สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาชุดศึกษาตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน

Development of heat conduction and heat insulation laboratory equipment

T123382

นายสิทธิศักดิ์ ทองประศาสน์

นายพิชญ ศักดิ์ศิวะกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 123382
วัน,เดือน,ปี - 8 พย. 2555

b.....
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดศึกษาตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน

นายสิทธิศักดิ์ ทองประศาสน์
นายพิชญ ศักดิ์ศิวะกุล

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF HEAT CONDUCTION AND HEAT INSULATION LABORATORY EQUIPMENT

MR. SITISAK THONGPRASAT

MR. PICHAYA SAKSIWAKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS-SCIENCE AND INDUSTRY INSTRUMENTATION

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาชุดศึกษาตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน

Development of heat conduction and heat insulation laboratory equipment

ชื่อนักศึกษา นายสิทธิศักดิ์ ทองประศาสน์

นายพิชญ ศักดิ์ศิวะกุล

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วรการ นียากร	
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
อ.ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์	
ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ	
อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาชุดศึกษาตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน

ชื่อนักศึกษา นายสิทธิศักดิ์ ทองประศาสน์

นายพิชญ ศักดิ์ศิวะกุล

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาชุดทดลอง เพื่อศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อน ชุดทดลองถูกออกแบบบนพื้นฐานของหลักการการถ่ายเทความร้อน การทดลองคือ การวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผ่านวัสดุในกล่องฉนวนความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ ผลการทดลองสามารถใช้บอกคุณสมบัติการนำความร้อนและฉนวนความร้อนของวัสดุ ผลการทดลองจะแสดงคุณสมบัติการนำความร้อน เช่น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อน และการนำความร้อนขึ้นอยู่กับ ความหนา ความหนาแน่น และชนิด ของวัสดุ

คำสำคัญ : การนำความร้อน, สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Development of heat conduction and heat insulation laboratory equipment

Students Mr. Sittisak Thongprasat
Mr. Pichaya Saksiwakul

Degree Bachelor of Science

Program Applied Physics-Science and Industry Instrumentation

Advisor Asst. Prof.Dr.Pattareeya Kittidachachan

Co - Advisor Kajpanya Suwansukho

ABSTRACT

This special project is studied and developed laboratory equipment for study the heat conduction properties. This kit is designed based on heat transfer principle. The experiment procedure is to measure the variation of temperature pass through the material under the insulation box in thermal steady state. The experiment results can be used to indicate heat conduction and heat insulation properties of material. The results shown that the heat conduction properties such as heat transition coefficient, heat transition resistance and heat conductivity depend on the thickness, density and type of material.

Keywords : Heat conduction, Coefficient of heat transfer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้จะไม่สามารถสำเร็จได้ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ และ อาจารย์ กาจปัญญา สุวรรณสุโข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และวิธีแก้ปัญหาที่สามารถทำให้โครงงานผ่านลุล่วงไปด้วยดีในนามของผู้จัดทำจึงต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆทุกคนของ ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำ ช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลองทำโครงงานพิเศษครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ บิดา มารดา และ ทุกบุคคลที่ให้กำลังใจข้าพเจ้าในการทำโครงงานตลอดมา

นายสิทธิศักดิ์ ทองประสาสน์

นายพิชญ ศักดิ์ศิวะกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 การนำความร้อน	4
2.2 การไหลของพลังงานความร้อน	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	14
3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของชุดทดลอง	14
3.2 กล่องฉนวนความร้อน	15
3.3 ชุดกำเนิดพลังงานความร้อน	16
3.4 การศึกษาความนำและฉนวนความร้อนของวัสดุ	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	20
4.1 การทดลองเพื่อออกแบบชุดทดลอง	20
4.2 การทดลองกับวัสดุ	36
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของ กล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อน 21

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อน แบบมีฉนวนความร้อนที่ให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์ 24

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อน แบบมีฉนวนความร้อนที่ให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์ 27

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้า แบบไม่มีฉนวนความร้อน 31

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้า แบบมีฉนวนความร้อน 33

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองปรับระยะหลอดไฟสปอตไลท์ 35

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองของการทดลองการไหลของความร้อน ผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 43

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณการทดลองการไหลของความร้อน ผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 44

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองของการทดลองการไหลของความร้อน ผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส 46

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการคำนวณการทดลองการไหลของความร้อน ผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนแบบนำผ่านผนังเรียบ	5
รูปที่ 2.2 การนำความร้อนผ่านผนังเรียบซ้อนกันแบบอนุกรม	7
รูปที่ 2.3 การนำความร้อนของผนังเรียบที่ซ้อนกันแบบขนาน	7
รูปที่ 2.4 การนำความร้อนของผนังที่ซ้อนกันแบบผสม	8
รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของพลังงานตลอดทั้งผนังและ อุณหภูมิของผนังทั้งภายในและภายนอก	9
รูปที่ 2.6 ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน *1/k* เป็นฟังก์ชันกับความหนาของผนัง *d*	12
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง	14
รูปที่ 3.2 กล่องฉนวนความร้อน	15
รูปที่ 3.3 ด้านในกล่องฉนวนความร้อน	16
รูปที่ 3.4 หลอดไฟสปอตไลท์ขนาด 120 วัตต์	17
รูปที่ 3.5 ชุดหลอดปรับอุณหภูมิขนาด 100 วัตต์	17
รูปที่ 3.6 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้า	18
รูปที่ 3.7 วงจรชุดหลอดปรับอุณหภูมิขนาด 100 วัตต์	18
รูปที่ 3.8 การทดลองศึกษาความนำและฉนวนความร้อนของวัสดุ	19
รูปที่ 4.1 การทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อน	20
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อนด้านบนกล่อง	21
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อนด้านล่างกล่อง	22
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อนด้านข้างกล่อง	22
รูปที่ 4.5 การทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อน	23
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านบนกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านล่างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์ 25

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านข้างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์ 26

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านใส่วัสดุให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์ 26

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านบนกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์ 28

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านล่างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์ 28

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านข้างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์ 29

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านใส่วัสดุให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์ 29

รูปที่ 4.14 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีฉนวนความร้อน 30

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีฉนวนความร้อน 31

รูปที่ 4.16 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบมีฉนวนความร้อน 72

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบมีฉนวนความร้อน 34

รูปที่ 4.18 การทดลองปรับระยะหลอดไฟสปอตไลท์ 35

รูปที่ 4.19 ไม้ความหนาแน่น 789.8533 kg/m^3 41

รูปที่ 4.20 ไม้ความหนาแน่น 311.65 kg/m^3 41

รูปที่ 4.21 ไม้ความหนาแน่น 665.8739 kg/m^3 42

รูปที่ 4.22 โฟมความหนาแน่น 12.2335 kg/m^3 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.23 โฟมความหนาแน่น 36.05231 kg/m^3 43
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุ ที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 44
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุ ที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 45
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่น วัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 45
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่น วัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 46
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุ ที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส 47
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุ ที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส 48
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่น วัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส 48
รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่น วัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันงานด้านอุตสาหกรรมและพลังงานทดแทนมีการใช้วัสดุหลายชนิด เพื่อใช้เป็นผนังในการถ่ายเทความร้อนให้กับวัสดุ จึงสามารถนำวัสดุมาเลือกใช้เป็นตัวนำความร้อนหรือฉนวนความร้อนได้ การใช้วัสดุที่เหมาะสมเป็นตัวนำความร้อนหรือฉนวนความร้อนนั้นสามารถประหยัดพลังงานในทางอุตสาหกรรมและเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนได้มากขึ้น ในทางอนุรักษ์งานพลังงาน การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุจึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุได้อย่างถูกต้อง

การศึกษาคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ โดยการทดลองการนำความร้อนของวัสดุสามารถบอกความเป็นฉนวนความร้อนและตัวนำความร้อนของวัสดุได้ การทดลองทำได้โดยการวัดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนผ่านตัวกลางและเมื่อผ่านตัวกลางที่ต้องการทดสอบว่าเป็นฉนวนความร้อนหรือตัวนำความร้อนในห้องที่ปิดที่มีอุณหภูมิคงที่ การศึกษาด้วยวิธีนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งจะสามารถทำให้นำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่วัดได้มาศึกษาความสัมพันธ์ต่างๆที่เกิดขึ้น เช่น ค่าการนำความร้อนของวัสดุ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน เป็นต้น จากการทดลองดังกล่าว ทำให้ผู้ที่ได้ทดลองทราบถึงคุณสมบัติความเป็นตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในงานได้อย่างถูกต้อง โดยชุดทดลองการศึกษานำความร้อนและฉนวนความร้อนที่มีใช้ในปัจจุบันนั้นเป็นชุดทดลองที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาแพง จึงมีแนวคิดในการสร้างชุดทดลองที่สามารถทำให้การศึกษาการนำความร้อนและฉนวนความร้อนมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับชุดทดลองที่นำเข้าจากต่างประเทศแต่มีราคาถูกกว่า เพื่อให้ชุดการทดลองเข้าถึงผู้ที่สนใจศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุได้มากขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาทางด้านการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาทฤษฎี การออกแบบ และสร้างชุดทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน เพื่อให้ผู้ทำการทดลองได้รู้ถึงขั้นตอนการศึกษาความเป็นตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน จากค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ช่วยให้ผู้ที่ต้องการศึกษาและเลือกใช้วัสดุเป็นตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนมีความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช่จ่ายในการซื้อชุดทดลองจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาทฤษฎีและคุณสมบัติของวัสดุในการเป็นตัวนำความร้อนและเป็นฉนวนความร้อน

1.2.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลองการนำความร้อน

1.3.1 ออกแบบวิธีการทดลองและชุดทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนของวัสดุตัวอย่าง

1.3.2 สามารถนำวิธีการทดลองและชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้ในการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ช่วงเวลา	ขั้นตอนดำเนินงาน
มิถุนายน – สิงหาคม พ.ศ.2553	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
สิงหาคม-ตุลาคม พ.ศ.2553	ออกแบบและสร้างชุดทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน
ตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ.2553	ทดลอง และ ปรับปรุงชุดทดลอง
ธันวาคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554	ศึกษาผลการทดลองที่ได้ และ วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำชุดทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ชุดทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนสามารถทำให้ผู้ที่ทำการทดลองเข้าใจหลักการและคุณสมบัติการนำความร้อน

1.5.3 มีชุดทดลองที่ราคาถูกใช้ในการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน คือการส่งผ่านความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ กว่า มีวัตถุเป็นตัวกลางโดยวัตถุจะอยู่กับที่ แต่ความร้อนค่อยๆ แผ่กระจายไปตามเนื้อวัตถุนั้น เช่น เราจับแก้วน้ำร้อน ตอนแรกๆจะไม่รู้สึกร้อน แต่จะค่อยๆ ร้อนจนจับไม่ได้ วัสดุที่นำความร้อนได้ เรียกว่า ตัวนำความร้อน ซึ่งเป็นวัสดุประเภทโลหะ คือตัวกลางที่ยอมให้พลังงานความร้อนไหลผ่านไปได้ดี ตัวนำความร้อนที่ดีได้แก่ วัตถุพวกโลหะ เช่น เงิน, ทองแดง, เหล็ก ฯลฯ วัสดุที่ไม่นำความร้อน เรียกว่า ฉนวนความร้อน วัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน คือ ตัวกลางที่ไม่ยอมให้พลังงานความร้อนไหลผ่านหรือไหลผ่านได้น้อยเรียกว่า ฉนวนความร้อน ได้แก่ กระเบื้อง, แก้ว, ไม้, ผ้า และพลาสติก เป็นต้น

2.1.1 การนำความร้อนในสภาวะคงตัว

การนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของความร้อน จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลของตัวกลางมีการสัมผัสกันโดยตรง ปริมาณของความร้อนที่เกิดการถ่ายเทนั้นมีค่าแปรผันกับค่าความแตกต่างของ อุณหภูมิตามระยะทาง

$$\frac{dq}{dA} = -k\frac{dT}{dx} \qquad (1)$$

สมการที่ 1 เรียกว่า กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of conduction)

กรณีที่คิดในแบบสามมิติสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_x = -k\left(\frac{dT}{dx}\right) \quad (2)$$

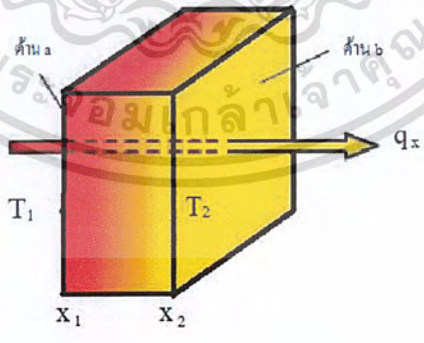
$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_y = -k\left(\frac{dT}{dy}\right) \quad (3)$$

$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_z = -k\left(\frac{dT}{dz}\right) \quad (4)$$

เครื่องหมายลบที่อยู่ทางขวามือของสมการฟูเรียร์นั้นเป็นผลสืบเนื่องจากกฎข้อที่ 2 ทางเทอร์โมไดนามิคส์ ซึ่งกำหนดไว้ว่าความร้อนจะต้องไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากว่าในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิจะมีค่าผกผันกับระยะทางที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าเราวาดกราฟระหว่างแกนอุณหภูมิกับระยะทาง ค่าความชันซึ่งก็คือปริมาณความร้อนจะติดเครื่องหมายลบ ดังนั้น ถ้าหากต้องการให้ติดเครื่องหมายบวกจึงจำเป็นต้องใส่เครื่องหมายลบไว้ข้างหน้า

2.1.2 การนำความร้อนในผนังราบเรียบ

จากรูปที่ 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบนำ จะพบว่า ผนังด้าน a มีค่าอุณหภูมิเป็น T_1 ส่วนทางด้าน b มีอุณหภูมิเป็น T_2 โดยระยะทางระหว่างด้าน a ไปยังด้าน b จะเกิดการถ่ายเทความร้อน q_x ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์จะได้ว่า



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนแบบนำผ่านผนังเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = -kA\frac{dT}{dx}$$

โปรไฟล์ของการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนจะเป็นในลักษณะ

$$x = x_1 \qquad ;T = T_1$$
$$x = x_2 \qquad ;T = T_2$$

ทำการอินทิกรัลด้วยเทคนิคแยกตัวแปร dx และ dT ตามเงื่อนไขที่ขอบเขตด้วยการกำหนดอุณหภูมิที่ผิวด้าน a และด้าน b ของรูปที่ 1 แล้วแทนค่าลงไปตามลำดับ

$$\frac{q}{A}dx = -kdT$$
$$\int_{x_1}^{x_2}\frac{q}{A}dx = -\int_{T_1}^{T_2}kdT$$
$$\int_{x_1}^{x_2}\frac{q}{A}dx = -k\int_{T_1}^{T_2}dT$$
$$\frac{q}{A}(x_2 - x_1) = k(T_1 - T_2)$$

จะได้ความสัมพันธ์

$$q = kA\frac{(T_1 - T_2)}{(x_2 - x_1)} \qquad (5)$$

ความคล้ายคลึงกันของการถ่ายเทความร้อนแบบนำกับการไหลของกระแสไฟฟ้าในการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยหลักการของการไหลของกระแสไฟฟ้า ทั้งสองอย่างนี้มีความคล้ายคลึงกันอยู่ โดยอัตราการนำความร้อนเปรียบได้กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล ดังนั้นกลุ่มของตัวแปรความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT เทียบเคียงได้กับความต่างศักย์ ΔV และเทอมของ $\frac{\Delta x}{kA}$ จะเทียบได้กับค่าความต้านทานไฟฟ้า (R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

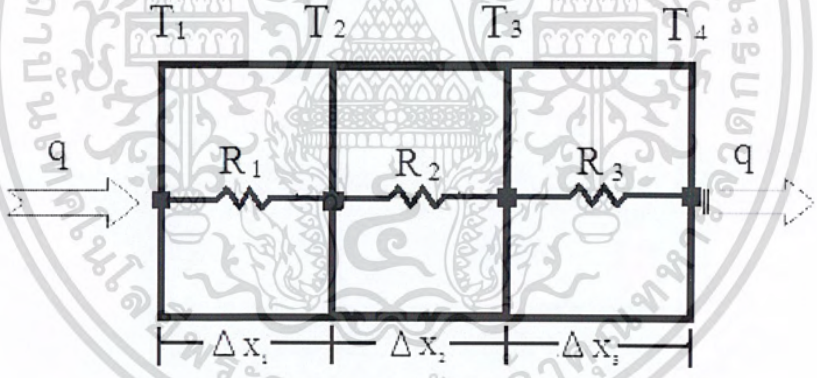
กฎของโอห์ม

$$I = \frac{\Delta V}{R} \tag{6}$$

กฎของฟูเรียร์

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta x}{k \cdot A}} = \frac{\Delta T}{R} \tag{7}$$

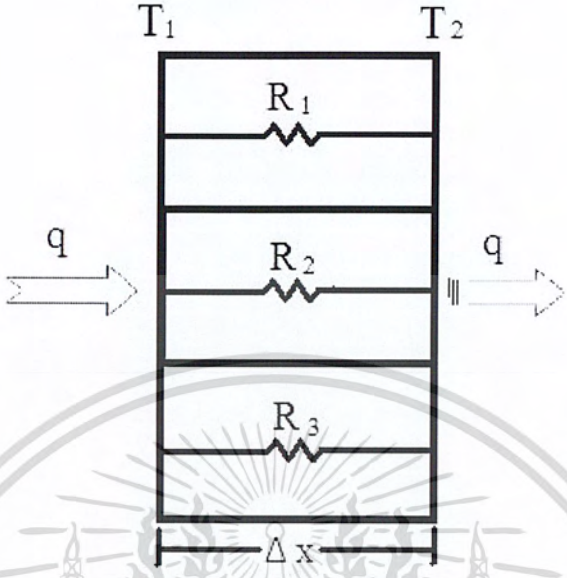
การวิเคราะห์ปัญหาโดยการเปรียบเทียบการไหลของความร้อนกับการไหลของกระแสจะให้ความสะดวกในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากๆได้เป็นอย่างดี โดยการยุบรวมค่าความต้านทานการไหลของความร้อน เหมือนค่าความต้านทานกระแสดังตัวอย่างในรูปที่ 2, 3 และ 4



$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3}} = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3}$$

รูปที่ 2.2 การนำความร้อนผ่านผนังเรียบซ้อนกันแบบอนุกรม

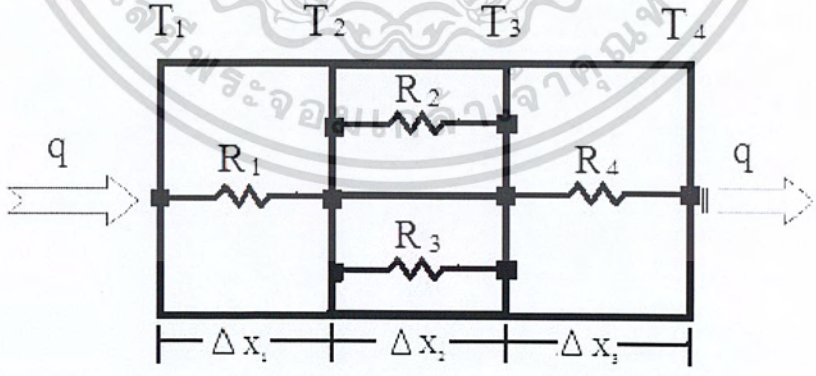
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$q_{overall} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$q_{overall} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{\Delta x}{A_1 k_1}} + \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{\Delta x}{A_2 k_2}} + \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{\Delta x}{A_3 k_3}} = (T_1 - T_2)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)$$

รูปที่ 2.3 การนำความร้อนของผนังเรียบที่ซ้อนกันแบบขนาน



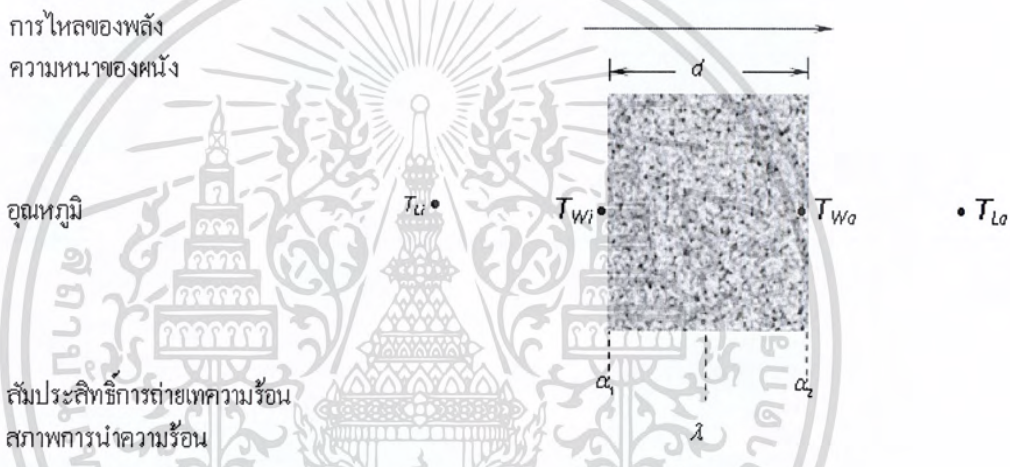
รูปที่ 2.4 การนำความร้อนของผนังที่ซ้อนกันแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การไหลของพลังงานความร้อน

2.2.1 การไหลของความร้อนผ่านวัสดุ

การไหลของพลังงานความร้อน q ผ่านผนังที่เป็นวัสดุเนื้อเดียว พิจารณาได้จากค่าการถ่ายโอนความร้อนในอากาศสู่ผนัง (air-wall) และ ค่าการนำความร้อนในผนังในสถานะ steady state พลังงานการไหลขึ้นอยู่กับพื้นผิวหน้าของผนังและส่วนต่างของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของพลังงานตลอดทั้งผนัง และ อุณหภูมิของผนังทั้งภายในและภายนอก

โดยที่ T_{Li} คือ อุณหภูมิของอากาศภายใน

T_{Wi} คือ อุณหภูมิของผนังภายใน

T_{Wa} คือ อุณหภูมิของผนังภายนอก

T_{La} คือ อุณหภูมิของอากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายโอนความร้อนจากอากาศสู่ผนังด้านใน (α_i = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านใน)

$$q = \alpha_i \cdot A \cdot (T_{Li} - T_{Wi}) \tag{8}$$

การส่งผ่านพลังงานความร้อนผนังด้านนอกสู่อากาศ (α_a = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก)

$$q = \alpha_a \cdot A \cdot (T_{Wa} - T_{La}) \tag{9}$$

การนำความร้อนในผนัง (d = ความหนา, λ = สภาพการนำความร้อน)

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (T_{Wi} - T_{Wa}) \tag{10}$$

รวมทั้งสามสมการใหม่จะได้

$$q = k \cdot A \cdot (T_{Li} - T_{La}) \tag{11}$$

โดย k = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transition coefficient) หรือ เราจะเรียกว่าค่า k

จากสมการต่างๆเราสามารถนำมาประยุกต์ได้เป็น

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \tag{12}$$

พารามิเตอร์

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d} \tag{13}$$

เป็นค่าซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและความหนาของผนัง หรือเรียกว่า “สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (thermal transmission coefficient)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกลับของ α , k และ Λ คือ ค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งเราจะเรียกว่า ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุ และความต้านทานส่งผ่านความร้อนตามลำดับ ในผนังประกอบด้วยชั้นหลายๆ ชั้นซ้อนกัน คือจากสมการที่ (10) เราสามารถใช้ได้กับผนังทุกชั้น โดยแทนค่าของความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนเข้าไปในสมการที่ (12) ดังนี้

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda_1} + \frac{1}{\Lambda_2} + \ldots + \frac{1}{\Lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a} \qquad (14)$$

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านไปยังอากาศ คือ การนำ การพา และการแผ่ความร้อน สมการที่ (13) ใช้ในการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของชั้นอากาศในแนวดิ่งระหว่างผนังแบบอโลหะ ในกรณีที่ผนังมีความหนาน้อยๆ ($d < 5$ มม.) เท่านั้น หากความหนาของผนังที่มีค่ามากกว่านี้ จะต้องพิจารณาผลของการแผ่รังสีความร้อน ในกรณีขนานกับพื้นผิว และหากผนังที่มีความหนามากกว่า 5 ซม. การพาความร้อนจะส่งผลให้ความต้านทานมีค่าลดลง

เราจะพิจารณาปัญหาที่ในสถานะ steady state ของความร้อนโดยที่ความเย็นของผนังขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์นั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าความจุความร้อนของผนัง ดังนี้

$$C = c \cdot m \qquad (15)$$

โดยที่ c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

m คือ มวลของผนัง

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกจะส่งผลต่อภายในเพียงเล็กน้อยพลังงานความร้อนที่ไหลผ่านผนัง พิจารณาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผนังด้านนอกกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอากาศด้านนอก โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในกรณีที่เป็นห้องปิดสำหรับผนังทุกชนิดมีค่าเท่ากับ

$$\alpha = 8.1\ W / Km^2$$

เพื่อใช้ในการคำนวณ:

สมการที่ (9) จะให้ผลออกมาเป็น q/A ดังนี้

จาก

$$q = \alpha_a \cdot A \cdot (T_{Wa} - T_{La}) \tag{9}$$

จะได้

$$\frac{q}{A} = \alpha_a \cdot (T_{Wa} - T_{La}) \tag{16}$$

สมการที่ (10) จะให้ผลออกมาเป็น λ

จาก

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (T_{Wi} - T_{Wa}) \tag{10}$$

จะได้

$$\lambda = \frac{qd}{A(T_{Wi} - T_{Wa})} \tag{17}$$

สมการที่ (11) จะให้ผลออกมาเป็น k

จาก

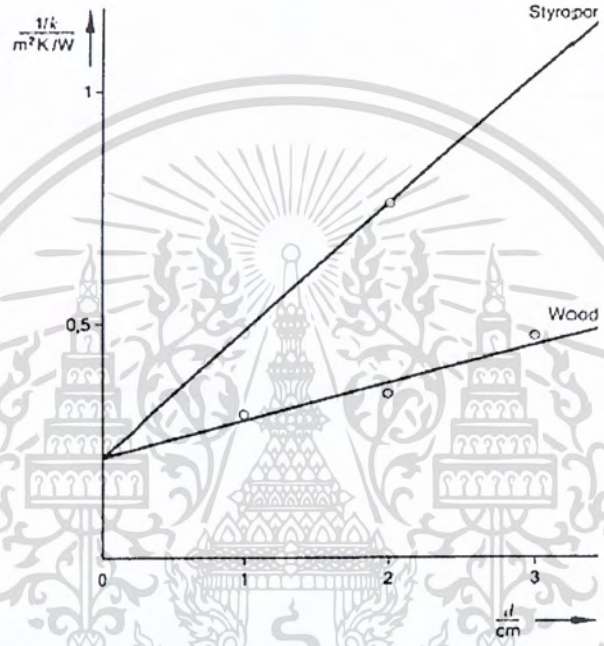
$$q = k \cdot A \cdot (T_{Li} - T_{La}) \tag{11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$k = \frac{q}{A \cdot (T_{Li} - T_{LA})} \tag{18}$$

2.2.2 ความต้านทานความร้อนในวัสดุ



รูปที่ 2.6 ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน $1/k$ เป็นฟังก์ชันกับความหนาของผนัง d

สมการที่ (12) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อน 1/k และความหนาของผนัง d ดังรูปที่ 6 จุดตัดของแกนที่ $d = 0$ มีค่าเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทั้งภายในและภายนอก $1/\alpha_i + 1/\alpha_a$ ซึ่งได้จากการลากเส้นต่อจากเส้นกราฟของค่าที่วัดได้ของผนังไม้ ($\alpha_i > \alpha_a$ ซึ่งเป็นผลของการแผ่รังสีความร้อนสู่ผนังจากแหล่งที่แผ่ความร้อนขนาดใหญ่) และสำหรับผลจากการใช้โฟมก็ในทำนองเดียวกับกรณีของไม้ โดยจากกราฟจะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟของไม้จะมีค่าน้อยกว่าความชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกราฟโฟม หรืออาจจะกล่าวได้ว่า วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนมากกว่า เส้นกราฟจะมีความชันน้อยกว่า

ความหนาของวัสดุมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนสำหรับชั้นอากาศในแนวดิ่งระหว่างผนังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10) และสมการที่ (13) ในรูปของ

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{\Delta T \cdot A}{q} \tag{19}$$

โดยที่ ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในช่องผนัง

q/A คือ ค่าที่คำนวณ ได้จากสมการที่ (9)

ผนังที่เป็นหลายๆ ชั้นซ้อนกัน จะมีค่าอัตราส่วนของส่วนต่างของอุณหภูมิเท่ากับส่วนกลับของอัตราส่วนของค่าความต้านทานการส่งผ่านความร้อน ดังนี้

$$\frac{\Lambda_2}{\Lambda_1} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \tag{20}$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้มักถูกใช้ ในการหาค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดหนึ่ง เมื่อเราทราบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของวัสดุอีกชนิดที่ต่อกัน

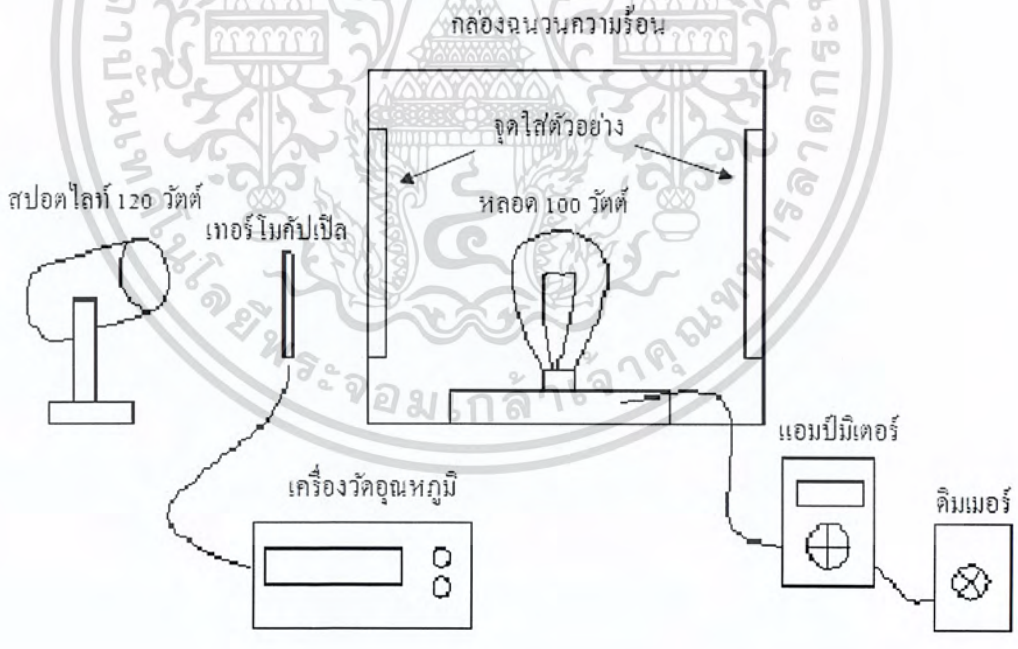
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ชุดการทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนเป็นการทดลองเพื่อศึกษาการนำความร้อนและการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุ ซึ่งผลการทดลองของวัสดุเหล่านั้นจะแสดงอุณหภูมิของความร้อนที่วัสดุรับมาและถ่ายเทสู่อากาศ ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการถ่ายเทความร้อนมาจากวัสดุและความแตกต่างกันของอุณหภูมิสามารถทำให้หาความสัมพันธ์ของการนำความร้อนของวัสดุที่แตกต่างกันออกไปได้ โดยการทดลองจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน กล่องฉนวนความร้อน และส่วนวัดอุณหภูมิ

3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของชุดทดลอง



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทของพลังงานความร้อนผ่านผนังที่เป็นเนื้อวัสดุเดียวโดยให้พลังงานความร้อนจาก สปอตไลท์ขนาด 120 วัตต์ ส่องไปยังกล่องฉนวนความร้อนที่เจาะรูบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของกล่องเพื่อใส่ตัวอย่างวัสดุที่ต้องการทำการทดลองหาค่าการนำความร้อน ภายในกล่องฉนวนความร้อนมีหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ ให้ความร้อนในกล่องเพื่อปรับให้อุณหภูมิในกล่องฉนวนความร้อนที่ใช้ในการทดลองมีสภาวะ steady state โดยหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ ต่อกับดิมเมอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยในการลดแรงดันไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับความสว่างของหลอดได้ ความร้อนที่ได้จากหลอดไส้จะมากเมื่อหลอดสว่างมากและความร้อนจะน้อยเมื่อหลอดสว่างน้อย ดังนั้นจึงนำดิมเมอร์มาใช้ในการปรับอุณหภูมิภายในกล่องฉนวนความร้อน การหาค่าการนำความร้อนนั้นหาได้จากพลังงานความร้อนที่ไหลในวัสดุที่ขึ้นอยู่กับ พื้นผิวหน้าของผนังวัสดุและส่วนต่างของอุณหภูมิตามสมการที่ (5) การวัดอุณหภูมิจุดที่ต้องการศึกษาและวัดได้อย่างพร้อมกันจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในชุดการทดลองจึงใช้เครื่องวัดอุณหภูมิที่ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิล ชนิด k 4 เส้น ซึ่งจะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ 4 จุดที่ต้องการศึกษาพร้อมกัน ทำให้สามารถวัดค่าอุณหภูมิในการทดลองได้อย่างถูกต้อง

3.2 กล่องฉนวนความร้อน

กล่องฉนวนความร้อนใช้ในการทดลองเพื่อทำให้อุณหภูมิมีสภาวะคงที่ ตัวกล่องฉนวนความร้อนทำด้วยแผ่นอะคริลิคขนาด 30 x 30 เซนติเมตร ด้านหน้าและด้านหลังเจาะรูตรงกลางแผ่นขนาด 15 X 15 เซนติเมตรเพื่อใส่วัสดุตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูปที่ 3.2 กล่องฉนวนความร้อน

ภายในของกล่องฉนวนความร้อนมีหลอดไฟขนาด 100 วัตต์เพื่อให้ความร้อนกับกล่อง เมื่อให้ความร้อนภายในกล่องไประยะหนึ่งอุณหภูมิภายในกล่องจะมีสภาวะคงที่ที่อุณหภูมิค่าหนึ่งโดยขึ้นกับความร้อนของไส้หลอดที่แผ่ออกมาซึ่งเปลี่ยนแปลงตามกระแสที่ป้อนให้กับหลอดไฟ บริเวณผนังกล่องฉนวนความร้อนใช้ฉนวนความร้อนโพลีเอทธีลีนกันความร้อนแบบมีอลูมิเนียมฟรอยด์สะท้อนรังสีความร้อนหนา 10 มม. ค่าความต้านทานความร้อน R-Value = 13 hr.ft^2.F/Btu

รูปที่ 3.3 ด้านในกล่องฉนวนความร้อน

123382

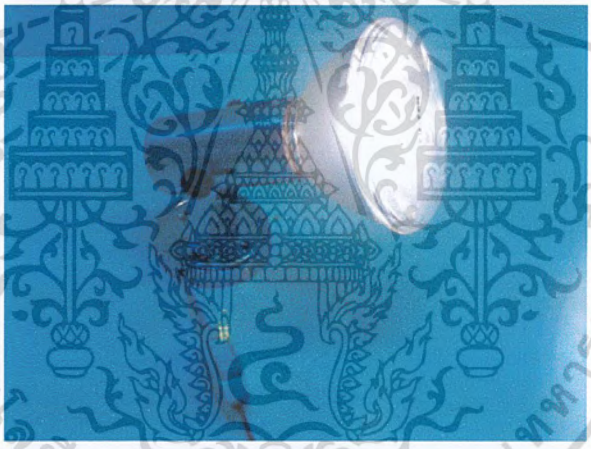
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดกำเนิดพลังงานความร้อน

ชุดการทดลองนี้ใช้หลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนกับชุดการทดลอง หลอดที่ใช้คือหลอดไส้ ซึ่งเป็นหลอดที่ให้ความร้อนสูง ในการทดลองนี้มีการใช้หลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน 2 ลักษณะ คือ หลอดที่ส่องให้ความร้อนจากด้านนอกกล่องฉนวนความร้อน และหลอดที่ให้ความร้อนอยู่ภายในกล่องฉนวนความร้อน

3.3.1 หลอดไฟให้พลังงานความร้อนกับวัสดุตัวอย่าง

หลอดไฟนี้เป็นหลอดไฟสปอตไลท์ขนาด 120 วัตต์ ทำหน้าที่ให้ความร้อนวัสดุตัวอย่างที่อยู่บริเวณด้านหน้าของกล่องฉนวนความร้อน

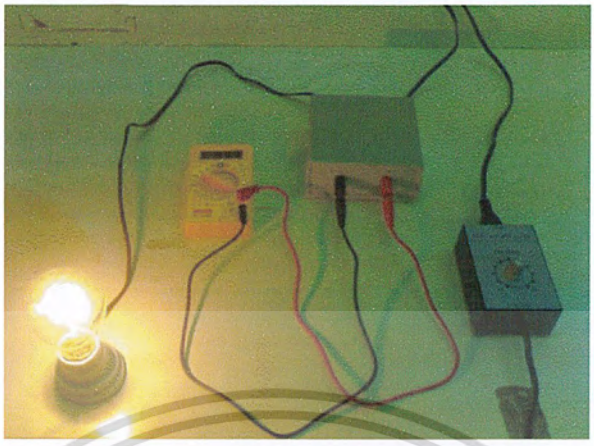


รูปที่ 3.4 หลอดไฟสปอตไลท์ขนาด 120 วัตต์

3.3.2 ชุดหลอดไฟให้พลังงานความร้อนภายในกล่องฉนวนความร้อน

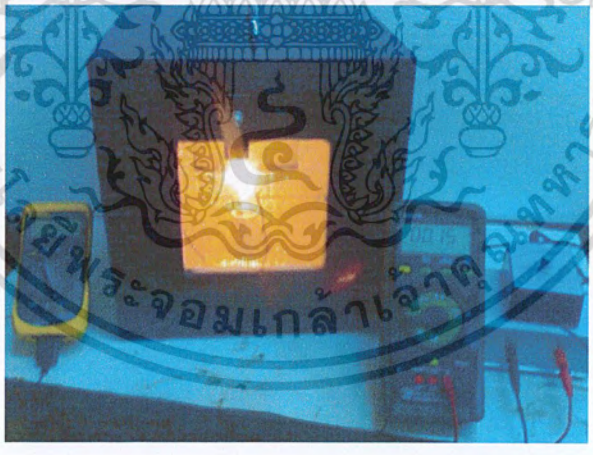
ชุดหลอดไฟนี้ทำหน้าที่ให้พลังงานความร้อนภายในกล่องฉนวนความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิในการทดลองอยู่ในสภาวะ steady state โดยใช้หลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ ต่อกับดิมเมอร์เพื่อปรับความเข้มของหลอดไส้ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่เกิดจากหลอดไส้เปลี่ยนไป ทำให้สามารถปรับอุณหภูมิได้และมีแอมป์มิเตอร์ต่อเพื่อวัดความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับความเข้มของหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



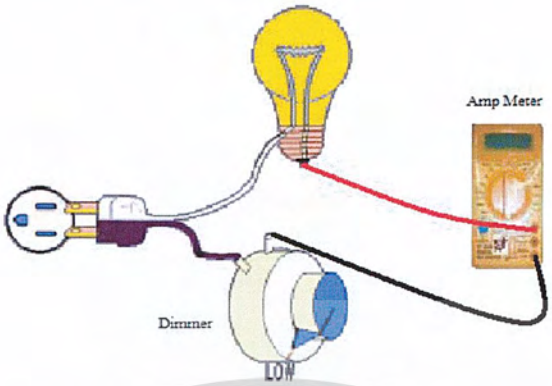
รูปที่ 3.5 ชุดหลอดปรับอุณหภูมิขนาด 100 วัตต์

การปรับความสว่างของหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์หรือการปรับแรงดันไฟฟ้า มีผลกับอุณหภูมิที่แผ่ออกมาจากไส้หลอด ในการทดลองการทำอุณหภูมิให้คงที่เป็นสิ่งสำคัญ จึงจำเป็นต้องทดลองเทียบอุณหภูมิของแสงที่แผ่ออกมาในกล่องฉนวนความร้อนกับวัดกระแสที่ไหลผ่านเทียบด้วย



รูปที่ 3.6 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

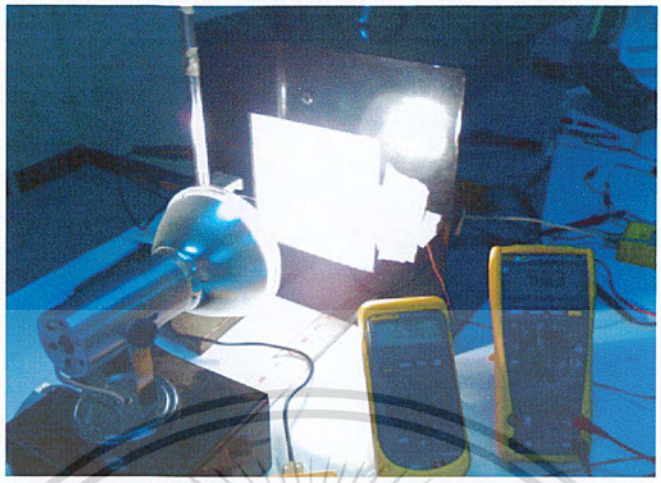


รูปที่ 3.7 วงจรชุดหลอดปรับอุณหภูมิขนาด 100 วัตต์

3.4 การศึกษาความนำและฉนวนความร้อนของวัสดุ

ทำโดยการนำวัสดุ 7 แบบ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดคือ ไม้ กับ โฟม ซึ่งมีความแตกต่างของความหนา ความหนาแน่น และชนิดหรือโครงสร้างของวัสดุซึ่งจะได้ค่าการนำความร้อนแตกต่างกันออกไป ทำการทดลองในกล่องฉนวนความร้อนซึ่งมีการทำอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะคงที่ วัดและบันทึกอุณหภูมิของ อากาศด้านนอกกล่อง อากาศด้านในกล่อง ผิวด้านนอกกล่อง ผิวด้านในกล่อง และใช้ค่าที่บันทึกได้คำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อน q/A (จากสมการที่ 9), ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน k (จากสมการที่ 11) และ ค่าการนำความร้อน λ (จากสมการที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การทดลองศึกษาความนำและฉนวนความร้อนของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ส่วนของการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การทดลองเพื่อออกแบบชุดทดลอง

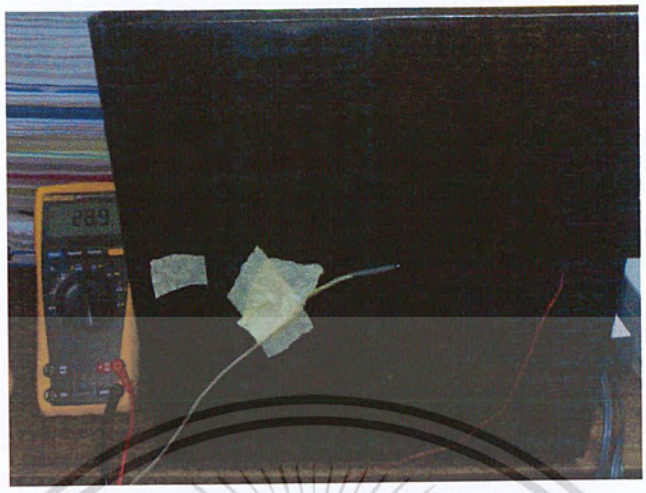
2. การทดลองกับวัสดุ

4.1 การทดลองเพื่อออกแบบชุดทดลอง

4.1.1 การทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อน

การทดลองนี้เพื่อทดสอบว่ากล่องฉนวนความร้อนมีความเป็นฉนวนความร้อน ซึ่งต้องไม่ทำให้ความร้อนไหลออกบริเวณผนังกล่องด้านต่างๆ ดังนั้นความร้อนจะไหลออกทางด้านที่เป็นวัสดุตัวอย่างทำให้สามารถศึกษาการเป็นตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนของวัสดุได้ การทดลองทำได้โดยวัดอุณหภูมิของผนังกล่องทั้งด้านนอกและด้านในกล่องฉนวนความร้อน ดูความแตกต่างของอุณหภูมิดังรูปที่ 4.1 อุณหภูมิผนังด้านนอกต้องมีความแตกต่างกันมากๆ ผนังของกล่องนั้นจึงจะเป็นฉนวนความร้อน ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.1 และกราฟรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

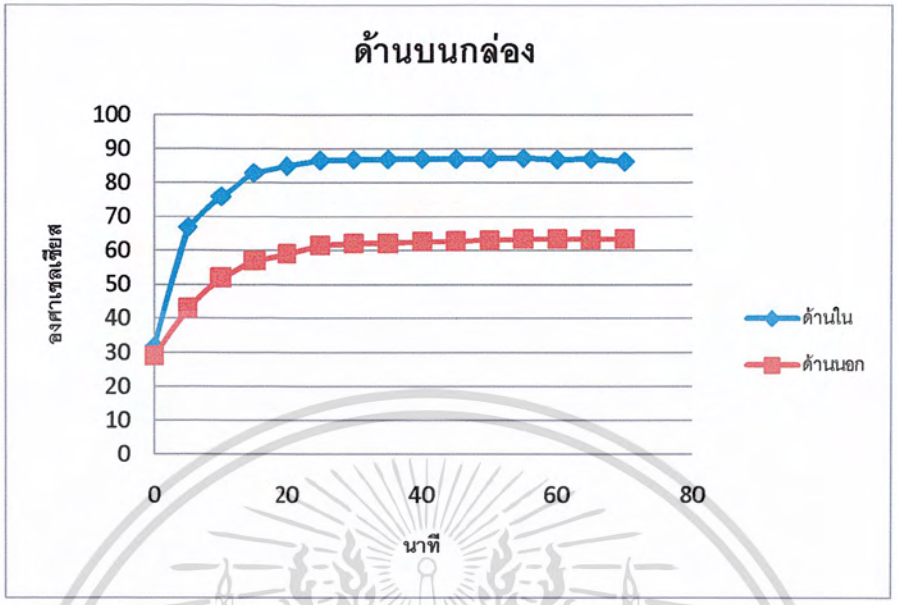


รูปที่ 4.1 การทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อน

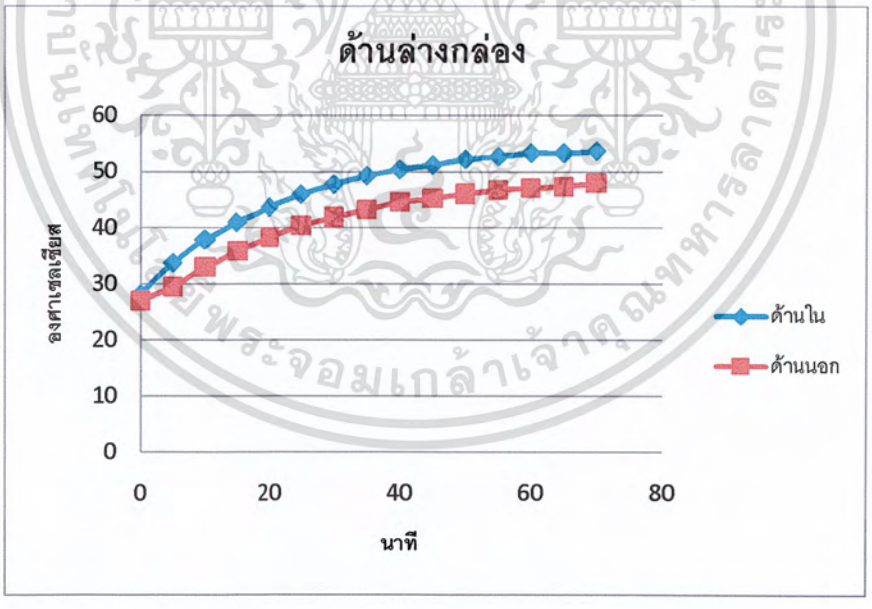
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อน

	อุณหภูมิ							
	ด้านข้าง 1		ด้านข้าง 2		ด้านบน		ด้านล่าง	
เวลา	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก
0	32.6	31.9	31.2	31.1	32	29	28.2	27
5	38.8	33.2	36.7	33.5	67	43	33.8	29.5
10	42	35.7	40	36.4	76	52	37.9	33
15	44.9	38.1	42.6	38.9	83	57	41	35.9
20	47.5	40.5	44.9	40.3	85	59	43.7	38.3
25	49.2	44.2	46.1	41.1	86.7	61.6	46	40.4
30	50.5	45.4	47.2	41.8	86.9	62.1	47.8	41.9
35	51.5	46.4	48.2	43.2	87	62.2	49.3	43.3
40	52.2	47	48.5	43.3	87.1	62.7	50.4	44.6
45	52.7	47.7	49.4	43.8	87	62.8	51.2	45.3
50	53	47.5	50.2	44	87.2	63.1	52.2	46.1
55	53.1	47.5	50.4	44.1	87.3	63.4	52.7	46.8
60	53.2	47.7	50.6	44.2	86.9	63.4	53.3	47.1
65	53.3	48	50.7	44.1	87.1	63.3	53.3	47.4
70	53.5	48.1	50.7	44.2	86.3	63.5	53.7	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

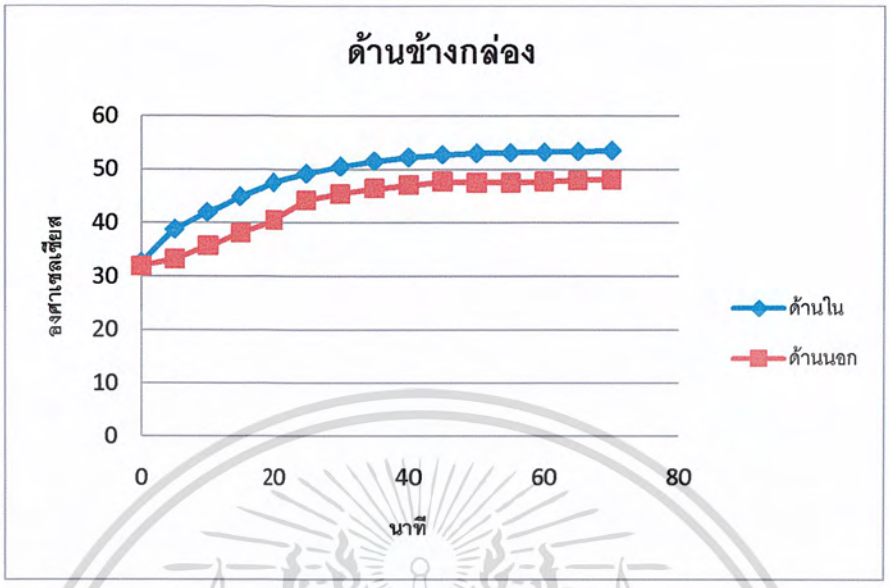


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อนด้านบนกล่องมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 30.44 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อนด้านล่างกล่องมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 11.21 เปอร์เซ็นต์

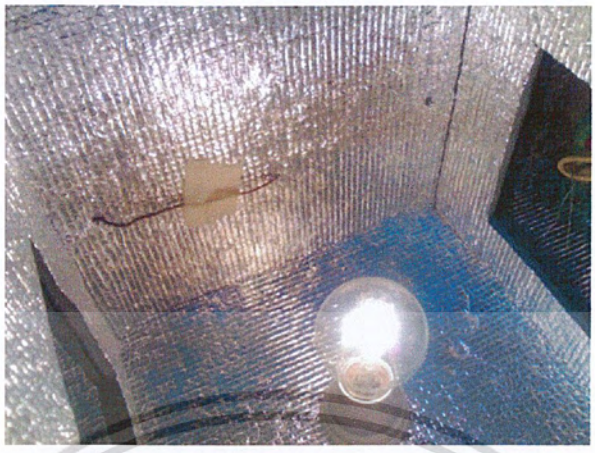
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบไม่มีฉนวนความร้อนด้านข้างกล่องมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 10.63 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่ากล่องที่ไม่ได้หุ้มฉนวนความร้อนนั้นมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในไม่มากซึ่งไม่เป็นฉนวนความร้อนจริง ต้องแก้ไขโดยใช้การติดฉนวนความร้อนเข้าไปบริเวณกล่องด้านในทุกด้านเพื่อให้กล่องมีความเป็นฉนวนความร้อนมากขึ้น และเมื่อทำการใส่ฉนวนให้กับกล่องฉนวนความร้อนแล้วจึงทำการทดลองอีกครั้งซึ่งทำการทดลองโดยใช้การทดลองกับกระแสของหลอดไฟที่ 0.2 และ 0.3 แอมป์ เพื่อเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการใช้งานได้ผลเป็นไปตามตารางที่ 4.2 และกราฟรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และตารางที่ 4.3 และกราฟรูปที่ 4.10, 4.11, 4.12, 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



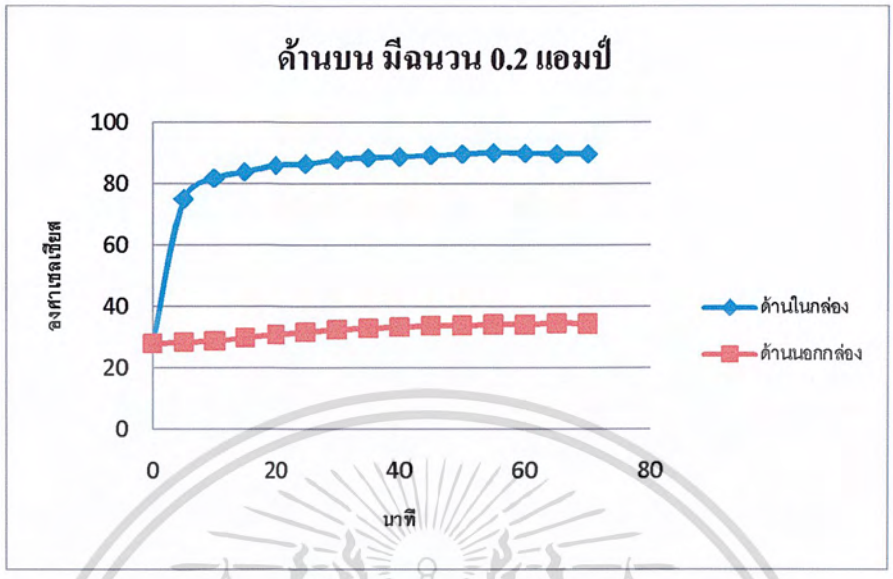
รูปที่ 4.5 การทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

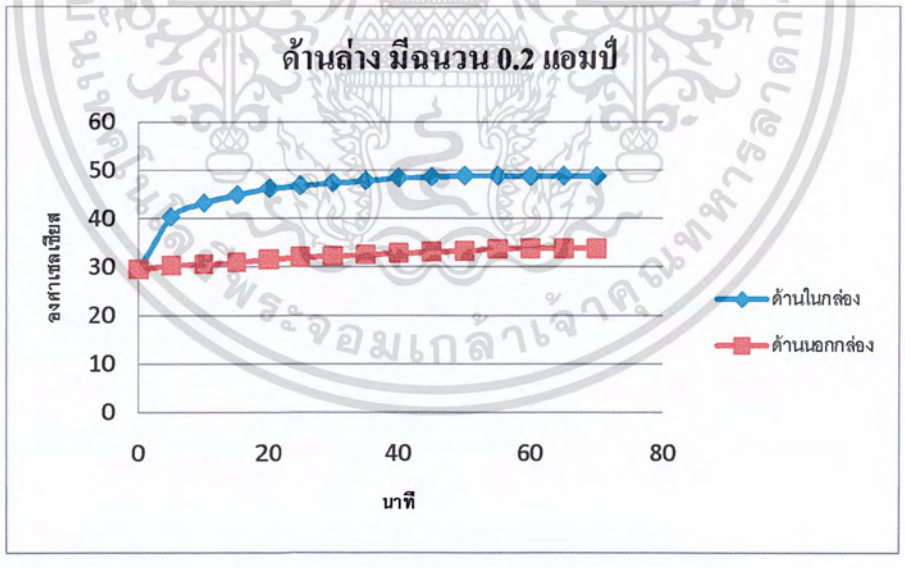
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนที่ให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์

	อุณหภูมิ											
	ผนังด้าน A		ผนังด้าน b		ด้านข้าง 1		ด้านข้าง 2		ด้านบน		ด้านล่าง	
เวลา	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก
0	28.5	28.4	29.4	29.7	31.1	29.1	27.2	26.8	28.2	28	29.7	29.6
5	37.2	32.1	39.3	34.3	41.8	28.8	37.8	27	75	28.5	40.4	30.4
10	39.5	34.4	43.1	35.9	43.7	29.1	40.5	27.6	81.7	28.9	43.3	30.6
15	42.6	34.9	44.9	36.9	44.6	29.3	42.3	28.3	83.8	29.9	45	31
20	44.9	35.3	46.1	37.9	45.2	29.4	43.4	29	85.9	30.9	46.3	31.6
25	45.3	35.7	46.8	38	45.7	29.7	44.3	29.3	86.4	31.6	46.9	32.1
30	46.7	35.9	47.2	38.1	46	29.7	45	30	87.8	32.5	47.5	32.3
35	47.3	36.1	47.8	38.9	46.2	30	45.4	30.3	88.4	32.9	47.9	32.6
40	47.5	36.7	48.1	39.2	46	29.7	45.7	30.5	88.7	33.3	48.5	32.9
45	47.9	36.9	48.5	39.4	46.3	29.9	46.1	30.7	89.2	33.7	48.7	33.2
50	48	37.5	48.5	39.2	46.5	29.6	46.3	31.2	89.6	33.8	48.9	33.4
55	48.1	38	49.1	39.8	46.6	30.1	46.7	31.2	90	34.2	48.9	33.8
60	48.2	38.1	49.2	39.9	46.5	30.1	46.8	31.2	89.9	34.1	48.8	33.9
65	48.2	38.9	49.3	40.3	46.7	29.9	46.8	31.3	89.7	34.5	48.9	33.9
70	48.1	38.9	49.3	40.2	46.6	30	46.8	31.2	89.7	34.4	48.8	33.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

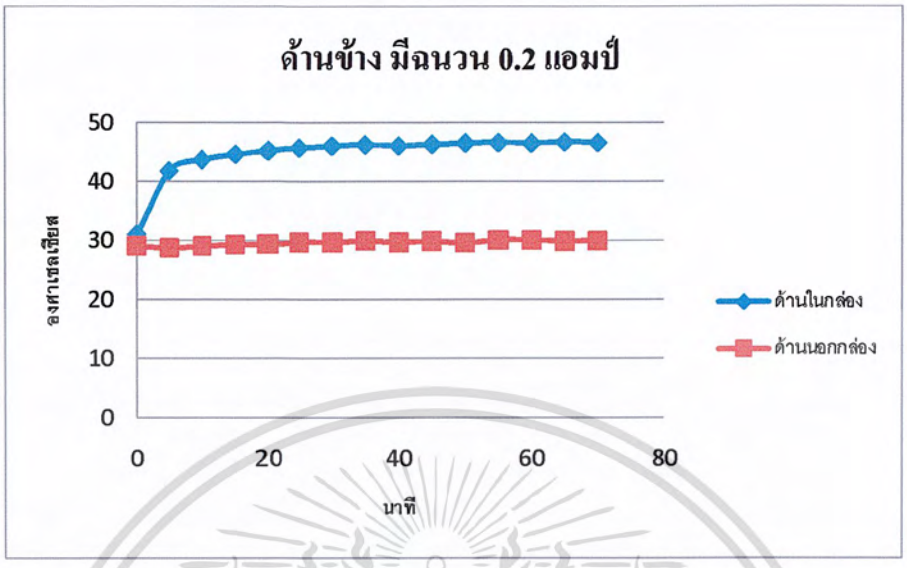


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านบนกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 89.12 เปอร์เซ็นต์

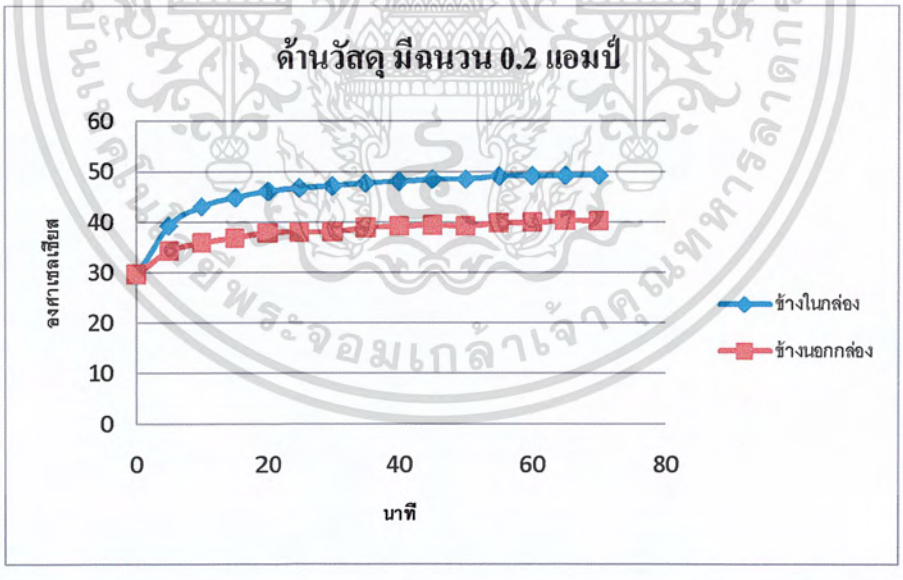


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านล่างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 36.03 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านข้างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 40 เปอร์เซ็นต์



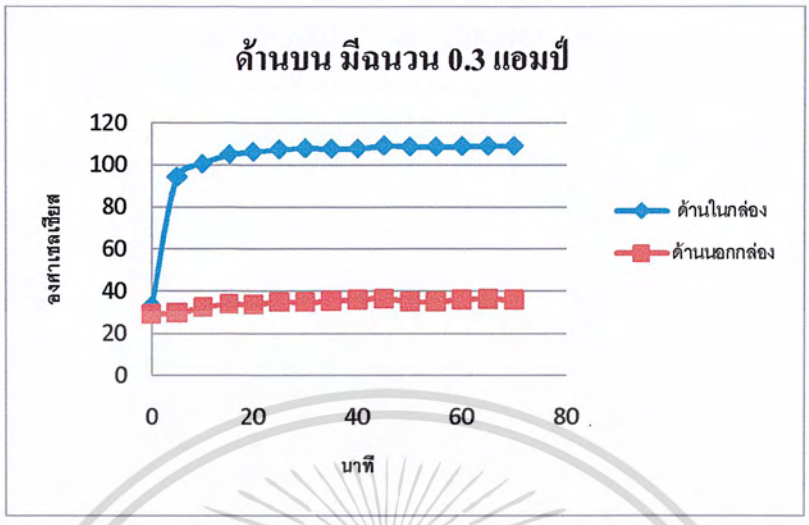
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านใส่วัสดุให้กระแสหลอดไฟ 0.2 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 20.34 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

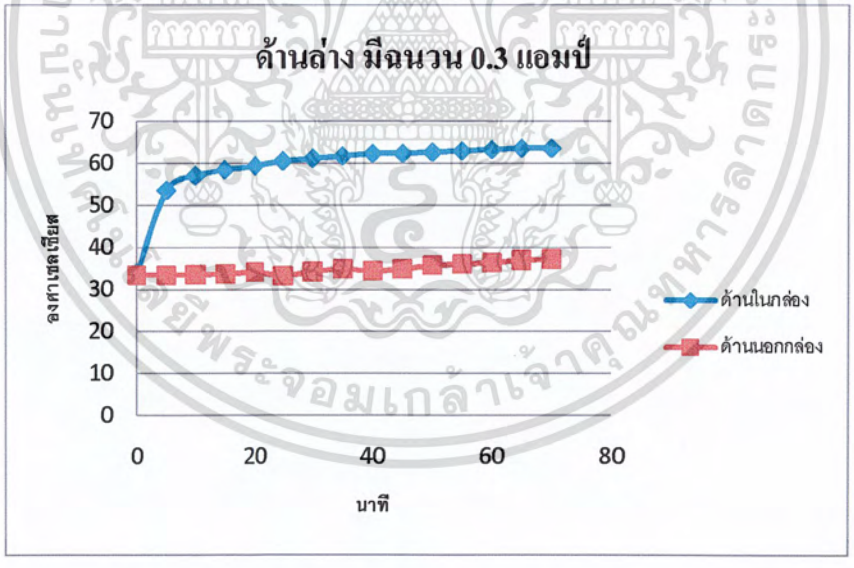
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนที่ให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์

	อุณหภูมิ											
	ผนังด้าน A		ผนังด้าน b		ด้านข้าง 1		ด้านข้าง 2		ด้านบน		ด้านล่าง	
เวลา	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก	ด้านใน	ด้านนอก
0	27.4	27.4	29.4	29	31.8	29.3	31.2	29.3	33.5	29.3	33.8	33.4
5	42.1	35	47.6	39.3	50.5	29	48.4	25.6	94.3	29.7	53.6	33.4
10	50.2	37.8	54.3	42.8	57.1	29.8	55	25.6	100.5	32.5	57.1	33.5
15	54.6	38.5	57.8	44.6	59.2	30.4	59.2	26.9	105	33.9	58.5	33.7
20	57	40.6	59.9	46.1	60.6	30.6	62.2	28.2	106.2	33.7	59.4	34.1
25	58.7	43.6	61.3	46.6	61.2	31	65.5	28.8	107.4	34.9	60.6	33.3
30	60	44.1	62.3	47.4	62	31.3	66.6	29.3	107.9	34.8	61.2	34.2
35	60.5	44.9	63.2	47.5	65.3	31.8	66.5	30	107.7	35.4	61.8	34.9
40	61.1	45.4	63.1	47.3	66.4	31.6	67.5	30.7	107.8	36.1	62.4	34.4
45	61.1	45.2	63.6	47.5	67.6	31.4	67.9	30.8	109.1	36.6	62.4	34.9
50	61.2	45.4	63.6	47.4	67.7	31.8	68.4	31	108.6	35	62.7	35.7
55	61.2	45.5	63.6	46.9	68.9	32.2	68.9	31.1	108.6	35	63	36.1
60	61.5	45.3	63.6	47.2	69.1	31.8	69.6	31.3	108.8	36.1	63.3	36.4
65	61.3	45.3	63.6	47.1	69.7	31.8	69.8	31.5	109	36.4	63.6	37
70	61.5	45.6	63.6	47	69.8	31.8	69.9	31.7	109	35.9	63.6	37.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

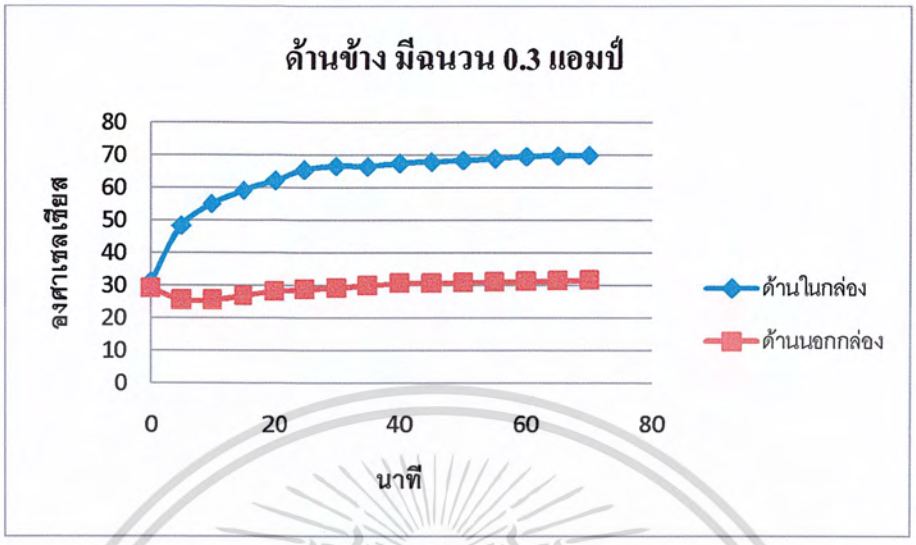


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านบนกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 100.9 เปอร์เซ็นต์

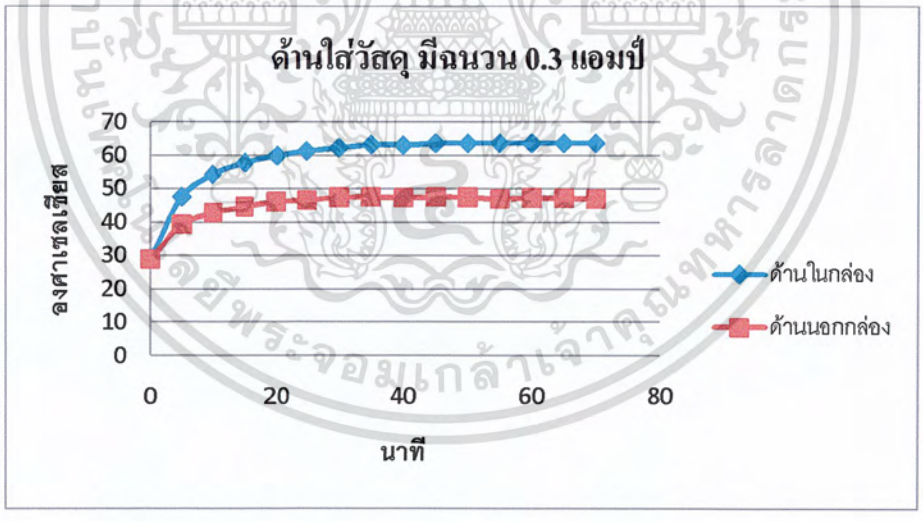


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านล่างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 52.38 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านข้างกล่องให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 75.2 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนแบบมีฉนวนความร้อนด้านใส่วัสดุให้กระแสหลอดไฟ 0.3 แอมป์มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง 30.02 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้า

การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาอุณหภูมิภายในกล่องฉนวนความร้อนเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลไปยังหลอดไฟภายในกล่องฉนวนความร้อน ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันนั้นทำให้อุณหภูมิที่ได้จากไส้หลอดไฟเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังนั้นจึงต้องทำการวัดอุณหภูมิกล่องที่มีค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดที่ค่าต่างๆ ดังรูปที่ 4.14 ได้ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.4และกราฟรูปที่ 4.14

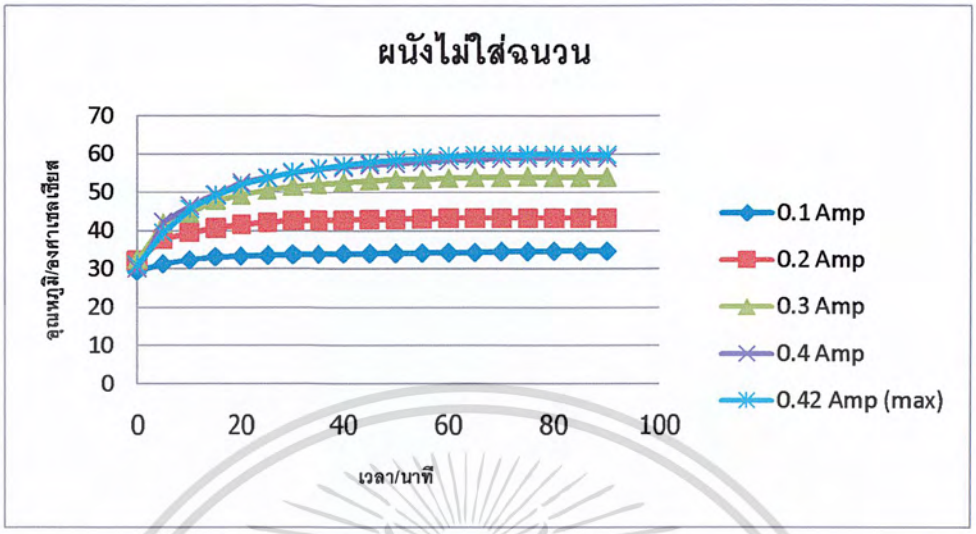
รูปที่ 4.14 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีฉนวนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีฉนวนความร้อน

เวลา/นาที	กระแส/amp				
	0.1	0.2	0.3	0.4	Max
0	29.5	32.3	32.5	30.2	31.1
5	31.4	37.8	41.9	42.3	39.5
10	32.4	39.5	44.6	46.5	45.7
15	33.2	40.7	47.9	49.5	49.2
20	33.4	41.6	49.3	52.5	51.9
25	33.6	42.2	50.6	53.9	53.7
30	33.8	42.6	51.5	55	55.3
35	33.9	42.7	52.1	56	56.2
40	34	42.8	52.7	56.6	57.1
45	34.1	42.9	53.1	57.2	57.9
50	34.1	43	53.4	57.6	58.5
55	34.2	43.1	53.5	58	59
60	34.3	43.3	53.7	58.4	59.5
65	34.4	43.3	53.9	58.7	59.7
70	34.6	43.3	54	58.9	59.8
75	34.6	43.3	54.1	59	59.9
80	34.7	43.3	54	59	59.9
85	34.7	43.3	54	59	59.8
90	34.7	43.3	54	59	59.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีฉนวนความร้อน

จากกราฟพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ ทำให้เกิดอุณหภูมิภายในกล่องที่แตกต่างกันตามกราฟแสดงผลการทดลอง จากกราฟยังสรุปได้อีกว่าเมื่อเปิดหลอดไฟทิ้งไว้เป็นเวลา60 นาที อุณหภูมิภายในกล่องฉนวนความร้อนจะเริ่มคงที่เข้าสู่สภาวะ steady state ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขในการทดลองแต่เนื่องจากอุณหภูมิจากการทดลองดังกล่าวไม่ได้เป็นอุณหภูมิที่กล่องเป็นฉนวนความร้อนจริงจึงต้องทำการทดลองกับกล่องที่ทำการติดฉนวนความร้อนบริเวณด้านในกล่องเพื่อหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าในขณะที่กล่องมีความเป็นฉนวนความร้อนจริงดังรูปที่ 4.11 ได้ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.4 และกราฟรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

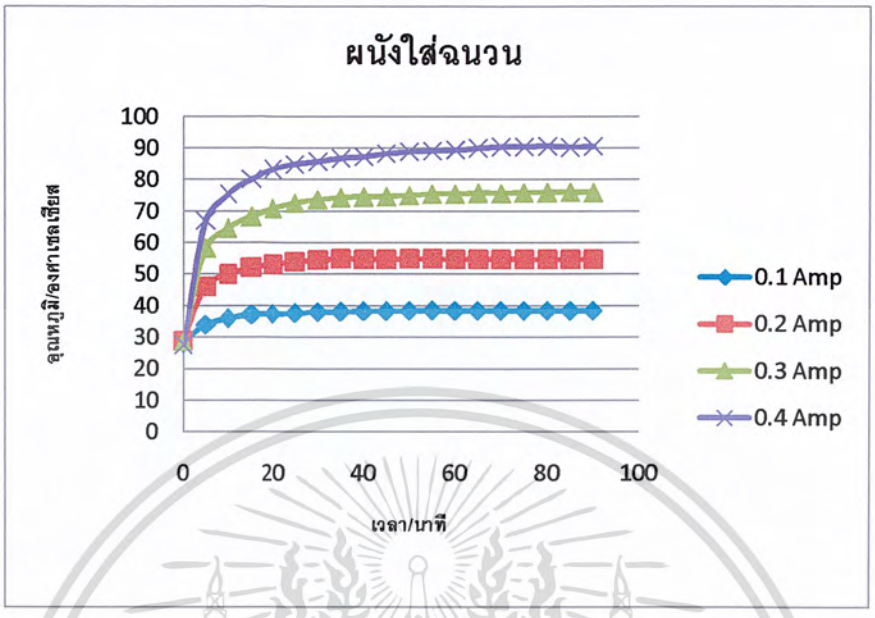
รูปที่ 4.16 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบมีฉนวนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบมีฉนวนความร้อน

เวลา/นาที	กระแส/amp			
	0.1	0.2	0.3	0.4
0	28.1	28.8	28.7	27.6
5	34	46.1	58.3	66.9
10	36	50	64.6	75.4
15	37.2	52.2	68.3	80.2
20	37.4	53.2	70.9	83.3
25	37.7	54	72.7	84.9
30	38	54.6	73.7	85.8
35	38.1	55	74.4	86.8
40	38.3	54.8	74.6	87.3
45	38.3	54.8	74.8	88.3
50	38.4	54.9	75.1	88.9
55	38.5	54.9	75.5	89.1
60	38.4	54.7	75.5	89.4
65	38.4	54.8	75.8	90
70	38.4	54.8	75.7	90.5
75	38.4	54.8	75.9	90.4
80	38.4	54.7	76	90.7
85	38.4	54.7	76.1	90.3
90	38.4	54.7	76	90.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



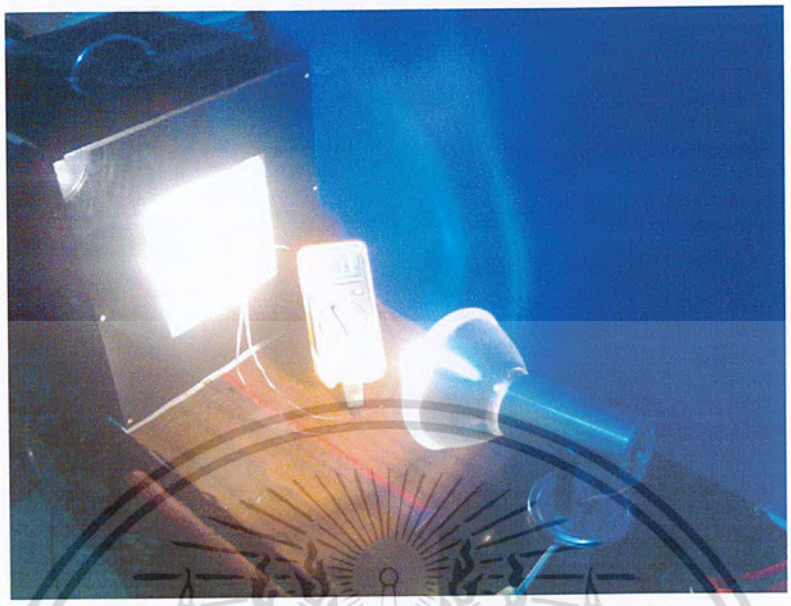
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในกล่องกับกระแสไฟฟ้าแบบมีฉนวนความร้อน

การทดลองสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิภายในกล่องฉนวนความร้อนที่ใส่ฉนวนความร้อนนั้นในแต่ละค่าของกระแสที่ป้อนให้หลอดไฟอุณหภูมิภายในกล่องสูงขึ้นและอุณหภูมิคงที่เร็วขึ้นจากที่ไม่มีฉนวนจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาที แต่เมื่อได้ปรับปรุงโดยการใส่ฉนวนทำให้อุณหภูมิเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 40 นาที

4.1.3 การทดลองปรับระยะหลอดไฟสปอตไลท์ 120 วัตต์

หลอดไฟขนาด 120 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานความร้อนของชุดการทดลองนี้ ซึ่งระยะของหลอดไฟมีผลกับแสงที่ตกกระทบลงบนวัสดุตัวอย่าง ทำให้ส่งผลกับความร้อนที่ใช้ในการทดลองจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาระยะของหลอดไฟสปอตไลท์ที่ใช้ในการทดลองให้ได้ระยะในการทดลองที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การทดลองปรับระยะหลอดไฟสปอตไลท์

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองปรับระยะหลอดไฟสปอตไลท์

ระยะ/ซม.	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
5	80.9	81.4	81.9	81.4
10	71.7	73.3	73.7	72.9
15	64.4	66.9	67.3	66.2
20	59.7	60.3	62.4	60.8
25	52.2	52.7	53.9	52.9
30	46.6	44.3	48.6	46.5

จากผลการทดลองอุณหภูมิที่ตกกระทบบริเวณกล่องฉนวนความร้อนที่ใช้ในการทดลองในแต่ระยะมีความใกล้เคียงกันเนื่องจากหลอดไฟสปอตไลท์เป็นลักษณะของลำแสงพุ่งตรงอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากระยะความห่างของหลอดไฟทำให้จุดที่มีความเข้มของแสงมากที่สุดหรือจุดที่ร้อนที่สุดมีการรวมหรือกระจายแตกต่างกันออกไปแต่ยังอยู่บริเวณจุดที่ทำการทดลองทั้งหมดซึ่งแสดงระยะของความห่างของหลอดไฟกับหน้ากล่องฉนวนความร้อนโดยระยะที่แตกต่างกันจุดที่มีความเข้มสูงสุดยังอยู่บริเวณจุดที่ทดลองแต่จากการทดลองที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะความห่าง 20 ซม. จุดที่มีความเข้มแสงมากจะตกลงบริเวณจุดที่ทำการทดลองมากที่สุด แต่ในระยะที่ 15 ซม. มีการกระจายตัวของความร้อนลงบนแผ่นวัสดุมากที่สุดซึ่งทำให้กระจายความร้อนลงบนแผ่นวัสดุได้ดี จึงเลือกระยะการวางหลอดไฟไว้ที่ 15 ซม.

4.2 การทดลองกับวัสดุ

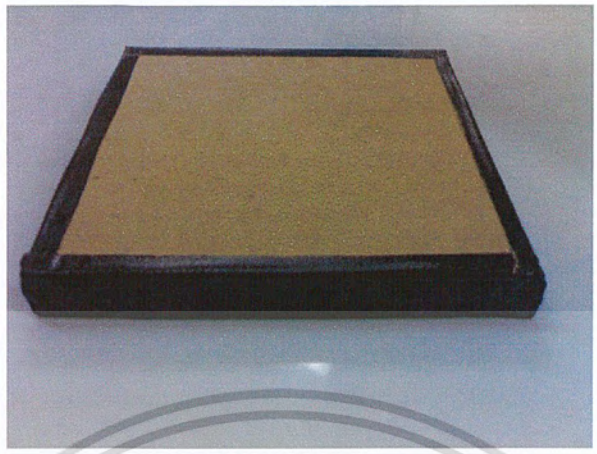
เนื่องจากชุดทดลองนี้มีจุดประสงค์ในการใช้งานในวิชาปฏิบัติการจึงต้องทำการตรวจสอบชุดทดลองว่าสามารถใช้ศึกษาวัสดุที่นำทดสอบ และให้ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ เพื่อตรวจสอบว่าชุดทดลองสามารถใช้งานได้จริง จึงทำการทดลองกับวัสดุ 7 แบบแตกต่างกันออกไป ซึ่งแบ่งได้เป็น ไม้และโฟม ที่มีความหนาของวัสดุและความหนาแน่นต่างๆ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่อุณหภูมิที่ 40 และ 70 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 และ 4.9

4.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวัสดุ 2 ประเภท คือ ไม้ และ โฟม ซึ่งแบ่งเป็นชนิดต่างๆตามประเภทและความหนาแน่นของวัสดุคือ

1. ไม้ความหนาแน่น 789.8533 kg/m^3 แบ่งเป็น ไม้ชนิดที่ 1 มีความหนา 0.9 ซม. และมีความหนา 1.8 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



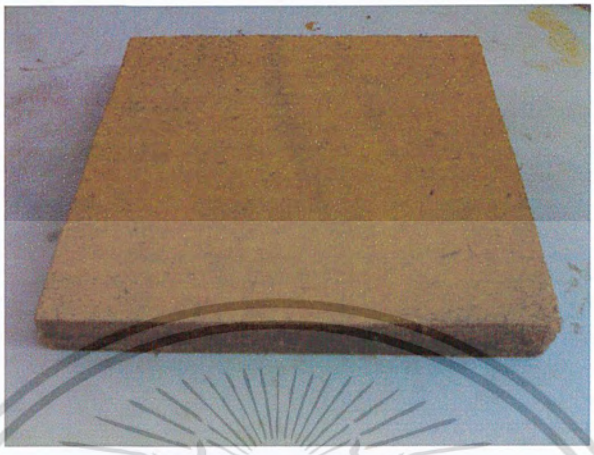
รูปที่ 4.19 ไม้ความหนาแน่น 789.8533 kg/m^3

2.ไม้ความหนาแน่น 311.65 kg/m^3 เป็น ไม้ชนิดที่ 2 มีความหนา 0.8 ซม.

รูปที่ 4.20 ไม้ความหนาแน่น 311.65 kg/m^3

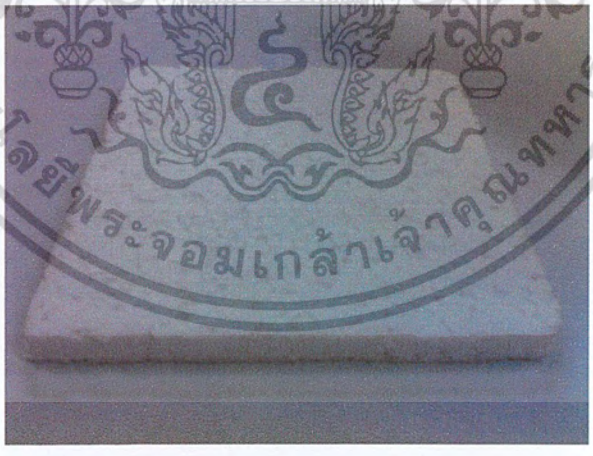
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ไม้ความหนาแน่น 665.8739 kg/m^3 เป็น ไม้ชนิดที่ 3 มีความหนา 1.8 ซม.



รูปที่ 4.21 ไม้ความหนาแน่น 665.8739 kg/m^3

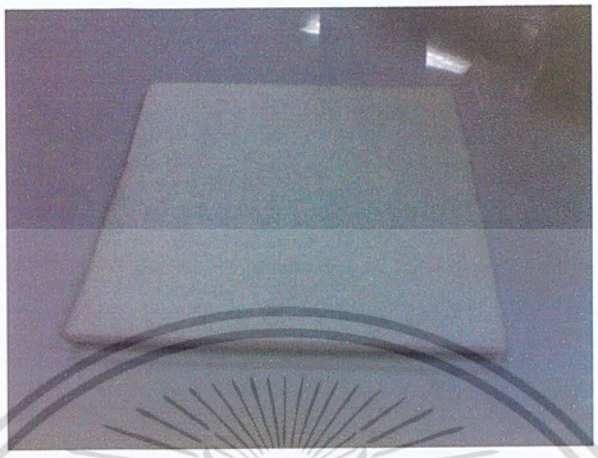
4.โฟมความหนาแน่น 12.2335 kg/m^3 แบ่งเป็น โฟมชนิดที่ 1 มีความหนา 1 ซม. และ มีความหนา 2 ซม.



รูปที่ 4.22 โฟมความหนาแน่น 12.2335 kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โฟมความหนาแน่น 36.05231 kg/m^3 เป็น โฟมชนิดที่ 2 มีความหนา 0.5 ซม.



รูปที่ 4.23 โฟมความหนาแน่น 36.05231 kg/m^3

4.2.2 การทดลองวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

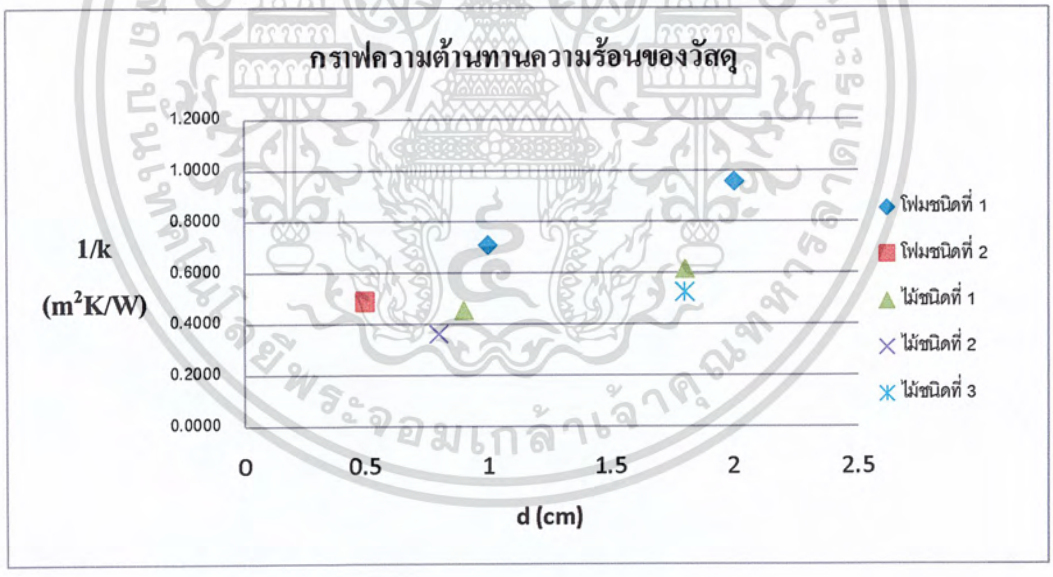
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองของการทดลองการไหลของความร้อนผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m^3)	หนา (cm)	T-air-inside	T-air-outside	T-wall-inside	T-wall-outside
โฟม	36.05231	0.5	40	27.6	39.9	30.8
โฟม	12.2335	1	42.1	27.6	42.3	30.2
โฟม	12.2335	2	41.4	27.6	42.2	29.4
ไม้	311.65	0.8	40.9	27.8	40.6	32.3
ไม้	789.8533	0.9	41.4	27.6	41.1	31.4
ไม้	789.8533	1.8	41.6	27.8	41.5	30.5
ไม้	665.8739	1.8	42.1	27.6	42.5	31.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

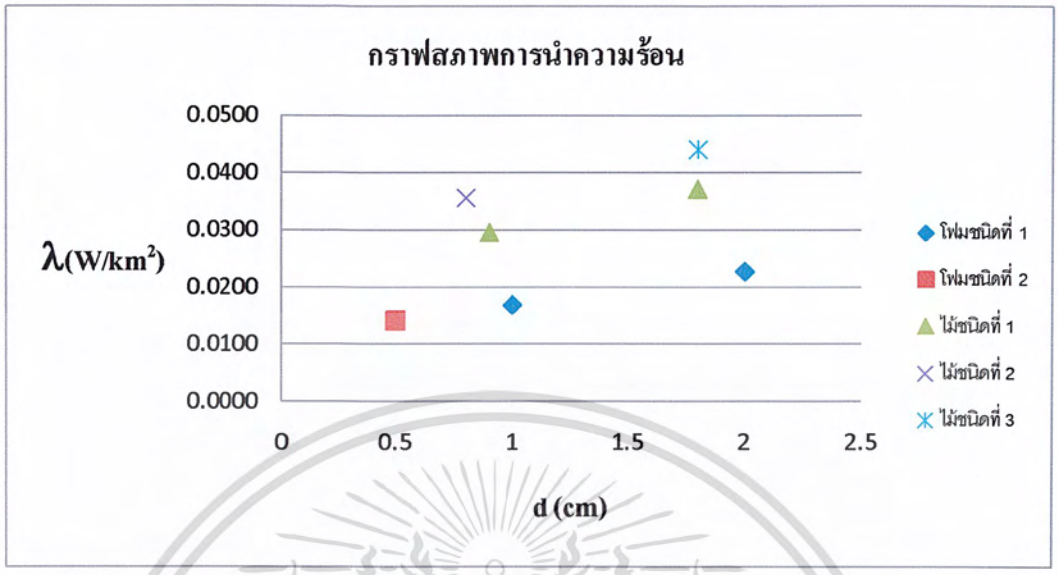
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณการทดลองการไหลของความร้อนผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

วัสดุ	ความหนาแน่น(kg/m^3)	หนา/(cm)	1/k	λ	P/A(W/m^2)
โฟม	36.05231	0.5	0.4892	0.0142	25.92
โฟม	12.2335	1	0.7097	0.0169	20.52
โฟม	12.2335	2	0.9577	0.0227	14.58
ไม้	311.65	0.8	0.3633	0.0356	36.45
ไม้	789.8533	0.9	0.4551	0.0296	31.05
ไม้	789.8533	1.8	0.6154	0.0371	22.41
ไม้	665.8739	1.8	0.5251	0.0440	27.81

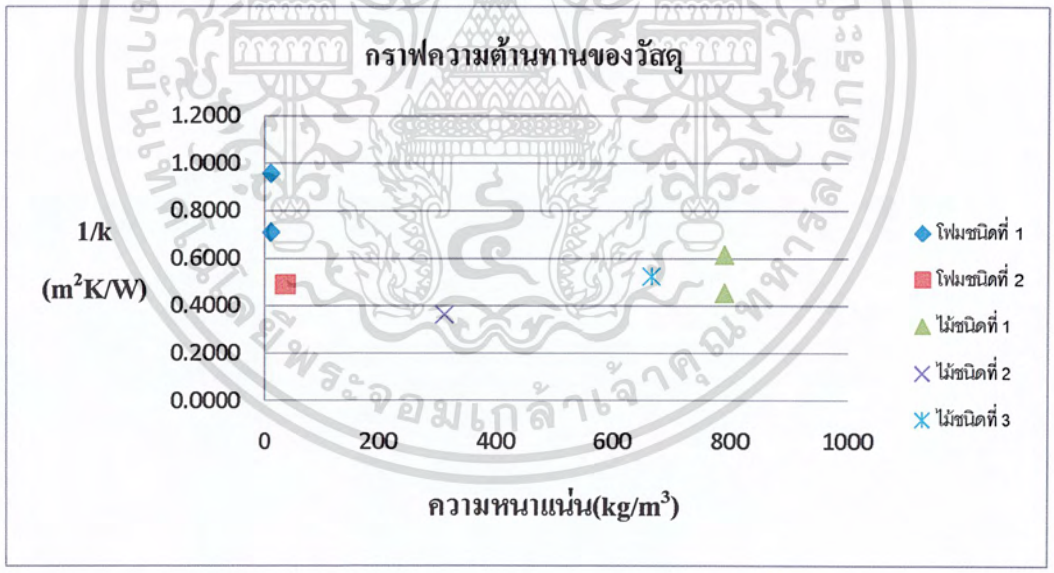


รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

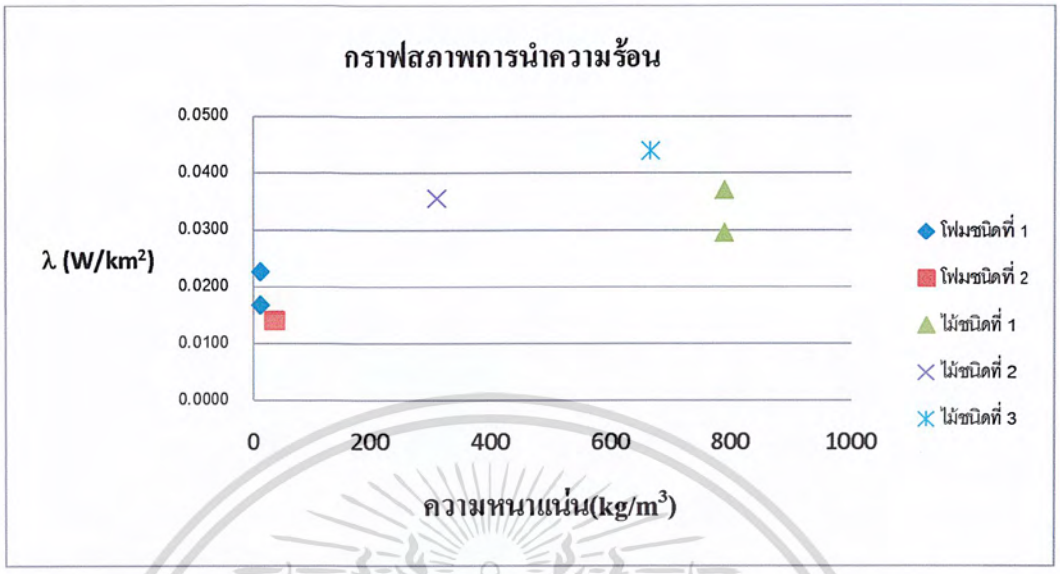


รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่นวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่นวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

4.2.3 การทดลองวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

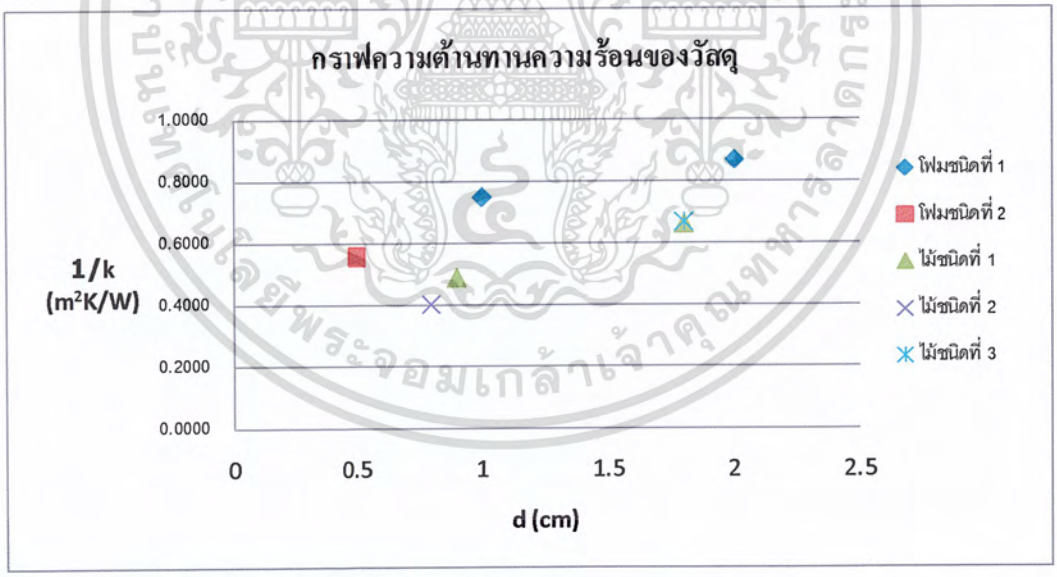
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองของการทดลองการไหลของความร้อนผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m^3)	หนา/ (cm)	T-air-inside	T-air-outside	T-wall-inside	T-wall-outside
โฟม	36.05231	0.5	65.6	28.4	64.7	36.7
โฟม	12.2335	1	69.6	28.2	68.3	34.9
โฟม	12.2335	2	71.3	28.2	71.5	33.7
ไม้	311.65	0.8	64.7	28.3	63.5	39.7
ไม้	789.8533	0.9	65.7	28.2	65.1	38.1
ไม้	789.8533	1.8	64.8	28.1	65	35
ไม้	665.8739	1.8	63.2	28	63.6	34.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

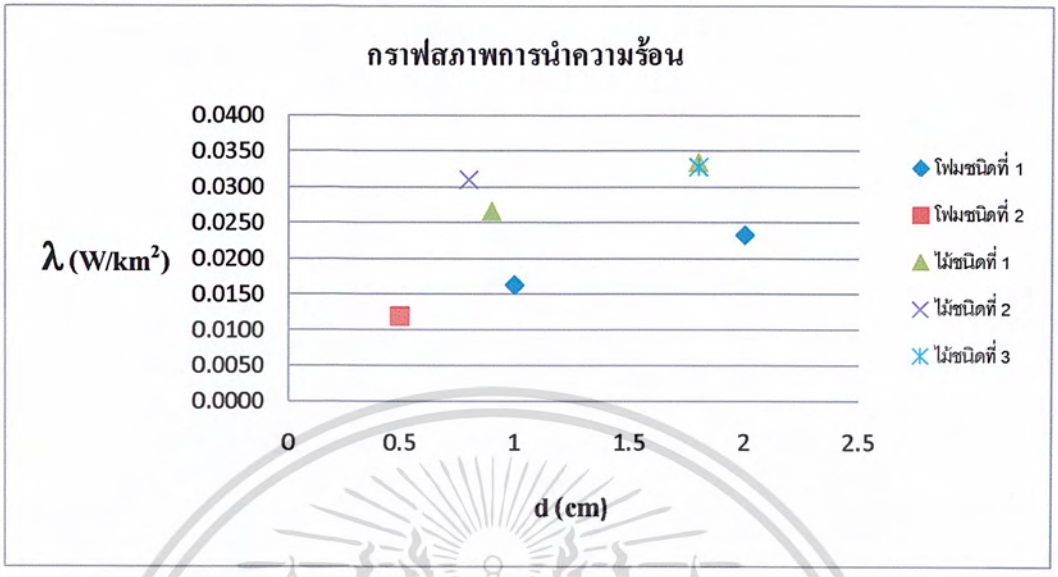
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการคำนวณการทดลองการไหลของความร้อนผ่านวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

วัสดุ	ความหนาแน่น (kg/m^3)	หนา/ (cm)	1/k	λ	$P/A(W/m^2)$
โฟม	36.05231	0.5	0.5576	0.0119	66.96
โฟม	12.2335	1	0.7500	0.0163	54.27
โฟม	12.2335	2	0.8688	0.0233	44.01
ไม้	311.65	0.8	0.4018	0.0310	92.07
ไม้	789.8533	0.9	0.4898	0.0266	79.65
ไม้	789.8533	1.8	0.6607	0.0334	55.62
ไม้	665.8739	1.8	0.6676	0.0328	52.92

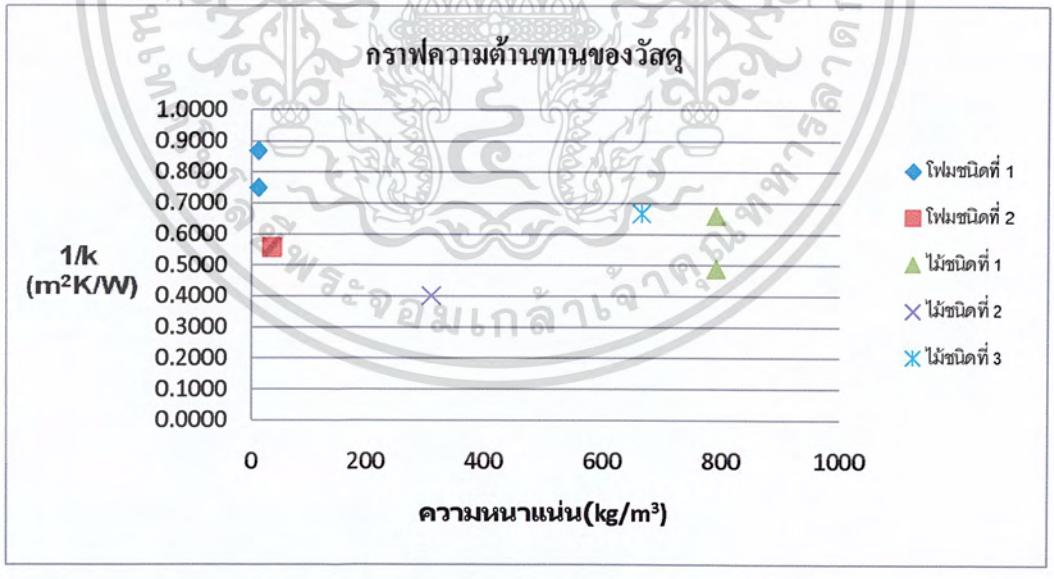


รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

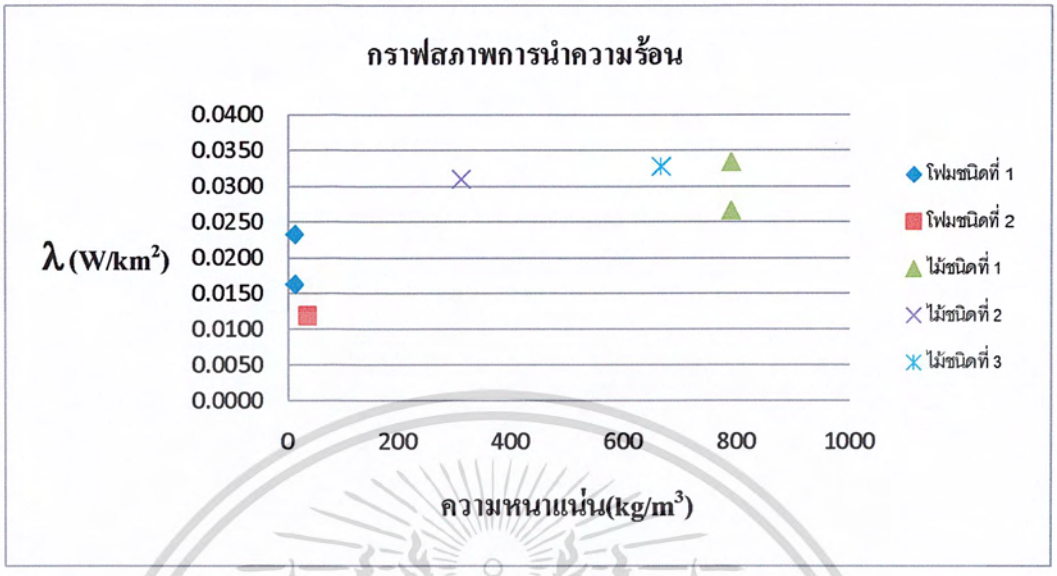


รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่นวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์สภาพการนำความร้อนของวัสดุกับความหนาแน่นวัสดุที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อออกแบบชุดทดลองโดยการวัดอุณหภูมิภายในกล่องเพื่อหาจุที่อุณหภูมิคงที่ที่ใช้ในการทดลองสรุปได้ว่าพบจุดที่อุณหภูมิภายในกล่องคงที่ ณ ที่กระแสไฟฟ้าที่ให้หลอดค่าหนึ่งๆ นั้นจะให้จุดคงที่ของอุณหภูมิต่างกันจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาจุดที่มีอุณหภูมิเหมาะสมซึ่งได้เลือกที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.4 แอมป์ มีค่าอุณหภูมิคงที่ประมาณอยู่ที่ 59 ถึง 60 องศาเซลเซียส แต่เมื่อทำการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนปรากฏว่าอุณหภูมิของกล่องด้านนอกมีค่าสูงตามอุณหภูมิของกล่องด้านในมีความต่างของอุณหภูมิเพียง 5 ถึง10 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.1 ในที่นี้แสดงว่ามีการไหลผ่านของความร้อนผ่านผนังกล่องที่ทำด้วยพลาสติกอะคริลิค แสดงว่ากล่องไม่ได้เป็นฉนวนความร้อนจริง จึงต้องทำการปรับปรุงโดยการใส่แผ่นฉนวนความร้อนโพลีเอทีลีนแล้วทำการทดลองความเป็นฉนวนความร้อนของกล่องฉนวนความร้อนปรากฏว่า อุณหภูมิของผนังกล่องฉนวนความร้อนด้านนอกร้อนขึ้นตามผนังด่านในแต่น้อยมากใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง และมีความแตกต่างของอุณหภูมิด้านนอกและด้านในกล่องประมาณ 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส จึงได้ทดลองหาค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดไฟเพื่อหาอุณหภูมิในกล่องจากการทดลองเป็นไปในลักษณะเดียวกับไม่ใส่ฉนวนความร้อนแต่มีระดับอุณหภูมิสูงกว่า จึงได้เลือกที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.2 แอมป์ มีค่าอุณหภูมิคงที่ประมาณอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส

การทดลองกับวัสดุที่อุณหภูมิกล่องที่ 40 และ 70 องศาเซลเซียสผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการนำความร้อนของวัสดุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ ความหนาของวัสดุ ชนิดและโครงสร้างของวัสดุ ซึ่งมีแนวโน้มเป็นดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัสดุต่างชนิดกันมีค่าการนำความร้อนต่างกัน
- วัสดุชนิดเดียวกัน ความหนาแน่นมากกว่าจะนำความร้อนได้ดีกว่า
- วัสดุชนิดเดียวกัน ความหนาแน่นเท่ากัน ถ้ามีความหนามากกว่าจะมีค่าการนำความร้อนมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. กล่องฉนวนความร้อนควรมีความเป็นฉนวนความร้อนมากที่สุด มีช่องทางให้ความร้อนไหลออกน้อยที่สุดจะทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย

2. การควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ควรเป็นแบบใช้อุปกรณ์ควบคุม เช่น PID controller หรือ เทอร์โมสตัท เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในกล่องฉนวนความร้อนได้ในทุกกรณีแทนที่การรอจุดคงที่สูงสุดของภายในกล่อง

3. อาจเพิ่มเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเข้าไปภายในกล่องฉนวนความร้อนเพื่อสังเกตและสามารถบันทึกความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

4. แหล่งกำเนิดอุณหภูมิความร้อนภายในควรอยู่ห่างจากผิวด้านในกล่องของวัสดุพอสมควรเพื่อลดผลกระทบจากความร้อนจากแหล่งกำเนิดอุณหภูมิโดยตรงที่ทำให้ค่าที่วัดอุณหภูมิผิวด้านนอกสูงขึ้น

5. การทดลองควรใช้วัสดุที่ทราบค่าสภาพต้านทานและค่าสภาพการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

น.ต.ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537. **คู่มือฉนวนความร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: หจก. นำอักษรการพิมพ์

Phywe Systeme GMBH, 1994. **University Laboratory Experiments Physics Vol. 1-5** . Gottingen Germany, Phywe Systeme GMBH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและรูปแบบการนำความร้อนของวัสดุในสภาวะ steady state

2. เพื่อศึกษาการไหลของความร้อนผ่านวัสดุในรูปแบบต่างๆ

3. เพื่อศึกษาความเป็นตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนของวัสดุ

ทฤษฎี

การนำความร้อน

การนำความร้อน คือการส่งผ่านความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดทีมีอุณหภูมิต่ำ กว่า มีวัตถุเป็นตัวกลางโดยวัตถุจะอยู่กับที่ แต่ความร้อนค่อยๆ แผ่กระจายไปตามเนื้อวัตถุนั้น เช่น เราจับแก้วน้ำร้อน ตอนแรกๆจะไม่รู้สึกร้อน แต่จะค่อยๆ ร้อนจนจับไม่ได้ **วัสดุที่นำความร้อนได้** เรียกว่า ตัวนำความร้อน ซึ่งเป็นวัสดุประเภทโลหะ คือตัวกลางที่ยอมให้พลังงานความร้อนไหลผ่านไปได้ดี ตัวนำความร้อนที่ดีได้แก่ วัตถุพวกโลหะ เช่น เงิน, ทองแดง, เหล็ก ฯลฯ **วัสดุที่ไม่นำความร้อน** เรียกว่า ฉนวนความร้อน วัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน คือ ตัวกลางที่ไม่ยอมให้พลังงานความร้อนไหลผ่านหรือไหลผ่านได้น้อยเรียกว่า ฉนวนความร้อน ได้แก่ กระเบื้อง, แก้ว, ไม้, ผ้า และพลาสติก เป็นต้น

การนำความร้อนในสภาวะคงตัว

การนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของความร้อน จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลของตัวกลางมีการสัมผัสกันโดยตรง ปริมาณของความร้อนที่เกิดการถ่ายเทนั้นมีค่าแปรผันกับค่าความแตกต่างของ อุณหภูมิตามระยะทาง

$$\frac{dq}{dA} = -k\frac{dT}{dx} \qquad (1)$$

สมการที่ 1 เรียกว่า กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of conduction)

กรณีที่คิดในแบบสามมิติสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_x = -k\left(\frac{dT}{dx}\right) \quad (2)$$

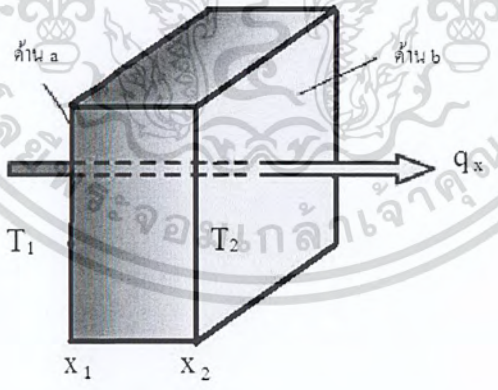
$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_y = -k\left(\frac{dT}{dy}\right) \quad (3)$$

$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_z = -k\left(\frac{dT}{dz}\right) \quad (4)$$

เครื่องหมายลบที่อยู่ทางขวามือของสมการฟูเรียร์นั้นเป็นผลสืบเนื่องจากกฎข้อที่ 2 ทางเทอร์โมไดนามิคส์ ซึ่งกำหนดไว้ว่าความร้อนจะต้องไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากว่าในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิจะมีค่าผกผันกับระยะทางที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าเราวาดกราฟระหว่างแกนอุณหภูมิกับระยะทาง ค่าความชันซึ่งก็คือปริมาณความร้อนจะติดเครื่องหมายลบ ดังนั้น ถ้าหากต้องการให้ติดเครื่องหมายบวกจึงจำเป็นต้องใส่เครื่องหมายลบไว้ข้างหน้า

การนำความร้อนในผนังราบเรียบ

จากรูปที่ 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบนำ จะพบว่า ผนังด้าน a มีค่าอุณหภูมิเป็น T_1 ส่วนทางด้าน b มีอุณหภูมิเป็น T_2 โดยระยะทางระหว่างด้าน a ไปยังด้าน b จะเกิดการถ่ายเทความร้อน q_x ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์จะได้ว่า



รูปที่ 1 การถ่ายเทความร้อนแบบนำผ่านผนังเรียบ

$$q = -kA\frac{dT}{dx}$$

ทำการอินทิกรัลด้วยเทคนิคแยกตัวแปร dx และ dT ตามเงื่อนไขที่ขอบเขตด้วยการกำหนดอุณหภูมิที่ผิวด้าน a และด้าน b ของรูปที่ 1 แล้วแทนค่าลงไปตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{q}{A}dx = -kdT$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{q}{A}dx = -\int_{T_1}^{T_2} kdT$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{q}{A}dx = -k\int_{T_1}^{T_2} dT$$

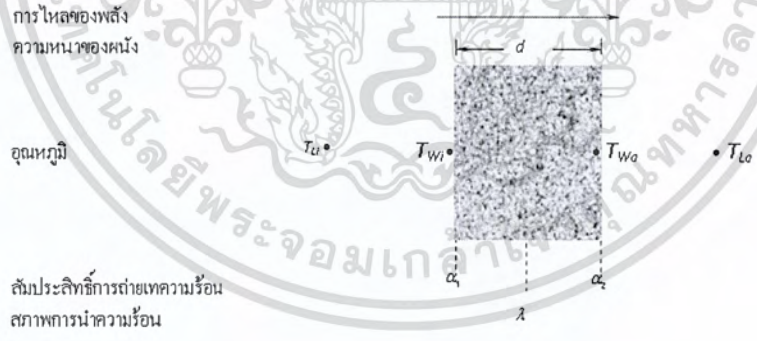
$$\frac{q}{A}(x_2 - x_1) = k(T_1 - T_2)$$

จะได้ความสัมพันธ์

$$q = kA\frac{(T_1 - T_2)}{(x_2 - x_1)} \qquad (5)$$

การไหลของความร้อนผ่านวัสดุ

การไหลของพลังงานความร้อน q ผ่านผนังที่เป็นวัสดุเนื้อเดียว พิจารณาได้จากค่าการถ่ายโอนความร้อนในอากาศสู่ผนัง (air-wall) และ ค่าการนำความร้อนในผนังในสถานะ steady state พลังงานการไหลขึ้นอยู่กับพื้นผิวหน้าของผนังและส่วนต่างของอุณหภูมิ



รูปที่ 2 แสดงการไหลของพลังงานตลอดทั้งผนัง และ อุณหภูมิของผนังทั้งภายในและภายนอก

โดยที่ T_{Li} คือ อุณหภูมิของอากาศภายใน T_{Wi} คือ อุณหภูมิของผนังภายใน

T_{Wa} คือ อุณหภูมิของผนังภายนอก T_{La} คือ อุณหภูมิของอากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายโอนความร้อนจากอากาศสู่ผนังด้านใน (α_i = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านใน)

$$q = \alpha_i \cdot A \cdot (T_{Li} - T_{Wi}) \tag{6}$$

การส่งผ่านพลังงานความร้อนผนังด้านนอกสู่อากาศ (α_a = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอก)

$$q = \alpha_a \cdot A \cdot (T_{Wa} - T_{La}) \tag{7}$$

การนำความร้อนในผนัง (d = ความหนา, λ = สภาพการนำความร้อน)

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (T_{Wi} - T_{Wa}) \tag{8}$$

รวมทั้งสามสมการใหม่จะได้

$$q = k \cdot A \cdot (T_{Li} - T_{La}) \tag{9}$$

โดย k = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transition coefficient) หรือ เราจะเรียกว่าค่า k

จากสมการต่างๆเราสามารถนำมาประยุกต์ได้เป็น

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \tag{10}$$

พารามิเตอร์

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d} \tag{11}$$

เป็นค่าซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและความหนาของผนัง หรือเรียกว่า “สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (thermal transmission coefficient)”

ส่วนกลับของ α , k และ Λ คือ ค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งเราจะเรียกว่า ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน และความต้านทานส่งผ่านความร้อนตามลำดับ ในผนังประกอบด้วยชั้นหลายๆ ชั้นซ้อนกัน คือจากสมการที่ (8) เราสามารถใช้ได้กับผนังทุกชั้นโดยแทนค่าของความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนเข้าไปในสมการที่ (10) ดังนี้

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda_1} + \frac{1}{\Lambda_2} + \ldots + \frac{1}{\Lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a} \tag{12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านไปยังอากาศ คือ การนำ การพาและการแผ่ความร้อน สมการที่ (11) ใช้ในการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของชั้นอากาศในแนวดิ่งระหว่างผนังแบบอโลหะ ในกรณีที่ผนังมีความหนาน้อยๆ (d < 5 มม.) เท่านั้น หากความหนาของผนังที่มีค่ามากกว่านี้ จะต้องพิจารณาผลของการแผ่รังสีความร้อน ในกรณีขนานกับพื้นผิว และหากผนังที่มีความหนามากกว่า 5 ซม. การพาความร้อนจะส่งผลให้ความต้านทานมีค่าลดลง

พลังงานความร้อนที่ไหลผ่านผนัง พิจารณาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผนังด้านนอกกับอุณหภูมิของอากาศด้านนอก โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนในกรณีที่เป็นห้องปิดสำหรับผนังทุกชนิดมีค่าเท่ากับ

$$\alpha = 8.1\ W / Km^2$$

เพื่อใช้ในการคำนวณ:

สมการที่ (7) จะให้ผลออกมาเป็น q/A ดังนี้

จาก

$$q = \alpha_a \cdot A \cdot (T_{Wa} - T_{La})$$

จะได้

$$\frac{q}{A} = \alpha_a \cdot (T_{Wa} - T_{La}) \qquad (13)$$

สมการที่ (8) จะให้ผลออกมาเป็น λ

จาก

$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (T_{Wi} - T_{Wa})$$

จะได้

$$\lambda = \frac{qd}{A(T_{Wi} - T_{Wa})} \qquad (14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (9) จะให้ผลออกมาเป็น k

จาก

$$q = k \cdot A \cdot (T_{Li} - T_{La})$$

จะได้

$$k = \frac{q}{A \cdot (T_{Li} - T_{LA})} \tag{15}$$

ความหนาของวัสดุมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนสำหรับชั้นอากาศในแนวดิ่งระหว่างผนังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8) และสมการที่ (11) ในรูปของ

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{\Delta T \cdot A}{q} \tag{16}$$

โดยที่ ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในช่องผนัง

q/A คือ ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (13)

ผนังที่เป็นหลายๆ ชั้นซ้อนกัน จะมีค่าอัตราส่วนของส่วนต่างของอุณหภูมิเท่ากับส่วนกลับของอัตราส่วนของค่าความต้านทานการส่งผ่านความร้อน ดังนี้

$$\frac{\Lambda_2}{\Lambda_1} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \tag{17}$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้มักถูกใช้ ในการหาค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดหนึ่ง เมื่อเราทราบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของวัสดุอีกชนิดที่ต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

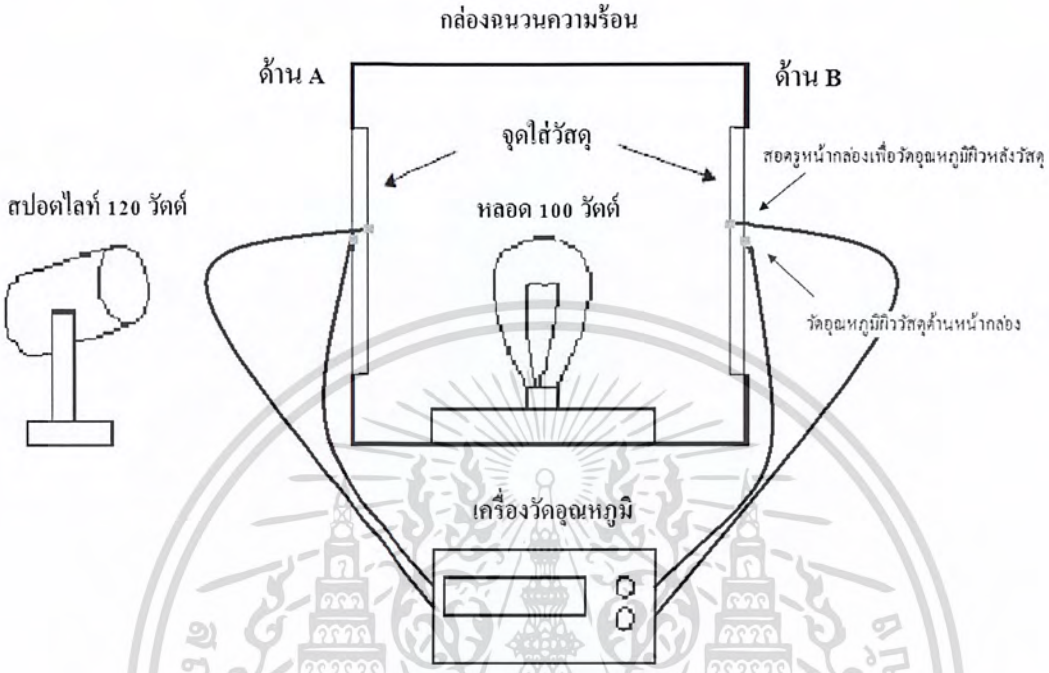
อุปกรณ์

1. กล่องฉนวนความร้อน	1	กล่อง
2. ชุดหลอดไฟ ขนาด 100 วัตต์	1	ชุด
3. ชุดหลอดไฟสปอตไลท์ ขนาด 120 วัตต์	1	ชุด
4. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ 4 พอร์ท	1	เครื่อง
5. เทอร์โมคัปเปิล แบบ k	4	เส้น
6. นาฬิกาจับเวลา	1	เรือน
7. แผ่นไม้สี่เหลี่ยมขนาด 17x17 ซม. หนา 1 ซม.	2	แผ่น
8. แผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 17x17 ซม. หนา 1 ซม.	2	แผ่น
9. แผ่นไม้สี่เหลี่ยมขนาด 17x17 ซม. หนา 2 ซม.	1	แผ่น
10. แผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 17x17 ซม. หนา 2 ซม.	1	แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

การจัดชุดอุปกรณ์



รูปที่ 3 แสดงการจัดชุดอุปกรณ์

ตั้งหลอดไฟสปอตไลท์ขนาด 120 วัตต์ ห่างจากกล่องฉนวนความร้อน 15 ซม. และปรับให้แสงเข้ากึ่งกลางของวัสดุตัวอย่างบริเวณกล่องฉนวนความร้อนพอดี การใส่หัวโพรบเทอร์โมคัปเปิลควรติดไว้ให้ได้ระนาบเดียวกันเนื่องจากอุณหภูมิจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดทั้งกล่องแนวนความร้อนแต่จะมีค่าค่อยๆ ลดลงจากหลังคาลงมาถึงพื้นบ้าน ดังนั้นในการทดลองเราต้องวัดอุณหภูมิที่ความสูงเดียวกันตลอดทั้งการทดลอง โดยรูที่ด้านหน้าของกล่องฉนวนความร้อนมีไว้สำหรับสอดสายโพรบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อที่จะใช้วัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองและข้างในผนัง ก่อนการทดลองเปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ ภายในกล่องฉนวนความร้อนไว้ประมาณ 40 นาที หรือให้อุณหภูมิภายในกล่องคงที่เพื่อเข้าสู่เงื่อนไขการทดลองในสภาวะ steady state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองตอนที่ 1 การไหลของความร้อนผ่านผนังราบเรียบ

ตอนที่ 1.1 การไหลของความร้อนผ่านผนังราบเรียบชนิดเดียวกันที่มีความหนาต่างกัน

1. นำแผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. และ แผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 2 ซม. ใส่ลงไปในกล่องฉนวนความร้อนใส่ไปที่ด้าน A และ B ตามลำดับ โดยติดกับชุดจับยึดและล็อคให้แน่น

2. นำสายโพรบเทอร์โมคัปเปิลติดกับพื้นผิววัสดุด้วยเทปกาวทั้งสองด้านของผิววัสดุ ทำเหมือนกันทั้งสองด้านที่ด้าน A และ B ของกล่องฉนวนความร้อนดังรูปที่ 4

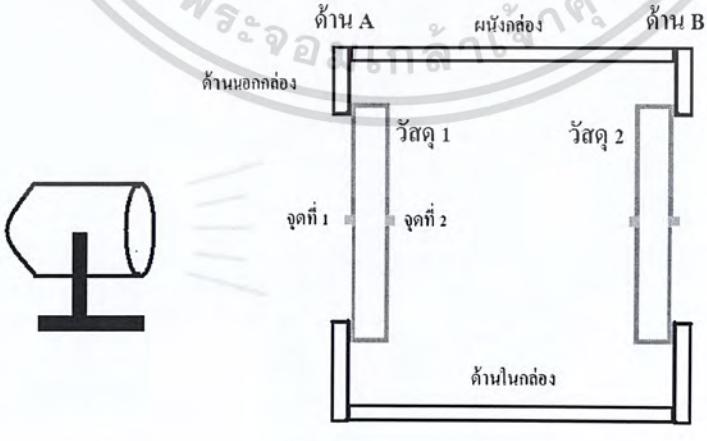
3. เปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ โดยปรับกระแสไว้ที่ 0.2 แอมป์ ปิดฝากล่องทิ้งไว้จนอุณหภูมิกล่องคงที่แล้วจึงวัดอุณหภูมิทั้ง 4 จุด

4. นำสปอตไลท์มาส่องเข้าที่ด้าน A เป็นเวลา 5 นาที โดยบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที แล้วจึงย้ายสปอตไลท์ไปส่องด้าน B ทดลองเช่นเดียวกับด้าน A

5. นำโพรบเทอร์โมคัปเปิลออกมาวัดอุณหภูมิภายในกล่องและอุณหภูมิภายนอกกล่องบันทึกการทดลองลงตารางบันทึกผลที่ 1.1

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อน q/A จากสมการที่ 13 , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน k จากสมการที่ 15 และ ค่าการนำความร้อน λ จากสมการที่ 14

7. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



รูปที่ 4 แสดงจุดการวัดอุณหภูมิผิววัสดุทั้งสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1.2 การไหลของความร้อนผ่านผนังราบเรียบต่างชนิดกันที่มีความหนาเท่ากัน

1. นำแผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. และ แผ่นไม้สี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. ใส่ลงไปในกล่องฉนวนความร้อนใส่ไปที่ด้าน A และ B ตามลำดับ โดยติดกับชุดจับยึดและล็อคให้แน่น

2. นำสายโพรบเทอร์โมคัปเปิลติดกับพื้นผิววัสดุด้วยเทปกาวทั้งสองด้านของผิววัสดุ ทำเหมือนกันทั้งสองด้านที่ด้าน A และ B ของกล่องฉนวนความร้อนดังรูปที่ 4

3. เปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ โดยปรับกระแสไว้ที่ 0.2 แอมป์ ปิดฝากล่องทิ้งไว้จนอุณหภูมิกล่องคงที่แล้วจึงวัดอุณหภูมิทั้ง 4 จุด

4. นำสปอตไลท์มาส่องเข้าที่ด้าน A เป็นเวลา 5 นาที โดยบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที แล้วจึงย้ายสปอตไลท์ไปส่องด้าน B ทดลองเช่นเดียวกับด้าน A

5. นำโพรบเทอร์โมคัปเปิลออกมาวัดอุณหภูมิภายในกล่องและอุณหภูมิภายนอกกล่องบันทึกการทดลองลงตารางบันทึกผลที่ 1.2

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อน q/A จากสมการที่ 13 , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน k จากสมการที่ 15 และ ค่าการนำความร้อน λ จากสมการที่ 14

7. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองตอนที่ 2 การไหลของความร้อนผ่านผนังราบเรียบซ้อนกัน

ในการทดลองตอนที่ 2 วัสดุตอนที่ 2.1 และ 2.2 ใส่ลงในกล่องฉนวนความร้อนพร้อมกันแนะนำให้ดูการนำวัสดุในตอนที่ 2.2 ลงกล่องฉนวนความร้อนประกอบด้วยในการทำตอนที่ 2.1 แต่ยังไม่ต้องวัดอุณหภูมิของวัสดุในตอนที่ 2.2

ตอนที่ 2.1 การไหลของความร้อนผ่านผนังราบเรียบซ้อนกันที่มีช่องว่างตรงกลาง

1. นำแผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. และ แผ่นไม้สี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. ใส่ลงไปในกล่องฉนวนความร้อนใส่ไปที่ด้าน A โดยติดแผ่นโฟมไว้ด้านนอกติดแผ่นไม้ไว้ด้านในกับชุดจับยึดและล็อคให้แน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำสายโพรบเทอร์โมคัปเปิลติดกับพื้นผิววัสดุด้วยเทปกาวทั้งสองด้านของผิววัสดุ ทั้งสองชิ้นที่ด้านผิวของวัสดุนอกกล่อง ที่ผิวของวัสดุที่ติดกับช่องว่างด้านนอกกล่อง ที่ผิวของวัสดุที่ติดกับช่องว่างด้านในกล่อง และ ที่ผิวของวัสดุด้านในกล่องฉนวนความร้อนดังรูปที่ 5

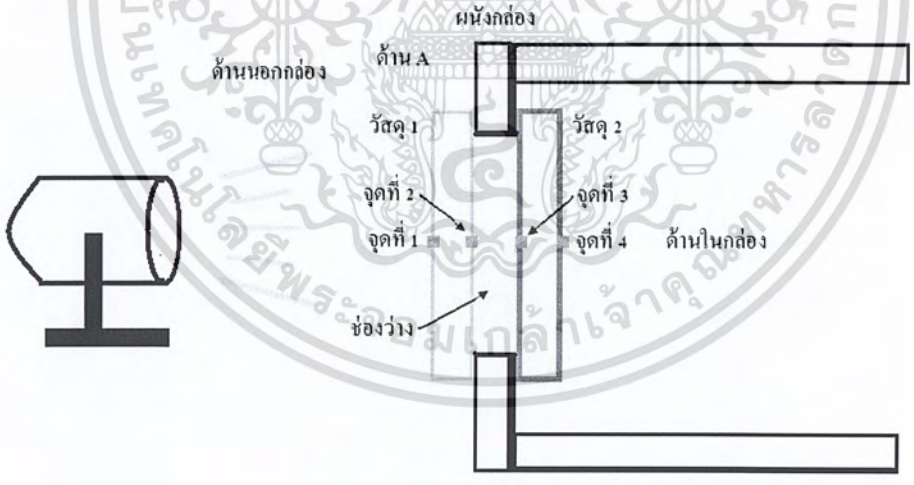
3. เปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ โดยปรับกระแสไว้ที่ 0.2 แอมป์ ปิดฝากล่องทิ้งไว้จนอุณหภูมิกล่องคงที่แล้วจึงวัดอุณหภูมิทั้ง 4 จุด

4. นำสปอตไลท์มาส่องเข้าที่ด้าน A เป็นเวลา 5 นาที โดยบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที

5. นำโพรบเทอร์โมคัปเปิลออกมาวัดอุณหภูมิภายในกล่องและอุณหภูมิภายนอกกล่องบันทึกการทดลองลงตารางบันทึกผลที่ 2.1

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อน q/A จากสมการที่ 13 , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน k จากสมการที่ 15 และ ค่าการนำความร้อน λ จากสมการที่ 14 และ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของอากาศ จากสมการที่ 16

7. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



รูปที่ 5 แสดงจุดการวัดอุณหภูมิของผิววัสดุมีช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2.2 การไหลของความร้อนผ่านผนังราบเรียบซ้อนกัน

1. นำแผ่นโฟมสี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. และ แผ่นไม้สี่เหลี่ยมขนาด 15x15 ซม. หนา 1 ซม. ใส่ลงไปในกล่องฉนวนความร้อนใส่ไปที่ด้าน B โดยประกบวัสดุทั้งสองติดกันติดกับชุดจับยึดและล็อคให้แน่น

2. นำสายโพรบเทอร์โมคัปเปิลติดกับพื้นผิววัสดุด้วยเทปกาวทั้งสองด้านของผิววัสดุ และรอยต่อของวัสดุทั้งสอง ดังรูปที่ 6

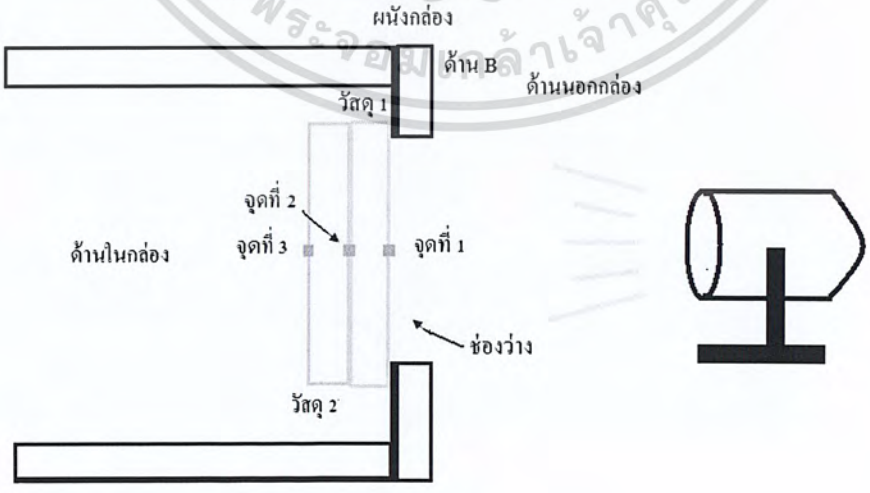
3. เปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ โดยปรับกระแสไว้ที่ 0.2 แอมป์ ปิดฝากล่องทิ้งไว้จนอุณหภูมิกล่องคงที่แล้วจึงวัดอุณหภูมิทั้ง 3 จุด

4. นำสปอตไลท์มาส่องเข้าที่ด้าน B เป็นเวลา 5 นาที โดยบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที

5. นำโพรบเทอร์โมคัปเปิลออกมาวัดอุณหภูมิภายในกล่องและอุณหภูมิภายนอกกล่องบันทึกการทดลองลงตารางบันทึกผลที่ 2.2

6. นำผลการทดลองมาคำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อน q/A จากสมการที่ 13 , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน k จากสมการที่ 15 และ ค่าการนำความร้อน λ จากสมการที่ 14

7. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



รูปที่ 6 แสดงจุดการวัดอุณหภูมิของผิววัสดุซ้อนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผล

ตารางที่1.1

อุณหภูมิ steady state			
A		B	
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2
102.9	43.3		

เวลา (นาที)	ส่องไฟด้าน A		ส่องไฟด้าน B	
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2
1				
2				
3				
4				
5				

อุณหภูมิภายนอกกล่อง	อุณหภูมิภายในกล่อง

ตารางที่1.2

อุณหภูมิ steady state			
A		B	
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2

เวลา (นาที)	ส่องไฟด้าน A		ส่องไฟด้าน B	
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 2
1				
2				
3				
4				
5				

อุณหภูมิภายนอกกล่อง	อุณหภูมิภายในกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1

อุณหภูมิ steady state			
A			
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4

เวลา (นาที)	ส่องไฟด้าน A			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
1				
2				
3				
4				
5				

อุณหภูมิภายนอกกล่อง	อุณหภูมิภายในกล่อง

ตารางที่ 2.2

อุณหภูมิ steady state		
B		
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3

เวลา (นาที)	ส่องไฟด้าน B		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
1			
2			
3			
4			
5			

อุณหภูมิภายนอกกล่อง	อุณหภูมิภายในกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ ไม้หนา 1 ซม.			
P/A	k	λ	% ความคลาดเคลื่อน λ

<u>แสดงวิธีการคำนวณ</u>

คำนวณ ไม้หนา 2 ซม.			
P/A	k	λ	% ความคลาดเคลื่อน λ

<u>แสดงวิธีการคำนวณ</u>

คำนวณ โฟมหนา 1 ซม.			
P/A	k	λ	% ความคลาดเคลื่อน λ

<u>แสดงวิธีการคำนวณ</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของอากาศ ($1/\Lambda$) ในกรณีผนังไม้/โฟม ที่มีช่องอากาศหนา 1 ซม. อยู่ระหว่างกลาง โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 2.1

$$\frac{P}{A} = \alpha_a \cdot (T_{Wa} - T_{La}) = 8.1 \frac{W}{Km^2} \cdot (T_4 - T_{La}) = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{\Delta T \cdot A}{P} = \frac{(T_2 - T_3) \cdot A}{P} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{Km^2}{W}$$

เนื่องจากค่าที่เป็นที่ยอมรับทั่วไปมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\Lambda} = 0.14 \frac{Km^2}{W}$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ $\frac{1}{\Lambda}$ ของอากาศหนา 1 ซม. มีค่าเท่ากับ

% ความคลาดเคลื่อน = ...%

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉนวนความร้อนที่ใช้บุผนังกล่องฉนวนความร้อน

เครื่องหมายการค้า : **homebase**

ฉนวน : **โพลีเอทธีลีนกันความร้อน**

รุ่น : **Aluminium Foil 10 mm.**

ขนาด : **60 x 60 cm.**

คุณสมบัติผลิตภัณฑ์

R-Value = 13 **$hr.ft^2.F/Btu$**

ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน Reflectivity **95%**

ค่าการนำความร้อน Thermal Conductivity **0.029 W/m.K.**

การดูดซึมน้ำ Water Absorption **0%**

ผลิตโดย

บริษัท เอ็ม-พีอี อินดัสทรี จำกัด 106 ซอยรามคำแหง 8 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของวัสดุฉนวนและอาคาร

ประเภทวัสดุ	K (W/m.K)	P (kg/m^3)	Cp (kJ/kg° C)	ค่า R (m.K/W)
ฟิล์มอากาศ (Air Films)				
อากาศเคลื่อนที่, ความเร็วลม 24 kg/hr	10.20			0.098
อากาศเคลื่อนที่, ความเร็วลม 12 kg/hr	6.94			0.144
อากาศนิ่ง, พื้นระนาบ, ความร้อนเคลื่อนที่ลง	1.88			0.531
อากาศนิ่ง, พื้นระนาบ, ความร้อนเคลื่อนที่ขึ้น	2.84			0.352
อากาศนิ่ง, พื้นตั้ง	2.54			0.393
ชั้นอากาศ (Air Layers)				
ผิวสะท้อนรังสีแนวระนาบ, หนา 12.7 mm	0.92			1.092
ผิวสะท้อนรังสีแนวระนาบ, หนา 19.05 mm	0.72			1.392
ผิวสะท้อนรังสีแนวระนาบ, หนา 38.1 mm	0.53			1.889
ผิวสะท้อนรังสีแนวระนาบ, หนา 88.9 mm	0.42			2.363
พื้นผิวระนาบ, หนา 12.7 mm	1.88			0.531
พื้นผิวระนาบ, หนา 19.05 mm	1.70			0.589
พื้นผิวระนาบ, หนา 38.1 mm	1.50			0.664
พื้นผิวระนาบ, หนา 88.9 mm	1.40			0.716
ผิวสะท้อนรังสีแนวตั้ง, หนา 12.7 mm	0.74			1.358
ผิวสะท้อนรังสีแนวตั้ง, หนา 19.05 mm	0.72			1.381
ผิวสะท้อนรังสีแนวตั้ง, หนา 38.1 mm	0.75			1.340
ผิวสะท้อนรังสีแนวตั้ง, หนา 88.9 mm	0.92			1.086
พื้นผิวตั้ง, หนา 12.7 mm	1.90			0.526
พื้นผิวตั้ง, หนา 19.05 mm	1.71			0.583
พื้นผิวตั้ง, หนา 38.1 mm	1.70			0.589
พื้นผิวตั้ง, หนา 88.9 mm	1.71			0.583
แผ่นอัดสำหรับอาคาร (Building Board)				
แผ่นอัดซีเมนต์ใยหิน (Asbestos - Cement)	0.60	1922	1.005	1.674
ยิบซัมบอร์ด	0.16	801	1.089	6.212
แผ่นอัดแข็ง, หนาแน่นสูง, ภายใต้อุณหภูมิใช้งาน	0.12	881	1.340	8.496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นอัดแข็ง, หนาแน่นสูง, อุณหภูมิมาตรฐาน	0.14	1009	1.340	6.960
แผ่นอัดแข็ง, ความหนาแน่นปลานกลาง	0.09	801	1.300	10.698
แผ่นชิ้นไม้อัด (Particle board), หนาแน่นต่ำ	0.08	593	1.30	12.838
แผ่นชิ้นไม้อัด, ความหนาแน่นปลานกลาง	0.14	801	1.30	7.406
แผ่นชิ้นไม้อัด, ความหนาแน่นสูง	0.17	1001	1.30	5.895
แผ่นชิ้นไม้อัด, ใช้รองรับ	0.31	641	1.214	3.209
ไม้อัด	0.14	545	1.214	7.221
แผ่นหุ้ม, ความหนาแน่นปลานกลาง	0.06	352	1.30	16.991
แผ่นหุ้ม,ความหนาแน่นปกติ	0.055	288	1.30	18.053
ฉนวนอาคาร (Building Insulation)				
เซลลูลาร์กลาส	0.055	136	0.754	18.053
เซลลูลาร์, ใยหลวม	0.04	51	1.382	24.071
ใยแก้ว, เส้นใยอัดเป็นแผ่น	0.045	16	0.837	22.219
ใยแก้ว, ลูสฟิลล์	0.05	16	0.837	19.921
ใยแก้ว, แผ่นอัดประสานด้วยสารอินทรีย์	0.036	80	0.963	27.509
ใยแร่, เส้นใยอัดเป็นแผ่น	0.045	32	0.837	22.219
ใยแร่, ลูสฟิลล์	0.047	27	0.712	21.396
ใยแร่, ตัวประสานเรซิน	0.042	56	0.837	24.071
แผ่นอัดใยแร่, อัดเป็นแผ่นเปียก, ป้องกันเสียงสะท้อน	0.05	288	0.80	19.921
แผ่นอัดใยแร่, อัดเป็นแผ่นเปียก, ฉนวนหลังคา	0.048	272	0.80	20.632
แผ่นอัดใยแร่, หล่อแบบเปียก, ป้องกันเสียงสะท้อน	0.061	368	0.586	16.506
แผ่นอัดใยแร่, ทำสำเร็จ	0.042	240	0.712	24.071
เพอร์ไลท์, ลูสฟิลล์แบบขยาย	0.040	80	1.256	25.117
เพอร์ไลท์, แบบโฟม, ฉนวนหลังคาตัวประสานอินทรีย์	0.052	160	1.047	19.257
โพลิไอโซไซยานูเรต, R – 11 แบบโฟม	0.023	32	1.591	44.439
โพลิสไตรีนแบบโฟมอัดรีด, ผิวเรียบ	0.029	29	1.214	33.982
โพลิสไตรีนแบบโฟมหล่อ	0.036	24	1.214	27.510
โพลิยูรีเทน, R – 11 แบบโฟม, ผิวหน้าฉาบแผ่นบาง	0.021	32	1.591	48.142
โพลิยูรีเทน, R – 11 แบบโฟม	0.023	32	1.591	44.439
เวอร์มิคูไลท์, ลูสฟิลล์แบบโฟม	0.069	144	1.340	14.442
แผ่นอัดใยไม้ ป้องกันเสียงสะม้อน	0.057	368	1.30	17.506
วัสดุพื้น				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรมและใยรอง	0.832			1.202
พรมและยางรอง	1.407			0.711
พื้นไม้ก๊อก	6.182			0.162
วัสดุก่อสร้าง (Masonry materials)				
คอนกรีต	1.298	2243	0.921	0.770
หินอัคนี	1.731	2643	0.837	0.578
หินปูน	1.246	2483	0.921	0.802
หินอ่อน	2.770	2563	0.80	0.361
หินทราย	1.627	2243	0.712	0.615
ปูนขาวผสมทรายและหินอ่อนป่น (Stucco)	0.722	1858	0.879	1.385
ตัวตึก (Masonry Units)				
อิฐธรรมดา	0.692	1922	0.837	1.444
อิฐฉาบหน้า	1.298	2083	0.921	0.770
ตัวตึกคอนกรีต, หนา 10 cm, น้ำหนักมาก	1.310	2243	0.879	0.763
ตัวตึกคอนกรีต, หนา 10 cm, น้ำหนักเบา	0.639	1666	0.837	1.566
ตัวตึกคอนกรีต, หนา 15 cm, น้ำหนักมาก	1.310	2243	0.879	0.763
ตัวตึกคอนกรีต, หนา 15 cm, น้ำหนักเบา	0.661	1762	0.879	1.512
ตัวตึกคอนกรีต, หนา 20 cm, น้ำหนักมาก	1.310	2243	0.879	0.763
ตัวตึกคอนกรีต, หนา 20 cm, น้ำหนักเบา	0.755	1842	0.879	1.325
วัสดุฉาบผนัง (Plastering Materials)				
พลาสเตอร์ซีเมนต์, ผสมทราย	0.722	1858	0.837	1.385
พลาสเตอร์ยิบซัม, ผสมน้ำหนักเบา	0.230	721	0.837	4.344
พลาสเตอร์ยิบซัม, ผสมเพอร์ไลท์	0.216	721	1.340	4.622
พลาสเตอร์ยิบซัม, ผสมทราย	0.808	1682	0.837	1.237
พลาสเตอร์ยิบซัม, ผสมเวอร์มิคูไลท์	0.246	721	0.921	4.068
วัสดุมุงหลังคา (Roofing Materials)				
กระเบื้องซีเมนต์ใยหินมุงหลังคา	8.243	1922	1.005	0.121
แอสฟัลต์โรลล์มุงหลังคา	11.54	1121	1.507	0.087
แผ่นมุงหลังคาแอสฟัลต์	3.934	1121	1.256	0.254
แผ่นไม้มุงหลังคา	1.841	513	1.30	0.543
วัสดุด้านข้าง (Siding Materials)				
กระจกทางสถาปัตยกรรม (Architectural glass)	0.762	2707	0.837	1.313

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นซีเมนต์ใยหิน	8.243	1922		0.121
แผ่นอัดแข็งด้านข้าง	0.215	641	1.172	4.656
ไม้				
ไม้สน	0.070	465	2.722	10.316
ไม้เนื้อแข็ง	0.147	609	2.387	6.796
ไม้เนื้ออ่อน	0.113	513	2.722	8.888
ไม้สนขาว	0.113	513	2.805	8.888
ไม้สนเหลือง	0.142	641	2.805	7.045

ตาราง คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของฉนวนทางอุตสาหกรรม

ประเภทวัสดู	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด	ความหนาแน่น	สภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย, °C						
			-32	-4	24	38	93	149	260
แบบคลุม และอัดเป็นแผ่น									
ใยแก้ว, ตัวประสานอินทรีย์	175	12	0.034	0.039	0.046	0.049	0.069		
ใยแก้ว, ตัวประสานอินทรีย์	175	16	0.033	0.036	0.042	0.046	0.062		
ใยแก้ว, ตัวประสานอินทรีย์	175	24	0.03	0.033	0.039	0.04	0.053		
ใยแก้ว, ตัวประสานอินทรีย์	175	32	0.029	0.032	0.036	0.037	0.048		
ใยแก้ว, ตัวประสานอินทรีย์	175	48	0.027	0.03	0.033	0.034	0.045		
แบบอัดเป็นแผ่น, กึ่งแข็ง, ตัวประสานอินทรีย์	205	48 – 128		0.034	0.036	0.037	0.039	0.05	
ผม, อัดเป็นแผ่น	80	160		0.037	0.042	0.043			
แบบบล็ก, แผ่นอัด และฉนวนท่อ									
กระดาษใยหิน, ซ้อนทับกัน	370	480				0.058	0.065	0.072	0.086
กระดาษใยหิน, ลูกฟูก&ซ้อนกัน 4 ชั้น	150	176 – 208			0.078	0.082	0.098		
กระดาษใยหิน, ลูกฟูก&ซ้อนกัน 6 ชั้น	150	240 – 272				0.073	0.085		
กระดาษใยหิน, ลูกฟูก&ซ้อนกัน 8 ชั้น	150	288 – 320			0.068	0.07	0.082		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมซิลิเกต	650	176 – 240				0.055	0.059	0.063	0.075
เซลลูลาร์กลาส	480	136	0.043	0.046	0.05	0.052	0.06	0.07	0.101
ไม้ก๊อกแผ่นอัด	80	80 – 96	0.034	0.036	0.037	0.037			
ใยแก้ว, แบบบล็อก&แผ่นอัด ตัวประสานอินทรีย์	205	48 – 160	0.027	0.032	0.036	0.037	0.048	0.058	
ใยแก้ว, ตัวประสานอินทรีย์, ตัวยึดชั้นดี	540	48 – 160				0.037	0.045	0.055	0.075
ใยแก้ว, ฉนวนท่อตัว ประสานอินทรีย์	175	48 – 64		0.03	0.033	0.034	0.042		
ใยแก้ว, ฉนวนท่อตัว ประสานอินทรีย์	260	48 – 160		0.032	0.036	0.037	0.048	0.058	
ใยแก้ว, แบบบล็อก ตัว ประสานอินทรีย์	540	160 – 240				0.048	0.055	0.065	0.094
ฉนวนท่อฟีโนลิคโฟม	135	32		0.03	0.033	0.034	0.042		
โพลิสไตรีน, ผิวเรียบแบบ โฟมอัดรีด	75	35	0.023	0.026	0.027	0.029			
โพสิลไตรีน, พื้นผิวเซลล์ตัด แบบโฟมอัดรีด	75	29	0.029	0.033	0.034	0.036			
โพลิสไตรีน, แบบโฟมหล่อ	75	24	0.027	0.03	0.033	0.034			
โพลิไอโซไซยานูเรต, R – 11 แบบโฟม, ฉาบแผ่นบาง	120	32		0.017	0.02	0.022			
โพลิไอโซไซยานูเรต, R – 11 แบบโฟม, ไม่ฉาบ	100	24 – 40		0.024	0.023	0.024			
ยาง, โฟมแบบยืดหยุ่น	105	72		0.029	0.032	0.033			
ขนสัตว์, อัดแบบแผ่น, ฉนวนท่อ แบบลูสฟิลล์	80	320		0.04	0.045	0.048			
เซลลูโลส	80	40 – 56			0.039	0.042			
ใยแก้ว, ไม่มีตัวประสาน	540	26	0.029	0.036	0.042	0.045			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยแร่, ไม่มีตัวประสาน	540	77	0.032	0.034	0.04	0.042	0.052	0.063	0.094
เพอร์ไลท์, แบบโฟม	650	122	0.033	0.036	0.037	0.04	0.049		
เวอร์มิคูไลท์, แบบโฟม	540	64 – 192	0.055	0.062	0.068	0.069	0.081	0.094	0.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้