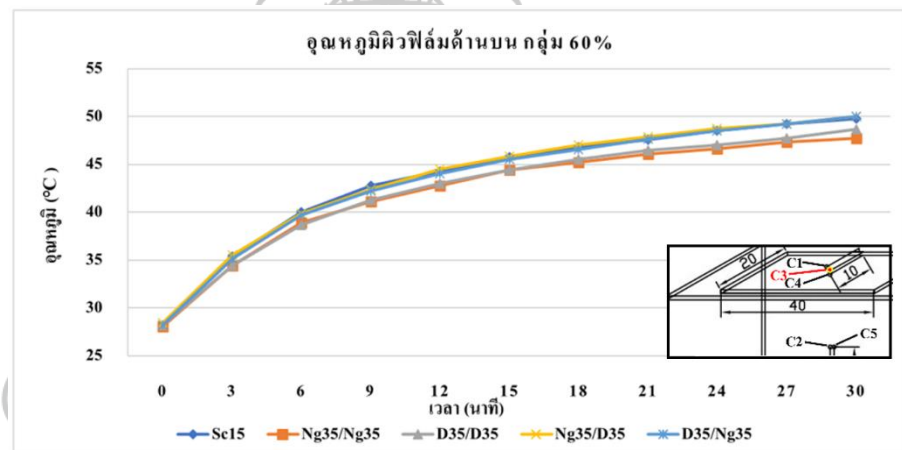
อุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับชั้นฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับชั้นฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 50.0 °C ตามด้วยฟิล์มเซรามิค 60% (Sc15) มีอุณหภูมิที่ 49.8 °C ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับชั้นฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอุณหภูมิที่ 48.7 °C และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับชั้นฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 47.7 °C จากการทดสอบพบว่าฟิล์มคาร์บอนติดทับชั้นฟิล์มคาร์บอน มีอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบนน้อยกว่า ฟิล์มย้อมสีติดทับชั้นฟิล์มย้อมสี และฟิล์มย้อมสีติดทับชั้นฟิล์มคาร์บอนหรือฟิล์มคาร์บอนติดทับชั้นฟิล์มย้อมสีมีอุณหภูมิผิวฟิล์มมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลผลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	Temperature (°C)
Ng35/D35	50.0
D35/Ng35	50.0
Sc15	49.8
D35/D35	48.7
Ng35/Ng35	47.7

2.2.3 อุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% ดังแสดงในภาพที่

4.9



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบน (C3) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 50.3 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีอุณหภูมิที่ 50.1 °C ฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) มีอุณหภูมิที่ 50.0 °C ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีอุณหภูมิที่ 49.5 °C ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 48.8 °C ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอุณหภูมิที่ 48.3 °C ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) มีอุณหภูมิที่ 48.0 °C และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 47.9 °C จากการทดสอบ พบว่าฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อน

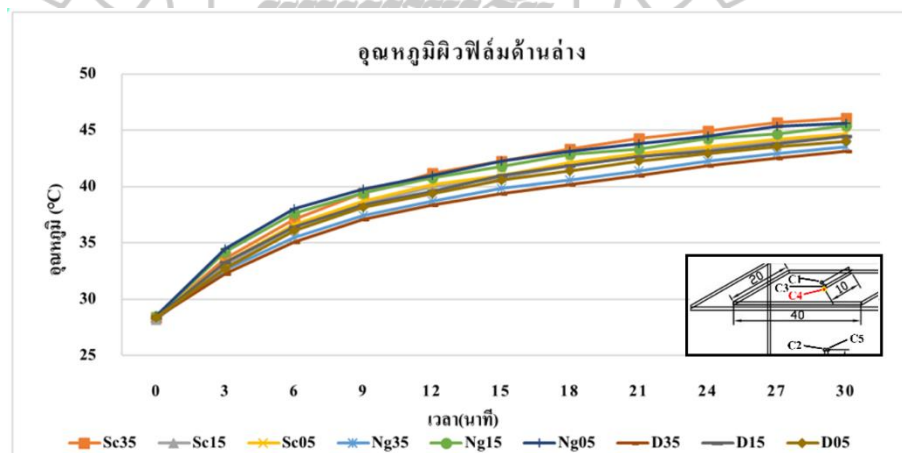
ฟิล์มย้อมสีมีอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบนน้อยกว่า ตามด้วยฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน ฟิล์มคาร์บอนติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี และฟิล์มคาร์บอนติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอนมีอุณหภูมิผิวฟิล์มข้างบนมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลผลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	Temperature (°C)
Ng15/D35	50.3
Ng35/Ng15	50.1
Sc05	50.0
Ng15/Ng35	49.5
Ng35/D15	48.8
D35/Ng15	48.8
D15/D35	48.3
D125/Ng35	48.0
D35/D15	47.9

2.3 อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง

2.3.1 อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง แผ่นฟิล์มชั้นเดียว ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง (C4) แผ่นฟิล์มกรองแสงแบบชั้นเดียว

การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 46.1 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% มีอุณหภูมิผิวข้างบนที่ 43.6 °C และฟิล์มย้อมสี 40% มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 43.1 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 40%

Film type	Temperature (°C)
Sc35	46.1
Ng35	43.6
D35	43.1

การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 45.4 °C ตามด้วยฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีอุณหภูมิ 44.5 °C และฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 43.1 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	Temperature (°C)
Ng15	45.4
Sc15	44.5
D15	44.5

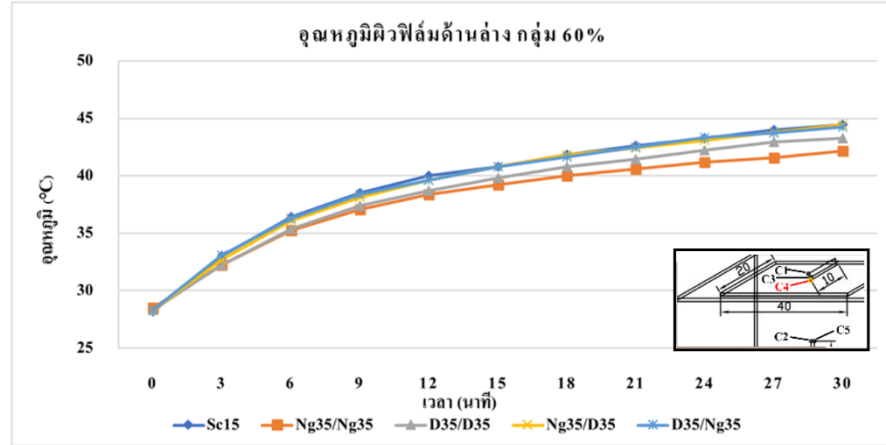
การทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 45.6 °C ตามด้วยฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) มีอุณหภูมิที่ 44.7 °C และฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีอุณหภูมิผิวด้านน้อยที่สุด 44.0 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ข้อมูลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	Temperature (°C)
Ng05	45.6
Sc05	44.7
D05	44.0

2.3.2 อุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% ดังแสดงในภาพที่

4.11



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง (C4) กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

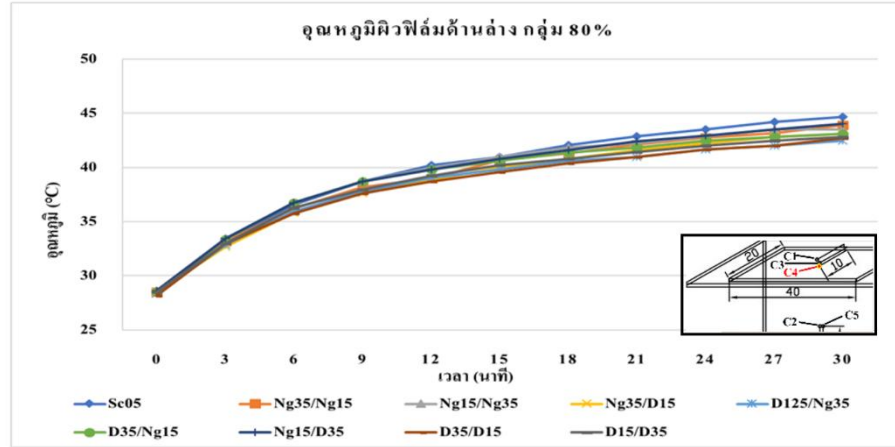
ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับชั้นฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 44.5 °C ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับชั้นฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) มีอุณหภูมิที่ 44.3 °C ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับชั้นฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอุณหภูมิที่ 43.3 °C และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับชั้นฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 42.1 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ข้อมูลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	Temperature (°C)
Sc15	44.5
Ng35/D35	44.5
D35/Ng35	44.3
D35/D35	43.3
Ng35/Ng35	42.1

2.3.3 อุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% ดังแสดงในภาพที่

4.12



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง (C4) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

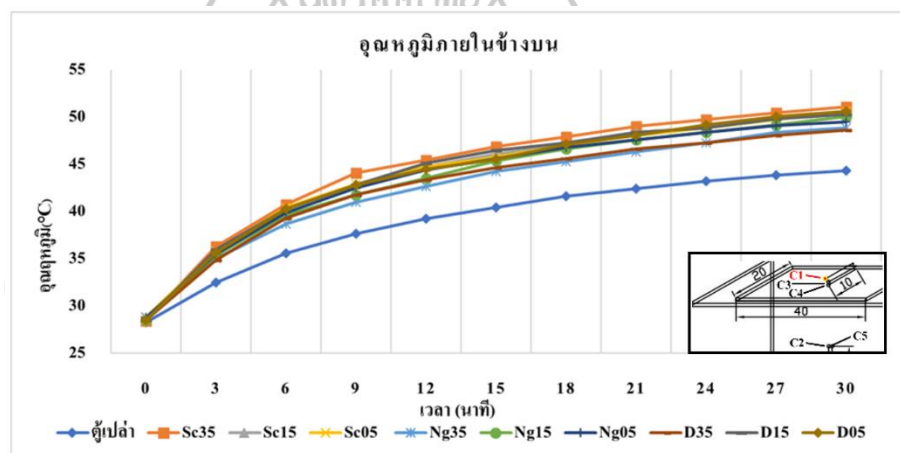
ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) มีอุณหภูมิที่มากที่สุด 44.7 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) มีค่าอุณหภูมิ 44.1 °C ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีอุณหภูมิที่ 43.9 °C ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีอุณหภูมิที่ 43.6 °C ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 43.1 °C ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอุณหภูมิที่ 42.9 °C ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีอุณหภูมิที่ 42.7 °C และฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) มีอุณหภูมิผิวด้านบนน้อยที่สุด 42.5 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ข้อมูลอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	Temperature (°C)
Sc05	44.7
Ng15/D35	44.1
Ng35/Ng15	43.9
Ng15/Ng35	43.6
Ng35/D15	43.1
D35/Ng15	43.1
D15/D35	42.9
D35/D15	42.7
D15/Ng35	42.5

2.4 อุณหภูมิภายในตู้ด้านบน

2.4.1 อุณหภูมิภายในตู้ด้านบนแผ่นฟิล์มชั้นเดียว ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1) แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในชั้นด้านบน ทดสอบตู้เปล่าโดยไม่มีแผ่นฟิล์มกรองแสง มีค่าอุณหภูมิที่ 44.4 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.26

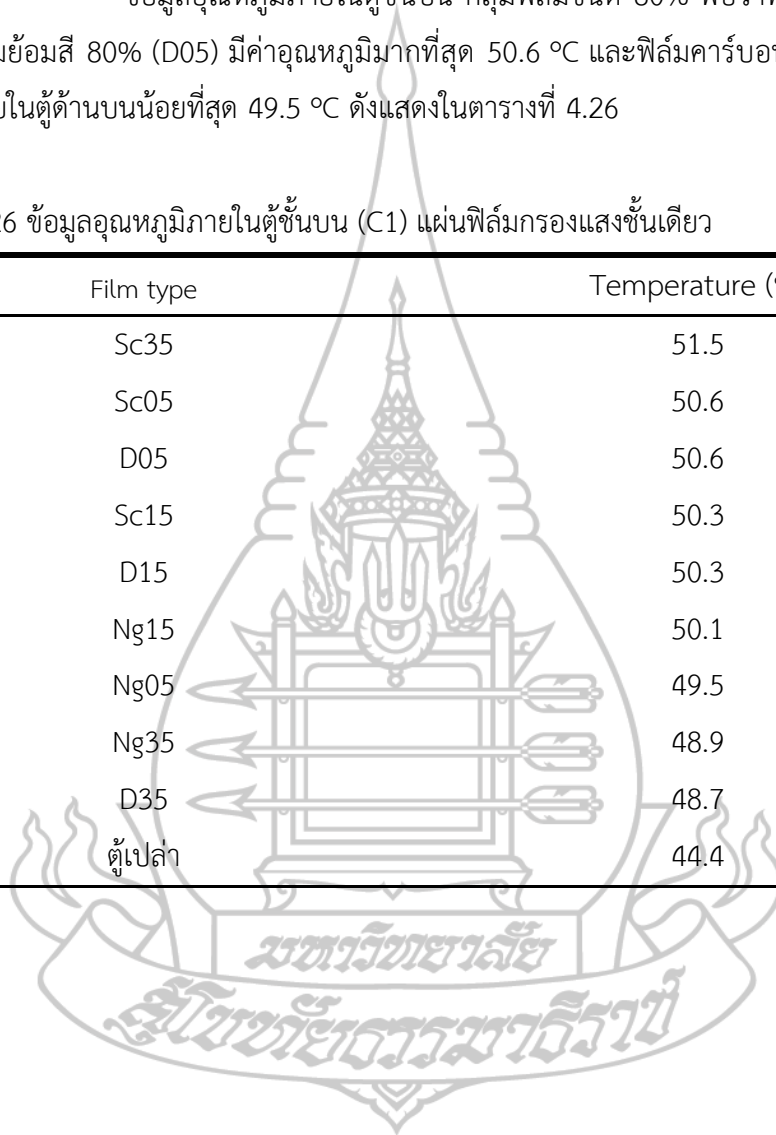
ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) มีค่าอุณหภูมิภายในมากที่สุด 51.1 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% มีอุณหภูมิภายในตู้ด้านบนที่ 48.9 °C และฟิล์มย้อมสี 40% มีอุณหภูมิภายในด้านบนน้อยที่สุด 48.7 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) ฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 50.3 °C และฟิล์มเซรามิค 60% (Sc15) มีอุณหภูมิภายในด้านบนน้อยที่สุด 50.1 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.26

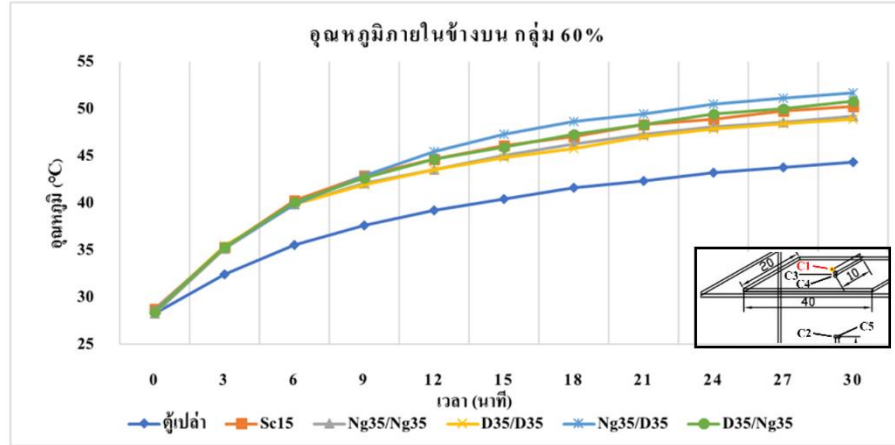
ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) ฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 50.6 °C และฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีอุณหภูมิภายในตู้ด้านบนน้อยที่สุด 49.5 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1) แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

Film type	Temperature (°C)
Sc35	51.5
Sc05	50.6
D05	50.6
Sc15	50.3
D15	50.3
Ng15	50.1
Ng05	49.5
Ng35	48.9
D35	48.7
ตู้เปล่า	44.4



2.4.2 อุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์ม 60% ดังแสดงในภาพที่ 4.14



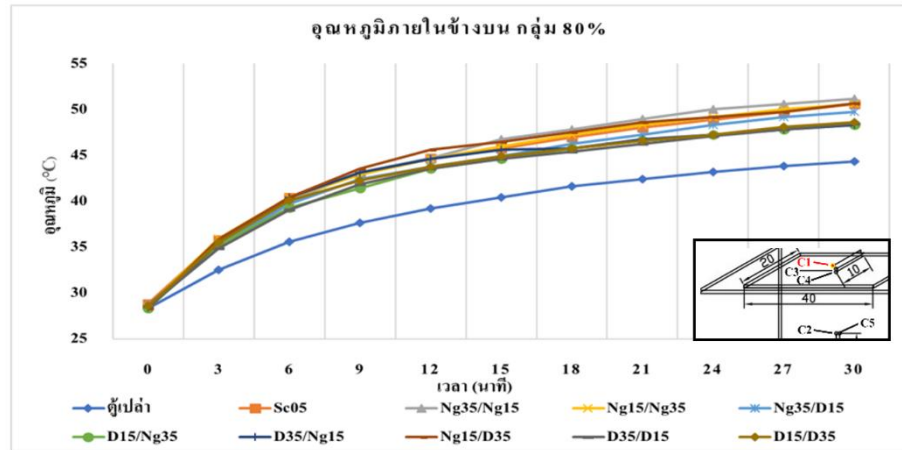
ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1) กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

การทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 51.8 °C ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) มีค่าอุณหภูมิ 50.9 °C ฟิล์มเซรามิค 60% (Sc15) มีค่าอุณหภูมิ 50.3 °C ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีค่าอุณหภูมิ 49.2 °C และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบนน้อยที่สุด 50.1 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1) กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	Temperature (°C)
Ng35/D35	51.8
D35/Ng35	50.9
Sc15	50.3
Ng35/Ng35	49.2
D35/D35	48.9
ตู้เปล่า	44.4

2.4.3 อุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

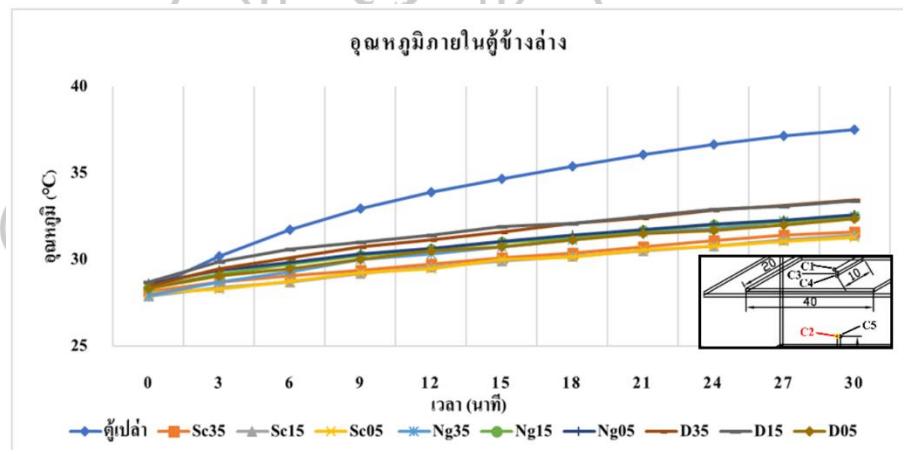
การทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 51.2 °C ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าอุณหภูมิ 50.7 °C ฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) และฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าอุณหภูมิเท่ากัน 50.6 °C ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับชั้นฟิล์มย้อมสี 60% (Ng35/D15) มีค่าอุณหภูมิ 49.8 °C ฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอุณหภูมิ 48.7 °C ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีอุณหภูมิ 48.5 °C และฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) มีอุณหภูมิภายในด้านบนน้อยที่สุดเท่ากัน 48.4 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	Temperature (°C)
Ng35/Ng15	51.2
Ng15/D35	50.7
Sc05	50.6
Ng15/Ng35	50.6
Ng35/D15	49.8
D15/D35	48.7
D35/D15	48.5
D15/Ng35	48.4
D35/Ng15	48.4
ตู้เปล่า	44.4

2.5 อุณหภูมิภายในตู้ชั้นด้านล่าง

2.5.1 อุณหภูมิภายในตู้ชั้นด้านล่าง แผ่นฟิล์มชั้นเดียว ดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2) แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

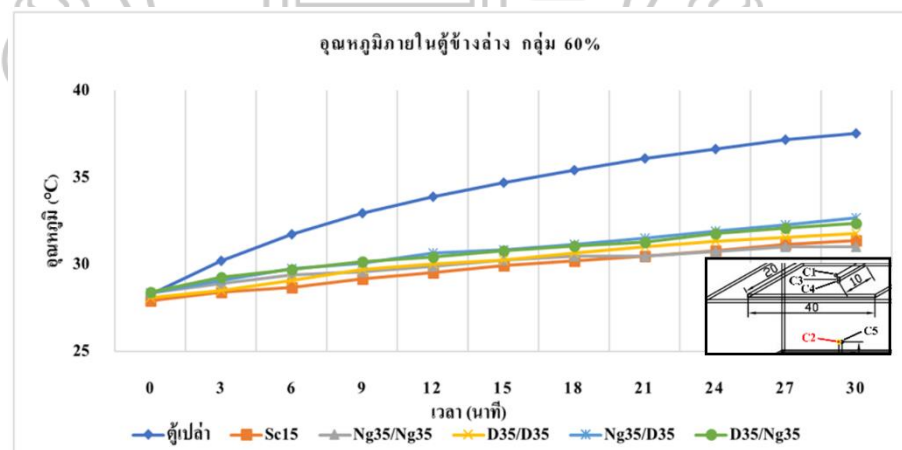
การทดสอบแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น ฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 51.8 °C ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) มีอุณหภูมิที่ 50.5 °C ฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีอุณหภูมิที่ 50.3 °C ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35)

มีอุณหภูมิที่ 49.2 °C และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอุณหภูมิต่ำสุดที่ 48.9 °C ดังในแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ข้อมูลผลอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2) แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

Film type	Temperature (°C)
ตู้เปล่า	37.5
D35	33.5
D15	33.4
Ng05	32.6
Ng35	32.5
Ng15	32.5
D05	32.4
Sc35	31.6
Sc15	31.4
Sc05	31.3

2.5.2 อุณหภูมิภายในตู้ชั้นด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% ดังแสดงในรูป 4.17



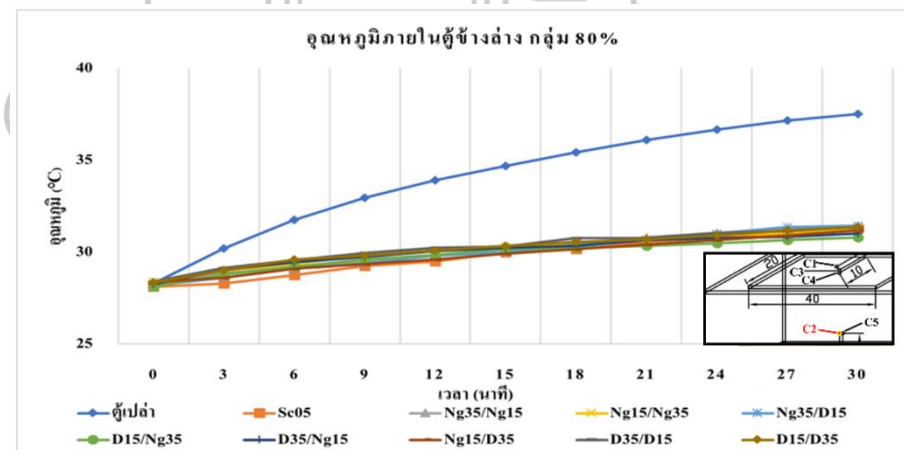
ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2) กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

การทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าอุณหภูมิมากที่สุด 32.7 °C ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) ค่าอุณหภูมิ 31.8 °C ฟิล์มเซรามิค60% (Sc15) มีค่าอุณหภูมิ 31.4 °C และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีอุณหภูมิภายในด้านบนน้อยที่สุด 31.0 °C ดังแสดงในตารางที่4.30

ตารางที่ 4.30 ข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2) กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	Temperature (°C)
ตู้เปล่า	37.5
Ng35/D35	32.7
D35/Ng35	32.4
D35/D35	31.8
Sc15	31.4
Ng35/Ng35	31.0

2.5.3 อุณหภูมิภายในตู้ชั้นด้านล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% ดังแสดงในรูป4.18



ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2)

กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มคาร์บอน40% (Ng35) ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) และฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีอุณหภูมิที่มากที่สุด 31.5 ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% (D35) ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D15) และฟิล์มย้อมสี 60% (15) ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีอุณหภูมิที่ 31.4 °C ฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) และฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) มีค่าอุณหภูมิที่ 31.3 °C ฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35) มีอุณหภูมิที่ 31.2 °C ฟิล์มย้อมสี 40% (D15) ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35) มีอุณหภูมิที่ 31.0 °C และฟิล์มย้อมสี 60% (D15) ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน40% (Ng35) มีอุณหภูมิต่ำกว่า 30.3 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ข้อมูลผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2) กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	Temperature (°C)
ตู้เปล่า	37.53
Ng35/Ng15	31.5
Ng35/D15	31.5
D35/D15	31.4
D15/D35	31.4
Sc05	31.3
Ng15/Ng35	31.3
Ng15/D35	31.2
D35/Ng15	31.0
D15/Ng35	30.3

3. สรุปการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะการที่ที่เหมาะสมในการต้านทานการนำความร้อนโดยการซ้อนทับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ในรูปแบบผิวสองชั้น เพื่อประเมินสมรรถนะเชิงคุณภาพของฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ โดยพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อน สามารถสรุปได้ดังนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.32

3.1 การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

3.1.1 ผลการศึกษาการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

ผลการศึกษาค่าความเข้มแสงกลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก 40% (Sc35) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 264 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 35% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 263 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 35% และฟิล์มย้อมสี 40% (D05) มีอัตราค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด 230 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 30%

ผลการศึกษาค่าความเข้มแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 134 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 18% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng15) มีอัตราค่าความเข้มแสง 122 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 16% และฟิล์มย้อมสี 60% (D15) มีอัตราค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด 105 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 14%

ผลการศึกษาค่าความเข้มแสง กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 80% (Ng05) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 60 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 8% ตามด้วยฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) อัตราค่าความเข้มแสง 49 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 6% และฟิล์มย้อมสี 80% (D05) มีอัตราค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด 39 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 5%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อน กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดโดยลดอุณหภูมิลงได้ 15.8% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng35) ป้องกันความร้อนได้ 13.4% และฟิล์มย้อมสี (D35) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด 10.9%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อน กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc15) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุด 16.3% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng15) ป้องกันความร้อนได้ 13.4% และฟิล์มย้อมสี (D15) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด 11%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% จากการทดสอบ พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc05) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 16.6% ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D05) ป้องกันความร้อนได้ 13.8% และฟิล์มคาร์บอน (Ng05) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด 13.1%

ผลการศึกษาค่าลดความร้อนรวม กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc35) มีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 78% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng35) มีค่าลดความร้อนรวม 59% และฟิล์มย้อมสี (D35) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุดได้น้อยที่สุด 47%

ผลการศึกษาค่าลดความร้อนรวม กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc15) มีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 87% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng15) มีค่าลดความร้อนรวม 71% และฟิล์มย้อมสี (D15) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุดได้น้อยที่สุด 62%

ผลการศึกษาค่าลดความร้อนรวม กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc05) มีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 91% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng05) มีค่าลดความร้อนรวม 76% และฟิล์มย้อมสี (D05) ค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุดได้น้อยที่สุด 50%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อน กลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุด ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อน กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุด ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อน กลุ่มฟิล์มชนิด 80% จากการทดสอบ พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc05) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 16.6% ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D05) ป้องกันความร้อนได้ 13.8% และฟิล์มคาร์บอน (Ng05) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด 13.1%

ผลการศึกษาการต้านทานการนำความร้อนกลุ่มฟิล์มชนิด 40% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc35) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนดีที่สุด 7.6 °C/W ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D35) ค่าการต้านทานการนำความร้อน 7.4 °C/W และฟิล์มคาร์บอน (Ng35) ค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยที่สุด 7.1 °C/W

ผลการศึกษาการต้านทานการนำความร้อนกลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc15) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนดีที่สุด 9.1 °C/W ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D15) ค่าการต้านทานการนำความร้อน 7.7 °C/W และฟิล์มคาร์บอน (Ng15) ค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยที่สุด 6.6 °C/W

ผลการศึกษาการต้านทานการนำความร้อนกลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc05) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนดีที่สุด 9.1 °C/W ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D05) ค่าการต้านทานการนำความร้อน 8.8 °C/W และฟิล์มคาร์บอน (Ng05) ค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยที่สุด 5.9 °C/W

ผลการศึกษาการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว พบว่าฟิล์มเซรามิกมีค่าการต้านทานการนำความร้อนสูงสุดตามด้วยฟิล์มย้อมสี และฟิล์มคาร์บอน จากการทดสอบพบว่าฟิล์มที่มีความเข้มแสงสูงจะมีอุณหภูมิผิวด้านในสูง ในทางกลับกันฟิล์มค่าความเข้มแสงต่ำอุณหภูมิผิวด้านในจะมีค่าต่ำกว่า

ตารางที่ 4.32 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)	TSER (%)	Heat protection (%)	k (W/m ² C)	R _{cd,tot} (°C/W)
Sc35	264	35	78	15.8	0.00063	7.6
Ng35	263	34	59	13.4	0.00067	7.1
D35	230	30	47	10.9	0.00064	7.4
Sc15	134	18	87	16.3	0.00052	9.1
Ng15	122	16	71	13.4	0.00072	6.6
D15	105	14	62	11.0	0.00062	7.7
Sc05	49	7	91	16.6	0.00052	9.1
Ng05	60	8	76	13.1	0.00081	5.9
D05	39	7	50	13.8	0.00054	8.8

3.1.2 ผลการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% ดังแสดงในตารางที่ 4.33

ผลการศึกษาค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 15% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc15) มีอัตราค่าความเข้มแสงมากที่สุด 134 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 18% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) โดยมีค่าแสงส่องผ่านเท่ากัน 12% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าความเข้มแสงน้อยที่สุด 75 Lux โดยมีค่าแสงส่องผ่าน 10%

ผลการศึกษาค่าลดความร้อนรวม TSER (Total Solar Energy Rejected) กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc35) มีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 87% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีค่าลดความร้อนรวม 79% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุด 64%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกัน 2 ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 17.4% ตามด้วยฟิล์มเซรามิก (Sc15) สามารถป้องกันความร้อนได้ 16.3% ฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) สามารถป้องกันความร้อนได้ 15.3%

และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนได้ 13.8% และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) สามารถป้องกันความร้อนน้อยที่สุดได้ 12.9%

ผลการศึกษาค่าการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% จากการทดสอบพบว่าฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) มีค่าความต้านทานความร้อนสูงสุด 9.9 °C/W ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) กับฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng35/D35) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนเท่ากันที่ 9.6 °C/W และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยที่สุดที่ 9.2 °C/W

ตารางที่ 4.33 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)	TSER (%)	Heat protection (%)	U_{tot} (W/(m ² ·°C))	$R_{cd,tot}$ (°C/W)
Sc15	134	18	87	16.3	0.00052	9.1
Ng35/Ng35	94	12	79	17.4	0.00100	9.6
D35/D35	75	10	64	15.3	0.00103	9.2
Ng35/D35	93	12	73	12.9	0.00100	9.6
D35/Ng35	89	12	73	13.8	0.00096	9.9

3.1.3 ผลการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ผลการศึกษาค่าความเข้มแสงอัตราประมาณ 5% พบว่าฟิล์มเซรามิก (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%

ผลการศึกษาค่าลดความร้อนรวม (TSER) ฟิล์มเซรามิกมีค่าลดความร้อนรวมมากที่สุด 91% ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) กับฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีค่าลดความร้อนรวมเท่ากัน 84% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีค่าลดความร้อนรวมน้อยที่สุด 74%

ผลการศึกษาการป้องกันความร้อนผ่านฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 17.9% ตามด้วยฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (D35/Ng15) สามารถป้องกันความร้อนได้ 17.4%, ฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) สามารถป้องกันความร้อนได้ 16.9% และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) กับฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) สามารถป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุดเท่ากัน 16.2%

ผลการศึกษาค่าการต้านทานการนำความร้อนผ่านฟิล์มติดทับซ้อนสองชั้น สำหรับกลุ่มฟิล์มชนิด 80% จากการทดสอบพบว่าฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) ฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) มีค่าการนำความร้อนสูงสุด 10.7 °C/W ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าความต้านความร้อน 10.2 °C/W และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 60% (D35/D15) มีค่าความต้านความร้อนน้อยที่สุด 8.9 °C/W

ตารางที่ 4.34 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

Film type	VLT (Lux)	VLT (%)	TSER (%)	Heat Protection (%)	U_{tot} (W/(m ² ·°C))	$R_{cd,tot}$ (°C/W)
Sc05	49	7	91	16.6	0.00052	9.1
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	80	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	75	16.5	0.00107	8.9
D15/D35	32	6	76	16.5	0.00102	9.4

3.2.1 ผลการศึกษาการทดสอบแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

เมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ (C/R_{cd}) ซึ่งเป็นเกณฑ์วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าฟิล์มย้อมสีมีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุด ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน และฟิล์มเซรามิกมีค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ แผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว

Film type	C/R_{cd} (Baht/(°C/W))
D05	285
D15	326
D35	338
Ng35	496
Ng15	528
Ng05	598
Sc15	603
Sc05	603
Sc35	726

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอัตราเชิงเศรษฐศาสตร์ที่มีต้นทุนน้อยที่สุดคือ 543 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าการต้านทานการนำความร้อน ตามด้วยฟิล์มเซรามิก 60% (Sc15) มีต้นทุนที่ 603 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าการต้านทานการนำความร้อน และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) มีต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด 732 บาทต่อหน่วยพื้นที่ค่าการต้านทานการนำความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ กลุ่มฟิล์มชนิด 60%

Film type	C/R _{cd} (Baht/(°C/W))
D35/D35	543
Sc15	603
D35/Ng35	606
Ng35/D35	628
ND35/Ng35	732

3.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 533 บาทต่อหน่วยพื้นที่-ค่าการต้านทานการนำความร้อน ฟิล์มเซรามิค 80% (Sc05) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยลำดับที่ 4 ที่ 603 บาทต่อหน่วยพื้นที่-ค่าการต้านทานการนำความร้อน และคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng15/Ng35) มีค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนมากที่สุด 684 บาทต่อหน่วยพื้นที่-ค่าการต้านทานการนำความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 ค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ กลุ่มฟิล์มชนิด 80%

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

บทที่ 5

สรุปการวิจัยอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะการณที่ที่เหมาะสมในการต้านทานการนำความร้อนโดยการซ้อนทับฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์ในรูปแบบผิวสองชั้น เพื่อประเมินสมรรถนะเชิงคุณภาพของฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ จากวัตถุประสงค์ของการดำเนินการวิจัย สามารถสรุปผลโดยแบ่งตามหัวข้อที่ศึกษาได้ดังนี้

1.1 เพื่อศึกษาผลของลำดับชั้นของการติดตั้งฟิล์มกรองแสงติดรถยนต์แบบสองชั้นต่อการต้านทานการนำความร้อน และค่าความเข้มแสงส่องผ่าน

เมื่อพิจารณาเรื่องการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว พบว่าแผ่นฟิล์มเซรามิกมีค่าการต้านทานการนำความร้อนมากที่สุด ตามด้วยฟิล์มย้อมสีและฟิล์มคาร์บอนตามลำดับ และจากการทดสอบพบว่าฟิล์มย้อมสีที่มีราคาถูกกว่าฟิล์มคาร์บอนกลับมีค่าการต้านทานการนำความร้อนดีกว่าฟิล์มคาร์บอนที่มีราคาสูงกว่า

เมื่อพิจารณาเรื่องการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มเซรามิกชั้นเดียวเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% แผ่นฟิล์มเซรามิก (Sc15) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยกว่าแผ่นฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D35/Ng35) ที่ $0.77 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ คิดเป็น 7.83%

เมื่อพิจารณาเรื่องการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มเซรามิกชั้นเดียวเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% แผ่นฟิล์มเซรามิก (Sc05) มีค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยกว่าแผ่นฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) และแผ่นฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) ที่ $1.55 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ คิดเป็น 14.52%

เมื่อพิจารณาเรื่องการส่องผ่านของแสง (Lux) จากการทดสอบพบว่า ฟิล์มเซรามิกชั้นเดียว อาจเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าแสงส่องผ่านมากกว่าฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้นทุกตัวอย่าง ค่าแสงส่องผ่านยิ่งมากยิ่งดี ซึ่งจะทำให้เวลาขับรถตอนเวลากลางคืนมองเห็นได้ชัดเจนมากกว่า ฟิล์มที่มีค่าแสงส่องผ่านน้อย

เมื่อพิจารณาเรื่องการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว กลุ่มฟิล์มชนิด 40%, 60% พบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุด (Heat protection) ตามด้วยฟิล์มคาร์บอน (Ng) และฟิล์มย้อมสี (D) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด และกลุ่มฟิล์มชนิด 80% จากการทดสอบพบว่าฟิล์มเซรามิก (Sc05) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 16.6% ตามด้วยฟิล์มย้อมสี (D05) ป้องกันความร้อนได้ 13.8% และฟิล์มคาร์บอน (Ng05) ป้องกันความร้อนได้น้อยที่สุด 13.1% เนื่องจากฟิล์มคาร์บอนมีค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด และจากการทดสอบพบว่าอัตราความเข้มแสงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

เมื่อพิจารณาเรื่องการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกัน 2 ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% พบว่าฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 17.7% ตามด้วยฟิล์มเซรามิก (Sc15) กับฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (Ng35/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนเท่ากัน 16.3% และฟิล์มย้อมสี 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% สามารถป้องกันความร้อนน้อยที่สุดได้ 12.9%

เมื่อพิจารณาเรื่องการป้องกันความร้อนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกัน 2 ชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% พบว่าฟิล์มย้อมสี 60% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 40% (D15/Ng35) สามารถป้องกันความร้อนมากที่สุดได้ 17.9% ฟิล์มเซรามิก 80% (Sc05) สามารถป้องกันความร้อนได้ 16.6% และฟิล์มคาร์บอน 40% ติดทับซ้อนฟิล์มคาร์บอน 60% (Ng35/Ng15) กับฟิล์มคาร์บอน 60% ติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี 40% (Ng15/D35) สามารถป้องกันความได้น้อยที่สุดเท่ากัน 16.2%

1.2 เพื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่

เมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ พบว่ากลุ่มฟิล์มชนิด 60% แผ่นฟิล์มย้อมสี 40% ติดซ้อนทับฟิล์มย้อมสี 40% (D35/D35) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 543 บาทต่อหน่วยพื้นที่-ค่าความต้านทานการนำความร้อน

เมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนเทียบหน่วยพื้นที่ พบว่ากลุ่มฟิล์มชนิด 80% แผ่นฟิล์มย้อมสี 60% ติดซ้อนทับฟิล์มย้อมสี 40% (D15/D35) มีอัตราการต้านทานการนำความร้อนต่อต้นทุนน้อยที่สุดที่ 533 บาทต่อหน่วยพื้นที่-ค่าการต้านทานการนำความร้อน และพบว่าแผ่นฟิล์มย้อมสีติดทับซ้อนฟิล์มย้อมสี คู่มีค่ากว่าแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น ตัวอย่างอื่น และแผ่นฟิล์มเซรามิก

อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบในบทที่ 4 เราอาจกล่าวได้ว่า สำหรับรถยนต์ที่ติดตั้งฟิล์มกรองแสง ถ้าจะให้มันลดอุณหภูมิความร้อนภายในสามารถช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงและลดค่าใช้จ่าย ควรที่จะมีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงกันความร้อน เพื่อลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในห้องโดยสาร ทั้งนี้เพื่อที่จะลดภาระการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ สำหรับฟิล์มกรองแสงกันความร้อน มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีค่าการต้านทานการนำความร้อนที่แตกต่างกัน ก็ควรที่จะเลือกฟิล์มกรองแสงที่มีค่าสภาพการต้านทานการนำความร้อนที่สูง ซึ่งฟิล์มกรองแสงที่เรานำมาทดสอบ ก็พบว่า ฟิล์มเซรามิกกันความร้อนที่มีค่าสภาพการต้านทานการนำความร้อนสูงกว่าฟิล์มกรองแสงชนิดอื่น จึงเห็นควรที่จะใช้ฟิล์มกรองแสงชนิดเซรามิก แต่การติดตั้งฟิล์มกรองแสงยังมีองค์ประกอบอื่นที่จะต้องพิจารณา คือ สมบัติในด้านแสงส่องผ่าน ราคาต้นทุนต่อค่าความต้านความร้อน อายุการใช้งาน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงที่ดีจะช่วยให้อประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารถยนต์จากความเสียหายเนื่องจากการลดภาระทำความเย็นได้

ผลการศึกษาด้านการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว พบว่าฟิล์มเซรามิกมีค่าการต้านทานการนำความร้อนสูงสุดตามด้วยฟิล์มย้อมสี และฟิล์มคาร์บอนค่าการต้านทานการนำความร้อนน้อยที่สุด จากการทดสอบอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่าง พบว่าฟิล์มเซรามิกที่ค่าแสงส่องผ่านมากที่สุด และมีค่าอุณหภูมิผิวฟิล์มกรองแสงด้านล่างมากที่สุด $46.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ และฟิล์มย้อมสีมีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด มีอุณหภูมิผิวด้านล่างน้อยที่สุด $43.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสอดคล้องกับ (ธมลวรรณ เขียวปาน, 2557) ได้ศึกษาสมรรถนะเชิงอุณหภาพของฟิล์มกรองแสงชนิดต่างๆ ได้ทำการศึกษาและการทดสอบเก็บข้อมูลจริงกับตัวอย่างฟิล์มกรองแสงทั้ง 3 ชนิด ผลการทดสอบพบว่าฟิล์มกรองแสงที่มีความเข้มแสงสูงจะมีค่าอุณหภูมิผิวฟิล์มด้านในสูง แต่ในทางกลับกันฟิล์มกรองแสงที่มีค่าความเข้มแสงต่ำ อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านในมีค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ผลการศึกษาด้านการต้านทานการนำความร้อนแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียวเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น พบว่าแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้นมีค่าการต้านทานการนำความร้อนได้ดีกว่าฟิล์มเซรามิกชั้นเดียว เนื่องจากฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้นมีความหนาของแผ่นฟิล์มมากกว่าแผ่นฟิล์มกรองแสงชั้นเดียว และพบว่าฟิล์มก็แสงติดทับซ้อนกันสองชั้นมีค่าการส่องผ่านน้อยกว่าฟิล์มเซรามิกชั้นเดียว ซึ่งสอดคล้องกับ (ติเกะ บุนนาค และคณะ, 2004) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการส่งผ่านกระจก ผลการทดสอบพบว่ากระจกชั้นเดียวจะยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้มากกว่ากระจกสองชั้น การทดสอบพบว่าสีของฟิล์มกรองแสงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ดังนี้ फिल्मสีฟ้าอ่อน(ค่าแสงส่องผ่านมาก) มีอุณหภูมิภายในห้องมากที่สุด ในทางกลับกันฟิล์มสีน้ำเงิน (ค่าแสงส่องผ่านน้อย) มีอุณหภูมิภายในห้องน้อยที่สุด

ผลการศึกษาค่าสัมพัทธ์ต้นทุนต่ออัตราการต้านทานการนำความร้อนผ่านวัสดุฟิล์มกรองแสง การติดตั้งฟิล์มกรองแสงทับกันสองชั้นในกรณีที่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงอยู่แล้ว การติดตั้งฟิล์มกรองแสงทับซ้อนกันสองชั้น สามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฟิล์มฟิล์มกรองแสง การติดตั้งฟิล์มทับซ้อนกันสองชั้นสามารถเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานการนำความร้อน การป้องกันความร้อนได้เพิ่มขึ้น การติดตั้งฟิล์มกรองแสงทับซ้อนกันสองชั้น ฟิล์มที่จะติดตั้งทับซ้อนไม่จำเป็นต้องติดฟิล์มที่มีราคาสูง จากการทดสอบพบว่า การติดฟิล์มทับซ้อนกันสองชั้น คือการเพิ่มความหนา เนื่องจากความหนาของแผ่นฟิล์มมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน การติดตั้งฟิล์มทับซ้อนกันสองชั้นหากเราเลือกใช้ฟิล์มย้อมสีก็มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งประมาณ 2,000-3,000 บาท ซึ่งสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ซึ่งสอดคล้องกับ (นางสาวอรจิรา แซ่เม้ง, 2564) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีต่อผู้บริโภคในการเลือกติดฟิล์มกรองแสงกลุ่มตัวอย่างมีรายได้ระหว่าง 10,001-20,000 บาท พบว่าการติดตั้งฟิล์มกรองแสงในกลุ่มคนมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนละ 15,001 – 20,000 บาท มีค่าใช้จ่ายในการติดฟิล์มกรองแสงเฉลี่ยต่อครั้ง 2,001 – 3,000 บาท และ(นางสาวมันทรพ สุริยะปฐมธรร, 2559) ได้ศึกษาปัจจัยการเลือกซื้อฟิล์มกรองแสงดีดรอยนต์ โดยเลือกปัจจัยส่วนประสมการตลาด (7Ps) พบว่ามีเพียง 2 ปัจจัยในการตัดสินใจ คือ 1.ด้านราคา (Price) 2.ด้านการสร้างและนำเสนอ

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการผลงานวิจัยไปใช้พิจารณาการเลือกฟิล์มกรองแสง

การเลือกพิจารณาฟิล์มกรองแสงให้เหมาะสม สิ่งสำคัญได้แก่ ความสามารถในการป้องกันความร้อน และทัศนวิสัยที่ดีในการขับขี่ สำหรับรถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งฟิล์มกรองแสงมาก่อน ฟิล์มเชรามิค 1 ชั้น ถือได้ว่าเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าต้านทานความร้อนที่ดีและการป้องกันความร้อนได้ดี แต่สำหรับรถยนต์ที่มีการติดตั้งฟิล์มกรองแสงอยู่แล้ว การติดตั้งฟิล์มกรองแสงฟิล์มย้อมสีหรือฟิล์มคาร์บอน ในกลุ่มฟิล์มชนิด 40% และกลุ่มฟิล์มชนิด 60% จะช่วยลดค่าใช้จ่าย และทำให้ค่าการต้านทานการนำความร้อนมากขึ้น และหลายๆ คนยังเข้าใจผิดๆว่า ฟิล์มที่มีสีเข้มหรือทึบ ช่วยลดความร้อนได้ดี ในความจริงแล้ว สีหรือความทึบของฟิล์มกรองแสงไม่ได้เป็นตัวช่วยลดความร้อน แต่กลับเป็นสารเคลือบตัวอื่นๆที่ทำหน้าที่หลักนี้ต่างหาก ข้อเสนอแนะการพิจารณาติดตั้งฟิล์มกรองแสงเบื้องต้น ให้พิจารณาจากค่าการส่องผ่านของแสงถ้าค่า VLT ยิ่งสูงยิ่งดี และพิจารณาจากค่าการลด

ความร้อนรวม ถ้าค่า TSER สูง = สามารถลดความร้อนดี โดยการพิจารณาจากข้อมูลจากคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงที่ทางบริษัทเป็นต้น

3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเกี่ยวกับด้านนี้ในอนาคต

3.2.1 ควรมีการทดสอบตัวอย่างฟิล์มกรองแสงพร้อมกัน เนื่องจากสภาวะอากาศมีอิทธิพลต่อแผ่นฟิล์มกรองแสง

3.2.2 ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมกรณีติดฟิล์มกรองแสงกับรถยนต์ โดยทำการทดสอบขณะเครื่องยนต์ทำงานและเปิดระบบปรับอากาศ เพื่อทำการวิเคราะห์อัตราสิ้นเปลืองของการพลังงานเชื้อเพลิง

3.2.3 ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบกับฟิล์มกรองแสงยี่ห้ออื่นๆ เพื่อให้เห็นชัดเจนเกี่ยวกับแนวทางประยุกต์การเลือกการติดตั้งฟิล์มกรองแสง



บรรณานุกรม

- C.-Y. Tseng, Y.-A. Yan, J.C. Leong, (2014). Thermal Accumulation in a General Car Cabin Model, Department of Vehicle Engineering. National Pingtung University of Science and Technology. Taiwan
- EDL CO.,LTD. ค่าพารามิเตอร์/คุณสมบัติของฟิล์มเบื้องต้นที่คุณควรรู้. สืบค้นเมื่อวันที่ 5-5-66 จาก <https://kontrast.in.th/technology/parameter>
- GOODFILM CO.,LTD. โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก. สืบค้นเมื่อวันที่ 26-9-65 จาก <https://www.3m-goodfilm.com/content/6121/โครงสร้างของฟิล์มติดกระจก>
- International Window Film Association (IWFA). A Valuable Investment | International Window Film Association (iwfa.com). สืบค้นเมื่อวันที่ 19-7-65 จาก <https://iwfa.com/about-window-film/>
- Johnson Window Films. Inc. Carson, California USA. Polyester Base Films สืบค้นเมื่อวันที่ 3-11-65 จาก https://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=160
- Johnson Window Films. Inc. Carson, California USA. Solar Energy. สืบค้นเมื่อวันที่ 3-11-65 จาก https://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=244
- ozonefilm.com. ครอบรู้เรื่องฟิล์ม. สืบค้นเมื่อวันที่ 19-7-65 จาก <http://www.ozonefilm.com/filminfo.php>
- Shenzhen Linshang Technology Co., Ltd. TSEER, Only Factor To Evaluate Window Performance? สืบค้นเมื่อวันที่ 19-7-65 จาก <https://www.linshangtech.com/tech/tech68.html>
- Twilight Auto Tint Pty Ltd. Is infrared rejection the same as heat rejection?. สืบค้นเมื่อวันที่ 3-11-65 จาก <https://twilightautotint.com.au/is-infrared-rejection-the-same-as-heat-rejection/>
- กิตติภัต วิริยะประสาท. การทดสอบแผ่นฟิล์มลดความร้อนติดรถยนต์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ฉลาดซื้อนิตยสารออนไลน์. (2017). 197

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ติกะ บุณนาค, โรจน์ สุวรรณมณี และรุสดี สานานะอะ.(2005). การถ่ายเทความร้อน และปริมาณแสงผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบลูกฟูก และแผ่นสะท้อนความร้อน. วารสารสุทธิปริทัศน์ ปีที่ 19 ฉบับที่ 57 มกราคม-เมษายน 2005. หน้า 94-108. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- ติกะ บุณนาค. (2004). การศึกษาการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกอาคาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- ฉมลวรรณ เขียวปาน. (2014). การศึกษาสมรรถนะเชิงอุณหภาพของรถยนต์ที่ติดตั้งฟิล์มกันความร้อนชนิดต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ธวัชชัย ศรีศิลป์โสภร. (2006). อิทธิพลของฟิล์มกรองแสงต่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่เกิดจากการแผ่รังสีและปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนภายในห้องโดยสารรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- บริษัท 3เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. Home Window Films. สืบค้นเมื่อวันที่ 5-5-66 จาก https://www.3m.co.th/3M/th_TH/home-window-solutions-th/
- บริษัท อินเตอร์ คูลิ่งเทค จำกัด. ฟิล์มติดรถยนต์ ฟิล์มเซรามิกแท้ เทคโนโลยีเยอรมัน - HeatGard (filmheatgard.com) สืบค้นเมื่อวันที่ 3-11-65 จาก <https://filmheatgard.com/>
- สมาคมฟิล์มกรองแสงแห่งประเทศไทย (TWFA). (2553). เทคนิคเลือกฟิล์มกรองแสง – THAI WINDOW FILM ASSOCIATION (twfa.or.th). สืบค้นเมื่อวันที่ 26-9-65 จาก <https://twfa.or.th/news/เทคนิคเลือกฟิล์มกรองแสง/>



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัย

สุโขทัยธรรมราชา



ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสง และราคาติดตั้งฟิล์มกรองแสง

This is Mendeley biography

ตารางที่ ก.1 ตารางข้อมูลคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสง HeatGard Film
(<https://filmheatgard.com>)

Film type	VLT %	UVR %	IRR %	TSER %
Sc35	33	99	90	80
Sc15	17	99	91	88
Sc05	5	99	93	94
Ng35	39	99	43	56
Ng15	16	99	50	70
Ng05	6	99	65	82
D35	34	72	27	56
D15	16	91	37	70
D05	5	100	76	82

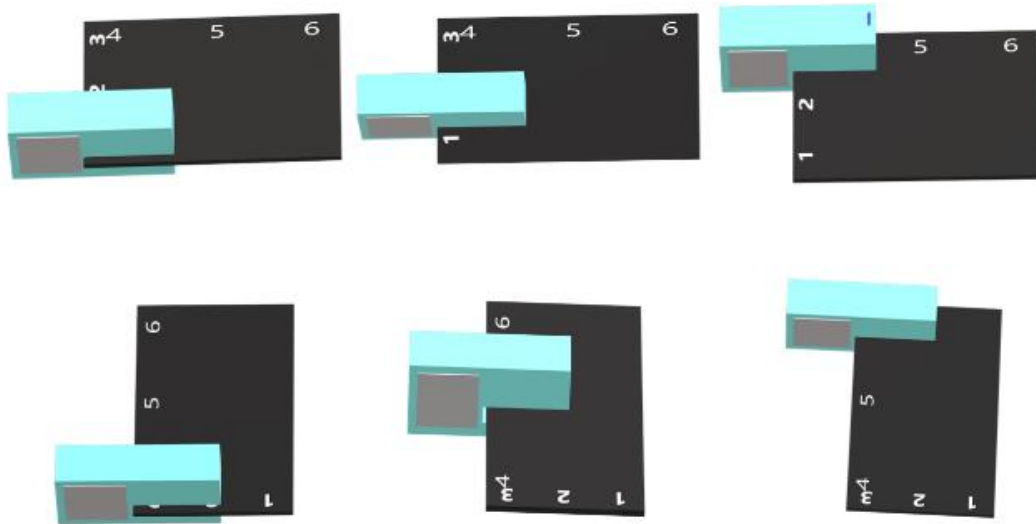
ตารางที่ ก.2 ตารางราคาติดตั้งฟิล์มกรองแสง

Film type	ราคาฟิล์มกรองแสงรถเก๋งเล็ก (บาท)		
	เฉพาะ บานหน้าเต็ม (1.2 m ²)	รอบคัน บานหน้าไม่เต็ม (2.4 m ²)	รอบคัน บานหน้าเต็ม (3.6 m ²)
ฟิล์มนาโนเซรามิก (Sc)	2,000	4,000	5,500
ฟิล์มนาโนคาร์บอน (Ng)	1,500	2,500	3,500
ฟิล์มย้อมสี (D)	1,000	1,500	2,500
ฟิล์มย้อมสีติดทับฟิล์มย้อมสี (D/D)	2,000	3,000	5,000
ฟิล์มย้อมสีติดทับฟิล์มคาร์บอน (D/Ng)	2,500	4,000	6,000
ฟิล์มคาร์บอนติดทับฟิล์มคาร์บอน (Ng/Ng)	3,000	5,000	7,000



ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลผลการทดสอบโดยเครื่องวัดแสง และการทดสอบในตู้ทดสอบ



ภาพที่ ข.1 ตำแหน่งการทดสอบฟิล์มกรองแสงโดยเครื่องวัดแสง



ตารางที่ ข.1.1 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าแสงส่องผ่าน (VLT) แผ่นฟิล์มชั้นเดียว (เครื่องวัดแสง)

Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
Sc35	32.3	36.4	35.0	35.7	35.5	35.3	35.0
Sc15	11.8	17.5	17.5	17.6	17.4	17.4	16.5
Sc05	6.9	7.0	6.2	6.4	6.3	6.2	6.5
Ng35	33.7	33.9	33.8	33.9	34.5	33.1	33.8
Ng15	16.1	17.1	17.0	16.1	16.1	16.3	16.5
Ng05	7.8	8.2	8.8	7.7	8.3	8.5	8.2
D35	35.6	35.8	35.7	35.0	36.1	35.8	35.7
D15	17.6	17.8	18.2	18.1	17.7	17.3	17.8
D05	6.8	6.9	6.9	6.8	6.8	6.7	6.8

ตารางที่ ข.1.2 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าแสงส่องผ่าน (VLT) แผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% (เครื่องวัดแสง)

Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
D35/Ng35	13.1	12.9	12.7	13.1	13.0	10.9	12.6
D35/D35	14.1	14.2	13.9	13.8	13.8	10.8	13.4
Ng35/D35	13.5	12.6	13.6	13.5	12.6	13.4	13.2
D35/Ng35	13.3	13.1	10.3	13.0	13.4	13.3	12.7

ตารางที่ ข.2.2 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าการป้องกันรังสียูวี (VLT) แผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% (เครื่องวัดแสง)

Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
D35/Ng35	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D35/D35	91.6	91.6	91.9	91.9	91.6	91.8	91.7
Ng35/D35	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D35/Ng35	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ ข.2.3 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าการป้องกันรังสียูวี (VLT) แผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% (เครื่องวัดแสง)

Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
Ng35/Ng15	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Ng15/Ng35	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Ng35/D15	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D15/Ng35	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D35/Ng15	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Ng15/D35	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
D35/D15	99.3	99.3	99.4	99.4	99.3	99.4	99.4
D15/D35	99.3	99.5	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4

ตารางที่ ข.3.1 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) แผ่นฟิล์มชั้นเดียว (เครื่องวัดแสง)

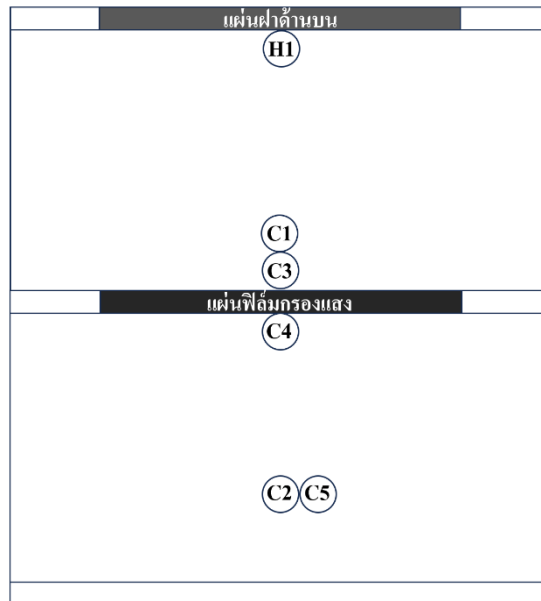
Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
Sc35	90.7	81.1	88.8	88.5	88.8	88.8	87.8
Sc15	88.2	89.5	89.7	89.4	89.5	89.7	89.3
Sc05	87.3	87.0	88.4	88.6	88.9	88.7	88.2
Ng35	49.2	51.2	52.7	51.3	51.2	48.0	50.6
Ng15	55.1	58.2	56.4	61.0	58.6	57.3	57.8
Ng05	61.3	64.1	61.8	61.5	58.2	60.0	61.2
D35	26.0	25.1	26.4	26.4	25.6	27.6	26.2
D15	41.6	41.3	40.3	40.0	38.5	41.8	40.6
D05	60.6	60.1	59.9	62.4	61.6	62.2	61.1

ตารางที่ ข.3.2 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) แผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 60% (เครื่องวัดแสง)

Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
D35/Ng35	72.4	71.2	70.5	70.4	71.9	71.6	71.3
D35/D35	41.5	41.6	40.6	41.9	41.3	42.6	41.6
Ng35/D35	59.7	57.2	59.6	59.1	57.7	58.3	58.6
D35/Ng35	59.8	59.6	62.0	58.6	59.4	58.0	59.6

ตารางที่ ข.3.3 ข้อมูลการทดสอบอัตราค่าการป้องกันรังสีอินฟราเรด (IRR) แผ่นฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์มชนิด 80% (เครื่องวัดแสง)

Film type	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5	ตำแหน่งที่ 6	ค่าเฉลี่ย
Ng35/Ng15	74.9	74.5	73.4	75.3	74.6	76.0	74.8
Ng15/Ng35	75.2	75.9	77.7	75.7	74.6	75.5	75.8
Ng35/D15	66.0	64.9	65.9	64.8	64.8	66.4	65.5
D15/Ng35	64.7	65.9	66.9	65.5	65.7	65.3	65.7
D35/Ng15	65.9	65.0	63.8	64.3	62.5	63.3	64.1
Ng15/D35	64.6	65.3	64.5	62.7	63.4	62.5	63.8
D35/D15	56.8	56.3	57.5	56.8	56.7	56.3	56.7
D15/D35	57.4	59.0	58.9	57.4	57.5	57.5	58.0



ภาพที่ ข.2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบภายในตู้ทดสอบ

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบภายในตู้ทดสอบ ประกอบไปด้วยดังนี้

1. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นบน (C1)
2. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ชั้นล่าง (C2)
3. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มด้านบน (C3)
4. ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิวแผ่นฟิล์มด้านล่าง (C4)
5. เซ็นเซอร์วัดค่าแสงสว่าง (C5)
6. หลอดไฟอินฟราเรด (H1)

ตารางที่ ข.4.1 อัตราแสงส่องผ่านแผ่นฟิล์มชั้นเดียว (ตู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
ตู้เปล่า	762.5	757.0	765.5	738.5	753.5	762.0	718.5	773.5	775.5	761.0	749.0	756.0
Sc35	259.5	262.0	273.5	266.5	259.0	263.5	261.0	266.5	266.0	258.0	267.0	263.9
Sc15	129.0	134.5	139.0	135.0	132.5	137.0	135.0	136.5	133.5	128.0	132.5	133.9
Sc05	50.5	50.5	49.0	48.5	50.5	47.5	48.5	49.5	47.5	46.5	48.5	48.8
Ng35	265.5	255.5	264.0	264.5	265.0	265.0	259.0	264.0	261.0	266.5	262.0	262.9
Ng15	124.0	122.5	125.5	121.0	124.0	122.5	126.0	121.5	116.0	124.0	116.5	122.1
Ng05	61.0	61.5	60.5	59.0	64.0	59.0	59.5	60.0	59.0	57.5	57.0	59.8
D35	237.5	229.0	234.0	229.5	236.0	234.0	230.5	223.5	226.5	222.5	226.0	229.9
D15	105.0	108.0	106.5	109.0	108.0	105.5	103.0	105.5	101.0	103.0	101.5	105.1
D05	37.0	41.0	39.5	39.5	40.5	39.0	39.5	39.0	39.5	39.0	40.0	39.4

ตารางที่ ข.4.2 อัตราค่าแสงส่องผ่านแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 60% (ตู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng35	92.0	92.5	94.0	92.0	97.0	92.5	93.5	92.0	92.5	96.5	95.0	93.6
D35/D35	72.5	74.5	74.0	74.5	73.5	75.5	76.0	76.5	75.5	76.5	77.0	75.1
Ng35/D35	96.0	93.5	91.5	94.0	94.5	91.5	89.5	92.0	92.5	91.0	91.5	92.5
D35/Ng35	88.5	88.0	89.5	91.5	84.5	89.5	88.0	92.0	92.0	90.0	86.5	89.1

ตารางที่ ข.4.3 อัตราค่าแสงส่องผ่านแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 80% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng15	46.0	45.0	46.0	46.5	46.0	49.5	47.0	48.5	46.5	48.0	48.5	47.0
Ng15/Ng35	50.0	49.0	49.0	49.0	50.0	50.5	48.0	49.5	48.5	49.0	47.0	49.0
Ng35/D15	40.0	38.5	39.0	39.0	39.5	41.0	40.0	41.0	40.0	41.5	40.0	40.0
D15/Ng35	39.0	39.0	37.0	38.0	39.0	39.5	38.5	40.0	40.0	38.5	39.0	38.9
D35/Ng15	38.5	39.0	40.0	39.0	40.5	40.5	41.0	42.5	40.5	39.5	40.5	40.1
Ng15/D35	40.0	42.5	42.5	41.5	41.5	40.5	40.0	42.0	42.0	41.0	40.0	41.2
D35/D15	33.0	33.5	34.0	34.0	34.0	32.5	33.0	33.0	34.0	34.0	34.0	33.5
D15/D35	30.5	31.0	32.5	31.5	30.5	32.0	31.5	32.0	33.0	33.0	33.5	31.9

ตารางที่ ข.5.1 อุณหภูมิผิวฟิล์มด้านบนแผ่นฟิล์มชั้นเดียว (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Sc35	28.4	35.7	40.2	43.0	44.7	46.2	47.4	48.2	49.0	50.0	50.5	43.9
Sc15	28.1	35.4	40.0	42.8	44.3	45.8	46.8	47.6	48.5	49.3	49.8	43.5
Sc05	28.5	35.6	40.2	42.8	44.4	45.7	46.8	48.1	48.5	49.5	50.0	43.6
Ng35	28.3	34.2	37.8	40.2	42.2	43.3	44.5	45.3	46.1	47.0	47.7	41.5
Ng15	28.4	35.1	39.3	42.0	43.8	45.2	46.2	47.2	47.9	48.5	49.3	43.0
Ng05	28.4	35.2	39.5	42.0	43.9	45.3	46.3	47.2	47.9	48.6	49.0	43.0
D35	28.2	34.0	37.9	40.5	42.1	43.3	44.4	45.3	46.1	47.0	47.4	41.5
D15	28.5	35.2	39.3	41.8	43.8	45.0	46.1	46.8	47.7	48.2	48.9	42.8
D05	28.4	35.0	39.3	41.8	43.6	44.9	46.2	47.1	47.7	48.4	49.1	42.9

ตารางที่ ข.5.2 ข้อมูลการทดสอบอนุกรมวิธานฟิล์มด้านบนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 60% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng35	28.1	34.5	39.0	41.1	42.8	44.4	45.2	46.1	46.7	47.3	47.7	42.1
D35/D35	28.2	34.5	38.7	41.3	43.0	44.4	45.6	46.5	47.1	47.7	48.7	42.3
Ng35/D35	28.5	35.5	39.9	42.4	44.5	45.9	47.0	47.9	48.8	49.3	50.0	43.6
D35/Ng35	28.3	35.2	39.7	42.3	44.0	45.5	46.6	47.7	48.6	49.3	50.0	43.4

ตารางที่ ข.5.3 ข้อมูลการทดสอบอนุกรมวิธานฟิล์มด้านบนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 80% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng15	28.3	35.2	40.0	42.5	44.4	45.9	47.2	48.0	48.9	49.4	50.1	43.6
Ng15/Ng35	28.4	35.5	40.1	42.7	44.4	45.7	46.8	47.7	48.6	49.0	49.5	43.5
Ng35/D15	28.3	35.0	39.1	41.6	43.3	44.6	46.0	47.0	47.8	48.6	48.8	42.7
D15/Ng35	28.1	34.8	38.9	41.5	43.3	44.5	45.6	46.4	47.1	47.5	48.0	42.3
D35/Ng15	28.2	35.2	39.9	42.6	44.3	45.7	46.7	47.4	47.9	48.3	48.8	43.2
Ng15/D35	28.4	35.8	40.4	43.1	44.6	46.2	47.2	48.1	49.1	49.8	50.3	43.9
D35/D15	28.1	34.5	38.6	41.3	43.0	44.3	45.3	45.9	46.8	47.5	47.9	42.1
D15/D35	28.3	34.7	39.0	41.8	43.6	44.7	45.6	46.4	47.2	47.9	48.3	42.5

ตารางที่ ข.6.1 ข้อมูลการทดสอบอนุกรมวิธานฟิล์มด้านล้างแผ่นฟิล์มชั้นเดียว (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Sc35	28.4	33.6	37.1	39.5	41.2	42.3	43.4	44.3	45.0	45.7	46.1	40.6
Sc15	28.2	33.0	36.4	38.5	40.0	40.8	41.9	42.7	43.3	44.0	44.5	39.4
Sc05	28.5	33.3	36.6	38.7	40.2	41.0	42.1	42.9	43.6	44.2	44.7	39.6
Ng35	28.4	32.6	35.5	37.5	38.7	39.9	40.6	41.4	42.3	43.0	43.6	38.5
Ng15	28.5	34.2	37.7	39.5	40.8	41.8	42.9	43.4	44.3	44.7	45.4	40.3
Ng05	28.5	34.5	38.0	39.8	41.0	42.3	43.1	43.8	44.5	45.4	45.6	40.6
D35	28.4	32.3	35.1	37.1	38.4	39.4	40.6	41.0	41.9	42.5	43.1	38.1
D15	28.4	33.3	36.5	38.4	39.6	41.0	41.9	42.7	43.1	43.8	44.5	39.4
D05	28.4	32.7	36.1	38.2	39.4	40.6	41.4	42.3	42.9	43.6	44.0	39.0

ตารางที่ ข.6.2 ข้อมูลการทดสอบอนุกรมวิธานฟิล์มด้านล้างแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 60% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng35	28.5	32.3	35.3	37.1	38.4	39.2	40.0	40.6	41.2	41.6	42.1	37.8
D35/D35	28.4	32.3	35.4	37.4	38.7	39.8	40.8	41.5	42.3	43.0	43.3	38.4
Ng35/D35	28.4	32.7	36.1	38.2	39.6	40.8	41.9	42.4	43.1	43.8	44.5	39.2
D35/Ng35	28.4	33.1	36.3	38.4	39.6	40.8	41.7	42.5	43.4	43.8	44.3	39.3

ตารางที่ ข.6.3 ข้อมูลการทดสอบอนุกรมวิธานฟิล์มด้านล่างแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 80% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng15	28.5	33.2	36.3	38.2	39.0	40.7	41.3	42.2	42.8	43.2	43.9	39.0
Ng15/Ng35	28.5	33.4	36.8	38.7	40.0	41.0	41.9	42.3	42.9	43.6	43.6	39.3
Ng35/D15	28.5	32.7	35.8	37.6	38.9	40.0	40.8	41.6	42.3	42.9	43.1	38.6
D15/Ng35	28.4	32.9	36.0	37.8	39.1	39.8	40.6	41.0	41.7	42.0	42.5	38.3
D35/Ng15	28.5	33.4	36.8	38.7	39.8	40.6	41.4	41.9	42.5	42.9	43.1	39.0
Ng15/D35	28.7	33.5	36.8	38.7	39.8	40.8	41.6	42.5	43.0	43.6	44.1	39.3
D35/D15	28.2	31.2	35.8	37.6	38.7	39.6	40.4	41.0	41.7	42.0	42.7	38.1
D15/D35	28.5	33.0	36.3	38.0	39.3	40.2	40.8	41.5	42.0	42.5	42.9	38.6

ตารางที่ ข.7.1 ข้อมูลการทดสอบอนุกรมวิธานภายในด้านบนแผ่นฟิล์มชั้นเดียว (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
ตู้เปล่า	28.3	32.5	35.6	37.6	39.3	40.4	41.7	42.4	43.2	43.8	44.4	39.0
Sc35	28.4	36.3	40.8	44.1	45.5	46.9	47.9	49.1	49.8	50.5	51.1	44.6
Sc15	28.8	35.4	40.3	42.9	44.7	46.1	47.1	48.4	48.9	49.8	50.3	43.9
Sc05	28.9	35.8	40.5	42.9	44.7	45.8	47.0	48.1	48.9	49.8	50.6	43.9
Ng35	28.9	35.1	38.7	41.0	42.7	44.3	45.3	46.3	47.3	48.4	48.9	42.4
Ng15	28.5	35.4	39.7	41.8	43.6	45.4	46.6	47.6	48.4	49.2	50.1	43.3
Ng05	28.8	35.5	39.9	42.5	44.4	45.6	46.8	47.6	48.4	49.1	49.5	43.5
D35	28.5	34.9	39.3	41.8	43.4	44.7	45.6	46.6	47.3	48.1	48.7	42.6
D15	28.5	36.0	40.3	42.9	45.1	46.5	47.3	48.4	48.9	49.8	50.3	44.0
D05	28.5	35.7	40.3	42.9	44.5	45.5	47.1	48.1	49.2	50.1	50.6	43.8

ตารางที่ ข.7.2 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ด้านบนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 60% (ตู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาทีก)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng35	28.3	35.2	39.9	42.1	43.6	45.1	46.3	47.3	48.1	48.6	49.2	43.1
D35/D35	28.6	35.5	39.9	42.0	43.6	44.9	45.8	47.1	47.9	48.5	48.9	43.0
Ng35/D35	28.6	35.4	39.9	42.9	45.5	47.3	48.7	49.5	50.6	51.2	51.8	44.7
D35/Ng35	28.5	35.4	40.1	42.7	44.7	46.0	47.3	48.4	49.5	50.1	50.9	43.9

ตารางที่ ข.7.3 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ด้านบนแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 80% (ตู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาทีก)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng15	28.7	35.4	40.1	43.1	44.7	46.8	47.8	49.0	50.1	50.6	51.2	44.3
Ng15/Ng35	28.5	36.0	40.4	42.9	44.7	46.0	47.3	48.4	49.2	50.1	50.6	44.0
Ng35/D15	28.7	35.2	39.7	42.4	43.8	44.9	46.3	47.3	48.4	49.2	49.8	43.2
D15/Ng35	28.3	35.2	39.3	41.4	43.6	44.7	45.8	46.6	47.3	47.8	48.4	42.6
D35/Ng15	28.4	35.5	40.5	43.1	44.7	45.6	45.8	46.8	47.3	47.8	48.4	43.1
Ng15/D35	28.3	35.9	40.5	43.6	45.6	46.5	47.6	48.7	49.2	49.8	50.7	44.2
D35/D15	28.5	34.9	39.1	41.9	43.6	44.7	45.4	46.3	47.1	47.9	48.5	42.5
D15/D35	28.6	35.5	40.1	42.3	43.8	44.9	45.8	46.6	47.3	48.2	48.7	42.9

ตารางที่ ข.8.1 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในด้านล้างแผ่นฟิล์มชั้นเดียว (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
ตู้เปล่า	28.3	30.2	31.7	33.0	33.9	34.7	35.4	36.1	36.7	37.2	37.5	34.1
Sc35	28.2	28.7	29.1	29.4	29.8	30.1	30.4	30.8	31.1	31.4	31.6	30.0
Sc15	27.9	28.4	28.7	29.2	29.6	30.0	30.2	30.5	30.8	31.2	31.4	29.8
Sc05	28.1	28.3	28.8	29.3	29.5	30.0	30.2	30.6	30.8	31.1	31.3	29.8
Ng35	28.0	28.7	29.3	30.0	30.4	30.8	31.2	31.6	31.8	32.3	32.5	30.6
Ng15	28.4	29.2	29.8	30.3	30.6	31.0	31.3	31.7	32.0	32.2	32.5	30.8
Ng05	28.6	29.4	29.9	30.4	30.7	31.1	31.4	31.8	32.1	32.3	32.6	30.9
D35	28.5	29.5	30.1	30.8	31.2	31.6	32.1	32.4	32.5	33.2	33.5	31.4
D15	28.7	29.9	30.6	31.0	31.4	31.9	32.1	32.5	32.9	33.1	33.4	31.6
D05	28.4	29.1	29.5	30.0	30.5	30.8	31.2	31.5	31.7	32.0	32.4	30.6

ตารางที่ ข.8.2 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ด้านล้างแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 60% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng35	28.3	35.2	39.9	42.1	43.6	45.1	46.3	47.3	48.1	48.6	49.2	43.1
D35/D35	28.6	35.5	39.9	42.0	43.6	44.9	45.8	47.1	47.9	48.5	48.9	43.0
Ng35/D35	28.6	35.4	39.9	42.9	45.5	47.3	48.7	49.5	50.6	51.2	51.8	44.7
D35/Ng35	28.5	35.4	40.1	42.7	44.7	46.0	47.3	48.4	49.5	50.1	50.9	43.9

ตารางที่ ข.8.3 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้ด้านล้างแผ่นฟิล์มติดทับซ้อนกันสองชั้น กลุ่มฟิล์ม 80% (ผู้ทดสอบ)

Film type	เวลา (นาที)											ค่าเฉลี่ย
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
Ng35/Ng15	28.65	35.35	40.05	43.10	44.70	46.80	47.80	49.00	50.05	50.60	51.15	44.30
Ng15/Ng35	28.50	35.95	40.40	42.90	44.65	46.00	47.30	48.35	49.20	50.05	50.60	43.99
Ng35/D15	28.65	35.20	39.70	42.40	43.80	44.90	46.30	47.30	48.35	49.20	49.75	43.23
D125/Ng35	28.30	35.20	39.30	41.40	43.55	44.65	45.80	46.60	47.30	47.80	48.35	42.57
D35/Ng15	28.40	35.50	40.45	43.10	44.65	45.60	45.80	46.80	47.30	47.80	48.35	43.07
Ng15/D35	28.30	35.85	40.45	43.55	45.60	46.50	47.55	48.65	49.20	49.75	50.65	44.19
D35/D15	28.50	34.85	39.10	41.85	43.55	44.65	45.40	46.30	47.10	47.85	48.45	42.51
D15/D35	28.60	35.50	40.05	42.25	43.75	44.90	45.80	46.60	47.30	48.15	48.65	42.87



ตารางที่ ค.1.1 ข้อมูลการทดสอบแผ่นฟิล์มชั้นเดียว (เครื่องวัดแสง)

Film type	VLT %	UVR %	IRR %	TSER%
Sc35	35	100	88	78
Sc15	17	100	89	87
Sc05	7	100	88	91
Ng35	34	100	51	59
Ng15	16	100	58	71
Ng05	8	100	61	76
D35	36	72	26	47
D15	18	86	41	62
Do5	7	100	61	77

ตาราง ค.1.2 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 60%
(เครื่องวัดแสง)

Film type	VLT %	UVR %	IRR %	TSER %
Ng35/Ng35	13	100	71	79
Ng35/D35	13	100	59	73
D35/Ng35	13	100	60	73
D35/D35	13	92	42	64

ตาราง ค.1.3 ข้อมูลการทดสอบฟิล์มกรองแสงติดทับซ้อนกันสองชั้น, กลุ่มฟิล์มชนิด 80%
(เครื่องวัดแสง)

Film type	VLT %	UVR %	IRR %	TSER%
Ng35/Ng15	6	100	75	84
Ng15/Ng35	6	100	76	84
Ng35/D15	7	100	65	79
D15/Ng35	7	100	66	80
D35/Ng15	5	100	64	79
Ng15/D35	6	100	64	78
D35/D15	6	99	57	75
D15/D35	6	99	58	76

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายพีระธเนศ ซึ่งเกิดพงษ์ธนัน
วัน เดือน ปี เกิด	3 พฤศจิกายน 2525
สถานที่เกิด	เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ.2560
สถานที่ทำงาน	เทศบาลตำบลรั้วใหญ่ จังหวัดสุพรรณบุรี
ตำแหน่ง	สมาชิกสภาเทศบาล

