



การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ



ไกรสิทธิ์ ศุภโสภางค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ



ไกรสิทธิ์ ศุภโสภางค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

Design and fabrication of an experimental set up for measuring the resistivity of
metals



KRAISIT SUPASOPAPONG

A THESIS 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

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ไกรสิทธิ์ ศุภโสภภาพงศ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคง
สกุล)

..... กรรมการ

(ดร.อรรถพล เขยสุภเกตต์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ่มเอี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

64920763: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: สภาพต้านทานไฟฟ้า, อาดุยโน้, อุนหนุมิ, สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า

ไกรสิทธิ์ ศุภโสภภาพงศ์ : การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ. (Design and fabrication of an experimental set up for measuring the resistivity of metals) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: รัตนสถา รัตน์ ป.ศ. 2567.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นใช้บอร์ด Arduino UNO microcontroller เก็บค่าข้อมูล ผลลัพธ์ของอุณหภูมิ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดโลหะ นอกจากนี้ใช้ IC LM317 เป็นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าในวงจร ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าของวงจรจะนำมาใช้คำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ จะใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ ผลการทดลองพบว่าโลหะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงเป็น 1.67×10^{-8} โอห์ม.เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงมีค่าเป็น 0.00369 ต่อองศาเซลเซียส และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.40 เปอร์เซ็นต์ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมเป็น 2.59×10^{-8} โอห์ม.เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 8.16 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมมีค่าเป็น 0.00358 ต่อองศาเซลเซียส และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 8.21 เปอร์เซ็นต์ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองเป็น 6.38×10^{-8} โอห์ม.เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองมีค่าเป็น 0.00167 ต่อองศาเซลเซียส และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 11.80 เปอร์เซ็นต์

64920763: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: resistivity arduino temperature temperature coefficient of resistivity

KRAISIT SUPASOPAPONG : DESIGN AND FABRICATION OF AN EXPERIMENTAL SET UP FOR MEASURING THE RESISTIVITY OF METALS. ADVISORY COMMITTEE: TANATTHA RATTANA, 2024.

The objective of this research was the design and fabrication of an experimental setup to measure the resistivity of various metal wires. The experimental setup used an Arduino UNO microcontroller board to collect data on the temperature, electric potential, and electric current of metal wire. Additionally, the IC LM317 was used to regulate the electric current in the circuit. The electrical resistance and resistivity of metal wires were calculated by measuring their electric potential and current. The obtained electrical resistivity data at different temperatures were then used to determine the temperature coefficient of the resistivity of metal wires. The results of the experiment showed that the electrical resistance of each type of metal varied and increased with the increase in temperature, while the length and cross-sectional area of the metal wire remained constant. At a temperature of 20°C, the electrical resistivity of copper wire was $1.67 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ with a percentage error of 0.60 percent. The temperature coefficient of electrical resistivity of copper wire was found to be $0.00369/^\circ C$, with a percentage error of 3.40 percent. The electrical resistivity of aluminum wire was $2.59 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ with a percentage error of 8.16 percent. The temperature coefficient of electrical resistivity of aluminum wire was found to be $0.00358/^\circ C$, with a percentage error of 8.21 percent. Finally, the electrical resistivity of brass wire was $6.38 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ with a percentage error of 0.95 percent. The temperature coefficient of electrical resistivity of brass wire was found to be $0.00167/^\circ C$, with a percentage error of 11.80 percent.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตรวจสอบแก้ไข และวิพากษ์วิจารณ์งาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียด และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล ดร.อรรถพล เซยสุภเกต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา เกตุแก้ว คณะกรรมการสอบงานวิทยานิพนธ์นี้ ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนะ เพื่อให้งานวิทยานิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือให้คำปรึกษา และสุดท้ายขอบคุณตนเองที่ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่าผู้ที่ได้อ่านงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้รับความรู้เพิ่มเติมไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้ ขอขอบคุณค่าและประโยชน์ของงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและ ประสบความสำเร็จมาจนตราบทุกวันนี้

ไกรสิทธิ์ ศุภโสภภาพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2.....	4
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้า.....	4
2.2 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า.....	7
2.3 แผงควบคุม Arduino.....	11
2.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20.....	13
2.4 แหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ (IC LM317).....	13
2.5 วิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3.....	16

วิธีดำเนินการวิจัย	16
3.1 การออกแบบและสร้างชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ	16
3.2 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น	19
3.3 การทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น	19
3.4 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ	19
บทที่ 4	21
ผลการวิจัย.....	21
4.1 ชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ	21
4.2 ผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น	21
4.3 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น	23
4.4 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ	24
บทที่ 5	34
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	35
5.3 ข้อเสนอแนะ	36
ภาคผนวก.....	37
บรรณานุกรม.....	39
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	42

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α)	6
ตารางที่ 2 ตารางแสดงชนิดของและลักษณะของเส้นลวดโลหะที่ใช้การทดลอง	20
ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจากตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า	22
ตารางที่ 4 ลักษณะของตัวอย่างเส้นลวดทองแดง	23
ตารางที่ 5 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง 0.35 มิลลิเมตร.....	24
ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองแดงในช่วงอุณหภูมิต่างๆ	25
ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงที่ได้จากการทดลอง	26
ตารางที่ 8 ลักษณะของตัวอย่างของเส้นลวดอะลูมิเนียม	27
ตารางที่ 9 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดอะลูมิเนียมยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดอะลูมิเนียม 0.51 มิลลิเมตร	28
ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดอะลูมิเนียมในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ..	28
ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดอะลูมิเนียมที่ได้จากการทดลอง	30
ตารางที่ 12 ลักษณะของตัวอย่างของเส้นลวดทองเหลือง	30
ตารางที่ 13 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองยาว 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดทองเหลือง 0.36 มิลลิเมตร.....	31
ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองเหลืองในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ..	32
ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองเหลืองที่ได้จากการทดลอง	33

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ตัวนำไฟฟ้าที่มีความยาว L และมีพื้นที่หน้าตัด A	4
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ	5
ภาพที่ 3 วงจรวิทสโตนบริดจ์.....	7
ภาพที่ 4 มัลติมิเตอร์ที่ใช้เป็นโอห์มมิเตอร์.....	9
ภาพที่ 5 วงจรแบ่งแรงดัน.....	10
ภาพที่ 6 แผงควบคุม Arduino	12
ภาพที่ 7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	13
ภาพที่ 8 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	13
ภาพที่ 9 วงจรไอซี LM 317.....	14
ภาพที่ 10 ชุดการทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้น.....	17
ภาพที่ 11 แผนผังการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ	18
ภาพที่ 12 ชุดทดลองหาค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะที่สร้างขึ้น	21
ภาพที่ 13 ตัวอย่างแสดงการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า 5.6 โอห์ม จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น	22
ภาพที่ 14 การนำลวดทองแดงจุ่มลงในกาลีเซอรอลเหลว	23
ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของลวดทองแดงที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร	26
ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของลวดอะลูมิเนียมที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร.....	29
ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของลวดทองเหลืองที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร ความยาว 3 เมตร.....	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรต่างๆ มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกบ้าน อุปกรณ์สื่อสาร คอมพิวเตอร์ หรือยานพาหนะต่างๆ โดยส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าในเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวหนึ่งที่สำคัญก็คือ ตัวต้านทานไฟฟ้า (Resistance; R) ซึ่งจะใช้ในการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรของเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้วัสดุที่เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าทุกประเภทก็มีความต้านทานไฟฟ้าในตัวเองด้วย ความต้านทานไฟฟ้าเป็นความสามารถในการต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า ถ้าความต้านทานมีปริมาณมาก กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าได้น้อย แต่ถ้าความต้านทานมีปริมาณน้อย กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าได้มาก เนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น มีการชนกันเองระหว่างอิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนชนกับอะตอมของตัวนำไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าเป็นสมบัติที่สำคัญของวัสดุของแข็งชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตัวนำไฟฟ้า สารกึ่งตัวนำไฟฟ้าและฉนวน โดยความต้านทานไฟฟ้ามักมีตัวแปรที่สำคัญคือ ความยาวและพื้นที่หน้าตัด รวมถึงสภาพต้านทานไฟฟ้าที่เป็นค่าเฉพาะของตัวนำไฟฟ้าชนิดต่างๆ โดยการหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าสามารถวัดได้หลายวิธีตัวอย่างเช่น

การหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจากวงจรบริดจ์ เพราะเป็นวิธีที่ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ แม้ในตัวนำไฟฟ้าที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก เป็นวงจรที่เข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง ในการวัดจะใช้ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ต่อขนานกัน 2 สาขา สาขาแรกประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้าปรับค่าได้ 1 ตัวและตัวต้านทานทราบค่า 1 ตัว ต่ออนุกรมกัน สาขาที่สองประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้าทราบค่า 1 ตัว และตัวนำไฟฟ้าที่ต้องการทราบค่าความต้านทานไฟฟ้า 1 ตัว ต่ออนุกรมกัน ต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง นำกัลป์วานอิมิตอร์ต่อเข้าระหว่างกลางของตัวต้านทานทั้ง 2 สาขา คอยตรวจจับกระแสไฟฟ้า เมื่อวงจรบริดจ์สมดุลจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลป์วานอิมิตอร์หรือเป็นศูนย์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าได้

การหาค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีเข็มวัด 4 จุด (Four-point probe) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ โดยเข็มคู่หนึ่งใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวัสดุทดสอบ ส่วนเข็มอีกคู่จะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุทดสอบ ด้วยลักษณะเช่นนี้สามารถตัดผลกระทบจากความ

ต้านทานไฟฟ้าของสายไฟที่ใช้วัด และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมจุดวัด จึงทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่คำนวณได้มีความแม่นยำ ถูกต้องมากขึ้น แต่เป็นวิธีที่ต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในการวัดและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้วัดและมีราคาที่สูง

การหาค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider circuit) เป็นวงจรที่ประกอบด้วยความต้านทานไฟฟ้า 2 ตัว ขึ้นไปต่ออนุกรม (Series) อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าในวงจร จะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจร โดยทั่วไปแล้ววงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าพัฒนามาจากกฎของโอห์ม เพียงแต่การคิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้า เมื่อต่อตัวนำไฟฟ้าที่ต้องการค่าความต้านทานไฟฟ้า 1 ตัวเข้ากับตัวต้านทานไฟฟ้าที่ทราบค่า 1 ตัวแบบอนุกรม จากนั้นจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจร ก็จะสามารถนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่าได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เมื่อได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีต่างๆ สามารถนำมาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าได้ โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือความยาว พื้นที่หน้าตัด และค่าความต้านทานไฟฟ้า

ในการคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้า เนื้อหาของฟิสิกส์เกี่ยวกับความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะเกี่ยวข้องกับกฎของโอห์ม ค่าสภาพต้านทานของวัสดุ ความยาวของวัสดุและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงในกรณีที่ความยาวและพื้นที่หน้าตัดยังคงเดิม ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีที่ความยาวและพื้นที่หน้าตัดยังคงเดิม โดยตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทานไฟฟ้า ประกอบด้วย ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ที่เปลี่ยนตามชนิดของวัสดุ และอุณหภูมิ ที่ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ซึ่งตัวแปรดังกล่าวไม่ได้มีการแสดงรายละเอียดในเนื้อหาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย รวมถึงไม่มีการแสดงวิธีการทดลองที่ใช้ในห้องเรียนระดับมัธยมศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานไฟฟ้ากับความยาวหรือความต้านทานไฟฟ้ากับพื้นที่หน้าตัดหรือความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจออกแบบและสร้างชุดทดลองที่สามารถหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า รวมถึงสามารถศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่ ประกอบด้วยชนิดของโลหะและอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูง หาได้ทั่วไป มีวิธีการทดลองที่ไม่ซับซ้อน และนำผลที่ได้จากชุดการทดลองเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะเพื่อพัฒนาหรือปรับปรุงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นชุดทดลองต้นแบบสำหรับนำไปใช้ในการเรียนการสอนของฟิสิกส์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ

1.2.2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.3.1. ได้ชุดทดลองที่สามารถหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ

1.3.2. สามารถศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ

1.4.2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ ประกอบด้วยชนิดของโลหะ และอุณหภูมิ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้า

ในการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้าใดๆจะมีการต้านทานการเคลื่อนที่ อาจเกิดจากการชนกันของประจุไฟฟ้า ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีสมบัติต้านทานการเคลื่อนที่ที่ต่างกันจะเรียกสมบัติในการต้านทานการเคลื่อนที่ของประจุหรือการไหลของกระแสไฟฟ้านี้ว่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistance; R) มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) โดยความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าใดๆ จะมีค่าแปรผันตามความยาวของตัวนำไฟฟ้า (L) และจะแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด (A) ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังภาพที่ 1

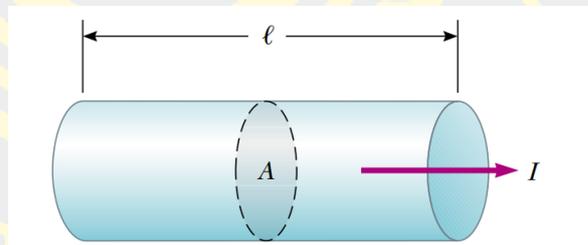
$$R \propto \frac{L}{A} \quad (2-1)$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-2)$$

โดย ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของตัวนำไฟฟ้า

L คือ ความยาว (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)



ภาพที่ 1 ตัวนำไฟฟ้าที่มีความยาว L และมีพื้นที่หน้าตัด A

(Raymond A. Serway, 2008)

2.1.1 ความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด สภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปโดยเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น สภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถเขียนสมการเป็น

$$p_T = p_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2-3)$$

โดย ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ T (องศาเซลเซียส)

ρ_0 คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า ที่อุณหภูมิอ้างอิง

T_0 คือ อุณหภูมิอ้างอิง (โดยปกติจะอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta \rho}{\Delta T} \quad (2-4)$$

เมื่อ $\Delta \rho = \rho_T - \rho_0$ เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพต้านทานไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิ $\Delta T = T - T_0$ (Raymond A. Serway, 2008)

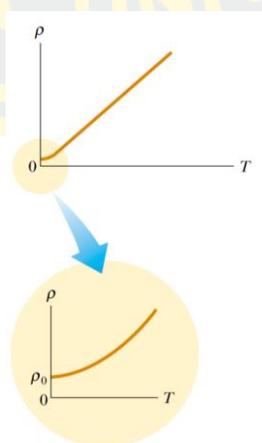
เมื่อคูณทั้งสองข้างของสมการ 2-3 ด้วย $\frac{L}{A}$ จะได้

$$\rho_T \frac{L}{A} = \rho_0 \frac{L}{A} [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2-5)$$

เมื่อ L และ A มีค่าคงที่ สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2-6)$$

ในตัวนำไฟฟ้าที่เป็นโลหะสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และความต้านทานไฟฟ้า (R) จะมีค่าแปรตามอุณหภูมิของโลหะตัวนำไฟฟ้านั้น $\rho \propto T$ และ $R \propto T$ ความสัมพันธ์ของสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ศูนย์สัมบูรณ์ ความต้านทานไฟฟ้าจะเข้าใกล้ขีดจำกัดและมีลักษณะไม่เป็นแบบเชิงเส้น แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าของโลหะตัวนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิได้ดังภาพที่ 2 และแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะตัวนำไฟฟ้าต่างๆกับสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะตัวนำไฟฟ้าต่างๆ ได้ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

(Raymond A. Serway, 2008)

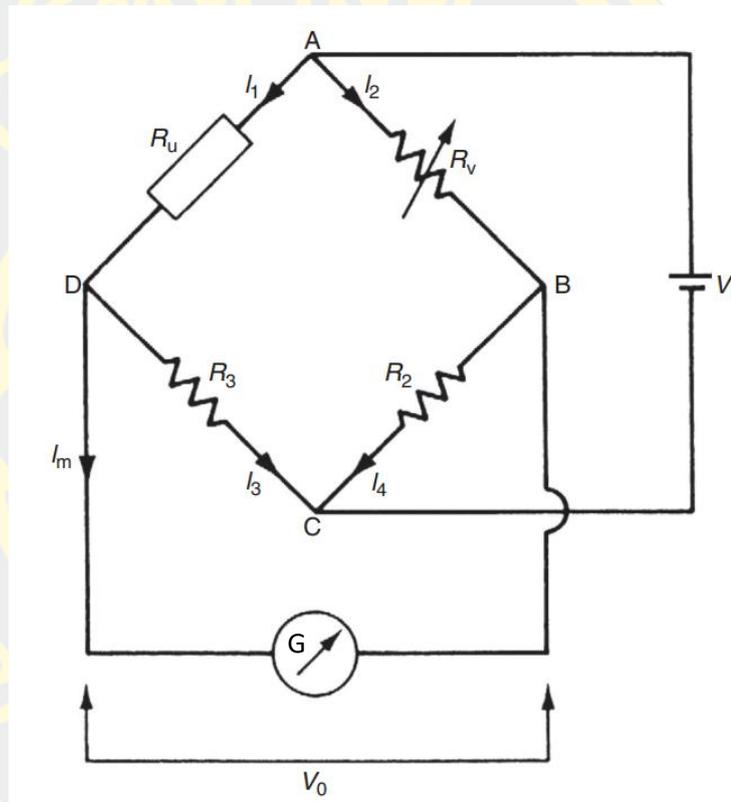
ตารางที่ 1 ตารางแสดงสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α)
(Raymond A. Serway, 2008)

วัสดุ	ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-3}$ ต่อองศาเซลเซียส)
เงิน	1.59	3.8
ทองแดง	1.70	3.82
ทอง	2.44	3.4
อลูมิเนียม	2.82	3.9
ทังสแตน	5.60	4.5
เหล็ก	10.00	5.0
ทองคำขาว	11.00	3.92
ตะกั่ว	22.00	3.9
นิกโครม	1.50	0.4
ทองเหลือง (Fickett, 1982)	6.32	1.5

2.2 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

2.2.1 วงจรบริดจ์ (Bridge circuit)

โดยทั่วไปรู้จักกันในชื่อวีสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) โดยวงจรวีสโตนบริดจ์นี้มีแขน 4 ข้างประกอบไปด้วย ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (R_u) ตัวต้านทานไฟฟ้าที่ทราบค่าสองตัว (R_2) และ (R_3) และตัวต้านทานไฟฟ้าปรับค่าได้ (R_v) โดยต่อแขนสองข้างเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และระหว่างแขนทั้งสองข้างต่อกันด้วยกัลวานอมิเตอร์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรวีสโตนบริดจ์

(Alan S. Morris, 2016)

จากภาพที่ 3 กระแสที่ไหลผ่านวงจรจะแบ่งออกเป็น I_1 และ I_2 เมื่อผ่านตัวต้านทานไฟฟ้า กระแสจะถูกแบ่งเป็น I_3 I_4 และ I_m ถ้าต้องการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของ R_u จะต้องปรับอัตราส่วนของ R_v R_2 และ R_3 จนกระทั่งกระแสที่ไหลผ่านกัลป์วานอมิเตอร์ (I_m) จะมีค่าเป็นศูนย์ หรือเป็นวงจรบริดจ์สมดุล สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$V_{R_3} = V_{R_2} \quad (2-7)$$

$$I_3 R_3 = I_4 R_2 \quad (2-8)$$

และ

$$V_{R_u} = V_{R_v} \quad (2-9)$$

$$I_1 R_u = I_2 R_v \quad (2-10)$$

เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านกัลป์วานอมิเตอร์ $I_m = 0$ แสดงว่า $I_1 = I_3$ และ $I_2 = I_4$ วงจรบริดจ์สมดุล (Balanced bridge circuit) วงจรบริดจ์ที่อยู่ในสภาพสมดุล ไม่มีกระแสไหลผ่านกัลป์วานอมิเตอร์ หรือเข็มของกัลป์วานอมิเตอร์ชี้ที่เลขศูนย์

แทนค่า I_3 ด้วย I_1 แทนค่า I_4 ด้วย I_2 ลงในสมการที่ 2-8 จะได้

$$I_1 R_3 = I_2 R_2 \quad (2-11)$$

หารสมการที่ 2-10 ด้วย สมการที่ 2-11 จะได้

$$\frac{R_u}{R_3} = \frac{R_v}{R_2} \quad (2-12)$$

หรือ

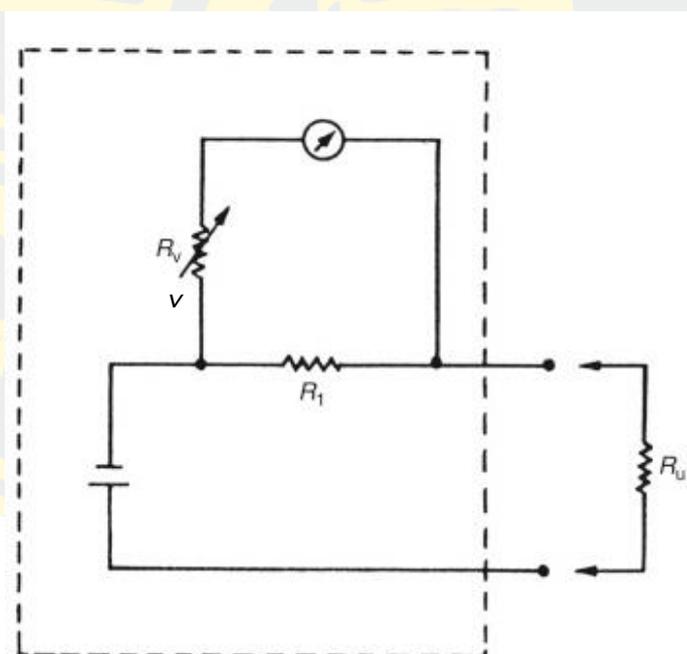
$$R_u = R_3 \frac{R_v}{R_2} \quad (2-13)$$

จากสมการ 2-13 จะสามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า R_u ได้และนำมาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (p) ได้จากสมการที่ 2-2

2.2.2 โอมมิเตอร์

โอมมิเตอร์ (Ohmmeter)

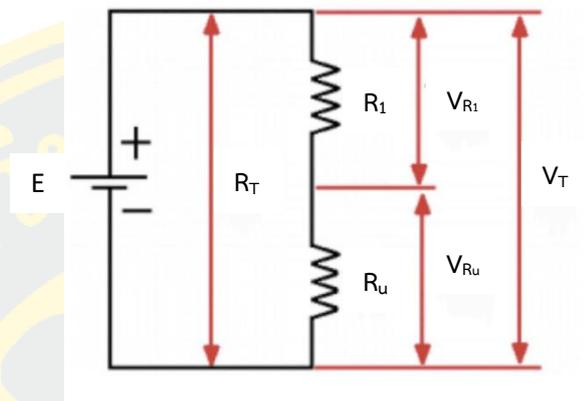
โอมมิเตอร์ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ไม่กี่มิลลิโอมไปจนถึง 50 เมกะโอม โดยปัจจุบันโอมมิเตอร์แบบใหม่จะเป็นมัลติมิเตอร์ที่สามารถวัดได้ในช่วงที่กว้างขึ้นและแม่นยำมากขึ้น โดยมีการเพิ่มตัวต้านทานไฟฟ้าปรับค่าได้ (R_v) เข้ามาก่อนเข็มวัด ต่อขนานกับตัวต้านทาน (R_1) หลักการของโอมมิเตอร์คือจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ทราบแรงดันไฟฟ้า (V) ต่ออนุกรมเข้ากับตัวต้านทานไฟฟ้าที่ทราบค่า (R_1) และตัวต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (R_u) ดังภาพที่ 4 วงจรของโอมมิเตอร์จะมีค่ากระแส (I) คงที่เท่ากันทั้งวงจรผ่านตัวต้านทานไฟฟ้าที่ทราบค่า (R_1) และตัวต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (R_u) แรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าทั้งสองจะมีค่าไม่เท่ากันโดยจะถูกแบ่งออกเป็นสัดส่วนตามกฎของโอม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการกฎของโอม ($V=IR$) และเมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าทั้งสองตัวมารวมกันจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (V) ที่ต่ออยู่ในวงจร โดยวงจรที่สำคัญที่ใช้ในโอมมิเตอร์คือ วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider circuit)



ภาพที่ 4 มัลติมิเตอร์ที่ใช้เป็นโอมมิเตอร์

(Alan S. Morris, 2016)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider circuit) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับแบ่งค่าแรงดันไฟฟ้า ออกเป็นหลายๆ ค่า เพื่อใช้เลี้ยงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในวงจร โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว โดยนำตัวต้านทานไฟฟ้า (Resistor) มาเป็นตัวแบ่งแล้วนำกฎของโอห์มมาประยุกต์ใช้ในการแบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจร ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 วงจรแบ่งแรงดัน

โดย E คือ แรงดันไฟฟ้าภายในวงจร (V)

R_1 คือ ความต้านทานไฟฟ้าตัวที่ 1 (Ω)

R_u คือ ความต้านทานไฟฟ้าตัวที่ไม่ทราบค่า (Ω)

R_T คือ ความต้านทานไฟฟารวมในวงจร (Ω)

V_{R1} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าที่ 1 (V)

V_{R_u} คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (V)

จากภาพที่ 6 สามารถหา R_T ได้จาก

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (2-14)$$

จากกฎของโอห์มสามารถหา I ได้จาก

$$I = \frac{E}{R_T} \quad (2-15)$$

และหาค่า R_1 ได้จาก

$$V = IR_1 \quad (2-16)$$

แทนค่าสมการ 2-14 ลงในสมการ 2-15 จะได้

$$V_{R_1} = E \frac{R_1}{R_T} \quad (2-17)$$

จากกฎของโอห์มและหาค่า R_u ได้จาก

$$V = IR_u \quad (2-18)$$

แทนค่าสมการ 2-14 ลงในสมการ 2-17 จะได้

$$V_{R_u} = E \frac{R_u}{R_T} \quad (2-19)$$

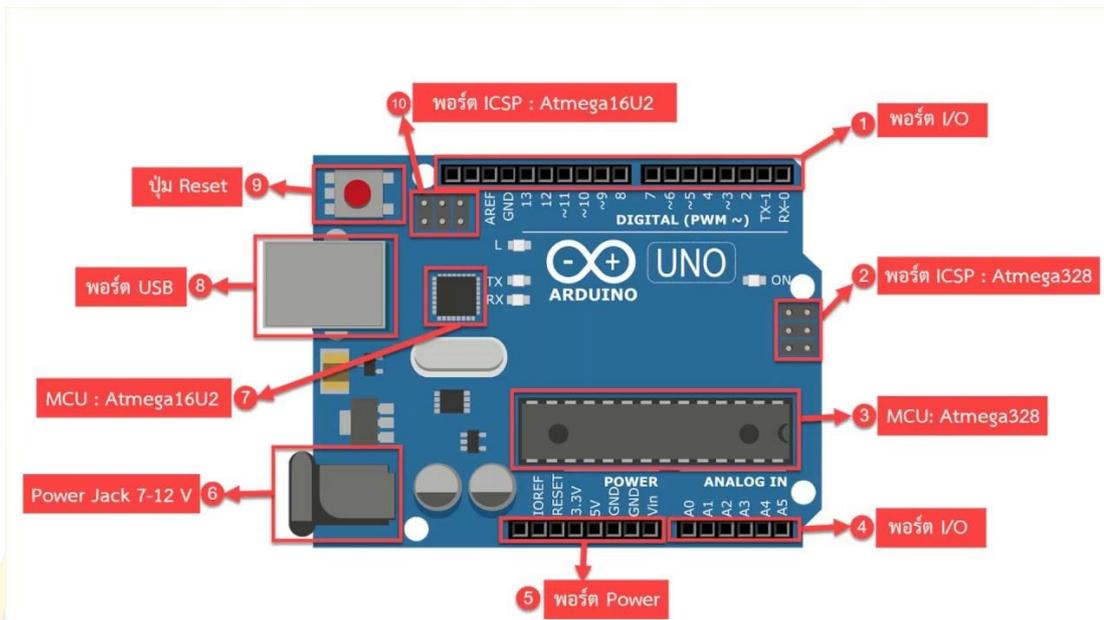
หรือ

$$R_u = \frac{V_{R_u} R_T}{E} \quad (2-20)$$

จากสมการ 2-20 เราสามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (R_u) ได้

2.3 แผงควบคุม Arduino

Arduino เป็นภาษาอิตาลี อ่านว่า "อาดูอีโน" หรือจะเรียกว่า "อาดูยโน" เป็น Open-Source Platform (แพลตฟอร์มสาธารณะ) โดยเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายต่อการใช้งาน และเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาหรือนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้สะดวก โดยส่วนประกอบของแผงควบคุม Arduino ประกอบด้วยหลายส่วน แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผงควบคุม Arduino
(Ai-corporation, 2564)

1. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆเพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin 3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
2. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
3. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
4. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
5. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
6. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
7. MCU: ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2
8. USB Port: ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับ Computer เพื่อใช้ในการอัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และใช้จ่ายไฟให้กับตัวบอร์ด
9. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset เพื่อเริ่มการทำงานใหม่
10. ICSP Port: ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

2.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

เซนเซอร์อุณหภูมิ ใช้ IC เบอร์ DS18B20 แบบกันน้ำได้ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ
(Cybertice, 2567)

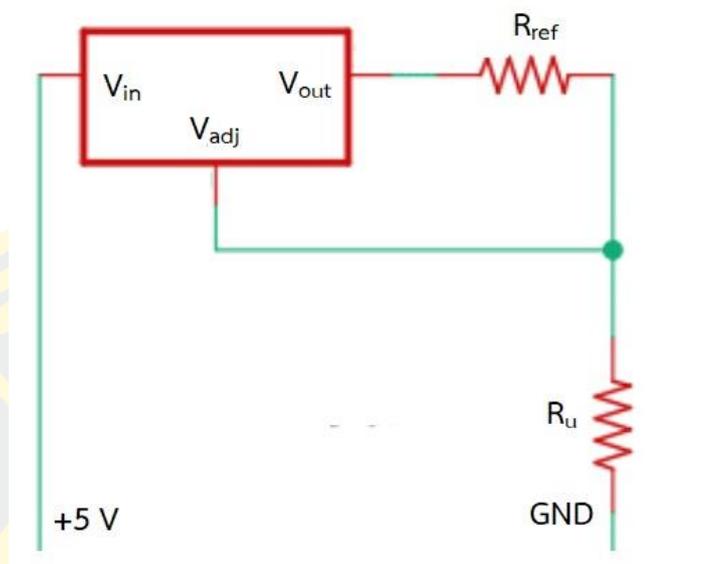
โดย DS18B20 Temperature Sensor จะใช้ขา DQ เพียงขาเดียวในการรับ/ส่งข้อมูล (1-Wire) ดังรูป DS18B20 Pinout เวลาใช้งานต้องต่อตัวต้านทาน $4.7k\Omega$ ไว้ที่ขา DQ แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
(Thaieasyelec, 2560)

2.4 แหล่งจ่ายไฟบวกเชิงเส้นแบบปรับค่าได้ (IC LM317)

ไอซี LM317 คือไอซีรักษาระดับแรงดันไฟบวกที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ ไอซี LM317 มี 3 ขา ประกอบด้วย ขาอินพุต ขาเอาต์พุต และขาปรับแรงดัน ดังภาพที่ 9 แสดงวงจรรักษาระดับแรงดันไฟบวกที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ ประกอบด้วย ไอซี LM317 และตัวต้านทานไฟฟ้า ค่าคงที่ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานไฟฟ้าแบบปรับค่าได้หรือตัวต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (R_u)



ภาพที่ 9 วงจรไอซี LM 317

(มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2553)

การทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันได้ด้วยไอซีเบอร์ LM317 อธิบายได้ดังนี้ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_1 คือแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง V_{ref} มีค่าเท่ากับ 1.25 V ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าผลต่างคงที่ระหว่าง แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V_{out}) กับแรงดันไฟฟ้าที่ขาปรับค่า (V_{adj}) กระแสไฟฟ้า I ที่ไหลผ่าน R_{ref} และ R_u จะเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$I = \frac{V_{ref}}{R_1} \quad (2-21)$$

แทนค่า V_{ref} มีค่าเท่ากับ 1.25 V และตัวต้านทานไฟฟ้า (R_{ref}) มีค่าเท่ากับ 10 โอห์ม จะได้

$$I = \frac{1.25}{10} \quad (2-22)$$

$$I = 0.125 \text{ A} \quad (2-23)$$

2.5 วิจัยที่เกี่ยวข้อง

กองค์กดี ทองบุญ (2552) ศึกษาวิจัยพัฒนาการวัดความต้านทานไฟฟ้า ที่สามารถเทียบความต้านทานไฟฟ้าสูงในระดับเทระโอห์ม โดยใช้เทคนิคการวัดแบบวิดสโตนบริดจ์ ที่พัฒนาขึ้นสามารถเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานตั้งแต่ค่า 10 กิโลโอห์ม จนถึง 1 เทระโอห์ม เทคนิคการวัดนี้ควบคุมกระบวนการวัดด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถลดความคลาดเคลื่อนการวัดและลดเวลาในการสอบเทียบลงเหลือ 2 ชั่วโมงต่อตัวต้านทานไฟฟ้า 1 ตัว

นพพร เจริญทอง (2531) ศึกษาวิจัยการเตรียมแบเรียมติตาเนต ($BaTiO_3$) โดยใช้สารตั้งต้นแบเรียมคาร์บอเนตและติตาเนียมออกไซด์ ด้วยอัตราส่วน 1:1 โมล พร้อมด้วยสารเจือต่างๆ ทำให้

มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำลงที่อุณหภูมิต่ำ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์สภาพต้านทานไฟฟ้าสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแบบเรียมิตาเนตจะมีความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีคุณสมบัติตัดกระแสไฟฟ้าได้หรือเป็นฉนวนไฟฟ้า สามารถนำมาทำเป็นตัวเซนเซอร์ความร้อนได้

นิพนธ์ ชาวณา (2533) งานวิจัยได้ออกแบบสร้างอุปกรณ์สำหรับการวัดแบบสี่จุด ซึ่งประกอบด้วยหัววัด ฐานวางแผ่นสารและ Cryostat สำหรับการวัดที่อุณหภูมิต่ำ จากการทดลองวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารประเภทต่างๆ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า แผ่นทองแดง อลูมิเนียม แผ่นสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าซิลิกอนและตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด ในช่วงอุณหภูมิ 80 – 300 เคลวิน พบว่า กรณีที่วัดอุณหภูมิต่ำขนาดใหญ่พอสมควร จะสามารถวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีตัวคูณเกี่ยวกับรูปทรง แต่ถ้าวัดอุณหภูมิต่ำที่ไม่ใหญ่จะต้องพิจารณาค่าคงที่ที่ขึ้นกับรูปร่างเรขาคณิตของวัตถุด้วย และสารแต่ละชนิดแต่ละรูปทรงมีอุณหภูมิกว้างที่แตกต่างกัน (นิพนธ์ชาวณา, 2533)

ก่องกาญจน์ วงศ์พรหม (2556) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของแก้วโซดาไลม์ ที่ 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โมลเปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 323 – 623 เคลวิน ด้วยวิธีการหลอมและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ผลการทดลองพบว่า ค่าสภาพนำไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงขึ้น นำค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้น โดยใช้กฎของอาร์เรเนียส พบว่า ที่ความเข้มข้นของ Fe_2O_3 0.6 โมลเปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานกระตุ้นต่ำที่สุดเท่ากับ 0.34 อิเล็กตรอนโวลต์ ความหนาแน่นและดรรชนีหักเหของแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Fe_2O_3 เพิ่มขึ้น สำหรับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง UV-VIS-NIR พบพีคบริเวณความยาวคลื่น 450 และ 1,000 นาโนเมตร แสดงถึงการดูดกลืนของไอออน Fe^{3+} และ Fe^{2+} ในแก้วตามลำดับ

Milan, K., Marko, M., & Ljubica, K. (2023) งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการทดลองง่ายๆ สำหรับนักเรียน โดยสามารถวัดปริมาณว่าความต้านทานของเส้นลวดที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเส้นลวด โดยวัสดุที่ใช้คือขดลวดทองแดง แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โหม้มมิเตอร์แบบดิจิทัล และแคลอริมิเตอร์พร้อมเทอร์โมมิเตอร์แบบแอนะล็อก ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้น 24 องศาเซลเซียส ขดลวดทองแดงมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1.66 โอห์ม ที่อุณหภูมิสุดท้ายมีอุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส ขดลวดทองแดงมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 2.09 โอห์ม มีค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป 69 องศาเซลเซียส ขดลวดทองแดงมีค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไป 0.43 โอห์ม สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิขดลวดทองแดง ได้ค่าความชันของกราฟหรือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็น 0.0036 ต่อองศาเซลเซียส และมีค่าความคลาดเคลื่อนต่างจากมาตรฐานเป็น 0.0002 ต่อองศาเซลเซียส

Robert, P., Michael, R., Kiet A. & Anthony, K. (2023) งานวิจัยนี้ได้สร้างขึ้นตอนการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) สำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้น โดยวัสดุที่ใช้คือ carbon steel และวัดอุณหภูมิโดยใช้ liquid crystal thermometers ผลการทดลองพบว่ามีค่าความต้านทานไฟฟ้า 0.744 โอห์ม และมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) เป็น 0.0039 ต่อเคลวิน ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า 5%

บทที่ 3

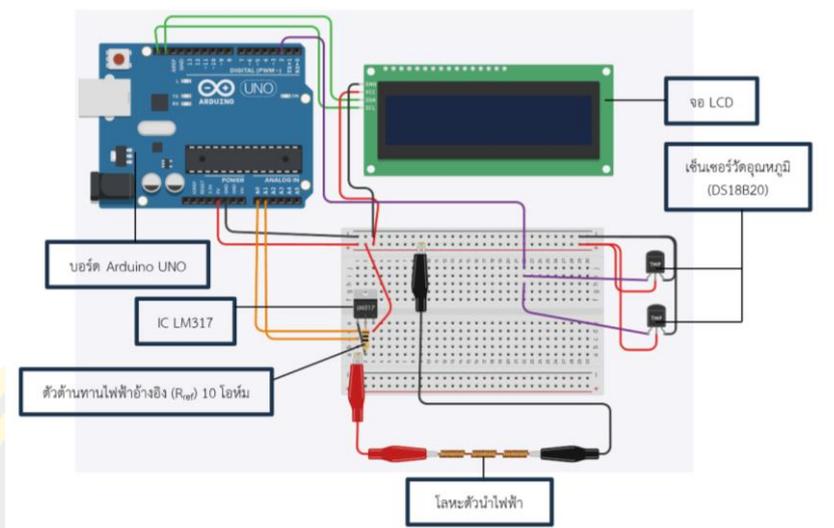
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ ประกอบด้วยชนิดของโลหะที่อยู่ในรูปของเส้นลวดโลหะและอุณหภูมิ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การออกแบบและสร้างชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะโดยใช้บอร์ด Arduino เป็นส่วนประกอบหลักในชุดทดลอง
2. การนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจากตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานและนำค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า
3. การนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดโลหะและนำมาหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดโลหะและเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของตัวอย่างเส้นลวดโลหะ
4. การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ ประกอบด้วยรูปร่างของเส้นลวดโลหะ ชนิดของเส้นลวดโลหะและอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะ

3.1 การออกแบบและสร้างชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ

การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อนำไปคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะโดยใช้บอร์ด Arduino UNO microcontroller เป็นส่วนประกอบหลักในการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานไฟฟ้าและคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะที่แปรผันตามอุณหภูมิ โดยข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะจะถูกเก็บผ่านบอร์ด Arduino UNO จากนั้นนำค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะไปคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่แปรผันตามอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะ และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของเส้นลวดโลหะเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะซึ่งประกอบด้วยบอร์ด Arduino สำหรับเก็บข้อมูลผลลัพธ์ของการทดลอง ใช้ IC LM317 ในการปรับกระแสไฟฟ้าในวงจรด้วยตัวต้านทานไฟฟ้า 10 โอห์ม เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรตามที่ต้องการ วัดอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและใช้บอร์ด Arduino แสดงผลแบบทันที (Real time) ไปยังคอมพิวเตอร์และหน้าจอ LCD โดยรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของชุดทดลองที่ออกแบบแสดงดังภาพที่ 10

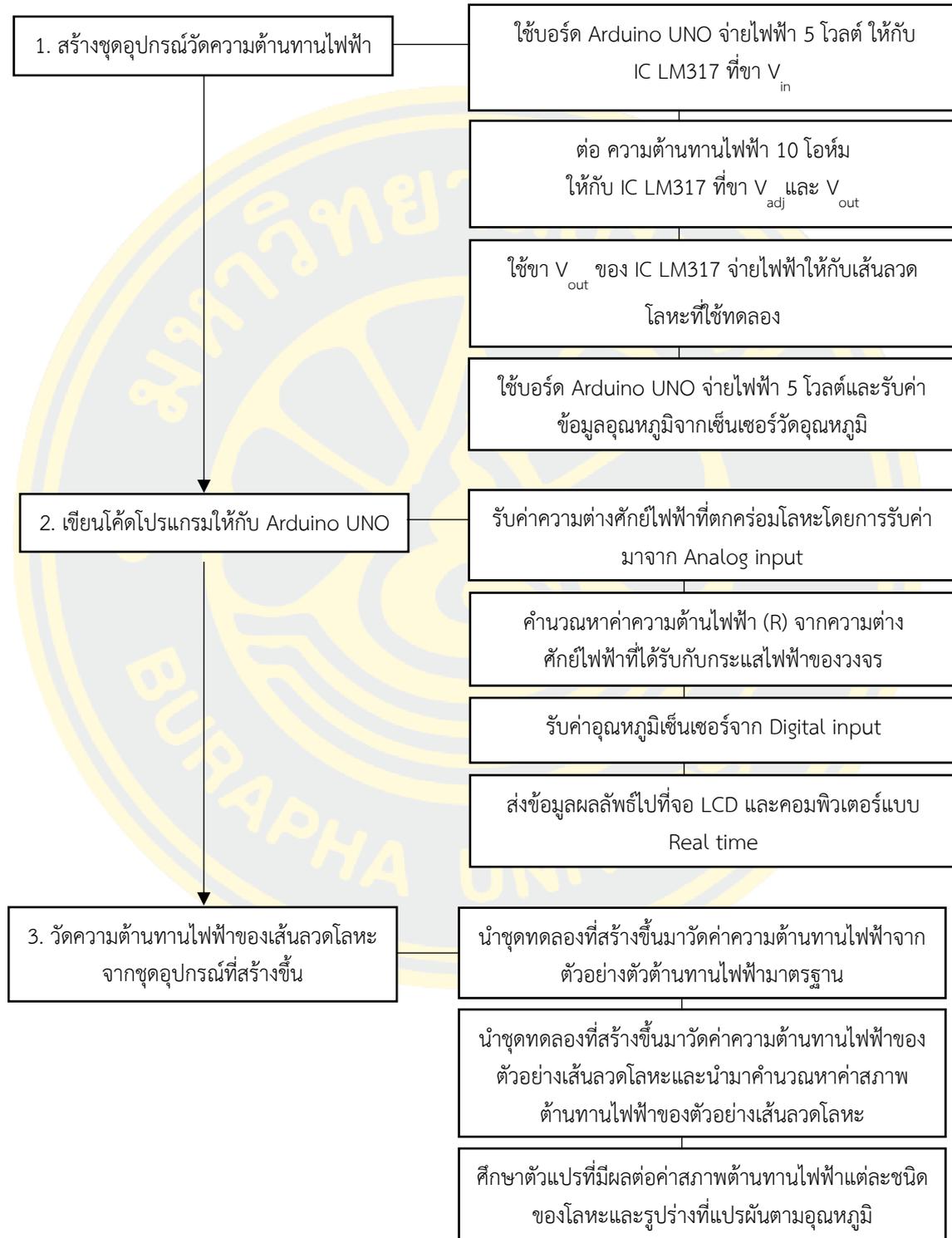


ภาพที่ 10 ชุดการทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้น

โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีรายละเอียดวิธีการต่อวัสดุและอุปกรณ์ดังนี้

- 3.1.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะโดยจ่ายไฟ 5 โวลต์จากบอร์ด Arduino UNO ให้กับ IC LM317 ที่ขา V_{in} ปรับค่ากระแสไฟฟ้าของวงจรโดยต่อตัวต้านทานไฟฟ้า ขนาด 10 โอห์มให้กับ IC LM317 ที่ขา V_{adj} โดยขาอีกด้านของตัวต้านทานไฟฟ้าจะต่อกับ IC LM317 ที่ขา V_{out} และเส้นลวดโลหะ ส่วนปลายอีกด้านของเส้นลวดโลหะต่อเข้ากับ GND ของบอร์ด Arduino UNO
- 3.1.2 ค่าความต้านไฟฟ้าจะคำนวณได้จากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเส้นลวดโลหะ โดยรับค่ามาจาก Analog input ของบอร์ด Arduino UNO ที่ต่อกับ ขา V_{out} ของ IC LM317 และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านที่ถูกควบคุมด้วย IC LM317 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.125 มิลลิแอมแปร์
- 3.1.3 การวัดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองจะใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 โดยจ่ายไฟ 5 โวลต์จากบอร์ด Arduino UNO ให้กับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และจะส่งข้อมูลอุณหภูมิให้กับบอร์ด Arduino UNO ผ่านขา Digital input ของบอร์ด Arduino UNO
- 3.1.4 การแสดงผลค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะสามารถแสดงผลแบบทันที (Real time) โดยส่งผลข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ผ่านช่อง USB รวมถึงแสดงผลผ่านจอ LCD ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino UNO โดยจ่ายไฟ 5 โวลต์ให้กับจอ LCD และส่งข้อมูลการแสดงผลด้วยขา SDL และ SDA
- 3.1.5 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) จะคำนวณได้จากค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่วัดได้จากชุดการทดลองที่สร้างขึ้น โดยขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงรายละเอียดตามแผนผังดังภาพที่ 11

แผนผังแสดงวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า
ของเส้นลวดโลหะที่แปรผันตามอุณหภูมิ



ภาพที่ 11 แผนผังการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ

3.2 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทดลองวัดความต้านทานไฟฟ้าจากตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า ประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้าขนาด 1 โอห์ม 4.7 โอห์ม 5.6 โอห์ม และ 10 โอห์ม ซึ่งชุดทดลองสามารถแสดงผลค่าความต้านทานไฟฟ้าไปยังจอ LCD และคอมพิวเตอร์แบบทันที (Real time) และนำค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้าเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดทดลอง

3.3 การทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

การทดลองนี้จะใช้ตัวอย่างเส้นลวดโลหะเป็นเส้นลวดทองแดงประกอบด้วย เส้นลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร และ 20 เมตร และเส้นลวดทองแดงยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.19 มิลลิเมตรและ 0.51 มิลลิเมตร ขั้นตอนนี้ได้ดำเนินการทดลองออกเป็น 3 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

- 3.3.1 นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดทองแดง เพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยจุ่มเส้นลวดทองแดงลงในกลีเซอรอลเหลว
- 3.3.2 นำค่าความยาว ค่าพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างลวดทองแดงที่คำนวณได้จากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดทองแดงและความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงที่วัดได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นในข้อ 3.3.1 ไปคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากสมการที่ 2-2
- 3.3.3 นำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างลวดทองแดงที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงมาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดทองแดง

3.4 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ

ในการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะประกอบด้วยชนิดของเส้นลวดโลหะและอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะ มีรายละเอียดดังนี้

- 3.4.1 ชนิดของเส้นลวดโลหะ ได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียมและทองเหลือง โดยมีค่าความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงชนิดของและลักษณะของเส้นลวดโลหะที่ใช้การทดลอง

ชนิดของเส้นลวดโลหะ	ความยาว (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
ทองแดง	10.0	0.35
อะลูมิเนียม	10.0	0.51
ทองเหลือง	3.0	0.36

เส้นลวดโลหะที่ใช้ในการทดลอง คือ เส้นลวดทองแดงที่มีความยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร เส้นลวดอะลูมิเนียมที่มีความยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร และเส้นลวดทองเหลืองความยาว 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร

3.4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะโดยนำตัวอย่างเส้นลวดโลหะในข้อ 3.4.2 แผลงในก๊าสเซอร์คอลลเหลวที่บรรจุในบีกเกอร์แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิโดยวางบีกเกอร์ที่บรรจุก๊าสเซอร์คอลลเหลวบน hot plate แล้วปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างเส้นลวดโลหะโดยอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วง 20 องศาเซลเซียสถึง 80 องศาเซลเซียส

3.4.3 นำค่าความต้านทานไฟฟ้าของโลหะแต่ละชนิดที่วัดได้ในช่วงค่าอุณหภูมิต่างๆ จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น มาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของโลหะแต่ละชนิดในช่วงค่าอุณหภูมิต่างๆ ด้วยสมการ 2-2

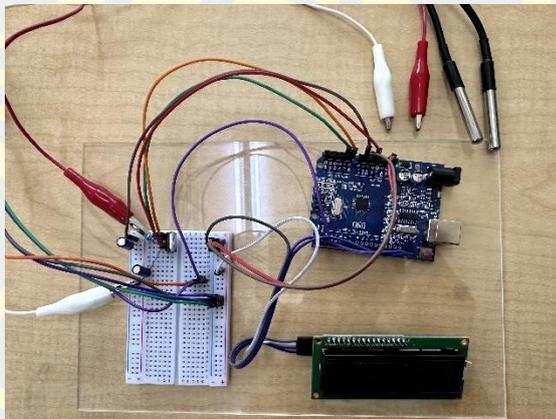
3.4.4 นำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในช่วงค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่คำนวณได้ในข้อ 3.4.3 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของโลหะ แล้วนำค่าความชันของกราฟมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) จากสมการ 2-4

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ ตามวิธีดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ตอน ประกอบด้วย ชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ ผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น และการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ

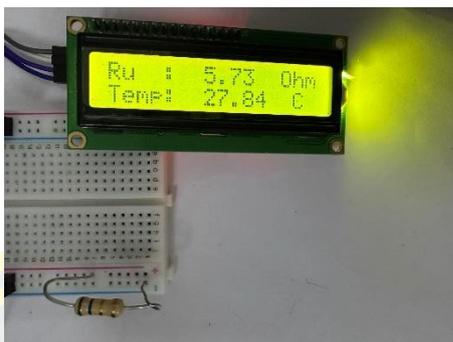
ทำการสร้างชุดทดลองที่ได้มีการออกแบบไว้ในข้อ 3.1 โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นแสดงในดังภาพที่ 12 ประกอบด้วยการใช้บอร์ด Arduino UNO microcontroller เป็นตัวประมวลผล เก็บข้อมูล ผลการวัดค่าอุณหภูมิและการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะและสามารถแสดงผลที่ผ่านจอ LCD รวมถึงแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ผ่านช่อง USB โดยใช้ IC LM317 เป็นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าเพื่อนำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโลหะมาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ



ภาพที่ 12 ชุดทดลองหาค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะที่สร้างขึ้น

4.2 ผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

จากการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้าด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นแสดงดังภาพที่ 13 โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างความต้านทานไฟฟ้าขณะวัดสามารถแสดงในหน้าจอ LCD และนำค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าจากโอห์มมิเตอร์ และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า (แถบสี) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3



ภาพที่ 13 ตัวอย่างแสดงการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า 5.6 โอห์ม จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

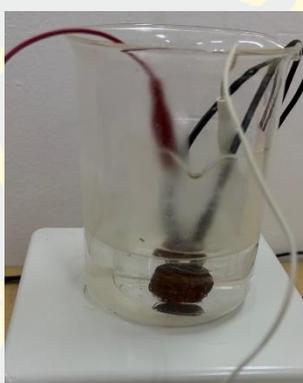
ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจากตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า

ค่าจากตัวต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	ค่าที่วัดได้จากชุดทดลอง (โอห์ม)	ค่าที่วัดได้จากโอห์มมิเตอร์ (โอห์ม)	%error (เปอร์เซ็นต์)
1.00 ± 5 %	1.09	1.20	9.00
4.70 ± 5 %	4.85	4.90	3.19
5.60 ± 5 %	5.73	5.90	2.32
10.00 ± 10 %	10.45	10.20	4.50

จากการทดลองเมื่อนำตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้าที่แต่ละตัวมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วง 5 – 10 เปอร์เซ็นต์มาทำการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยโอห์มมิเตอร์และวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดด้วยชุดการทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับโอห์มมิเตอร์และมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้าที่อ่านด้วยแถบสี เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้าจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า พบว่าตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดคือ ตัวต้านทานไฟฟ้า 1.00 ± 5 % โอห์ม เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานไฟฟ้า 9.00 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลเนื่องจากตัวต้านทานไฟฟ้ามีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำมาก ดังนั้นการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจะมีผลกระทบมาจากความต้านทานไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์และสายไฟที่เชื่อมต่อกับตัวต้านทานไฟฟ้าซึ่งจะมีผลกระทบที่สำคัญต่อความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ในกรณีที่มีค่าน้อยมาก โดยการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมแล้วมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความต้านทานไฟฟ้าจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้าที่ได้ ทำให้สามารถนำชุดทดลองดังกล่าวไปใช้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะเพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะในหัวข้อต่อไปได้

4.3 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

จากการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดโลหะโดยใช้เส้นลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ยาว 10 เมตร และ 20 เมตร และเส้นลวดทองแดงยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.19 มิลลิเมตรและ 0.51 มิลลิเมตรและนำค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยการนำเส้นลวดทองแดงจุ่มลงในกลีเซอรอลเหลวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 14 มาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจากสมการ 2-2 ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 14 การนำลวดทองแดงจุ่มลงในกลีเซอรอลเหลว

ตารางที่ 4 ลักษณะของตัวอย่างเส้นลวดทองแดง

ตัวอย่างเส้นลวดทองแดง				
ความยาว (เมตร)	10.0	10.0	10.0	20.0
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	0.19	0.35	0.51	0.35
พื้นที่หน้าตัด ($\times 10^{-8}$ ตารางเมตร)	2.83	9.62	20.42	9.62
ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	5.90	1.74	0.81	3.47
สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	1.67	1.67	1.65	1.67
สภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	1.68	1.68	1.68	1.68
%error (เปอร์เซ็นต์)	0.60	0.60	1.79	0.60

จากผลการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่า ตัวอย่างเส้นลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 9.62×10^{-8} ตารางเมตร มีความยาว 10.0 เมตร และ 20.0 เมตร ที่อุณหภูมิ 20.0 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1.74 โอห์ม และ 3.47 โอห์ม ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 1.67 โอห์มเมตร ซึ่งมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเท่ากับตัวอย่างเส้นลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.19 มิลลิเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 2.83×10^{-8} ตารางเมตร มีความยาว 10.0 เมตร ที่วัดค่าความ

ต้านทานไฟฟ้าได้ 5.90 โอห์ม คำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 1.67 โอห์มเมตร และตัวอย่างเส้นลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 20.42×10^{-8} ตารางเมตร มีความยาว 10.0 เมตร ที่วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ 0.81 โอห์ม สามารถคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 1.65 โอห์มเมตร จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างเส้นลวดทองแดงและมีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเส้นลวดทองแดงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแล้วพบว่าค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของทองแดงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วงเพียง 0.60 - 1.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองตัวอย่างเส้นลวดทองแดงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำชุดทดลองไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ต่อไปได้

4.4 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ

จากการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะที่มีชนิดของเส้นลวดโลหะคือเส้นลวดทองแดง เส้นลวดอะลูมิเนียม และเส้นลวดทองเหลือง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสถึง 80 องศาเซลเซียส แสดงรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นของลวดทองแดงที่มีความยาว 10 เมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง 0.35 มิลลิเมตร

อุณหภูมิของลวดทองแดง (องศาเซลเซียส)	ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)
20.00	1.74	1.67
30.00	1.80	1.73
40.00	1.89	1.82
50.00	1.96	1.89
60.00	2.02	1.94
70.00	2.06	1.98
80.00	2.12	2.04

จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) ของเส้นลวดทองแดงเพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของเส้นลวดทองแดง พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงที่คำนวณได้จาก

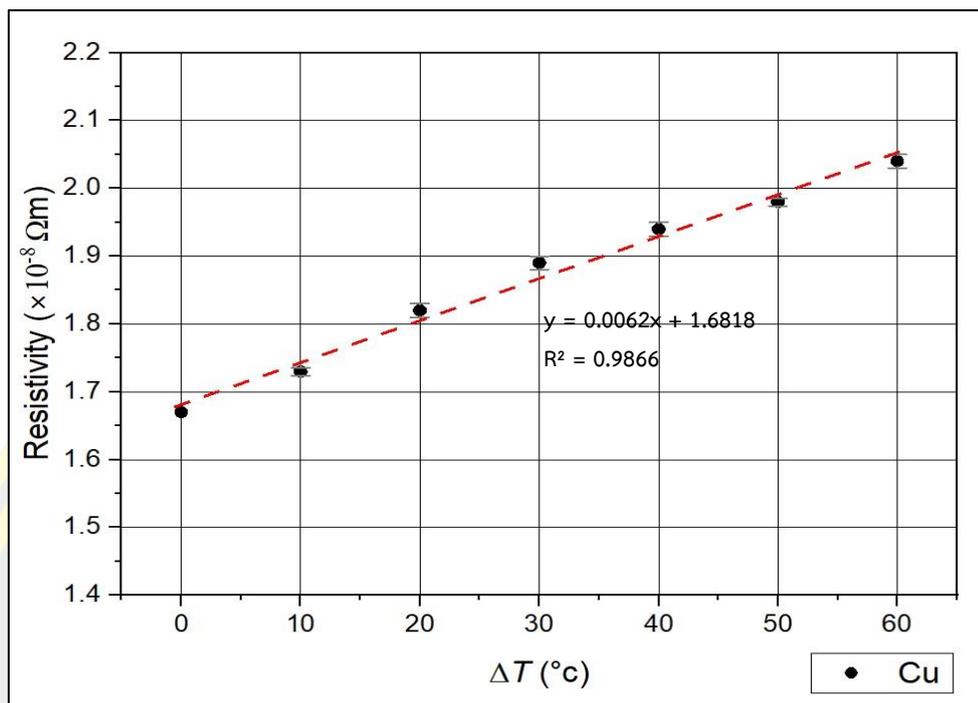
ชุดทดลองตามสมการที่ 2-2 โดยมีพื้นที่หน้าตัด (A) ของเส้นลวดทองเหลืองเป็น 9.62×10^{-8} ตารางเมตร และมีความยาว (L) ของเส้นลวดทองแดงเป็น 10 เมตร ที่อุณหภูมิเริ่มต้นการทดลองเป็น 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดง 1.67×10^{-8} โอห์มเมตร และที่อุณหภูมิสุดท้ายการทดลองเป็น 80 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดง 2.04×10^{-8} โอห์มเมตร จากนั้นทำการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง นำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่คำนวณได้มาแสดงในรูปค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองแดงในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิของเส้นลวดทองแดง (องศาเซลเซียส)	ผลต่างอุณหภูมิของเส้นลวดทองแดง (ΔT) เทียบกับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (องศาเซลเซียส)	ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ($\times 10^{-10}$ โอห์มเมตร)
20.00	0.00	1.67	0.00
30.00	10.00	1.73	0.58
40.00	20.00	1.82	1.00
50.00	30.00	1.90	1.00
60.00	40.00	1.95	1.00
70.00	50.00	1.98	0.58
80.00	60.00	2.04	1.00

จากการนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงที่ทำการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองแดงและหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองแดง พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง $0.00 \times 10^{-10} - 1.00 \times 10^{-10}$ โอห์มเมตร

เมื่อนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงเฉลี่ยที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย (ρ) กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (ΔT) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างค่าอุณหภูมิของลวดทองแดงเทียบกับอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของลวดทองแดงที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของลวดทองแดงที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ที่ความยาว 10 เมตร พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น โดยมีความความชันเป็นบวก เมื่อนำค่าความชันของกราฟเป็น 0.0062×10^{-8} โอห์มเมตรต่อองศาเซลเซียส มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) จากสมการ 2-4 โดยเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงที่ได้จากชุดการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (ต่อองศาเซลเซียส)	ลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร
ค่าคำนวณจากการทดลอง	0.00369
ค่ามาตรฐาน	0.00382
%error (เปอร์เซ็นต์)	3.40

จากการนำค่าความชันของกราฟมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) มีค่าเป็น 0.00369 ต่อองศาเซลเซียสและมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าเพียง 3.40 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ

สภาพต้านทานไฟฟ้าที่ทดลองได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ Milan Kovacevic และคณะ (2023) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็น 0.0036 ต่อองศาเซลเซียส

4.4.2 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นของเส้นลวดอะลูมิเนียมที่มีความยาว 10 เมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะของตัวอย่างของเส้นลวดอะลูมิเนียม

เส้นลวดอะลูมิเนียม	
ความยาว (เมตร)	10.0
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	0.51
พื้นที่หน้าตัด ($\times 10^{-8}$ ตารางเมตร)	20.42
ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	1.21
สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	2.59
สภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	2.82
%error (เปอร์เซ็นต์)	8.16

จากผลการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าเส้นลวดอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 20.42×10^{-8} ตารางเมตร มีความยาว 10.0 เมตร ที่อุณหภูมิ 20.0 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1.21 โอห์ม สามารถคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 2.59×10^{-8} โอห์มเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ของเส้นลวดอะลูมิเนียม พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียม 8.16 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำเส้นลวดอะลูมิเนียมไปเพิ่มอุณหภูมิ แล้วนำชุดทดลองไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดอะลูมิเนียมยาว 10 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดอะลูมิเนียม 0.51 มิลลิเมตร

อุณหภูมิของเส้นลวดอะลูมิเนียม (องศาเซลเซียส)	ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)
20.00	1.27	2.59
30.00	1.29	2.63
40.00	1.31	2.67
50.00	1.39	2.84
60.00	1.45	2.96
70.00	1.49	3.04
80.00	1.55	3.16

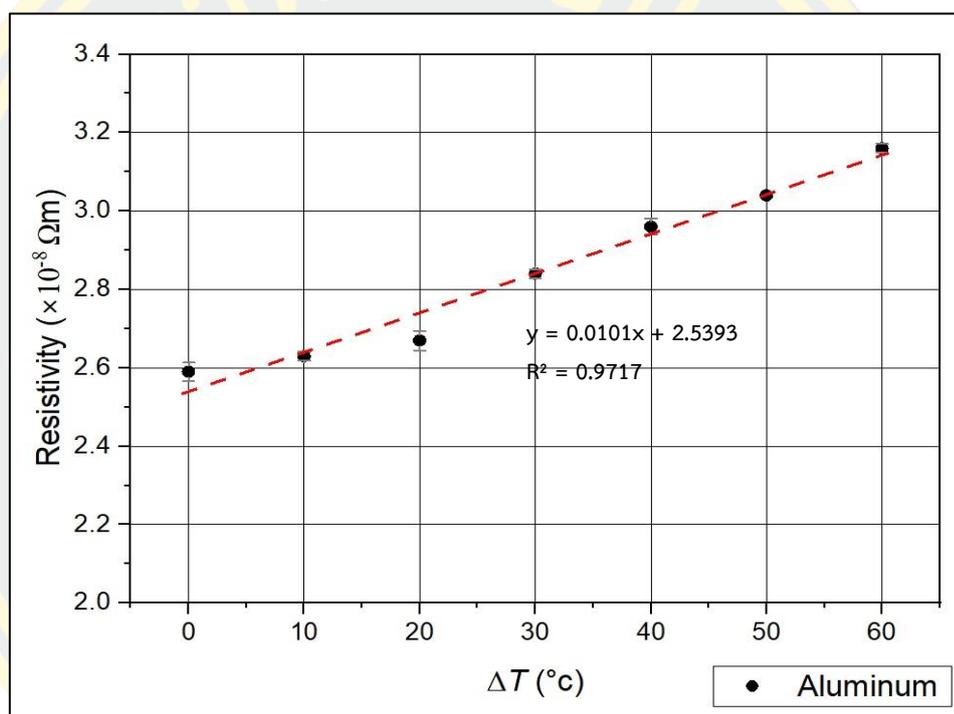
จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) ของเส้นลวดอะลูมิเนียมเพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของเส้นลวดอะลูมิเนียม พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมที่คำนวณได้จากชุดทดลองตามสมการที่ 2-2 โดยมีพื้นที่หน้าตัด (A) ของเส้นลวดอะลูมิเนียมเป็น 20.42×10^{-8} ตารางเมตร และมีความยาว (L) ของเส้นลวดอะลูมิเนียมเป็น 10 เมตร ที่อุณหภูมิเริ่มต้นการทดลองเป็น 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียม 2.59×10^{-8} โอห์มเมตร และที่อุณหภูมิสุดท้ายการทดลองเป็น 80 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียม 3.16×10^{-8} โอห์มเมตร จากนั้นทำการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง นำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่คำนวณได้มาแสดงในรูปค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดอะลูมิเนียมในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิของเส้นลวดอะลูมิเนียม (องศาเซลเซียส)	ผลต่างอุณหภูมิของเส้นลวดอะลูมิเนียม (ΔT) เทียบกับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (องศาเซลเซียส)	ค่าสภาพต้านทาน ไฟฟ้าเฉลี่ย ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ค่าความคลาด เคลื่อนของค่าสภาพ ต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ($\times 10^{-10}$ โอห์มเมตร)
20.00	0.00	2.58	2.31
30.00	10.00	2.64	1.15
40.00	20.00	2.70	2.52
50.00	30.00	2.83	1.15
60.00	40.00	2.94	2.00
70.00	50.00	3.04	0.00
80.00	60.00	3.15	1.15

จากการนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียมที่ทำการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดอะลูมิเนียมและหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดอะลูมิเนียมเพียงของเล็กน้อยอยู่ในช่วง $0.00 \times 10^{-10} - 2.52 \times 10^{-10}$ โอห์มเมตร

เมื่อนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดอะลูมิเนียมที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย (ρ) กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างค่าอุณหภูมิของลวดอะลูมิเนียมเทียบกับอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของลวดอะลูมิเนียมที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของลวดอะลูมิเนียมที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร ที่ความยาว 10 เมตร พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น โดยมีความความชันเป็นบวก เมื่อนำค่าความชันของกราฟเป็น 0.0101×10^{-8} โอห์มเมตรต่อองศาเซลเซียส มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) จากสมการ 2-4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดอะลูมิเนียมที่ได้จากชุดการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (ต่อองศาเซลเซียส)	เส้นลวดอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร
ค่าคำนวณจากการทดลอง	0.00358
ค่ามาตรฐาน	0.00390
%error (เปอร์เซ็นต์)	8.21

จากการนำค่าความชันของกราฟมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดอะลูมิเนียม (α) มีค่าเป็น 0.00358 ต่อองศาเซลเซียสและมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของอะลูมิเนียมเป็น 8.21 เปอร์เซ็นต์

4.4.3 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นของเส้นลวดทองเหลืองที่มีความยาว 3 เมตร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ลักษณะของตัวอย่างของเส้นลวดทองเหลือง

เส้นลวดทองเหลือง	
ความยาว (เมตร)	3.0
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	0.36
พื้นที่หน้าตัด ($\times 10^{-8}$ ตารางเมตร)	10.18
ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	1.88
สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	6.38
สภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	6.32
%error (เปอร์เซ็นต์)	0.95

จากผลการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าเส้นลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 10.18×10^{-8} ตารางเมตร มีความยาว 3.0 เมตร ที่อุณหภูมิ 20.0 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานไฟฟ้า 1.88 โอห์ม สามารถคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้เป็น 6.38 โอห์มเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ของเส้นลวดทองเหลือง พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 0.95 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำเส้นลวดทองเหลืองไปเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อ

นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองยาว 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดทองเหลือง 0.36 มิลลิเมตร

อุณหภูมิของเส้นลวดทองเหลือง (องศาเซลเซียส)	ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)
20.00	1.88	6.38
30.00	1.90	6.45
40.00	1.92	6.51
50.00	1.94	6.58
60.00	1.98	6.72
70.00	2.02	6.85
80.00	2.08	7.06

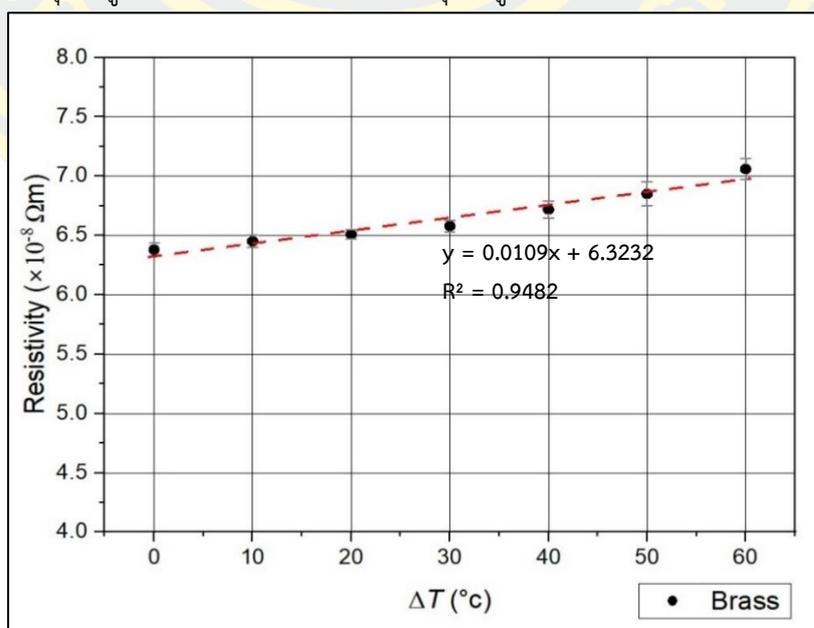
จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) ของเส้นลวดทองเหลืองเพื่อคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของเส้นลวดทองเหลือง พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองที่คำนวณได้จากชุดทดลองตามสมการที่ 2-2 โดยมีพื้นที่หน้าตัด (A) ของเส้นลวดอะลูมิเนียมเป็น 10.18×10^{-8} ตารางเมตร และมีความยาว (L) ของเส้นลวดทองเหลืองเป็น 3 เมตร ที่อุณหภูมิเริ่มต้นการทดลองเป็น 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลือง 6.38×10^{-8} โอห์มเมตร และที่อุณหภูมิสุดท้ายการทดลองเป็น 80 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลือง 7.06×10^{-8} โอห์มเมตร จากนั้นทำการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง นำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่คำนวณได้มาแสดงในรูปค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองเหลืองที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิของเส้นลวดทองเหลือง (องศาเซลเซียส)	ผลต่างอุณหภูมิของเส้นลวดทองเหลือง (ΔT) เทียบกับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (องศาเซลเซียส)	ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ($\times 10^{-10}$ โอห์มเมตร)
20.00	0.00	6.39	5.57
30.00	10.00	6.46	5.03
40.00	20.00	6.53	4.04
50.00	30.00	6.63	5.03
60.00	40.00	6.74	7.21
70.00	50.00	6.88	10.26
80.00	60.00	7.02	9.07

จากการนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลืองที่ทำการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองเหลืองและหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองเหลืองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองเหลืองอยู่ในช่วง $4.04 \times 10^{-10} - 10.26 \times 10^{-10}$ โอห์มเมตร

เมื่อนำค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นลวดทองเหลืองที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย (ρ) กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างค่าอุณหภูมิของลวดทองเหลืองเทียบกับอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 18กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของลวดทองเหลืองที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร ความยาว 3 เมตร

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของลวดทองเหลืองที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร ที่ความยาว 3 เมตร พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น โดยมีความความชันเป็นบวก เมื่อนำค่าความชันของกราฟเป็น 0.0109×10^{-8} โอห์มเมตรต่อองศาเซลเซียส มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (α) จากสมการ 2-4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของลวดทองเหลืองที่ได้จากการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้า (ต่อองศาเซลเซียส)	ลวดทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.36 มิลลิเมตร ความยาว 3 เมตร
ค่าคำนวณจากการทดลอง	0.00167
ค่ามาตรฐาน	0.00150
%error (%)	11.80

จากการนำค่าความชันของกราฟมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองเหลือง (α) มีค่าเป็น 0.00167 ต่อองศาเซลเซียสและมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของทองเหลืองเป็น 11.80 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเส้นลวดโลหะทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วยเส้นลวดทองแดง เส้นลวดอะลูมิเนียม และเส้นลวดทองเหลือง พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะทั้ง 3 ชนิด ที่ทดลองได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะทั้ง 3 ชนิด และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองเพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ และเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ โดยมีรายละเอียดการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่างๆ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ชุดทดลองการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะ โดยมีการออกแบบด้วยโปรแกรม Tinkercad และสร้างชุดทดลองขึ้นที่ประกอบด้วยการใช้บอร์ด Arduino UNO microcontroller เป็นตัวประมวลผล เก็บข้อมูล ผลการวัดค่าอุณหภูมิและการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะและสามารถแสดงผลทั้งที่ผ่านจอ LCD รวมถึงแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ผ่านช่อง USB โดยใช้ IC LM317 เป็นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าเพื่อนำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโลหะมาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะและสามารถใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่เปลี่ยนอุณหภูมิได้

5.1.2 ผลการเปรียบเทียบการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจากตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้า จากการทดลองเมื่อนำตัวอย่างตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีความต้านทานไฟฟ้าในช่วง 1 – 10 โอห์ม วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้น พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 2.32 – 9.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดลองกับตัวอย่างที่เป็นเส้นลวดโลหะได้

5.1.3 ผลการทดลองหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของลวดทองแดงด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับตัวอย่างเส้นลวดทองแดงที่มีความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันแล้วนำค่าความต้านทานไฟฟ้ามาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดทองแดง พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างลวดทองแดงที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง $1.65 \times 10^{-8} - 1.67 \times 10^{-8}$ โอห์มเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของทองแดงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของทองแดงอยู่ในช่วงเพียง 0.60 - 1.79 เปอร์เซ็นต์

5.1.4 ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะที่ประกอบด้วยชนิดของโลหะและอุณหภูมิของโลหะ พบว่าเส้นลวดโลหะที่ทดลองประกอบด้วย เส้นลวดทองแดง เส้นลวดอะลูมิเนียม และเส้นลวดทองเหลือง มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะทั้ง 3 ชนิด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.60 – 8.21 เปอร์เซ็นต์ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์

อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐาน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วง 3.40 – 11.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถที่จะศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดโลหะที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้ โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่ใช้ทดลองและค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่ใช้ทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะมาตรฐาน ทำให้ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นชุดทดลองประกอบการเรียนการสอนในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้ต่อไปในอนาคต

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ พบว่าเมื่อนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทำการทดลอง ทำให้ได้ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของโลหะมาคำนวณเพื่อหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะและสร้างกราฟเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะได้ ซึ่งเมื่อนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวต้านทานไฟฟ้า ผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า $1.00 \pm 5\%$ โอห์ม ด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 9.00 เปอร์เซ็นต์ ผลมาจากชุดอุปกรณ์ที่มีการใช้สายไฟในการต่อวัสดุและอุปกรณ์เข้าด้วยกัน จึงทำให้มีผลต่อการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่มีขนาดน้อยมากๆ

ผลการนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปวัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างเส้นลวดทองแดงที่ขนาดรูปร่างและความยาวต่างๆพบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างเส้นลวดทองแดงและมีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเส้นลวดทองแดงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อกำหนดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแล้วพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นความยาวและพื้นที่หน้าตัดจึงไม่มีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ

ผลการนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจากชนิดโลหะที่แตกต่างกันโดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเส้นลวดโลหะ พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะแตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นลวดโลหะ (Halliday, Resnick, & Walker, 2013) และเมื่อโลหะแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่า ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีลักษณะเชิงเส้นและมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะเป็นบวก ซึ่งทำให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของโลหะตัวนำไฟฟ้าที่มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นผลจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในตัวนำไฟฟ้าได้ยากขึ้น มีการชนกันเองระหว่างอิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนชนกับไอออนของโลหะตัวนำไฟฟ้าที่มีการสั่นด้วยแอมพลิจูดการสั่นที่สูงขึ้นจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Raymond A. Serway, 2008)

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ปรับปรุงชุดทดลองการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงโดยติดตั้งชุดอุปกรณ์กับ Printed circuit board ให้สามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

5.3.2 ควรเพิ่มตัวเก็บประจุเข้าไปที่ชุดทดลองเพื่อให้กระแสไฟฟ้ามีระดับคงที่และเสถียรมากยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นการกรองสัญญาณแทรกซ้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5.3.3 ควรแยกแหล่งจ่ายไฟฟ้า Arduino และชุดอุปกรณ์ภายนอก เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรมีค่าคงที่ และค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสมในการวัดคือ 1-10 โอห์ม

5.3.4 ปรับปรุงชุดอุปกรณ์การทดลองเพื่อให้สามารถหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะในรูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากที่อยู่ในรูปแบบของเส้นลวดโลหะที่มีการชุบเคลือบน้ำยาป้องกันกร่อนนำไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดโลหะ





ภาคผนวก

ตารางบันทึกผลการทดลองของเส้นลวดทองแดง

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2		การทดลองครั้งที่ 3	
	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)
20.00	1.74	1.67	1.74	1.67	1.74	1.67
30.00	1.80	1.73	1.79	1.72	1.80	1.73
40.00	1.89	1.82	1.88	1.81	1.88	1.81
50.00	1.96	1.89	1.94	1.87	1.98	1.90
60.00	2.02	1.94	2.00	1.92	2.03	1.95
70.00	2.06	1.98	2.06	1.98	2.07	1.99
80.00	2.12	2.04	2.11	2.03	2.11	2.03

ตารางบันทึกผลการทดลองของเส้นลวดอะลูมิเนียม

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2		การทดลองครั้งที่ 3	
	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)
20.00	1.27	2.59	1.25	2.55	1.27	2.59
30.00	1.29	2.63	1.29	2.63	1.30	2.65
40.00	1.31	2.67	1.32	2.70	1.33	2.72
50.00	1.39	2.84	1.38	2.82	1.38	2.82
60.00	1.45	2.96	1.43	2.92	1.44	2.94
70.00	1.49	3.04	1.49	3.04	1.49	3.04
80.00	1.55	3.16	1.54	3.14	1.54	3.14

ตารางบันทึกผลการทดลองของเส้นลวดทองเหลือง

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2		การทดลองครั้งที่ 3	
	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)	ความ ต้านทาน ไฟฟ้า (โอห์ม)	สภาพ ต้านทาน ไฟฟ้า ทดลอง ($\times 10^{-8}$ โอห์มเมตร)
20.00	1.88	6.38	1.90	6.45	1.87	6.34
30.00	1.90	6.45	1.92	6.51	1.89	6.41
40.00	1.92	6.51	1.94	6.58	1.92	6.51
50.00	1.94	6.58	1.97	6.68	1.95	6.62
60.00	1.98	6.72	2.01	6.82	1.97	6.68
70.00	2.02	6.85	2.06	6.99	2.00	6.79
80.00	2.08	7.06	2.09	7.09	2.04	6.92

ตัวอย่างคำสั่งควบคุม IC LM317

```
int sensorValue = analogRead(A0)
float voltage = sensorValue*(5.0/1023.0);
float Ru = voltage / 0.125;
```

ตัวอย่างคำสั่งควบคุม เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20

```
sensors.requestTemperatures();
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
```

ตัวอย่างคำสั่งควบคุม จอ LCD

```
lcd.home();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Ru : ");
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(Ru);
lcd.setCursor(13,0);
lcd.print("Ohm");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Temp: ");
lcd.setCursor(7,1);
```

บรรณานุกรม

- Ai-corporation. (2564). Arduino Uno R3. Retrieved from <https://www.ai-corporation.net/2021/11/19/arduino-uno-r3/>
- Alan S. Morris, R. L. (2016). *Measurement and Instrumentation*. United States of America: theory and application. Academic Press.
- Cybertice. (2567). DS18B20 Full Waterproof Temperature Sensor. Retrieved from <https://www.cybertice.com/product/2992/ds18b20-full-waterproof-temperature-sensor>
- Fickett, F. R. (1982). *Electrical properties of materials and their measurement at low temperatures*: United States. Government Printing Office.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics*: John Wiley & Sons.
- Kovacevic, M., Milosevic, M., & Kuzmanovic, L. (2023). A Useful Experiment for Teaching Resistance of a Wire as a Function of Temperature. *The physics teacher*, 61(4), 276-276.
- Polak, R., Harris, M. R., Nguyen, K. A., & Kearns, A. (2023). Experimental verification of the temperature coefficient of resistivity. *The physics teacher*, 61(4), 284-285.
- Raymond A. Serway, J. W. J. (2008). *physics for scientists and engineers*. United States of America: Physical Sciences : Mary Finch.
- Thaieasyelec. (2560). DS18B20 Temperature Sensor ใช้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ. Retrieved from <https://blog.thaieasyelec.com/espino32-ch13-how-to-work-with-sensors/>
- ก่องกาญจน์ วงศ์พรหม. (2556). การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางไฟฟ้าของแก้วโซดาไลม์. สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
- ก่องศักดิ์ ทองบุญ. (2552). การพัฒนางจรวัดสโตบริดจ์สำหรับการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงในระดับเทระโอห์ม. สาขาวิชามาตรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นพพร เจริญทอง. (2531). การศึกษาคุณลักษณะของสัมประสิทธิ์ความต้านทานไฟฟ้าตามอุณหภูมิทางบวก ในแบบเรียบติตาเนตเซรามิกส์ ที่จุดคูรีระหว่างอุณหภูมิ 30 ถึง 200 องศาเซลเซียส. สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิพนธ์ ชวานา. (2533). การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีวัดแบบสี่จุด. สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์, คณะ

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. (2553). วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้น. Retrieved from

<https://pws.npru.ac.th/thawatchait/data/files/Lecture%2010%20IC%20linear%20power%20supply.pdf>



ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายไกรสิทธิ์ ศุภโสภากพงศ์
วัน เดือน ปี เกิด 15 กรกฎาคม 2538
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 64/2 หมู่ที่ 8 ตำบลสามเรือน อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย รหัสไปรษณีย์ 64120
ตำแหน่งและประวัติการ ครุ โรงเรียนทุ่งใหญ่วิทยาคาร
ทำงาน สังกัดองค์การบริหารส่วนจังหวัดปราจีนบุรี อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี
ประวัติการศึกษา ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

