



รายงานการวิจัย

การศึกษาการส่งผ่านความร้อน
และแสงผ่านกระจกอาคาร

A Study of Heat and Light transmission
through Windows of Building

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิกะ บุนนาค
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9745-49-3



621.4022
ศ374ก

62A0171955

Title: การศึกษาการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจก

อาคาร
หอสมุดและศูนย์สน.เทศ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ชื่อเรื่อง : การศึกษาการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกอาคาร

ผู้วิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติเกะ บุนนาค

สถาบัน : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปีที่พิมพ์ : 2547

สถานที่พิมพ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

จำนวนหน้างานวิจัย 64 หน้า

: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

คำสำคัญ : การส่งผ่านความร้อน/ การส่งผ่านแสง

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

/ การวิเคราะห์ความผิดพลาด

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยการถ่ายเทความร้อนและแสงผ่านกระจกอาคารแบบต่างๆ โดยใช้ระบบแสงอาทิตย์เทียมแบบหลอดเดี่ยว ขนาดของกล่องทดสอบเป็นกล่องโลหะ 2 ชั้น กว้าง 50 cm ยาว 40 cm สูง 30 cm ภายในระหว่างชั้นบุฉนวนใยแก้ว กระจกทดสอบขนาดกว้าง 30 cm ยาว 30 cm หนา 6 mm 7 ชนิด แบ่งเป็นกระจกใสชั้นเดียวติดฟิล์มต่างกัน 4 ชนิด คือ สีเงินเข้มสีเทาเข้มสีน้ำเงินสีฟ้าใส และ กระจกสองชั้น 3 ชนิด คือ กระจกสองชั้น ด้านบนติดฟิล์มสีเงินเข้มด้านล่างใส กระจกสองชั้น ด้านบนใสด้านล่างติดฟิล์มสีเงินเข้ม และ กระจกสองชั้นลักษณะเดียวกันที่เจาะช่องระบายอากาศจากด้านในสู่ด้านนอก หลอดไฟที่ใช้เป็นหลอด OSRAM รุ่น HQI-E250 W/NDL ซึ่งให้ค่าความร้อนใกล้เคียงค่ารังสีรวมตกกระทบพื้นในเขตกรุงเทพฯ การวัดอุณหภูมิจะใช้อุปกรณ์การวัดที่ใช้ประกอบด้วย Thermocouple จำนวน 12 จุด วัดอุณหภูมิและใช้ Lux meter วัดปริมาณแสง

การวิเคราะห์ผลการทดสอบจะทำภายใต้สภาวะคงที่ทางความร้อนและหาช่วงเวลาในการหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อนของกระจกแต่ละแบบเพื่อทราบข้อมูลการส่งผ่านความร้อนของกระจกทดสอบ นอกจากนั้นหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสะสมในกระจกชั้นเดียวและสองชั้นกับเวลาเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าช่วงเวลาการหน่วงความร้อนของกระจกอาคาร

อุปกรณ์ทดสอบและผลการทดสอบได้รับการยอมรับความถูกต้องจากการทดสอบทางสถิติ เพื่อแสดงถึงการกระจายความร้อนทั่วทั้งผิวทดสอบและการยอมรับได้ของจำนวนครั้งการทดสอบ ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงสามารถนำไปใช้ในการเลือกใช้กระจกอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน

เลขทะเบียน.....	0171955
วันลงทะเบียน.....	24 พ.ย. 2547
เลขเรียกหนังสือ.....	621.4022
	๑3๗4๗
	[254๗]

Title : A Study of Heat and Light Transmission through Windows of Building

Researcher : Asst. Prof.Dr. Tika Bunnag

Institution : Dhurakijpundit University

Year of Publication : 2004

Publisher : Dhurakijpundit University

Source : Faculty of Engineering

No. of pages : 64 page

Dhurakijpundit University

Keyword :Heat transfer / Light transfer

Copyright : Dhurakijpundit University

Error Analysis

Abstract

This Research presented experimental study of heat and light transmission through different types of windows used in buildings by using single lamp solar simulator as a source of light.

The experimental kit was 2-layer metal box of 50 cm wide, 40 cm long and 50 cm high. Between layers inlaid with glass wool insulator. Seven types of glasses tested, each of 30 cm wide, 30 cm long and 6 mm thick, fall into 2 categories: film-coated glasses and double glasses. There are 4 colours of film coated on glass: dark blue, dark grey, blue and sky blue. Three types of double glasses are one with dark silver film-coated upper glass and clear lower glass, one with clear upper glass and dark silver film-coated lower glass, and one with ventilation opening. Source of Light in this study was osram HQI-E250W/NDL which has spectrum nearly as same as Bangkok's total solar radiation. The measurement devices comprise 12 point thermocouples for measuring temperature and luxmeter for measuring light intensity.

Data obtained during steady state were analysed in order to find thermal delay of the heat transfer of the difference types of glasses. The correlation between heat accumulation of single and double glass and time was developed for estimation of thermal delay period.

The experimental set and observations were statistically validated to ensure that the uniform heat diffusion was presented on each glass and experimental replicates were enough and acceptable. Therefore, results obtained from this research can be used in selection of suitable glasses which will enhance energy conservation in buildings.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่งของคนใน “ศูนย์ปริศึกษา และพัฒนาทางด้านพลังงาน” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ และนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้ช่วยเหลือให้งานนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี ทางผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณกำลังใจ การสนับสนุนและความอบอุ่นจากครอบครัวที่ทำให้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทุกอย่างมาได้จนถึงจุดนี้

ท้ายที่สุดการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ขอขอบคุณไว้ ณ
ที่นี้

ผศ.ดร.ติกะ บุนนาค

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 หลักการทางทฤษฎีและปรัทัศน์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 หลักการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่าง ๆ	5
2.2 การส่งผ่านของแสงภาวะความร้อนของวัสดุโปร่งแสง	6
2.3 การนำความร้อน	7
2.4 การแพร่กระจายทางความร้อน	9
2.5 การแผ่รังสีความร้อน	10
2.6 การพาความร้อน	12
2.6.1 ประเภทของการพาความร้อน	13
2.7 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา	14
2.7.1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา	15
2.7.2 ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์	16
2.7.3 หลังคาที่ใช้แสงธรรมชาติช่วยส่องสว่าง	17
2.8 การวัดค่าความสว่างของแสง	17
2.8.1 แคนเดลา	17
2.8.2 ลูเมน	17
2.8.3 ฟุตแคนเดิล	18
2.8.4 การส่องสว่าง	18
2.8.5 ความจ้า	19
2.9 การเปลี่ยนปริมาณแสงเป็นปริมาณความร้อน	19
2.10 วรรณกรรมปรัทัศน์	19

บทที่ 3	การออกแบบชุดทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจก	23
	3.1 ชุดทดสอบ	23
	3.1.1 หลอดไฟและโคมไฟ	23
	3.1.2 กระจกทดสอบ	25
	3.1.3 กล้องทดสอบ	31
	3.1.4 ฉนวนกันความร้อน	31
	3.1.5 อุปกรณ์การวัด	32
	3.2 การสอบเทียบอุปกรณ์วัด	35
	3.3 ปริมาณความร้อนส่งผ่านกระจก	36
บทที่ 4	ผลการทดสอบและการอภิปรายผลการทดสอบ	38
	4.1 การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของชุดทดสอบ	39
	4.2 การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านกระจก	42
	4.2.1 การกระจายอุณหภูมิของกระจก	42
	4.2.2 การสะสมความร้อนภายในห้อง	45
	4.2.3 อุณหภูมิแตกต่างของผิวกระจกกับภายในห้อง	47
	4.2.4 การส่งผ่านความร้อนผ่านกระจก	49
	4.2.5 สมการเลียนแบบการส่งผ่านความร้อนผ่านกระจก	51
	4.3 การส่งผ่านแสงเข้าสู่อาคารของกระจก	53
	4.3.1 ค่าการส่งผ่านแสงและอัตรารังสีความร้อนผ่านกระจก	54
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	59
	5.1 สรุปผลงานวิจัย	59
	5.2 ข้อเสนอแนะ	61
	บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก		
	ก. ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่อุณหภูมิ 27 °C	9
ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงการใช้งาน	14
ตารางที่ 2.3 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา	15
ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับหลังคา	16
ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะของกระจกที่ใช้ในการทดสอบ	27
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถูกต้องของ Luxmeter รุ่น LX – 50	36
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิผิวกระจกด้านบน	41
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิผิวล่างของกระจก	41
ตารางที่ 4.3 แสดงระดับมาตรฐานการส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานต่างๆในอาคาร	53

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง	7
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทาง SPECTRUM คำรังสีอาทิตย์ และหลอด OSRAM รุ่น POWER STAR	24
รูปที่ 3.2 รูปชุดให้กำเนิดแสง	25
รูปที่ 3.3 การออกแบบขนาดของกระจกที่ให้ลำแสงครอบคลุมได้ทั้งหมด	26
รูปที่ 3.4 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเงินเข้ม (L-1)	27
รูปที่ 3.5 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเทาเข้ม (L-2)	28
รูปที่ 3.6 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีน้ำเงิน (L-3)	28
รูปที่ 3.7 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีฟ้าใส (L-4)	29
รูปที่ 3.8 กระจกสองชั้นติดฟิล์มสีเงิน ชั้นล่างใส (L-5)	29
รูปที่ 3.9 กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีน้ำเงินเข้ม (L-6)	30
รูปที่ 3.10 กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้ม พร้อมช่องระบายอากาศ (L-7)	30
รูปที่ 3.11 ภาพกล้องทดสอบ	31
รูปที่ 3.12 ชุดแสดงผลอุณหภูมิในชุดทดสอบ	32
รูปที่ 3.13 สาย Thermocouple Type T	32
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์วัดแสง Luxmeter รุ่น LX-50	33
รูปที่ 3.15 จุดวัด 5 จุดบนและใต้ผิวกระจก	33
รูปที่ 3.16 จุดวัดจุดที่ 6 กลางกล้องทดสอบ	34
รูปที่ 3.17 จุดวัดจุดที่ 7 วัดอุณหภูมิของห้องทดลองเครื่องทดสอบ	34
รูปที่ 3.18 เครื่องมือสอบเทียบสาย Thermocouple	35
รูปที่ 3.19 ผลการสอบเทียบสาย Thermocouple	35
รูปที่ 4.1 การวัดอุณหภูมิผิวของกระจกด้านบนและด้านล่างของกระจก ทดสอบจุดขาวเป็นจุดวัดจริงจุดเหลืองเป็นจุดที่ได้จากค่าเฉลี่ย	40
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิด้านล่างของกระจกทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่ม ของกระจก ชั้นเดียวแบบต่างๆ	43

รูปที่ 4.3	อุณหภูมิด้านล่างของกระจกทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่ม ของกระจกสองชั้น	44
รูปที่ 4.4	อุณหภูมิสะสมในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของ กระจกชั้นเดียวแบบต่างๆ	45
รูปที่ 4.5	อุณหภูมิสะสมในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของ กระจกสองชั้น	46
รูปที่ 4.6	อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกระจกในกับในกล่องทดสอบต่อเวลาที่ แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกชั้นเดียว	47
รูปที่ 4.7	อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกระจกในกับในกล่องทดสอบต่อเวลาที่ แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกสองชั้น	48
รูปที่ 4.8	ปริมาณความร้อนส่งผ่านในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบใน กลุ่มของกระจกชั้นเดียว	49
รูปที่ 4.9	ปริมาณความร้อนส่งผ่านในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบใน กลุ่มของกระจกสองชั้น	50
รูปที่ 4.10	ปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของ กระจกชั้นเดียว	51
รูปที่ 4.11	ปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของ กระจกสองชั้น	52
รูปที่ 4.12	ปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของ กระจกสองชั้นแบบระบายอากาศ	52
รูปที่ 4.13	ปริมาณแสงที่ผ่านกระจกทดสอบแบบต่างๆเมื่อแสงจาก หลอดแสงอาทิตย์เทียมมีค่า 16,500 Lux	54
รูปที่ 4.14	ค่าการส่งผ่านความร้อนและรังสีความร้อนผ่านกระจก ทดสอบแบบต่างๆ	57
รูปที่ 4.15	รูปแบบต่างๆของช่องระบายอากาศของกระจกสองชั้น แบบมีช่องระบายอากาศ	58
รูปที่ 5.1	อาคารในประเทศฝรั่งเศสที่มีการออกแบบการใช้กระจก ที่แตกต่างกัน	60

รายการสัญลักษณ์

		หน่วย
A	พื้นที่	m^2
A_L	พื้นที่บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติจากช่องรับแสงช่วยส่องสว่าง	m^2
A_m	พื้นที่ผิวทรงกลม	m^2
A_s	พื้นที่ผิวของแข็ง	m^2
A_{01}	พื้นที่หลังคาส่วนที่พิจารณา	m^2
a	ค่าการดูดกลืนรังสี	
CF	ตัวประกอบปรับแก้	
CU	สัมประสิทธิ์การใช้งานของกระจก	
C_d	ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง	cd
C_0	อัตราเร็วของแสง	m/s
C_p	ความร้อนจำเพาะของวัสดุ	kJ/kg.K
c	อัตราเร็วในการแผ่คลื่นในตัวกลาง	
D^2	ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดที่ต้องการหาค่าปริมาณแสง แห่งการส่องสว่าง	ft
E	ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นงาน	lux
E_L	ความส่องสว่าง	lux
F	ฟลักซ์ส่องสว่าง	lm
H	ระยะความสูงของช่องแสงจากพื้น	m
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่	$W/m^2 \cdot k$
h_c	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย	$W/m^2 \cdot k$
h_r	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	$W/m^2 \cdot k$
h_t	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	
I	ความเข้มแห่งการส่องสว่าง	cd,lm/sr
I_0	ความเข้มแสงที่ตกกระทบ	W/m^2
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m.k
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m.k

		หน่วย
L	ความส่องสว่าง	cd/m ²
L _g	ความหนาของแผ่นกระจก	m
L _l	ความยาวของช่องแสง	m
L _q	ปริมาณแสง	lm/หลอด
m	มวลของอากาศในกล่องทดสอบ	
MF	แฟคเตอร์การบำรุงรักษา	
N	จำนวนหลอด	
O	ความทึบแสง	
OTTV	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม	W/m ²
Q	ความร้อนส่งผ่านกระจกตู้ในห้อง	kJ
Q _A	ความร้อนที่สะสมในกล่องทดสอบ	kJ
Q _b	รังสีความร้อนที่เปล่งออกมาโดยวัตถุดำ	W
Q _{conv}	อัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิวกระจก	W
Q _h	ความร้อนส่งผ่านกระจกตู้ในห้อง	kJ
Q _L	พลังงานแสงสว่าง	lm
Q _n	อัตราการไหลของความร้อน	
Q _p	พลังงานที่ส่งผ่าน	W
Q _R	พลังงานที่สะท้อนออกมา	
Q _x	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
Q _{tot}	อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิทั้งหมดที่ออกจากพื้นผิวกระจก	W
q _x	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อพื้นที่	W
q _{rad}	ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสี	W/m ²
q _{net}	อัตราการแผ่รังสีสุทธิบนพื้นผิวกระจก	
R	รัศมีของทรงกลม	ft ² , m ²
R _g	ค่าความต้านทานความร้อนของกระจก	m ² °C/W
R ₀	ความต้านทานความร้อนอากาศของกระจก	m ² °C/W
RTTV	ค่าถ่ายเทความร้อนของหลังคา	W/m ²
RTTV ₁	ค่าถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนที่พิจารณา	W/m ²

		หน่วย
R_1	ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหนึ่งชั้น	$m^2\text{C/W}$
R_2	ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกสองชั้น	$m^2\text{C/W}$
R_3	ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกสามชั้น	$m^2\text{C/W}$
r	ค่าการสะท้อนรังสี	
SC	สัมประสิทธิ์การบังแดด	
SF	ค่าตัวประกอบรังสีแสงอาทิตย์	W/m^2
SHGC	อัตราการส่งผ่านความร้อน	W/m^2
SRR	อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น	
T_A	อุณหภูมิในกล่องทดสอบ	K
T_g	อุณหภูมิผิวกระจก	K
T_s	อุณหภูมิผิวแผ่รังสี	K
T_{atm}	อุณหภูมিবรรยากาศ	K
T_{sur}	อุณหภูมิคงที่ของสิ่งแวดล้อม	$^{\circ}\text{C}$
TD_{eq}	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีของหลังคาส่วนที่บ	$^{\circ}\text{C}$
T_1	อุณหภูมิด้านผิวด้านร้อน	K
T_2	อุณหภูมิด้านผิวด้านเย็น	K
ΔT	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_p	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนกระจกกับผิวล่าง	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_R	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนกระจกกับอุณหภูมิห้อง	$^{\circ}\text{C}$
t	เวลาที่กระจกรับแสงอาทิตย์	min
t_r	ค่าการส่งผ่านรังสี	
U_r	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนที่บ	$W/m^2\text{.}^{\circ}\text{C}$
U_s	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนโปร่งแสง	$W/m^2\text{.}^{\circ}\text{C}$
V	ปริมาตรของกล่องทดสอบ	m^3
VT	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง	lux

v	ความถี่ในตัวกลางหนึ่งๆ	
W	ความกว้างของช่องแสง	m
x	ความหนาของกระจก	m

สัญลักษณ์อักษรกรีก

α	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน	
ϵ	ค่าการเปล่งรังสีความร้อน	W/m ²
λ	การแผ่คลื่นความร้อนความยาวคลื่น	μm
ρ	ความหนาแน่นของวัสดุ	kg/m ³
σ	ค่าคงที่สเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (5.67×10^{-8})	W/m ² .K ⁴
μ_1	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดในแนวด้านซ้าย	
μ_2	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดในตำแหน่งแนวกลาง	
μ_3	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดในแนวด้านขวา	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ประเทศไทยมีอาคารสำนักงาน ศูนย์การค้า อาคารโรงแรม และอาคารโรงพยาบาลรวมทั้งที่อยู่อาศัย ซึ่งมักจะได้รับการออกแบบ ตามแบบของอาคารในแถบทวีปยุโรปและอเมริกันที่กำลังเป็นที่นิยมกัน โดยทั่วไปของเจ้าของโครงการ ดังนั้นรูปแบบอาคารจึงเป็นการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ลอกเลียนแบบมาเกือบทั้งหมด ในการนำรูปแบบอาคารในแถบทวีปยุโรปหรืออเมริกัน ที่มีการออกแบบเพื่อใช้ในเขตอากาศหนาวมาสร้างในประเทศไทยที่อยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นที่สภาพอากาศโดยรวมร้อนและมีความชื้นสัมพัทธ์สูง โดยไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างของสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ จึงส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของระบบปรับอากาศซึ่งเป็นอัตราการใช้พลังงานที่สูงที่สุดในอาคารซึ่งการสิ้นเปลืองพลังงานในส่วนนี้เกิดขึ้น ตั้งแต่อาคารนี้เริ่มต้นเปิดใช้งานและจะส่งผลในระยะยาวตลอดไป トラบเท่าที่มีการใช้งานและยังไม่ได้รับการปรับปรุงอาคารให้ลดการสะสมความร้อนภายในอาคาร ดังนั้นจึงเกิดผลกระทบต่ออัตราการใช้พลังงานเนื่องจากอาคาร โดยทั่วไปมีการใช้เป็นส่วนมากดังนั้นการใช้พลังงานในภาพรวมของประเทศจึงมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ภาครัฐต้องรองรับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มการนำเข้าเชื้อเพลิงหรือซื้อไฟฟ้าเข้ามาใช้ในประเทศเพิ่มขึ้นเพื่อให้พอเพียงต่อการใช้พลังงานของประเทศ

จากผลกระทบที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นนี้ส่งผลมาจากค่านิยมที่เปลี่ยนไป ความรู้ที่ไม่ถึงการณ์และการขาดความเข้าใจในด้านพลังงานของเจ้าของโครงการและการออกแบบของผู้ออกแบบอาคาร งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นจากช่องแสงของอาคาร ได้แก่ กระจกหน้าต่างและหลังคาโปร่งแสง

เนื่องจากแนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น โดยตลอดทำให้เกิดพระราชบัญญัติอนุรักษ์พลังงาน ในปี พ.ศ. 2535 ซึ่งมีผลบังคับให้อาคารที่มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 1,175 kVA หรือมีการใช้ความร้อนตลอดปีเทียบเท่ากับสองล้านเมกะจูล เป็นอาคารควบคุม ซึ่งต้องมีการตรวจสอบการใช้พลังงานและแก้ไขทางด้านการใช้พลังงานในอาคาร ตามระยะเวลาที่พระราชบัญญัติกำหนดไว้ในการแก้ไขเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร ข้อมูลการจัดการความร้อนผ่าน

อาคารเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหาวิธีการลดการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้จะทำเฉพาะในส่วนของการลดปริมาณความร้อนผ่านกระจกหน้าต่างและหลังคาโปร่งแสงเท่านั้น ซึ่งการป้องกันความร้อนเป็นเรื่องที่วิศวกร ผู้ดูแลอาคารหรือวิศวกรพลังงานต้องแก้ไขปรับปรุง โดยทั่วไปคนส่วนใหญ่จะเข้าใจว่าการที่ใช้ฟิล์มกรองแสงมาช่วยลดปริมาณแสงที่ผ่านมาในห้องจะทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาในห้องน้อยด้วยซึ่งยังเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการประชาสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันความร้อนผ่านกระจก(ฟิล์มกรองแสง) ทำให้ผู้บริโภคเข้าใจเพียงด้านเดียว อันเป็นผลจากการให้ข้อมูลที่ไม่ครบทั้งหมด ผู้บริโภคจึงคิดว่าการใช้ฟิล์มกรองแสงเพื่อกันความร้อนเพียงอย่างเดียวก็พอเพียงในการป้องกันความร้อนผ่านเข้ามาทางกระจกอาคารได้ ดังนั้นการปรับปรุงอาคารให้ลดการสะสมความร้อนที่เป็นหน้าที่โดยตรงของวิศวกรพลังงานและผู้ดูแลรักษาอาคารที่จะปรับปรุงอาคารให้ลดการสะสมความร้อนในอาคารลงส่งผลให้ใช้พลังงานในส่วนระบบปรับอากาศลดลงด้วยการป้องกันในปัจจุบันที่ไม่ต้องปรับปรุงโครงสร้างอาคารซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องใช้ฟิล์มกรองแสงกับกระจกอาคาร การวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอข้อมูลของการใช้กระจกกับอาคารและผลกระทบทางความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้กระจกในด้านพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้กระจกหน้าต่างหรือหลังคาโปร่งแสงกับอาคารได้อย่างเหมาะสมและยังสามารถประเมินปริมาณความร้อนสะสมในอาคารอันเกิดจากการใช้กระจกได้ซึ่งเป็นการนำข้อมูลไปใช้ในการประเมินขนาดของเครื่องปรับอากาศให้ใกล้เคียงความจริงที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไปส่งผลให้อาคารต้องเสียค่าไฟสูงตั้งแต่ต้น ทำให้เจ้าของโครงการเข้าใจผิดว่าค่าไฟที่เกิดขึ้นเป็นค่าไฟปกติของอาคาร ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาคารมีการใช้พลังงานที่สูงกว่าปกติมากเนื่องจากการออกแบบอาคารที่ไม่เหมาะสมกับภูมิอากาศและเอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงานของอาคาร

ปัจจุบันอาคารและบ้านพักอาศัยที่มีการจัดสร้างใหม่เกือบทั้งหมดมีการใช้ช่องแสงอาคาร 2 แบบ คือ ช่องแสงแนวตั้ง (หน้าต่างหรือผนังกระจก) และ ช่องแสงหลังคา (หลังคาโปร่งแสง) ซึ่งหากมีการออกแบบที่ถูกต้องเหมาะสมจะเป็นตัวช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนของระบบไฟแสงสว่างลงได้ และทำให้ผู้ที่ใช้อาคารเกิดความรู้สึกที่โปร่ง โล่งและเห็นทัศนวิสัยภายนอกอาคาร อย่างไรก็ตามการใช้ช่องแสงอาคารเมื่อยอมให้แสงผ่านเข้ามาในอาคาร สิ่งตามมาอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ คือ “ความร้อน” ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ที่อยู่ในอาคารในด้านความสบาย การลดปัญหาความร้อนจึงต้องใช้ “ระบบปรับอากาศ” เพื่อสร้างความสบายให้กับผู้ที่อยู่ในอาคาร ระบบปรับอากาศจึงต้องรับภาระความร้อนอันเนื่องมาจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาสะสมภายในอาคาร จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งยังต้องออกแบบระบบปรับอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าที่ควรอีกด้วย

ความสัมพันธ์ของการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกอาคาร ในเขตอากาศร้อนชื้นยังมีการทำวิจัยในด้านนี้น้อยมาก ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการออกแบบเลือกใช้กระจกหน้าต่างและหลังคาโปร่งแสงของอาคาร หรือที่อยู่อาศัยซึ่งตั้งอยู่ในประเทศไทยเพื่อช่วยประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการประยุกต์ในการวิจัยอื่นๆด้านพลังงานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 วิเคราะห์ปริมาณการถ่ายเทความร้อนและปริมาณแสงที่ส่งผ่านกระจกอาคารและหลังคาโปร่งแสงซึ่งแตกต่างกัน 7 ชนิด

1.2.2 เพื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการเลือกใช้กระจกและหลังคาโปร่งแสงให้เหมาะสมกับอาคารและที่อยู่อาศัยในประเทศไทย

1.2.3 หาความสัมพันธ์ของการส่งผ่านความร้อนและแสงของกระจกแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันความร้อนผ่านกระจกอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เพื่อทดสอบลักษณะของการส่งผ่านความร้อนและปริมาณแสงผ่านหลังคาโปร่งแสงด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

1.3.1 การศึกษาจะกระทำโดยใช้ชุดทดสอบแสงอาทิตย์เทียมแบบหลอดเดี่ยว

1.3.2 หลอดที่ใช้ในการทดสอบเป็นหลอดไฟ OSRAM รุ่น HQI-E250 W/NDL ซึ่งทำให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์จริงที่ตกกระทบในเขตกรุงเทพมหานคร คือ 800 W/m^2

1.3.3 ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและปริมาณแสงผ่านกระจก มีดังนี้

- กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเงินเข้ม
- กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเทาเข้ม
- กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีน้ำเงิน
- กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีฟ้าใส
- กระจกสองชั้นติดฟิล์มสีเงิน ชั้นล่างใส
- กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีน้ำเงินเข้ม
- กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้ม พร้อมช่องระบายอากาศ

- 1.3.4 ชุดทดสอบเป็นกล่องขนาด 50x40x30 cm ภายในบุด้วยฉนวนกันความร้อน
- 1.3.5 อุปกรณ์วัดจะใช้ Thermocouple Type T พร้อมอุปกรณ์ Digital Display และ Luxmeter รุ่น LX-50 ในการวัดปริมาณความร้อนและแสงในกล่องทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

นำข้อมูลจากการทดสอบช่วยในการออกแบบอาคาร และเป็นข้อมูลในการเลือกใช้กระจกอย่างเหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร ทั้งยังใช้ในการกำหนดแนวทางในการลดภาระของระบบปรับอากาศภายในอาคารอย่างยั่งยืนอันเป็นผลมาจากการเลือกใช้กระจกอย่างเหมาะสมและสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร โดยใช้แสงจากธรรมชาติเข้าช่วยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

บทที่ 2

หลักการทางทฤษฎีและปรัทศนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่างๆ [1]

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโปร่งแสงชนิดต่างๆนั้น สิ่งแรกที่ต้องนำมาใช้ในการพิจารณาซึ่งส่งผลโดยตรงกับระบบ คือ วิธีที่พลังงานสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในอาคาร พลังงานในความหมายทั่วไปหมายถึงความสามารถในการทำงานที่มีอยู่ในทุกสิ่งที่กำลังสนใจศึกษา การเคลื่อนที่ของพลังงานจะเกิดขึ้นได้จากความแตกต่างของระดับพลังงานจากแหล่งที่มีระดับพลังงานสูงไปสู่แหล่งที่มีพลังงานต่ำกว่า ความแตกต่างของระดับพลังงานนี้เองเป็นตัวสร้างให้เกิดการเคลื่อนที่ของพลังงาน เรียกการเคลื่อนที่ของพลังงานนี้ว่า “อุณหภูมิตั้ง” หรือ “พลังงานความร้อน” การพิจารณาถึงกระบวนการเคลื่อนที่ของพลังงาน จะเรียกว่า “การถ่ายเทความร้อน” (Heat transfer) ซึ่งสิ่งนี้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการใช้พลังงานในอาคาร หากมีความร้อนถ่ายเทเข้ามาในอาคารเป็นจำนวนมากผลที่ตามมาคือเครื่องปรับอากาศต้องทำงานมากขึ้นในการทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เหล่านั้นลดลงจนเป็นไปตามอุณหภูมิตั้งของเครื่องที่ได้ตั้งไว้

การถ่ายเทความร้อน [2]

โดยธรรมชาติพลังงานจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีระดับพลังงานสูงไปยังบริเวณที่มีระดับพลังงานต่ำเสมอ เช่นเดียวกับน้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำกว่า หากพิจารณาถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีหลักๆ คือ “การนำความร้อน” (Conduction) “การพาความร้อน” (Convection) และ “การแผ่รังสีความร้อน” (Radiation) การนำความร้อนคือปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนมีการเคลื่อนที่ถ่ายเทภายในเนื้อของวัตถุหนึ่งๆ ในรูปของการสั่นของโมเลกุลซึ่งหากมีวัตถุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปติดกันแล้วการนำความร้อนก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้เช่นกัน การพาความร้อน คือ การที่พลังงานความร้อนถ่ายเทผ่านตัวกลางที่เป็นของไหลทุกชนิด เช่น อากาศ น้ำ หรือก๊าซต่างๆ พลังงานจะถูกถ่ายเทจากผิวของวัสดุไปยังของไหลซึ่งของไหลจะเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานและเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นไปยังจุดอื่นๆ การถ่ายเทความร้อนรูปแบบสุดท้ายคือ การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยสเปคตรัมการแผ่รังสีในรูปแบบแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุที่รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเกิดขึ้นได้หลายช่วงคลื่น ทั้งในช่วงคลื่นวิทยุคลื่นที่ตามองเห็นได้และรังสีต่างๆ

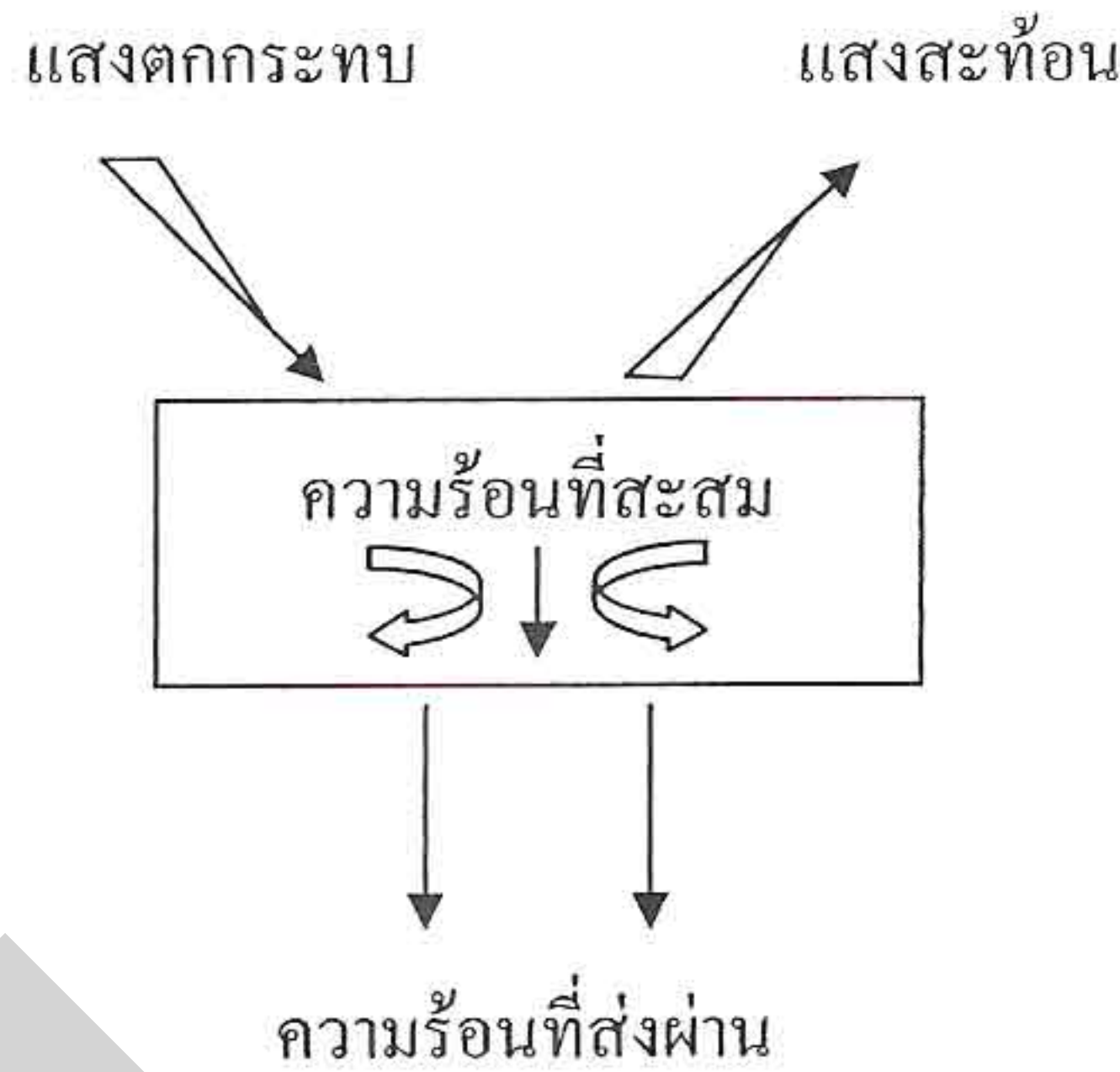
การกระจายความร้อนจะกระจายออกในทุกทิศทางเป็นส่วนโค้งครึ่งวงกลม เมื่อรังสีนี้ออกไปกระทบอีกวัตถุใดๆแล้วรังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับ บางส่วนจะส่งผ่านทะลุวัตถุไป และบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ โดยถ้ารังสีวัตถุที่ไปกระทบอยู่ในรูปร่างสีความร้อนแล้ว รังสีที่ถูกกลืนไว้ในเนื้อวัตถุจะอยู่ในรูปของความร้อนสะสมภายในวัตถุนั้นและเมื่อวัตถุร้อนจนถึงจุดคงที่ทางความร้อนแล้วจะเกิดการถ่ายเทความร้อนในรูปของการนำความร้อนผ่านผู้ต้านล่างและพาความร้อนที่ทั้งด้านบนและด้านล่างของวัตถุนั้นๆต่อไป

การนำความร้อนและการพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานในรูปของแข็ง(การนำความร้อน) ของไหลหรือก๊าซ(การพาความร้อน) ในขณะที่การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง และในความเป็นจริงหากมีสิ่งใดมาสัมผัสกันกลางระหว่างวัตถุสองชิ้นนั้นก็จะเป็นอุปสรรคต่อการแผ่รังสีของวัตถุทั้งสองทันที

พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนโดยปกติมักไม่เคยปรากฏว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น แต่จะเป็นการผสมผสานของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นรวมกันเสมอ เพียงแต่รูปแบบการถ่ายเทความร้อนใดจะมีความสำคัญมากกว่ากันในช่วงเวลาใดเท่านั้น ซึ่งในด้านวิศวกรรมจะพิจารณารูปแบบนี้เพียงรูปแบบเดียวและให้การถ่ายเทความร้อนที่เหลือมีค่าน้อยจนตัดทิ้งไปได้

2.2 การส่งผ่านของแสงภาวะความร้อนของวัตถุโปร่งแสง[3]

การส่งผ่านความร้อนและผ่านวัตถุโปร่งแสงที่ใช้ในบ้านหรืออาคารต่างๆ เช่น กระจกหรือหลังคาโปร่งแสง โดยทั่วไปมักจะพิจารณาแต่ปริมาณแสงที่ส่งผ่านเข้ามาอย่างเดียว กล่าวคือเป็นปริมาณที่แสงที่ผ่านเข้ามาได้รับผ่านหลังคาโปร่งแสงเพื่อชดเชยการใช้แสงของหลอดไฟ อีกทั้งบางแบบยังมีการใช้สารเคมีหรือสีช่วยให้แสงผ่านหลังคาโปร่งแสงได้น้อยลงอีกด้วย อย่างไรก็ตามการออกแบบโดยไม่คำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกหรือหลังคาโปร่งแสงเข้ามาจะส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนขึ้นภายในห้องและเป็นภาระของระบบปรับอากาศโดยตรง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงานของระบบปรับอากาศที่ต้องทำงานนานขึ้นผลที่ตามมาคือการใช้พลังงานย่อมปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นมาด้วยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง

ปริมาณแสงที่ผ่านวัตถุโปร่งแสงมีรูปแบบ 3 รูปแบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นอย่างไรก็ตามจากคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนและดูดกลืนความร้อนทำให้สามารถเพิ่มเวลาในการถ่ายเทความร้อนให้เข้าสู่ในห้องได้ช้าลง ซึ่งขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุโปร่งแสงที่นำมาใช้ (รูปที่ 2.1)

2.3 การนำความร้อน [4]

การนำความร้อน เป็นการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่เป็นของแข็ง โดยมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการนำนี้เกิดจากการสั่นของโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นทั้งของแข็งหรือของเหลว อัตราการถ่ายเทความร้อนในรูปของการนำความร้อนสามารถคำนวณได้จากกฎของฟูเรียร์ (Fourie's law) ซึ่งกล่าวว่า “เมื่อพิจารณาการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q_x) ที่ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ในถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (A) อัตราส่วนระหว่างผลต่างระหว่างอุณหภูมิผิวทั้งสองด้านต่อความหนาของวัสดุนั้นๆ (dT/dx)”

สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้สภาวะคงตัว (steady state) อุณหภูมิในตัวกลาง $T = T(x)$ จากกฎของฟูเรียร์

$$Q_x = kA \frac{dT}{dx} \quad \text{หน่วยเป็น W} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

โดยค่า k เป็นค่าคงที่ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ซึ่งเป็นค่าคงที่มีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุ มีหน่วยเป็น W/m.K

ในการหาค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านตัวกลางสามารถหาได้จากสมการ

$$q_x = Q_x/A = -k dT/dx \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

ในสมการ (2.1) และ (2.2) ถ้าอุณหภูมิของตัวกลางตามทิศทาง $+x$ พบว่าค่าของ dT/dx เป็นลบ ดังนั้นถ้า Q_x หรือ q_x มีเครื่องหมายบวก แสดงว่า Q_x หรือ q_x มีทิศการไหลในทิศ $+x$

ภายใต้สภาวะคงที่ทางความร้อนโดยวัสดุมีค่า k คงที่ อุณหภูมิ $T(x)$ จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ดังนั้น

$$\begin{aligned} dT/dx &= (T_2 - T_1)/L = -(T_1 - T_2)/L \\ q_x &= k(T_1 - T_2)/L = k\Delta T/L \quad \text{W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(2.3) \end{aligned}$$

- เมื่อ
- q_x = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อพื้นที่ (W)
 - k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m.K)
 - A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)
 - T_1, T_2 = อุณหภูมิด้านผิวร้อนและผิวด้านเย็นตามลำดับ (K)
 - L = ความหนาของแผ่นกระจก (m)

จากสมการข้างต้น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นค่าการนำความร้อนของวัสดุปกติค่า k จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิผิวทั้งสองด้านไม่แตกต่างกันมากสามารถกล่าวได้ว่าค่า k ในวัสดุนั้นมีค่าคงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิได้ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่อุณหภูมิ 27°C

วัสดุ	สภาพนำความร้อน, k (W/m.K)
ทองแดง	386
อะลูมิเนียม	204
เหล็กคาร์บอน	54
หินอ่อน	2.1-2.94
หินทราย	1.85
กระจก	0.25-0.8
ซีเมนต์	0.06
ใยแก้ว	0.04
พลาสติก	0.2-0.3
น้ำ	0.6
อากาศ	0.026

2.4 การแพร่กระจายทางความร้อน (Thermal diffusivity) [5]

ในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนหากการถ่ายเทความร้อนเกิดในช่วงที่การถ่ายเทความร้อนในสถานะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient) จะมีตัวแปรเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งที่เพิ่มเข้ามาในตัวแปรนั้นคือสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน α ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก $\alpha = k/\rho C_p$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)

C_p = ความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/kg.K)

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนคืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่อความจุความร้อนเชิงปริมาตร (Volumetric thermal diffusivity) และมีหน่วยเป็น s/m^2 หรือเวลาต่อพื้นที่นั่นคือสัมประสิทธิ์นี้เป็นช่วงเวลาในการให้หรือการรับความร้อน (Heating time) หรือเวลาที่ต้องการให้ความร้อนกับวัสดุจนมีอุณหภูมิที่ต้องการค่าหนึ่งๆ เวลานี้จะเป็นสัดส่วนตรงกับกำลังสองของความหนาแน่นของวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนต่ำ

ปัญหาการนำความร้อนในสถานะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นปัญหาที่ซับซ้อนกว่าปัญหาในสถานะคงที่ทางความร้อนทั่วไป ดังนั้นการแก้ปัญหาก็เป็นเฉพาะกรณีเท่านั้น เช่น การนำวัตถุที่มีลักษณะที่เป็นแผ่นหรือทรงกระบอกที่อุณหภูมิเริ่มต้นคงที่ใส่ลงในของไหลที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปแล้วนำมาจัดทำเป็นกราฟเพื่อใช้งาน

สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนมีความสำคัญในหลายกรณี เช่นการควบคุมสภาพอากาศในอาคารที่พักอาศัยให้อยู่ในสถานะที่ต้องการตลอดทั้งวันเพื่อลดภาระของการปรับอากาศในห้องเมื่อผู้อยู่อาศัยกลับมาใช้ห้อง เป็นต้น

2.5 การแผ่รังสีความร้อน [6]

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนจากผิววัตถุหนึ่งไปสู่อีกผิววัตถุอีกผิวหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยจะมีการส่งผ่านพลังงานผ่านอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) หรือในรูปของคลื่นรังสีโฟตอน โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง ดังนั้นการแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดได้ในสุญญากาศได้

ปริมาณความร้อนสูงสุดของการแผ่รังสีออกจากผิวตัวกลาง สามารถคำนวณจากกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann) ดังนี้

$$q_{\text{rad}} = \sigma T_s^4 \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

โดยที่ q_{rad} = ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสี (W/m^2)

T_s = อุณหภูมิผิวแผ่รังสี (K)

σ = ค่าคงที่สเตฟาน – โบลต์ซมันน์ ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

สมการ (2.4) ใช้กับกรณีของการแผ่รังสีในอุดมคติ (Ideal radiator) หรือวัตถุดำ (Black body) สำหรับกรณีของพื้นผิวจริง (Real surface) พลักซ์แผ่รังสีจะน้อยกว่ากรณีของวัตถุดำ ทั้งนี้จะขึ้นกับสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของพื้นผิวนั้น (ϵ) ด้วย พลักซ์แผ่รังสีบนพื้นผิวจริงคำนวณจาก

$$q_{\text{rad}} = \epsilon T_s^4 \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

พิจารณาการแผ่รังสีแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นผิว A อุณหภูมิ T_s มีสภาพเปล่งรังสี ϵ กับสิ่งแวดล้อมโดยรอบซึ่งมีอุณหภูมิกว่า T_{sur} อัตราการแผ่รังสีสุทธิบนพื้นผิว A คือ

$$q_{\text{net}} - q_{\text{rad,net}} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

นอกจากรูปแบบสมการ (2.5) แล้ว รูปแบบสมการอย่างง่ายที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีสามารถหาได้ดังนี้

$$q_{\text{rad,net}} = h_r A (T_s - T_{\text{sur}}) \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

โดย h_r คือสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนมีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2\text{K}$ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$h_r = \epsilon \sigma (T_s + T_{\text{sur}})(T_{2s} + T_{2\text{sur}}) \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

ถ้าหากระหว่างพื้นผิว A กับสิ่งแวดล้อมเป็นก๊าซ จะมีการพาความร้อนเกิดร่วมกับการแผ่รังสีความร้อนด้วย ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิทั้งหมดที่ออกจากพื้นผิว จะสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} Q_{\text{tot}} &= Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad,net}} \\ &= hA(T_s - T_\alpha) + \epsilon A \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad \dots\dots\dots(2.9) \end{aligned}$$

การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิวที่มีอุณหภูมิผิวแตกต่างกัน ความร้อนจะถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในการแผ่คลื่นความร้อนความยาวคลื่น (λ) ด้วยความถี่ (ν) ในตัวกลางหนึ่งๆ อัตราเร็วในการแผ่คลื่นในตัวกลาง (c) ดังกล่าวคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} c &= \lambda \nu \\ \lambda &= c/\nu \end{aligned}$$

ถ้าตัวกลางนั้นเป็นสุญญากาศอัตราเร็วในการแผ่คลื่นความร้อนเท่ากับอัตราเร็วของแสง $c_0 = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ซึ่งโดยปกติหน่วยความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นคลื่นที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้นมากคืออยู่ในช่วงไมโครเมตร (μm)

สเปกตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ควรทราบมีดังนี้

การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ	$0.1 \leq \lambda \leq 100$	μm
การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	$0.1 \leq \lambda \leq 3$	μm
การแผ่รังสีในช่วงที่มองเห็นได้	$0.4 \leq \lambda \leq 0.7$	μm

พลังงานการแผ่รังสีออกจากวัตถุใดวัตถุหนึ่งที่กำลังพิจารณาจากพลังงานการแผ่รังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆ จากการแจกแจงของความยาวคลื่น (Spectral distribution) และการแจกแจงของทิศทางการแผ่รังสี (Directional distribution)

ในการศึกษาด้านการแผ่รังสีความร้อนจะจัดแบ่งชนิดของวัตถุตามสมบัติการสะท้อน การดูดกลืนและการส่งผ่านของรังสีดังนี้

วัตถุดำ (Black body) เป็นวัตถุที่สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนจากการกระทบของรังสีบนวัตถุนั้นจากทุกทิศทางและทุกความยาวคลื่นได้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนกลับและการส่งผ่าน

เมื่อพิจารณาวัตถุที่อุณหภูมิต่างๆ และความยาวคลื่นค่าหนึ่งพบว่าไม่มีวัตถุใดๆ ที่อุณหภูมิเดียวกันสามารถแผ่รังสีความร้อนได้มากกว่าวัตถุดำ ดังนั้นวัตถุดำจึงเป็นวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุด

วัตถุทึบแสง (Opaque body) เป็นวัตถุที่สามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนและสะท้อนกลับรังสีจากการตกกระทบของรังสีลงบนวัตถุนั้น โดยไม่มีพลังงานความร้อนส่งผ่านวัตถุได้

ถ้ามองถึงการแผ่รังสีของวัตถุทึบแสงนี้ จะพบว่าเป็นพฤติกรรมของการแผ่รังสีที่ผิว (surface phenomenon) อาทิเหล็ก โลหะต่างๆ ไม้ และหิน เป็นต้น

วัตถุโปร่งใส (Transparent body) เป็นวัตถุที่มีความสามารถส่งผ่านพลังงานความร้อนได้ทั้งหมดจากการตกกระทบของรังสีความร้อนลงบนวัตถุนั้น

วัตถุกึ่งโปร่งแสง (Semitransparent body) หมายถึง วัตถุที่มีความสามารถดูดกลืนรังสีส่งผ่านและสะท้อนกลับพลังงานความร้อนจากการตกกระทบของรังสีความร้อนลงบนวัตถุนั้น

หากถ้ามองถึงการแผ่รังสีของวัตถุกึ่งโปร่งใส พบว่าเป็นพฤติกรรมของการแผ่รังสีทั้งปริมาตร (boll phenomenon) ได้แก่ แก้ว พลิกแก้ว และก๊าซต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ

2.6 การพาความร้อน [7]

การพาความร้อนเป็นรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดระหว่างผิวของแข็งกับของไหลที่ส่ง ผลให้เกิดการเคลื่อนไหวของของไหล อันเนื่องมาจากการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น (h , $W/m^2.K$) พลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทเป็นผลเนื่องมาจากการแพร่ (diffusion) ของโมเลกุลและผลจากการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหล

2.6.1 ประเภทของการพาความร้อน

การพาความร้อน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติและการพาความร้อนแบบบังคับ

- การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดจากผลของแรงลอยตัวของของไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อของไหลรับความร้อนความหนาแน่นของของไหลจะเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงจากผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ

- การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดจากผลแรงภายนอกที่มากระทำต่อของไหลนั้นๆให้เกิดการเคลื่อนที่ เช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม (blower) เป็นต้น

พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งต่อพื้นที่ A_s ของวัตถุที่มีอุณหภูมิผิว T_s ขณะของไหลไหลผ่านด้วยความเร็ว U_∞ และอุณหภูมิ T_∞ กงที่ พลักซ์ความร้อนเฉพาะที่คำนวณเป็นไปตามกฎ Newton' law of cooling

$$Q_{conv} = h(T_s - T_\infty) \quad W/m^2 \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

โดยที่ h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ $W/m^2 K$ ดังนั้นจะคำนวณอัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว A_s จาก

$$Q_{conv} = h_c A_s (T_s - T_\infty) \quad W \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

โดยที่ h_c คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (Average Convective Heattransfer Coefficient) สำหรับแผ่นระนาบ (Flat plate) ยาว L จะพบว่า

$$h_c = 1/L \int_0^L h dx \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองสามารถหาได้จากตาราง 2.2
 ตาราง 2.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงการใช้งาน

ชนิดของการพาความร้อน	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_c (W/m ² K)
การพาความร้อนแบบธรรมชาติ	5-25
การพาความร้อนแบบบังคับ ในตัวกลางก๊าซ	25-250
ในตัวกลางของเหลว	50-20000
การพาขณะเปลี่ยนแปลงเฟส (เดือดตัวและควบแน่น)	2500-100000

2.7 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา [8]

ในกรณีของการใช้วัสดุโปร่งแสงกับหลังคาการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV) เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งก่อนการติดตั้ง เนื่องจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดไว้ว่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารควบคุมจะต้องมีค่าไม่เกิน 25 W/m² ค่านี้กำหนดขึ้นเพื่อใช้สำหรับทั้งกรณีไม่มีช่องรับแสงธรรมชาติ แต่ไม่ใช่แสงธรรมชาติช่วยส่องสว่างและมีช่องแสงธรรมชาติ

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV = (U_r)(1-SRR)(TD_{cq}) + (SC)(SRR)(SF) + (U_s)(SRR)(\Delta T) \dots\dots\dots(2.13)$$

โดยที่

RTTV = ค่าถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา (W/m²)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนที่พิจารณา (W/m².°C)

SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วน

นั้น

(Skylight to Roof Ratio)

TD_{cq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร
ซึ่ง รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีของหลังคาส่วนที่พิจารณา (°C)

U_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง
(W/m².°C)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับประเทศไทย คือ 7°C

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน (RTTV_1)

$$\text{RTTV} = \frac{(A_{01})(\text{RTTV}_1) + (A_{02})(\text{RTTV}_2) + \dots + (A_{0n})(\text{RTTV}_n)}{A_{01} + A_{02} + \dots + A_{0n}} \quad \dots\dots(2.14)$$

โดยที่

A_{01} = พื้นที่หลังคาส่วนที่พิจารณา (m^2)

RTTV_1 = ค่าถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา

2.7.1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคามีความหมายในทำนองเดียวกันกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังที่บ ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคาสำหรับกรณีต่างๆ

ตารางที่ 2.3 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา

มวลของผนัง (กก.ม.)	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
	0.1	0.3	0.5	0.6 และมากกว่า
	<0-0.2>	<0.2-0.4>	<0.40-0.6>	<0.6-1.0>
0-50	20	24	28	32
50-200	16	20	24	28
เกินกว่า	12	16	20	24

สำหรับหลังคาที่มีอุปกรณ์บังแดดที่มีการระบายอากาศ เช่น กรณีหลังคาสองชั้นระดับจากการให้ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าช่องที่หนึ่ง (เท่ากับ 0.1) คูณด้วย 0.8 รายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (ตารางที่ 2.3)

2.7.2 ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์

สำหรับหลังคาเอียงในทิศต่างๆ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ คือ

$$SF = |370| |CF| \quad \text{W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

โดยที่

CF = ตัวประกอบปรับแก้ ซึ่งหาค่าได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าตัวประกอบปรับแก้สำหรับหลังคา

มุม	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.98	0.99	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
10	0.96	0.97	0.99	0.01	1.02	1.01	0.99	0.97
15	0.93	0.95	0.98	1.01	1.02	1.00	0.98	0.95
20	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.00	0.96	0.92
25	0.87	0.90	0.95	0.99	1.01	0.98	0.94	0.89
30	0.83	0.86	0.93	0.98	0.99	0.97	0.92	0.86
35	0.78	0.83	0.90	0.96	0.97	0.95	0.89	0.82
40	0.74	0.79	0.87	0.93	0.95	0.92	0.86	0.78
45	0.69	0.75	0.84	0.90	0.92	0.89	0.83	0.74
50	0.64	0.71	0.81	0.87	0.88	0.86	0.79	0.70
55	0.59	0.66	0.77	0.83	0.84	0.82	0.76	0.66
60	0.54	0.62	0.73	0.79	0.80	0.78	0.72	0.61
65	0.50	0.58	0.69	0.75	0.75	0.73	0.68	0.57

หมายเหตุ

N	=	เหนือ	NE	=	ตะวันออกเฉียงเหนือ
E	=	ตะวันออก	SE	=	ตะวันออกเฉียงใต้
S	=	ใต้	SW	=	ตะวันตกเฉียงใต้
W	=	ตะวันตก	NW	=	ตะวันตกเฉียงเหนือ

2.7.3 หลังคาที่ใช้แสงธรรมชาติช่วยส่องสว่าง

ในกรณีที่มีการออกแบบใช้แสงธรรมชาติช่วยส่องสว่าง และมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง โดยสามารถปรับหรี่ได้โดยอัตโนมัติ ถ้าหากแสดงให้เห็นว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างเกินกว่าร้อยละ 25 สำหรับบริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติช่วยส่องสว่างให้ลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่อยู่เหนือบริเวณนั้นที่คำนวณได้ลดลงร้อยละ 15 และให้ใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของของหลังคาที่ลดลงไปแล้วนี้ ประกอบการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งหมดของหลังคาต่อไป พื้นที่บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติจากช่องรับแสง คำนวณได้จากสมการ

$$A_L = (L + H)(W+H) \dots\dots\dots(2.16)$$

โดยที่

A_L = พื้นที่บริเวณที่ใช้แสงธรรมชาติจากช่องรับแสงช่วยส่องสว่าง
(เท่ากับพื้นที่ส่วนของหลังคาที่ยอมให้ลดค่า RTTV ลงร้อยละ 15) (m)

L_L = ความยาวของช่องแสง (m)

H = ระยะความสูงของช่องแสงจากพื้น (m)

W = ความกว้างของช่องแสง (m)

2.8 การวัดค่าความสว่างของแสง (Measurement of lighting illumination) [9]

การวัดค่าความสว่างของแสงสามารถวัดได้ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง จำนวนเส้น แรงของปริมาณแสงและในรูปของปริมาณลูเมนต่อตารางพื้นที่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.8.1 แคนเดลา (Candela) แหล่งกำเนิดแสงก็เช่นเดียวกับแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ ก็สามารถวัดค่าได้และบอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มชั้นแห่งการส่องสว่าง (candlepower) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคนเดลาความเข้มแห่งการส่องสว่างหรือกำลังส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มแห่งการส่องสว่างของวัตถุดำ (Blackbody) ที่อุณหภูมิจุดเยือกแข็งของเทอร์โมมิเตอร์แบบแพลตินัม (Platinum) โดยทั่วไปความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งมักมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้นด้วย

2.8.2 ลูเมน (Lumen) อีกแนวความคิดหนึ่ง ในการบอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ก็คือ การบอกในรูปของจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสง (luminous Flux) ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงๆ นั้น

การนำแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กมากๆ จนเสมือนจุด (Point source) และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอรอบทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน และเนื่องจากพื้นที่ที่รอบผิวทั้งหมดของทรงกลมนี้มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นเราจึงสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ 12.57 ลูเมน

2.8.3 ฟุตแคนเดิล (Foot candle) เมื่อนำแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมากๆ นี้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา ไปวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน จะไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางฟุตบนพื้นที่ของทรงกลมปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุตในทำนองเดียวกัน ถ้ารัศมีของทรงกลมดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ตารางเมตรบนพื้นที่ของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ (lux) หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร

ข้อสังเกต

1. ปริมาณแห่งการส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล จะมีค่าเท่ากับ 10.76 ลักซ์
2. เมื่อก้าวถึงปริมาณของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของปริมาณเส้นแรงของแสงที่ไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งๆ นั้น หรือในรูปของปริมาณลูเมนต่อตารางหน่วยพื้นที่นั้นเราไม่คำนึงว่าปริมาณของแสงดังกล่าวจะพุ่งไปอย่างไร ทำมุมเท่ากับพื้นระนาบนั้นเหมือนเช่นที่เรากล่าวถึงปริมาณของพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ ในรูปแคนเดลา

2.8.4 การส่องสว่าง (Illumination) ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นผิวใดๆ จะแปรตามโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่าง (illumination intensity) ของแหล่งกำเนิดแสงและแปรตามอย่างผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังผกผัน (Inverse square law)

$$E = C_d/D^2 \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

เมื่อ E คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นงาน

C_d คือ ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดในทิศทางที่พุ่งไปหาจุดที่พิจารณาบนพื้นงาน (cd = candela)

D^2 คือ ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับจุดที่ต้องการคำนวณ หาค่าแห่งการส่องสว่าง (ft)

2.8.5 ความจ้า (Brightness) ความจ้าเป็นผลซึ่งเกิดจากการที่แสงสะท้อนออกจากผิววัตถุ หรือพุ่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าสู่ตา กล่าวคือ เมื่อแสงตกลงพื้นผิวของวัตถุใดๆ บางส่วนของ แสงนั้นจะถูกดูดกลืนเข้าไปในพื้นผิวแต่บางส่วนของแสงนั้นจะถูกสะท้อนออกมา ถ้าแสงที่ สะท้อนออกมามีปริมาณมากเรากล่าวว่ามันมีความจ้ามาก เราวัดความจ้าของวัตถุใดๆ ด้วยปริมาณ แสงที่สะท้อนออกมาถึงพื้นที่ 1 ตารางหน่วยและมีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต(foot lambert)

สิ่งหนึ่งที่ต้องการทำความเข้าใจให้ถูกต้องคือสิ่งที่ตาเราเห็น คือความจ้าหรือฟุตแลมเบิร์ตมิใช่ความสว่างหรือฟุตแคนเดิล ปริมาณความจ้าของวัตถุใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ ปริมาณแห่งการส่องสว่างกับค่าความสามารถในการสะท้อนของวัตถุนั้น

2.9 การเปลี่ยนปริมาณแสงเป็นปริมาณความร้อน [10]

การคำนวณแบบลูเมนใช้กับพื้นที่ที่ต้องการความส่องสว่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่และ รวมผลของการสะท้อนแสงของวัตถุที่มาใช้ทำผนัง พื้น และเพดานมักเป็นพื้นที่ทำงานที่ต้องใช้ สายตามาก เช่น สำนักงาน โรงเรียน ห้องประชุม เป็นต้น การคำนวณการส่องสว่างโดยวิธีลูเมน ค่อนข้างเสียเวลาพอสมควรถ้าจำนวนห้องมีมาก แต่ถ้าจำนวนห้องมีมากและแต่ละห้องมีพื้นที่ไม่ มากการคำนวณโดยวิธีวัดต่อตารางเมตรก็เหมาะสมมากเพราะไม่เสียเวลาในการคำนวณ

การคำนวณการส่องสว่างโดยวิธีลูเมนสามารถใช้สมการการคำนวณดังนี้

$$E_L = N \times L \times MF \times CU/A \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

- | | | |
|-------|-------------------------|--------------|
| E_L | - ความส่องสว่าง | - ลักซ์ |
| N | - จำนวนหลอด | |
| L | - ปริมาณแสง | - ลูเมน/หลอด |
| MF | - แฟกเตอร์การบำรุงรักษา | |
| CU | - สัมประสิทธิ์การใช้งาน | |
| A | - พื้นที่ | - ตารางเมตร |

2.10 วรรณกรรมปริทัศน์

ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกชนิดต่างๆ ปัจจุบันการศึกษากการถ่ายเท ความร้อนและการป้องกันความร้อนผ่านเข้ามาในอาคาร ยังมีการศึกษาด้านนี้กันน้อยมาก การศึกษา อิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกต่อการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ได้ถูก ทำการศึกษาขึ้นในปี 2538 [11] โดยใช้ชุดทดสอบเป็นกล่องทดสอบ เพื่อจำลองสภาพอาคาร

พบว่าในสภาวะอากาศปกติอุณหภูมิภายในกล่องจะมีค่าแปรผันตามค่า SC ของกระจกที่ใช้กับกล่องทดสอบนั้น หากใช้กระจก 2 ชั้น ที่เว้นช่องว่างอากาศตรงกลางไว้ (Air gap space) จะสามารถป้องกันความร้อนส่งผ่านเข้าสู่ภายในกล่องได้ดีกว่ากล่องที่ใช้กระจกชั้นเดียว อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้กระจกแบบสองชั้นนั้นจะมีช่วงระยะเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก 2 ชั้น จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและจะสูงนานกว่าแบบกระจกชั้นเดียว สำหรับกระจกชนิดเดียวกันที่ใช้ทดสอบนั้น หากมีความหนามากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการป้องกันการส่งผ่านความร้อนได้ดีเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของกระจก 2 ชั้น ที่ไม่ได้ทำการเว้นช่องว่างอากาศตรงกลางไว้และได้ทำการติดแผ่นฟิล์มตัดแสงในกระจกที่มีค่า SC น้อยจะทำให้การป้องกันการส่งผ่านความร้อนเพิ่มขึ้นจากเดิม และผลการทดลองในสภาวะที่เปิดเครื่องปรับอากาศจะพบว่า อุณหภูมิที่ผิวกระจกภายในกล่องทดสอบของกระจกที่มีค่า SC มากนั้น จะต่ำกว่าของกระจกที่มีค่า SC น้อย ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกระจกภายในห้องจะมากหรือน้อยก็ตามแต่จะแปรผกผันกับค่าของ SC ของกระจกนั้นสำหรับอุณหภูมิที่ผิวกระจกภายในกล่องทดสอบของกระจก 2 ชั้นที่เว้นช่องว่างอากาศตรงกลางจะต่ำกว่าของกระจกชั้นเดียว

ในปี 2541 [12] ได้มีการศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนสู่อาคารผ่านช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงโดยตรงโดยการหมุนหลบ จากการทดสอบผลของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกพบว่าในสภาวะปรับอากาศเมื่อพิจารณาระหว่างกระจกชั้นเดียวและ 2 ชั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำเท่ากันพบว่าอุณหภูมิที่ผิวกระจกภายในสูงสุดของกระจก 2 ชั้นต่ำกว่าชั้นเดียว 2°C สำหรับทิศใต้และ 3°C สำหรับทิศเหนือ ในสภาวะไม่ปรับอากาศพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้นสูงกว่ากระจกชั้นเดียว 4°C สำหรับทิศใต้และมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทิศเหนือ วิธีที่ 2 สามารถทำได้โดยพิจารณามวลสารภายใน ความจุความร้อนของมวลสารภายใน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกระจกในสภาวะไม่ปรับอากาศพบว่าการใช้มวลสารมากสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าที่มีมวลสารน้อย 6°C สำหรับทิศใต้ และ 2°C สำหรับทิศเหนือเมื่อใช้กระจกชั้นเดียว ความจุความร้อนของมวลสารจะมีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิภายในสูงสุดทางทิศใต้ได้ดีกว่าทางทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ช่องแสงกับการใช้คอนกรีตมวลเบาพบว่าคอนกรีตจะลดอุณหภูมิสูงกว่าการใช้ช่องแสง 3°C และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อิฐมอญพบว่าอุณหภูมิภายในสูงสุดจะมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาคือ 38°C สำหรับการใช้กระจกชั้นเดียวนั้นจะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกกล่องทดสอบได้ดีกว่าเมื่อใช้กระจก 2 ชั้น จึงทำให้อุณหภูมิภายในลดต่ำลงเร็วกว่า ดังนั้น การใช้มวลสารภายในสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเมื่อไม่มีการปรับอากาศ เพราะมวลสารช่วยกักเก็บความร้อนไว้ ดังนั้นควรเลือกใช้มวลสารมีความจุความร้อนมากขึ้นซึ่งทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องลดลง

และใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกได้เร็วมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้นและชั้นเดียวพบว่า กระจก 2 ชั้นมีค่าสูงกว่ากระจกชั้นเดียว ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในระหว่างช่องแสงทางทิศเหนือกับช่องแสงที่หมุนหลบแดดนั้นไม่แตกต่างกัน การลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ไม่ปรับอากาศสามารถทำได้โดยการใช้ผนังภายในที่มีความจุความร้อนมากและกระจกชั้นเดียวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ อาคารที่มีการปรับอากาศตลอดเวลาควรจะใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ เพื่อลดการแผ่รังสีความร้อนจากผิวกระจกและกักเก็บความเย็นภายในอาคารได้ ส่วนอาคารที่ไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลานั้น ควรมีผนังที่มีความจุความร้อนน้อยประกอบกับการเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ ส่วนการออกแบบให้ช่องแสงไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง ด้วยการใช้อุปกรณ์บังแดดอัตโนมัติหรือมีแผงกันที่สามารถเลื่อนปิด-เปิดได้

การศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ช่องเปิดบนหลังคาเพื่อรับแสงเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศได้ถูกศึกษาในปี 2543[13] พบว่า กระจกติดฟิล์ม P18 ที่มีความเข้ม 29% ,กระจกสะท้อนแสง 30%, พลาสติกสีม่วงที่มีความเข้ม 31% และไฟเบอร์กลาส KL 700 Cool-Light ที่ยอมให้แสงผ่านได้ 41% ซึ่งวัสดุ 4 ชนิดนี้ จัดว่าเป็นวัสดุที่ควรนำมาพิจารณาในการทำช่องเปิดหลังคาคงนั้นจึงควรเลือกวัสดุที่มีการสะท้อนแสงได้สูง และลักษณะผิววัสดุควรจะมีลักษณะเป็นมันวาวเพื่อที่จะสามารถช่วยในการสะท้อนแสงได้ดีขึ้น อีกทั้งสีของวัสดุควรจะเป็นสีเข้มเพื่อช่วยในการดูดซับแสงอาทิตย์ ส่วนทิศที่ควรทำช่องเปิดหลังคาคือทิศเหนือเนื่องจากสภาพการทำงานโดยทั่วไปไม่ต้องการใช้แสงสว่างมากตลอดเวลา ส่วนในทางทิศเหนือนั้นปริมาณแสงที่ส่องผ่านวัสดุ โดยเฉลี่ยแล้วจะไม่สูงมากนักและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายใน โดยเฉลี่ยจะต่ำกว่าทุกทิศส่วนในมุมที่ควรทำช่องเปิดหลังคาควรจะเป็นมุม 30 °C เนื่องมาจากมุมของช่องเปิดหลังคาสูงจะทำให้พื้นที่ที่จะรับแสงเข้ามาภายในได้นั้นจะน้อยกว่ามุมอื่นๆและสามารถช่วยลดความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารได้ ในปี 2544 [14] ได้มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างกระจกที่มีค่าการส่งผ่านรังสีมากก็จะก่อให้เกิดความไม่สบายต่อผู้อาศัยที่นั่งใกล้กับผนังกระจก เนื่องมาจากการส่งผ่านของรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงถึงแม้ว่าจะทำการปรับระดับของอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่สบายแล้วก็ตาม ส่วนชนิดของกระจกที่มีผลต่อความไม่สบายสูงสุด คือ กระจกใส ในขณะที่กระจกเคลือบสีและกระจกสะท้อนแสงจะมีความไม่สบายน้อยกว่ากระจกใสแต่จะมีความไม่สบายเนื่องจากอุณหภูมิผิวกระจกมากกว่ากระจกใส นอกจากนี้ยังพบว่ากระจก 2 ชั้น ที่ใช้กระจกสะท้อนแสงเป็นกระจกด้านนอกและใช้กระจกใสเป็นกระจกด้านใน โดยมีช่องว่างอากาศไว้ 6 mm จะให้ค่าดัชนีชี้ความสบาย Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกมีการศึกษาที่น้อยมากๆ ในต่างประเทศโดยทั่วไป การศึกษาด้านนี้จะเป็นการศึกษาในด้านการพัฒนาชุดทดสอบกระจก [15] หรือการพัฒนาด้านการใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพ [16,17,18] มากกว่าที่จะศึกษาปริมาณความร้อนถ่ายเทผ่านกระจก ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาที่ค่อนข้างใหม่และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้วัสดุโปร่งแสงกับอาคารอย่างเหมาะสมกับภูมิอากาศที่สุด

PDF

บทที่ 3

การออกแบบชุดทดสอบค่าการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจก

ในการวิจัยเพื่อหาค่าการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกอาคารนั้น เนื่องจากสภาพของอากาศในประเทศไทยมีความเปลี่ยนแปลงตลอดตามฤดูกาลอีกทั้งประเทศไทยยังมีเมฆมาก ฟ้าเปิดและปิดแต่ละวัน ไม่คงที่ตลอด ดังนั้นเพื่อให้การวิจัยได้ผลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้จึงต้องใช้ระบบจำลองแสงอาทิตย์ค่าที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมาเป็นเงื่อนไขในการทดสอบภายใต้ “ระบบแสงอาทิตย์เทียม (Solar simulation system)” โดยเลือกใช้ระบบแสงอาทิตย์เทียมแบบหลอดเดี่ยวโดยการติดตั้งหลอดไฟแบบหลอดไส้ที่ให้แสงและรังสีรวมที่ใกล้เคียงกับรังสีดวงอาทิตย์ที่สุดอีกทั้งยังต้องมีค่าความร้อนจากการแผ่รังสีต่อตารางเมตรที่เท่ากับค่ารังสีรวมที่ตกกระทบบนพื้นที่ของประเทศไทยอีกด้วย

3.1 ชุดทดสอบ

การออกแบบชุดทดสอบจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆซึ่งประกอบด้วย

- ขนาดของชุดทดสอบ
- ชนิดและประเภทหลอดไฟ
- หลอดไฟและโคมไฟ
- กระจกทดสอบ
- กล่องทดสอบ
- อุปกรณ์ในการวัด

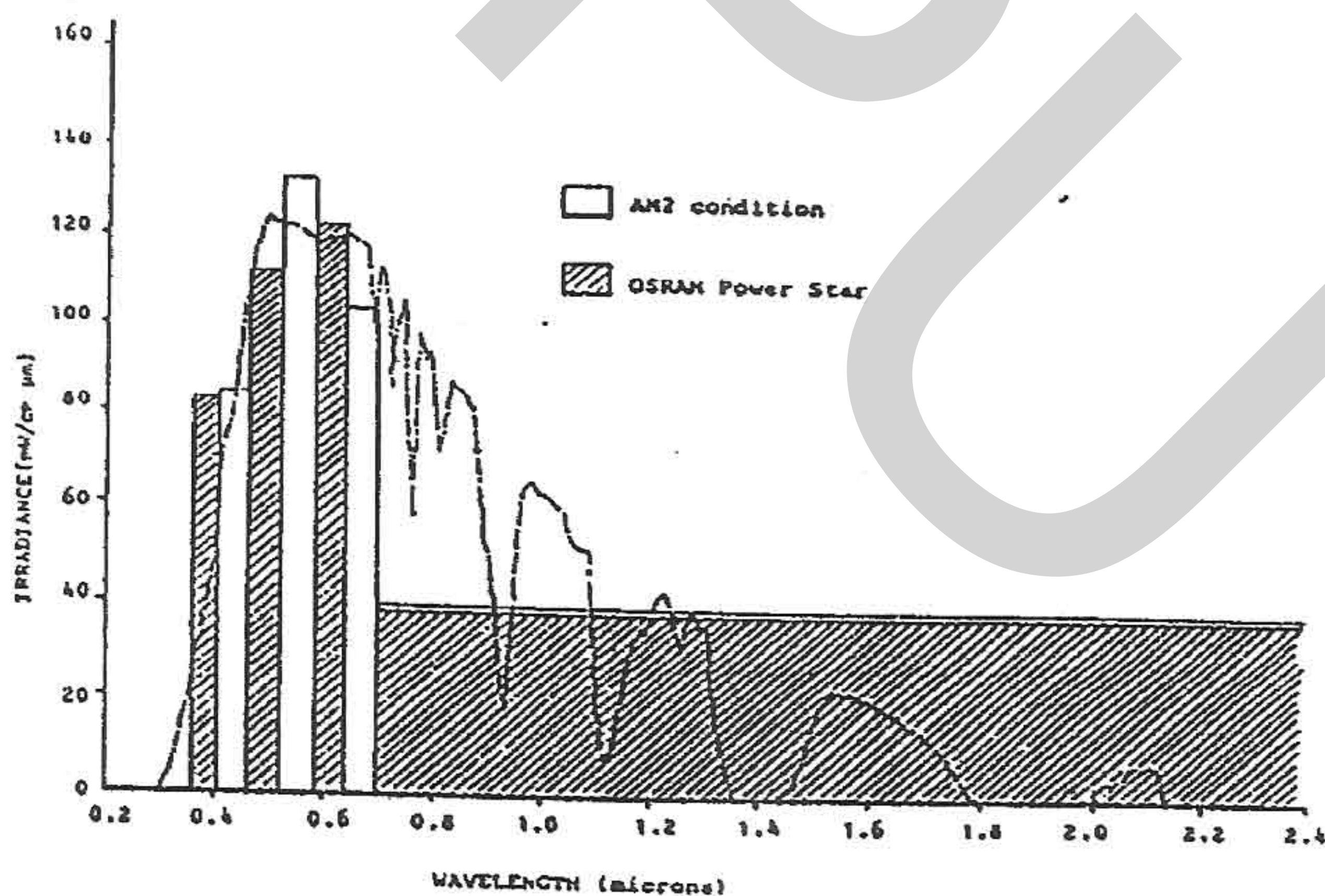
3.1.1 หลอดไฟและโคมไฟ

การเลือกใช้หลอดไฟที่ใช้ในการทดสอบต้องมีค่าพลังงานความร้อนและความเข้มแสงใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์ ซึ่งค่าความร้อนตกกระทบผิวพื้นของประเทศไทย มีค่า 750-800 W/m² ในการทดสอบจึงเลือกใช้หลอดไฟ OSRAM รุ่น HQI-E 250 W /NDL มีชื่อทางการค้าว่า POWER STAR ลักษณะรูปร่างคล้ายดอกบัวภายในเคลือบสารสะท้อนแสงให้มีความเข้มแสงมากขึ้น

หลอดให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ เทียบกับ SOLAR SPECTRUM ที่ AIR MASS 2 ที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐานของ ASHRAE ได้ดังนี้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น การวิจัยนี้ต้องการทราบถึงปริมาณการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกที่ใช้ทำหน้าต่างและหลังคาโปร่งแสงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตรงกับการสะสมความร้อนที่มากขึ้นในอาคารพักอาศัยและอาคารทั่วไป โดยการวิจัยนี้จะทำโดยการสร้างชุดจำลองในระดับโมเดลขนาด 1:10 ของห้องทดสอบขนาดพื้นที่ 48 m^2 ($8 \text{ m} \times 6 \text{ m}$) สูง 4 m โดยที่ห้องนี้จะมีกระจกเพียงด้านเดียวซึ่งรับแสงตลอดวันขนาด 9 m^2 ($3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$)

ดังนั้นการใช้มาตราส่วน 1:10 cm กล้องทดสอบจึงมีขนาด กว้าง ยาว สูง $80 \times 60 \times 40 \text{ cm}$ กล้องทดสอบทำด้วยแผ่นโลหะหนา 0.5 mm และบุด้วยฉนวนหนา 2.5 cm ทุกด้าน ด้านบนสุดจะมีช่องสำหรับใส่ชุดกระจกทดสอบ เนื่องจากการทดสอบจะกระทำภายใต้เงื่อนไขของการรับแสงจากแสงอาทิตย์เทียมเพื่อลดปัญหาของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล เหนือกระจกทดสอบในตำแหน่งกึ่งกลางจะติดตั้งหลอดไฟซึ่งเป็นหลอดแสงอาทิตย์เทียมจะถูกตั้งระยะที่ห่างจากกระจก 175 cm เพื่อให้แสงที่ส่องลงมาครอบคลุมเต็มพื้นที่กระจกและให้ความร้อนในอัตราที่เท่ากันทั้งแผ่นเช่นเดียวกับแสงอาทิตย์จริง



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทาง SPECTRUM ค่ารังสีแสงอาทิตย์และหลอด OSRAM รุ่น POWER STAR

จากคุณสมบัติของหลอดไฟพบว่า SPECTRUM ของค่ารังสีที่ใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์จริงที่สุดจึงสามารถนำมาใช้เป็นหลอดทดสอบแทนดวงอาทิตย์จริงได้

เนื่องจากการใช้หลอดไฟเป็นหลอดรูปดอกบัว ดังนั้น โคมไฟที่เลือกใช้ในชุดทดสอบต้องเป็น โคมประเภทที่สะท้อนแสงเพื่อให้แสงที่ได้ถูกกำหนดให้ส่องลงมาตรงชุดทดสอบทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกใช้โคมไฟ OPTEX รุ่น RD 27 เนื่องจากภายในโคมไฟเคลือบด้วยอลูมิเนียมซึ่งสามารถสะท้อนแสงทั้งหมดลงมายังแผ่นกระจกทดสอบและยังสามารถใช้ได้กับหลอดไฟ OSRAM รุ่น HQI – E อย่างเหมาะสมอีกด้วย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นชุดให้กำเนิดแสงต้องใช้หลักการของการจำลองการใช้ งานของกระจกจริงซึ่งตั้งอยู่ในบ้านที่มีการรับแสงจากพระอาทิตย์ ในการออกแบบจึงต้องใช้หลอด ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์จริงที่สุด ดังนั้นในการเลือกใช้ชุดให้กำเนิดแสงเป็นหลอดไฟ OSRAM รุ่น HQI – E ซึ่งให้แสงใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติมากที่สุดประกอบกับโคมไฟ OSRAM รุ่น RD-27 เพื่อบังคับให้แสงมีการส่องลงมาสู่ชุดทดสอบโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 3.2



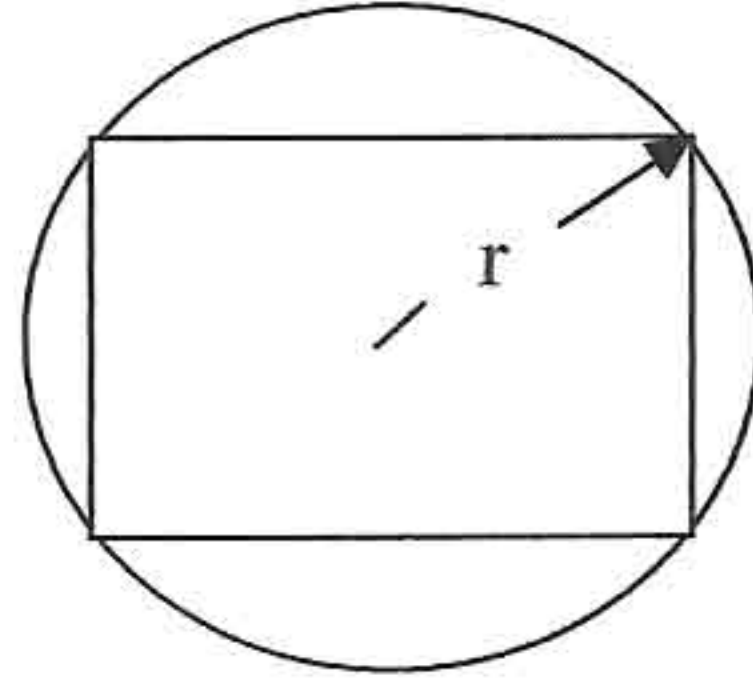
รูปที่ 3.2 รูปชุดให้กำเนิดแสง

3.1.2 กระจกทดสอบ

เนื่องจากการทดสอบการส่องผ่านความร้อนและแสงบนแผ่นกระจกโดยใช้แสงอาทิตย์เทียมจะต้องกำหนดให้แสงจากหลอดไฟลงตกกระทบบนเต็มพื้นที่กระจกในการทดสอบทั้ง ยังต้องมีความเข้มของแสงที่มีค่าปริมาณรังสีรวมต่อพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 700 W/m^2 ประสิทธิภาพของ

หลอดประมาณ 54 Lumens/W ดังนั้นในการคำนวณขนาดของพื้นที่กระจกทดสอบ จึงกำหนดขนาดพื้นที่กระจกจากการคำนวณดังนี้

$$\text{พื้นที่กระจกทดสอบ } 0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 0.09 \text{ m}^2$$



รูปที่ 3.3 การออกแบบขนาดของกระจกที่ให้ลำแสงครอบคลุมได้ทั้งหมด

พื้นที่ที่แสงจากหลอดตกบนกระจกต่อพื้นที่ที่แสงจากหลอดครอบคลุมทั้งหมดมีค่า

$$2r^2 / \pi r^2 = 2/\pi = 0.6366$$

ดังนั้นพื้นที่แสงตกกระทบ

$$= \pi r^2$$

$$= \pi \times (0.15 \times \text{cosec}45)^2$$

$$= 0.14137 \text{ m}^2$$

$$= 0.09 \text{ m}^2$$

พื้นที่กระจก

พื้นที่กระจก/พื้นที่แสงตกกระทบ

$$= 0.09 \text{ m}^2 / 0.14137 \text{ m}^2$$

$$= 0.636 \times 100 \%$$

$$= 63.66 \%$$

ประสิทธิภาพของหลอด 53 Lumens /W × พลังงานจากหลอด 250 W

$$= 13500 \text{ Lumens}$$

ขนาดของพื้นที่รับแสง

$$= 13500 \times 63.66 \times (1/0.99 \text{ m}^2)$$

$$= 95490 \text{ LUX}$$

จากปริมาณแสงสว่าง LUX

$$= 120 \times \text{กำลังงาน W/m}^2$$

ได้ปริมาณแสงจากหลอด

$$= 95490 / 120$$

ความเข้มของแสงจากหลอด = 795.76 W/m^2 ตกกระทบบนกระจกพื้นที่ขนาด 0.09 m^2

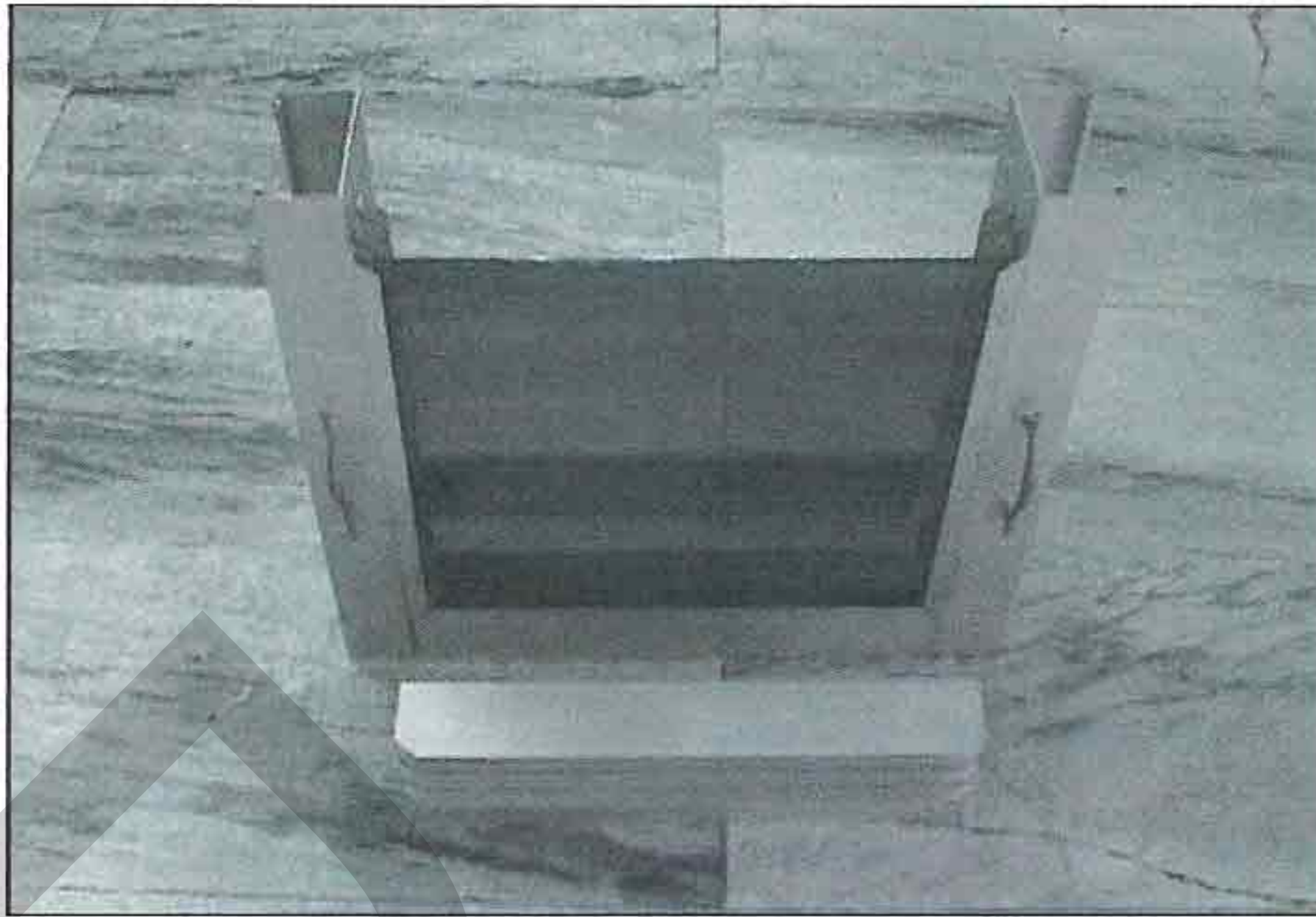
ดังนั้นกระจกทดสอบที่ใช้ทุกขนาดจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $30 \times 30 \text{ cm}$ กรอบกระจกทำด้วยอลูมิเนียมขนาด $35 \times 35 \text{ cm}$ สูง 10 cm โดยกรอบอลูมิเนียมสำหรับกระจกสองชั้นห่างกัน 1.5 cm ภายในการทดสอบจะมีกระจกทดสอบทั้งหมด 8 แบบ บนกรอบจำนวน 7 กรอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.4-3.10

ตาราง 3.1 แสดงลักษณะของกระจกที่ใช้ในการทดสอบ

ชุดทดสอบ	สีกระจก	ชั้นกระจก	กระจกชั้นบน	กระจกชั้นล่าง	ระยะห่าง
L-1	เงินเข้ม	1	-	-	-
L-2	เทาเข้ม	1	-	-	-
L-3	น้ำเงิน	1	-	-	-
L-4	ฟ้าใส	1	-	-	-
L-5	-	2	ติดฟิล์มสีเงินเข้ม	กระจกใส	15 ม.ม.
L-6	-	2	กระจกใส	ติดฟิล์มสีน้ำเงินเข้ม	15 ม.ม.
L-7	-	2	กระจกใส	ติดฟิล์มสีเงินเข้ม	15 ม.ม.



รูปที่ 3.4 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเงินเข้ม (L-1)



รูปที่ 3.5 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเทาเข้ม (L-2)



รูปที่ 3.6 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีน้ำเงิน (L-3)



รูปที่ 3.7 กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีฟ้าใส (L-4)



รูปที่ 3.8 กระจกสองชั้นติดฟิล์มสีเงิน ชั้นล่างใส (L-5)



รูปที่ 3.9 กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้ม(L-6)



รูปที่ 3.10 กระจกสองชั้น ชั้นบนใสชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้ม
พร้อมช่องระบายอากาศ(L-7)

3.1.3 กล่องทดสอบ

ชุดกล่องทดสอบเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการจำลองห้องทดสอบจริงโดยใช้สัดส่วน 1:10 เพื่อใช้ในการจำลองสภาพการใช้งาน โดยเป็นกรณีห้องที่ปิดทั้งหมดแล้วมีหน้าต่างเพียง 1 ด้านที่รับแสงเต็มที่ทั้งวัน กล่องทำด้วยแผ่นเหล็กขนาด 80×60 cm จำนวน 2 แผ่น แผ่นเหล็กขนาด 60×40 cm จำนวน 2 แผ่น และแผ่นเหล็กขนาด 70×60 cm พับขอบเชื่อมเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในหุ้มด้วยฉนวนตามแบบและขนาดที่กำหนดแล้วหุ้มด้วยการทากาวยางเข้ากับผิวทั้ง 6 ด้าน ชุดฝาปิดกล่องทดสอบทำด้วยแผ่นเหล็กขนาด 80×60 cm มาตัดกลางภายในเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 30×30 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพกล่องทดสอบ

3.1.4 ฉนวนกันความร้อน

เนื่องจากการวิจัยต้องการทดสอบผ่านกระจกห้องทดสอบจึงกำหนดให้มีกระจกด้านเดียวและต้องป้องกันความร้อนสูญเสียจากห้องทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาของการทดสอบจึงต้องใช้ฉนวนหุ้มโดยรอบกล่องทดสอบทุกๆด้าน ซึ่งฉนวนกันความร้อนที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการส่งผ่านความร้อนได้เป็นอย่างดี เพื่อป้องกันความร้อนที่จะสูญเสียเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนไปสู่ภายนอก จึงเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนแบบใยแก้วหนา 2.5 เซนติเมตร เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนในชุดทดสอบ เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่ายทั้งยังเป็นที่ยอมรับใช้กับอาคารอย่างแพร่หลายและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนเป็นอย่างดีและนำมาใช้งานได้สะดวกอีกด้วย

3.1.5 อุปกรณ์การวัด

ในการทดสอบการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกจะมีการวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวบนผิวล่างภายในห้องทดสอบ อุณหภูมิบรรยากาศและปริมาณแสงที่ส่งผ่านกระจกเข้าสู่ภายในกล่องทดสอบโดยมีอุปกรณ์ในการวัดต่างๆดังนี้

Digital Temperature display รุ่น ID-8 (DIGICON)

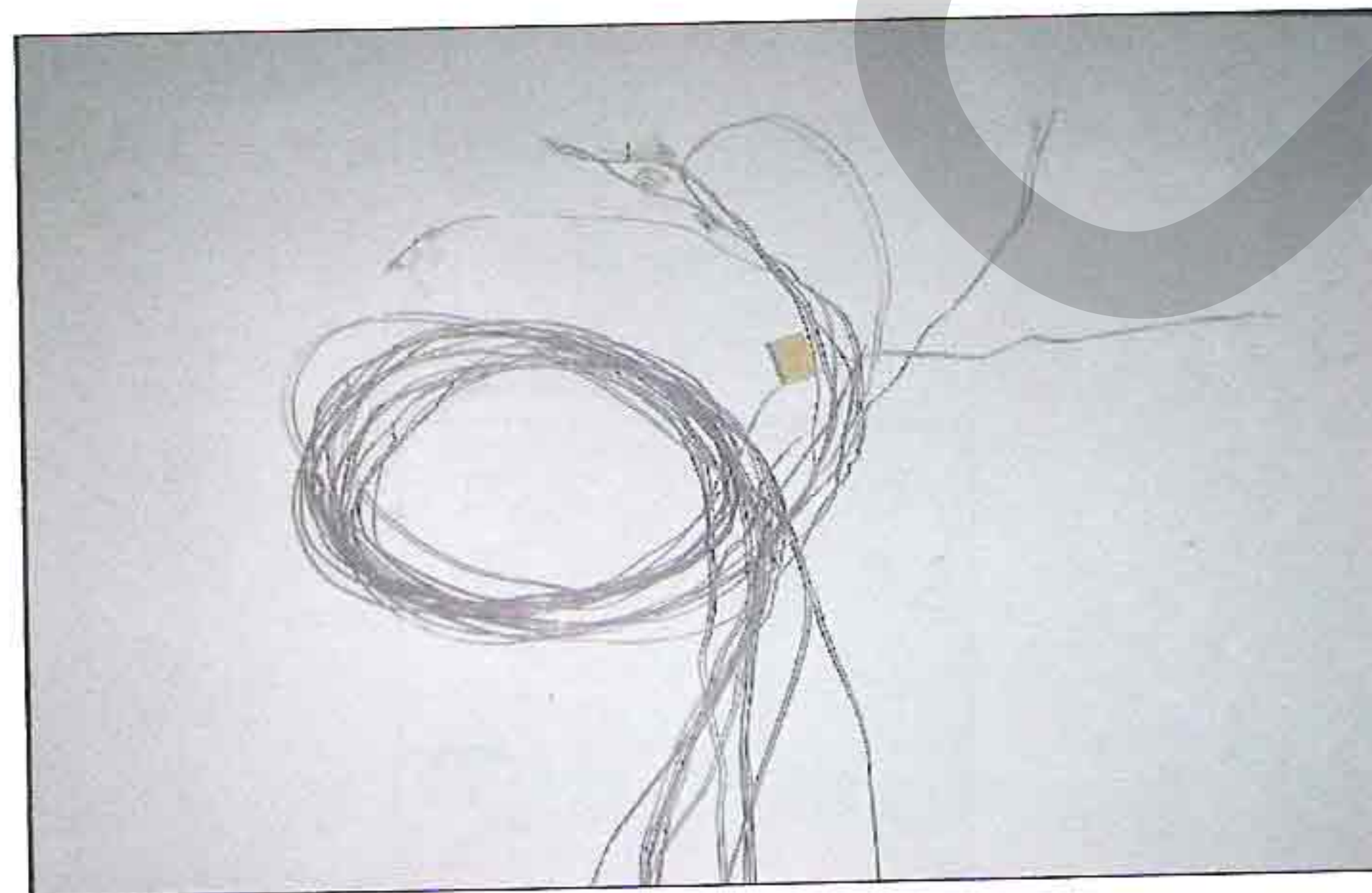
Temperature Switch รุ่น TS-84 HT (DIGICON)

Thermocouple Type T

Luxmeter รุ่น LX-50



รูปที่ 3.12 ชุดแสดงผลอุณหภูมิในชุดทดสอบ



รูปที่ 3.13 สาย Thermocouple Type T



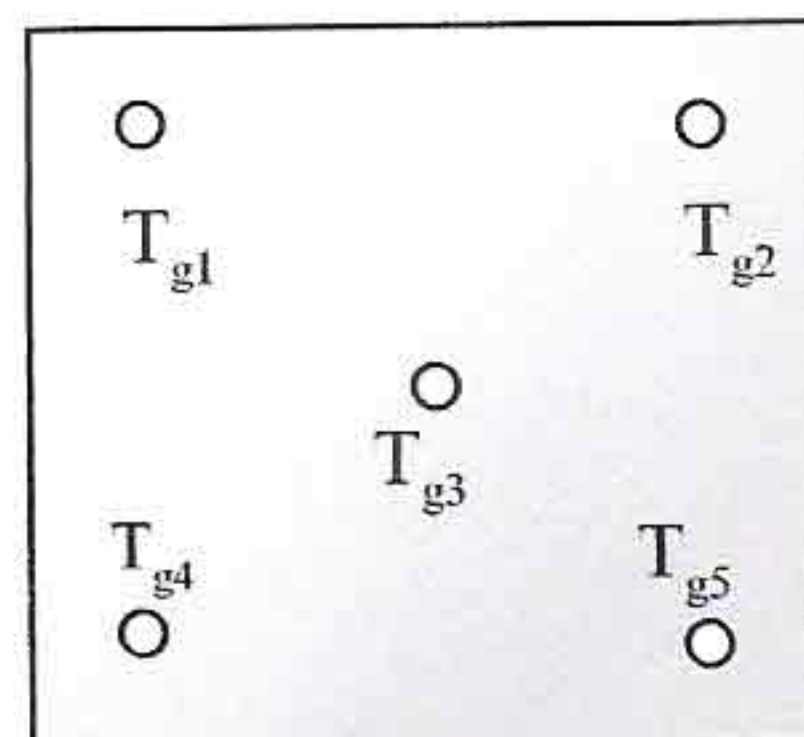
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์วัดแสง Luxmeter รุ่น LX – 50

- การวัดความสว่างของแสงโดยการใช้ Lux meter

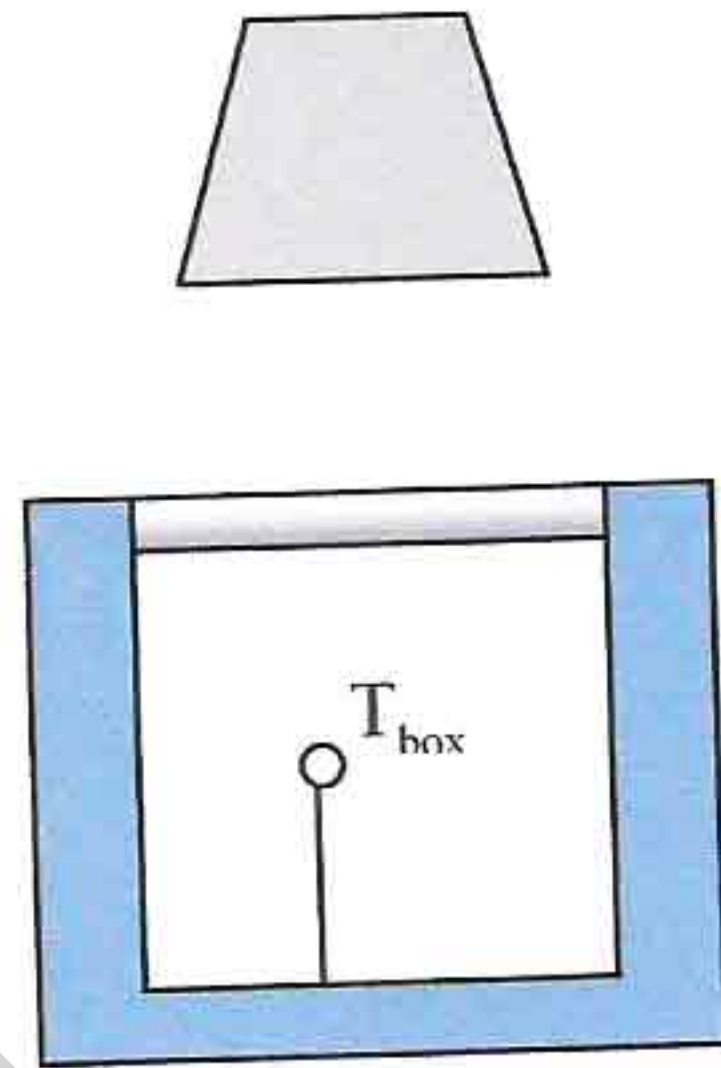
ในการวัดค่าการส่งผ่านแสงทำได้โดยการตั้งระยะห่างระหว่างหลอดไฟกับแผ่นกระจก ให้ได้ความสว่างประมาณ 16,500 Lux หลังจากนั้นทำการวัดค่าทุก 10 นาทีจนกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วทำการวัดความสว่างของแสงที่ส่องผ่านกระจกเข้าไปด้านในกล่องทดสอบโดยใช้ Lux meter บันทึกผลการวัดทุกๆ 10 นาที จนเข้าสู่สภาวะคงที่เช่นเดียวกับการทดสอบครั้งต้น

- การวัดอุณหภูมิผิวของชุดทดสอบ

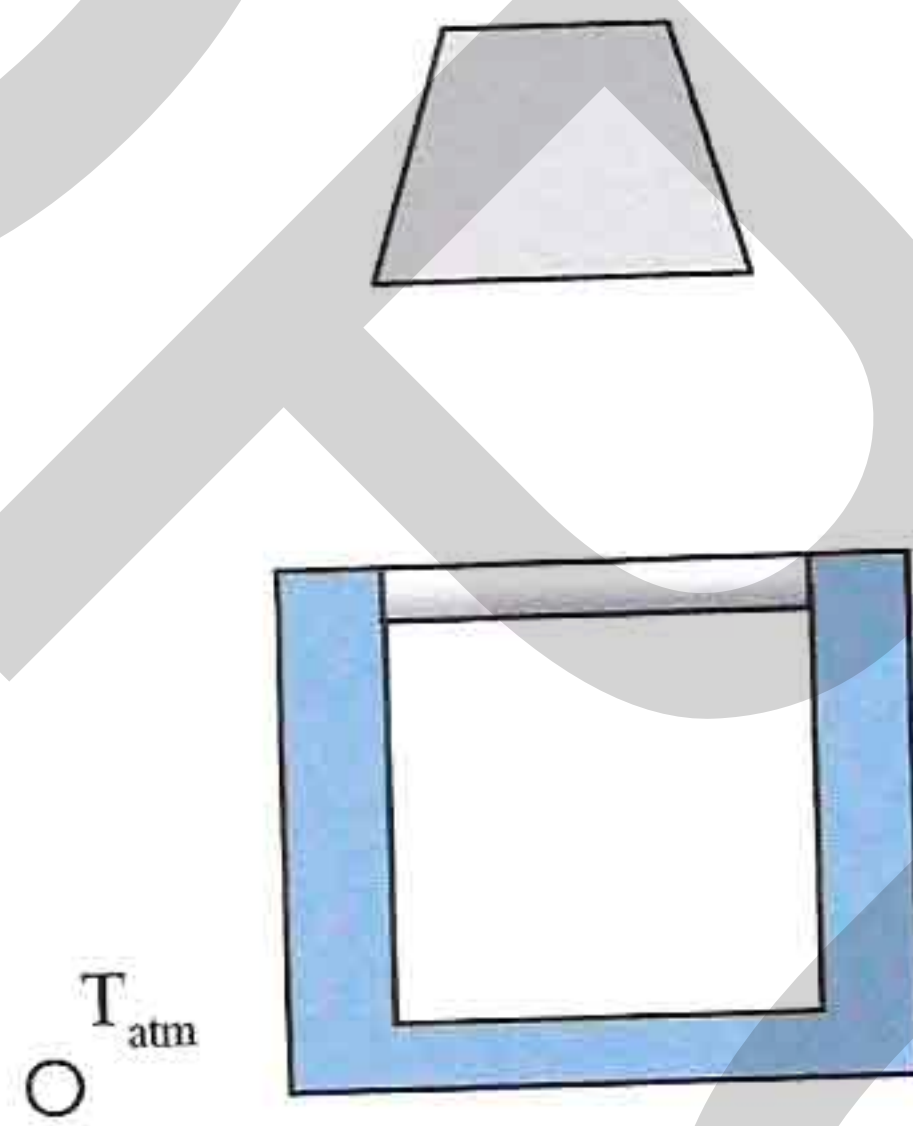
ในการวัดค่าอุณหภูมิของชุดทดสอบจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิด้านบนและด้านล่างของชุดทดสอบ โดยการติดตั้งสาย Thermocouple ทั้งหมด 12 จุด ดังรูปที่ 3.15 ถึงรูปที่ 3.17 ค่าที่ได้จากการวัดอุณหภูมิจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ อุณหภูมิผิวกระจก (3.15) อุณหภูมิภายในกล่องทดสอบ (รูปที่ 3.16) และอุณหภูมিবรรยากาศ (รูปที่ 3.17)



รูปที่ 3.15 จุดวัด 5 จุดบนและใต้ผิวกระจก



รูปที่ 3.16 จุดวัดจุดที่ 6 กลางกล่องทดสอบ



รูปที่ 3.17 จุดวัดจุดที่ 7 วัดอุณหภูมิของห้องทดลอง

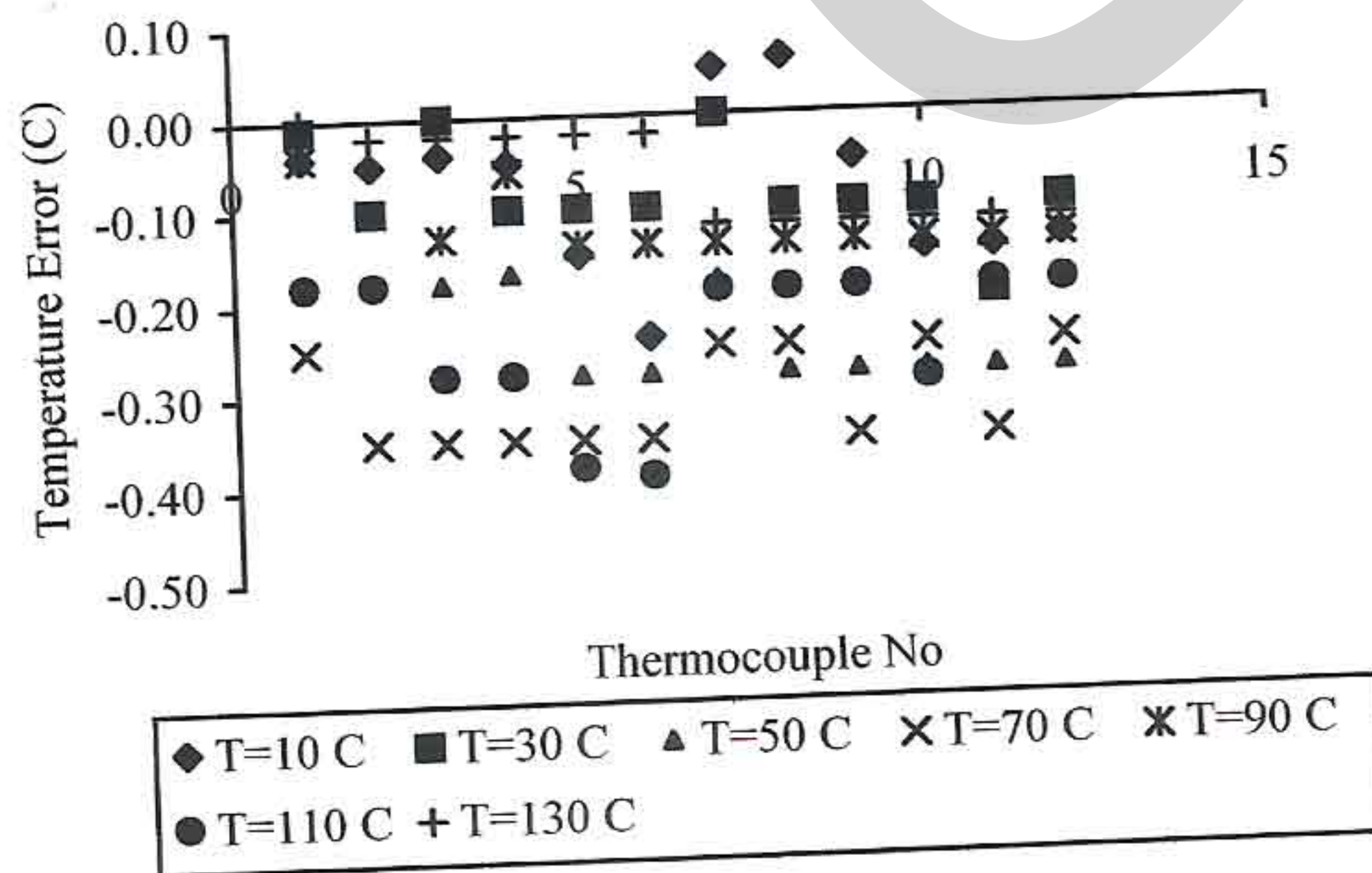
ในการเก็บข้อมูลจะทำการบันทึกผลการทดสอบโดยวัดค่าอุณหภูมิทุกจุดทั้ง 12 จุด และค่าปริมาณแสงจาก Lux meter ทั้งด้านนอกและด้านในของกล่องทดสอบทุกๆ 10 นาที นับตั้งแต่เริ่มต้นจนค่าอุณหภูมิที่วัดได้ที่ผิวกระจกมีค่าเข้าคงที่ทางความร้อน (อุณหภูมิมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา) โดยทำการทดสอบกับกระจกทดสอบตามลำดับในตารางที่ 3.1

3.2 การสอบเทียบอุปกรณ์วัด

ในการวิจัยด้านการส่งผ่านความร้อนผ่านกระจกต้องมีการนำเครื่องมือวัดเข้ามาเพื่อวัดค่าอุณหภูมิในการทดสอบด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการสอบเทียบอุปกรณ์วัด เพื่อความถูกต้องของผลการทดสอบ เพื่อจะทำให้เราทราบถึงเครื่องมือวัดที่เราใช้นั้นมีความแม่นยำเพียงใด โดยในการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่าง ๆ พบว่า สาย Thermocouple (Type T) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิได้ทำการสอบเทียบโดยใช้ Water Bath Calibration Method (รูปที่ 3.18) ซึ่งมีการทดสอบได้ทำขึ้นโดยศูนย์สอบเทียบมาตรวัดอุตสาหกรรมกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมโดยได้ทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 10- 130 °C โดยมีการเพิ่มของอุณหภูมิขึ้น 20 °C ต่อช่วงการทดสอบพบว่าค่าผิดพลาดของสาย Thermocouple (Type T) ที่ใช้ในการทดสอบ 10 เส้น มีค่าอยู่ที่ ± 0.5 °C (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.18 เครื่องมือสอบเทียบสาย Thermocouple



รูปที่ 3.19 ผลการสอบเทียบสาย Thermocouple

อุปกรณ์อีกอุปกรณ์ที่สำคัญมากคือ การวัดปริมาณแสง โดยใช้ Lux meter ซึ่งการสอบเทียบ Lux meter ได้ทำการสอบเทียบจากโรงงานผู้ผลิตซึ่งค่าผิดพลาดในแต่ละช่วงการวัดดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถูกต้องของ Luxmeter รุ่น LX – 50

ช่วงย่านการวัด (Lux)	ค่าผิดพลาด	ค่าความถูกต้อง
0 - 1,999 Lux	1 Lux	±5% + 2 d
2,000 - 19,990 Lux	10 Lux	
20,000 - 50,000 Lux	100 Lux	

3.3 ปริมาณความร้อนส่งผ่านกระจก

ในการหาค่าความร้อนส่งผ่านกระจก การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกสู่อากาศซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบกับภาระของการปรับอากาศ

การนำความร้อน

$$\frac{Q}{A} = \frac{K}{L} (T_g - T_A) \quad \dots\dots\dots 3.1$$

- เมื่อ
- Q = ความร้อนที่สะสมในกล่องทดสอบ kJ
 - K = สภาพนำความร้อน W/(m.K)
 - L = ความส่องสว่าง (cd/m²)
 - T_g = อุณหภูมิผิวกระจก (K)
 - T_A = อุณหภูมิในกล่องทดสอบ (K)
 - A = พื้นที่ (m²)

การพาความร้อน

$$\frac{Q}{A} = h (\Delta T) \quad \dots\dots\dots 3.2$$

- เมื่อ
- Q = ความร้อนที่สะสมในกล่องทดสอบ kJ
 - A = พื้นที่ (m²)
 - h_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
 - T_g = อุณหภูมิผิวกระจก (K)
 - T_A = อุณหภูมิในกล่องทดสอบ (K)

การแผ่รังสี

$$\frac{Q}{A} = \sigma \varepsilon (T_g - T_{atm}) \quad \dots\dots\dots 3.3$$

เมื่อ

 Q_A = ความร้อนที่สะสมในกล่องทดสอบ kJ A = พื้นที่ (m^2) ε = ค่าการเปล่งรังสีความร้อน (W/m^2) σ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2.k^4$) T_g = อุณหภูมิผิวกระจก (K) T_{atm} = อุณหภูมิบรรยากาศ

ค่าของการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนมาก ดังนั้นปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนของอาคารคือ การนำความร้อน ดังนั้นในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้จะเน้นที่การนำความร้อนโดยสมการ (3.1) ในการคำนวณหาความร้อนส่งผ่านกระจกสู่อาคารส่วนความร้อนที่สะสมในห้องสามารถหาได้จากสมการ

$$Q = mC_p (T_g - T_A) \quad \dots\dots\dots 3.4$$

เมื่อ Q = ความร้อนที่สะสมในกล่องทดสอบ kJ m = มวลของอากาศในกล่องทดสอบหาได้จาก

$$m = \rho V$$

โดย

 ρ = ความหนาแน่นของอากาศในกล่องทดสอบ Kg/m^3 V = ปริมาตรของกล่องทดสอบ m^3 C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ $KJ/Kg K$ T_g = อุณหภูมิผิวกระจก (K) T_A = อุณหภูมิในกล่องทดสอบ (K)

สมการที่ 3.4 เป็นสมการพื้นฐานในการหาปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในกล่องทดสอบ อย่างไรก็ตามหากต้องการหาค่าความร้อนสะสมต่อเวลาต้องวัดค่าอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้นในกล่องทดสอบซึ่งต้องใช้เครื่องมือ Viscalisation Technique ซึ่งมีราคาแพงมาก งานวิจัยนี้จึงคิดแต่เพียงความร้อนที่สะสมเมื่ออยู่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น การวิจัยนี้ถูกแบ่งออกได้เป็นสามส่วนใหญ่ ๆ ตามลักษณะคุณสมบัติของการใช้วัสดุโปร่งแสงกับอาคารดังนี้

1. การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของ ชุดทดสอบ
2. การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านกระจก
3. การส่งผ่านแสงเข้าสู่อาคารผ่านกระจก

ส่วนแรกเป็นส่วนของการทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของเครื่องมือทดสอบ เนื่องจากในการทดสอบมีการใช้ระบบแสงอาทิตย์เทียม ดังนั้น การตกกระทบของแสงบนแผ่นกระจกและระยะห่างของหลอดกับแผ่นกระจกต้องมีความเหมาะสมซึ่งจะทำให้อุณหภูมิผิวของกระจกมีค่าเท่ากันทั้งแผ่นอีกทั้งจำนวนครั้งของการทำการทดลองซ้ำเพื่อให้ข้อมูลยอมรับได้ทางสถิติเพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเป็นที่ยอมรับที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

ส่วนที่สองเป็นส่วนของการส่งผ่านความร้อนจะเป็นการศึกษาถึงลักษณะของการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคาร ในรูปแบบของภาพรวมในการถ่ายเทความร้อนและความร้อนที่สะสมตามช่วงเวลานับจากการที่กระจกเริ่มรับแสงอาทิตย์จนถึงช่วงที่ความร้อนสะสมภายในห้องผ่านกระจกรูปแบบต่างๆ ที่ใช้ในอาคาร ซึ่งผลที่ได้รับนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในด้านการประเมินค่าความร้อนสะสมในอาคารผ่านกระจกและค่าการปรับอากาศนอกจากนั้นจำนวนครั้งการทดสอบที่ต้องทำซ้ำเพื่อให้ผลการทดสอบสามารถยอมรับได้ภายใต้ค่าความเชื่อมั่น 95 % ได้ถูกทำการทางสถิติดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองจึงเป็นผลที่สามารถยอมรับได้ทางวิศวกรรม

ส่วนที่สามเป็นส่วนของการส่งผ่านแสง เป้าหมายหลักของการติดตั้งผนังโปร่งแสงหรือกระจกกับอาคารเพื่อให้ผู้ที่อาศัยในอาคารได้เห็นทิวทัศน์ภายนอกและยังสามารถรับแสงจากธรรมชาติเข้ามาเพื่อลดการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในอาคาร ดังนั้นในส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบทางพลังงานเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมของการใช้กระจกที่จะลดการใช้แสงในอาคารให้เกิดการประหยัดพลังงานในส่วนของไฟแสงสว่างได้

4.1 การวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของชุดทดสอบ

ในการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของชุดทดสอบที่ได้จัดสร้างขึ้นตามเงื่อนไขของการใช้หลอดแสงอาทิตย์เทียมแบบหลอดเดี่ยวดังนั้นในการทดสอบจะทำภายใต้เงื่อนไขการกระจายของอุณหภูมิบนพื้นผิวจะต้องเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดตามเงื่อนไขการทดสอบแบบอุณหภูมิคงที่ (Uniform temperature condition) การวิเคราะห์จะใช้วิธี ANOVA เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างค่า mean เปรียบเทียบกับค่า Variance โดยกำหนดค่าทดสอบค่าที่ต้องการจากข้อมูลทดสอบที่ต้องการ ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้วิธี F-Test ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่า Between-sample variation และค่า Within-sample variation ดังสมการที่ 4.1

$$F = \frac{\text{Between - sample variation}}{\text{Within - sample variation}}$$

$$F = \frac{SST / D.F.treatment}{SSE / D.F.error} \dots\dots\dots(4.1)$$

เมื่อ

SST = จำนวนผลรวมของจำนวนค่าที่วัดมาทั้งหมดเนื่องจากตัวแปรที่ใช้ทดสอบอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดทั้ง 3 กลุ่มของการวัด (ซ้าย ขวา และกลาง)

SSE = จำนวนกลุ่มของการทดสอบทั้งหมด (7 แผ่นทดสอบ)

เนื่องจากการทดสอบทำบน 3 กลุ่มของการวัดค่าแต่ละด้านประกอบไปด้วยจุดวัด 3 จุด (รูปที่ 4.1)รวมทั้งสิ้น 9 ค่าดังนั้นค่า Degree of freedom (D.F) จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} D.F. &= n-1 \\ &= 9-1 \\ &= 8 \end{aligned}$$

ส่วนค่า Degree of treatment (D.F. treatment) = จำนวนกลุ่มของการทดสอบ-1

$$\begin{aligned} D.F. \text{ treatment} &= 7-1 \\ &= 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่า } D.F. \text{ error} &= D.F. \text{ total} - D.F. \text{ treatment} \\ &= 8-6 \\ &= 2 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการที่สมการที่ 4.1 จะได้
$$F = \frac{SST/6}{SSE/2}$$

กำหนดค่าสมมุติฐานในช่วงที่ใช้ไม่ได้เป็นค่าที่ไม่แตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม

ดังนั้น

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

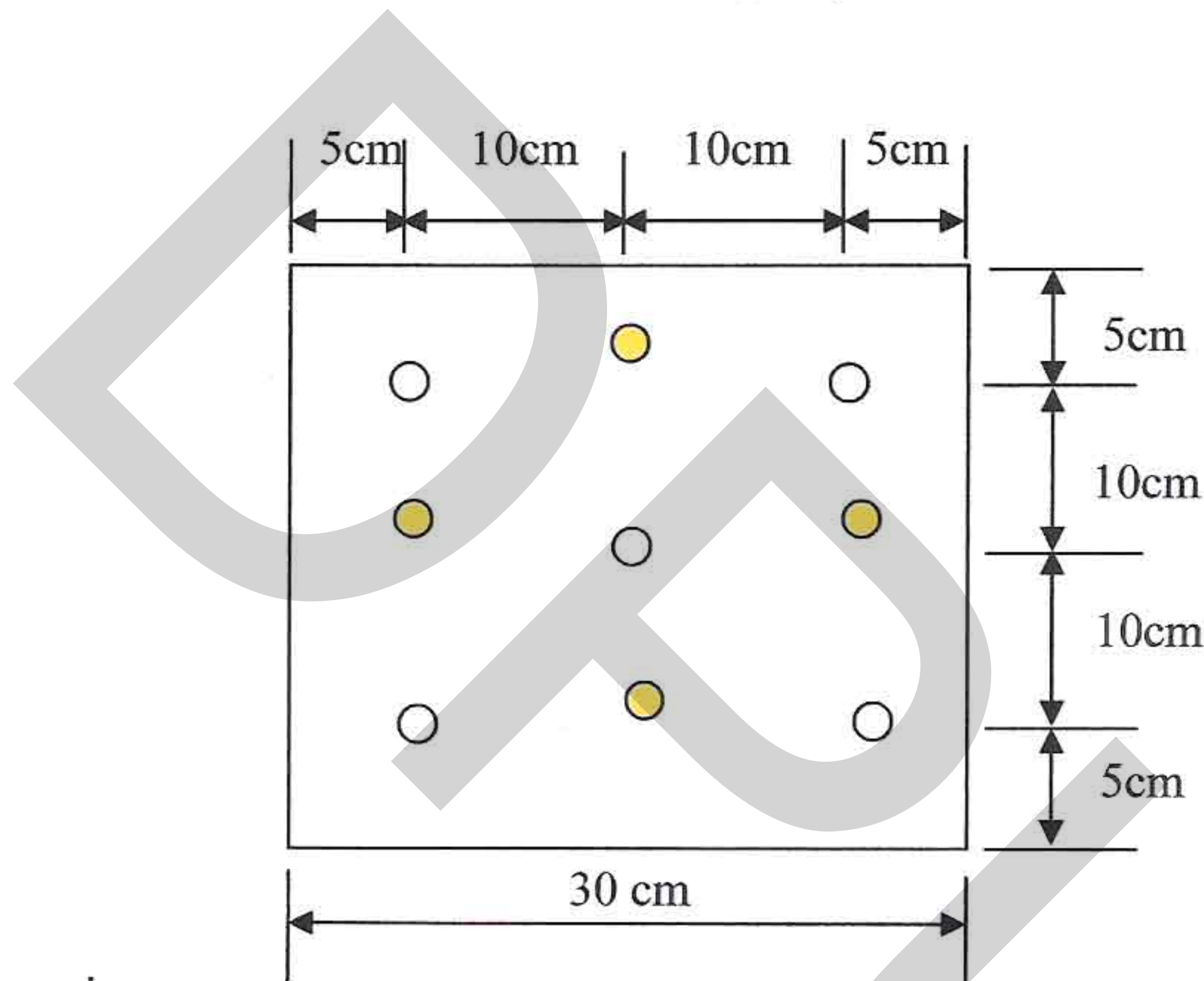
เมื่อ

μ_1 = เป็นค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิที่วัดในแนวด้านซ้าย

μ_2 = เป็นค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิที่วัดในตำแหน่งแนวกลาง

μ_3 = เป็นค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิที่วัดในแนวด้านขวา

ซึ่งในการวิเคราะห์จะวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิผิวบนและล่างของแผ่นทดสอบ



รูปที่ 4.1 การวัดอุณหภูมิผิวของกระจกด้านบนและด้านล่างของกระจกทดสอบจุดขาวเป็นจุดวัดจริงจุดเหลืองเป็นจุดที่ได้จากค่าเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของกระจกทดสอบทั้ง 7 แบบของกระจกทั้งบนและล่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าค่าทั้งหมดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% (ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตาราง 4.2)

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิผิวกระจกด้านบน

ชนิดกระจก	F	F _{crit}	P-Value	Resolution (α)
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเงินเข้ม (L-1)	0.4	7.0	0.7	0.01
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเทาเข้ม (L-2)	0.1	7.0	0.9	0.01
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีน้ำเงิน (L-3)	0.1	7.0	0.9	0.01
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีฟ้าใส (L-4)	0.6	7.0	0.6	0.01
กระจกสองชั้นติดฟิล์มสีเงิน ชั้นล่างใส (L-5)	0.5	7.0	0.7	0.01
กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีน้ำเงินเข้ม (L-6)	0.01	7.0	0.9	0.01
กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้มพร้อมช่องระบายอากาศ (L-7)	0.01	7.0	0.9	0.01

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิผิวล่างของกระจก

ชนิดกระจก	F	F _{crit}	P-Value	Resolution (α)
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเงินเข้ม (L-1)	0.4	7.2	0.7	0.01
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเทาเข้ม (L-2)	0.2	7.2	0.9	0.01
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีน้ำเงิน (L-3)	0.2	7.2	0.9	0.01
กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีฟ้าใส (L-4)	0.6	7.2	0.6	0.01
กระจกสองชั้นติดฟิล์มสีเงิน ชั้นล่างใส (L-5)	0.5	7.2	0.7	0.01
กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีน้ำเงินเข้ม (L-6)	0.01	7.2	0.9	0.01
กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้มพร้อมช่องระบายอากาศ (L-7)	0.01	7.2	0.9	0.01

จากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าค่า F ทุกค่ามีค่าต่ำกว่าค่า $F_{critical}$ ซึ่งแสดงว่าค่าความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิทั้ง ด้านซ้าย ด้านขวาและแนวกลางไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นการกระจายอุณหภูมิที่บนพื้นผิวบนและล่างของแผ่นทดสอบทั้ง 7 แบบ สามารถยอมรับได้ตามเงื่อนไขอุณหภูมิคงที่ภายใต้ค่าความเชื่อมั่นที่ 99%

4.2 การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านกระจก

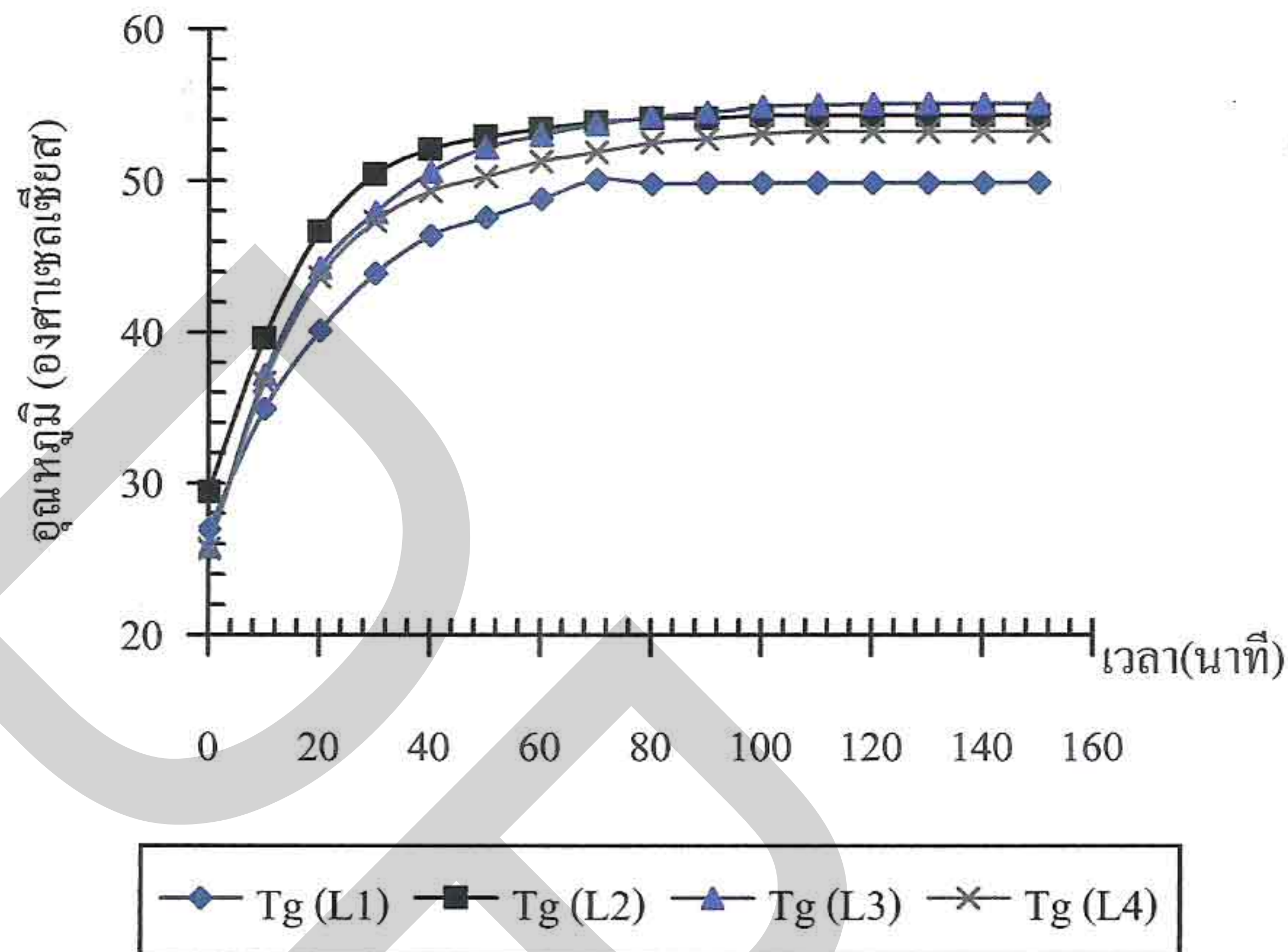
การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักในการทดสอบการส่งผ่านความร้อนของกระจกแบบต่างๆ ที่ใช้กับอาคารเมื่อกระจกรับแสงอาทิตย์โดยตรงดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณการส่งผ่านความร้อนจึงมีปัจจัยที่มีผลคือ อุณหภูมิผิวด้านในของกระจก อุณหภูมิห้อง และความร้อนสะสมภายในห้องที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งกระจกที่ใช้ทดสอบทั้ง 7 แบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- กลุ่มของกระจกชั้นเดียว ประกอบด้วยกระจกทดสอบ 4 แบบคือ
 - กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเงินเข้ม (L-1)
 - กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีเทาเข้ม (L-2)
 - กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีน้ำเงิน (L-3)
 - กระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสีฟ้าใส (L-4)
- กลุ่มของกระจก 2 ชั้น ประกอบด้วยกระจกทดสอบ 3 แบบคือ
 - กระจกสองชั้นติดฟิล์มสีเงิน ชั้นล่างใส (L-5)
 - กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีน้ำเงินเข้ม (L-6)
 - กระจกสองชั้น ชั้นบนใส ชั้นล่างติดฟิล์มสีเงินเข้ม พร้อมช่องระบายอากาศ (L-7)

4.2.1 การกระจายอุณหภูมิของกระจก

เมื่อกระจกรับแสงจะเกิดพฤติกรรมจากการกระทบของรังสี 3 รูปแบบคือ การสะท้อนแสงออกไปส่วนหนึ่ง แสงอีกส่วนจะส่งผ่านเข้าไปในกล่องทดสอบและแสงในส่วนสุดท้ายจะถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกเอง ส่งผลให้กระจกร้อนขึ้นตามเวลา จากการทดสอบพบว่ากระจกที่ติดฟิล์มสีเงินเข้มจะให้ค่าการสะท้อนความร้อนที่สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ จึงส่งผลให้การสะสมความร้อนใช้เวลายาวนานกว่ากระจกที่ติดฟิล์มกรองแสงประเภทอื่นๆ อย่างไรก็ตามกระจกชั้นเดียวติดฟิล์มทุกประเภทที่ใช้ในการทดสอบจะมีช่วงเวลาการสะสมความร้อนจนเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนภายในเวลา 70-100 นาที โดยจะมีอุณหภูมิที่จุดคงที่ทางความร้อนอยู่ในช่วง อุณหภูมิ 48-54.5 °C (รูปที่ 4.2) จากการทดสอบพบว่าในการเลือกใช้ฟิล์มกับกระจกจะต้องพิจารณาถึงค่าการสะท้อน

ความร้อนของฟิล์มซึ่งค่านี้จะส่งผลโดยตรงกับอุณหภูมิกระจกเมื่อกระจกเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนกระจกที่มีค่าการสะท้อนความร้อนสูงจะสามารถลดอุณหภูมิกระจกที่สภาวะคงที่ทางความร้อนได้ต่ำกว่าการติดฟิล์มประเภทอื่นเล็กน้อย (3-6 °C)

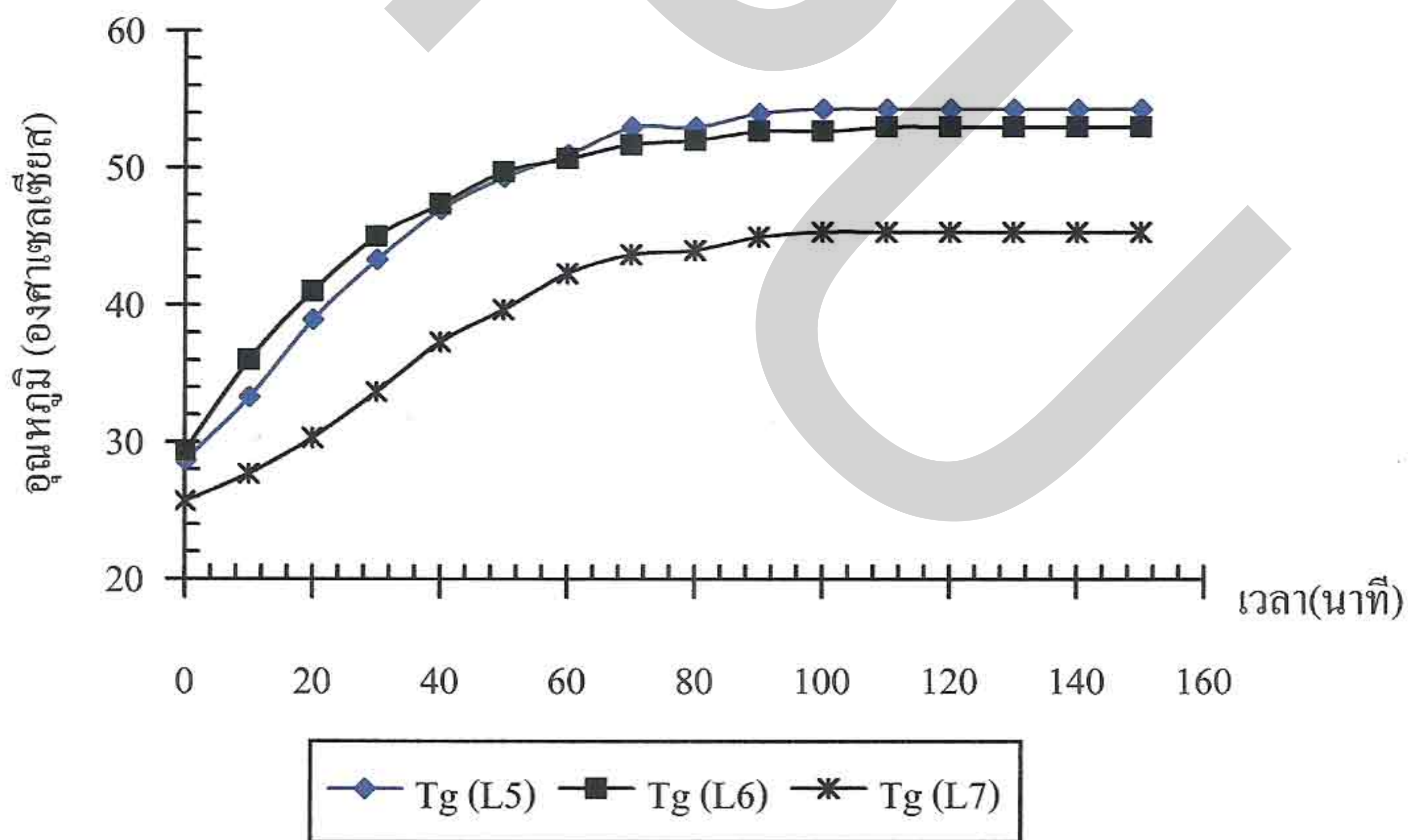


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิด้านล่างของกระจกทดสอบต่อเวลาที่แสดงตกกระทบในกลุ่มของกระจกชั้นเดียวแบบต่างๆ

เมื่อทดสอบกระจกสองชั้นที่มีขนาดช่องอากาศ 15 mm 3 ชั้น โดยสองชั้นแรกเหมือนกันแต่จะสลับตำแหน่งกระจกที่ติดฟิล์มสีนำเงินเข้ามาไว้บนและล่างตามลำดับส่วนชนิดสุดท้ายเป็นกระจกสองชั้นแบบที่มีช่องระบายอากาศจากภายในสู่ภายนอก พบว่าการหน่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนของกระจกสองชั้นทุกประเภทจะยาวนานกว่ากระจกชั้นเดียวในช่วง 15-20 นาที ซึ่งเป็นผลเนื่องจากชั้นของอากาศที่อยู่ระหว่างกระจกทำหน้าที่เป็นฉนวนเพื่อหน่วงเวลาในการสะสมความร้อน อย่างไรก็ตามการใช้กระจกสองชั้นเมื่อกระจกร้อนขึ้นจนถึงสภาวะคงที่ทางความร้อนจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้กระจกชั้นเดียวที่ติดฟิล์มชนิดเดียวกันเล็กน้อย (1-2°C) อันเป็นผลมาจากความไม่เสถียรของอากาศที่อยู่ในช่องอากาศระหว่างกระจกกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิกระจกร้อนขึ้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่อยู่ภายในช่องอากาศในรูปของการพาความร้อนเมื่ออากาศในช่องอากาศร้อนขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนความหนาแน่นและเกิดการเคลื่อนที่แต่เนื่องจากกระจกสองชั้นถูกปิดผนึกอย่างแน่นหนาด้วยซิลิโคนจึงทำให้อากาศไม่สามารถไหลออกจากช่องอากาศได้อากาศจึงต้องไหลวนอยู่ในช่องนั้นและรับความร้อนจนในที่สุดการไหลวนจะแตกจากการหมุนวนของอากาศร้อนเพิ่มจาก 1 วงรีเป็นหลายๆวงกลมแทนและจะส่งผลให้เกิดความไม่

เสถียรในการถ่ายเทความร้อน (หากอากาศหมุนวนมาเสริมกันที่จุดใดจุดนั้นจะร้อนขึ้นกว่าปกติ) จะเห็นได้ชัดว่าเมื่อใช้กรอบกระจกที่มีช่องระบายอากาศจากภายในสู่ภายนอกแล้วอุณหภูมิที่ผิวกระจกเมื่อถึงสภาวะคงที่ทางความร้อนจะลดลงทันที 7-9 °C (รูปที่ 4.3) ซึ่งเป็นการยืนยันปรากฏการณ์ความไม่เสถียรนี้ได้อย่างเด่นชัด ดังนั้นจึงกลายเป็นข้อดีจากการใช้กรอบกระจกที่มีช่องระบายอากาศในลักษณะนี้ การถ่ายเทความร้อนนี้เกิดจากการที่อากาศมีการเคลื่อนไหวถ่ายเทความร้อนที่ผิวด้านในของกระจกแผ่นล่างอยู่ตลอดจึงทำให้กระจกเย็นกว่ากระจกแผ่นบนและกลายเป็นกระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด

จากการทดสอบการวางตำแหน่งของกระจกสองชั้นพบว่า การสลับตำแหน่งของกระจกติดฟิล์มจะส่งผลกับอุณหภูมิที่สภาวะคงที่ทางความร้อน กระจกที่ใช้ฟิล์มใสติดตั้งด้านล่างให้อุณหภูมิที่จุดคงที่ทางความร้อนสูงกว่ากระจกที่ใช้กระจกใสอยู่ด้านบนเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อความร้อนสะสมในชั้นอากาศจนถึงสภาวะคงที่ทางความร้อนแล้วกระจกใสจะยอมให้ความร้อนถ่ายเทได้มากกว่ากระจกที่ติดฟิล์มกรองแสงจึงทำให้กระจกร้อนขึ้นกว่ากระจกที่ติดฟิล์มเล็กน้อย (รูปที่ 4.3)

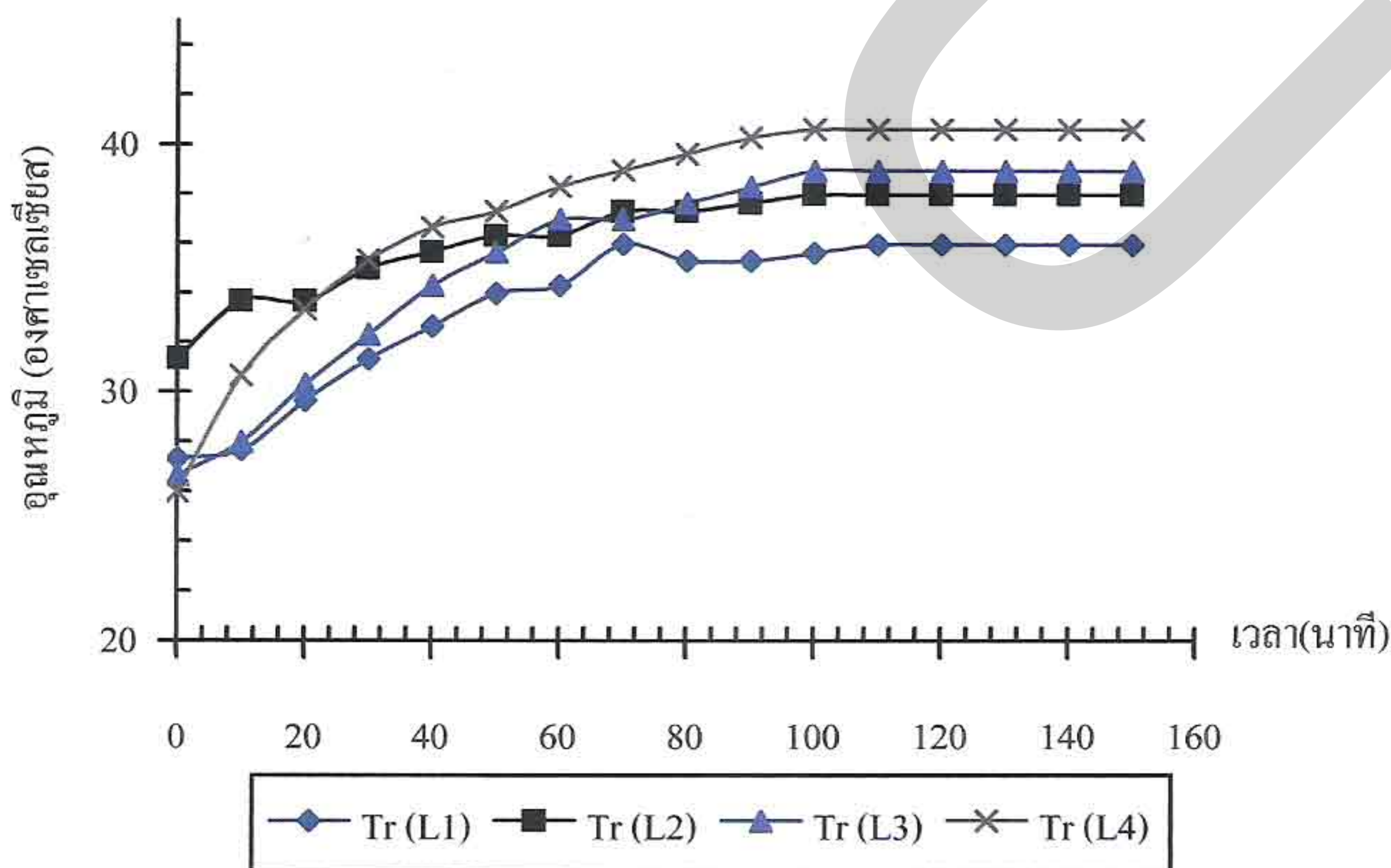


รูปที่ 4.3 อุณหภูมิด้านล่างของกระจกทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกสองชั้น

4.2.2 การสะสมความร้อนภายในห้อง

ในการทดสอบกระจกชั้นเดียวในทุกแบบจะมีลักษณะการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในห้องต่อเวลาที่ใกล้เคียงกันเมื่อกระจกได้รับแสงจะใช้เวลาประมาณ 110 นาที แต่สิ่งที่แตกต่างกันเห็นได้ชัดคือคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงในด้านการสะท้อนความร้อนจะทำให้กระจกแต่ละแบบมีอุณหภูมิที่สภาวะคงที่ทางความร้อนแตกต่างกันไป กระจกที่ใช้ฟิล์มสีอ่อน (L-3) จะทำให้ห้องร้อนขึ้นเรื่อยๆ และความร้อนที่ส่งผ่านจะเข้ามาในห้องและจะเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนด้วยอุณหภูมิที่สูงที่สุด (40°C) ในทางกลับกันเมื่อใช้ฟิล์มสีเข้มและมีค่าการสะท้อนแสงสูง (สีเงินเข้ม, L-1) แสงจากหลอดแสงอาทิตย์เทียมจะถูกสะท้อนออกไปเป็นส่วนใหญ่ซึ่งทำให้อุณหภูมิสะสมภายในห้องต่ำที่สุด (รูปที่ 4.4) อย่างไรก็ตามการใช้ฟิล์มสีเข้มเช่นสีเทาเข้มหรือน้ำเงินหรือสีเงินจะมีค่าความร้อนสะสมที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อน ในขณะที่ในช่วงแรกในการรับแสงความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของฟิล์มแต่ละแบบจะแตกต่างกันฟิล์มสีน้ำเงินเข้มและสีเงินเข้มจะให้ปริมาณการส่งผ่านความร้อนที่อยู่ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน

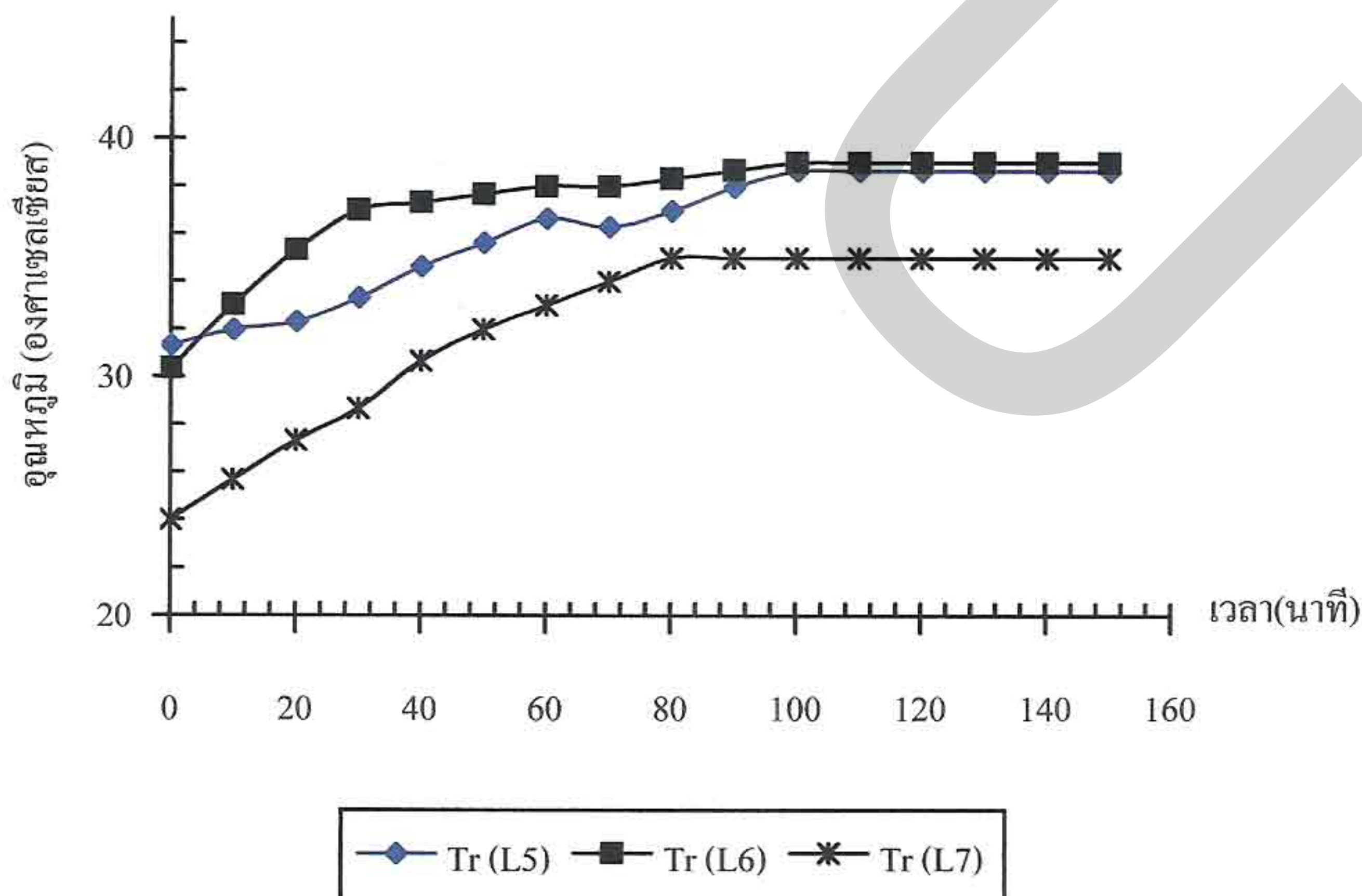
ดังนั้นการใช้กระจกชั้นเดียวที่ติดฟิล์มต่างกันจะทำให้ค่าความร้อนสะสมภายในห้องที่แตกต่างกันฟิล์มที่มีคุณสมบัติในการส่งผ่านความร้อนและการสะสมความร้อนที่น้อยจะทำให้อุณหภูมิสะสมภายในห้องมีค่าที่น้อยในทางกลับกันฟิล์มสีอ่อนจะยอมให้แสงและความร้อนผ่านได้มากและส่งผลให้ความร้อนสะสมภายในห้องสูงมากเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นของการใช้ฟิล์มสะท้อนแสงสูงกับฟิล์มสีอ่อน (ความร้อนสะสมในห้องต่างกัน 5°C)



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิสะสมในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกชั้นเดียวแบบต่างๆ

เมื่อพิจารณากรณีของการใช้กระจกสองชั้นและกระจกสองชั้นแบบระบายอากาศพบว่า การใช้กระจกสองชั้นทั้งสองแบบที่ไม่มีช่องระบายอากาศมีสิ่งหนึ่งที่น่าสนใจ คือเมื่อเปรียบเทียบ การใช้กระจกสองชั้นที่มีกระจกใสอยู่ด้านล่างกับด้านบนจะพบว่าที่สภาวะคงที่ทางความร้อน กระจกทั้งสองแบบจะมีค่าความร้อนสะสมภายในห้องที่ใกล้เคียงกันมากและยังใกล้เคียงกับกระจกชั้นเดียวที่ติดฟิล์มชนิดเดียวกัน (สีเงินเข้ม) แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า การใช้กระจกสองชั้นเมื่อกระจกเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนแล้วกลับมีอุณหภูมิสะสมในห้องที่ไม่แตกต่างจากกระจกชั้นเดียวอันเป็นผลมาจากความไม่เสถียรของการเคลื่อนที่ของอากาศนิ่งภายในชั้นกระจก อีกสิ่งที่น่าสนใจได้ชัดคือการใช้กระจกสองชั้นแบบไม่มีช่องระบายอากาศจะยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาสะสมในชั้นอากาศและส่งผ่านเข้ามาในห้องอย่างรวดเร็วในช่วงต้นจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นของความร้อนอย่างช้าๆจนเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนในเวลาที่ช้ากว่ากระจกชั้นเดียวเพียงเล็กน้อย (10-20 นาที) ในขณะที่กระจกสองชั้นเมื่อใช้กระจกใสอยู่ด้านล่างจะให้ความร้อนส่งผ่านในช่วงต้นที่น้อยกว่าแบบที่ใช้กระจกใสด้านบนจนถึงสภาวะคงที่ทางความร้อนค่าจะใกล้เคียงกัน

เมื่อใช้กระจกสองชั้นแบบระบายอากาศจะพบว่าอุณหภูมิสะสมที่ภายในห้องจะต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกทดสอบแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามการสะสมตัวของอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนในเวลาเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ (รูปที่ 4.5)

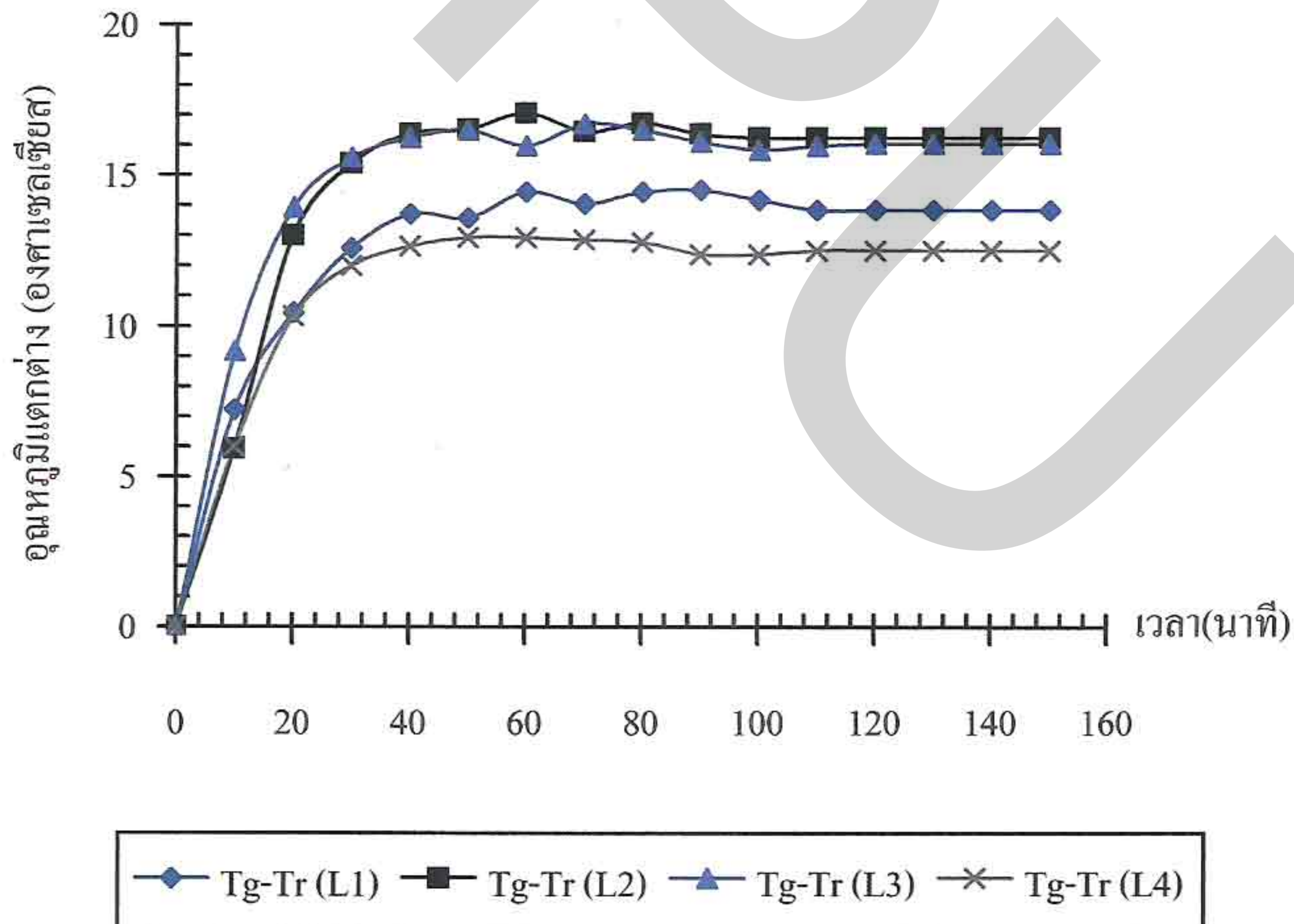


รูปที่ 4.5 อุณหภูมิสะสมในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกสองชั้น

ดังนั้นการใช้กระจกสองชั้นแบบระบายอากาศจึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมที่สุด โดยต้องจัดให้มีการไหลของอากาศจากภายในห้องสู่นอกห้องเสมอหากช่องอากาศเป็นแบบระบายอากาศจากภายในสู่ภายนอกห้องจะทำให้อุณหภูมิสะสมในห้องเพิ่มขึ้นได้การกำหนดทิศทางการไหลของอากาศในช่องอากาศจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดภาระของระบบปรับอากาศ

4.2.3 อุณหภูมิแตกต่างของผิวกระจกกับภายในห้อง

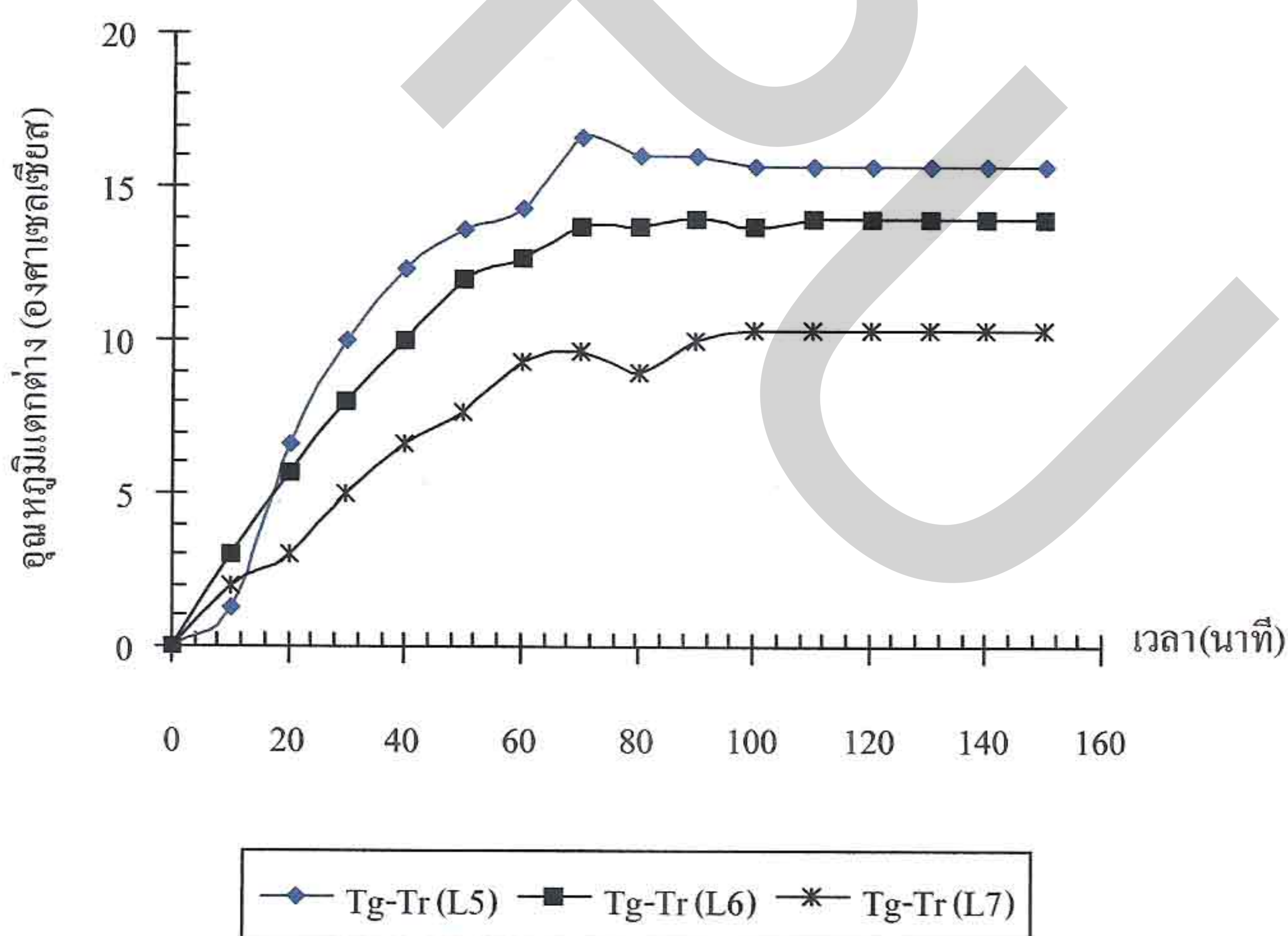
อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกระจกกับภายในห้องเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญเพื่อนำไปหาค่าภาระของระบบปรับอากาศเมื่อใช้กระจกชั้นเดียวที่ติดฟิล์มกรองแสงแบบต่างๆจะพบว่าค่าความแตกต่างของความร้อนจะปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนต้นจากนั้นจะค่อยๆปรับตัวเพิ่มขึ้นช้าๆจนเข้าสู่สภาวะคงที่ในเวลา 130 นาที (รูปที่ 4.6) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิแตกต่างของกระจกสีฟ้าอ่อนกลับมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่กระจกติดฟิล์มสีเข้มกลับให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างที่สูงที่สุด อันเป็นผลเนื่องจากกล่องทดสอบมีขนาดเล็กหากอุณหภูมิผิวกระจกและในห้องมีค่าใกล้เคียงกันหรือห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น ใกล้เคียงกับผิวล่างของกระจก



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกระจกในกับในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกชั้นเดียว

สิ่งที่น่าสนใจอีกสิ่งคือกระจกติดฟิล์มสีเงินมีการเพิ่มความแตกต่างอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องด้วยความชันที่สูงและไปให้ค่าคงที่ๆสภาวะคงที่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการใช้ฟิล์มสีเข้มอย่างไรก็ตามความแตกต่างจากอุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิห้องจะแตกต่างกันไม่มาก กระจกชั้นเดียวทุกแบบจะให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 12-16 °C เมื่อพิจารณาเทียบกับการใช้กระจกสองชั้น (รูปที่ 4.7) แล้วจะพบว่ากระจกสองชั้นแบบไม่มีช่องระบายอากาศทั้งสองแบบมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงใกล้เคียงกับการใช้กระจกชั้นเดียวที่ติดฟิล์มสีที่บั้นนั้นคือในการใช้งานการสะสมตัวของความร้อนภายในห้องที่ใช้กระจกชั้นเดียวสีทึบและกระจกสองชั้นจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน

เมื่อทดสอบกระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศที่กรอบแล้วพบว่าอุณหภูมิลดต่ำกว่าแบบไม่มีช่องระบายอากาศถึง 5 °C แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่ากระจกสองชั้นแบบระบายอากาศสามารถลดภาระของระบบปรับอากาศได้จากการนำอากาศร้อนจากภายในไประบายออกที่ภายนอกและทำให้อุณหภูมิกระจกและห้องมีค่าที่ตกต่างกันน้อย

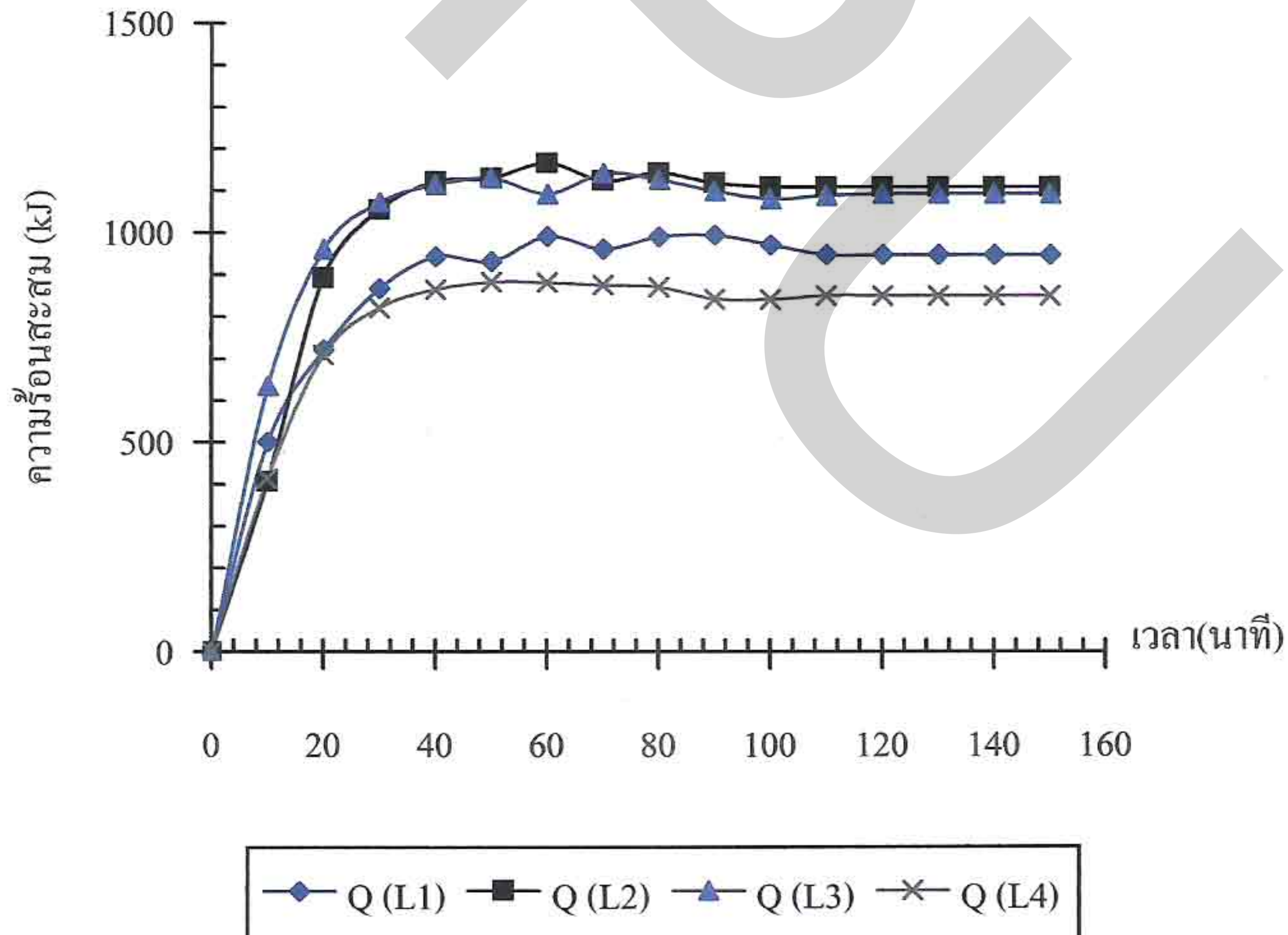


รูปที่ 4.7 อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกระจกในกับในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสดงตกกระทบในกลุ่มของกระจกสองชั้น

4.2.4 การส่งผ่านความร้อนผ่านกระจก

ในการใช้กระจกกับอาคารมีจุดมุ่งหมายในการนำแสงเข้าสู่อาคารและสามารถเห็นทัศนียภาพภายนอกอาคารอย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบพบว่าไม่ว่าจะใช้ฟิล์มชนิดใดหรือกระจกสองชั้นที่เป็นกระจกที่เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเป็นกระจกที่ป้องกันความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อรับแสงที่มีค่าความร้อน 750 W/m^2 ซึ่งเป็นค่ารังสีรวมเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยกลับสามารถหน่วงเวลาได้เพียง 80 และ 120 นาทีในกลุ่มของกระจกชั้นเดียวและสองชั้นตามลำดับ (รูปที่ 4.8 และ 4.9)

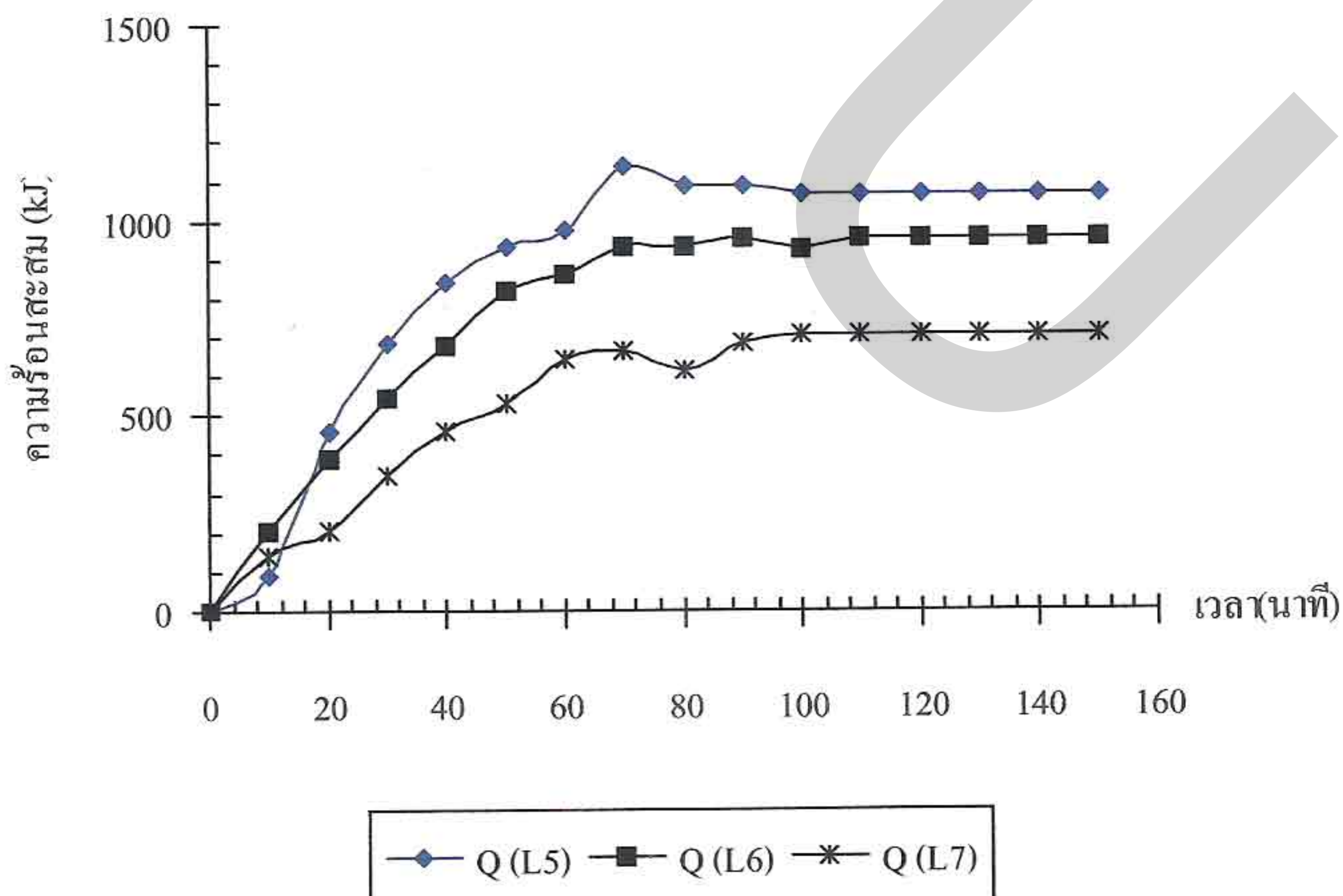
ในกลุ่มของกระจกชั้นเดียวติดฟิล์มไม่ว่าเป็นสีใดความร้อนที่ส่งผ่านภายใต้สภาวะคงที่ทางความร้อนแล้วจะมีความร้อนส่งผ่านในรูปของการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากกระจกสู่ภายในห้องที่ $800\text{-}1150 \text{ W}$ ($2729.44\text{-}3923.58 \text{ Btu/h}$) เนื่องจากพื้นที่ของกระจกทดสอบมีขนาดเพียง 0.5 m^2 ดังนั้นเมื่อคิดเป็นภาระของระบบปรับอากาศที่เกิดขึ้นหลังจากกระจกรับความร้อนจนร้อนเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนแล้วต่อตารางเมตรของกระจกชั้นเดียวจะมีค่าอยู่ในช่วง $0.45\text{-}0.65$ ตันความเย็น ต่อ ตารางเมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากกระจกถูกนำไปติดตั้งเป็นหลังคาโปร่งแสงที่หันหน้าทางทิศใต้และมีมุมติดตั้งที่ต่ำ ($10\text{-}15$ องศา)



รูปที่ 4.8 ปริมาณความร้อนส่งผ่านในกล่องทดสอบต่อเวลาที่แสงตกกระทบในกลุ่มของกระจกชั้นเดียว

เมื่อพิจารณากระจกสองชั้นและกระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศ (รูปที่ 4.8) กระจกทั้งสองแบบเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนแล้วจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่า กระจกชั้นเดียวไม่มากนักโดยค่าความร้อนส่งผ่านที่เกิดขึ้นจะมีค่าอยู่ที่ 707 และ 952 W (2412.15, 3248.04 Btu/h) ตามลำดับซึ่งจะส่งผลต่อระบบปรับอากาศต่อตารางเมตรของการใช้กระจกที่ต่ำกว่า การใช้กระจกแผ่นเดียว กระจกสองชั้นที่ไม่มีช่องระบายอากาศจะสามารถยืดระยะเวลาการส่งผ่าน ความร้อนออกไป อีกทั้งยังช่วยลดความร้อนส่งผ่านได้ดีกว่าการใช้กระจกชั้นเดียว 11.6 % หากพิจารณาเป็นปริมาณของภาระที่เกิดขึ้นกับระบบปรับอากาศกระจกสองชั้นเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ทาง ความร้อนจะเกิดภาระต่อระบบปรับอากาศ 0.4 ตันความเย็นต่อตารางเมตร หากใช้กระจกสองชั้น แบบมีช่องระบายอากาศภาระความร้อนที่เกิดจากกระจกจะลดต่ำลงถึง 38.5% เมื่อเทียบกับกระจก ชั้นเดียวทุกประเภทและหากเทียบกับกระจกแบบ ไม่มีช่องระบายอากาศจะต่ำกว่า 27% แสดงให้เห็น ถึงความเหมาะสมของการใช้กระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศในประเทศไทย

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้กระจกสองชั้นแบบระบายอากาศจะมีความเหมาะสมแต่ กรอบกระจกแบบนี้ยังไม่ได้รับการออกแบบและจัดทำขายในท้องตลาด ปัจจุบันกรอบกระจกแบบ นี้ในประเทศไทยมีแต่กรอบที่ออกแบบเพื่อใช้ในการทดสอบในงานวิจัยที่ ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ ทางด้านอาคาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและ ศูนย์ปรึกษาและพัฒนาทางด้าน พลังงาน มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์เท่านั้น



รูปที่ 4.9 ปริมาณความร้อนส่งผ่านในกล่องทดสอบต่อเวลาที่ แสดงตกกระทบในกลุ่มของกระจกสองชั้น

4.2.5 สมการเลียนแบบการส่งผ่านความร้อนผ่านกระจก

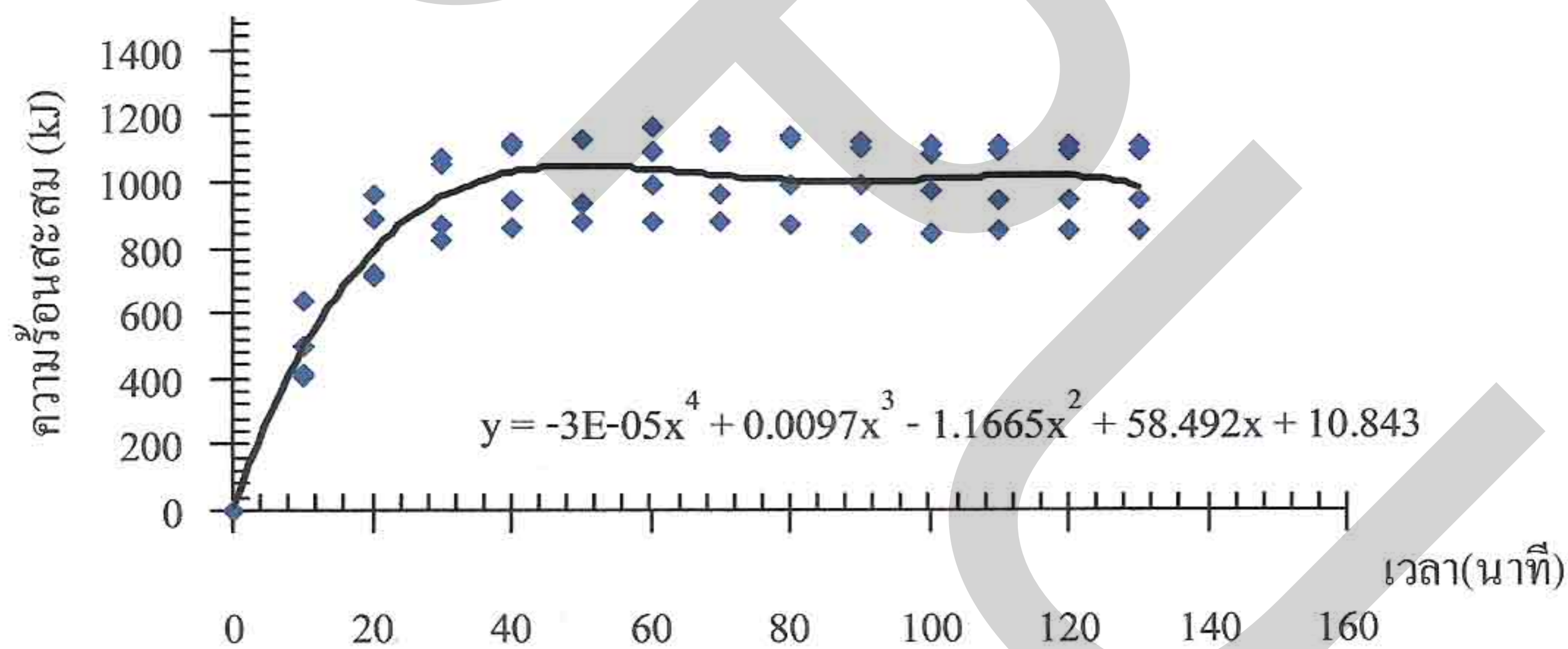
จากการทดสอบกระจกทั้งกระจกแบบชั้นเดียวที่ใช้ฟิล์มกรองแสงแบบที่นิยมใช้ในท้องตลาด 4 แบบและกระจกสองชั้นรวมถึงกระจกสองชั้นที่ได้รับการออกแบบให้มีช่องระบายอากาศเพื่อให้สะดวกในการประมาณค่าความร้อนที่ผ่านกระจกทั้ง 3 รูปแบบนี้ ผลการทดสอบจึงถูกนำมาเพื่อสร้างสมการเลียนแบบโดยกระจกชั้นเดียว (รูปที่ 4.10) จะใช้สมการ โพลีโนเมียลลำดับที่ 4 ที่มีค่าความถูกต้องที่ 88% สมการความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนส่งผ่านกับเวลาจะเป็น

$$Q = -3 \times 10^{-5} t^4 + 0.0097 t^3 - 1.1665 t^2 + 58.492 t + 10.483 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

เมื่อ

Q = ความร้อนส่งผ่านกระจกอยู่ในห้อง (kJ)

t = เวลาที่กระจกรับแสงอาทิตย์ (นาที)

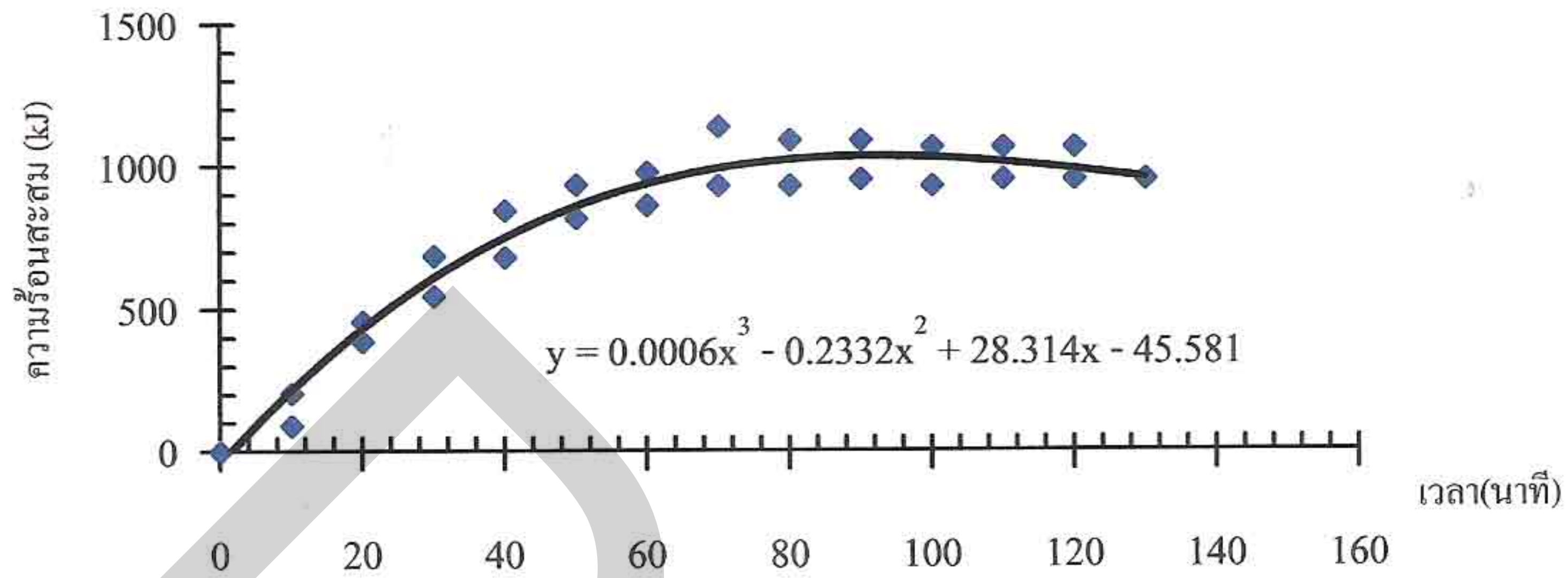


รูปที่ 4.10 ปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาที่แสงตกกระทบบนกลุ่มของกระจก

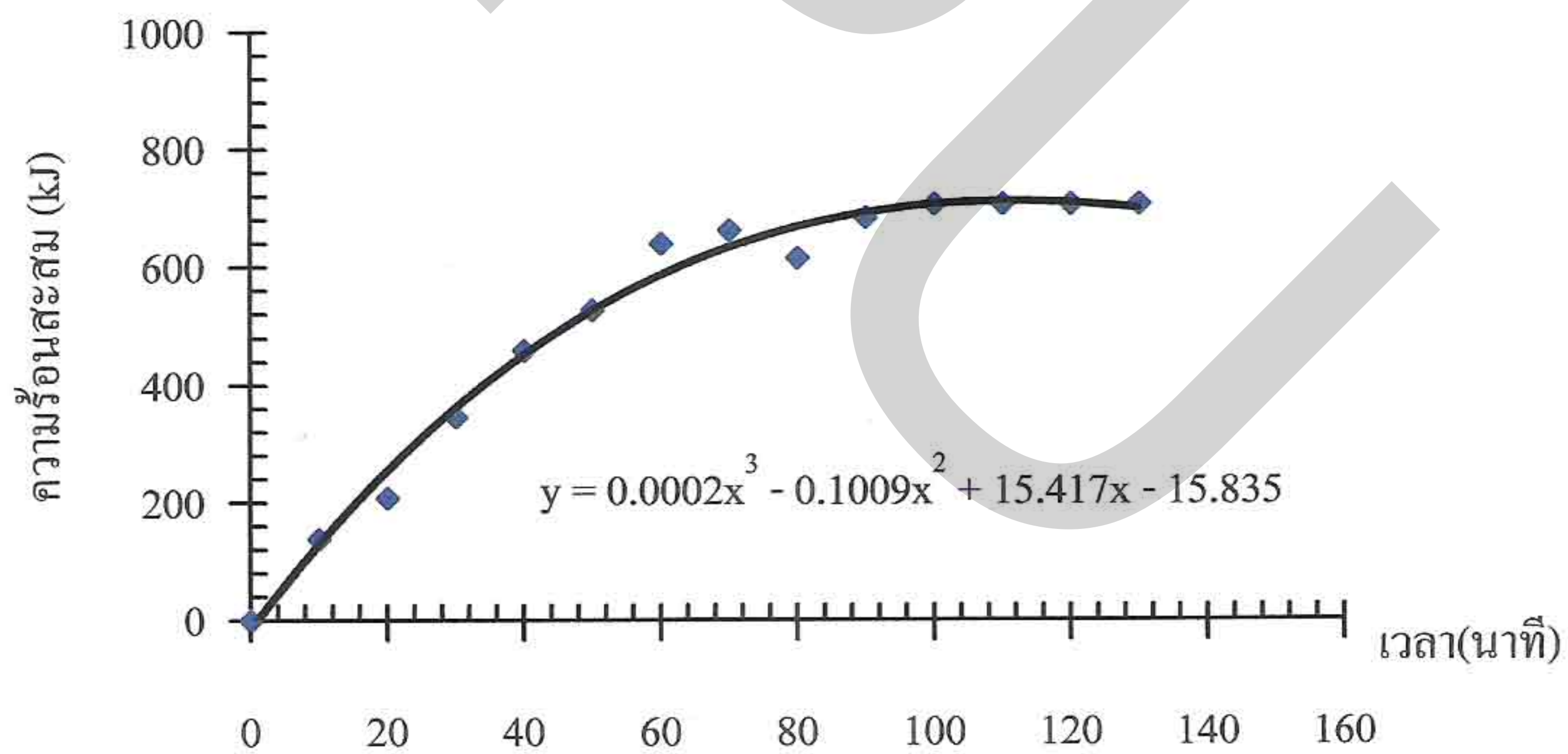
เมื่อนำข้อมูลของกระจกสองชั้น (รูปที่ 4.11) และกระจกสองชั้นแบบระบายอากาศ (รูปที่ 4.12) มาสร้างสมการโดยใช้สมการโพลีโนเมียลลำดับที่ 3 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องที่ 96 และ 99% ตามลำดับสมการความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนส่งผ่านกับเวลาจะเป็นไปตามสมการที่ 4.2 และ 4.3

$$Q = 0.0007t^3 - 0.2544t^2 + 29.143t - 50.62 \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

$$Q = 0.0002t^3 - 0.1009t^2 + 15.417t - 15.835 \quad \dots\dots\dots(4.3)$$



รูปที่ 4.11 ปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาที่แสงตกกระทบบในกลุ่มของกระจกสองชั้น



รูปที่ 4.12 ปริมาณความร้อนสะสมต่อเวลาที่แสงตกกระทบบในกลุ่มของกระจกสองชั้น

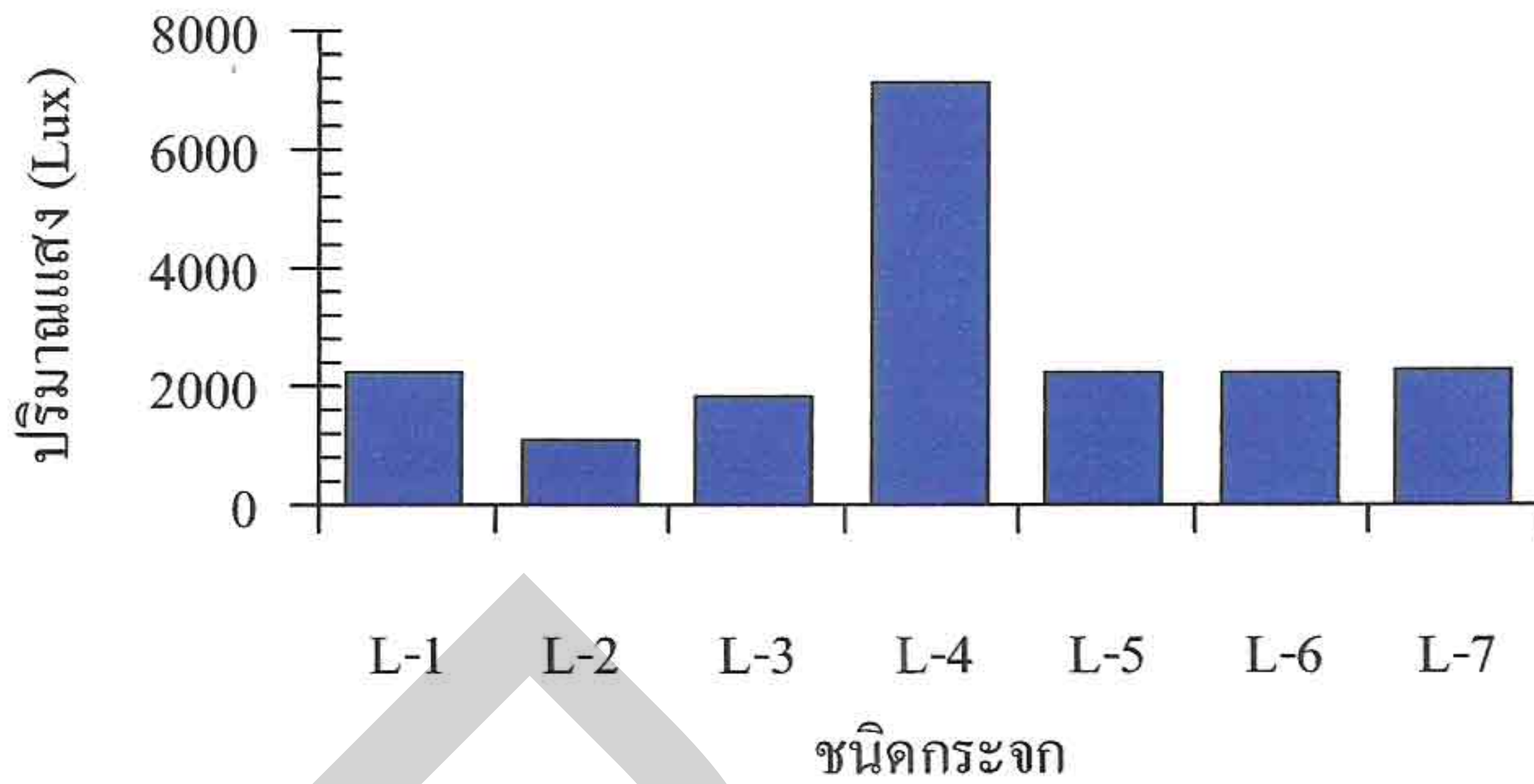
4.3 การส่งผ่านแสงเข้าสู่อาคารของกระจก

วัตถุประสงค์ในการใช้กระจกกับอาคารเพื่อให้ผู้ที่อาศัยในอาคารได้เห็นทัศนวิสัยภายนอกและเป็นการนำแสงเข้าสู่อาคารเพื่อลดการใช้ไฟแสงสว่างในอาคารลงเมื่อกระจกรับแสงอาทิตย์โดยตรง ดังนั้นจึงมีการนำกระจกไปใช้ทำหลังคาโปร่งแสงของอาคารขนาดใหญ่เพื่อลดการใช้แสงสว่างลงในพื้นที่ที่เป็น Hall กว้างและสูงมากๆ หรือ ทางเดิน อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานการส่องสว่างตามสมาคมการส่องสว่างแห่งประเทศไทยได้กำหนดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ในอาคารดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงระดับมาตรฐานการส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานต่างๆ ในอาคาร

พื้นที่ใช้งาน	ค่าความส่องสว่าง (Lux)	พื้นที่ใช้งาน	ค่าความส่องสว่าง (Lux)
ห้องประชุม	300	เคาเตอร์	300
ห้องทำงาน	500	ห้องเก็บของ	50-200
ห้องเขียนแบบ	750	ห้องโถง	100-200
ห้องคอมพิวเตอร์	500	ห้องน้ำ	200
ห้องสมุด	200-500	ทางเดิน	100
ร้านค้า	300-500	บันได	150

ค่าความส่องสว่างที่แสดงในตารางที่ 4.3 ทุกค่าจะพบว่าเมื่ออยู่ในห้องที่ต้องใช้สายตา ค่าความส่องสว่างต้องมากตามด้วยอย่างไรก็ตามค่าสูงสุดของความส่องสว่างก็ไม่สูงกว่า 1000 Lux โดยทั่วไปการใช้แสงสว่างในอาคารจะอยู่ที่ 500 Lux ซึ่งจากผลการทดสอบของแสงส่องผ่านกระจกทุกแบบทั้งกระจกชั้นเดียวหรือสองชั้นพบว่าฟิล์มกรองแสงที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดค่าความส่องสว่างของแสงภายในห้อง (รูปที่ 4.13) กระจกที่ใช้ฟิล์มสีอ่อนจะยอมให้แสงผ่านเข้ามาได้มากกว่าสีเข้ม อย่างไรก็ตามกระจกชั้นเดียวหรือสองชั้นหากใช้ฟิล์มกรองแสงสีเดียวกันจะให้ค่าปริมาณแสงส่องผ่านกระจกเท่ากัน (ในขณะที่การส่องผ่านความร้อนกลับต่าง กันมาก) สิ่งที่น่าสังเกตอย่างหนึ่งคือไม่ว่ากระจกชนิดใดก็ตามค่าของความส่องสว่างภายในอาคารจะมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานการส่องสว่างในทุกๆ กรณี



รูปที่ 4.13 ปริมาณแสงที่ผ่านกระจกทดสอบแบบต่างๆเมื่อแสงจากหลอดแสงอาทิตย์ เทียมมีค่า 16,500 Lux

จากรูปค่าที่สังเกตได้อย่างเด่นชัดคือไม่ว่าจะใช้ฟิล์มที่มีค่าการสะท้อนความร้อนดีเพียงใดหากฟิล์มไม่มีความทึบพอค่าการส่งผ่านแสงย่อมสูงตามด้วยซึ่งแสงที่ส่องผ่านเข้ามากลับสูงกว่ามาตรฐานถึง 3 เท่า

4.3.1 ค่าการส่งผ่านแสงและอัตรารังสีความร้อนผ่านกระจก

ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้กระจกกับอาคารในปัจจุบันมี 3 ค่า คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก , ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (Visible transmittance, VT) และ ค่าอัตรารังสีความร้อนผ่านกระจก (Solar heat gain coefficient, SHGC) ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ส่วนค่าที่เหลือได้แก่

- ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง (Visible transmittance, VT) เป็นคุณสมบัติในการยอมให้แสงในช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ผ่านกระจกเข้าสู่อาคาร ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงสามารถหาได้จากสมการ

$$VT = \frac{\text{ค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากการผ่านกระจกติดฟิล์มกรองแสง}}{\text{ค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากการที่ไม่ต้องผ่านกระจกติดฟิล์มกรองแสง}} \times \text{ค่า VT กระจก}$$

ค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากการที่ไม่ต้องผ่านกระจกติดฟิล์มกรองแสง

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อนของ VT} = \frac{\text{ค่า VT จริงจากผู้ผลิต} - \text{ค่า VT จากการคำนวณ}}{\text{ค่า VT จริงจากผู้ผลิต}} \times 100$$

- ค่า Solar Heat Gain Coefficient เป็นค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาทางกระจกค่า SHGC จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำจะทำให้การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในบ้านมีค่าต่ำลงด้วย ค่า SHGC ในประเทศไทยนับเป็นค่าที่สำคัญอย่างยิ่งค่าหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงหรือฟิล์มกรองแสง ค่า SHGC หาได้จากการสมการ

$$\begin{aligned} \text{SHGC} &= \frac{\text{พลังงานทั้งหมด} - \text{พลังงานที่สะท้อนออก}}{\text{พลังงานทั้งหมด}} \\ &= \frac{\text{พลังงานที่ส่งผ่าน}}{\text{พลังงานทั้งหมด}} \\ &= \frac{Q_p}{Q_p + Q_R} \end{aligned}$$

เมื่อ Q_p = พลังงานที่ส่งผ่าน

Q_R = พลังงานที่สะท้อนออกมา

ΔT_p = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนกระจกกับผิวล่าง

ΔT_R = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนกระจกกับอุณหภูมิห้อง

สมการกระจกชั้นเดียวหาได้จาก

$$Q_p = \frac{kA \Delta T_p}{x}$$

เมื่อ Q_p = พลังงานที่ส่งผ่าน W

A = พื้นที่กระจก m^2

ΔT_p = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนกระจกกับผิวล่าง $^{\circ}C$

x = ความหนาของกระจก m

สมการกระจกสองชั้นหาได้จาก

$$Q_p = \frac{\Delta T_p}{R_1 + R_2 + R_3}$$

เมื่อ R = ค่าความต้านทานความร้อนของกระจก

R_1 = ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหนึ่งชั้น

R_1 = ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกสองชั้น

R_1 = ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกสามชั้น

และ Q_R = พลังงานที่สะท้อนออกมาสามารถหาได้จาก

$$Q_R = UA \Delta T_R$$

$$U = \frac{1}{R_0}$$

A = พื้นที่ของกระจกทดสอบ

R_0 = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอกโดยที่

$$R = \frac{L}{kA}$$

k_g = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระจก

R_0 = สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามค่าการแผ่รังสีของกระจกดังนี้

ก. ค่าการแผ่รังสีสูง $R_0 = 0.128 \text{ m}^2\text{C/W}$ ข. ค่าการแผ่รังสีต่ำ $R_0 = 0.403 \text{ m}^2\text{C/W}$

ΔT_R = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนกระจกกับอุณหภูมิห้อง

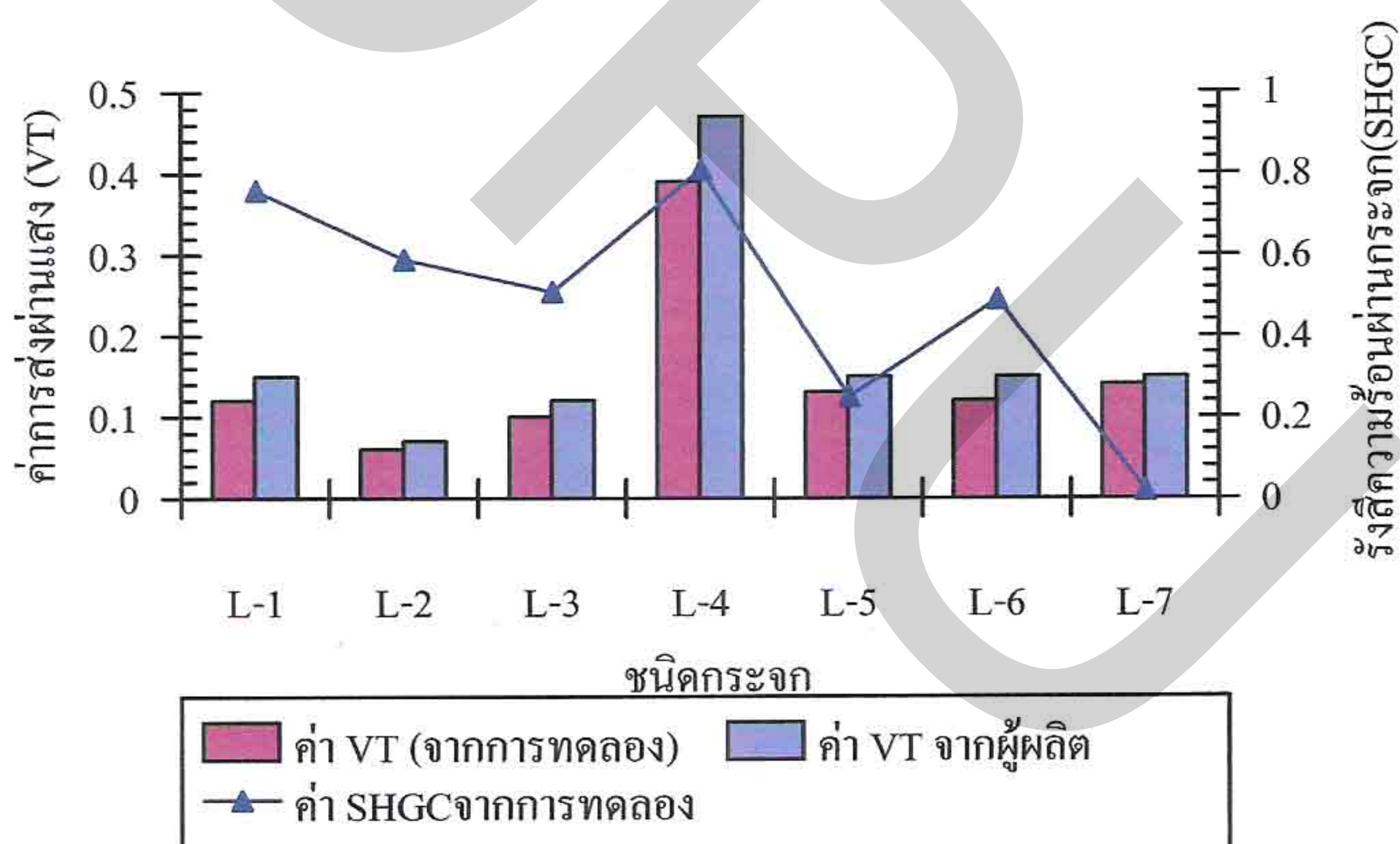
จากการทดสอบของกระจกทดสอบทั้ง 7 แบบพบว่าผลที่ได้จากการวัดมีค่า VT ที่น้อยกว่า

กว่าค่าที่มาจากผู้ผลิตประมาณ 13-20 % ค่าของแสงที่ผ่านจึงน้อยกว่าค่าที่เป็นมาตรฐานตามผู้ผลิต

อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่า VT จากผู้ผลิตและการทดลองมีความแตกต่างกันไม่มากนัก

ในกระจกที่ติดฟิล์มที่มีการกรองแสงค่อนข้างสูงและจะแตกต่างกันมากในกระจกที่มีฟิล์มสีจากกลับยอมให้แสงผ่านได้น้อยกว่าค่าที่กำหนดจากผู้ผลิตถึง 20%

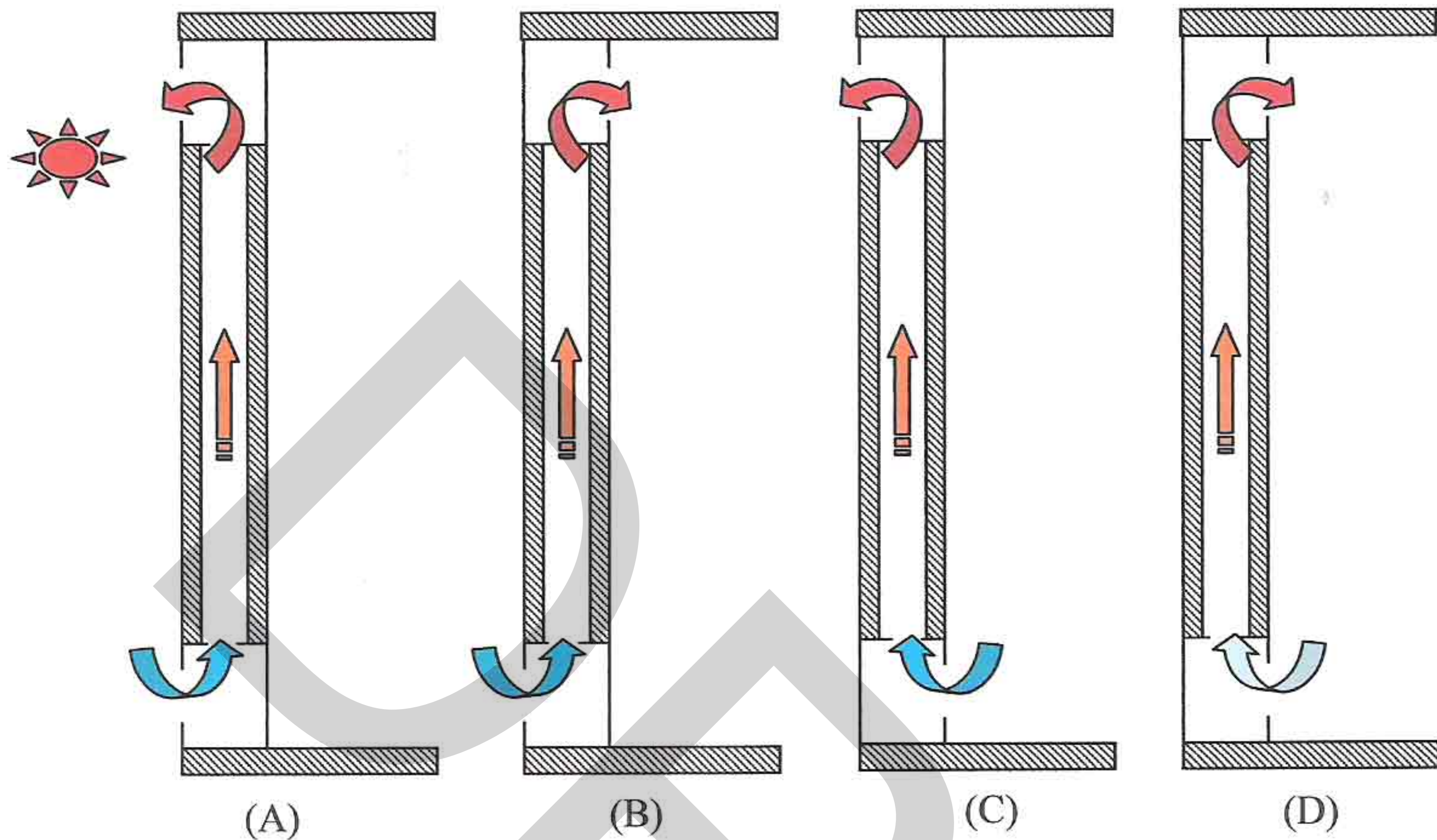
เมื่อพิจารณาค่าการส่งผ่านรังสี (SHGC) ค่าที่น่าสนใจที่สุดคือกระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศซึ่งให้ค่าการส่งผ่านรังสีความร้อนในช่วงเวลาคงที่ทางความร้อนในค่าที่ต่ำมากที่สุดเพียง 0.02 เท่านั้น ในขณะที่กระจกสองชั้นที่เหมือนกันแต่ไม่มีช่องระบายอากาศกลับให้ค่า SHGC ที่สูงถึง 0.49 สิ่งที่น่าสนใจอีกสิ่งคือกระจกที่ใช้ฟิล์มเงินเข้มจะให้ค่า SHGC ที่ต่ำที่สุดในกลุ่มของกระจกชั้นเดียวแต่กระจกที่เป็นสีเงินกลับให้ค่าที่สูงกว่าค่าของกระจกสีน้ำเงินเข้มนั้นแสดงให้เห็นถึงความเข้มของสีฟิล์มส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับการส่งผ่านรังสีความร้อนของกระจก ในส่วนกระจกสีอ่อนจะยอมให้รังสีความร้อนผ่านได้สูงที่สุดที่ 0.76



รูปที่ 4.14 ค่าการส่งผ่านความร้อนและรังสีความร้อนผ่านกระจกทดสอบแบบต่างๆ

ในการใช้กระจกสองชั้นและกระจกสองชั้นแบบระบายอากาศกับกล่องทดสอบพบว่า การใช้กระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิสะสมที่ภายในห้องจากจุดเริ่มต้นจนถึงสถานะคงที่ทางความร้อนมีช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิอยู่ที่ 20 และ 23 °C ตามลำดับ ซึ่งค่าแตกต่างของอุณหภูมิสะสมที่นับจากอุณหภูมิห้องเริ่มต้นก่อนรับแสงมีค่าแตกต่างกันไม่มาก

นัก (รูปที่ 4.8) อีกทั้งโดยรวมแล้วค่า SHGC ของกระจกแบบนี้ยังต่ำที่สุดอีกด้วย (รูปที่ 4.14) อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้กระจกที่มีช่องระบายอากาศหากกำหนดการไหลของอากาศที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ภาระของระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นได้ (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 รูปแบบต่างๆของช่องระบายอากาศของกระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศ

กระจกสองชั้นแบบมีช่องระบายอากาศสามารถจัดรูปแบบช่องระบายอากาศได้ 4 รูปแบบ คือ แบบระบายอากาศด้านนอกอาคาร (รูปที่ 4.15 A), แบบดึงอากาศจากด้านนอกสู่ด้านใน (รูปที่ 4.15 B), แบบดึงอากาศจากด้านในสู่ด้านนอก (รูปที่ 4.15 C) และ แบบดึงอากาศจากด้านในสู่ด้านใน (รูปที่ 4.15 D) ซึ่งในการทดสอบจะใช้กระจกแบบด้านในสู่ด้านใน ซึ่งกระจกแบบนี้จะดึงอากาศจากในห้องเข้าสู่ช่องอากาศรับความร้อนแล้วไหลออกเข้าสู่ในห้อง ดังนั้นจะพบว่าอุณหภูมิของห้องจะร้อนช้ากว่าแบบปิดทั้งหมด ซึ่งจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในเวลาประมาณ 10-15 นาที (แต่อุณหภูมิจะสูงกว่า $2-3^{\circ}\text{C}$)

สำหรับการใช้งานในประเทศไทยแล้วรูปแบบที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและยืดระยะเวลาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารควรจะใช้กระจกสองชั้นที่มีช่องระบายอากาศแบบดึงอากาศจากภายในห้องสู่ภายนอก (แบบ C) ซึ่งจะดึงอากาศเย็นจากในห้องมาระบายความร้อนให้กับกระจกแผ่นล่างทำให้การหน่วงเวลาการสะสมความร้อนได้ยาวนานขึ้นซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้กับอาคารในประเทศไทย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการวิจัยการส่งผ่านความร้อนและแสงผ่านกระจกที่ใช้กับอาคาร พบว่ากระจกทดสอบทั้ง 7 แบบมีการให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ กระจกชั้นเดียวจะยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้มากกว่ากระจกสองชั้นและกระจกสองชั้นที่มีช่องระบายอากาศ กระจกที่มีการติดตั้งฟิล์มที่มีสีและความเข้มต่างกันจะให้ปริมาณแสงส่งผ่านที่ต่างกันแต่ในด้านการส่งผ่านความร้อนเมื่อถึงช่วงเวลาคงที่ทางความร้อนจะมีค่าต่างกันเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1-6 °C อย่างไรก็ตามการใช้ฟิล์มที่มีสภาพการสะท้อนแสงที่สูงมากจะให้ผลในด้านการยืดระยะเวลาที่กระจกเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อน ออกไปได้ทั้งเมื่อกระจกเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนแล้วอุณหภูมิกระจกจะมีค่าต่ำกว่าการใช้ฟิล์มที่มีสีจางกว่า ในด้านของอุณหภูมิห้องที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลที่น้อยกว่าอีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้กระจกทุกประเภทกับอาคารจะส่งผลกระทบต่อระบบปรับอากาศที่ตั้งค่าไว้ที่อุณหภูมิสุขสบายภายในห้อง อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิผิวกระจกกับอุณหภูมิห้องซึ่งมีสภาพอากาศที่เย็นกว่าและจะเกิดเป็นภาระความร้อนโดยตรงต่อระบบปรับอากาศ

การใช้กระจกที่มีจำนวนชั้นมากขึ้นได้แก่ กระจก 2 ชั้น จากการวิจัยพบว่ากระจก 2 ชั้นจะสามารถยืดระยะเวลาในการสะสมความร้อนออกไปอีกได้เกือบ 20 นาที อีกทั้งเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้องที่เพิ่มขึ้นจะมีผลไม่มากนัก เนื่องจากกระจก 2 ชั้น มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่ากระจกชั้นเดียว ความหนาของกระจกที่มากกว่าส่งผลโดยตรงให้กระจกเมื่อรับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนนานกว่ากระจกชั้นเดียวซึ่งจะเห็นได้จากการเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนจะทำให้อุณหภูมิลดต่ำกว่ากระจกชั้นเดียวที่ใช้ฟิล์มประเภทเดียวกันได้ไม่มากนักแต่อีกสิ่งที่น่าสนใจและเป็นสิ่งสำคัญในการใช้กระจกสองชั้นที่พบในงานวิจัยนี้คือ การใช้กระจกสองชั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้กรอบกระจกที่มีช่องระบายอากาศหากไม่ใช้กรอบที่มีการระบายอากาศร้อนออกความไม่เสถียรภาพทางความร้อนจะทำให้อากาศที่อยู่ในชั้นกระจกเกิดการหมุนเวียนอยู่ภายในอีกทั้งกระจกสองชั้นมีลักษณะที่เป็นปฏิกิริยาเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับอากาศที่อยู่ภายในหากกรอบกระจกไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนอากาศได้เมื่อกระจกเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อน ความไม่เสถียรที่เกิดขึ้นในชั้นอากาศจะส่งผลกระทบต่อ

กระจกร้อนกว่ากระจกชั้นเดียวถึง 4°C ซึ่งกลายเป็นผลเสียอย่างยิ่งกับระบบปรับอากาศโดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนที่ยาวนานที่สุดของประเทศไทย

ดังนั้นในการใช้กระจกกับอาคารจำเป็นต้องเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมกับทิศทางที่ตั้งของอาคารทิศที่เป็นทิศอัสดง (รับรังสีกระจายตลอดทั้งวัน) คือทิศเหนือสามารถใช้กระจกชั้นเดียวใสฟิล์มสีอ่อนได้ในขณะที่ทิศใต้ซึ่งเป็นทิศที่รับแสงอาทิตย์ตลอดวันควรต้องใช้กระจกที่มีการป้องกันความร้อนได้ดีที่สุด (หรือลดจำนวนกระจกลงใช้ผนังทึบเข้าแทรก) ส่วนในทิศตะวันออกและตะวันตกซึ่งมีการรับแดดเพียงครึ่งวัน (4-5 ชั่วโมง) จะต้องเลือกกระจกที่สามารถหน่วงเวลาการเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อนให้นานที่สุดจะเป็นแบบชั้นเดียวหรือสองชั้นก็ได้ ส่วนการนำกระจกเพื่อใช้ในการทำหลังคาโปร่งแสงไม่สมควรอย่างยิ่งที่จะนำกระจกไปใช้ในทิศใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ติดตั้งที่มีมุมต่ำมากๆ เพราะจะส่งผลกระทบต่อระบบปรับอากาศ ซึ่งหากมีความจำเป็นที่จะใช้กระจกทำหลังคาโปร่งแสงต้องติดตั้งในมุมที่สูงมากๆ (45-60 องศา) เมื่อออกแบบและเลือกใช้กระจกที่ถูกต้องเหมาะสมแล้วนอกจากจะลดต้นทุนในการก่อสร้างแล้วยังช่วยให้ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศลดลงและลดการใช้พลังงานในส่วน of ระบบปรับอากาศลงได้ซึ่งการออกแบบอาคารที่มีรูปแบบกระจกที่ไม่เหมือนกันนั้นมีการออกแบบกันในอาคารสมัยใหม่ในยุโรป (ดังรูปที่ 5.1) เนื่องจากการเห็นความสำคัญของการให้แสงและความร้อนผ่านกระจกอาคารของสถาปนิกและวิศวกรผู้ออกแบบอาคารจึงทำให้อาคารเป็นอาคารประหยัดพลังงานอย่างแท้จริงได้



รูปที่ 5.1 อาคารในประเทศฝรั่งเศสที่มีการออกแบบการใช้กระจกที่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและแสงผ่านกระจกอาคารยังมีผู้ศึกษาจริงจังทางด้านนี้น้อยมากดังนั้นจึงเป็นเหมือนแหล่งที่ต้องลงมาศึกษาจากการวิจัยกระจกอาคารมีคุณทางด้านจิตใจในการลดความอึดอัดทั้งยังได้สัมผัสกับทิวทัศน์ภายนอกอาคารแต่ก็มีข้อเสียในด้านความร้อนอันเนื่องมาจากผลของความร้อนส่งผ่านเมื่อกระจกเข้าสู่สภาวะคงที่ทางความร้อน

จากการที่ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดถึงการใช้ม่านหรือมู่ลี่ไม่ได้ช่วยป้องกันความร้อนส่งผ่านแต่ป้องกันเพียงแสงเท่านั้นเมื่อกระจกร้อนขึ้นเต็มที่แล้วความร้อนยังคงส่งผ่านเข้ามาเป็นภาระแก่ระบบปรับอากาศได้ ดังนั้นในการศึกษาหรือวิจัยต่อเนื่องทางด้านนี้จึงมีสิ่งที่สามารถทำได้หลายด้าน โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การใช้โปรแกรมจำลองสำเร็จรูปและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองสภาพการสะสมความร้อน สามารถศึกษาแยกย่อยออกได้ดังนี้

- การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสะสมความร้อนในห้องที่มีการใช้กระจกในทิศต่างๆ
- การใช้โปรแกรมเพื่อเลียนแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างชั้นของกระจกสองชั้นที่ใช้เป็นผนังและหลังคาโปร่งแสงของอาคารในทิศต่างๆ
- การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความไม่เสถียรของอากาศในระหว่างชั้นของกระจกสองชั้นที่ติดตั้งรับแสงอาทิตย์ ฯลฯ

กลุ่มที่ 2 การทดลองสภาพการสะสมความร้อนของวัสดุโปร่งแสงชนิดต่างๆ สามารถศึกษาแยกย่อยออกได้ดังนี้

- การศึกษาการสะสมความร้อนของอาคารที่ใช้หลังคาโปร่งแสงแบบโพลีคาร์บอเนต
- การศึกษาการสะสมความร้อนของระบบปรับอากาศของหลังคาโปร่งแสงที่ใช้กับอาคาร
- การศึกษาความเหมาะสมในการใช้หลังคาโปร่งแสงเพื่อลดการใช้แสงสว่างภายในอาคารขนาดใหญ่ ฯลฯ

อย่างไรก็ตามการศึกษาทั้งสองกลุ่มควรมีการทำไปพร้อมๆกันทั้งด้านทฤษฎี และผลจากการทดสอบจริงเพื่อให้ได้ผลที่สามารถยอมรับและนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ,กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม “คู่มือการอนุรักษ์พลังงาน”
2. นกสิทธิ์ คูวัฒนาชัย, “ การถ่ายเทความร้อน”, กรุงเทพฯ, จัดพิมพ์โดยฟิสิกส์เซ็นเตอร์
3. สุนันท์ ศรัณนิตย์, “ การถ่ายเทความร้อน”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2538
4. รองศาสตราจารย์ มนตรี พิรุณเกษตร “ การถ่ายเทความร้อน”,กรุงเทพฯ, จัดพิมพ์โดยพิมพ์ดี
5. คมพจน์ สุขอ่อน,พีรพล คนแรงดี,วรวิธ แยมรัมย์ “การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและปริมาณแสงผ่านกระเบื้องโปร่งแสงที่มีใช้ในประเทศไทย” ปรินูญานิพนธ์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
6. ชัยวัฒน์ เอี่ยมพงษ์ไพฑูรน์, วิบูลย์ สมितिเชียร, 2540 “เครื่องวัดความเข้มฟิล์มกรองแสง” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7. คมสัน เชื้อสนธิ,อนุรักษ์ ทองจันทร์ “การออกแบบชุดอุปกรณ์ป้องกันความร้อนสำหรับหลังคาโปร่งแสง” ปรินูญานิพนธ์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
8. ประเมธ ประเสริฐยิ่ง “การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสำหรับวัสดุก่อสร้าง” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. ฤทธิ์ จิตตสตรา, “ ศักยภาพการใช้แสงจากธรรมชาติในอาคาร” สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานวัสดุ พระจอมเกล้าธนบุรี

10. ปรีทัศน์ อร่ามวานิช, 2538 “การสร้างแบบจำลองเพื่อการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บ้านอาศัย” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
11. เกษียร ธรานนท์, 2538 “อิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกต่อการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. พรรณจิรา ทิศาวิภาต, 2541 “ผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13. สุพจน์ ไวศยวรรณ, 2543 “การศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ช่องเปิดบนหลังคาเพื่อรับแสงเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศ”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, พระจอมเกล้าธนบุรี
14. นพรัตน์ คำพร, 2544 “การศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างกระจก” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. G. Alvarez, M.J. Palacios, J.J. Flores, 1999, “A test method to evaluate the thermal performance of window glazings” **Applied Thermal Engineering**, pp. 803-812
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติกะ บุญนาค “การใช้กระจกอย่างมีประสิทธิภาพ (ตอนที่ 1)”, วารสารสุทธิปริทัศน์ปีที่ 14 ฉบับที่ 42, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2543
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติกะ บุญนาค “การใช้กระจกอย่างมีประสิทธิภาพ (ตอนที่ 2)”, วารสารสุทธิปริทัศน์ปีที่ 14 ฉบับที่ 43, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2543

18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตึกะ บุญนาค “การใช้กระจกอย่างมีประสิทธิภาพ (ตอนที่ 3)”, วารสาร
 สุทธิปริทัศน์ปีที่ 14 ฉบับที่ 44, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2543
19. Awbi, H.B., 1991, Ventilation of the buildings, New York, E&FN SPON, pp. 33-58.
20. Awbi, H.B., 1994, “Design Conditions for Naturally Ventilated Buildings,” **Renewable Energy**, Vol. 5 Part II, pp.1081-1090.
21. Givoni, B., 1994, Passive and low energy cooling of buildings, Van Nostrand Rein, Hold an International Thomson Publishing Company.
22. Frank, P.I., David, P.D., 1990, Intoduction to heat transfer, 2nd ed., New York, John Wiley&Son, pp.513-520.
23. Sadik K., Yaman Y., 1995, Convective Heat transfer, 2nd ed., CRC Press, pp. 327-355.
24. Manca, O., Morrone, B. and Nardini, S., 2000, “Experimental Analysis of Thermal Instability in Natural Convection Between Horizontal Parallel Plates Uniformly Heated”, **Heat and Mass Transfer**, Vol. 122, pp. 50-57.
25. Frank P. I., David, P. D., 1990, Introduction to heat transfer, 2nd ed., New York, John Wiley & Son, pp.513-520.
26. Bunnag T., Sarachitti R., Khedari J., Hirunlabh. J., 2001, “Experimental Investigation of Free Convection in Open Ended Horizontal Rectangular Channel Heated from the Top”, **Proceeding of the ASEAN Science & Technology Week Conference**, International Conference Center, Brunei. (in press).
27. Chan Y. L. and C. L. Tien, 1985, “A Numerical Study of Two-Dimensional Laminar Natural Convection in Shallow Open Cavities”, **Heat and Mass Transfer**, Vol. 28, No. 3, pp. 603-612.
28. Evans. G and Greif R., 1989. “A Study of Traveling Wave Instabilities in a Horizontal Channel Flow with Applications to Chemical Vapor Deposition” **Heat and Mass Transfer**, Vol. 32, pp. 895-911.
29. School of Energy and Material, 1998. Construction Handbook , King Momgkut’s University of Technology Thonburi, 92 p.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล ตีเกะ บุนนาค

การศึกษา

วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	ปีที่สำเร็จ	มหาวิทยาลัย
B.Eng.	วิศวกรรมเครื่องกล	2536	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
M.Eng.	เทคโนโลยีคุณภาพ	2538	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Doctorat	Sciences Physique Mécanique Énergétique	2544	Université de NICE- Sophia Antipolis
Ph.D.	เทคโนโลยีพลังงาน	2544	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ตำแหน่ง

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
- หัวหน้าศูนย์ปรึกษาและพัฒนาทางด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์