



การพัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ



พิชากลัก ชำนาญมนต์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การพัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ



พิชากค์ ชำนาญมนต์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

The development of an apparatus for measuring the thermal conductivity of metals



PICHAPHAK CHUMNANMON

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF SCIENCE

IN PHYSICS EDUCATION

FACULTY OF SCIENCE

BURAPHA UNIVERSITY

2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ได้พิจารณางาน
นิพนธ์ของ พิชากค์ ชำนาญมนต์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา เกตุแก้ว)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจนชญา หงส์เลิศคง
สกุล)

..... กรรมการ

(ดร.อรรถพล เขยสุภเกตต์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ่มเอี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62920399: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: การนำความร้อน, ค่าการนำความร้อน, โลหะ, อาศัยโน

พินิจ ชำนาญมนตรี : การพัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ. (The development of an apparatus for measuring the thermal conductivity of metals) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ธานีสา รัตนะ ปี พ.ศ. 2567.

งานนิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของแท่งทองแดงและแท่งอะลูมิเนียม โดยการให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งของแท่งโลหะผ่านแผ่นฮีตเตอร์จนอุณหภูมิของแท่งโลหะอยู่ในสภาวะคงที่ หลังจากนั้นทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของแท่งโลหะโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และแสดงผลค่าอุณหภูมิผ่านโปรแกรม Data Streamer ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ถูกนำไปคำนวณหาค่าการนำความร้อนของแท่งโลหะ ผลจากการทดลองพบว่าค่าการนำความร้อนของทองแดงเท่ากับ 382.85 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของทองแดงพบว่ามีค่าคลาดเคลื่อน 3.56 เปอร์เซ็นต์ และค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมเท่ากับ 253.93 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของอะลูมิเนียมพบว่ามีค่าคลาดเคลื่อน 6.69 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะที่ออกแบบและสร้างขึ้นตามหลักการของการนำความร้อนของฟูเรียร์ สามารถนำไปใช้สำหรับการเรียนการสอนในชั้นเรียนเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะได้

62920399: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: heat conduction, thermal conductivity, metal, Arduino

PICHAPHAK CHUMNANMON : THE DEVELOPMENT OF AN APPARATUS FOR MEASURING THE THERMAL CONDUCTIVITY OF METALS. ADVISORY COMMITTEE: TANATTHA RATTANA, 2024.

The purpose of this work was to design and construct an experimental setup for measuring the thermal conductivity of copper and aluminum rods. To determine the thermal conductivity, one end of each rod was heated until the temperature reached a constant level. Subsequently, the temperature at different distances along the rods was measured using an Arduino microcontroller and a DS18B20 temperature sensor. The temperature values were displayed using the Data Streamer program. These temperature readings at different locations were then used to calculate the thermal conductivity of metal rod. The results showed that the thermal conductivity of copper was $382.85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, with an error of 3.56% compared to the standard value. The thermal conductivity of aluminum was found to be $253.93 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, with an error of 6.69% compared to the standard value. This experiment demonstrated that the apparatus, based on Fourier's law of heat conduction, can be used for educational purposes to determine the thermal conductivity of metals.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันสธา รัตนะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางที่ถูกต้อง ตรวจสอบแก้ไข และวิพากษ์ วิจารณ์งาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียด และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจนชญา หงส์เลิศคงสกุล ดร.อรรถพล เศษศุภเกตต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา เกตุแก้ว คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์นี้ ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนะเพื่อให้งานนิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณมารดา ที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือให้คำปรึกษา และสุดท้ายขอขอบคุณตนเองที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่าผู้ที่ได้อ่านงานนิพนธ์ฉบับนี้จะได้รับความรู้เพิ่มเติมไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้ ขอมอบคุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตัญญูตเวทิตาแด่บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบทุกวันนี้

พิชาภัค ชำนาญมนต์

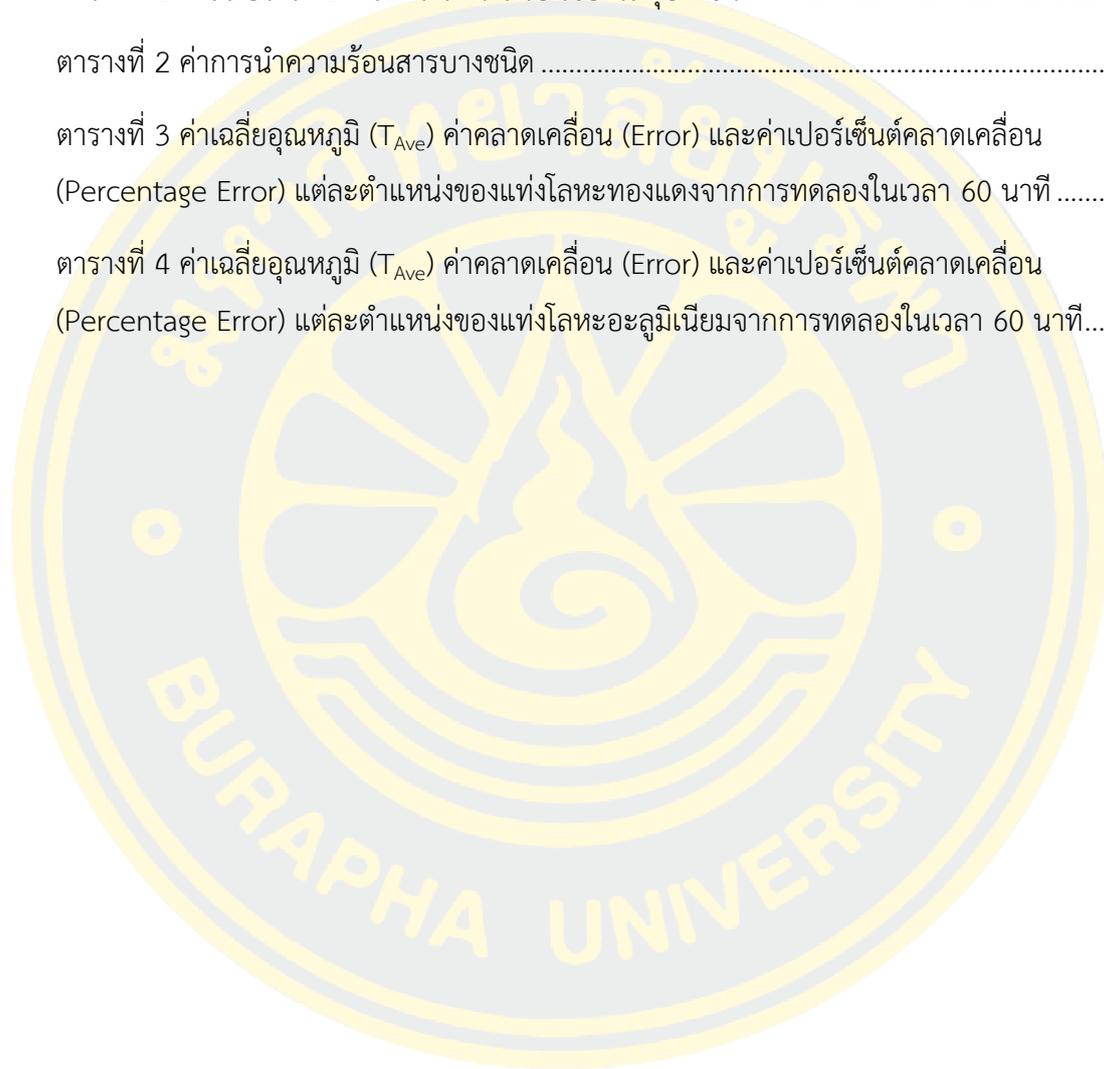
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2.....	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ความร้อนและอุณหภูมิ.....	4
การถ่ายโอนความร้อน.....	4
สมการการนำความร้อน.....	8
อาduino (Aduino).....	11
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20.....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3.....	16

วิธีการดำเนินการวิจัย	16
อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	16
ออกแบบและสร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะ	17
วิธีการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะ	21
บทที่ 4	23
ผลการวิจัย.....	23
ผลการสร้างชุดทดลองสำหรับการหาค่านำความร้อนของโลหะ	23
การหาค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน (Q) ที่ให้กับโลหะ	26
การหาค่านำความร้อนของโลหะ (k) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น	27
- การหาค่าการนำความร้อนของทองแดง	27
- การหาค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียม	31
บทที่ 5	36
สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	36
สรุปผลการวิจัย	36
อภิปรายผลการวิจัย	37
ข้อเสนอแนะ	38
ภาคผนวก.....	39
บรรณานุกรม.....	43
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุบางชนิด	7
ตารางที่ 2 ค่าการนำความร้อนสารบางชนิด	10
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (T_{Ave}) ค่าคลาดเคลื่อน (Error) และค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (Percentage Error) แต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงจากการทดลองในเวลา 60 นาที	28
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (T_{Ave}) ค่าคลาดเคลื่อน (Error) และค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (Percentage Error) แต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียมจากการทดลองในเวลา 60 นาที.....	32



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 การถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อน	5
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ (dT/dx).....	8
ภาพที่ 3 การนำความร้อนผ่านผนังราบแบบ 1 มิติ.....	9
ภาพที่ 4 การถ่ายเทพลังงานผ่านแท่งโลหะความยาว L.....	11
ภาพที่ 5 บอร์ด Arduino.....	12
ภาพที่ 6 โปรแกรม Arduino IDE.....	12
ภาพที่ 7 รูปแบบหน้าโปรแกรม Arduino IDE.....	12
ภาพที่ 8 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20.....	13
ภาพที่ 9 การต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 กับบอร์ด Arduino	13
ภาพที่ 10 ชุดการทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อนของแท่งโลหะ	17
ภาพที่ 11 แผนผังการออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อน	20
ภาพที่ 12 แท่งโลหะทองแดงและแท่งโลหะอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง.....	23
ภาพที่ 13 การหุ้มแท่งโลหะด้วยยางหุ้มท่อแอร์	23
ภาพที่ 14 ฉนวนของแท่งโลหะ	24
ภาพที่ 15 แท่งโลหะทดสอบที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน	24
ภาพที่ 16 การต่อวงจรชุดให้ความร้อนแก่โลหะ.....	24
ภาพที่ 17 ชุดวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแท่งโลหะ	25
ภาพที่ 18 ชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะที่สร้างขึ้น	26
ภาพที่ 19 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแผ่นฮีตเตอร์.....	27
ภาพที่ 20 ตัวอย่างแสดงการวัดค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงในแต่ละตำแหน่ง .	28

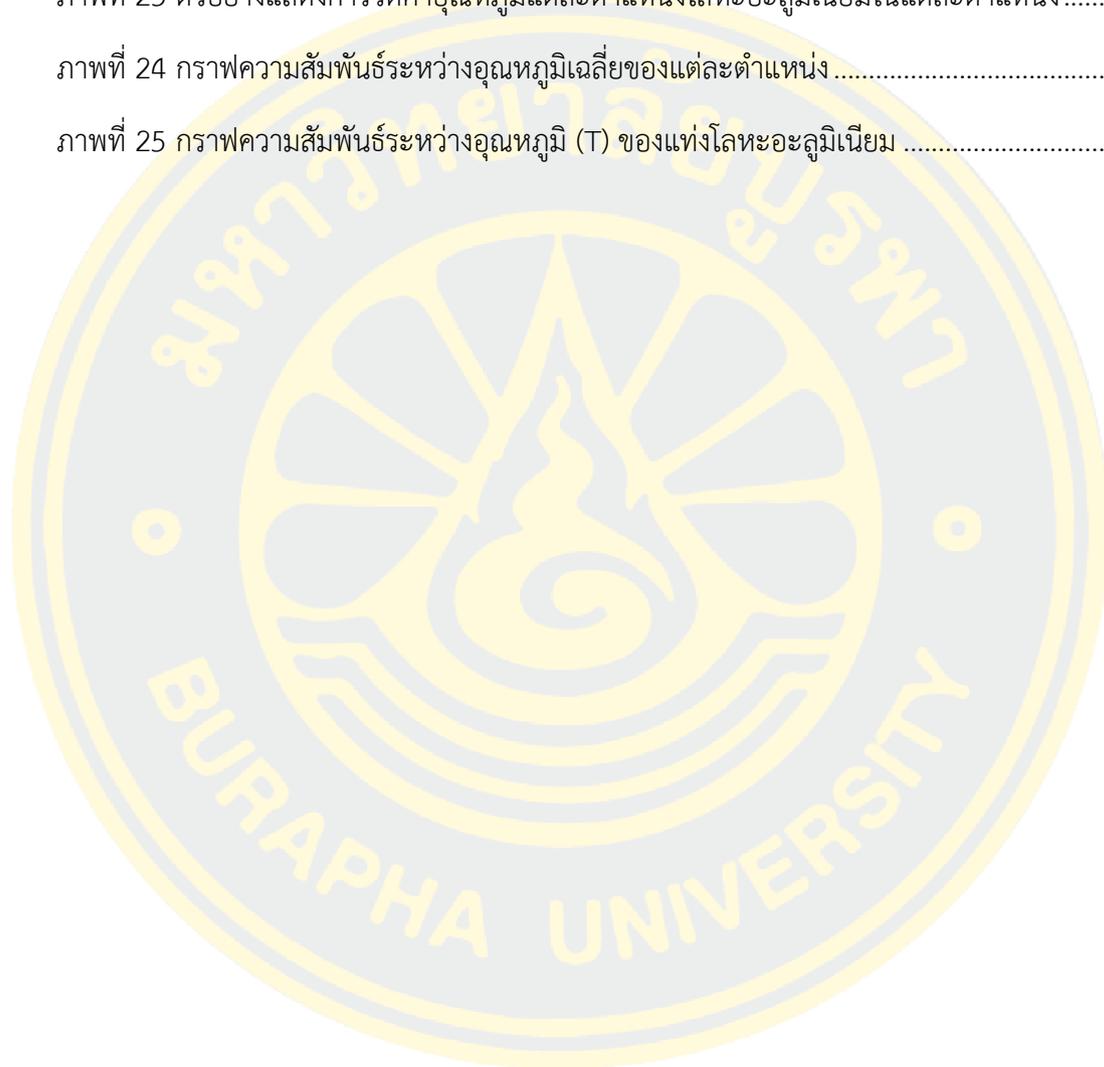
ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งกับเวลาของแท่งโลหะทองแดง 29

ภาพที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T) ของแท่งโลหะทองแดง 30

ภาพที่ 23 ตัวอย่างแสดงการวัดค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งโลหะอะลูมิเนียมในแต่ละตำแหน่ง 31

ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง 33

ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T) ของแท่งโลหะอะลูมิเนียม 34



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งกับสังคมในปัจจุบันและอนาคตซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ อำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ทั้งในการทำงานและการศึกษาเพื่อพัฒนาต่อยอดความรู้ อีกทั้งวิทยาศาสตร์ยังเป็นพื้นฐานที่มนุษย์นำไปพัฒนาต่อยอดทักษะการเรียนรู้ คิดแบบมีเหตุผล และสามารถแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ดังนั้นทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์เพื่อจะได้มีความรู้ความเข้าใจและสร้างสรรค์ผลงานใหม่ๆ มากขึ้น ซึ่งในรายวิชาฟิสิกส์นั้นเป็นหนึ่งในแขนงวิทยาศาสตร์ที่คนทั่วไปหรือผู้เรียนนั้นยากที่จะทำความเข้าใจหากมิได้มีการเรียนรู้โดยการทดลองหรือลงมือปฏิบัติด้วยตนเองจะทำให้เกิดความสับสนหรือเข้าใจผิดในเนื้อหาต่างๆได้ แต่ในปัจจุบันสถานศึกษาต่างๆในประเทศไทย โดยเฉพาะโรงเรียนระดับมัธยมศึกษายังมีการขาดแคลนเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง เนื่องจากวัสดุอุปกรณ์นั้นมีราคาสูงหรือหาซื้อได้ยาก

จากการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์เรื่องความร้อน ผู้เรียนต้องมีความเข้าใจในเรื่องความร้อนว่าความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่ความร้อนสามารถถ่ายโอนหรือส่งผ่านจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้ ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนมี 3 รูปแบบ การนำความร้อน เป็นถ่ายโอนความร้อนโดยผ่านตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่ การพาความร้อนเป็นถ่ายโอนความร้อนโดยผ่านตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่ การแผ่รังสีความร้อนเป็นถ่ายโอนความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง (หนังสือฟิสิกส์ 5 สสวท. หน้า 139) ซึ่งในเรื่องการนำความร้อนมีการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของตัวกลาง (Thermal conductivity) โดยมีตัวกลางชนิดต่างๆจำพวกตัวนำความร้อนหรือฉนวนความร้อนศึกษาได้จากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of heat to conduction) หากต้องการศึกษาการนำความร้อนของแท่งโลหะซึ่งเป็นตัวนำความร้อนมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าฉนวนความร้อนและง่ายต่อการศึกษาในการหาค่าการนำความร้อน (k) ซึ่งมีตัวแปรสำคัญคืออัตราการถ่ายโอนความร้อน (Q/t) ผ่านโมเลกุลของตัวกลางที่พื้นที่หน้าตัด (A) เป็นระยะทาง (L) จากจุดที่มีอุณหภูมิสูง (T_1) ไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ (T_2) เมื่อ Q มีหน่วยเป็นจูล และ Δt มีหน่วยเป็นวินาที กำลังหรืออัตราการถ่ายโอนพลังงานโดยความร้อนก็คือ P ที่มีหน่วยเป็นวัตต์ สามารถหาได้จากศักย์ไฟฟ้า (V) ที่ให้กับตัวทำความร้อนคูณกับกระแสไฟฟ้า (I) ที่วัดได้จากตัวทำความร้อนที่ให้กับแท่งโลหะปลายด้านหนึ่ง และจะต้องมี

การระบายความร้อนที่ปลายอีกด้านของแท่งโลหะเพื่อให้เกิดการไหลของความร้อนอย่างต่อเนื่องและพลังงานความร้อนต้องไม่สามารถถ่ายเทออกจากพื้นผิวของโลหะนอกจากปลายทั้งสองด้าน เมื่อระบบอยู่ที่สภาวะคงที่ อุณหภูมิที่ปลายโลหะแต่ละด้านจะไม่มีเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในกรณีถ้าสมมติให้ค่า k ไม่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ หรือเกรเดียนต์ (gradient) ของอุณหภูมิจะมีค่าเท่ากันตลอดทั้งแท่งโลหะ ซึ่งเป็นหลักการทั่วไปในการหาค่าการนำความร้อน

ในระดับมัธยมศึกษาจะได้เรียนรู้เรื่องความร้อนและการถ่ายโอนความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนอย่างทีกล่าวไปข้างต้น แต่จากเนื้อหาเรื่องการนำความร้อน มีการทดลองในรูปแบบง่ายๆโดยใช้แท่งโลหะติดดินน้ำมันและให้ความร้อนผ่านแท่งโลหะเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของดินน้ำมันและเปรียบเทียบชนิดของโลหะว่าโลหะใดมีการนำความร้อนมากกว่า ซึ่งจากการทดลองที่กล่าวนั้นยังไม่ได้ทำให้เห็นถึงปัจจัยตัวแปรสำคัญต่างๆที่ส่งผลต่อการนำความร้อนและยังไม่ได้มีการคำนวณเพื่อให้เห็นความแตกต่างของค่าการนำความร้อนของโลหะแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการนำความร้อนของโลหะตามกฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์ จึงควรมีชุดทดลองเรื่องการนำความร้อนของโลหะที่สามารถหาค่าการนำความร้อนและแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในเรื่องการนำความร้อนได้ ซึ่งชุดทดลองดังกล่าวมีราคาสูง ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ทดลองในห้องเรียนระดับมัธยมได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนในรูปแบบการนำความร้อน โดยทำการพัฒนาชุดทดลองที่สามารถหาค่าการนำความร้อนของโลหะจากอุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูง หาซื้อได้ง่าย พกพาได้สะดวก และสามารถนำไปใช้ในการทดลองเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ในห้องเรียนสำหรับรายวิชาฟิสิกส์เรื่องการนำความร้อนในห้องเรียนได้จริง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของโลหะจากชุดทดลองกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของโลหะ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้พัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ
2. สามารถนำชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะที่สร้างขึ้นไปใช้ในการเรียนการสอนในชั้นเรียนได้
3. ได้ศึกษาหลักการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ และแนวทางในการศึกษาเรื่องการถ่ายโอนความร้อน

ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของแท่งโลหะทองแดงและอะลูมิเนียม
2. เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนจากชุดทดลองกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของแท่งโลหะทองแดงและอะลูมิเนียม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วยทฤษฎีและเนื้อหาทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดดังนี้

ความร้อนและอุณหภูมิต

1. ความร้อน

ความร้อน (Heat) คือ พลังงานประเภทหนึ่งที่สะสมอยู่ในสสารและสามารถถ่ายเทไปยังสสารอื่น ๆ และสิ่งแวดล้อมได้ซึ่งความร้อนเกิดจากการสั่นของอะตอมหรือโมเลกุลของสสารนั้น ๆ ซึ่งความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เปลี่ยนมาจากพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล พลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นจูล (Joule, J) ในระบบเอสไอ แคลอรี (cal) และบีทียู (BTU)

2. อุณหภูมิ

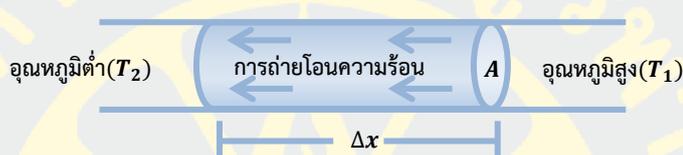
อุณหภูมิ (Temperature) คือ ปริมาณที่บอกว้าสสารร้อนหรือเย็น หรือ อุณหภูมิเป็นปริมาณที่บอกระดับความร้อนของสสาร วัตถุที่มีระดับความร้อนมากจะมีอุณหภูมิสูง วัตถุที่มีระดับความร้อนน้อยจะมีอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิเป็น ปริมาณ สเกลาร์มีหน่วยเป็น เคลวิน (K) นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีหน่วยอื่น ๆ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และ องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$)

การถ่ายโอนความร้อน

การถ่ายโอนความร้อน (heat transfer) จะเกิดขึ้นเมื่อระบบหรือสสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมีอุณหภูมิแตกต่างกันสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากสสารที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่สสารที่มีอุณหภูมิต่ำ จนกระทั่งสุดท้ายเมื่ออุณหภูมิเท่ากันหรือสมดุลความร้อนก็จะหยุดการถ่ายโอนความร้อน สำหรับระบบหรือแหล่งความร้อนขนาดใหญ่ที่มีการถ่ายโอนความร้อนอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา นั้น อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจะมีค่าแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบหรือแหล่งความร้อนนั้นๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการถ่ายโอนพลังงานความร้อนอีกด้วย ซึ่งได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

1. การนำความร้อน(conduction)

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนผ่านอะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางซึ่งอยู่นิ่ง เรียกว่าการนำความร้อน (Heat Conduction) โดยอะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางที่ได้รับความร้อนจะสั่นด้วยพลังงานจลน์สูงเนื่องจากมีอุณหภูมิสูง และการสั่นจะทำให้อะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ถัดไปสั่นด้วยพลังงานจลน์สูงต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็นการถ่ายโอนพลังงานความร้อนในรูปพลังงานจลน์ของการสั่นของอะตอมหรือโมเลกุลของวัตถุที่เป็นตัวกลางสำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะนำความร้อนโดยการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอิเล็กตรอนอิสระในของแข็งนั้นๆ ส่วนในของแข็งที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจะนำความร้อนได้เนื่องจากการแปรเปลี่ยนไปมาของแรงที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล



ภาพที่ 1 การถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อน

พิจารณาตัวกลางนำความร้อนพื้นที่หน้าตัด A ดังแสดงในภาพที่ 1 จะได้ว่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน $\Delta Q/\Delta t$ ผ่านโมเลกุลของตัวกลางเป็นระยะทาง Δx จากจุดที่มีอุณหภูมิสูง (T_2) ไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ (T_1) มีความสัมพันธ์กันตามสมการของโจเซฟ โฟริเออร์ (Fourier's law)

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

เมื่อ	ΔQ	คือ	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนผ่านโมเลกุลของตัวกลาง (W)
	Δt	คือ	ช่วงเวลาการถ่ายโอนความร้อน (s)
	k	คือ	สภาพนำความร้อนของตัวกลาง (W/m.K)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัด (m^2)
	ΔT	คือ	ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($T_2 - T_1$)
	Δx	คือ	ระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดที่มีอุณหภูมิต่างกัน (m)
	T_1	คือ	จุดที่มีอุณหภูมิต่ำ
	T_2	คือ	จุดที่มีอุณหภูมิสูง

จากสมการ (2-1) เครื่องหมายลบหมายถึงอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ดังนั้น $\Delta T = T_2 - T_1$ เป็นลบ ซึ่งจะได้ปริมาณความร้อนถ่ายโอนผ่านโมเลกุลของตัวกลางเป็นบวก ปริมาณ $\Delta T/\Delta x$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบกับระยะทางในตัวกลาง เรียกว่า เกรเดียนต์อุณหภูมิ (temperature gradient) และปริมาณ $\frac{\Delta Q}{\Delta t}/A$ เรียกว่า ฟลักซ์ความร้อน (heat flux) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรกำลังสอง (W/m^2)

2. การพาความร้อน (Convection)

เป็นกระบวนการถ่ายโอนความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของไหล โดยโมเลกุลของตัวกลางเคลื่อนที่พาความร้อนไปแม้ว่าจะมีการนำความร้อนด้วยก็ตามแต่ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อน กล่าวคือ เป็นการถ่ายโอนความร้อนในของเหลวหรือก๊าซด้วยการที่โมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซเคลื่อนที่ไปจริงๆ โดยส่วนที่กระทบกับต้นกำเนิดความร้อนจะร้อนขึ้น เกิดการขยายตัว ความหนาแน่นน้อยลง และลอยตัวสูงขึ้น ส่วนที่เย็นก็จะไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดกระแสการพาความร้อนขึ้น เช่น อากาศเมื่อได้รับความร้อนจากเตาไฟจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยสูงขึ้น เมื่อเคลื่อนที่มากระทบกับตัวเราก็จะถ่ายโอนพลังงานความร้อนทำให้รู้สึกร้อนขึ้น (สุวิทย์ นามมหาจักร,2557)

สมการที่ใช้สำหรับการคำนวณการพาความร้อน คือ สมการของนิวตัน (Newton) ซึ่งเรียกว่า สมการการเย็นตัวของนิวตัน “Newton law of cooling” ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Q = hA(T_w - T_\infty) = hA(T_\infty - T_w) \quad (2.2)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2.K$)

T_w คือ อุณหภูมิของพื้นผิว (K)

T_∞ คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

A คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (m^2)

จากสมการ (2.2) จะพบว่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว A ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวที่ตัวกลางผ่าน $T_\infty - T_w$ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h (Convection Coefficient) ของตัวกลางแต่ละชนิด (ผศ.ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข,2560)

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นการถ่ายโอนความร้อนที่แตกต่างไปจากการนำ และการพาความร้อนโดยสิ้นเชิง วัตถุใดๆก็ตามถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (0 K หรือ $-273^\circ C$) จะแผ่พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสามารถส่งผ่านไปในสุญญากาศได้ โดยทั่วไปจะเป็นการแผ่รังสีในรูปของการแผ่คลื่นหรืออนุภาคต่างๆ ออกจากแหล่งกำเนิด เช่น แอลฟา บีตา แกมมา นิวตรอน ตัวอย่างการแผ่รังสีความร้อนที่พบในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก การแผ่รังสีจากดาวฤกษ์การแผ่รังสีจากพื้นผิวของแหล่งความร้อนต่างๆ เป็นต้น (สุวิทย์ นามมหาจักร,2557)

สมการที่ใช้ในการแผ่รังสีความร้อนคือสมการของสเตฟาน และโบลซ์มาน (Josef Stefan และLudwing Boltzmann) โดยเรียนสมการนี้ว่า “Josef Stefan-Boltzmann law” ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$Q = \varepsilon\sigma AT^4 \quad (2.3)$$

โดยที่ ε คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน และโบลซ์มาน ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}^4$)
(เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$)

T คือ อุณหภูมิของพื้นผิว (K)

A คือ พื้นที่ผิวการแผ่รังสี (m^2)

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของแต่ละวัสดุจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของตัวอย่างวัสดุที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุบางชนิด

(YUNUS A.ÇENGEL, 2017)

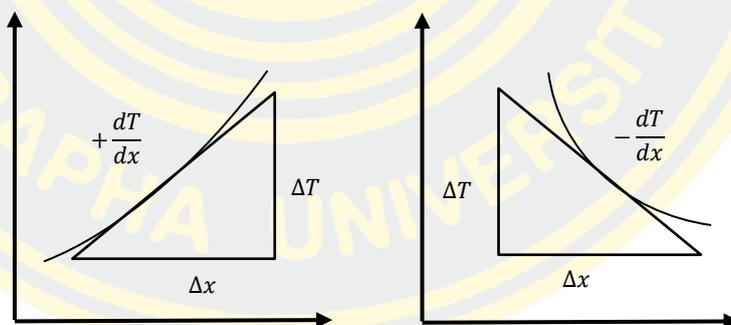
Emissivities of some materials at 300 K	
Material	Emissivity
Aluminum foil	0.07
Anodized aluminum	0.82
Polished copper	0.03
Polished gold	0.03
Polished silver	0.02
Polished stainless steel	0.17
Black paint	0.98
White paper	0.92–0.97
Asphalt pavement	0.85–0.93
Red brick	0.93–0.96
Human skin	0.95
Wood	0.82–0.92
Soil	0.93–0.96
Water	0.96

สมการการนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งที่สัมผัสกัน และอุณหภูมิจะลดลงตามระยะทางที่ความร้อนไหลผ่าน ขึ้นกับว่าวัตถุนั้นมีค่า “ความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity, k)” มากหรือน้อย ซึ่งถ้าค่าวัตถุมีค่าการนำความร้อนสูง การลดลงของอุณหภูมิขณะที่ความร้อนไหลผ่านจะต่ำ แต่ถ้าวัตถุใดมีค่าการนำความร้อนต่ำ การลดลงของอุณหภูมิขณะที่ความร้อนไหลผ่านก็สูง ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นไปตาม “กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier’s law of heat conduction)” ดังแสดงในสมการ

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.4)$$

เครื่องหมายลบในเทอมขวามือของสมการข้างต้น เป็นผลมาจากความจริงที่ว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในบริเวณที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ แต่ค่า (dT/dx) ซึ่งหมายถึง การลดลงของอุณหภูมิเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2 ซึ่งถ้าไม่มีเครื่องหมายลบด้านหน้าจะทำให้ อัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นลบ ซึ่งในวิชาการถ่ายเทความร้อนจะใช้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เป็นบวกเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางการไหลของความร้อน ซึ่งจะต่างจากวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ที่จะพิจารณาถึงทิศทางการเคลื่อนที่ความร้อนด้วย ดังนั้นจึงต้องใส่เครื่องหมายลบไว้ด้านหน้าเทอมขวามือของสมการที่ (2-4)



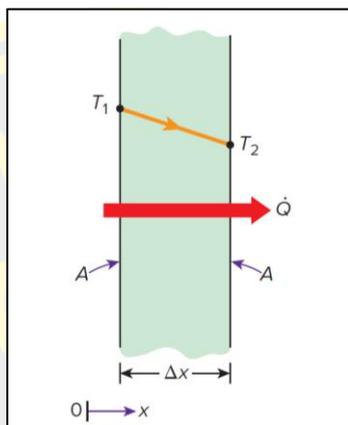
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ (dT/dx)

และทิศทางการไหลของความร้อน

การนำความร้อนจะเกิดขึ้นเฉพาะกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวกลางทั้งสองส่วน เมื่อพิจารณาวัสดุหนา Δx และมีพื้นที่หน้าตัด A ด้านหนึ่งของแผ่นมีอุณหภูมิผิว T_1 มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิว T_2 ในภาพที่ 3 จากการทดลองพบว่า มีการถ่ายโอนพลังงาน Q ในช่วงเวลา Δt จากด้านที่ร้อนกว่าไปด้านที่เย็นกว่า อัตราการถ่ายโอนพลังงาน $P=Q/\Delta t$ ที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับ

พื้นที่หน้าตัดและความแตกต่างของอุณหภูมิ $\Delta T = T_2 - T_1$ และแปรผกผันกับความหนาของวัสดุตั้งสมการ

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \propto - \frac{A\Delta T}{\Delta x} \quad (2.5)$$



ภาพที่ 3 การนำความร้อนผ่านผนังราบแบบ 1 มิติ

(YUNUS A.ÇENGEL, 2017)

จะสังเกตเห็นว่า P มีหน่วยเป็นวัตต์ เมื่อ Q มีหน่วยเป็นจูล และ Δt มีหน่วยเป็นวินาที โดยค่า P คือกำลังหรืออัตราการถ่ายโอนพลังงานโดยความร้อน สำหรับแผ่นโลหะที่มีความหนาน้อยมาก dx และความแตกต่างอุณหภูมิ dT ซึ่งสามารถเขียนกฎการนำความร้อนได้เป็น

$$P = kA \left| \frac{dT}{dx} \right| \quad (2.6)$$

เมื่อค่าคงที่ของการแปรผัน k คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ และ $\left| \frac{dT}{dx} \right|$ คือเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ (อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง)

สสารที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดีจะมีค่าสภาพการนำความร้อนมาก ในขณะที่สสารที่เป็นฉนวนความร้อนจะมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ ตารางที่ 2 แสดงค่าการนำความร้อนสำหรับสสารต่างๆ จะเห็นว่าโดยทั่วไปโลหะเป็นตัวนำความร้อนได้ดีกว่าอโลหะ

ตารางที่ 2 ค่าการนำความร้อนสารบางชนิด

(Raymond A. Serway, 2008)

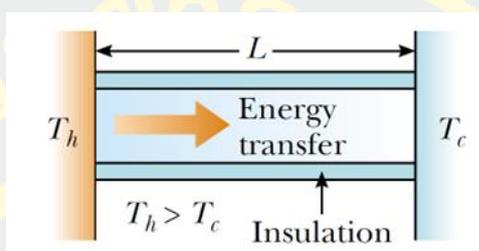
Thermal Conductivities	
Substance	Thermal Conductivity (W/m.°C)
Metals (at 25°C)	
Aluminum	238
Copper	397
Gold	314
Iron	79.5
Lead	34.7
Silver	427
Nonmetals (approximate)	
Asbestos	0.08
Glass	0.8
Ice	2
Rubber	0.2
Water	0.6
Wood	0.08
Gases (at 20°C)	
Air	0.0234
Helium	0.138
Hydrogen	0.172

เมื่อนำแท่งโลหะยาว L มีฉนวนความร้อน ที่ทำให้พลังงานไม่สามารถถ่ายเทออกจากพื้นผิวของโลหะได้ ยกเว้นที่ปลายทั้งสองด้าน ดังแสดงในภาพที่ 4 ปลายด้านหนึ่งสัมผัสอยู่กับอ่างเก็บพลังงานที่มีอุณหภูมิ T_c และปลายอีกด้านหนึ่งสัมผัสอยู่กับอ่างเก็บความร้อนที่อุณหภูมิ T_h ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ T_c เมื่อระบบอยู่ที่สภาวะคงที่ อุณหภูมิที่ปลายโลหะแต่ละด้านจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในกรณีถ้ากำหนดให้ค่า k ให้ไม่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ หรือเกรเดียนต์ของอุณหภูมิจะมีค่าเท่ากันตลอดทั้งแท่งโลหะและมีค่าเป็น

$$\left| \frac{dT}{dx} \right| = \frac{T_h - T_c}{L} \quad (2.7)$$

ดังนั้น อัตราการถ่ายโอนพลังงานโดยการนำความร้อนตลอดทั้งแท่งโลหะจึงมีค่าเป็น

$$P = kA\left(\frac{T_h - T_c}{L}\right) \quad (2.8)$$

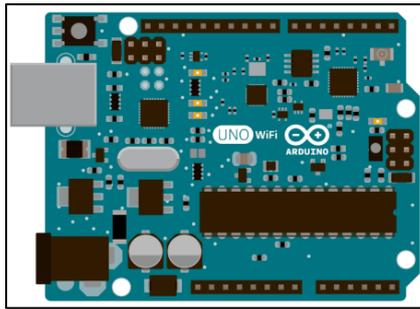


ภาพที่ 4 การถ่ายเทพลังงานผ่านแท่งโลหะความยาว L ภายในฉนวนและปลายทั้งสองด้านอยู่ติดกับแหล่งกักเก็บพลังงานที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน (Raymond A. Serway, 2008)

อาดูยโน้ (Aduino)

Arduino เป็นภาษาอิตาลี อ่านว่า "อาดูอีโน้" หรือ "อาดูยโน้" Arduino เป็น Open-Source Platform บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ input / output ต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในรูปแบบที่เป็นการทำงานเดี่ยวอิสระ หรือ เชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ PC ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ input / output ต่างๆ มีทั้งแบบ Digital และ Analog เช่นการรับค่าจากสวิตช์หรืออุปกรณ์ตรวจจับ Sensor แบบต่างๆ รวมไปถึง การควบคุมอุปกรณ์ output ต่างๆ เช่น LED มอเตอร์ รีเลย์ เป็นต้น โดย Arduino ประกอบด้วย 2 ส่วน

1. Hardware ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU: Microcontroller Unit) เป็นการร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ประกอบเป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ด Arduino โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดหรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ประสิทธิภาพ



ภาพที่ 5 บอร์ด Arduino
(arduino-makerzone, 2566)

2. Software ภาษา C / C++ เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload)



ภาพที่ 6 โปรแกรม Arduino IDE

```

sketch_may12a.ino
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3 }
4
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8 }
9
10

```

ภาพที่ 7 รูปแบบหน้าโปรแกรม Arduino IDE

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

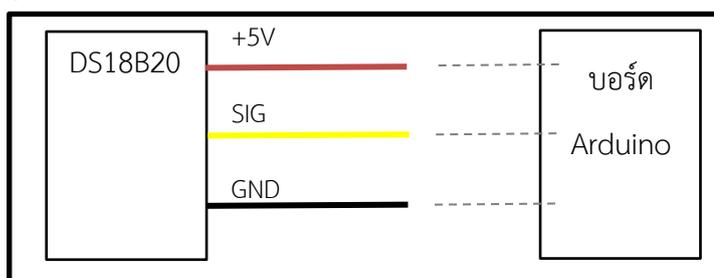
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้งานง่าย โดยต่อสายสัญญาณ 1 เส้นก็สามารถวัดอุณหภูมิได้ โดยสเปคของเซนเซอร์ DS18B20 ใช้ไฟเลี้ยง 3-5 โวลต์ วัดอุณหภูมิในช่วง -55 ถึง 125 องศาเซลเซียส เอาต์พุตแบบดิจิตอล สายไฟความยาวมีหลายขนาดให้เลือก 100-300 เซนติเมตร สายไฟ VCC สีแดง , GND สีดำ , DATA สีเหลือง หัววัด Stainless Steel Tube ขนาด 6x45 มิลลิเมตร สามารถกันน้ำได้



ภาพที่ 8 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20
(Arduitrronics, 2562)

การใช้งาน DS18B20 กับ Arduino

นั้นสามารถใช้งานได้ง่าย มีโค้ดเพียงไม่กี่บรรทัด เพียงแค่ติดตั้ง Library 2 ตัว ที่มีชื่อว่า OneWire และ DallasTemperature การต่อกับ Arduino ให้ต่อขาที่ 1 และ 3 เข้ากับ GND และ VCC ตามลำดับ ส่วนขาที่ 2 ต่อเข้ากับ Digital Pin ไหนก็ได้ของ Arduino ทั้งนี้ขา Data นี้จะต้องต่อกับตัวต้านทาน 4.7 k เป็น Pull-up resistor ด้วย (internal pull-ups ของ Arduino ไม่สามารถใช้ได้)



ภาพที่ 9 การต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 กับบอร์ด Arduino

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและค้นคว้าเพื่อหาข้อมูลในการออกแบบชุดอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

วีรวัดน์ ไกรทองสุข (2548) ได้สร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนเรื่องการหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ โดยได้ชุดทดลองที่วัดอุณหภูมิโดยเทอร์มอมิเตอร์ ฉนวนความร้อนด้านนอกใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้วและฉนวนด้านในใช้เส้นใยไฟเบอร์พร้อมแผ่นฟอยล์ แท่งวัสดุที่ใช้หาค่าคือทองแดง เหล็กกล้า และอะลูมิเนียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 24.5 เซนติเมตร และ 19.05 เซนติเมตรซึ่งชุดทดลองนี้ให้ความร้อนโดยให้กำลังไฟฟ้าผ่านแผ่นขดลวดความร้อน 20 วัตต์ ที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านต่อกับชุดหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อน ซึ่งตำแหน่งของเทอร์มอมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิของชุดทดลองมี 9 ตำแหน่งระยะห่างแต่ละตำแหน่ง 15 มิลลิเมตร โดยบันทึกผลของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งเมื่อเวลาเริ่มต้น ผ่านไป 10 นาที 15 นาทีและที่อุณหภูมิคงที่ (Steady state) และเมื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของวัสดุนั้น

ฐาปนพงษ์ ทะนันชัย (2555) ได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุ โดยวัสดุที่ใช้หาค่าการนำความร้อนจากตัวนำความร้อนและฉนวนความร้อนคือ บรอนซ์ อะลูมิเนียม ไม้อัด และยิปซัมที่มีรูปร่างเป็นแผ่นเรียบขนาด 100 x 200 มิลลิเมตร ซึ่งชุดทดลองนี้ใช้เครื่อง hot plate ให้ความร้อนให้กับวัสดุจากด้านล่างและวางน้ำแข็งไว้ที่ด้านบนวัสดุ โดยศึกษาผ่านอัตราการละลายของน้ำแข็งเนื่องจากแหล่งกำเนิดความร้อนอย่างเดียวซึ่งเทียบมวลน้ำแข็งที่ละลายกับเวลาที่ผ่านไปและผลต่างอุณหภูมิคงที่ (Steady state) เพื่อหาค่าการนำความร้อนของวัสดุผลที่ได้คือ บรอนซ์ อะลูมิเนียม ไม้อัด และยิปซัม ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) 71.062 – 76.740 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน 83.444 – 102.320 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน 0.140 – 0.178 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และ 0.204 – 0.223 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ตามลำดับ โดยวัสดุชนิดตัวนำความร้อนและฉนวนมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่าง 7.54 – 31.04 % และ 6.81 – 44.72 % ตามลำดับ และพบว่าหลังจากนักเรียนใช้ชุดทดลองสภาพการเรียนรู้ของนักเรียนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ธนยศ อริสริยวงศ์ (2562) ได้ศึกษาและทดลองการจัดการความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนแบบน้ำร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถ ในการระบายความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังสูง ขนาด

60 วัตต์ โดยใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนแบบน้ำร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเฉลี่ยคงที่ 20 องศาเซลเซียส ทดลองปรับอัตราการไหลของน้ำ เป็น 1.96 4.01 5.78 และ 8.29 ลิตร/นาที่ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ 2 4 และ 6 แอมแปร์ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีจะลดลง แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งอุณหภูมิของหลอดแอลอีดีจะสูงขึ้น และเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของหลอดแอลอีดีจะลดลง แต่ถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกน้อยเกินไปจะทำให้หลอดแอลอีดีมีอุณหภูมิสูงขึ้น จุดที่สามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด คือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก 6 แอมแปร์ และอัตราการไหลของน้ำ 5.78 ลิตร/นาที่ โดยหลอดแอลอีดีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 4.3 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

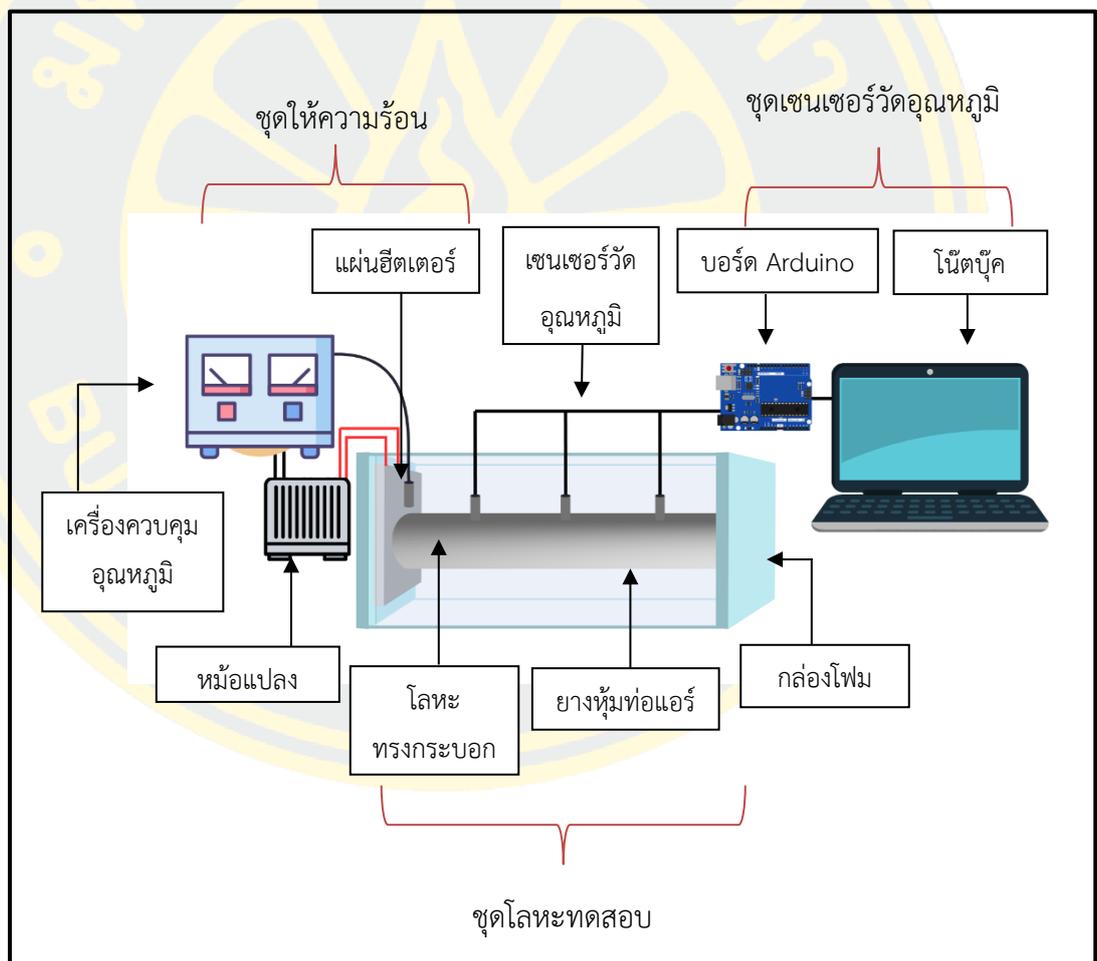
อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาค่าการนำความร้อน มีดังนี้

1. แท่งโลหะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร 2 ชนิด คือ แท่งทองแดง และแท่งอะลูมิเนียม
2. แผ่นฮีตเตอร์ทำความร้อน 220V
3. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ STC-1000
4. หม้อแปลง Input 220 VAC Output 24 VAC
5. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20
6. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor
7. ยางหุ้มท่อแอร์ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนยาว 10 เซนติเมตร
8. แผ่นโฟมกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตรหนา 3 เซนติเมตร
9. กาวทนความร้อน
10. มัลติมิเตอร์
11. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก
12. บอร์ด Arduino
13. โปรแกรม Arduino IDE
14. โปรแกรม Data Streamer

ออกแบบและสร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะ

จากการศึกษาข้อมูลกฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์ (Fourier's law of heat conduction) เพื่อคำนวณหาค่าการนำความร้อนโลหะจึงได้ออกแบบชุดการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ชุดโลหะทดสอบเป็นส่วนที่มีแท่งโลหะที่ใช้ในการหาค่าการนำความร้อนโดยมีการหุ้มฉนวนด้วยยางหุ้มท่อแอร์และกล่องโฟม ชุดให้ความร้อนที่มีฮีตเตอร์ในการให้ความร้อนกับโลหะทดสอบซึ่งต่อกับหม้อแปลงและเครื่องควบคุมอุณหภูมิทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ได้ และชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะต่อเข้ากับบอร์ด Arduino และโน้ตบุ๊ก เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่หน้าจอ



ภาพที่ 10 ชุดการทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อนของแท่งโลหะ

ในการสร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะมีวิธีการตามขั้นตอน โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ชุดโลหะทดสอบ ชุดให้ความร้อน ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และประกอบชุดการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะ

1. ชุดโลหะทดสอบ

1.1 นำแท่งโลหะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร 2 ชนิด คือ ทองแดง และอะลูมิเนียม มาเจาะรูในแนวเดียวกัน โดยให้รูมีความลึก 1 เซนติเมตร และแต่ละรูระยะห่างกัน 2 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับใส่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

1.2 หุ้มฉนวนแท่งโลหะด้วยยางหุ้มท่อแอร์และกล่องโฟม เพื่อลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกระบบ พร้อมทั้งเจาะช่องที่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิสามารถผ่านได้ และช่องสำหรับใส่ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อน

2. ชุดให้ความร้อน

2.1 นำแผ่นฮีตเตอร์มาต่อเข้ากับหม้อแปลง Input 220 VAC Output 24 VAC และต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ STC-1000 เพื่อจะได้สามารถควบคุมอุณหภูมิแผ่นฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนแก่โลหะได้

2.2 นำเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ STC-1000 และนำส่วนที่วัดอุณหภูมิติดกับแผ่นฮีตเตอร์ด้วยกาวทนความร้อนเพื่อใช้วัดอุณหภูมิของแผ่นฮีตเตอร์

3. ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.1 ต่อสายไฟของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ที่ติดตั้งกับแท่งโลหะเข้ากับบอร์ด Arduino

3.2 ต่อสาย USB จากบอร์ด Arduino เข้ากับเครื่องโน้ตบุ๊กเพื่อใช้รับข้อมูลอุณหภูมิของแท่งโลหะ

4. ประกอบชุดการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะ

4.2 นำอุปกรณ์แต่ละชุดที่ประกอบแล้วทั้งหมดมาประกอบรวมกัน โดยนำแผ่นฮีตเตอร์จากชุดให้ความร้อนใส่เข้าไปในช่องที่เจาะแล้วของกล่องโฟมจากชุดโลหะทดสอบ

4.3 นำเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ประกอบเข้ากับชุดโลหะทดสอบโดยใส่เข้าไปในรูของโลหะที่เจาะไว้แล้ว

4.4 ติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE และเขียนโค้ดคำสั่งสำหรับอ่านค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และอัปโหลดโค้ดลงบอร์ด Arduino

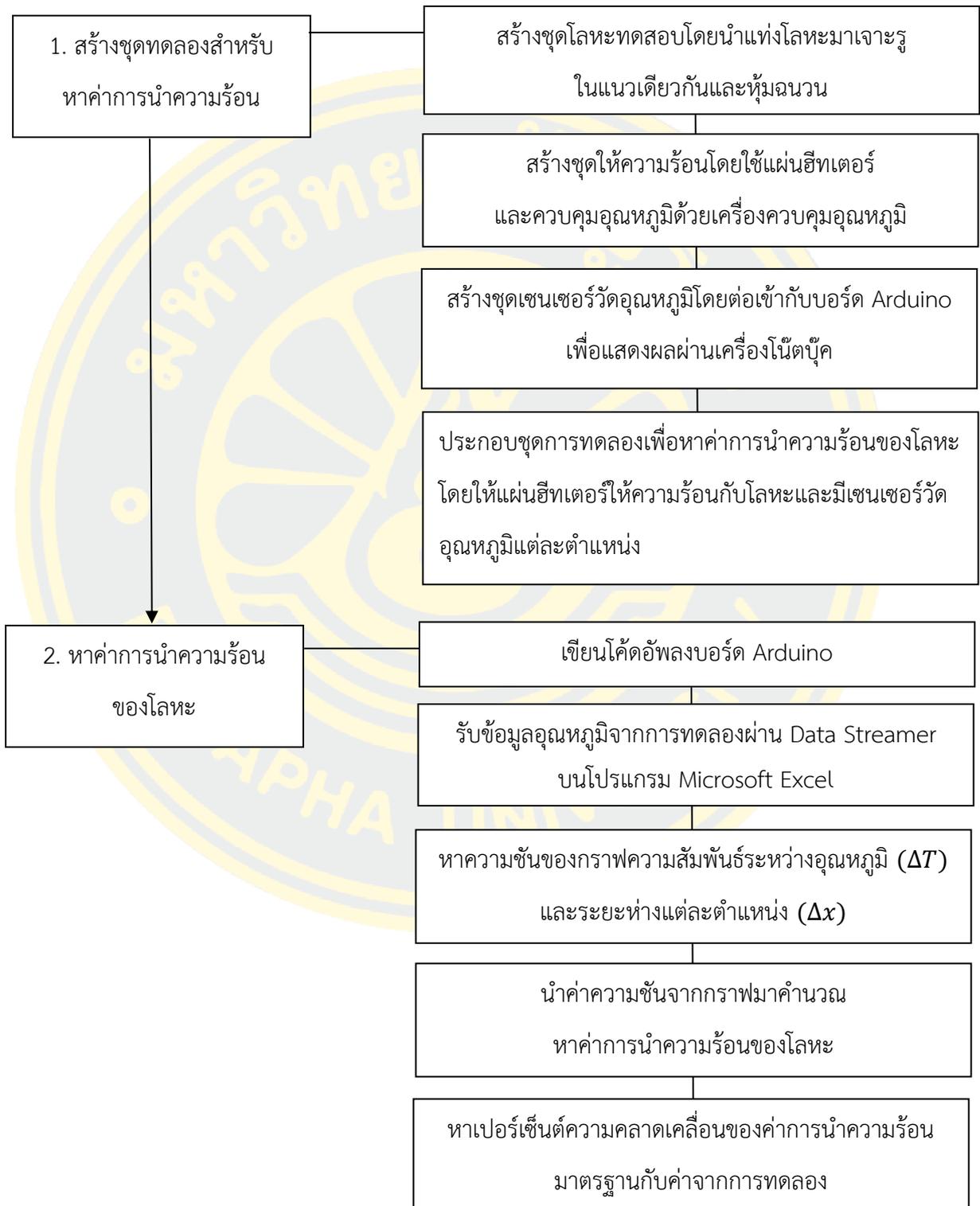
4.5 ติดตั้งโปรแกรม Data Streamer เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองผ่านโปรแกรม Microsoft Excel และสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ได้

4.6 ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าอุณหภูมิที่ได้แต่ละตำแหน่งของโลหะมาหาค่าเฉลี่ย

4.7 สร้างกราฟความสัมพันธ์ของระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT) และระยะห่างแต่ละตำแหน่ง (Δx) เพื่อหาค่าความชันของกราฟ

4.8 หาค่าการนำความร้อนของโลหะจากความชันของกราฟ แทนค่าความชันในสมการตามกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ หาค่าคลาดเคลื่อนและเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนของการนำความร้อนของโลหะโดยเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนมาตรฐาน ซึ่งขั้นตอนการทดลองทั้งหมดแสดงรายละเอียดตามแผนผังในภาพที่ 11

แผนผังแสดงวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบ
และสร้างชุดทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อน



ภาพที่ 11 แผนผังการออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อน

วิธีการทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะ

ในทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะโดยใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบโลหะแท่งทองแดง และแท่งอะลูมิเนียม ซึ่งมีวิธีการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือตามภาพที่ 10 โดยใช้โลหะในการทดลอง 2 ชนิดคือทองแดงและอะลูมิเนียมที่เจาะรูสำหรับใส่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และใส่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว
2. เมื่อนำเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ต่อเข้ากับบอร์ด Arduino และเครื่องโน้ตบุ๊กแล้ว จากนั้นเขียนโค้ดสำหรับอ่านค่าอุณหภูมิบนโปรแกรม Arduino IDE และอัปโหลดโค้ดลงบอร์ด Arduino
3. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel และเลือก Data Streamer บนแถบเครื่องมือ จากนั้นกด Connect a Device เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์และเลือก Port ให้ตรงกับที่ต่อสาย USB จากบอร์ด Arduino เข้ากับเครื่องโน้ตบุ๊ก จากนั้นกด Start Data ข้อมูลอุณหภูมิที่เซนเซอร์วัดได้จะแสดงผลบนหน้าโปรแกรม Microsoft Excel
4. ต่อเครื่องมัลติมิเตอร์เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ให้กับแผ่นฮีตเตอร์ แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า
5. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ STC-1000 ที่ต่อเข้ากับแผ่นฮีตเตอร์ เพื่อให้แผ่นฮีตเตอร์ทำ ความร้อน โดยมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor เพื่อวัดอุณหภูมิของฮีตเตอร์และแสดงค่าอุณหภูมิบนหน้าจอเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
6. ตั้งค่าอุณหภูมิบนเครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับทดลองให้อยู่ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของแผ่นฮีตเตอร์ถึง 50 องศาเซลเซียสเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะตัดการทำงานและหากอุณหภูมิลดลงถึง 49 องศาเซลเซียสเครื่องควบคุมอุณหภูมิก็จะทำงาน ฮีตเตอร์อุณหภูมิสูงขึ้นอีกครั้ง เพื่อให้อุณหภูมิของแผ่นฮีตเตอร์อยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส
7. จัดวางแท่งโลหะให้สัมผัสกับฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนกับโลหะทองแดงที่ปลายด้านหนึ่ง และเก็บข้อมูลอุณหภูมิทุก 10 นาทีที่แต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะตามระยะห่าง 2 เซนติเมตรในแนวเดียวกัน เก็บข้อมูลจนเมื่ออุณหภูมิแต่ละตำแหน่งคงที่โดยใช้เวลา 60 นาที
8. ทำการทดลองโลหะทองแดงซ้ำอีก 3 ครั้ง และนำค่าอุณหภูมิของแต่ละตำแหน่งของทองแดงมาหาค่าเฉลี่ย (T_{Ave}) ค่าคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ (Error) และเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย (Percentage Error)

9. นำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งที่เวลา 60 นาที มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT) และระยะห่างแต่ละตำแหน่ง (Δx) จากนั้นหาค่าความชัน ($\frac{\Delta T}{\Delta x}$) และนำมาคำนวณหาค่าการนำความร้อน (k) จากสมการ

$$k = -\frac{Q}{A\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)} \quad (3.1)$$

10. นำค่าการนำความร้อน (k) ของทองแดงจากการทดลองมาเทียบกับความร้อนมาตรฐาน และหาค่าคลาดเคลื่อนของค่าการนำความร้อนของทองแดงจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{k_t - k_m}{k_t} \right| \times 100 \quad (3.2)$$

โดย k_t คือ ค่าการนำความร้อนจริง (True value)

k_m คือ ค่าการนำความร้อนจากการทดลอง (Measure value)

11. จากนั้นทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1 - ข้อ 10 แต่เปลี่ยนจากแท่งโลหะทองแดงเป็นแท่งโลหะอะลูมิเนียม
12. สรุปผลและอภิปรายผลจากการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ จากที่ผู้วิจัย ออกแบบและสร้างชุดการทดลองได้ผลการการวิจัย ดังนี้

ผลการสร้างชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ

1. ชุดโลหะทดสอบ

โลหะแท่งทองแดงและอะลูมิเนียมที่ได้ทำการเจาะรูสำหรับใส่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 จำนวน 4 รูแสดงในภาพที่ 12 จากนั้นหุ้มฉนวนกันความร้อนให้กับแท่งโลหะประกอบการหุ้มด้วย แผ่นยางแสดงในภาพที่ 13 และหุ้มด้วยแผ่นโฟม ที่เจาะช่องใส่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และฮีตเตอร์ให้ความร้อนแสดงในภาพที่ 14 ชุดโลหะทดสอบที่มีการหุ้มด้วยแผ่นยางและแผ่นโฟมสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อนและ มีช่องสำหรับใส่เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและฮีตเตอร์แสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 12 แท่งโลหะทองแดงและแท่งโลหะอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 13 การหุ้มแท่งโลหะด้วยยางหุ้มท่อแอร์



ภาพที่ 14 ฉนวนของแท่งโลหะ



ภาพที่ 15 แท่งโลหะทดสอบที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน

2. ชุดให้ความร้อน

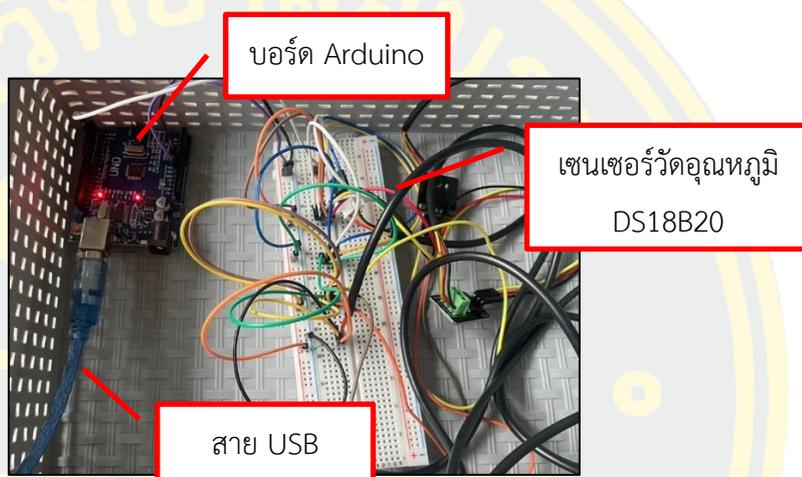
ชุดให้ความร้อนที่มีการนำแผ่นฮีตเตอร์ต่อวงจรเข้ากับหม้อแปลงและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ STC-1000 และต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิฮีตเตอร์ตามภาพที่ 16 ชุดให้ความร้อนนี้สามารถให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิแผ่นฮีตเตอร์ได้ผ่านการควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ STC-1000



ภาพที่ 16 การต่อวงจรชุดให้ความร้อนแกโลหะ

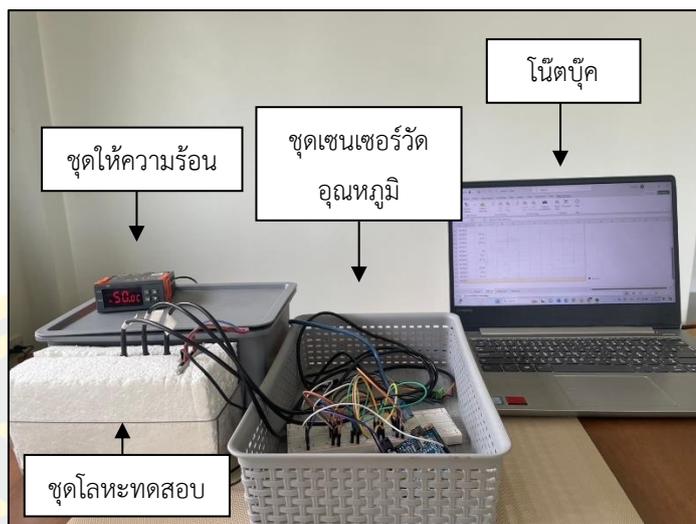
3. ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิประกอบด้วยวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ที่ต่อเข้ากับบอร์ด Arduino และต่อสาย USB จากบอร์ด Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กแสดงในภาพที่ 17 เซนเซอร์วัดอุณหภูมินี้สามารถวัดอุณหภูมิ รับข้อมูลอุณหภูมิของแท่งโลหะและแสดงผลค่าอุณหภูมิของแท่งโลหะที่วัดได้ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก



ภาพที่ 17 ชุดวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแท่งโลหะ

เมื่อนำอุปกรณ์แต่ละชุดมาประกอบรวมกันจะได้ชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะดังภาพที่ 18 ซึ่งชุดทดลองนี้สามารถให้ความร้อนผ่านฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิคงที่กับโลหะได้ พร้อมทั้งสามารถวัดค่าอุณหภูมิที่แต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะส่งข้อมูลมายังบอร์ด Arduino และแสดงผลขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กได้ เมื่อนำผลของอุณหภูมิที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะแต่ละตำแหน่ง หาค่าความชันของกราฟ จะสามารถนำไปคำนวณหาค่าการนำความร้อนของโลหะ (k) ได้



ภาพที่ 18 ชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะที่สร้างขึ้น

การหาค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน (Q) ที่ให้กับโลหะ

ในการทดลองหาค่าการนำความร้อนของโลหะ (k) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ความร้อนที่ให้กับโลหะหรืออัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อน (Q) หาได้จากกำลังไฟฟ้า (P) ที่ให้กับฮีตเตอร์ซึ่งสามารถหาได้จากแรงดันไฟฟ้า (V) จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ต่อกับฮีตเตอร์ และกระแสไฟฟ้า (I) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$P = VI \quad (4.1)$$

เมื่อให้ความร้อนกับฮีตเตอร์ในการทดลองหาค่าการนำความร้อนจะควบคุมอุณหภูมิของแผ่นฮีตเตอร์ให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ผ่านตัวควบคุมอุณหภูมิ STC-1000 จากนั้นนำมัลติมิเตอร์มาวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้เป็น 0.13 แอมแปร์ และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้เป็น 46.3 โวลต์ ทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้า (P) เท่ากับ 6.0 วัตต์ ซึ่งให้มีค่าเท่ากับอัตราการนำความร้อน (Q) โดยเงื่อนไขการทดลองนี้ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนกับโลหะมีอุณหภูมิคงที่ จึงถือได้ว่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ให้กับโลหะมีค่าคงที่



ภาพที่ 19 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากแผ่นฮีตเตอร์

การหาค่าการนำความร้อนของโลหะ (k) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

จากชุดทดลองการหาค่าการนำความร้อนของโลหะที่สร้างขึ้น ใช้ตัวอย่างทดสอบคือแท่งทองแดงและอลูมิเนียมในการหาค่าการนำความร้อน (k) โดยได้ผลการทดลองดังนี้

- การหาค่าการนำความร้อนของทองแดง

จากการทดลองการหาค่าการนำความร้อนของแท่งโลหะทองแดง โดยให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งของแท่งโลหะทองแดงผ่านฮีตเตอร์ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งห่างจากตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 1 เป็นระยะ 0.02 เมตร ให้เป็น T_1 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 2 เป็นระยะ 0.04 เมตร ให้เป็น T_2 และตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 3 เป็นระยะ 0.06 เมตร ให้เป็น T_3 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของแท่งโลหะที่มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ตำแหน่ง จะแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊กดังภาพที่ 20

Time (min)	T ₁ (°C)	Error (°C)	Percentage Error (%)	T ₂ (°C)	Error (°C)	Percentage Error (%)	T ₃ (°C)	Error (°C)	Percentage Error (%)
0	30.41	1.04	3.43	30.00	1.00	3.33	29.75	1.06	3.56
10	39.69	1.56	3.94	39.17	1.67	4.26	37.74	1.36	3.60
20	44.17	0.73	1.65	43.50	0.50	1.15	42.06	0.81	1.93
30	46.06	0.38	0.82	45.50	0.50	1.10	43.96	0.23	0.52
40	46.90	0.40	0.85	46.33	0.33	0.72	44.87	0.21	0.47
50	47.31	0.56	1.19	46.67	0.67	1.43	45.29	0.54	1.20
60	47.53	0.33	0.70	46.83	0.33	0.71	45.54	0.37	0.81

ภาพที่ 20 ตัวอย่างแสดงการวัดค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงในแต่ละตำแหน่ง

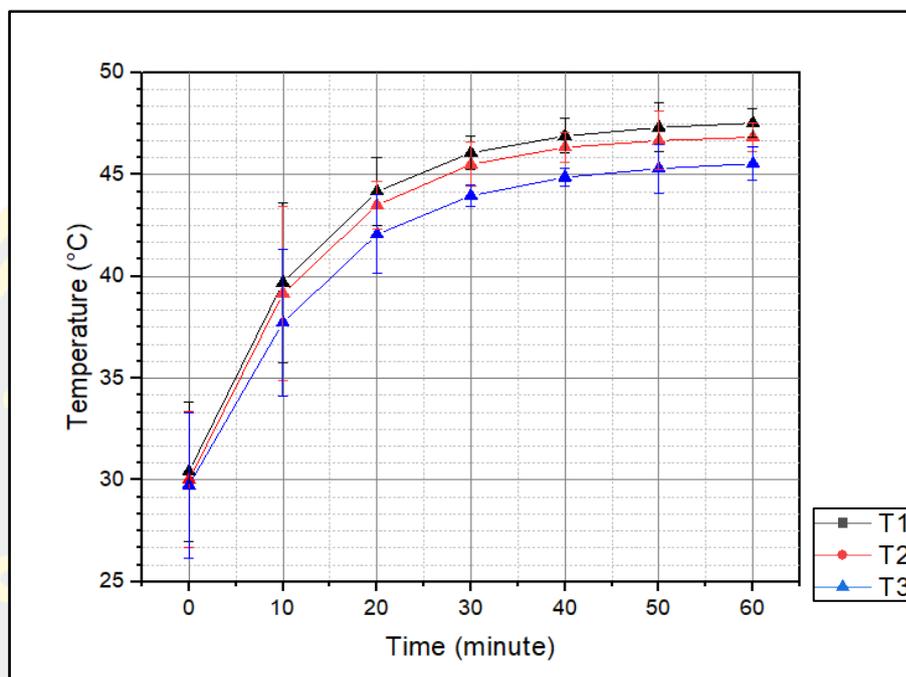
เมื่อได้ผลของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งในเวลา 60 นาที โดยทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้กับค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (T_{Ave}) ค่าคลาดเคลื่อน (Error) และค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (Percentage Error) แต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงจากการทดลองในเวลา 60 นาที

Time (min)	T ₁			T ₂			T ₃		
	T _{1Ave} (°C.)	Error	Percentage Error (%)	T _{2Ave} (°C.)	Error	Percentage Error (%)	T _{3Ave} (°C.)	Error	Percentage Error (%)
0	30.41	1.04	3.43	30.00	1.00	3.33	29.75	1.06	3.56
10	39.69	1.56	3.94	39.17	1.67	4.26	37.74	1.36	3.60
20	44.17	0.73	1.65	43.50	0.50	1.15	42.06	0.81	1.93
30	46.06	0.38	0.82	45.50	0.50	1.10	43.96	0.23	0.52
40	46.90	0.40	0.85	46.33	0.33	0.72	44.87	0.21	0.47
50	47.31	0.56	1.19	46.67	0.67	1.43	45.29	0.54	1.20
60	47.53	0.33	0.70	46.83	0.33	0.71	45.54	0.37	0.81

จากตารางที่ 3 แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้กับค่าเฉลี่ย และเมื่อนำค่าจากตารางมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งกับเวลาได้ดังภาพที่ 21

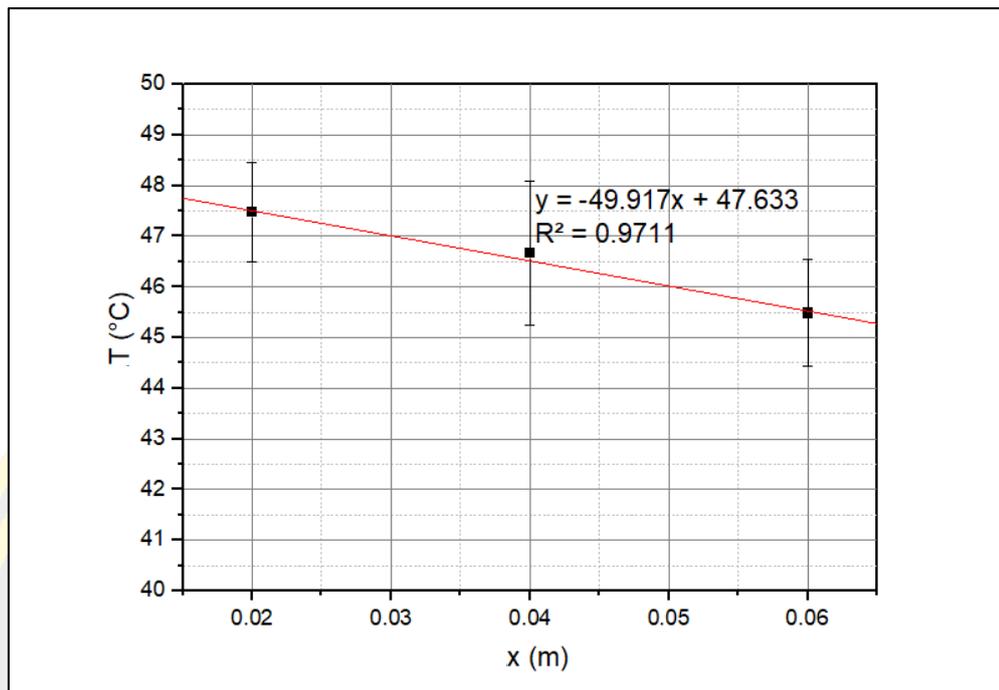
จากตารางที่ 3 แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้กับค่าเฉลี่ย และเมื่อนำค่าจากตารางมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งกับเวลาได้ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งกับเวลาของแท่งโลหะทองแดง

จากภาพที่ 21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ความร้อนกับแท่งโลหะทองแดงที่ปลายด้านหนึ่ง เวลาผ่านไปอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งเพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 1 (T_1) สูงกว่าอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 2 (T_2) และอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 (T_3) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมิมีผลกับระยะแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดง เมื่อระยะห่างมากขึ้นอุณหภูมิที่วัดได้ลดลง

และเมื่อให้ความร้อนกับแท่งทองแดงจนเวลาผ่านไป 50 - 60 นาที พบว่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดงคงที่ เรียกว่าอุณหภูมิของระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) ซึ่งข้อมูลในช่วงนี้จึงสามารถนำมาหาค่าการนำความร้อนได้ จึงนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 60 นาที มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่กับระยะแต่ละตำแหน่งตามภาพที่ 22 เพื่อหาความชันของกราฟ (slope)



ภาพที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T) ของแท่งโลหะทองแดง ที่ระยะห่างจากฮีตเตอร์ (x) แตกต่างกัน ในการทดลองที่เวลา 60 นาที

จากภาพที่ 22 จะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่กับระยะแต่ละตำแหน่ง มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น เมื่อระยะห่างแต่ละตำแหน่งมากขึ้นอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าลดลง โดยจากการทดลองนี้เพื่อหาค่าการนำความร้อนของทองแดงซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$k = -\frac{Q}{A\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)} \quad (4.2)$$

จะได้

$$k = -\frac{Q}{A(\text{slope})} \quad (4.3)$$

เมื่อนำค่า slope = - 49.917 จากกราฟตามภาพที่ 22 ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ให้กับทองแดง (Q) = 6.0 วัตต์ และพื้นที่หน้าตัดที่ได้รับพลังงานความร้อน (A) = 0.000314 ตารางเมตร มาแทนค่าเพื่อหาค่าการนำความร้อนของทองแดงตามสมการที่ (4-3)

จะได้

$$k = -\frac{6.0}{(0.000314)(-49.917)}$$

$$k = 382.85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

ดังนั้น ค่าการนำความร้อนของทองแดงจากการทดลองเท่ากับ 382.85 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส
ค่าการนำความร้อนมาตรฐานของทองแดงเท่ากับ 397.00 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส
(Raymond A. Serway, 2008)

เมื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสมการ

$$\text{จาก} \quad \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{k_t - k_m}{k_t} \right| \times 100$$

$$\text{แทนค่า} \quad \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{397.00 - 382.85}{397.00} \right| \times 100$$

จะได้ค่าความคลาดเคลื่อน 3.56 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจากการทดลองการหาค่าการนำความร้อนของโลหะทองแดงนี้ได้ค่าการนำความร้อนของทองแดงจากการทดลอง 382.85 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าการนำความร้อนของทองแดงมาตรฐานเป็น 3.56 เปอร์เซ็นต์

- การหาค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียม

จากการทดลองการหาค่าการนำความร้อนของแท่งโลหะอะลูมิเนียม โดยให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียมผ่านฮีตเตอร์ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งห่างจากตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 1 เป็นระยะ 0.02 เมตร ให้เป็น T_1 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 2 เป็นระยะ 0.04 เมตร ให้เป็น T_2 และตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ 3 เป็นระยะ 0.06 เมตร ให้เป็น T_3 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัดอุณหภูมิของแท่งโลหะที่มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ตำแหน่ง จะแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กดังภาพที่ 23

Row	Column A (Time)	Column B (Temperature)
90	59:23.5	42.56
91	59:23.5	
92	04:24.2	45.81
93	04:24.2	44
94	04:24.3	42.88
95	04:24.3	
96	09:25.0	45.94
97	09:25.0	44.5
98	09:25.1	43.06
99	09:25.1	
100	14:25.8	46.25
101	14:25.8	44.5
102	14:25.9	43.19
103	14:25.9	
104	19:26.6	46.5
105	19:26.6	44.5
106	19:26.7	43.5
107	19:26.7	

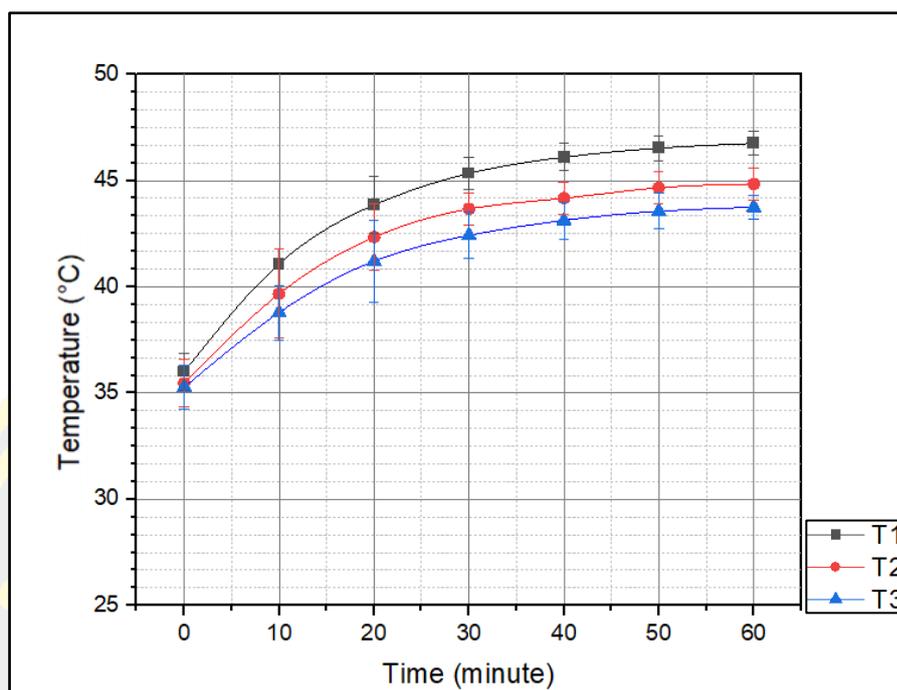
ภาพที่ 23 ตัวอย่างแสดงการวัดค่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งโลหะอะลูมิเนียมในแต่ละตำแหน่ง

เมื่อได้ผลของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งในเวลา 60 นาที โดยทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้กับค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (T_{Ave}) ค่าคลาดเคลื่อน (Error) และค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน (Percentage Error) แต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียมจากการทดลองในเวลา 60 นาที

Time (min)	T_1			T_2			T_3		
	T_{1Ave} (°C)	Error	Percentage Error (%)	T_{2Ave} (°C)	Error	Percentage Error (%)	T_{3Ave} (°C)	Error	Percentage Error (%)
0	36.00	0.31	0.86	35.45	0.39	1.11	35.27	0.36	1.01
10	40.42	0.54	0.20	39.67	0.83	2.10	39.13	0.50	1.29
20	43.85	0.59	1.34	42.33	0.67	1.57	41.21	0.79	1.93
30	45.33	0.33	0.74	43.67	0.33	0.76	42.42	0.46	1.08
40	46.10	0.29	0.64	44.17	0.33	0.75	43.13	0.37	0.87
50	46.52	0.27	0.59	44.67	0.33	0.75	43.56	0.37	0.84
60	46.75	0.25	0.54	44.83	0.33	0.74	43.74	0.24	0.56

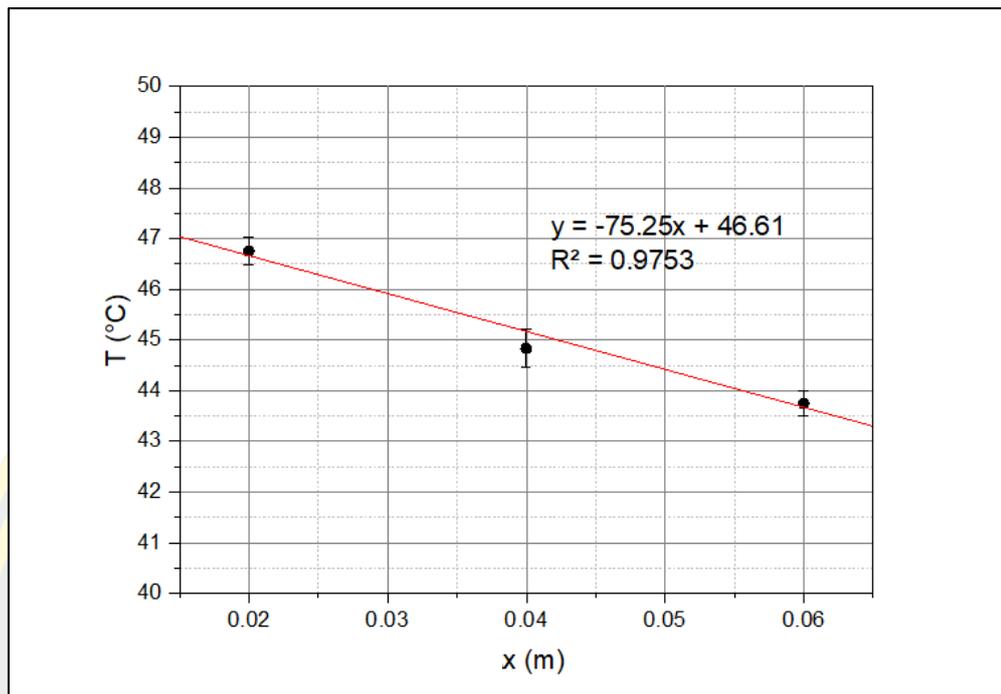
จากตารางที่ 4 แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียมและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้กับค่าเฉลี่ย และเมื่อนำค่าจากตารางมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งกับเวลาได้ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง
กับเวลาของแท่งโลหะอะลูมิเนียม

จากภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ความร้อนกับแท่งโลหะอะลูมิเนียมที่ปลายด้านหนึ่ง เวลาผ่านไปอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งเพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 1 (T_1) สูงกว่าอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 2 (T_2) และอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 (T_3) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมิมีผลกับระยะแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียม เมื่อระยะห่างมากขึ้นอุณหภูมิที่วัดได้ลดลง

และเมื่อให้ความร้อนกับแท่งโลหะอะลูมิเนียมจนเวลาผ่านไป 50 - 60 นาที พบว่าอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียมคงที่ เรียกได้ว่าอุณหภูมิของระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) ซึ่งข้อมูลในช่วงนี้จึงสามารถนำมาหาค่าการนำความร้อนได้ จึงนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เวลา 60 นาที มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่กับระยะแต่ละตำแหน่งตามภาพที่ 25 เพื่อหาความชันของกราฟ (slope)



ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T) ของแท่งโลหะอะลูมิเนียม ที่ระยะห่างจากฮีตเตอร์ (x) แตกต่างกัน ในการทดลองที่เวลา 60 นาที

จากภาพที่ 25 จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ที่ระยะแต่ละตำแหน่ง มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น เมื่อระยะห่างแต่ละตำแหน่งมากขึ้นอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าลดลง โดยจากการทดลองนี้เพื่อหาค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$k = -\frac{Q}{A\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right)} \quad (4.2)$$

จะได้

$$k = -\frac{Q}{A(\text{slope})} \quad (4.3)$$

เมื่อนำค่า slope = - 75.25 จากกราฟตามภาพที่ 25 ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ให้กับอะลูมิเนียม (Q) = 6.0 วัตต์ และพื้นที่หน้าตัดที่ได้รับพลังงานความร้อน (A) = 0.000314 ตารางเมตร มาแทนค่าเพื่อหาค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมตามสมการที่ (4-3)

จะได้

$$k = -\frac{6.0}{(0.000314)(-75.25)}$$

$$k = 253.93 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

ดังนั้น ค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมจากการทดลองเท่ากับ 253.93 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส

ค่าการนำความร้อนมาตรฐานของอะลูมิเนียมเท่ากับ 238.00 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส (Raymond A. Serway, 2008)

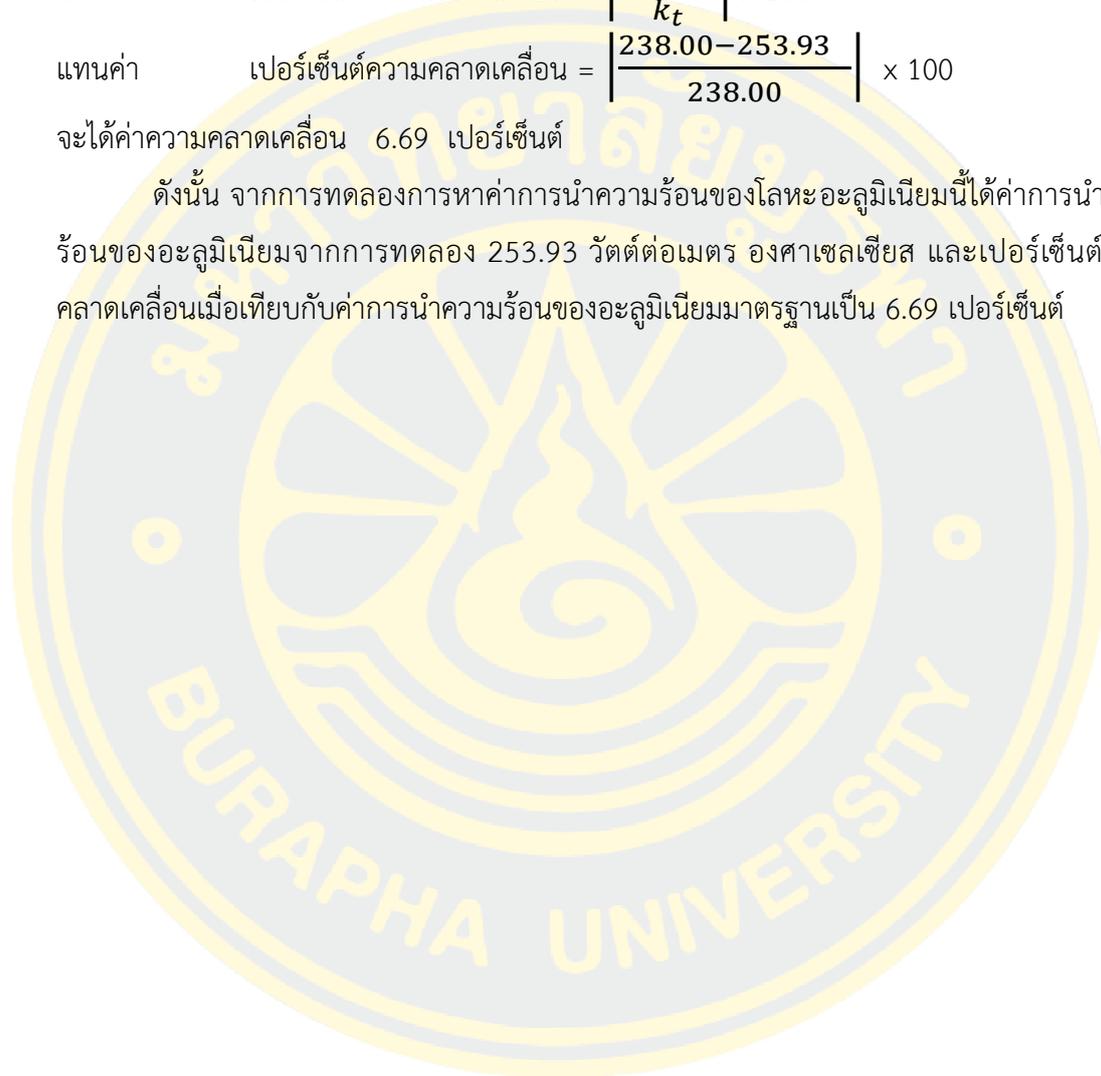
เมื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสมการ

$$\text{จาก} \quad \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{k_t - k_m}{k_t} \right| \times 100$$

$$\text{แทนค่า} \quad \text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{238.00 - 253.93}{238.00} \right| \times 100$$

จะได้ค่าความคลาดเคลื่อน 6.69 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น จากการทดลองการหาค่าการนำความร้อนของโลหะอะลูมิเนียมนี้ได้ค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมจากการทดลอง 253.93 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมมาตรฐานเป็น 6.69 เปอร์เซ็นต์



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะซึ่งใช้โลหะสองชนิดในการทดสอบคือทองแดงและอะลูมิเนียม โดยมีรายละเอียดการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่างๆ ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ชุดการทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีส่วนประกอบหลักคือ ชุดโลหะทดสอบเป็นส่วนที่มีแท่งโลหะที่ใช้ในการหาค่าการนำความร้อนซึ่งมีการหุ้มฉนวนด้วยยางหุ้มท่อแอร์และแผ่นโฟม ชุดให้ความร้อนที่มีฮีตเตอร์ในการให้ความร้อนกับโลหะทดสอบซึ่งต่อกับหม้อแปลงและเครื่องควบคุมอุณหภูมิทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ได้ และชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะต่อเข้ากับบอร์ด Arduino และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิของแท่งโลหะที่วัดได้ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เมื่อให้ความร้อนกับโลหะจะเกิดการนำความร้อนผ่านแท่งโลหะจากบริเวณที่อุณหภูมิสูงไปยังไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และอุณหภูมิจะลดลงตามระยะทางที่ความร้อนไหลผ่าน และเมื่ออุณหภูมิคงที่สามารถนำมาหาค่าการนำความร้อนได้

ผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งที่วัดได้จากชุดทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิของแท่งโลหะที่วัดได้แต่ละตำแหน่งคงที่ โดยทดลอง 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ระบุอยู่ในสถานะคงที่ (ΔT) กับระยะแต่ละตำแหน่งของโลหะ (Δx) และนำค่าความชันที่ได้มาคำนวณหาค่าการนำความร้อนของโลหะทั้ง 2 ชนิดได้ ได้ดังนี้ ค่าการนำความร้อนของทองแดงเท่ากับ 382.85 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของทองแดงพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 3.56 เปอร์เซ็นต์ ค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมเท่ากับ 253.93 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของอะลูมิเนียมพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 6.69 เปอร์เซ็นต์

อภิปรายผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนสามารถหาค่าการนำความร้อนของโลหะได้ใกล้เคียงกับค่าการนำความร้อนมาตรฐานของโลหะ เป็นไปตามกฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์ (Fourier's law of heat conduction) คือเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งที่สัมผัสกัน อุณหภูมิจะลดลงตามระยะทางที่ความร้อนไหลผ่าน ขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) ซึ่งถ้าค่าวัสดุมีค่าการนำความร้อนสูง การลดลงของอุณหภูมิขณะที่ความร้อนไหลผ่านจะต่ำ แต่ถ้าวัตถุใดมีค่าการนำความร้อนต่ำ การลดลงของอุณหภูมิขณะที่ความร้อนไหลผ่านก็สูง จากการทดลองทองแดงมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าอะลูมิเนียม แสดงให้เห็นว่าทองแดงมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดีกว่าอะลูมิเนียม ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานทองแดงมีค่าคลาดเคลื่อน 3.56 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียมมีค่าคลาดเคลื่อน 6.69 เปอร์เซ็นต์ คาดว่ามีผลจากการสูญเสียความร้อนจากระบบให้กับสิ่งแวดล้อมทำให้พลังงานความร้อนที่ได้รับจากฮีตเตอร์ไม่สามารถถ่ายโอนไปให้กับโลหะได้ทั้งหมด นอกจากนั้นการแผ่รังสีความร้อนยังมีผลต่อการทดลองเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของอะลูมิเนียมมีค่ามากกว่าทองแดงจึงส่งผลทำให้อะลูมิเนียมมีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนได้มากกว่าทองแดง และอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเป็นอะลูมิเนียมชนิดที่ใช้ทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งมีการเจือธาตุโลหะชนิดอื่นๆเพิ่มเติมทำให้ส่งผลต่อค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมที่ทดลองได้ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากค่ามาตรฐานของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์

ผลการวิจัยจากชุดทดลองสำหรับหาค่าการนำความร้อนของโลหะที่สร้างขึ้นมีค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ และเนื่องจากเป็นชุดทดลองที่สร้างจากวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ทั่วไป มีวิธีการสร้างและทดลองที่ไม่ยุ่งยาก สะดวกต่อการพกพา จึงสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อหาค่าการนำความร้อนของโลหะในชั้นเรียน และเป็นแนวทางในการศึกษาเรื่องการนำความร้อนที่เป็นไปตามกฎการนำความร้อนของฟูรีเยร์

ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนในส่วนของชุดโลหะทดสอบให้มีความคงทนต่อการใช้งานมากขึ้น ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำเป็นฉนวนมีความคงทนมากขึ้น เนื่องจากยังใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ทั่วไปจึงมีความไม่คงทนอาจทำให้อุปกรณ์ไม่แน่นหนามากนัก

2. เจาะรูบนโลหะให้พอดีกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิจากการวัดได้แม่นยำ

3. จัดชุดทดลองให้ฮีตเตอร์แนบชิดกับแท่งโลหะเพื่อให้ส่งผ่านความร้อนได้มากที่สุด

4. ใช้อุปกรณ์ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ให้กับฮีตเตอร์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น เช่น วัดต์

มิเตอร์

5. สามารถนำชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนไปศึกษาเป็นแนวทางในการหาค่าการนำความร้อนของโลหะชนิดอื่นได้ หรือพัฒนาต่อยอดเพื่อศึกษาในเรื่องการถ่ายโอนความร้อนต่อไป



ภาคผนวก

ตารางผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะทองแดง
เมื่อให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งโดยใช้เวลา 60 นาที

การทดลองครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
0	31.12	30.5	30.44
10	40.5	40	38.44
20	44.69	44	42.5
30	46.44	46	44.19
40	47.06	46.5	44.89
50	47.5	47	45.5
60	47.56	47	45.63

การทดลองครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
0	29.37	29	28.69
10	38.13	37.5	36.38
20	43.44	43	41.25
30	46	45.5	43.88
40	47.13	46.5	45.06
50	47.69	47	45.63
60	47.84	47	45.81

การทดลองครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
0	30.75	30.5	30.12
10	40.45	40	38.4
20	44.38	43.5	42.44
30	45.75	45	43.81
40	46.5	46	44.66
50	46.75	46	44.75
60	47.2	46.5	45.17

ตารางผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งของแท่งโลหะอะลูมิเนียม
เมื่อให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งโดยใช้เวลา 60 นาที

การทดลองครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
0	36	35.5	35.19
10	39.88	39.5	38.75
20	43.31	42	40.81
30	45	43.5	42.2
40	45.81	44	42.88
50	46.25	44.5	43.19
60	46.5	44.5	43.5

การทดลองครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
0	36.31	35.8	35.63
10	40.5	40.5	39.63
20	44.44	43	42
30	45.56	44	42.88
40	46.25	44.5	43.5
50	46.63	45	43.78
60	46.88	45	43.88

การทดลองครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	t_1 (°C)	t_2 (°C)	t_3 (°C)
0	35.69	35.06	35
10	40.88	39	39
20	43.81	42	40.81
30	45.44	43.5	42.19
40	46.25	44	43
50	46.69	44.5	43.7
60	46.88	45	43.85

**โค้ดสำหรับสั่งการเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20
ของชุดทดลองสำหรับการหาค่าการนำความร้อนของโลหะ**

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// กำหนด one wire bus ต่อ Data เข้า pin 2 ของ Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2
// Setup OneWire เพื่อสื่อสารกับ Arduino
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// ตั้งชื่อเซนเซอร์เป็น DSTEMP และอ้างอิง OneWire ไปยังไลบรารี DallasTemperature
DallasTemperature DSTEMP(&oneWire);
void setup(void){
  Serial.begin(9600);
  DSTEMP.begin(); // DSTEMP เริ่มทำงาน
}
void loop(void){
  // ส่งคำสั่งขอข้อมูลอุณหภูมิ
  DSTEMP.requestTemperatures();
  // แสดงค่าในหน่วย Celsius ของตัวที่ 1
  Serial.println(DSTEMP.getTempCByIndex(0) );
  // แสดงค่าในหน่วย Celsius ของตัวที่ 2
  Serial.println(DSTEMP.getTempCByIndex(1) );
  // แสดงค่าในหน่วย Celsius ของตัวที่ 3
  Serial.println(DSTEMP.getTempCByIndex(2) );
  Serial.println("");
  delay(300000);
}

```

บรรณานุกรม

- ฐาปนพงษ์ ทะนันชัย. (2555). *การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาฟิสิกส์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วีรวัฒน์ ไกรทองสุข. (2548). *การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ*. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, คณะครุศาสตร์เครื่องกล, สาขาวิชาเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ผศ.ดร.วีระพันธ์ ดั่งทองสุข. (2560). *การถ่ายเทความร้อน HEAT TRANSFER*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ Saroj Digital Print & Copy Center.
- สุวิทย์ นามมหาจักร. (2557). *ฟิสิกส์อุณหพลศาสตร์ Thermal Physics*. อุตรธานี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี.
- ธนยศ อิริสรियวงศ์. (2562). *การศึกษาทดลองการจัดการความร้อนของหลอดแอลอีดีกำลังสูงโดยใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนแบบน้ำร่วมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก*, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- Cengel, Yonus A. (2017). *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences (FIFTH EDITION)*. New York: McGraw-Hill Education.
- Serway, R.A., & Jewett, J.W. (2008). *Physics for Scientist and engineers (7th ed.)*. Belmont CA: Thomson Brooks/Cole.
- Mohd Yurzie Nazierul bin Yahayaa, Normayati bte Nordinb (2010). *The Development of Thermal Conductivity Measurement Apparatus*. University Tun Hussein Onn Malaysia
- RobotSiam. (2023). Arduino Basic. Retrieved from <http://www.arduino-makerzone.com/article/1/arduino-basic-ep0-arduino-basic-ep0-arduino-คืออะไร-ทำอะไรได้-มีกี่แบบ>
- Allnewstep. (2023). วิธีการใช้งานเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 Temperature Sensor. Retrieved from <https://www.allnewstep.com/article/363/111-สอน-arduino-วิธีการใช้งาน-เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบกันน้ำ-ds18b20-waterproof-temperature-sensor>



ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวพิชาภัค ชำนาญมนต์
วัน เดือน ปี เกิด 3 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 555/1 หมู่ 5 ตำบล เชียงพิณ อำเภอ เมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน ครู โรงเรียนหนองหานวิทยา
ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

