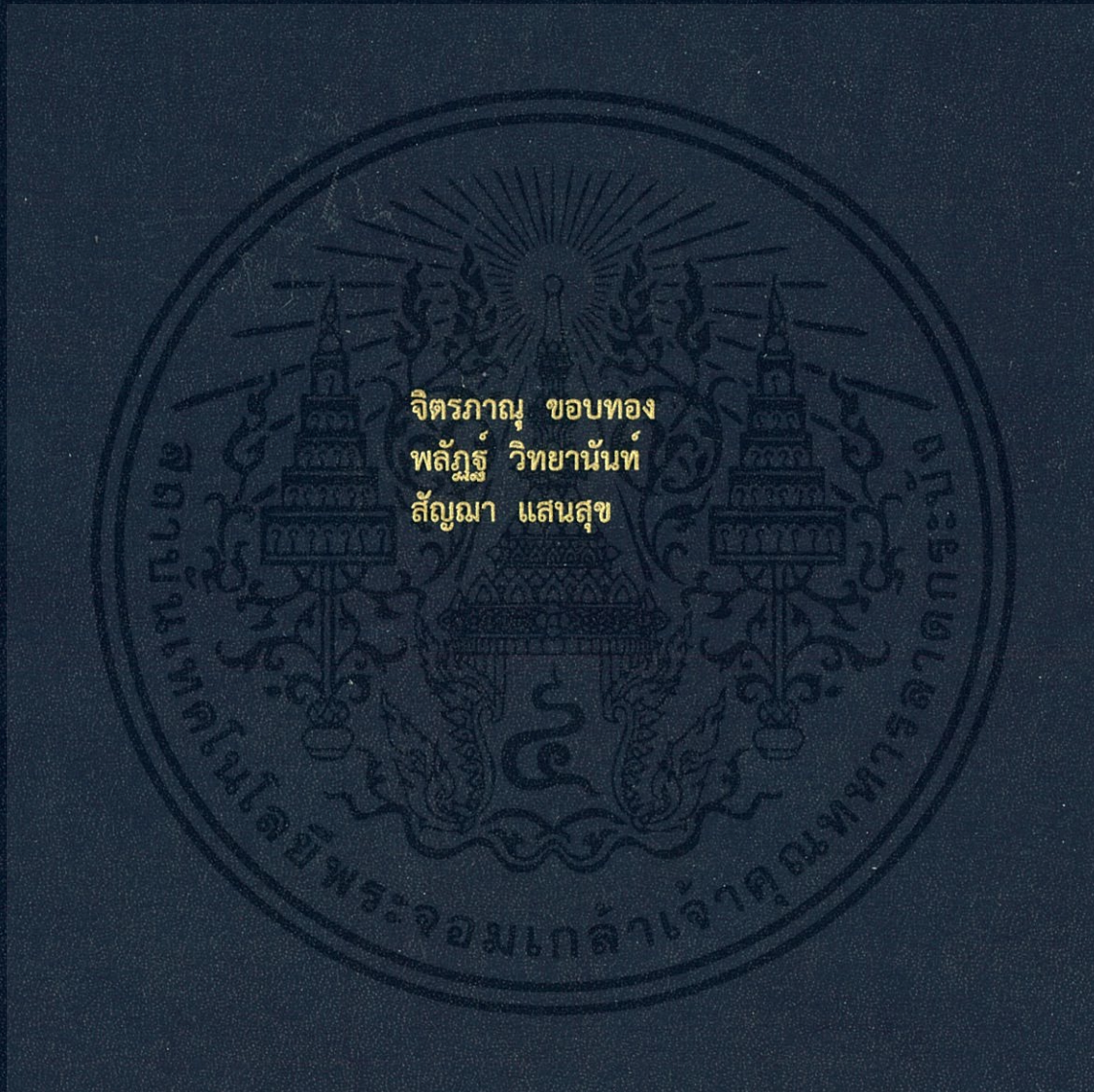


การศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคากระจก
A Study of Glass Roof for Heat Gain Reduction through Building



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคากระจก
A Study of Glass Roof for Heat Gain Reduction through Building



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Glass Roof for Heat Gain Reduction through Building



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคากระจก

A STUDY OF GLASS ROOF FOR HEAT GAIN REDUCTION THROUGH BUILDING

ผู้จัดทำ

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1.นาย จิตรภาณุ ขอบทอง | รหัสประจำตัว 56010176 |
| 2.นาย พลัฏฐ์ วิทยานันท์ | รหัสประจำตัว 56010825 |
| 3.นาย สัณฐิมา แสนสุข | รหัสประจำตัว 56011292 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชินรัชย์ เสียรพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคากระจก

นาย จิตรภาณุ ขอบทอง รหัสประจำตัว 56010176
 นาย พลัฎฐ์ วิทยานันท์ รหัสประจำตัว 56010825
 นาย สัญญา แสนสุข รหัสประจำตัว 56011292
 รศ.ดร.ชินรักษ์ เจริญพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดพลังงานความร้อนผ่านหลังคากระจก โดยการศึกษากลไกของการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสมการที่ทำการสร้างขึ้นเป็นการถ่ายเทความร้อนสภาวะคงตัว แบบ 1 มิติ โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ ทำการศึกษาโดยใช้กระจกใส กระจกติดฟิล์ม และ กระจกทาสีสะท้อนความร้อนเพื่อเปรียบเทียบกัน ขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็นสองส่วน ในส่วนแรก จะทำการศึกษากลไกการถ่ายเทความร้อน เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนของกระจก ส่วนที่สองจะทำการทดสอบแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นด้วยการนำผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้จากสมการมาเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบจริง จากนั้นทำการศึกษาผลของการลดพลังงานความร้อนและผลการลดอุณหภูมิที่ผิวกระจก โดยกระจกทาสีสะท้อนความร้อน สามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุด โดยในช่วงเวลาที่แดดจัดที่สุดคือช่วง 11.30น. – 13.00น. สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องได้มากที่สุดถึง 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่กระจกติดฟิล์มสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องได้เพียง 3 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในกล่องของกระจกใส และเมื่อคิดเป็นร้อยละกระจกทาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่กล่องได้ร้อยละ 71.9 ส่วนกระจกติดฟิล์มสามารถลดได้เพียงร้อยละ 32.2 เมื่อเทียบกับกระจกใส โดยผลคำนวณทางทฤษฎีมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 1-8% เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ

A STUDY OF GLASS ROOF FOR HEAT GAIN REDUCTION THROUGH BUILDING

Jitpanu	Khobthong	56010176
---------	-----------	----------

Palat	Wittayanan	56010825
-------	------------	----------

Sancha	Saensook	56011292
--------	----------	----------

Assoc. Prof. Dr. Chinaruk Thianpong Advisor

Year 2016

ABSTRACT

This research aimed to study the heat transferred reduction through glass roof by studying the heat transfer mechanisms of the glass for create mathematical model. A one-dimension steady state heat transfer mathematical model and the weather data of Bangkok were used to find the results. Three types of mirror: clear glass, film tinting glass and ceramic coated glass were selected and compared. The methodology of this research consisted of 2 parted. The first part was to studied the heat transfer mechanisms for develop the heat transfer mathematical equation of glass. The second part will check the mathematical models by comparing its theoretical results with the experimental results. Then study the heat transfer and mirror surface temperature reduction by measuring the temperature in box and inner-outer surface temperature of glass. Ceramic coated glass is the best material to reduce temperature in the strong sun period between 11.30am – 1.00pm. It could reduce the average temperature in the box up to 10 degrees Celsius but film tinting glass could reduce only 3 degrees Celsius and ceramic coated glass can reduce the heat that penetrate into the box about 71.9% but film tinting glass can reduce heat only 32.2% when compare them with clear glass. The result of comparison between the theoretical calculation and experiment showed 1-8% percentage of different.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้หากไม่มีผู้มีความกรุณาธิคุณเฉกเช่น รองศาสตราจารย์ ดร.ชิน รัชย์ เธิียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งท่านได้ให้ความใส่ใจ ความเมตตาและความรักแก่พวกเรา คณะผู้จัดทำเป็นอย่างมาก รวมถึงให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เปี่ยมไปด้วยความรู้และประสบการณ์ ซึ่งทำให้พวกเรา คณะผู้จัดทำซาบซึ้งเป็นอย่างมากจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิฑาดา เจษฎารัตนชัย และ ผศ.ดร.มนศักดิ์ พิมสาร ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุง วิทยานิพนธ์ที่เปี่ยมล้นไปด้วยความห่วงใย รวมไปถึงคณาจารย์คณะวิศวกรรมเครื่องกล ผู้สั่งสอนพวกเรา ทำให้พวกเราสามารถสั่งสมวิชาความรู้จนเป็นที่ภาคภูมิใจและก้าวหน้าต่อไปด้วยความมุ่งมั่นและพากเพียร

ขอขอบคุณ นายนราฤทธิ์ วัตวิไล และ นางสาวศุภลักษณ์ อินยศ ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้ในการติดตั้ง เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโครงงานนี้ให้แก่พวกเรา

และขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่งซึ่งได้ เลี้ยงดูผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ใน ทุกๆด้าน อันเป็นบุญคุณสูงสุดหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณนั้น และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

จิตรภาณุ
พลัฎฐ์
สัญญา

ขอบทอง
วิทยานันท์
แสนสุข

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตัวย่อ	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.3.1 ผลงานแสงอาทิตย์	5
2.3.2 หลักการถ่ายเทความร้อน	8
2.3.3 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะกลไกการถ่ายเทความร้อน	11
2.3.4 สมมติฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	12
2.3.5 การออกแบบกล่องทดสอบ	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและการออกแบบชุดทดลอง	17
3.1 บทนำ	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

3.2	ขั้นตอนการดำเนินงาน	17
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ	18
3.4	การสอบเทียบค่าอุณหภูมิ	22
3.5	การติดตั้งกล่องทดสอบ	25
บทที่ 4	วิธีการทดลองและผลลัพธ์	28
4.1	บทนำ	28
4.2	วิธีการทดลอง	28
4.2.1	การคำนวณผลการทดลองทฤษฎี	28
4.2.2	การวัดผลการทดลองจากชุดการทดลอง	28
4.3	ผลการทดลอง	29
4.3.1	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องของกระจกแต่ละชนิด	29
4.3.2	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกใส	30
4.3.3	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกติดฟิล์ม	31
4.3.4	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน	31
4.3.5	การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอกและผิวในของกระจก ระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลองของกระจกใส	32
4.3.6	การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอกและผิวในของกระจก ระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลองของกระจกฟิล์ม	34
4.3.7	การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอกและผิวในของกระจก ระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลองของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน	36
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	39
5.1	บทนำ	39
5.2	สรุปผลการทดลอง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
5.3 ปัญหาจากการศึกษา	40
5.4 ข้อเสนอแนะ	40
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก รูปการทำกล่องชุดการทดลอง	42
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์ต่างๆ	46
ภาคผนวก ค การคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ชุดการทดลอง	51
เอกสารอ้างอิง	52

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
4.1	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวนอกของกระจกใส ณ เวลาต่างๆ	32
4.2	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวในของกระจกใส ณ เวลาต่างๆ	33
4.3	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวนอกของกระจกติดฟิล์ม ณ เวลาต่างๆ	34
4.4	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวในของกระจกติดฟิล์ม ณ เวลาต่างๆ	35
4.5	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวนอกของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน ณ เวลาต่างๆ	36
4.6	เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวในของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน ณ เวลาต่างๆ	37



สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้าที่
2.1	ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	6
2.2	ช่วงความยาวคลื่นของการคายรังสีความร้อน	6
2.3	ตัวอย่างการส่งผ่านรังสีความร้อนไหลผ่านกระจกใส	7
2.4	ภาพแสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนของกระจกใส	11
2.5	วงจรรความร้อนของกระจกใส	11
2.6	ขั้นตอนการวัดผลและเก็บข้อมูล	11
2.7	ชุดการทดลอง	14
2.8	แสงอาทิตย์เมื่อกระทบกับกระจกใส	15
2.9	แสงอาทิตย์เมื่อกระทบกับกระจกติดฟิล์ม	15
2.10	ภาพเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ทาสี และไม่ทาสีสะท้อนความร้อน	16
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการ	17
3.2	กล่องชุดการทดลอง	18
3.3	แผ่นฉนวนกันความร้อน	18
3.4	กระจกใสที่ใช้ในการทดลอง	18
3.5	กระจกฟิล์มที่ใช้ในการทดลอง	19
3.6	กระจกทาสีสะท้อนแสงที่ใช้ในการทดลอง	19
3.7	สีสะท้อนความร้อน	20
3.8	Data Logger ยี่ห้อ Graphtec จำนวน 20 Slot	20
3.9	Kapton tape	20

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
3.10	อุปกรณ์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์	21
3.11	สายวัดเทอร์โมคัปเปิล type K	21
3.12	เครื่องมือวัดความเร็วลม	21
3.13	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 1	22
3.14	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 2	22
3.15	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 3	23
3.16	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 4	23
3.17	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 5	23
3.18	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 6	24
3.19	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 7	24
3.20	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 8	24
3.21	การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 9	25
3.22	ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณผิวของกระจกด้านนอก	25
3.23	ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณผิวของกระจกด้านใน	26
3.24	ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณกึ่งกลางของกล่องทำการทดลอง	26
3.25	ตำแหน่งติดตั้งกล่องทดสอบ	27
3.26	ตำแหน่งติดตั้งกล่องทดสอบ	27
4.1	ตัวอย่างไฟล์ ค่าอุณหภูมิจากผลการทดลอง	29
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยและเวลาของกระจกทั้ง 3 ชนิด	29

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้าที่
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกใส	30
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกฟิล์ม	31
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน	31
4.6	กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกของกระจกใส โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลอง	33
4.7	กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวในของกระจกใส โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลอง	34
4.8	กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกของกระจกฟิล์ม โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลอง	35
4.9	กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวในของกระจกฟิล์ม โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎี กับผลการทดลอง	36
4.10	กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง	37
4.11	กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวในของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง	38

รายการสัญลักษณ์

- A = พื้นที่หน้าตัดของแต่ละกรณี (ตารางเมตร)
 α = ค่าการดูดกลืนของกระจก
 ε = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนบนพื้นผิว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิว
 ε_g = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของกระจก
 $h_{convection}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (วัตต์/เมตร²องศาเซลเซียส)
 h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยอากาศภายนอก (วัตต์/เมตร²องศาเซลเซียส)
 $h_{combined}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการแผ่รังสีระหว่างผิวกระจกด้านในกับภายในห้อง (วัตต์/เมตร²องศาเซลเซียส)
 $h_{Radiation}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (วัตต์/เมตร²องศาเซลเซียส)
 I_θ = รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ (วัตต์/ตารางเมตร)
 k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร²องศาเซลเซียส)
 L = ความหนาของวัสดุ (เมตร)
 $Q_{Conduction}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อน (วัตต์)
 $Q_{Convection}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน (วัตต์)
 $Q_{Radiation}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน (วัตต์)
 $R_{conduction}$ = ความต้านทานการนำความร้อน
 $R_{convection}$ = ความต้านทานการพาความร้อน
 $R_{Radiation}$ = ความต้านทานการแผ่รังสีความร้อน
 R_1 = ค่าความต้านทานความร้อนจากการพาความร้อนของอากาศภายนอก
 R_2 = ค่าความต้านทานจากการนำความร้อนในกระจก
 R_3 = ค่าความต้านทานจากการพาและแผ่รังสีความร้อนจากกระจกไปสู่ภายในห้อง
 R_4 = ค่าความต้านทานความร้อนจากการแผ่รังสีจากผิวฟิล์มสู่ท้องฟ้า
 T_a = อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก (องศาเซลเซียส)
 T_i = อุณหภูมิกระจกด้านใน (องศาเซลเซียส)
 T_{in} = อุณหภูมิภายในห้อง (องศาเซลเซียส)
 T_s = อุณหภูมิที่ผิว (องศาเซลเซียส)
 T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้า (องศาเซลเซียส)
 T_{surr} = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
 T_o = อุณหภูมิกระจกด้านนอก (องศาเซลเซียส)
 T_∞ = อุณหภูมิของของไหล (องศาเซลเซียส)
 ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียส)
 W = ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
 σ = ค่าคงที่สเตฟาน - โบลท์มาน เท่ากับ 5.67×10^{-8} (วัตต์/ตารางเมตรองศาเซลเซียส⁴)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานของประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นทุกปี เป็นผลมาจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ พลังงานถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่ถูกนำมาใช้ในกิจกรรมของแต่ละภาคส่วนทั้งในส่วนของภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจ การคมนาคม การเกษตร รวมถึงการอยู่อาศัยของประชากร จากข้อมูลสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทยปี พ.ศ. 2557 จากกระทรวงพลังงาน พบว่าการใช้พลังงานในส่วนของบ้านอยู่อาศัย คิดเป็น 11,459 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และ ธุรกิจการค้า 5,477 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 15.1 และ 7.2 ของพลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมดตามลำดับ โดยส่วนหนึ่งของพลังงานทั้งสองภาคส่วนถูกใช้ในการปรับอากาศเพื่อรักษาสภาพที่อยู่อาศัยให้มีอุณหภูมิภายในที่เหมาะสมและสะดวกสบาย ซึ่งในอาคารขนาดใหญ่จะใช้พลังงานสำหรับภาระการปรับอากาศประมาณร้อยละ 60 ของพลังงานที่ใช้ในอาคาร

อาคารขนาดใหญ่ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นอาคาร สำนักงาน อาคารพาณิชย์ หรือ อาคารที่อยู่อาศัย นิยมออกแบบอาคารโดยใช้กระจกเป็นกรอบอาคาร เพื่อสร้างภาพลักษณ์ของตัวอาคารให้มีความสง่างาม ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารสามารถมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้อย่างชัดเจน กระจกจะทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์เข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะให้ทั้งแสงธรรมชาติและความร้อนแก่พื้นที่ภายในอาคาร หากพิจารณาในด้านของพลังงานแล้ว สิ่งที่เป็นประโยชน์จากแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคารในแง่ของการอนุรักษ์พลังงานนั้น คือ แสงธรรมชาติ ซึ่งสามารถใช้เพื่อทดแทนแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟเป็นแนวทางในการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ แต่สิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์ในแง่ของการอนุรักษ์พลังงาน คือ ความร้อนจำนวนมากที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ ส่งผลให้เพิ่มปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารให้มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการที่จะออกแบบอาคารให้มีทั้งความสวยงาม และมีสภาวะอากาศภายในที่เหมาะสมเป็นที่พอใจแก่ผู้อยู่อาศัยหรือทำงาน พร้อมกับทำให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานจากการใช้ระบบปรับอากาศด้วยนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเข้าใจถึงสมรรถนะของกระจกที่จะนำมาเป็นกรอบอาคารในด้านของการส่งผ่านความร้อนและในด้านของความสะดวกสบาย จากเหตุผลข้างต้นทำให้การศึกษาสมรรถนะในการลดความร้อนผ่านกระจกเป็นแนวทางการลดการใช้พลังงานในอาคารที่น่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

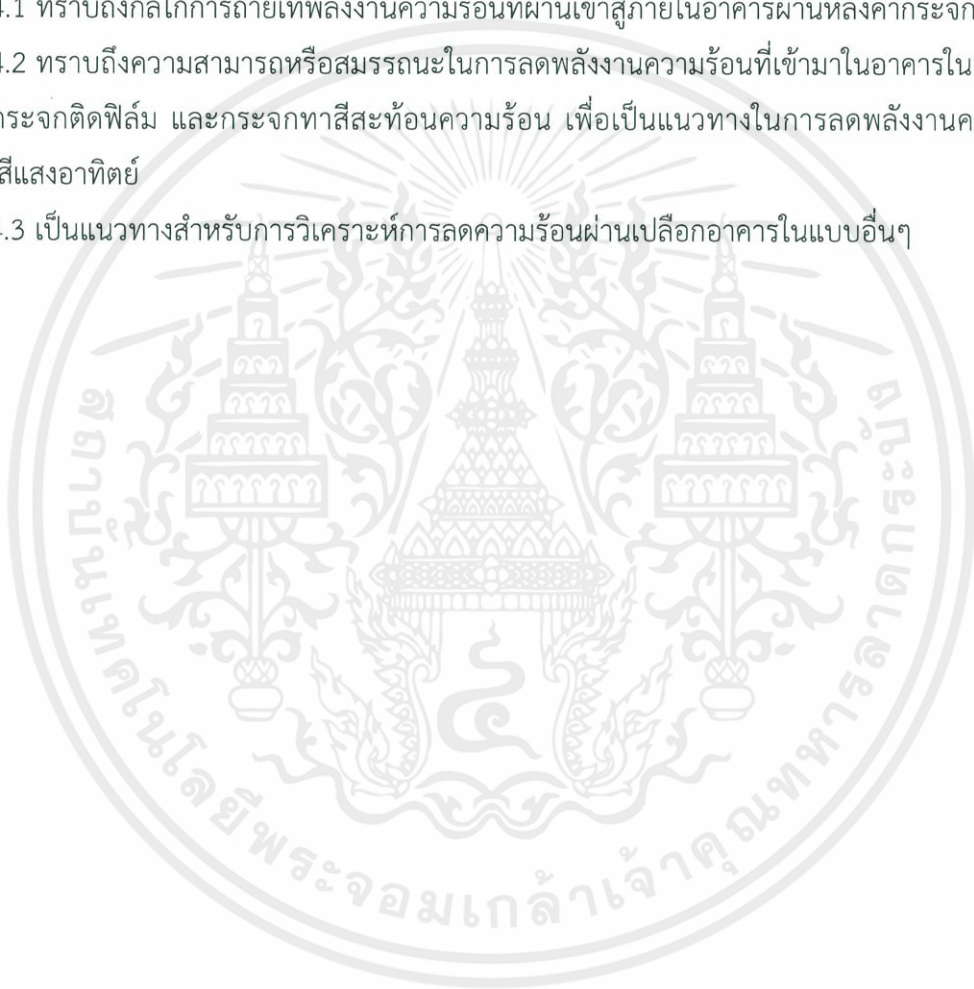
สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลของการใช้กระจกใส กระจกติดฟิล์ม และกระจกทาสีสะท้อนความร้อน ในการลดพลังงานความร้อนเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบกับทดลองจริง ซึ่งจากผลการศึกษานี้จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาด้านการอนุรักษ์พลังงานและช่วยเพิ่มความสบายเชิงอุณหภูมิของผู้อยู่อาศัยหรือทำงานในอาคารต่อไป

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกด้านนอก อุณหภูมิผิวกระจกด้านใน อุณหภูมิภายในกล่องทดสอบระหว่างกระจกใส กระจกติดฟิล์ม และกระจกทาสีสะท้อนความร้อน
- 1.3.2 พิจารณาเฉพาะกรณีกระจกติดตั้งในแนวระนาบกับพื้นเท่านั้น โดยไม่มีอุปกรณ์บังแดด
- 1.3.3 ในการศึกษาพิจารณาโดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ
- 1.3.4 อัตราส่วนของพื้นที่รับแสงเข้าต่อปริมาตรกล่อง มีค่าเท่ากับ 1.62 m^{-1}

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

- 1.4.1 ทราบถึงกลไกการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารผ่านหลังคากระจก
- 1.4.2 ทราบถึงความสามารถหรือสมรรถนะในการลดพลังงานความร้อนที่เข้ามาในอาคารในกรณีของกระจกใส กระจกติดฟิล์ม และกระจกทาสีสะท้อนความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการลดพลังงานความร้อนเนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์
- 1.4.3 เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์การลดความร้อนผ่านเปลือกอาคารในแบบอื่นๆ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการศึกษาเรื่องการถ่ายเทความร้อน จำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน อันเนื่องมาจาก การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และการวิเคราะห์ผลเบื้องต้น ซึ่งจะกล่าวในบทนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์ [1] ศึกษาการลดพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านกระจก โดยกระจกที่นำมาใช้เป็นกระจกขนาดหนา 6 มิลลิเมตร ได้แก่ กระจกชั้นเดียวสีชาอ่อน สีชาดำ สีบรอนซ์ สีฟ้า สีเขียว และกระจกฉนวน 2 ชั้นที่ประกอบด้วยกระจกชั้นเดียว 6 มิลลิเมตรเป็นแผ่นนอก ตรงกลางเป็นช่องว่างอากาศและด้านในเป็นแผ่นกระจกใส 6 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่ากรณีติดตั้งทั้งหลัง กระจกฉนวนสองชั้นชนิดที่แผ่นนอกเป็นกระจกสีชาดำสามารถลดภาระการทำความเย็นได้มากที่สุด 12.8 เมกะบีทียูต่อปี หรือ 15.5 % ของค่าภาระการทำความเย็นกรณีการติดตั้งกระจกใส 6 มิลลิเมตร รองลงมาคือกลุ่มของกระจกฉนวน 2 ชั้นชนิดที่แผ่นนอกเป็นกระจกสีฟ้า สีเขียว สีชาอ่อน สีบรอนซ์ และกระจกชั้นเดียวสีชาดำ สามารถลดภาระการทำความเย็นได้ประมาณ 10.5-12.0% และกลุ่มของกระจกชั้นเดียวสีฟ้า สีเขียว สีชาอ่อน สีบรอนซ์ ลดลงได้ 6.6-7.8% และกระจกใสฉนวน 2 ชั้นมีค่าภาระการทำความเย็นลดลงได้น้อยที่สุดเท่ากับ 3.5% เมื่อเทียบกับการติดตั้งกระจกใส 6 มิลลิเมตรทั้งหลัง

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และคณะ [2] ศึกษาการส่งผ่านพลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม จากการศึกษาสรุปได้ว่าสำหรับกระจกหน้าต่างปกติและหน้าต่างกระจกติดฟิล์มทุกกรณี จะมีค่าดัชนีการส่งผ่านความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนมากกว่าค่าดัชนีการส่งผ่านความร้อนจากการนำความร้อนมาก โดยที่หน้าต่างกระจกสะท้อนแสงกับหน้าต่างกระจกสองชั้นจะมีค่าดัชนีการส่งผ่านความร้อนน้อย ส่วนกระจกที่ติดฟิล์มจะมีการลดลงของปริมาณความร้อนตามคุณสมบัติของฟิล์ม ค่าดัชนีการส่งผ่านความร้อนจะแปรผันตามค่าการส่งผ่านรังสี และแปรผกผันกับค่าการดูดกลืนความร้อน

นายศราวุธ ศรีนุศิษย์ [3] ศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ในอาคารโรงพยาบาลเลิดสิน โดยปรับปรุงกรอบอาคาร 2 อาคาร ให้สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่ในอาคาร เพื่อเป็นการลดภาระการทำความเย็นให้กับเครื่องปรับอากาศ โดยวิเคราะห์และทำการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2 โดยผลที่ได้หลังการปรับปรุงคือ การปรับปรุงกระจกในอาคาร 33 ปี ลดการใช้พลังงานได้ 45 MWh/year ระยะเวลาคืนทุน 5.2 ปี และการปูฉนวนใยแก้วบนฝ้าเพดานในอาคารอำนวยการ ลดการใช้พลังงานได้ 37 MWh/year ระยะเวลาคืนทุน 3.8 ปี

สุธน คงศักดิ์ตระกูล [4] ทำการพัฒนาชุดหน้าต่างที่มีการระบายอากาศเพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดหน้าต่าง 3 ลักษณะ ทดสอบด้วยการทำชุดหน้าต่างต้นแบบพร้อมบ้านจำลองจำนวน 3 กล่อ่ง โดยหันชุดการทดลองไปทางทิศใต้ แล้ววัดอุณหภูมิที่บริเวณผิวกระจก ช่องว่างระหว่างกระจก อากาศช่องทางระบายลมเข้าและออกของชุดหน้าต่าง บริเวณผิวกระจกภายใน และอุณหภูมิกลางบ้านจำลอง โดยเก็บบันทึกผลทุกๆ 30 นาที ได้ผลว่า ชุดหน้าต่างที่พัฒนาสามารถป้องกันการถ่ายเทเอกสารเป็นเอกสารทส่งวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนได้ดีกว่าชุดหน้าต่างที่นำมาเปรียบเทียบ 1-2 องศาเซลเซียส อีกทั้งหน้าต่างที่พัฒนาสามารถระบายอากาศทั้งภายในช่องว่างระหว่างกระจกและระบายอากาศจากในช่องว่างระหว่างกระจกสู่อากาศภายนอกได้

เอกสิทธิ์ ยงพาณิชย์ [5] ศึกษาการลดพลังงานความร้อนผ่านกระจกเมื่อมีม่านน้ำไหลผ่านเปรียบเทียบกับกระจกธรรมดาที่ไม่มีม่านน้ำไหลผ่านโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยกระจกที่นำมาทำการทดสอบมี 3 ประเภท 1.กระจกใส 2.กระจกสีเขียว 3.กระจกสีชาดำ ผลการวิจัยพบว่า กระจกที่มีม่านน้ำสามารถลดพลังงานความร้อนเข้าอาคารเมื่อเทียบกับกระจกที่ไม่มีม่านน้ำต่อปีได้ถึง 66.2-189.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือคิดเป็น 8.8-26.6% และทิศที่สามารถลดพลังงานความร้อนได้มากที่สุดคือ ทิศใต้ กระจกม่านน้ำจะมีอุณหภูมิที่ผิวกระจกเฉลี่ยต่ำกว่ากระจกที่ไม่มีม่านน้ำ 2-8 องศาเซลเซียส และการใช้ม่านน้ำในเวลากลางวันช่วยลดพลังงานความร้อนที่เข้าอาคารได้เล็กน้อยเมื่อเทียบกับช่วงกลางวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy)

แหล่งกำเนิดของพลังงานความร้อน ซึ่งโลกจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในการแผ่รังสีคลื่นสั้นในรูปของคลื่นสั้นในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) จากพื้นผิวของดวงอาทิตย์ มีอุณหภูมิ 11,000 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 6,000 องศาเซลเซียสโดยประมาณ สามารถเคลื่อนที่ได้ในรูปของคลื่นความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัว เป็นตัวกำหนดชนิดของพลังงาน ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380-760 นาโนเมตร ประกอบด้วยสเปกตรัม (spectrum) ของสีหลายๆสี ที่เกิดจากความถี่และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกันพลังงานในช่วงดังกล่าวนี้ช่วยในการมองเห็น (visible spectrum) สีม่วงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด และสีแดงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด โดยพลังงานความถี่แผ่มาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

- ช่วงความยาวคลื่นขนาดสั้น เช่น รังสีเอ็กซ์เรย์ (X-Rays) รังสีแกมมา (Gamma-Rays) มีพลังงานมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า
- ช่วงความยาวคลื่นขนาดกลาง ซึ่งตามองเห็นได้ (visible spectrum) เช่น แสงที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน
- ช่วงความยาวคลื่นขนาดยาว เช่น อินฟราเรด (Infrared Rays)

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

แสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังผิวโลกเรียกว่า Insolation โดยที่รังสีของดวงอาทิตย์จะผ่านชั้นบรรยากาศก่อนลงสู่พื้นโลก ซึ่งประกอบไปด้วยแก๊ส ไอน้ำ และฝุ่นละออง เกิดจากการดูดซับรังสีเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งการแผ่รังสีสามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะคือ

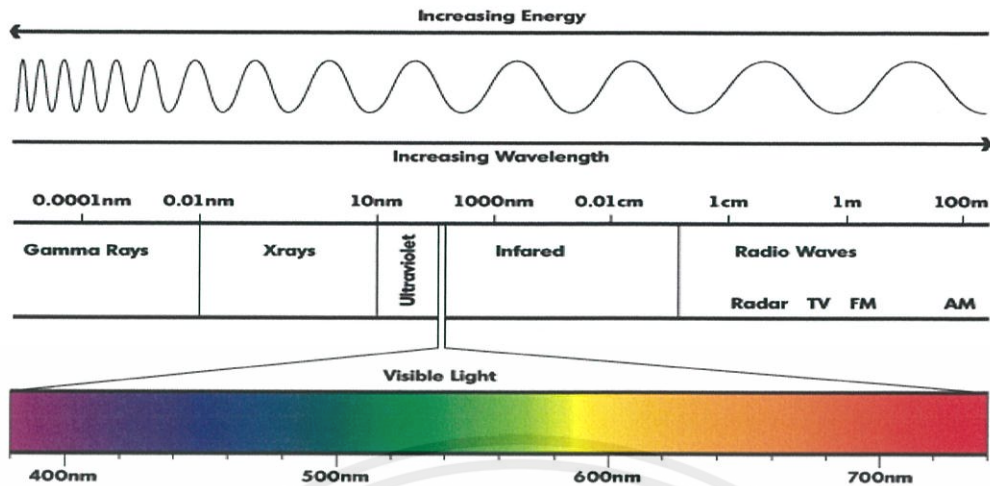
- รังสีตรง (Direct Radiation) รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง
- รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศ และเกิดการกระจายตัวของรังสี
- รังสีสะท้อน (Reflect Radiation) รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวแล้วสะท้อนกลับเข้าสู่บรรยากาศ

ประเภทของรังสีความร้อน

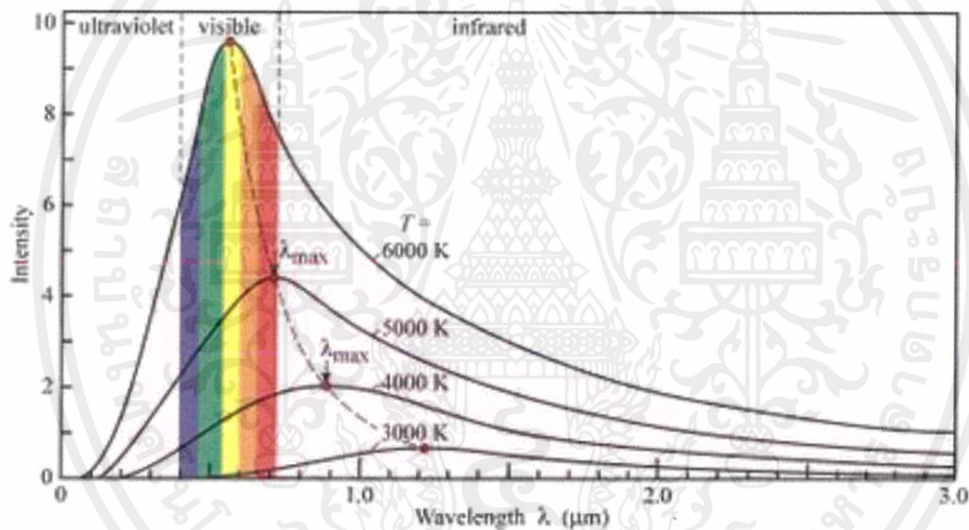
สำหรับการออกแบบ วิศวศคชนโลกมีอุณหภูมิสูงกว่า absolute zero (0 K หรือ -273.15 °C) วิศวศคสามารถถ่ายเทพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแลกเปลี่ยนกัน โดยในช่วงการคายรังสีความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1. รังสีคลื่นสั้น (Short-Wave Radiation)

2. รังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation)



รูปที่ 2.1 ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : <https://heliondesign.wordpress.com/2011/07/>



รูปที่ 2.2 ช่วงความยาวคลื่นของการคายรังสีความร้อน
ที่มา : <http://banksiansphere.blogspot.com/2011/10/baseball-and-physics-unite.html>

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์

ปริมาณความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ (Solar Altitude) โดยเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับระนาบของโลก ซึ่งปริมาณความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบจะเปลี่ยนไปตามมุมที่ตกกระทบ และระยะทางที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

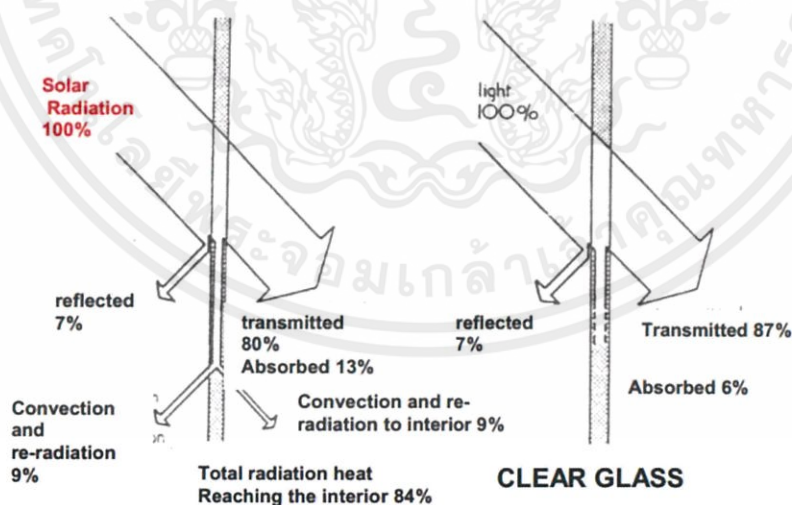
แสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังผิวโลกเรียกว่า Insolation โดยที่รังสีของดวงอาทิตย์จะผ่านชั้นบรรยากาศก่อนลงสู่พื้นโลก ซึ่งประกอบไปด้วยแก๊ส ไอน้ำ และฝุ่นละออง เกิดจากการดูดซับรังสีเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งการแผ่รังสีสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะคือ

- รังสีตรง (Direct Radiation) รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง
- รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศ และเกิดการกระจายตัวของรังสี
- รังสีสะท้อน (Reflect Radiation) รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวแล้วสะท้อนกลับเข้าสู่บรรยากาศ

การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโปร่งใส ในวัตถุโปร่งใส

การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโปร่งใส ในวัตถุโปร่งใส เช่น กระจก หรือ พลาสติกใส จะมีลักษณะแตกต่างจากวัตถุทั่วไป คือ วัตถุโปร่งใสซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นส่องผ่านไปได้แต่จะมีสภาพทึบต่อรังสีคลื่นยาว เมื่อพื้นที่ผิวภายนอกที่ได้รับการแผ่รังสีคลื่นสั้นและดูดซึมเอาไว้ในโมเลกุลของผิวด้านนอกของกระจกจะถ่ายเทไปยังโมเลกุลที่อยู่ถัดไปข้างในโดยการนำความร้อนจนกระทั่งถึงผิวด้านในของกระจก

จากนั้นความร้อนจะถูกส่งไปภายในอาคารก็จะแปรสภาพรังสีดังกล่าวเป็นพลังงานความร้อนในรูปแบบของรังสีคลื่นยาว และแผ่รังสีกลับสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นเมื่อสิ่งที่กั้นแบ่งระหว่างสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกเป็นวัสดุโปร่งใส จากคุณสมบัติดังกล่าวปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในก็จะถูกเก็บกักไว้ภายใน โดยจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่จะตกกระทบที่ผิวกระจกด้านนอก ความร้อนบางส่วนจะสะสมส่งผ่านและสะท้อนออกไปยังสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการส่งผ่านรังสีความร้อนไหลผ่านกระจกใส

ที่มา : พ.ต.دنุชา หลีกทอง, แนวทางการลดความร้อนที่เข้ามาทางหน้าต่างและเพิ่มคุณสมบัติของแสง

2.3.2 หลักการถ่ายเทความร้อน

กลไกการถ่ายเทความร้อน แบ่งการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ชนิด คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

การนำความร้อน (Conduction)

สามารถหาได้จาก

$$Q_{\text{Conduction}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{Conduction}}} \quad (2.1)$$

โดยที่ $Q_{\text{Conduction}}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อน (W)

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ($^{\circ}\text{C}$)

$R_{\text{Conduction}}$ = ความต้านทานการนำความร้อน

หาได้จากสมการ

$$R_{\text{Conduction}} = \frac{L}{kA} \quad (2.2)$$

โดยที่ L = ความหนาของวัตถุ (m)

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

A = พื้นที่หน้าตัดที่เกิดการนำความร้อน (m^2)

การพาความร้อน (Convection)

สามารถหาได้จาก

$$Q_{\text{Convection}} = \frac{T_s - T_{\infty}}{R_{\text{Convection}}} \quad (2.3)$$

โดยที่ $Q_{\text{Convection}}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน (W)

T_s = อุณหภูมิที่ผิว ($^{\circ}\text{C}$)

T_{∞} = อุณหภูมิของของไหล ($^{\circ}\text{C}$)

$R_{\text{Convection}}$ = ความต้านทานการพาความร้อน

หาได้จาก

$$R_{\text{Convection}} = \frac{1}{h_{\text{convection}}A} \quad (2.4)$$

โดยที่ $h_{\text{convection}}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

A = พื้นที่หน้าตัดที่เกิดการพาความร้อน (m^2)

การพาความร้อนของอากาศภายนอกอาคาร

ซึ่งสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากสมการของ Duffie และ Beckman คือ

$$h_c = 2.8 + 3W \quad (2.5)$$

โดยที่ h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยอากาศภายนอก ($W/m^2 \cdot K$)

W = ความเร็วลม (m/s)

การพาความร้อนของอากาศภายในห้อง

การหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการแผ่รังสีจากผิวกระจกด้านในสู่ภายในอาคาร
หาได้จากสมการ

$$h_{combined} = 1.77(T_i - T_{in})^{0.25} + \epsilon_g \sigma \frac{(T_i^4 - T_{in}^4)}{T_i - T_{in}} \quad (2.6)$$

โดยที่ $h_{combined}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการแผ่รังสีระหว่างผิวกระจกด้านในกับภายใน
ห้อง ($W/m^2 \cdot K$)

T_i = อุณหภูมิผิวกระจกด้านใน ($^{\circ}C$)

T_{in} = อุณหภูมิภายในห้อง ($^{\circ}C$)

ϵ_g = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของกระจก

σ = ค่าคงที่สเตฟาน - โบลท์มาน เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

สามารถหาได้จาก

$$Q_{Radiation} = \frac{T_s - T_{surr}}{R_{Radiation}} \quad (2.7)$$

โดยที่ $Q_{Radiation}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน (W)

T_s = อุณหภูมิที่ผิว (K)

T_{surr} = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

$R_{Radiation}$ = ความต้านทานการแผ่รังสีความร้อน

หาได้จาก

$$R_{Radiation} = \frac{1}{h_{Radiation}A} \quad (2.8)$$

โดยที่ $h_{Radiation}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

หาได้จาก

$$h_{\text{Radiation}} = \varepsilon\sigma(T_s^2 + T_{\text{surr}}^2)(T_s + T_{\text{surr}}) \quad (2.9)$$

- โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดที่เกิดการแผ่รังสีความร้อน (m^2)
 ε = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนบนพื้นผิว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิว
 σ = ค่าคงที่สเตฟาน - โบลท์มาน เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
 T_s = อุณหภูมิที่ผิว (K)
 T_{surr} = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

การหาอุณหภูมิท้องฟ้า

การหาค่าพลังงานความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุไปยังท้องฟ้า สามารถหาได้จากสมการ

$$T_{\text{sky}} = 0.0552T_a^{1.5} \quad (2.10)$$

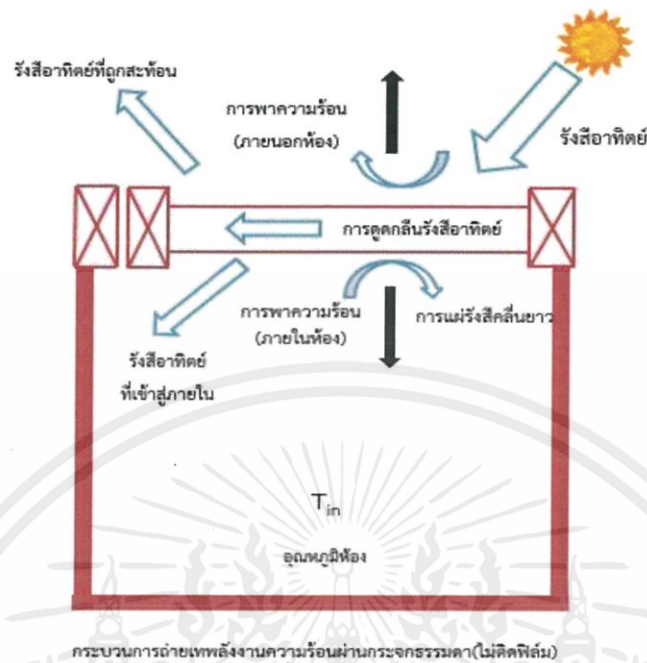
- โดยที่ T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้า (K)
 T_a = อุณหภูมิอากาศ (K)

การหาค่ารังสีดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์ แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

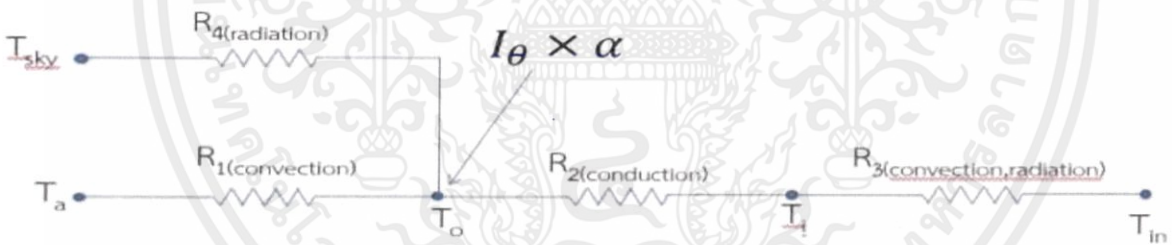
1. รังสีตรง (Direct solar radiation or Solar beam) (I_b) เป็นช่วงรังสีอาทิตย์คลื่นสั้นที่พุ่งผ่านอากาศมายังผิวโลกที่ไม่กระทบฝุ่นละอองและไอน้ำ
2. รังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) (I_d) เป็นรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นที่ถูกกระเจิงโดยฝุ่นละอองและไอน้ำ

2.3.3 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะกลไกการถ่ายเทความร้อน



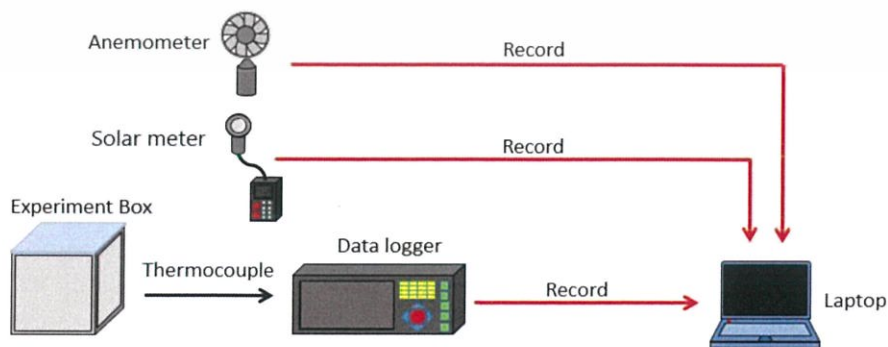
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงกลไกการถ่ายเทความร้อนของกระฉักใส

ตัวอย่างวงจรความร้อนกรณีกระฉักใส



รูปที่ 2.5 วงจรความร้อนของกระฉักใส

SCHEMATIC DIAGRAM OF EXPERIMENTAL APPARATUS



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการวัดผลและเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 สมมติฐานในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษานี้ได้กำหนดสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเฉพาะการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะคงตัว (Steady State) และทิศทางการไหลเป็นแบบ 1 มิติ
2. กระจกถูกติดตั้งทำมุม 180 องศา กับแนวระนาบ และการแผ่รังสีจากกระจกไปยังท้องฟ้า
3. อุณหภูมิท้องฟ้า (T_{sky}) สัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอก (T_a) จากความสัมพันธ์

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5}(K)$$

4. กรณีที่กระจกมีการติดฟิล์มและการทาสีสะท้อนความร้อน (Ceramic Coating) ในการศึกษานี้จะไม่คิดสมบัติการสะท้อนและการดูดกลืนรังสีคลื่นสั้น
5. พื้นดิน ท้องฟ้า เป็นวัตถุดำ โดยมีค่าการแผ่รังสีเท่ากับ 1

จากสมดุลความร้อนของกระจก สามารถสร้างสมการ

ณ จุด T_o

$$\frac{T_o - T_i}{R_2} + \frac{T_o - T_{sky}}{R_4} + \frac{T_o - T_a}{R_1} = I_\theta \times \alpha \times A \quad (2.13)$$

ณ จุด T_i

$$\frac{T_o - T_i}{R_2} = \frac{T_i - T_{in}}{R_3} \quad (2.14)$$

โดยที่ T_o = อุณหภูมิกระจกด้านนอก, T_i = อุณหภูมิกระจกด้านใน, T_{sky} = อุณหภูมิท้องฟ้า, T_a = อุณหภูมิบรรยากาศภายนอก, T_{in} = อุณหภูมิภายในห้อง, R_1 = ค่าความต้านทานความร้อนจากการพาความร้อนของอากาศภายนอก, R_2 = ค่าความต้านทานจากการนำความร้อนในกระจก, R_3 = ค่าความต้านทานจากการพาและแผ่รังสีความร้อนจากกระจกไปสู่ภายในห้อง, R_4 = ค่าความต้านทานความร้อนจากการแผ่รังสีจากผิวฟิล์มสู่ท้องฟ้า, I_θ = รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ, α = ค่าการดูดกลืนของกระจก, A = พื้นที่ของกระจก

ณ จุด T_o

ทำการจัดรูปโดยการกระจาย

$$\frac{T_o}{R_2} + \frac{-T_i}{R_2} + \frac{T_o}{R_4} + \frac{-T_{sky}}{R_4} + \frac{T_o}{R_1} + \frac{-T_a}{R_1} = I_\theta \times \alpha \times A \quad (2.15)$$

ทำการจัดรูปโดยแยกให้ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่ทางฝั่งซ้ายของสมการ

$$\frac{T_o}{R_2} + \frac{-T_i}{R_2} + \frac{T_o}{R_4} + \frac{T_o}{R_1} = I_\theta \times \alpha \times A + \frac{T_{sky}}{R_4} + \frac{T_a}{R_1} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการจัดรูปโดยจัดตัวแปรไม่ทราบค่าอยู่ด้วยกัน จะได้สมการ

$$\frac{T_o}{R_2} + \frac{T_o}{R_4} + \frac{T_o}{R_1} + \frac{-T_i}{R_2} = I_\theta \times \alpha \times A + \frac{T_{sky}}{R_4} + \frac{T_a}{R_1} \quad (2.17)$$

ดึงตัวแปรร่วมไม่ทราบค่าออก จะได้สมการที่ติดตัวแปรไม่ทราบค่า

$$\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_1}\right) T_o + \left(\frac{-1}{R_2}\right) T_i = I_\theta \times \alpha \times A + \frac{T_{sky}}{R_4} + \frac{T_a}{R_1} \quad (2.18)$$

ณ จุด T_i

ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก = ความร้อนจากการพาและแผ่รังสีภายในห้อง

$$\frac{T_o - T_i}{R_2} = \frac{T_i - T_{in}}{R_3} \quad (2.19)$$

ทำการจัดรูปโดยการกระจาย

$$\frac{T_o}{R_2} + \frac{-T_i}{R_2} = \frac{T_i}{R_3} + \frac{-T_{in}}{R_3} \quad (2.20)$$

ทำการจัดรูปโดยแยกให้ตัวแปรไม่ทราบค่าอยู่ทางฝั่งซ้ายของสมการ

$$\frac{T_o}{R_2} + \frac{-T_i}{R_2} + \frac{-T_i}{R_3} = \frac{-T_{in}}{R_3} \quad (2.21)$$

ดึงตัวแปรร่วมไม่ทราบค่าออก จะได้สมการที่ไม่ติดตัวแปรไม่ทราบค่า

$$\left(\frac{1}{R_2}\right) T_o + \left(\frac{-1}{R_2} + \frac{-1}{R_3}\right) T_i = \frac{-T_{in}}{R_3} \quad (2.22)$$

โดยที่ความต้านทานความร้อน (R) สามารถหาค่าได้ดังนี้
ความต้านทานการพาความร้อนจากอากาศภายนอก (R_1)

$$R_1 = \frac{1}{h_c \times A}$$

$$h_c = 2.8 + 3W$$

ความต้านทานการนำความร้อนในผิวกระจก (R_2)

$$R_2 = \frac{L}{k_g \times A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานการพาและการแผ่รังสีเข้าสู่ภายในอาคาร (R_3)

$$R_3 = \frac{1}{h_i \times A}$$

$$h_i = 1.77(T_i - T_{in})^{0.25} + \varepsilon_g \sigma \frac{(T_i^4 - T_{in}^4)}{T_i - T_{in}}$$

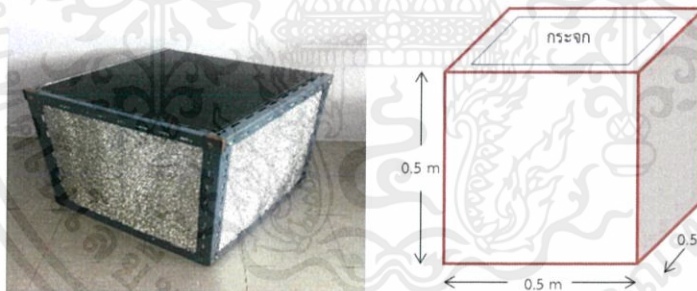
ความต้านทานของการแผ่รังสีของกระจกไปยังท้องฟ้า (R_4)

$$R_4 = \frac{1}{A \times \varepsilon \times \sigma \times (T_o + T_{sky}) \times (T_o^2 + T_{sky}^2)}$$

2.3.5 การออกแบบกล่องทดสอบ

วิธีการดำเนินงาน

1. ออกแบบและสร้างกล่องทดสอบ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ
3. ติดตั้งกระจกใส่กล่องทดสอบวางกล่องไว้กลางแดด หลังจากนั้นทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ
4. นำข้อมูลที่เก็บได้ไปใช้ทดสอบผลของสมการทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.7 ชุดการทดลอง

รายละเอียดดังนี้

1. ขนาด 0.5 เมตร x 0.5 เมตร x 0.5 เมตร ทำด้วยโครงเหล็ก
2. ภายในบุฉนวนโฟม (Poly Urethane)
3. มีช่องเปิด สำหรับใส่กระจก

โดยช่องเปิดสำหรับใส่กระจก จะทำการเปลี่ยนชนิดของกระจกที่จะทำการทดสอบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่

1. กระจกใส
2. กระจกติดฟิล์ม
3. กระจกทาสีสะท้อนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

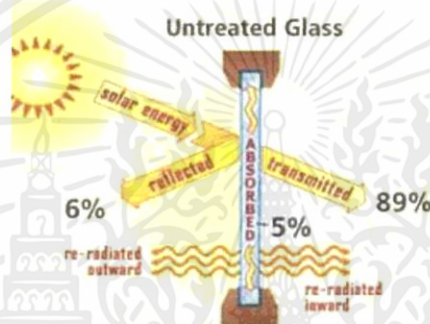
กระจกติดฟิล์ม (Film tinting glass)

เนื่องจากเมื่อแสงอาทิตย์กระทบกับกระจกจะเกิดเป็นพลังงาน 3 รูปแบบ

1. พลังงานที่สามารถผ่านกระจก (transmittance)
2. พลังงานที่สะท้อนกลับ (reflectance)
3. พลังงานที่ถูกดูดซับไว้ (absorption)

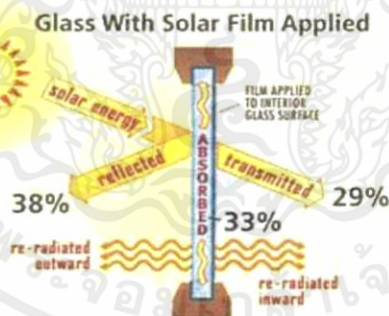
ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ ผ่านกระจก, สะท้อนกลับ และที่ถูกดูดซับเอาไว้จะต้องรวมกันได้ 100% เสมอ

กระจกชนิดนี้ เป็นกระจกใสทั่วไปที่นำฟิล์มกรองแสงมาติด ซึ่งฟิล์มกรองแสงจะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อน และเพิ่มการสะท้อนของพลังงานความร้อน ทำให้การส่งผ่านพลังงานความร้อนลดลง ส่งผลให้พลังงานความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารลดลง ดังภาพ



รูปที่ 2.8 แสงอาทิตย์เมื่อกระทบกับกระจกใส

ที่มา : http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=244



รูปที่ 2.9 แสงอาทิตย์เมื่อกระทบกับกระจกติดฟิล์ม

ที่มา : http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/articleView.php?ARTICLE_ID=244

ประโยชน์ของการติดฟิล์มกรองแสง

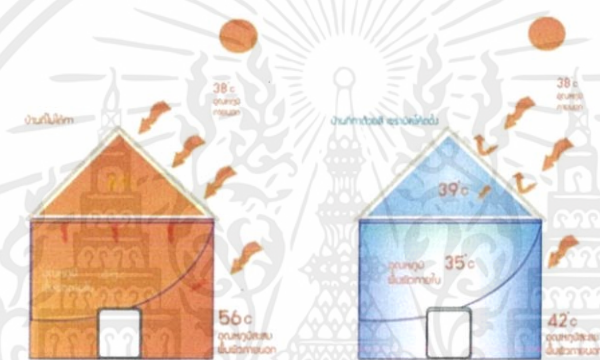
1. ลดอุณหภูมิจากความร้อนที่เข้ามาภายในห้อง
2. ช่วยรักษาเฟอร์นิเจอร์และผ้าผ้าม่านไม่ให้ซีดจางและไม่บวมจากการโดนแสงแดดเป็นประจำ
3. ช่วยยึดกระจกไม่ให้แตกกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกทาสีสะท้อนความร้อน เซรามิกโค้ทติ้ง (Ceramic Coating)

ฉนวนป้องกันความร้อนที่พัฒนาจากผลงานวิจัยในโครงการอวกาศของ NASA ซึ่งใช้เป็นแผงป้องกันความร้อนด้านล่างของกระสวยอวกาศเวลาพุ่งผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนสูงมาก ในเวลาต่อมาเทคโนโลยีป้องกันความร้อนนี้ ได้นำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ของโครงการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีกับภาคเอกชน ในอัตราค่าต้นทุนที่ผลิตนั้นสูงมากซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาให้เหมาะสมกับที่พักอาศัย และอาคารบ้านเรือนทั่วไป แต่ในปัจจุบันสามารถคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าว มาประยุกต์ใช้กับสีทาบ้าน และหลังคาเพื่อป้องกันความร้อนให้แก่อาคาร บ้านเรือน

โดยปกติผนังบ้านและหลังคาบ้านภายนอก จะถูกแสงแดดตกกระทบพร้อมดูดกลืนและเก็บสะสมพลังงานความร้อน และความร้อนที่สูงนี้จะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากทาสีสะท้อนความร้อนเซรามิกโค้ทติ้ง ความร้อนจะถูกสะท้อนออกทำให้อุณหภูมิพื้นผิวเย็นลง



รูปที่ 2.10 ภาพเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ทาสี และไม่ทาสีสะท้อนความร้อน
ที่มา : <http://mamb1040.blogspot.com/2012/06/blog-post.html>

คุณสมบัติของสีสะท้อนความร้อน (Ceramic Coating)

1. สามารถยึดเกาะกับพื้นผิวได้ทุกชนิด เช่น เหล็ก คอนกรีต อะลูมิเนียม
2. ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ
3. อายุการใช้งานยาวนานและทนทานต่อรังสี UV
4. มีค่า Thermal Resistance Value = $3.874 \text{ m}^2\text{°C}/\text{W}$
5. ไม่ติดไฟและไม่ลามไฟ
6. ทนทานต่อทุกสภาวะอากาศ
7. เป็นวัสดุกันซึมไร้รอยต่อและมีความยืดหยุ่นตัวสูง
8. ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมไม่ก่อให้เกิดฝุ่นหรือละอองพิษไปปะปนกับอากาศและระบบภายในอาคาร

บทที่ 3

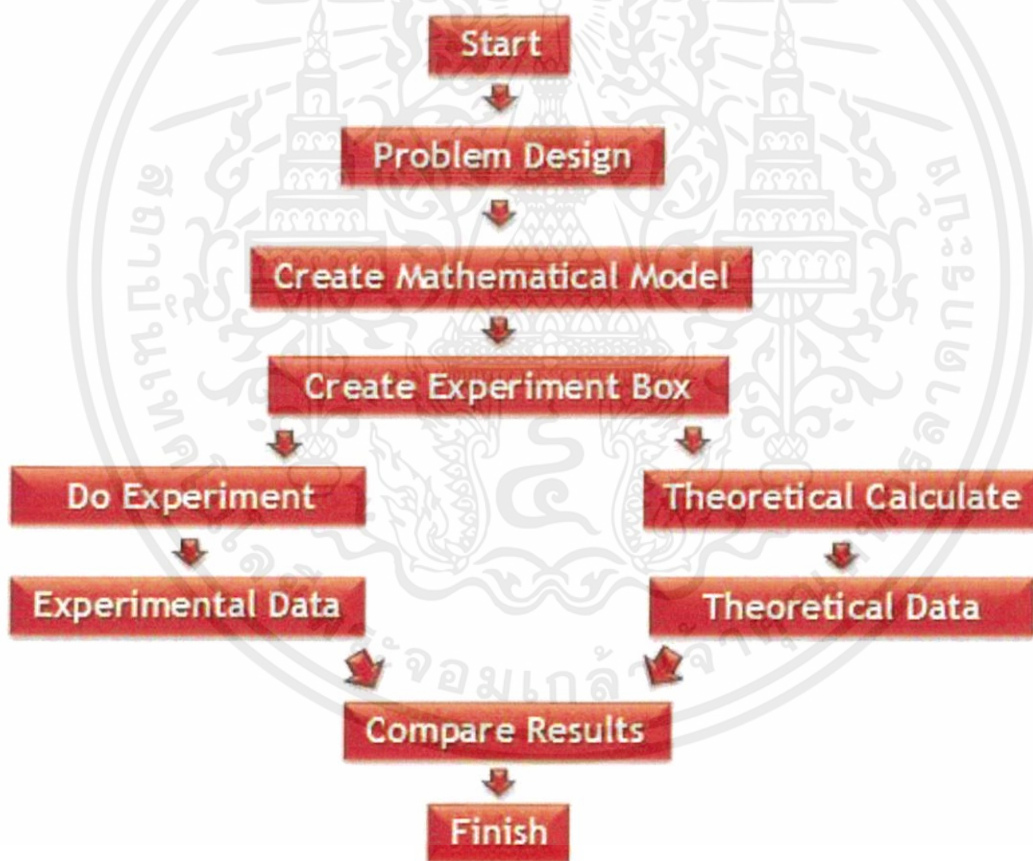
วิธีการดำเนินงานและการออกแบบชุดทดลอง

3.1 บทนำ

ขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์ปัญหา จนกระทั่งถึงการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีการออกแบบและการสร้างกล่องชุดทดลอง การใช้งานชุดทดลอง เป็นต้น

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่มตั้งแต่การศึกษาปัญหาว่าวิธีการลดความร้อนผ่านกระจกมีอะไรบ้าง และศึกษาข้อดี-ข้อเสียของแต่ละวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งจะนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ว่าแบบใดเหมาะสมที่สุด แล้วออกแบบชุดการทดลอง จากนั้นสร้างชุดทดลองขึ้นมา จากนั้นนำวิธีการลดความร้อนผ่านกระจกที่ได้ศึกษามาทดลองกับกล่องชุดทดลอง โดยนำค่าที่ทดลองได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎี



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการ

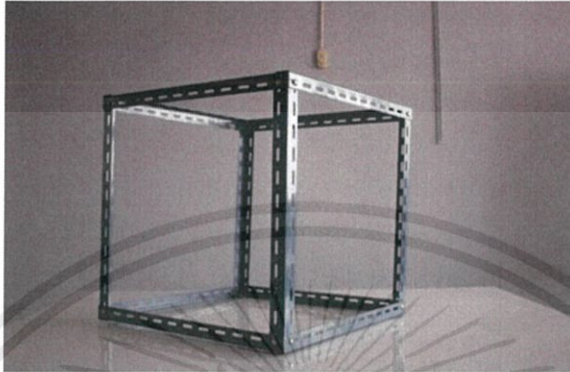
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 กล่องชุดการทดลอง ขนาด 50×50 cm.

โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ภายในบุฉนวนโฟม PE (Polyethylene)



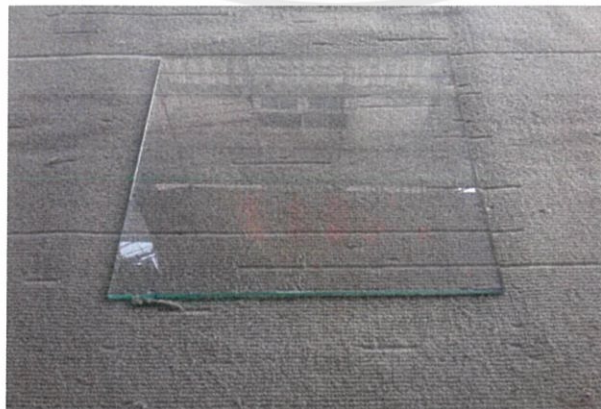
รูปที่ 3.2 กล่องชุดการทดลอง

3.3.2 แผ่นฉนวนกันความร้อน PE (Polyethylene) จำนวน 15 แผ่น



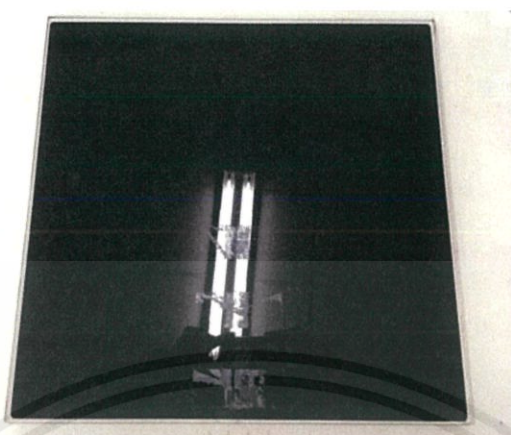
รูปที่ 3.3 แผ่นฉนวนกันความร้อน

3.3.3 กระดาษใสขนาด 45×45 cm. หนา 6 mm. จำนวน 1 แผ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับรูปที่ 3.4 กระดาษใสที่ใช้ในการทดลอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 กระจกติดฟิล์ม 45x45 cm. หนา 6 mm. จำนวน 1 แผ่น



รูปที่ 3.5 กระจกฟิล์มที่ใช้ในการทดลอง

3.3.5 กระจกทาสีสะท้อนความร้อน 45x45 cm. หนา 6 mm. จำนวน 1 แผ่น



รูปที่ 3.6 กระจกทาสีสะท้อนแสงที่ใช้ในการทดลอง

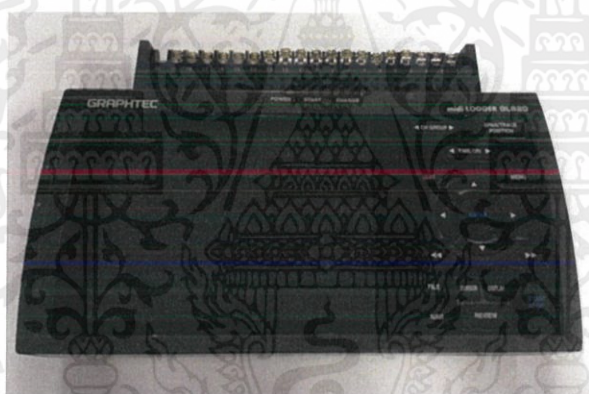
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 สีสะท้อนความร้อน เซรามิกโค้ทติ้ง (Ceramic Coating)



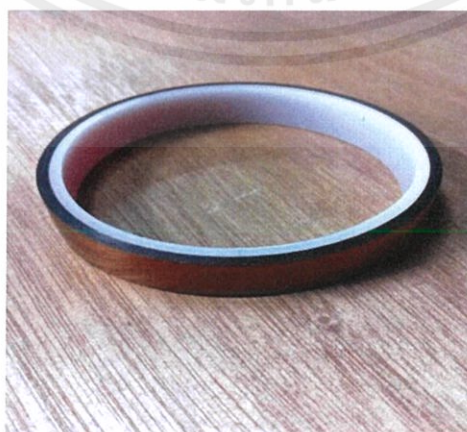
รูปที่ 3.7 สีสะท้อนความร้อน

3.3.7 Data Logger จำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 3.8 Data Logger ยี่ห้อ Graphtec จำนวน 20 Slot

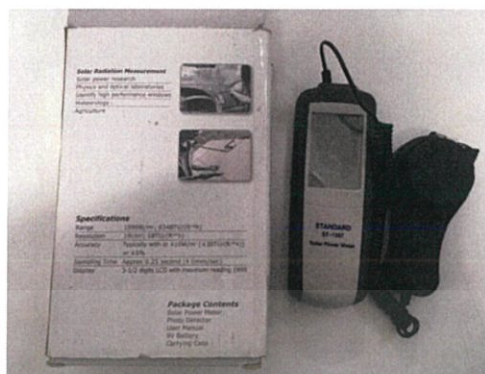
3.3.8 Kapton tape



รูปที่ 3.9 Kapton tape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 Solar Power Meter จำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

3.3.10 Thermocouple Type K จำนวน 9 สาย



รูปที่ 3.11 สายวัดเทอร์โมคัปเปิล type K

3.3.11 Anemometer จำนวน 1 เครื่อง

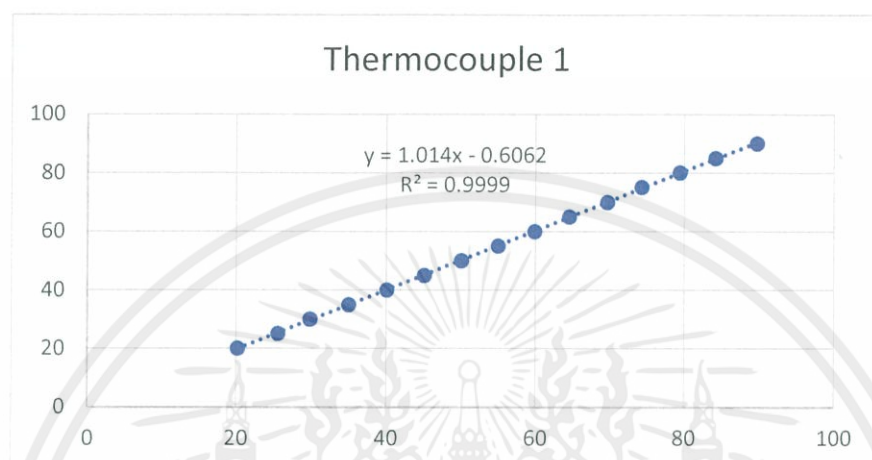


รูปที่ 3.12 เครื่องมือวัดความเร็วลม

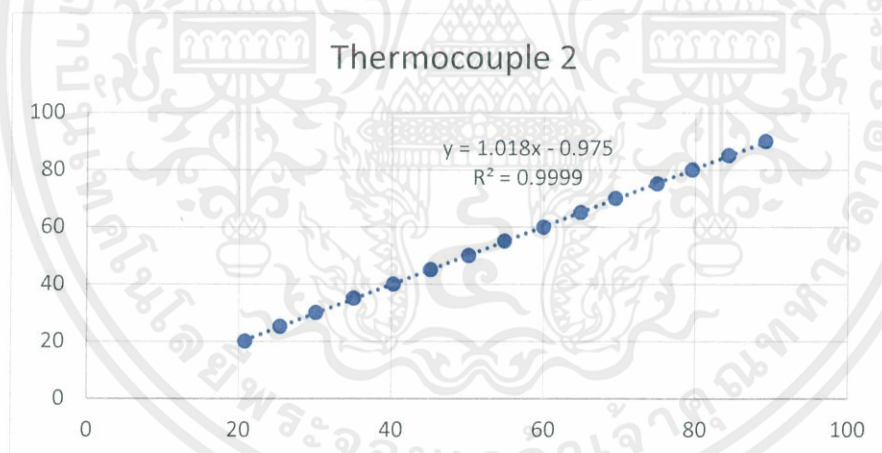
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การสอบเทียบค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงกับค่าอุณหภูมิแสดงบนแผงควบคุม

เนื่องจากค่าของอุณหภูมิที่แสดงบนตู้ควบคุมไม่ได้แสดงให้เห็นถึงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากสามารถควบคุมได้เพียงอุณหภูมิจากการปรับอุณหภูมิที่ตู้ควบคุม ดังนั้นเพื่อหาค่าคาดเคลื่อนจึงจำเป็นต้องวัดอุณหภูมิที่สนใจ จากนั้นคำนวณด้วยสมการคณิตศาสตร์ โดยทำการสอบเทียบตั้งแต่อุณหภูมิ 20 – 90 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิในการสอบเทียบครั้งละ 5 องศาเซลเซียส

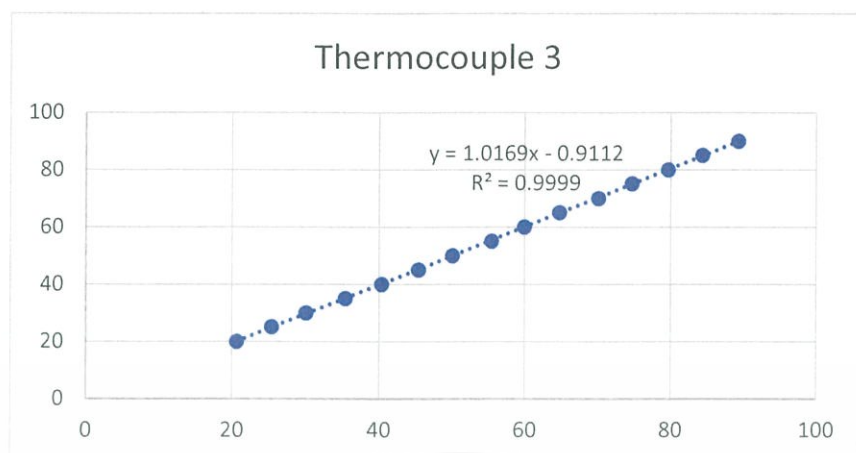


รูปที่ 3.13 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 1

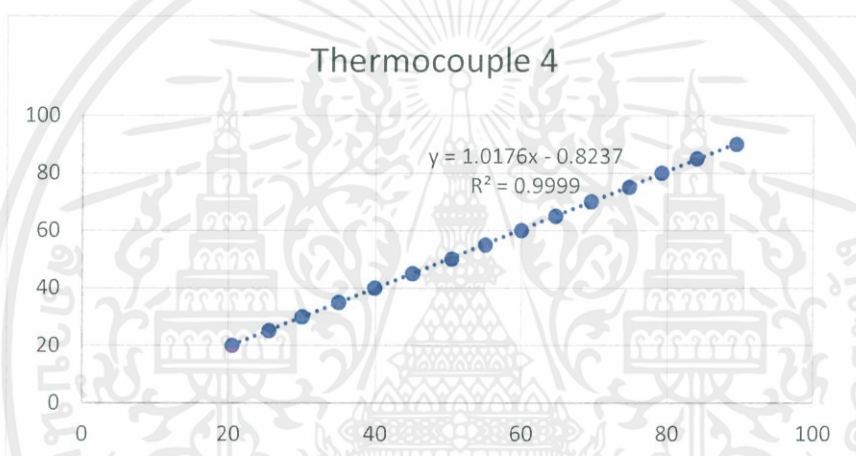


รูปที่ 3.14 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 2

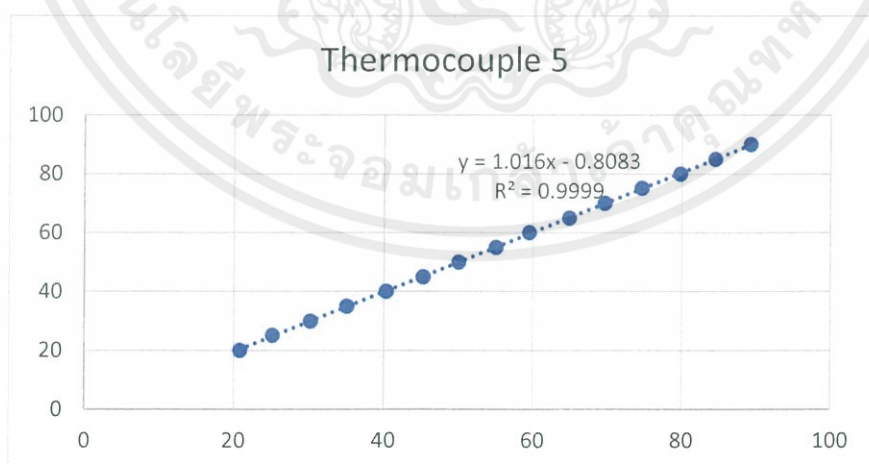
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 3

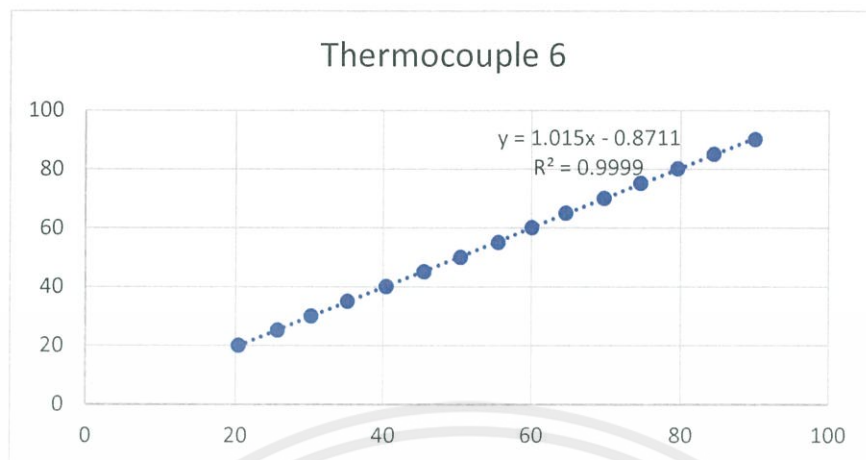


รูปที่ 3.16 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 4

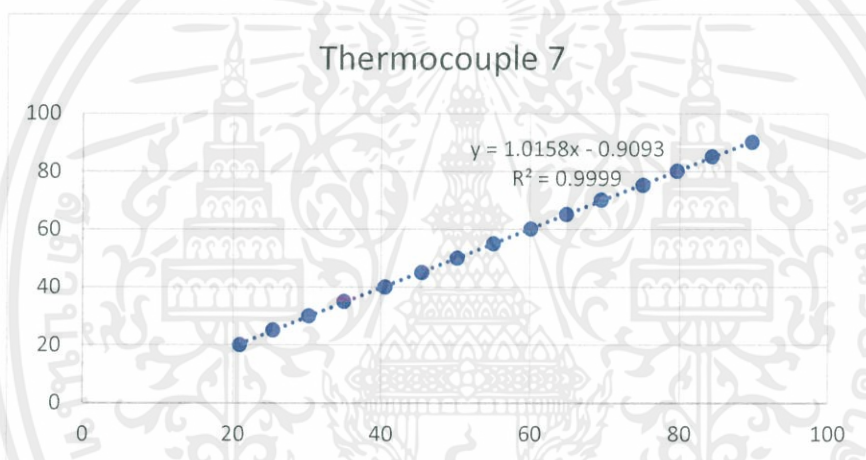


รูปที่ 3.17 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 5

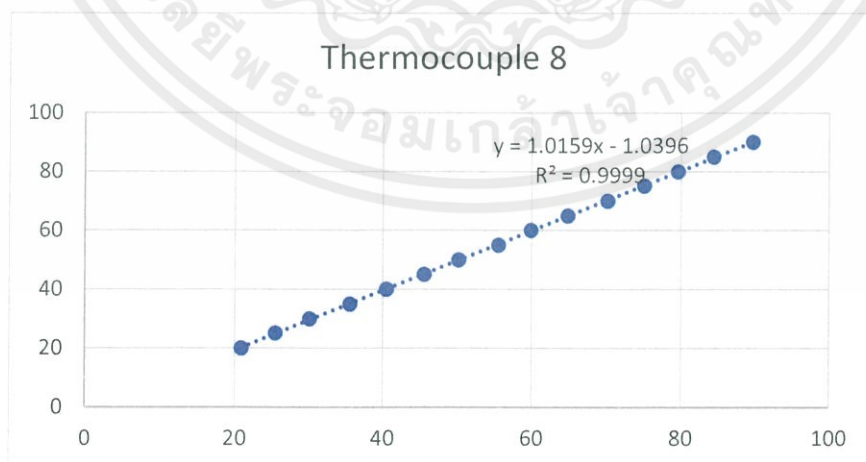
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 6

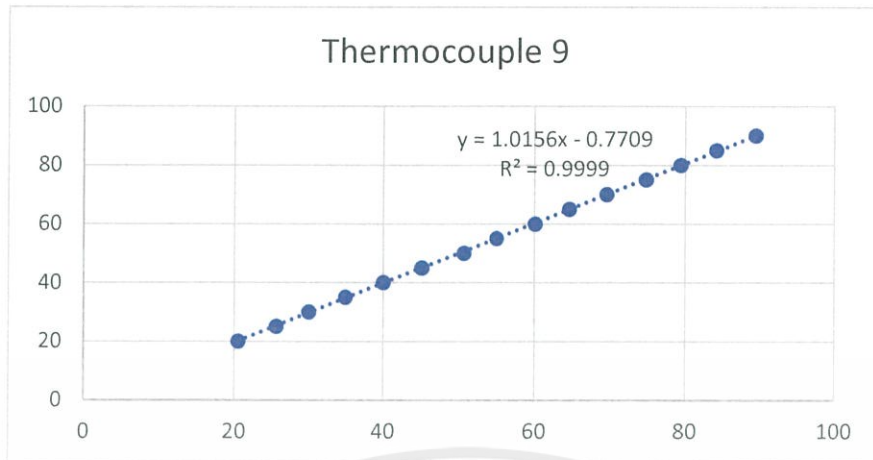


รูปที่ 3.19 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 7



รูปที่ 3.20 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล สายที่ 9

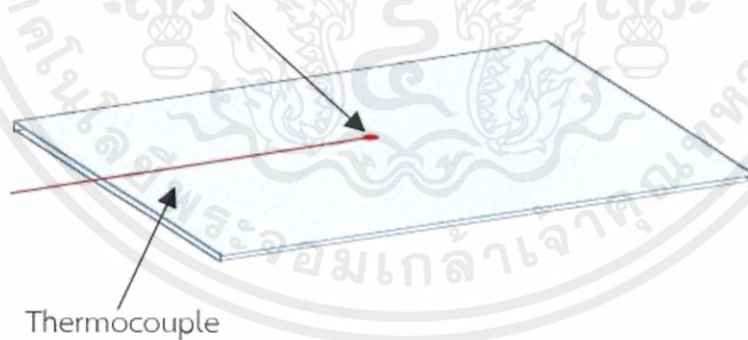
3.5 การติดตั้งกล่องทดสอบ

ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆของกล่องทดสอบ กล่องละ 3 จุด ที่บริเวณผิวกระจกด้านนอก, ผิวกระจกด้านในและภายในกล่องทดสอบ

ที่ผิวกระจกด้านนอก ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณจุดกึ่งกลางของกระจก โดยติดสายเทอร์โมคัปเปิลกับกระจกด้วย Kapton tape

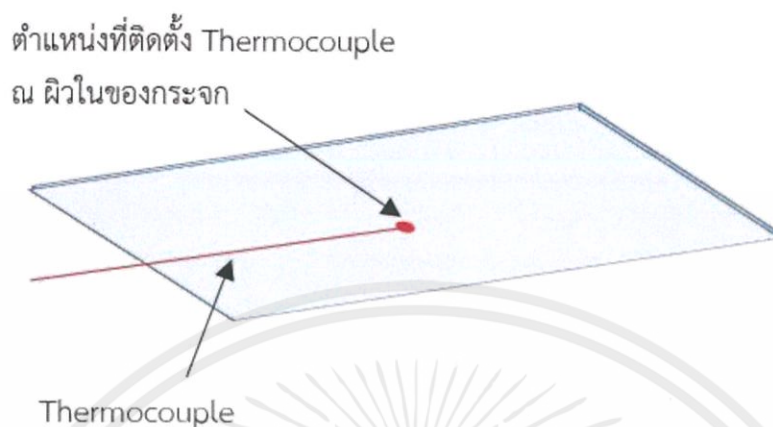
ตำแหน่งที่ติดตั้ง Thermocouple

ณ ผิวนอกของกระจก



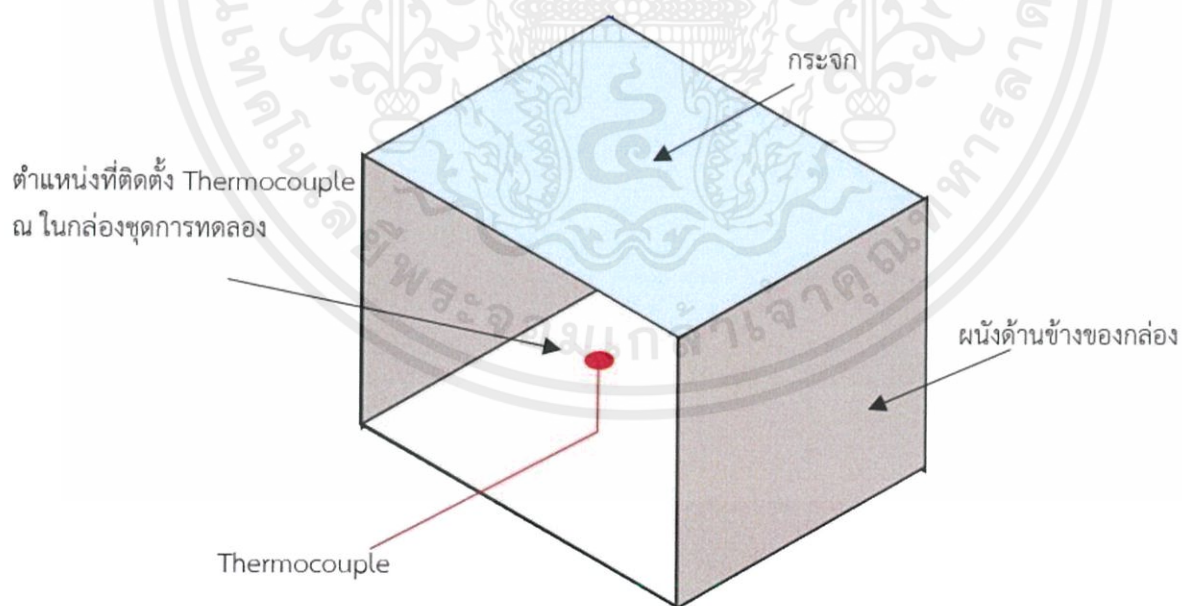
รูปที่ 3.22 ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณผิวของกระจกด้านนอก

ที่ผิวกระจกด้านใน ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณจุดกึ่งกลางของกระจก โดยติดสายเทอร์โมคัปเปิลกับกระจกด้วย Kapton tape



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณผิวของกระจกด้านใน

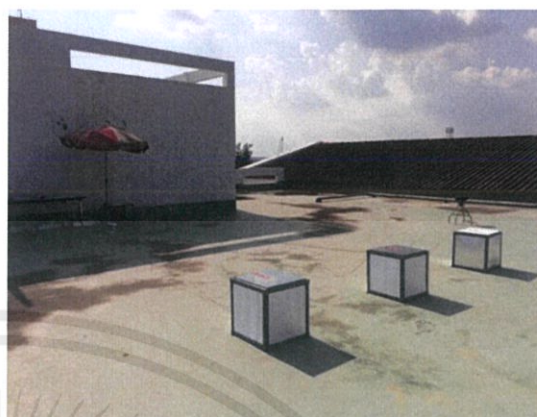
ภายในกล่องทดสอบ ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณกึ่งกลางของกล่องทดสอบ โดยให้สายสูงขึ้นจากพื้นกล่องและอยู่กึ่งกลางระหว่างพื้นกล่องกับกระจกที่ปิดอยู่ด้านบนบนของกล่อง



รูปที่ 3.24 ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณกึ่งกลางของกล่องทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งกล่องทดสอบตามตำแหน่งตามรูปที่ 3.25 – 3.26 บนดาดฟ้าของอาคารภาควิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.25 – 3.26 ตำแหน่งติดตั้งกล่องทดสอบ

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเปรียบเทียบพลังงานความร้อนเข้าอาคารและอุณหภูมิของผิวกระจกด้านในตลอดทั้งปีและรายเดือน ในกรณีของกระจกใส กระจกติดฟิล์ม และกระจกทาสีสะท้อนความร้อน โดยทำการศึกษาภายใต้ข้อจำกัดต่อไปนี้

1. ใช้ข้อมูลภูมิอากาศ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิบรรยากาศ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลของกรุงเทพฯ (08.00 – 16.00 น.)
2. กระจกที่ใช้ทำการศึกษาเป็นกระจกใส กระจกติดฟิล์ม และกระจกทาสีสะท้อนความร้อน ที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลลัพธ์

4.1 บทนำ

หลังจากวางแผนขั้นตอนการดำเนินงานและเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึง การหาผลการคำนวณทางทฤษฎีด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และ วิธีการทดลองพร้อมกับการใช้ชุดทดลอง รวมไปถึงผลการทดลองที่ได้จากชุดทดลอง อีกทั้งการวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีกับผลการทดลองที่เก็บได้ ซึ่งได้ทำการทดลองในช่วงวันที่ 11/04/2560 – 02/05/2560

4.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งออกได้ 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ การคำนวณผลการทดลองทางทฤษฎี และการวัดผลการทดลองจากชุดการทดลอง

4.2.1 การคำนวณผลการทดลองทางทฤษฎี

การคำนวณทางทฤษฎีสามารถใช้วิธีการคำนวณด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยวิธีการเชิงตัวเลข ในการแก้สมการที่ (2.13) และ (2.14) บันทึกค่าที่ได้และกราฟไว้ใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบผลการทดลอง

4.2.2 การวัดผลการทดลองจากชุดการทดลอง

ก่อนที่จะได้ผลลัพธ์จากการทดลอง ต้องอาศัยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล ด้านหนึ่งต่อกับกล่องชุดการทดลองที่บริเวณผิวนอกของกระจก ผิวในของกระจก และภายในกล่อง ส่วนสายอีกด้านต่อเข้ากับ Data logger เพื่อแสดงผลและบันทึกผล
2. ตั้งค่า Data logger ให้บันทึกค่า ทุกๆ 30 นาที ตั้งแต่ 08.00 น. – 16.00 น.
3. ต่อ USB drive เข้ากับ Data logger เพื่อบันทึกข้อมูล
4. เปิดไฟล์ที่บันทึกขึ้นมา จะพบข้อมูลอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละสายตั้งแต่ Channel 1-3 คือ อุณหภูมิผิวนอกของกระจก อุณหภูมิผิวในของกระจก และอุณหภูมิภายในกล่องกระจกใส เรียงตามลำดับ Channel 4-6 คือ อุณหภูมิผิวนอกของกระจก อุณหภูมิผิวในของกระจก และอุณหภูมิภายในกล่องกระจกติดฟิล์ม เรียงตามลำดับ Channel 7-9 คือ อุณหภูมิผิวนอกของกระจก อุณหภูมิผิวในของกระจก และอุณหภูมิภายในกล่องกระจกทาสีสะท้อนความร้อน เรียงตามลำดับดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File	Home	Insert	Page Layout	Formulas	Data	Review	View
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Clipboard % Font Alignment % Number % </div>							
F53							
28	CH18	CH18	TEMP	TC_K	OFF	2000	-200 [degC]
29	CH19	CH19	TEMP	TC_K	OFF	2000	-200 [degC]
30	CH20	CH20	TEMP	TC_K	OFF	2000	-200 [degC]
31	Logic/Puls-Off						
32	Data						
33	Number	Date&Tim	ms	CH1	CH2	CH3	CH4
34	NO.	Time	ms	degC	degC	degC	degC
35	1	#####	0	44.8	43.8	43.7	46.3
36	2	#####	0	47.2	46.4	46.3	48.8
37	3	#####	0	47.2	46.1	44.3	48.1
38	4	#####	0	48.5	46.7	44.6	48.8
39	5	#####	0	50.8	48.3	47.5	50.5
40	6	#####	0	51.2	49.4	48.4	52.8
41	7	#####	0	53.5	51	50.6	53.9
42	8	#####	0	50.6	48.3	46.2	51.1
43	9	#####	0	51.3	49.2	47.4	52.5
44	10	#####	0	52.5	50.3	48.6	52.1
45	11	#####	0	53.7	51.4	51.3	54.9
46	12	#####	0	51.8	49.8	47.4	52.8
47	13	#####	0	55.3	53.1	53.4	55.8
48	14	#####	0	56.4	54.2	53.2	57.3
49	15	#####	0	56.4	54	54.2	57.4
50	16	#####	0	56.7	54.5	53.5	57.1
51	17	#####	0	56	54.8	54.5	58.1
52	18	#####	0	53.4	51.2	47.5	54
53	19	#####	0	53.6	51.4	47.5	53.1
54	20	#####	0	52.5	50.1	48.9	52.6
55	21	#####	0	54.4	52.1	51.2	55
56	22	#####	0	54.2	52.3	49.9	54.3
57	23	#####	0	56	53.9	53.4	57.2

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างไฟล์ ค่าอุณหภูมิจากผลการทดลอง

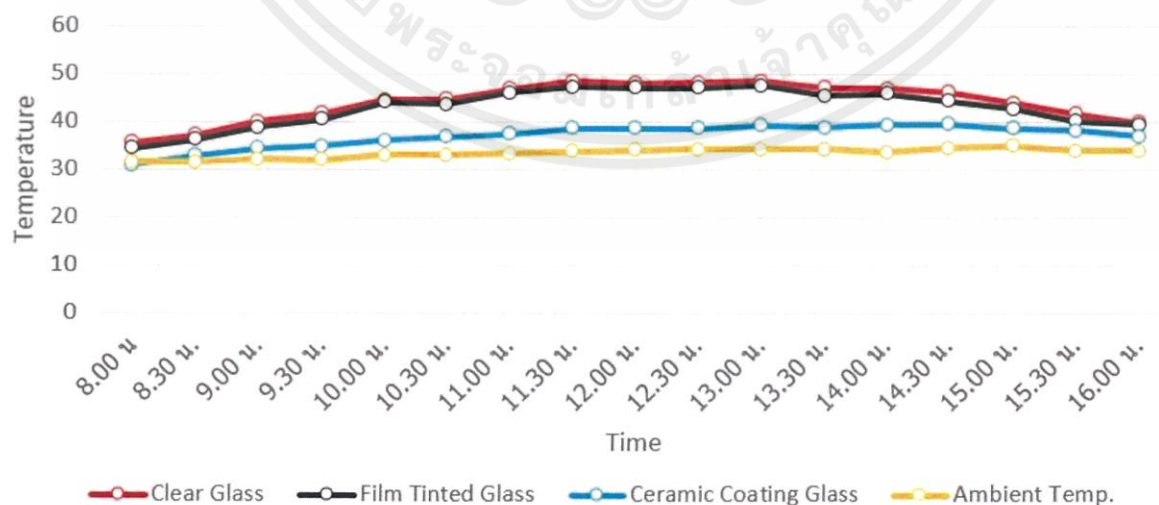
ค่าที่อ่านได้จาก Data logger ในแต่ละ Channel มีหน่วยเป็น °C นำค่าที่ได้ในแต่ละวันมาสร้างเป็นกราฟเพื่อแสดงผล ก่อนนำไปเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

4.3 ผลการทดลอง

ผลของการศึกษาในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 การเปรียบเทียบได้แก่ การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกระจกแต่ละชนิด การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระจกภายนอก ผิวกระจกภายใน อุณหภูมิภายในกล่องของกระจกแต่ละชนิด และการนำผลการทดลองที่ได้มาเทียบกับทฤษฎี

4.3.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องของกระจกแต่ละชนิด

Average Temperature of All glasses in (14/04/2017-18/04/2017)

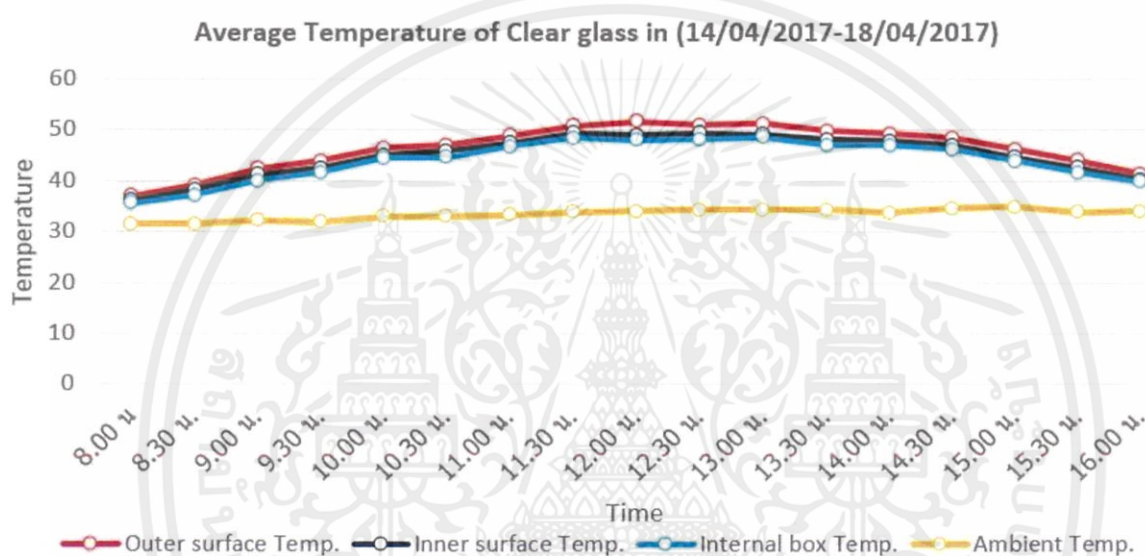


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยและเวลาของกระจกทั้ง 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่อง โดยอุณหภูมิจะสูงที่สุดอยู่ในช่วง 13.00 น. กล่องกระจกใส อุณหภูมิภายในกล่อง เท่ากับ 48.56 C กล่องกระจกฟิล์ม อุณหภูมิภายในกล่อง เท่ากับ 47.54 C และกล่องกระจกทาสีสะท้อนความร้อน อุณหภูมิภายในกล่อง เท่ากับ 39.32 C โดยเมื่อเทียบอุณหภูมิภายในกล่องเฉลี่ยของกระจกทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิภายในของกล่องที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีค่าต่ำที่สุด โดยกระจกทาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยได้สูงสุดถึง 10 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับกระจกใส แต่ในขณะที่กระจกติดฟิล์มสามารถลดได้เพียง 2-3 องศาเซลเซียส เนื่องจากกระจกทาสีสะท้อนความร้อน มีคุณสมบัติในการสะท้อนกลับและลดการส่งผ่านพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ได้ดีกว่ากระจกติดฟิล์มและกระจกใส

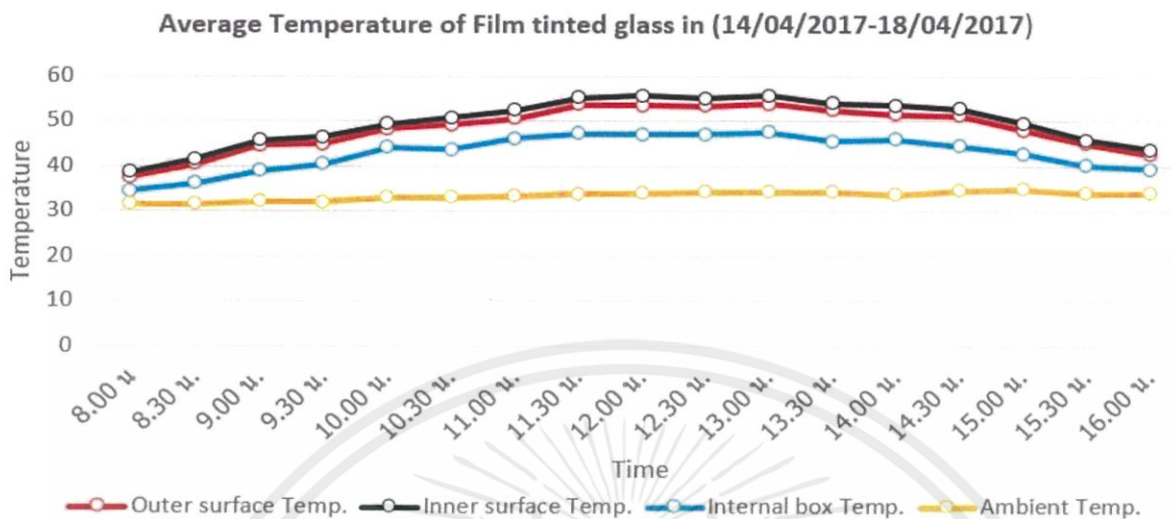
4.3.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกใส



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกใส

จากกราฟแสดง อุณหภูมิที่สูงสุดในช่วง 13.00 น. โดย อุณหภูมิที่ผิวนอกของกระจก มีค่าเท่ากับ 51.32 C อุณหภูมิที่ผิวในของกระจก มีค่าเท่ากับ 49.16 C และอุณหภูมิภายในกล่องของกระจก มีค่าเท่ากับ 48.56 C จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกของกระจกใสมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิผิวกระจกภายในและอุณหภูมิภายในกล่อง เนื่องจากผิวกระจกภายนอกได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์โดยตรง จากนั้นรังสีแสงอาทิตย์จะถูกสะท้อนกลับ ดูดซึม และ ส่งผ่านตามคุณสมบัติของกระจก ทำให้อุณหภูมิในชั้นถัดมาลดลงตามลำดับ

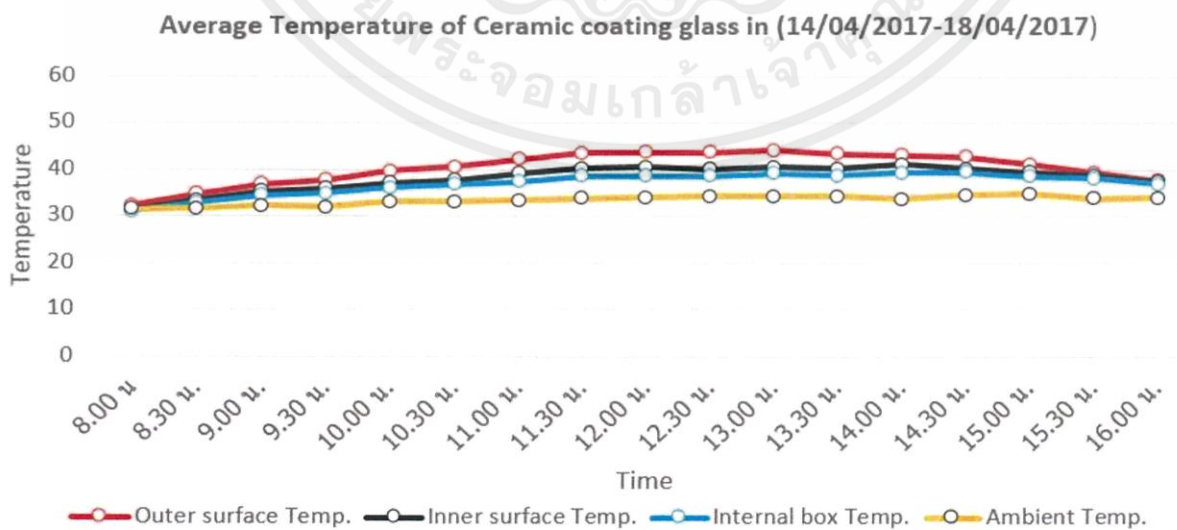
4.3.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกติดฟิล์ม



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกฟิล์ม

จากกราฟแสดง อุณหภูมิที่สูงที่สุดอยู่ในช่วง 13.00 น. โดยอุณหภูมิที่ผิวนอกของกระจก มีค่าเท่ากับ 53.86 C อุณหภูมิที่ผิวในของกระจก มีค่าเท่ากับ 55.74 C และอุณหภูมิภายในกล่องของกระจก มีค่าเท่ากับ 47.54 C จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิผิวกระจกภายในของกระจกติดฟิล์มมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกและอุณหภูมิภายในกล่อง เนื่องจากผิวกระจกภายในถูกติดฟิล์มไว้ ด้วยคุณสมบัติของฟิล์มนั้น จะสะท้อนและดูดซับพลังงานจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามา โดยรังสีของแสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ภายในกล่องทำให้มีการส่งผ่านลดลง อุณหภูมิภายในกล่องจึงลดลง โดยเมื่อคิดเป็นร้อยละ กระจกติดฟิล์มสามารถลดความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาได้ ร้อยละ 32.2 โดยคิดเทียบจากกระจกใส

4.3.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและเวลาของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดง อุณหภูมิที่สูงที่สุดอยู่ในช่วง 13.00 น. โดยอุณหภูมิที่ผิวนอกของกระจก มีค่าเท่ากับ 44.16 C อุณหภูมิที่ผิวในของกระจก มีค่าเท่ากับ 40.6 C และอุณหภูมิภายในกล่องของกระจก มีค่าเท่ากับ 39.32 C จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกของกระจกทาสีสะท้อนความร้อนมีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิผิวกระจกภายในและอุณหภูมิภายในกล่อง โดยมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับกระจกใส แต่มีอุณหภูมิทุกจุดต่ำกว่ากระจกใสเมื่อเปรียบเทียบกัน เนื่องจากผิวกระจกภายนอกได้รับการปรับปรุงโดยการทาสีสะท้อนความร้อน ด้วยคุณสมบัติของสีที่เพิ่มการสะท้อนกลับรังสีแสงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิลดลง โดยเมื่อคิดเป็นร้อยละกระจกทาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาได้ ร้อยละ 71.9 โดยคิดเทียบจากกระจกใส

4.3.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอกและผิวในของกระจก ระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองของกระจกใส

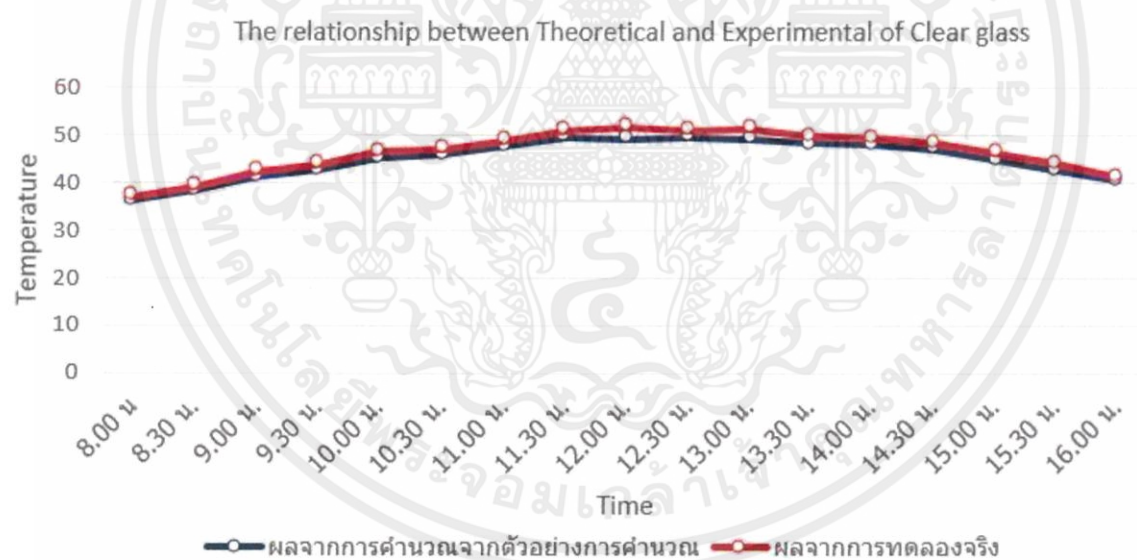
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวนอกของกระจกใส ณ เวลาต่างๆ

Time	Outer surface temperature of Clear glass		Error %
	Experiment	Calculation	
8.00 น	37	36.21	2.14
8.30 น.	39.18	38.45	1.86
9.00 น.	42.46	41.38	2.54
9.30 น.	43.9	42.59	2.98
10.00 น.	46.56	45.07	3.20
10.30 น.	47.04	45.97	2.27
11.00 น.	48.86	47.56	2.66
11.30 น.	50.92	49.56	2.67
12.00 น.	51.78	49.18	5.02
12.30 น.	51.04	49.61	2.80
13.00 น.	51.32	49.20	4.13
13.30 น.	49.94	48.25	3.38
14.00 น.	49.36	47.96	2.85

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวในของกระจกใส ณ เวลาต่างๆ

Time	Inner surface temperature of Clear glass		Error %
	Experiment	Calculation	
8.00 น.	36.18	34.47	4.73
8.30 น.	38.38	36.71	4.36
9.00 น.	41.3	39.64	4.02
9.30 น.	42.54	40.85	3.98
10.00 น.	45.04	43.32	3.81
10.30 น.	45.9	44.23	3.63
11.00 น.	47.52	45.82	3.58
11.30 น.	49.5	47.82	3.39
12.00 น.	49.12	47.44	3.42
12.30 น.	49.52	47.87	3.34
13.00 น.	49.16	47.45	3.47
13.30 น.	48.18	46.51	3.47
14.00 น.	47.9	46.21	3.53

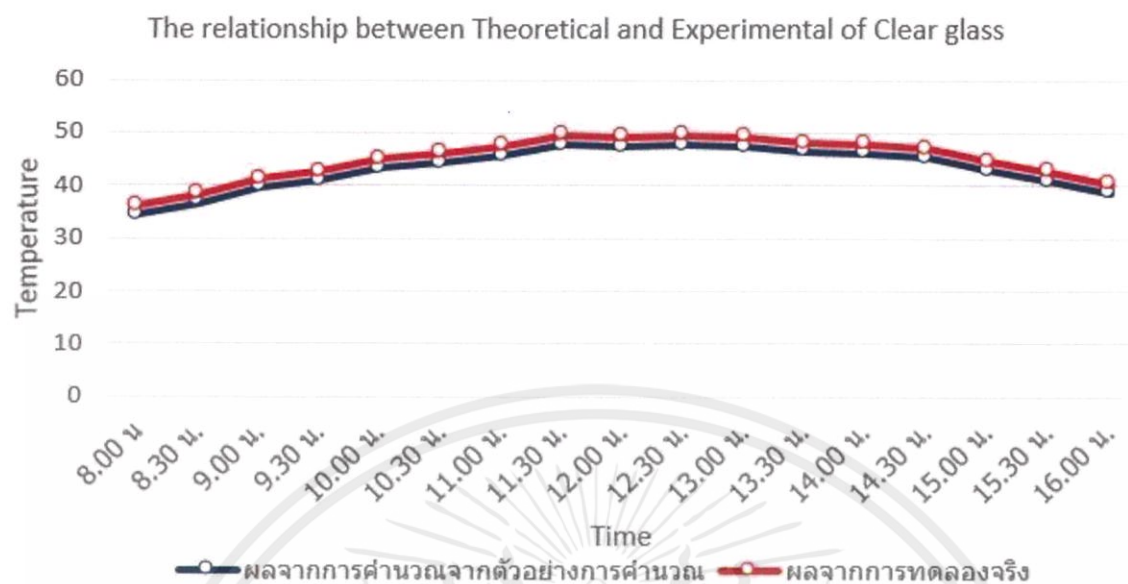
อุณหภูมิผิวภายนอกของกระจกใส



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวภายนอกของกระจกใส โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิผิวในของกระจกใส



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวในของกระจกใส โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง

4.3.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอกและผิวในของกระจก ระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองของกระจกฟิล์ม

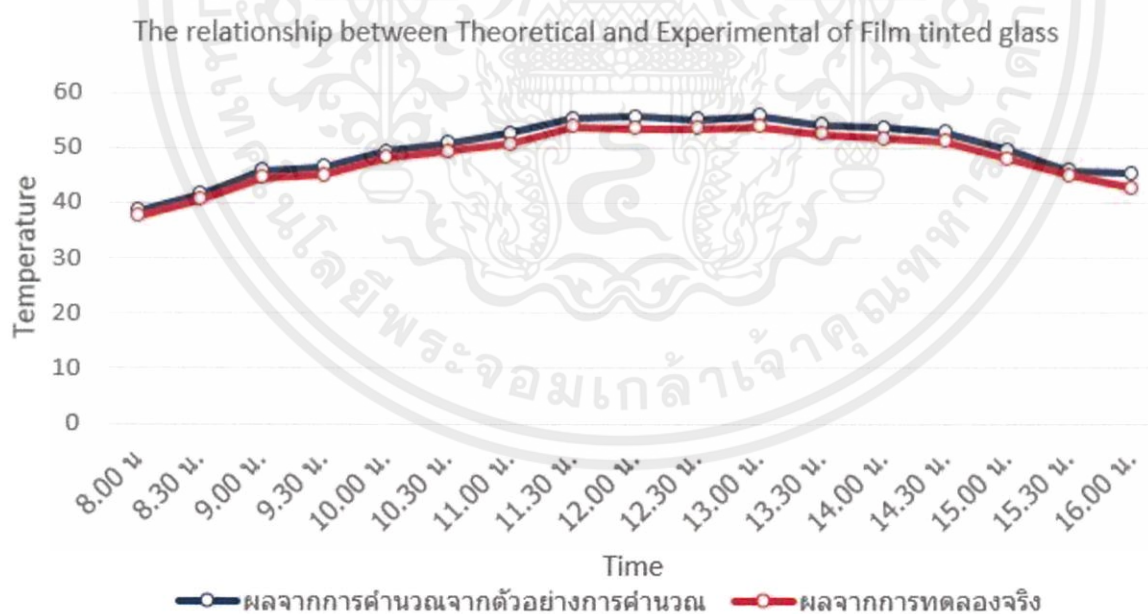
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวนอกของกระจกติดฟิล์ม ณ เวลาต่างๆ

Time	Outer surface temperature of Film Tinting glass		Error %
	Experiment	Calculation	
8.00 น.	37.54	38.57	2.73
8.30 น.	40.52	41.60	2.65
9.00 น.	44.56	45.81	2.80
9.30 น.	44.96	46.50	3.43
10.00 น.	48.24	49.40	2.40
10.30 น.	49.24	50.79	3.15
11.00 น.	50.68	52.57	3.72
11.30 น.	53.74	55.26	2.83
12.00 น.	53.48	55.66	4.08
12.30 น.	53.38	55.06	3.14
13.00 น.	53.86	55.80	3.60
13.30 น.	52.4	54.10	3.25
14.00 น.	51.58	53.64	3.99

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวในของกระจกติดฟิล์ม ณ เวลาต่างๆ

Time	Inner surface temperature of Film Tinting glass		Error %
	Experiment	Calculation	
8.00 น.	38.54	37.65	2.30
8.30 น.	41.56	40.68	2.11
9.00 น.	45.76	44.89	1.89
9.30 น.	46.46	45.59	1.88
10.00 น.	49.36	48.48	1.78
10.30 น.	50.74	49.88	1.70
11.00 น.	52.52	51.65	1.65
11.30 น.	55.2	54.34	1.55
12.00 น.	55.6	54.75	1.53
12.30 น.	55	54.14	1.56
13.00 น.	55.74	54.89	1.53
13.30 น.	54.04	53.19	1.58
14.00 น.	53.58	52.72	1.60

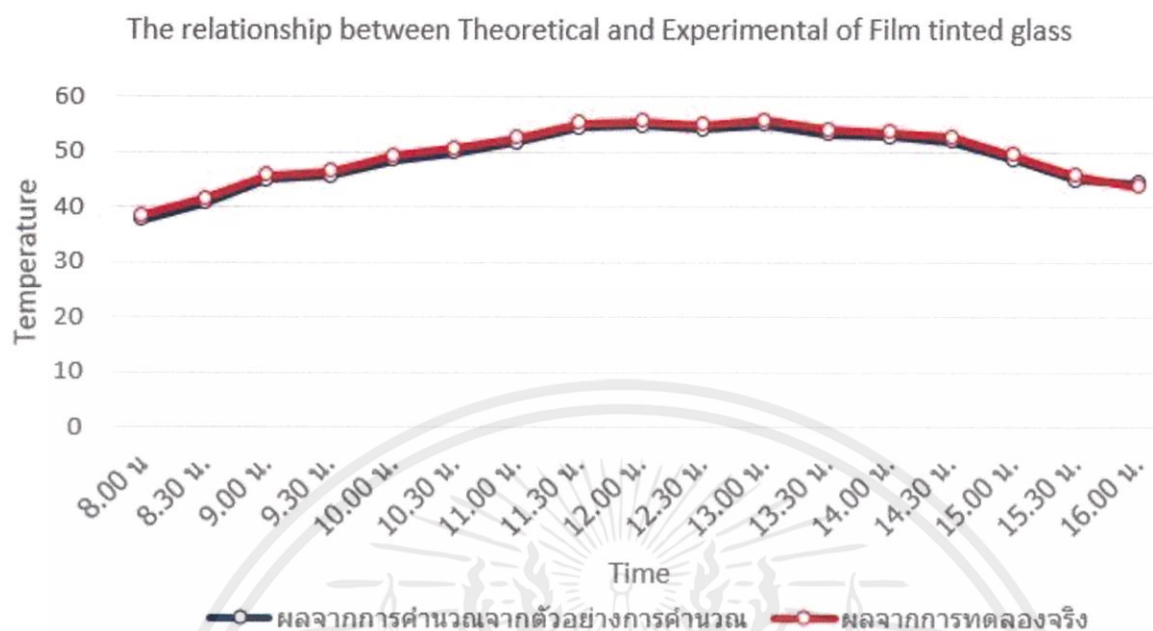
อุณหภูมิผิวนอกของกระจกฟิล์ม



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกของกระจกฟิล์ม โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิผิวในของกระจกฟิล์ม



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวในของกระจกฟิล์ม โดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง

4.3.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวนอกและผิวในของกระจก ระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลองของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวนอกของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน เวลาต่างๆ

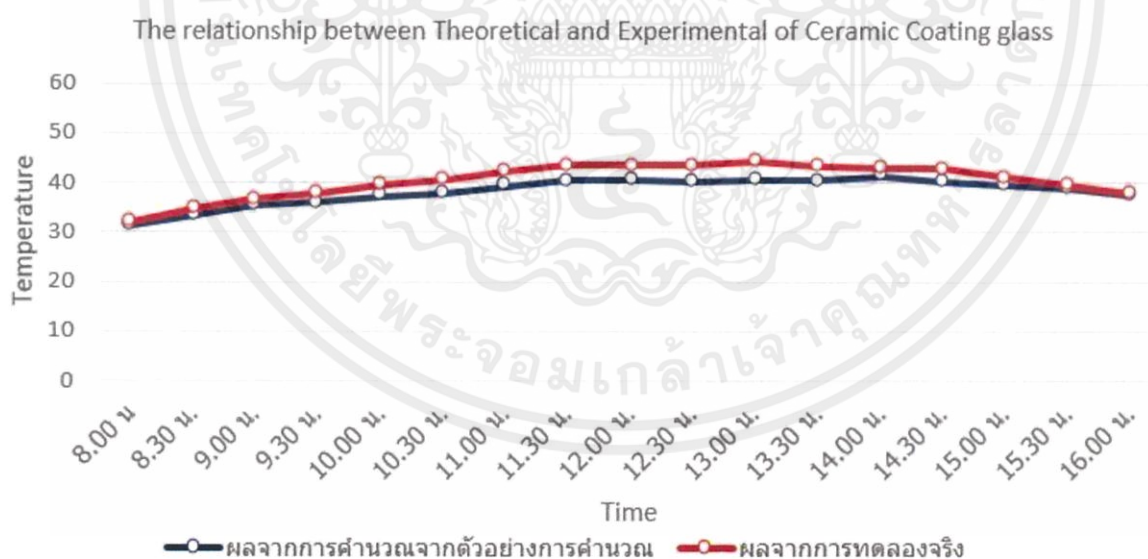
Time	Outer surface temperature of Ceramic Coating glass		Error %
	Experiment	Calculation	
8.00 น.	32.18	31.42	2.36
8.30 น.	34.82	33.47	3.88
9.00 น.	36.88	35.37	4.09
9.30 น.	37.76	36.00	4.65
10.00 น.	39.64	37.31	5.88
10.30 น.	40.66	37.79	7.05
11.00 น.	42.26	39.35	6.88
11.30 น.	43.6	40.47	7.18
12.00 น.	43.65	40.70	6.75
12.30 น.	43.7	40.21	7.98
13.00 น.	44.16	40.68	7.88
13.30 น.	43.42	40.41	6.92
14.00 น.	43.1	41.34	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวในของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน
ณ เวลาต่างๆ

Time	Inner surface temperature of Ceramic Coating glass		Error %
	Experiment	Calculation	
8.00 น.	31.4	30.51	2.85
8.30 น.	33.44	32.56	2.64
9.00 น.	35.32	34.46	2.44
9.30 น.	35.94	35.09	2.36
10.00 น.	37.24	36.40	2.27
10.30 น.	37.74	36.88	2.28
11.00 น.	39.24	38.44	2.05
11.30 น.	40.36	39.56	1.99
12.00 น.	40.58	39.79	1.95
12.30 น.	40.12	39.30	2.05
13.00 น.	40.6	39.77	2.05
13.30 น.	40.32	39.50	2.04
14.00 น.	41.22	40.42	1.93

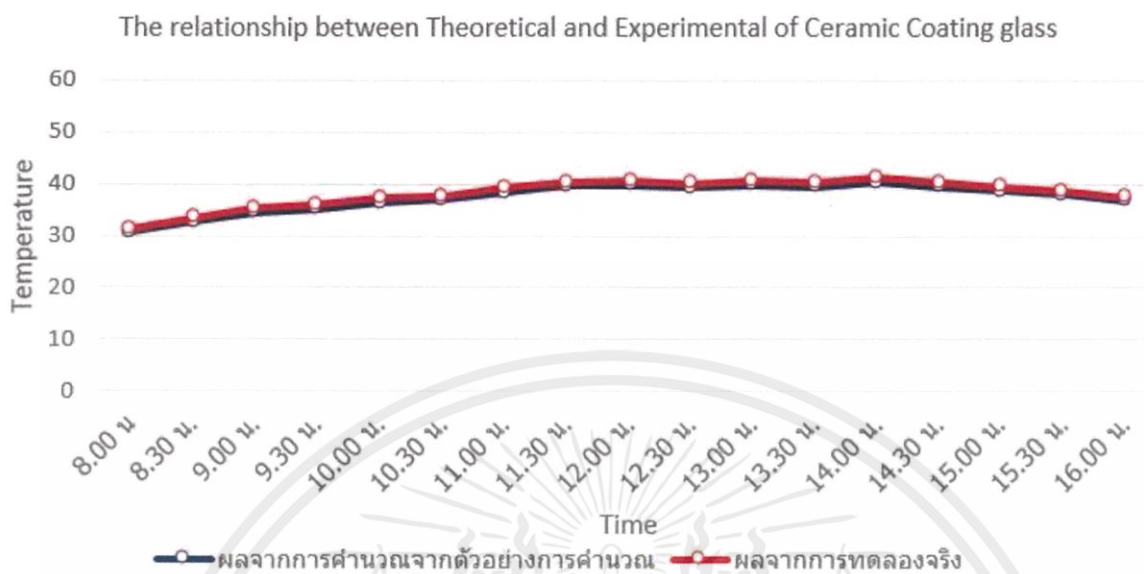
อุณหภูมิผิวนอกของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกของกระจกทาสีสะท้อนความร้อนโดยเปรียบเทียบ
ระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิผิวในของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวในของกระจกทาสีสะท้อนความร้อนโดยเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับผลการทดลอง

จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองและผลจากการคำนวณทางทฤษฎีจะมีความแตกต่างกัน เกิดจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัด เช่น อุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์ ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ระหว่าง $\pm 5\%$ และอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัด อีกทั้งปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อชุดทดลอง เนื่องจากเป็นการทดลองที่ปฏิบัติในสภาวะภายนอกจริง โดยเมื่อเปรียบค่าการทดสอบกับผลคำนวณทางทฤษฎีมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 1-8 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

เมื่อได้ผลการทดลองจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลจากทฤษฎีแล้ว ผู้ทดลองจะทราบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นซึ่งจะกล่าวไว้ในบทนี้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะในการพัฒนาชุดทดลองในอนาคตต่อไป

5.2 สรุปผลการทดลอง

อาคารขนาดใหญ่ในปัจจุบัน นิยมออกแบบอาคารโดยใช้กระจกเป็นกรอบอาคาร ด้วยเหตุนี้ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเข้าใจถึงสมรรถนะของกระจกที่จะนำมาเป็นกรอบอาคารในด้านการส่งผ่านความร้อน จากเหตุผลข้างต้นทำให้การศึกษาสมรรถนะในการลดความร้อนผ่านกระจกเป็นแนวทางการลดการใช้พลังงานในอาคารที่น่าสนใจ

จากการศึกษาการลดความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านหลังคากระจก พบว่า ค่าอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกของกระจกใสมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิผิวกระจกภายในและอุณหภูมิภายในห้อง เนื่องจากผิวกระจกภายนอกได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์โดยตรง รังสีแสงอาทิตย์จะถูกสะท้อนกลับ ดูดซึมและส่งผ่านตามคุณสมบัติของกระจก ทำให้อุณหภูมิในชั้นถัดมาลดลงตามลำดับ เปรียบเทียบกับกระจกติดฟิล์ม กระจกติดฟิล์มจะมีค่าอุณหภูมิผิวกระจกภายในสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกและอุณหภูมิภายในห้อง เนื่องจากผิวกระจกภายในถูกติดฟิล์มไว้ ด้วยคุณสมบัติของฟิล์มจะสะท้อนและดูดซับพลังงานจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามา พลังงานส่วนหนึ่งที่ฟิล์มดูดซับไว้ทำให้อุณหภูมิผิวด้านในที่ติดฟิล์มไว้มีค่าสูง จากนั้นพลังงานส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ภายในห้อง ด้วยสาเหตุข้างต้นทำให้มีการส่งผ่านลดลง อุณหภูมิภายในห้องจึงลดลง ต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้องของกระจกใส ในส่วนของกระจกทาสีสะท้อนความร้อน จะมีค่าอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ อุณหภูมิผิวกระจกภายในและอุณหภูมิภายในห้อง โดยมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับกระจกใส แต่จะมีอุณหภูมิทุกจุดต่ำกว่ากระจกใสและกระจกติดฟิล์มเมื่อเปรียบเทียบกัน เนื่องจากผิวกระจกภายนอกได้รับการปรับปรุงโดยการทาสีสะท้อนความร้อน ด้วยคุณสมบัติของสีที่ช่วยเพิ่มการสะท้อนกลับพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิลดลง ตั้งแต่ผิวนอกของกระจกจนถึงอุณหภูมิภายในห้อง

โดยเมื่อเทียบอุณหภูมิภายในห้องเฉลี่ยของกระจกทั้ง 3 ชนิด แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิภายในของห้องที่ทาสีสะท้อนความร้อนมีค่าต่ำที่สุด โดยกระจกทาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยได้สูงสุดถึง 10 องศาเซลเซียส แต่ในขณะที่กระจกติดฟิล์มสามารถลดได้เพียง 2-3 องศาเซลเซียส เมื่อคิดเป็นร้อยละกระจกทาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ห้องได้ร้อยละ 71.9 ส่วนกระจกติดฟิล์มสามารถลดได้เพียงร้อยละ 32.2 เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกใส และเมื่อเปรียบเทียบค่าการทดสอบกับผลคำนวณทางทฤษฎีมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 1-8 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัด เช่น อุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์ ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ระหว่าง $\pm 5\%$ และอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัด อีกทั้งปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อชุดทดลอง เนื่องจากการทดลองที่ปฏิบัติในสภาวะภายนอกจริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาจากการศึกษา

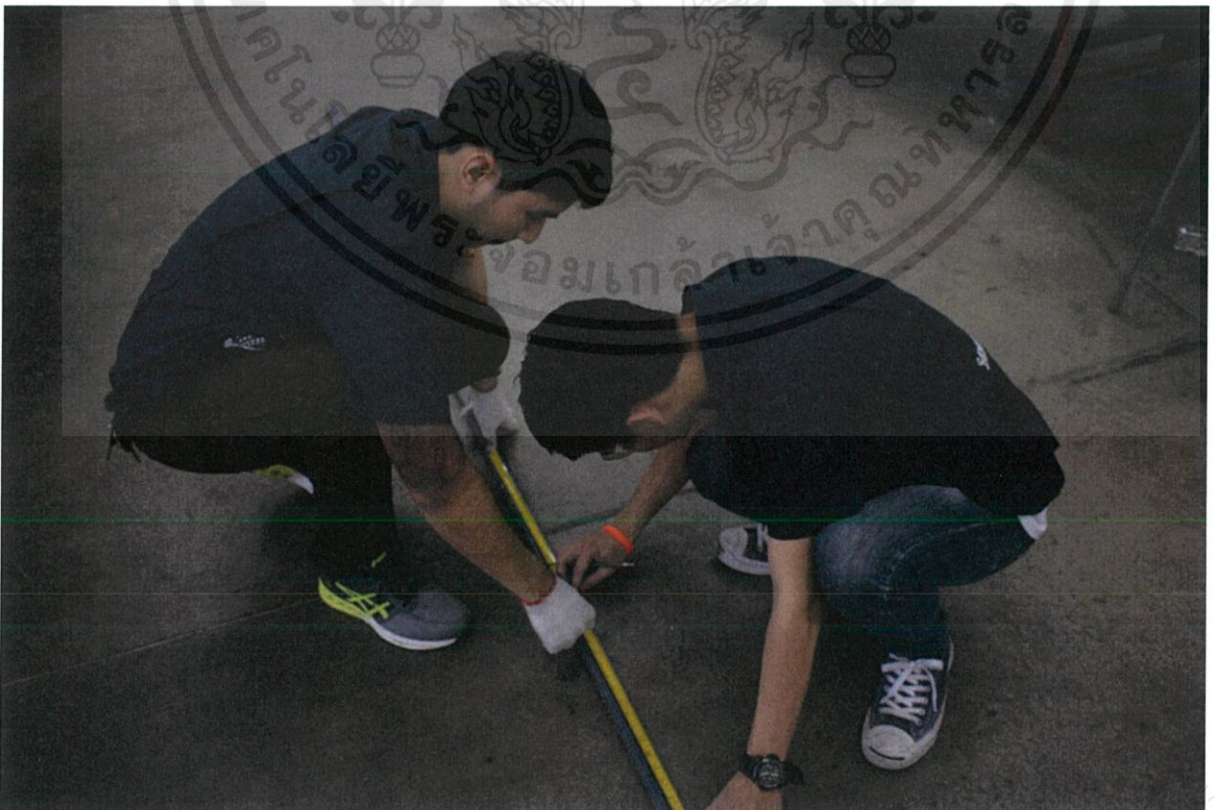
เกิดจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัด เช่น Solar meter ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ระหว่าง $\pm 5\%$ และ อายุการใช้งานของอุปกรณ์วัดอื่นๆ อีกทั้งปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อชุดทดลอง เนื่องจากการทดลองที่ปฏิบัติในสภาวะภายนอกจริง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองถูกปฏิบัติในสถานที่กลางแจ้ง ในระหว่างการทดลองควรมีการป้องกันตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบทำให้การทดลองคลาดเคลื่อน อาทิ เช่น ลมที่พัดผ่านบริเวณผิวกระจก เป็นต้น
2. ควรมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างพื้นที่แสงส่องผ่านและปริมาตรของชุดทดลองให้มีขนาดเทียบเท่าพื้นที่อยู่อาศัยจริง
3. ควรใช้อุปกรณ์วัดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยและไม่เสื่อมสภาพ เพราะ อุปกรณ์วัดที่ใช้อาจส่งผลให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารประกอบการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารประกอบเนื้อหาทั้งหมดนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ผู้ใช้เอกสารนี้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานการคัดลอก
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลอุปกรณ์ต่างๆ

1. Micrometer

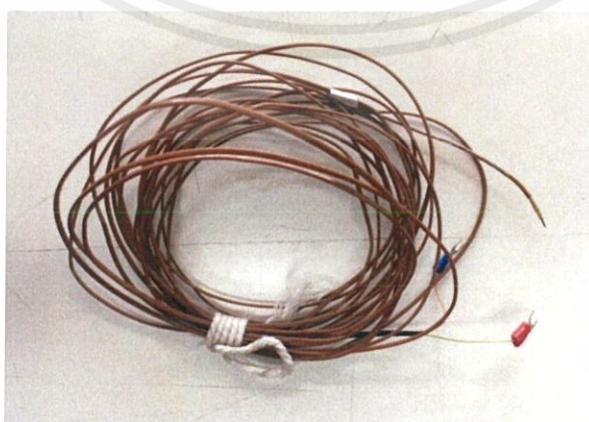


TUBE MICROMETER 0-25mm 0.01mm

2. Data Logger ยี่ห้อ Graphtec จำนวน 20 Slot



3. Thermocouple Type K



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Thermocouple Type K

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ย่านอุณหภูมิใช้งาน (°C)	ย่านอุณหภูมิ (°C)	ค่าความผิดพลาด (°C)	ค่าความไวสูงสุดโดยประมาณ ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
K	-270 ถึง 1372	-270 ถึง 0.0	-0.02 ถึง 0.04	50
		0.0 ถึง 500.0	-0.05 ถึง 0.04	
		500.0 ถึง 1372.0	-0.05 ถึง 0.06	

4. สีสะท้อนความร้อน เซรามิกโค้ทติ้ง (Ceramic Coating)



ค่าการสะท้อนพลังงานรังสีอาทิตย์	ค่าการคายความร้อน
63.7 %	0.9

5. แผ่นฉนวนกันความร้อน PE (Polyethylene)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของแผ่นฉนวนกันความร้อน PE (Polyethylene)

ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity)	86%
ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	0.14
ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	0.030 W/m.k
การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)	0.00029 g/cm ²

6. Solar Power Meter



ข้อมูลของ Solar Power Meter

Range	1999W/m ² , 634BTU/(ft ² *h)
Resolution	1 W/m ² ; 1BTU/(ft ² *h)
Accuracy	Typically with in ±10W/m ² [±3BTU/(ft ² *h)] or ±5%
Sampling Time	0.25 second (4 times/sec)
Display	3-1/2 digits LCD with maximum reading1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Anemometer



ข้อมูลของ Anemometer

Measurement	Range	Resolution	Accuracy
m/s	0.4-35.0 m/s	0.1 m/s	$\pm(2\% + 0.2 \text{ m/s})$
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$0^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$	0.1°C	$\pm 0.8^{\circ}\text{C}$

8. กระดาษขนาด 45x45 cm. หนา 6 mm.

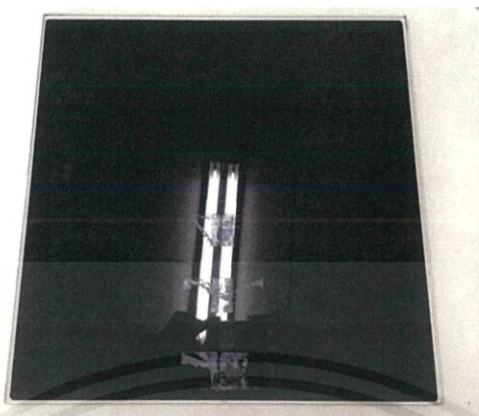


ข้อมูลของกระดาษ

ชนิดกระดาษ	ค่าการสะท้อน	ค่าการส่องผ่าน	ค่าการดูดกลืน	ค่าการแปลงรังสี	ค่าการนำความร้อน
กระดาษ 6 มม.	6.96	77.19	15.85	0.88	0.779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. กระจกฟิล์ม ขนาด 45×45 cm. หนา 6 mm



ข้อมูลของกระจกใส

คุณสมบัติของฟิล์มกรองแสง					
รุ่น	แสงสะท้อน	แสงส่องผ่าน	การลดค่าความร้อนรวม	การป้องกันรังสีUV	สี
Fx5 ความเข้ม 80%	8%	5%	58%	99%	ดำ

ภาคผนวก ค
การคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ชุดการทดลอง

Time	Clear			Film			Ceramic			Tambient	Solar	Vwind
	To	Ti	Tin	To	Ti	Tin	To	Ti	Tin			
8.00 น.	37	36.18	35.62	37.54	38.54	34.41	32.18	31.4	31.04	31.52	653.8	0.424
8.30 น.	39.18	38.38	37.24	40.52	41.56	36.2	34.82	33.44	32.92	31.6	802.4	0.884
9.00 น.	42.46	41.3	40	44.56	45.76	38.9	36.88	35.32	34.46	32.22	1041.2	1.266
9.30 น.	43.9	42.54	41.68	44.96	46.46	40.52	37.76	35.94	34.88	32.02	1069.2	1.474
10.00 น.	46.56	45.04	44.56	48.24	49.36	44.18	39.64	37.24	36.1	33.08	1306	1.158
10.30 น.	47.04	45.9	44.7	49.24	50.74	43.68	40.66	37.74	36.86	33.14	1223.4	1.326
11.00 น.	48.86	47.52	46.86	50.68	52.52	46.12	42.26	39.24	37.5	33.42	1317	2.634
11.30 น.	50.92	49.5	48.5	53.74	55.2	47.28	43.6	40.36	38.66	33.92	1288.8	1.044
12.00 น.	51.28	49.12	48.12	53.48	55.6	47.12	43.65	40.58	38.7	34.08	1323	1.072
12.30 น.	51.04	49.52	48.16	53.38	55	47.12	43.7	40.12	38.66	34.34	1485.2	2.118
13.00 น.	51.32	49.16	48.56	53.86	55.74	47.54	44.16	40.6	39.32	34.32	1488.2	1.676
13.30 น.	49.94	48.18	47.1	52.4	54.04	45.54	43.42	40.32	38.86	34.36	1366.8	2.072
14.00 น.	49.36	47.9	47.06	51.58	53.58	45.96	43.1	41.22	39.42	33.76	1274.6	3.502
14.30 น.	48.52	47.06	46.18	51.18	52.72	44.38	42.86	40.27	39.6	34.58	1201.8	1.184
15.00 น.	46.2	44.66	43.96	47.94	49.54	42.7	41.16	39.54	38.68	34.98	991.8	2.532
15.30 น.	44.08	42.7	41.66	45.06	45.8	40.23	39.42	38.87	38.18	33.96	935.2	2.158
16.00 น.	41.44	40.32	39.86	42.66	43.72	39.4	37.84	37.44	37.06	34.06	749	2.138

ในการคำนวณ เลือกช่วงเวลาที่มี อุณหภูมิสูงสุด ในเวลา 13.00 น. จากผลข้อมูลเฉลี่ยวันที่ 14-18 เมษายน พ.ศ. 2560

$$K_{\text{clear glass}} = 0.779, K_{\text{film tinted glass}} = 0.61, K_{\text{Ceramic}} = 0.67$$

$$Q_{\text{Clear glass}} = \frac{KA\Delta T}{L} = \frac{(0.779)(0.45 \times 0.45)(48.56 - 34.32)}{0.006} = 374.38 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Film Tinted glass}} = \frac{KA\Delta T}{L} = \frac{(0.61)(0.45 \times 0.45)(47.54 - 34.32)}{0.00644} = 253.57 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ceramic}} = \frac{KA\Delta T}{L} = \frac{(0.67)(0.45 \times 0.45)(39.32 - 34.32)}{0.00645} = 105.17 \text{ W}$$

การคำนวณร้อยละที่กระจกติดฟิล์มและกระจกทาสีสะท้อนความร้อนสามารถลดความร้อนที่เข้าสู่ชุดทดลองได้ เทียบจากกระจกใส

กระจกติดฟิล์ม

$$\%Q_{\text{Film Tinted glass}} = \frac{374.38 - 253.57}{374.38} \times 100 = 32.2\%$$

กระจกทาสีสะท้อนความร้อน

$$\%Q_{\text{Ceramic Coating glass}} = \frac{374.38 - 105.17}{374.38} \times 100 = 71.9\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์, (2003). การศึกษาประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานของหน้าต่างกระจก สำหรับบ้านพักอาศัย. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, นพรัตน์ คำพร และ เขมชาติ มังกรศักดิ์สิทธิ์, (2003). การศึกษาการส่งผ่าน พลังงานความร้อนของหน้าต่างกระจกและหน้าต่างกระจกติดฟิล์ม. การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, จังหวัดปราจีนบุรี
- [3] ศราวุธ ศรีนุศิษย์, (2006). การปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน : กรณีศึกษาอาคาร โรงพยาบาลเลิดสิน. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] สุชน คงศักดิ์ตระกูล, (2009). การพัฒนาชุดหน้าต่างที่มีการระบายอากาศเพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัว อาคาร.สถาบันพัฒนกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] เอกสิทธิ์ ยงพาณิชย์, (2013). การพัฒนาการลดความร้อนเข้าอาคารผ่านทางกระจกโดยใช้ม่านน้ำ. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar, (2014). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 5th Edition, Mc Graw Hill Education, New York.