

การศึกษาผลการป้องกันความร้อนของฟิล์มกรองแสง เพื่อการประหยัดพลังงาน

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดิกะ บุณนาค

**เดชะพล โตยิ่งเจริญ

และวิสูตร เชียงประทุม

1. บทนำ

ปัจจุบันผนังโปร่งแสงหรือกระจกได้กลายเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากประเทศไทยมีแสงแดดมากตลอดทั้งปี เมื่ออาคารที่สร้างใหม่มีความสูง และพื้นที่ที่รอบอาคารส่วนมากก็จะได้รับปริมาณความร้อนที่มากับแสงแดดมากเป็นเงาตามตัวไปด้วย ผนังโปร่งแสงหรือกระจก จึงเป็นส่วนที่ให้ความร้อนส่งผ่านเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่าส่วนของผนังทึบ ความนิยมใช้กระจกแทนผนังคอนกรีตมีมากขึ้นเรื่อย ๆ รวมทั้งอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร และอาคารที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว และอาคารที่กำลังเริ่มก่อสร้างมีการใช้ผนังกระจกมากกว่า 50% ของอาคารสูงที่สร้างขึ้นใหม่ ความนิยมอันนี้เกิดจากข้อได้เปรียบหลายประการของผนังโปร่งแสงหรือกระจก เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตธรรมดาแล้ว กระจกอาคารมีน้ำหนักเบากว่าทำให้ติดตั้งได้ง่าย และรวดเร็ว กระจกอาคารสมัยใหม่ไม่ได้มีแต่กระจกใสเพียงอย่างเดียว แต่สามารถทำให้มีสีสันทากหลาย และสวยงามได้ด้วยการเติมโลหะหรือออกไซด์ของโลหะหลายชนิดผสมในเนื้อแก้ว รวมถึงการติดฟิล์มกรองแสงด้วย มีให้เลือกหลายสีตามความต้องการ

ผนังโปร่งแสงหรือกระจกจึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางสถาปัตยกรรมให้กับตัวอาคารด้วย ข้อได้เปรียบสำคัญอีกประการหนึ่งคือผนังโปร่งแสงหรือกระจกสมัยใหม่ยังช่วยในการประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพกำลังเป็นเรื่องสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจมาก ในขณะนี้ผนังโปร่งแสงหรือกระจกที่เป็นแก้วใสธรรมดายอมให้แสงสว่างและรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านได้ภายในอาคารจึงได้รับความร้อนจากแสงแดดตลอดเวลาในตอนกลางวัน ความร้อนที่เข้ามาจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ กล่าวคือจะมีปริมาณความร้อนเข้ามามาก ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนักขึ้น จึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น จากการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ แนวทางในการแก้ปัญหาที่ใช้ในปัจจุบันคือการใช้กระจกสีสะท้อนแสงหรือติดฟิล์มกรองแสงเพื่อช่วยลดปริมาณของความร้อนที่เข้ามาในอาคาร รวมถึงช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคารในส่วนของระบบปรับอากาศ สามารถช่วยเพิ่มทัศนวิสัยในการมองเห็นภายในอาคาร รวมถึงประหยัดค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระยะยาว ซึ่งเราสามารถเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับความต้องการได้

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หัวหน้าศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต : วศ.ม. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**นักศึกษปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

2. ทฤษฎี

2.1 คุณสมบัติทางกลของกระจก U-Factor

U-Factor หรือ U-Value เป็นค่าที่วัดอัตราการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในกระจกและโครงสร้าง ส่วนความต้านทานหรือค่าความเป็นฉนวนของวัตถุจะเรียกว่าค่า U-Factor ซึ่งจะมีลักษณะที่กลับกันกับค่า U-Factor ในการเลือกกระจกต้องให้ค่า U-Factor จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญค่าหนึ่งในการเลือกกระจก ในการเลือกกระจก เลือกกระจกที่มีค่า U-Factor อยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 0.35 เพื่อให้ภาระของการทำความเย็นระบบปรับอากาศต่ำสุด ถ้า U-Factor สูงกว่า 0.4 จะทำให้ความร้อน สูญเสียมีผลกระทบต่อระบบทันที โดยเฉพาะถ้าความร้อนจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นกระจกที่มีประสิทธิภาพสูงที่ควรใช้ในประเทศไทยควรมีค่า U-Factor อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 0.4 ลงไป

2.2 Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)

ค่า (Solar Heat Gain Coefficient) เป็นค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาทางกระจกค่า SHGC จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำจะทำให้การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในบ้านมีค่าต่ำลงด้วย ค่า SHGC ในประเทศไทยนับเป็นค่าที่สำคัญอย่างยิ่งค่าหนึ่งในการตัดสินใจเลือกกระจกประสิทธิภาพสูงหรือฟิล์มกรองแสง

2.3 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง Visible Transmittance VT

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง (Visible Transmittance VT) เป็นสมบัติในการยอมให้แสงในช่วงที่ตามนุษย์ผ่านกระจกเข้ามาได้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงที่จะมีช่วงอยู่ระหว่าง 0-1 และถ้าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงสูงมากเข้าใกล้ 1 เท่าใดแสดงว่ากระจกจะยอมให้แสงสว่างผ่านเข้ามาในบ้านได้มากเท่านั้น ถ้าค่าเป็น 1 แสดงว่ากระจกจะยอมให้แสงอาทิตย์ (Day Light) ผ่านเข้ามาได้ทั้งหมด ค่าที่แนะนำสำหรับสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของกระจก

จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.7 เพราะถ้าค่ามากกว่านี้กระจกจะยอมให้แสงผ่านมากเกินไป จนทำให้ผู้อยู่อาศัย แสบตาได้ หรือไม่สบายตาได้ นอกจากนั้น เมื่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามามาก โอกาสที่เครื่องใช้ภายในห้องจะถูกแดดทำลายสีให้จางลงจะมีสูง สำหรับกระจกที่ใช้ไม่เป็นกรอบ ควรให้ค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสงอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 0.5

2.4 การเคลือบสะท้อนความร้อนบนกระจกอาคาร

การเคลือบสะท้อนความร้อนบนกระจกอาคารมีสองแบบ แบบแรกเป็นฟิล์มสะท้อนความร้อนที่เคลือบบนแผ่นใยสังเคราะห์บางๆ ซึ่งจะนำไปติดบนกระจกแผ่นใหญ่อีกทีหนึ่ง ทำนองเดียวกับฟิล์มกรองแสงรถยนต์ แต่จะถูกประกบติดไว้ระหว่างแผ่นแก้วสองแผ่นเพื่อความคงทน แต่ข้อเสียคือ ทำให้มีน้ำหนักรวมขึ้น กระจกอาคารแบบนี้สามารถสังเกตได้ง่ายๆ จากสีที่ค่อนข้างสดใส เช่น เขียว ฟ้า หรือ ชมพู เพราะการเพิ่มสีสวยๆ ลงไปในพลาสติกทำได้ง่าย แบบที่สองใช้ฟิล์มสะท้อนความร้อนเคลือบลงบนผิวแก้ว โดยตรง และเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง คงทน ต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดี กระจกอาคารแบบนี้จึงเป็นกระจกชั้นเดียวที่มีน้ำหนักเบากว่าแบบแรก มีโหนดค่อนข้างที่คล้ายสีของโลหะ เช่น เงิน ฟ้าเข้ม เขียว ทองบรอนซ์ หรือ ทองแดง

2.5 ฟิล์มกรองแสง

โครงสร้างของฟิล์มกรองแสงประกอบด้วยชั้นบางๆ หลายชั้น ซึ่งมีคุณสมบัติ และประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้

- ชั้นโพลีเอสเตอร์
- ชั้นสารเคลือบป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต
- ชั้นกาว
- สารเคลือบแก้ว
- ชั้นไลน์เนอร์โพลีเอสเตอร์ใส
- ชั้นเคลือบป้องกันการขีดข่วน

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 ชุดทดสอบ ยาว 80 เซนติเมตร กว้าง 60 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร และความสูงของคานยึดโคมไฟมีขนาด 175 เซนติเมตร ไว้สำหรับปรับขึ้นลง เพื่อวัดความเข้มแสงที่ผิวกระจกให้ใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์ให้ภายในบูด้วยฉนวนหนา 2.5 เซนติเมตรวัสดุที่ มาสร้างชุดทดสอบนี้ได้เลือกใช้แผ่นโลหะหนา 0.5 มิลลิเมตร

3.2 หลอดไฟ

การเลือกหลอดไฟที่ใช้ในการทดลอง ต้องมีค่าพลังงานความร้อน และความเข้มของแสงใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์ ในการทดสอบจึงเลือกใช้หลอดไฟ OSRAM รุ่น HQI- E250 W / NDL มีชื่อทางการค้าว่า POWER STAR ลักษณะรูปร่างคล้ายดอกบัวภายในเคลือบสารสะท้อนแสง ให้มีความเข้มแสงมากขึ้น

3.3 โคมไฟ

โคมไฟที่เลือกในการทดสอบ เลือกใช้โคมไฟ OPTEX รุ่น RD 27 เนื่องจากภายในโคม

ไฟเคลือบด้วย อลูมิเนียมสามารถกระจายแสงได้ดี

3.4 กระจก

เนื่องจากการแผ่รังสี การกำหนดขนาดของพื้นที่กระจกในการทดสอบต้องมีความเข้มของแสงไม่ต่ำกว่า $700 \text{ W} / \text{m}^2$ ประสิทธิภาพของหลอดประมาณ $54 \text{ LUMENS} / \text{W}$ ดังนั้นในการคำนวณขนาดของพื้นที่กระจกทดสอบ จึงกำหนดขนาดพื้นที่กระจกจากการคำนวณดังนี้พื้นที่กระจกทดสอบ $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^2$

3.5 กระจกทดสอบและกรอบ

ตัดกระจกทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 30×30 เซนติเมตรกรอบกระจกอลูมิเนียมขนาด 35×35 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร โดยยึดอลูมิเนียมรูปตัว L ขนาดความยาว 30 เซนติเมตร ด้านในกรอบกระจก 3 ด้านจำนวน 2 ชั้นห่างกัน 1.5 เซนติเมตรได้นำมาทดสอบ 7 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.1 – 3.7

ตารางที่ 3.2 อธิบายความแตกต่างของชุดทดสอบ

ชุดทดสอบ	ฟิล์ม กรองแสง Lamina รุ่น	สี	กระจก (ชั้น)	กระจก ชั้นบน	กระจก ชั้นล่าง	ระยะห่าง	หมายเหตุ
L-1	XR20SISRCD/PS	เงินเข้ม	1	-	-	-	-
L-2	XR15GSRCD/PS	เทาเข้ม	1	-	-	-	-
L-3	XR15BLSRPS	น้ำเงิน	1	-	-	-	-
L-4	XR50SISRPS	ฟ้าใส	1	-	-	-	-
L-5	XR20SISRCD/PS	เงินเข้ม	2	กระจกใส	ติดฟิล์ม	13 มม.	-
L-6	XR20SISRCD/PS	เงินเข้ม	2	ติดฟิล์ม	กระจกใส	13 มม.	-
L-7	XR20SISRCD/PS	เงินเข้ม	2	กระจกใส	ติดฟิล์ม	13 มม.	มีช่องระบายอากาศ

3.6 อุปกรณ์การวัด

Temperature Indicator รุ่น ID-8 (Digicon)

จำนวน 1 ตัว

Temperature Switch รุ่น TS-84HT (Digicon)

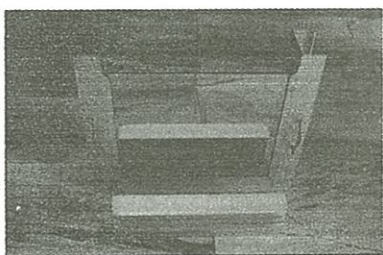
จำนวน 2 ตัว

สาย Thermocouple Type K ขนาด 0.6 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร

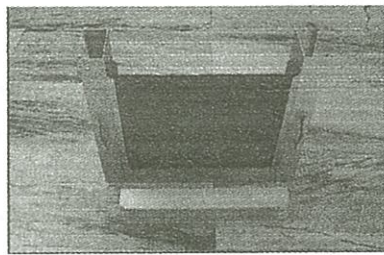
จำนวน 8 เส้น

อุปกรณ์วัดแสง Luxmeter รุ่น LX - 50 (Digicon)

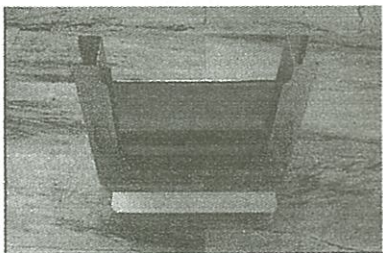
จำนวน 1 เครื่อง



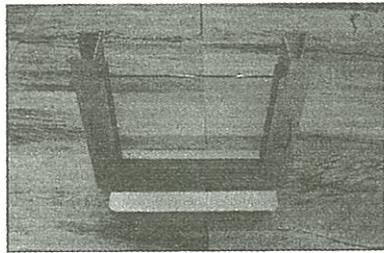
(L-1)



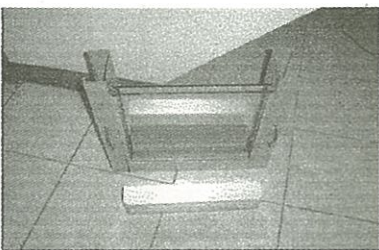
(L-2)



(L-3)



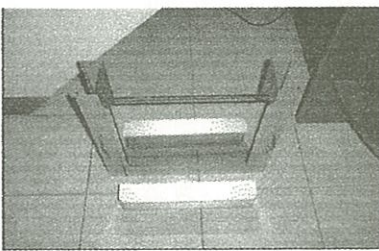
(L-4)



(L-5)



(L-6)



(L-7)

รูปที่ 3 แสดงชุดกระจก (L-1) – (L-7) ที่ใช้ในการทดสอบ

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 สัญลักษณ์และตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ค่าต่างๆ ของการวัดกำหนดดังนี้

T_{atm} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศห้องที่ทำการทดลอง ($^{\circ}C$)

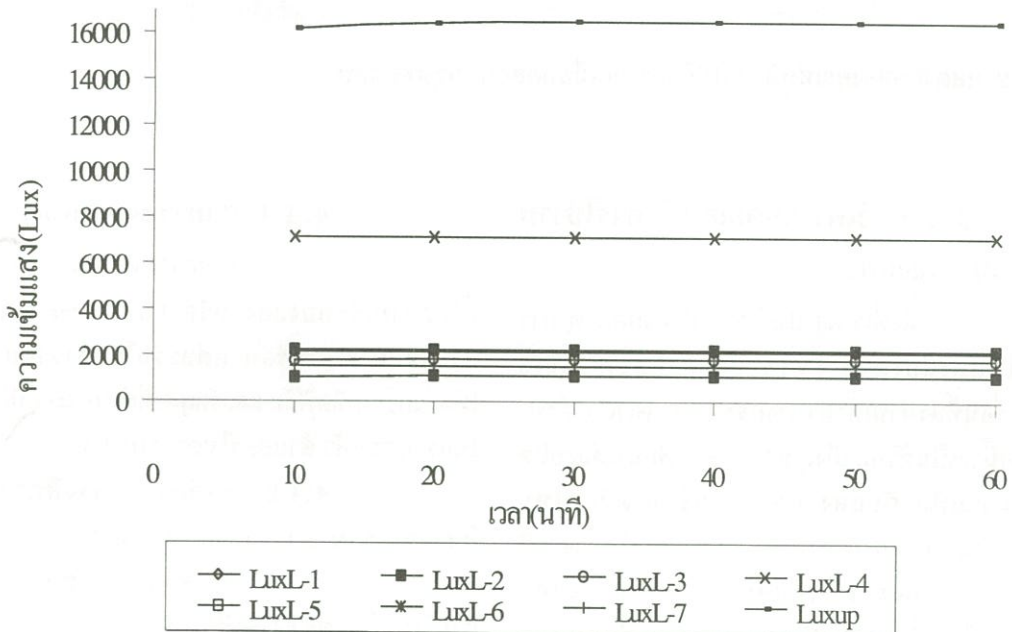
T_{g1} ถึง T_{g5} คือ อุณหภูมิใต้ผิวกระจก ($^{\circ}C$)

L_{up} คือ ความเข้มของแสงเหนือผิวกระจก (LUX)

Lux_{L-1} ถึง Lux_{L-7} คือ ความเข้มของแสงใต้ผิวกระจก (LUX)

4.2 ผลกระทบของความเข้มของแสงต่อระบบ

ความเข้มของแสงที่ตกกระทบผิวกระจกค่อนข้างสม่ำเสมอ ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการที่ไม่ได้ควบคุมผลของแสงจากภายนอก ทำให้ความเข้มที่ขอบน้อยกว่า กึ่งกลางเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1

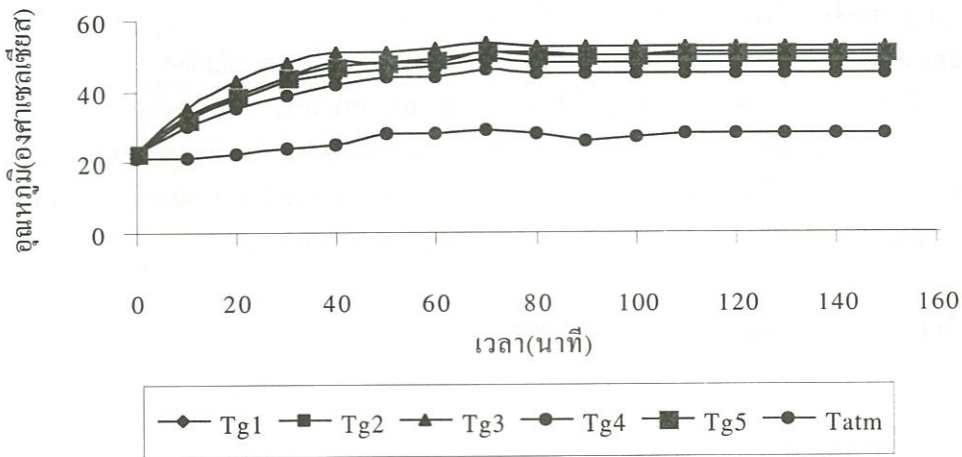


รูปที่ 1 เปรียบเทียบความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อทดสอบบนชุดทดสอบ L-1 - L-7

4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อระบบ

จุดที่มีอุณหภูมิสูงจะเป็นจุดที่อยู่ใกล้กับหลอดไฟ บริเวณกึ่งกลางแผ่นกระจก เมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในห้องทดสอบอุณหภูมิจะขึ้นกับตัวแปรคือ อากาศ

ภายในกล่อง ถ้าอากาศในกล่องทดสอบไม่ได้ถูกระบายออก อุณหภูมิภายในห้องทดสอบจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากมีความร้อนสะสมอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 2 แสดงผลของอุณหภูมิภายใต้ผิวกระจกเมื่อทดสอบบนชุดทดสอบ

4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติการใช้งาน ของฟิล์มกรองแสง

สิ่งที่เราจำเป็นต้องคำนึงถึงก็คือ ค่าการยอมให้แสงส่องผ่าน (VT) และค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาทางกระจก (SHGC) ซึ่งค่าทั้งสองนี้จะเป็นตัวบอกถึงคุณสมบัติของฟิล์ม แต่ละชนิดว่าสามารถป้องกันแสง และความร้อนได้ดีแค่ไหน เหมาะกับลักษณะอาคารแบบใด เช่น ถ้าเป็นอาคารที่ไม่ต้องการแสงมากก็ใช้ฟิล์มที่ป้องกันความร้อน และแสงได้ดีซึ่งจะช่วยให้การประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ แต่ถ้าเป็นอาคารที่ต้องการปริมาณแสงมาก ก็ใช้ฟิล์มรุ่นที่สามารถยอมให้แสงผ่านได้ดี ก็จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

4.4.1 ค่าการส่งผ่านแสง (VT)

จากการทดลองได้ใช้เครื่องมือที่วัดความเข้มของแสง หรือ Lux meter เป็นตัววัดประสิทธิภาพของฟิล์ม แต่ละรุ่นโดยการวัดแสงที่ยังไม่ผ่านกระจกติดฟิล์ม และวัดแสงที่ผ่านกระจกที่ติดฟิล์มในแต่ละรุ่นแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.4.2 ค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาทางกระจก (SHGC)

การทดลองนี้ใช้สายเทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือที่วัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ บนชุดทดสอบ และนำค่าที่ได้มาคำนวณ เพื่อหาค่า (SHGC) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการส่งผ่านแสง

ชนิดของฟิล์ม กรองแสง	ค่าจากการวัดโดยที่ยัง ไม่ผ่านกระจกติดฟิล์ม (Lux)	ค่าจากการวัดโดย ผ่านกระจกติดฟิล์ม (Lux)	ค่า VT จากการ คำนวณ	ค่า VT จาก ผู้ผลิต	ค่าSHGCจาก การคำนวณ
L - 1	16500	2200	0.12	0.15	0.76
L - 2	16500	1100	0.06	0.07	0.59
L - 3	16500	1850	0.10	0.12	0.51
L - 4	16500	7150	0.39	0.47	0.81
L - 5	16500	2250	0.13	0.15	0.25
L - 6	16500	2210	12	0.15	0.49
L - 7	16500	2270	0.14	0.15	0.02
กระจกใส	16500	14900	0.9	-	-

4.5 การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม OTTV

การใช้โปรแกรม OTTV นี้จะช่วยในการวิเคราะห์ให้ออกมามีหลักมีเกณฑ์ มีความเที่ยงตรงเป็นมาตรฐาน โปรแกรม OTTV นี้ยังบอกถึงเรื่อง

ต้นทุนระบบปรับอากาศ และต้นทุนกรอบอาคารรวมถึงขนาดของระบบปรับอากาศ และค่าไฟฟ้าด้วย และยังบอกด้วยว่าจะคืนทุนเมื่อใด เพื่อที่จะนำค่าต่างๆ มาทำการเปรียบเทียบให้เหมาะสมกับความต้องการ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม OTTV

ชุดทดสอบ	ต้นทุนราคา กรอบอาคาร(บาท)	ต้นทุนระบบ ปรับอากาศ(บาท)	ขนาดระบบ ปรับอากาศ(ตัน)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	OTTV (วัตต์/ตารางเมตร)
L - 1	469,300	179,418.35	5.61	55,661.7	73.78
L - 2	469,300	190,714.92	5.96	57,362.5	54.21
L - 3	469,300	199,752.18	6.24	58,724.2	53.84
L - 4	469,300	245,582.85	7.67	65,545.3	64.44
L - 5	514,450	145,425.84	4.54	49,909.3	37.32
L - 6	514,450	145,425.84	4.54	49,909.3	50.79
L - 7	514,450	145,425.84	4.54	49,909.3	32.23

4.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์
 เนื่องจากได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OTTV แล้วสิ่งที่เราจำเป็นต้องคำนึงถึงก็คือ เรื่องของ เงินลงทุน เราจึงต้องทำการวิเคราะห์ทางด้าน เศรษฐศาสตร์ด้วย เพื่อที่จะทราบว่าเราควรใช้ชุดทดสอบ ชุดใดในการลงทุน จึงจะคุ้มค่ากับการลงทุน

4.6.1 รายละเอียดของเงินลงทุน
 จากที่ได้ทำการทดสอบทำให้ทราบถึงรายละเอียดเงินลงทุนในด้านต่าง ๆ คือ ค่ากระจกนั้นราคาตารางฟุตละ 35 บาท ซึ่งจะใช้

พื้นที่กระจกเท่ากันคือ 366.66 ตารางฟุต และค่าใช้จ่าย ของฟิล์มกรองแสงซึ่งได้อ้างอิงจากบริษัท เทคโนโลยี จำกัด ได้เป็นบริษัทที่ผลิตฟิล์มกรองแสงที่ได้นำมา ทำการศึกษาในครั้งนี้ ณ วันที่ 16 กรกฎาคม 2544 ราคา ตาราง-ฟุตละ 135 บาท ส่วนค่าแรงที่ติดตั้งฟิล์ม กรองแสงนั้นราคาตารางฟุตละ 30 บาท และค่าแรง ที่ติดตั้งกระจกราคาตารางฟุตละ 45 บาท ซึ่งความ แตกต่างของชุดทดสอบแต่ละชุดทดสอบสามารถดูได้ ที่ตารางที่ 3.2 และข้อมูลในส่วน of เงินลงทุนจะแสดง ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เงินลงทุน

ชุดทดสอบ	ค่ากระจก (บาท)	ค่าฟิล์ม (บาท)	ค่าแรงติดตั้ง กระจก (บาท)	ค่าแรงติดตั้ง ฟิล์มกรองแสง (บาท)	รวมเป็นเงิน (บาท)
L - 1	12,833.1	49,499.1	16,499.7	10,999.8	89,831.7
L - 2	12,833.1	49,499.1	16,499.7	10,999.8	89,831.7
L - 3	12,833.1	49,499.1	16,499.7	10,999.8	89,831.7
L - 4	12,833.1	49,499.1	16,499.7	10,999.8	89,831.7
L - 5	25,666.2	49,499.1	32,999.4	10,999.8	119,164.5
L - 6	25,666.2	49,499.1	32,999.4	10,999.8	119,164.5
L - 7	25,666.2	49,499.1	32,999.4	10,999.8	119,164.5

4.6.2 รายละเอียดของค่าใช้จ่าย
 จะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของ ชุดทดสอบแต่ละชุด ซึ่งค่าไฟฟ้าต่อปีได้อ้างอิงจาก

โปรแกรม OTTV ค่าบำรุงรักษา ได้อ้างอิงจากบริษัท เทคโนโลยี จำกัด ราคาต่อปีเท่ากับ 10,000 บาท ซึ่งสามารถอธิบายได้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่าย

ชุดทดสอบ	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาท)	รวมเป็นเงิน (บาท)
L - 1	55,661.70	10,000	65,661.70
L - 2	57,362.50	10,000	67,362.50
L - 3	58,724.20	10,000	68,724.20
L - 4	65,545.30	10,000	75,545.30
L - 5	49,909.30	10,000	59,909.30
L - 6	49,909.30	10,000	59,909.30
L - 7	49,909.30	10,000	59,909.30

4.6.3 วิเคราะห์การลงทุนและค่าใช้จ่าย ผู้ผลิตได้ระบุไว้มีอายุการใช้งานที่ 20 ปี และอัตราดอกเบี้ย ณ วันที่ 11 กรกฎาคม 2544 ของธนาคารกสิกรไทยมีอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 5%
จากหลักเศรษฐศาสตร์มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุน และค่าใช้จ่าย ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งอายุของฟิล์มกรองแสงตามที่บริษัท

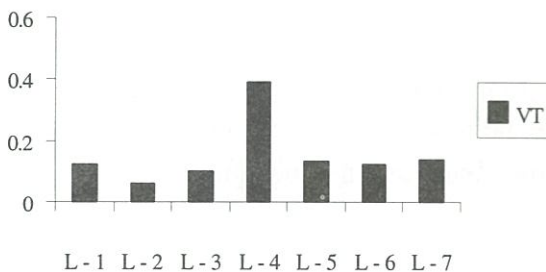
ตารางที่ 4.5 มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุน และค่าใช้จ่าย

ชุดทดสอบ	มูลค่าเงินปัจจุบัน เงินลงทุน และค่าใช้จ่าย
L - 1	114,579.5
L - 2	115,220.6
L - 3	115,733.8
L - 4	118,304.7
L - 5	141,744.3
L - 6	141,744.3
L - 7	141,744.3

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปการทดลองของชุดทดสอบทางด้านค่าการส่งผ่านแสง (VT) และค่าการส่งผ่านความร้อน (SHGC)

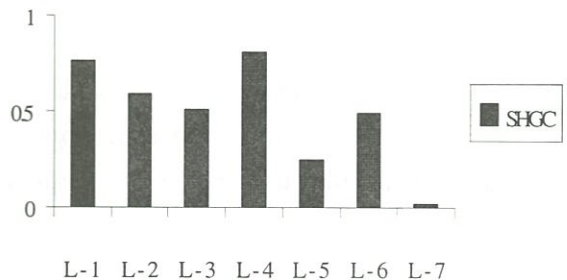
- ชุดทดสอบที่ให้ค่าการส่งผ่านแสง (VT) มากที่สุดคือ กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มกรองแสง XR 50 SISRPS (L-4) รองลงมาคือ กระจกสองชั้นเจาะรูระบายอากาศ ติดฟิล์มกรองแสง XR 20 SISRCD/PS (L-7) , กระจกสองชั้นติดฟิล์มกรองแสง



ชุดทดสอบ
รูปที่ 5.1 กราฟการส่งผ่านแสง

- ชุดทดสอบที่ให้ค่าการส่งผ่านความร้อน (SHGC) มากที่สุดคือชุดทดสอบ (L-4) (L-1) (L-2) (L-3) (L-6) (L-5) และ (L-7) ดังนั้นชุดทดสอบที่ดีที่สุดคือ เป็นชุดทดสอบที่ให้แสงส่งผ่านได้มากแต่ความร้อนส่งผ่านได้น้อยคือ ชุดทดสอบ (L-7) ซึ่งเหมาะสมกับอาคารบ้านเรือนที่ต้องการให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาน้อย แต่ให้แสงส่องผ่านเข้ามาได้ด้วย ส่วนชุดทดสอบที่ให้แสงส่งผ่านได้มาก และความร้อนส่งผ่านได้มากด้วยคือ ชุดทดสอบ (L-4) ซึ่งจะเหมาะสมกับอาคารที่ต้องการแสงมากจึงทำให้ความร้อนมากด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.2

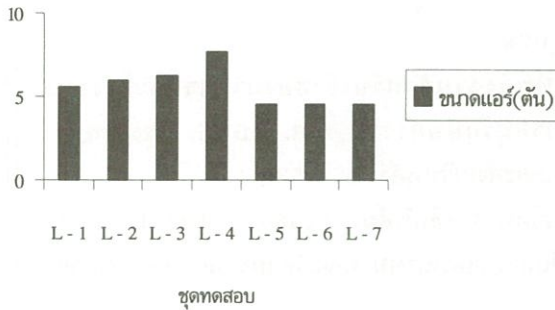
XR 20SISRCD/PSบานหน้า บานหลังเป็นกระจกใส ซึ่งมีระยะห่างระหว่างกระจก 13 mm. (L-5), กระจกสองชั้นติดฟิล์มกรองแสง XR 20 SISRCD/PS บานหลัง บานหน้าเป็นกระจกใส (L-6), กระจกชั้นเดียวติดฟิล์ม XR 20 SISRCD/PS (L-1), กระจกชั้นเดียวติดฟิล์ม XR 15 BLSRPS (L-3) และ กระจกชั้นเดียวติดฟิล์ม XR 15 GSRC/PS (L-2) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



ชุดทดสอบ
รูปที่ 5.2 กราฟการส่งผ่านความร้อน

5.2 การสรุปผลการทดลองทางด้าน OTTV ของชุดทดสอบแบบต่างๆ

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม OTTV ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้กับชุดทดสอบแบบต่างๆ ที่ประหยัดที่สุดคือ 4.54 ตัน กรอบกระจกอาคารเป็นชุดทดสอบแบบ (L-5) (L-6) และ (L-7) เหตุที่ใช้ขนาดของเครื่องปรับอากาศเท่ากันทั้งนี้เพราะว่ากระจกติดฟิล์มชนิดเดียวกันทั้ง 3 ชุดรองลงมาคือ (L-1) ใช้ 5.61 ตัน (L-2) ใช้ 5.96 ตัน (L-3) ใช้ 6.24 ตัน (L-4) ใช้ 7.67 ตัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กราฟขนาดเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 5.4 กราฟมูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่าย

5.3 การสรุปผลการทดลองทางด้านเศรษฐศาสตร์

- จากการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะเห็นว่ามูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุน และค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดได้แก่ ชุดทดสอบ (L-1) เป็นเงิน 114,579.5 บาท รองลงมาคือ (L-2) เป็นเงิน 115,220.6 บาท (L-3) เป็นเงิน 115,733.8 บาท (L-4) เป็นเงิน 118,304.7 บาท (L-5) (L-6) (L-7) จำนวนเงินเท่ากันคือ 141,744.3 บาท ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ในส่วนของค่าใช้จ่ายของเงินลงทุน ซึ่งมีพื้นที่ 366.66 ตารางฟุต ชุดทดสอบ (L-1) (L-2) (L-3) (L-4) มีเงินลงทุน 89,831.7 บาท ซึ่งเป็นกระจกชั้นเดียว ส่วนชุดทดสอบ (L-5) (L-6) และ (L-7) มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า 4 แบบแรกคือ 119,164.5 บาท เนื่องจากเป็นกระจกสองชั้น

- ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดที่สุดจากการใช้ชุดทดสอบแบบ (L-5) (L-6) (L-7) ซึ่งเป็นกรอบกระจกอาคารแบบสองชั้นติดฟิล์มชนิดเดียวกันทั้ง 3

ชุดทดสอบคือฟิล์ม XR 20 SISRC/PS ให้อัตราค่าไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 49,909.3 บาท เท่ากันทั้ง 3 แบบที่ประหยัดรองลงมาคือการใช้ชุดทดสอบแบบ (L-1) ค่าไฟฟ้าต่อปีเท่ากับ 55,661.7 บาท (L-2) ค่าไฟฟ้าต่อปี 57,362.5 บาท (L-3) ค่าไฟฟ้าต่อปี 58,724.2 บาท และ (L-7) ค่าไฟฟ้าต่อปี 65,543.3 บาท ซึ่งค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้กล่าวมาเป็นผลมาจากการใช้เครื่องปรับอากาศนั่นเอง

จากผลการสรุปข้างต้นนี้สามารถที่จะนำไปเปรียบเทียบ เพื่อที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอาคารรวมถึงจะประหยัดค่าไฟฟ้า และพลังงานด้วย ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับเจ้าของกิจการด้วยว่าต้องการแสงผ่านเข้ามาในตัวอาคารมากน้อยเพียงใด แต่ถ้าแสงผ่านเข้ามากจะส่งผลให้มีความร้อนสะสมมากขึ้นด้วย และต้องลงทุนเท่าใดจึงจะคุ้มค่ามากที่สุด และตรงต่อความต้องการที่เราวางแผนไว้ รวมถึงสามารถประหยัดค่าไฟฟ้า และพลังงานได้เท่าใดด้วย

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานสำหรับเจ้าของอาคารและโรงงาน
ควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. กรุงเทพฯ :
สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2535.
- ชัยวัฒน์ เอี่ยมพงไพฑูรย์ และวโรตม แก้วกล้า. เครื่องวัดความเข้มฟลักซ์กรองแสง : รายงานโครงการ.
กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.
- ปริทรรศน์ อร่ามวาณิชย์. “การสร้างแบบจำลองเพื่อการศึกษาถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านพักอาศัย”
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.
- สมศรี จรุงเรือง. ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.