

การออกแบบและประดิษฐ์ชุดวัดสมบัติทางไฟฟ้าชนิด
ของเหลวสำหรับเครื่องวัดแอลซีอาร์

Design and Fabrication of Test Set for Measuring
Electrical Properties of Liquid Samples for LCR
Meters



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยเพื่อพัฒนางานประจำ รุ่นที่ 12

ประจำปี 2568 มหาวิทยาลัยพะเยา

เรื่อง การออกแบบและประดิษฐ์ชุดวัดสมบัติทางไฟฟ้าชนิดของเหลวสำหรับ

เครื่องวัดแอลซีอาร์

Design and Fabrication of Test Set for Measuring Electrical Properties of
Liquid Samples for LCR Meters

ศักดา เชื้อนรอบเขต

การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย (R2R)

มหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปีงบประมาณ 2568

ผู้ดำเนินโครงการ

(นายศักดา เชื้อนรอบเขต)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สมฤทธิ อุ่นอ้าย)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคล)

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เพราะได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.สมฤทธิ อุ่นอ้าย อาจารย์ที่ปรึกษาการวิจัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือตรวจสอบแก้ไขเนื้อหางานวิจัยนี้ให้มีความถูกต้อง ตลอดจนได้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย และการแก้ปัญหาต่างๆ ที่ได้ปรึกษาระหว่างทำวิจัย

ท้ายนี้หากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยก็ขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น ผู้วิจัยผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากนักน้อย สำหรับผู้ที่สนใจศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางและชุดการวัดของเหลวสำหรับเครื่องมือวัด LCR Meter



นายศักดิ์ดา เชื้อนรอบเขต

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์

ผู้ดำเนินงานวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาเซลล์วัดสำหรับบรรจุตัวอย่างของเหลว พร้อมระบบขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการวัดสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่อง Precision LCR Meter โดยมีการออกแบบที่เน้นความสะดวกในการใช้งานและการทำความสะอาด การวัดครอบคลุมพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ ค่าความต้านทาน ค่าความจุไฟฟ้า และค่าอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน การประเมินประสิทธิภาพของระบบขั้วไฟฟ้าดำเนินการโดยวัดสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำปราศจากไอออน (DI water) และสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.001, 0.01, 0.05 และ 0.5 M ในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 2 MHz โดยใช้เครื่อง Precision LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำ DI มีค่าความต้านทานสูงที่สุดในขณะที่สารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M มีค่าความต้านทานต่ำที่สุด สำหรับค่าความจุไฟฟ้า พบว่าน้ำ DI มีค่าต่ำที่สุด และสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M มีค่าสูงที่สุด การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์เชิงซ้อนผ่าน Nyquist plot แสดงให้เห็นว่าน้ำ DI มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่าสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M ซึ่งสอดคล้องกับการมีไอออนที่น้อยกว่าในน้ำ DI

คำสำคัญ: ค่าความจุไฟฟ้า, ค่าความต้านทาน, ค่าความต้านทานเชิงซ้อน



Abstract

This research presents the design and development of a measurement cell for liquid samples, integrated with an optimized electrode system for electrical property characterizations using a Precision LCR Meter. The cell was designed with emphasis on user convenience and ease of cleaning. The measurements encompassed fundamental electrical parameters including resistance, capacitance, and complex impedance. The electrode system performance was evaluated by measuring the electrical properties of deionized (DI) water and NaCl solutions at concentrations of 0.001, 0.01, 0.05, and 0.5 M across a frequency range of 20 Hz to 2 MHz using a Keysight Precision LCR Meter (Model E4980A). The experimental results demonstrated that DI water exhibited the highest resistance, while the 0.5 M NaCl solution showed the lowest resistance. For capacitance measurements, DI water displayed the lowest values, whereas the 0.5 M NaCl solution exhibited the highest capacitance. Complex impedance analysis through Nyquist plots revealed that DI water demonstrated higher impedance compared to the 0.5 M NaCl solution, consistent with its lower ionic content. The developed measurement system successfully differentiated between samples with varying ionic concentrations, validating its effectiveness for electrical characterization of liquid samples.

Keywords: resistance, capacitance, complex impedance.



สารบัญ

	หน้า
หน้าอนุมัติ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล หรือความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่อง LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A	3
2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์	6
2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	10
3.2 การออกแบบชุดวัดและขั้วไฟฟ้า	12
3.3 การทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะ	16
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย	
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป และอภิปรายผล	
สรุปผลการวิจัย	27
บรรณานุกรม	28
ประวัติผู้วิจัย	29



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงหน้าจอบและปุ่มฟังก์ชันต่างๆ	4
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ระหว่าง R, L, C	6
รูปที่ 2.3 ชุดต้นแบบการวัดสมบัติทางไฟฟ้าชนิดของเหลว	8
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบที่รวมอยู่บนฐานชุดวัด(ต้นแบบ)	8
รูปที่ 2.5 ภาพขณะบรรจุของเหลวและขั้วไฟฟ้า(ต้นแบบ)	9
รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมของงานวิจัย	10
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างขั้วไฟฟ้า ฐานอะคลิริกเคลือบด้วยกาวเงิน	12
รูปที่ 3.3 ทดสอบขั้วไฟฟ้ากับตัวกลางที่เป็นอากาศ	13
รูปที่ 4.1 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของน้ำ DI (Deionized Water)	14
รูปที่ 4.2 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M	15
รูปที่ 4.3 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M	15
รูปที่ 4.4 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M	16
รูปที่ 4.5 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M	17
รูปที่ 4.6 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของน้ำ DI (Deionized Water)	17
รูปที่ 4.7 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M	18
รูปที่ 4.8 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M	19
รูปที่ 4.9 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M	20
รูปที่ 4.10 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M	21
รูปที่ 4.11 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของน้ำ DI (Deionized Water)	22
รูปที่ 4.12 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M	22

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M	23
รูปที่ 4.14 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M	24
รูปที่ 4.15 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M	24
รูปที่ 4.16 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของอากาศ	25
รูปที่ 4.17 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของอากาศ	25
รูปที่ 4.18 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของอากาศ	26



บทที่ 1

บทนำ

1. หลักการและเหตุผล หรือความสำคัญของปัญหา

เครื่อง LCR Meter เป็นอุปกรณ์วัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ค่าความจุไฟฟ้า ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และค่าอิมพีแดนซ์ของตัวอย่างหรือวงจรีเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ได้รับจัดสรรครุภัณฑ์ Precision LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ซึ่งสามารถทำงานในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 2 MHz โดยมีรหัสครุภัณฑ์ 202-ZFA15-6620-003-366/66 เครื่อง LCR Meter รุ่นนี้รองรับการวัดตัวอย่างหลากหลายประเภทผ่านโพรบวัด 2 แบบ ได้แก่

- **Parallel-Plate Test Fixture** เหมาะสำหรับกรวัดสมบัติทางไฟฟ้าของตัวอย่างชนิดของแข็ง
- **Kelvin Clip** เป็นปากคีบที่รองรับการวัดตัวอย่างทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

โดยมีข้อได้เปรียบสำคัญของโพรบบแบบ Kelvin Clip คือ สามารถปรับแต่งขั้ววัดทางไฟฟ้าให้เหมาะสมกับตัวอย่างได้อย่างอิสระ ภายใต้พื้นฐานความรู้ด้านฟิสิกส์ไฟฟ้าของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตามหากผู้ใช้งานหรือผู้วิจัย ขาดความเข้าใจพื้นฐานหรือไม่ถนัดการออกแบบขั้ววัดที่เหมาะสมกับตัวอย่าง อาจทำให้กระบวนการทำงานล่าช้าและผลการวัดเกิดความคลาดเคลื่อน

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบและให้บริการใช้งาน Precision LCR Meter ได้เสนอแนวทางการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องสำหรับการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของตัวอย่างชนิดของเหลว โดยมีเป้าหมายหลักดังนี้

1. การออกแบบและพัฒนาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม
2. การสร้างภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่ตอบสนองความต้องการการวัด
3. การพัฒนากล่องโลหะป้องกันสัญญาณรบกวน (Faraday Cage)
4. การจัดทำคู่มือการใช้งาน Precision LCR Meter สำหรับการวัดตัวอย่างชนิดของเหลว

โครงการนี้มุ่งหวังให้การใช้งานเครื่อง Precision LCR Meter สะดวกและแม่นยำยิ่งขึ้น ตอบโจทย์ทั้งการวิจัยและการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่สูงขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาภาชนะสำหรับบรรจุสารตัวอย่างชนิดของเหลว พร้อมขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการวัดสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่อง Precision LCR Meter

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

1. ลักษณะของ Chamber ที่บรรจุตัวอย่างชนิดต่างๆ
2. การวัดค่าความจุไฟฟ้า, ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานเชิงซ้อน(ค่าอิมพีแดนซ์)

1.3 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา

ความจุไฟฟ้า, ความต้านทานไฟฟ้า, ค่าอิมพีแดนซ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ภาชนะสำหรับบรรจุสารตัวอย่างชนิดของเหลว ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาจะสามารถรองรับการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่อง Precision LCR Meter
2. การใช้งาน คู่มือการใช้งานเครื่อง Precision LCR Meter ที่จัดทำขึ้น จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของสารตัวอย่างชนิดของเหลว



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่อง LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A

E4980A/AL คือ LCR Meter ที่สามารถหาค่า LCR component, materials, และ semiconductor devices โดยที่

- E4980A เป็น LCR สามารถตั้งค่าช่วงความถี่ใช้งานได้ถึง 20 Hz ถึง 2 MHz

ซึ่งรุ่น E4980AL สามารถอัปเดตความถี่จากรุ่น 032 เป็นรุ่น 052 และอัปเดตเป็นรุ่น 102 ได้ ในภายหลัง และรุ่น E4980AL ไม่สามารถปรับเป็นรุ่น E4980A ได้ แต่ E4980A มีอุปชั่นอื่นที่มากกว่า เช่น Current bias, High speed measurement และอื่นๆ

เครื่องมีพอร์ต GPIB, LAN, USB สำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และรองรับการบันทึกข้อมูลผ่าน USB flash drive ได้ รวมไปถึง สามารถทำงาน sweep สัญญาณภายในตัวเครื่องได้ 201 จุด

หน้าจอแสดงผล LCD แสดงค่าการวัด, ค่าเซตอัปเดตต่างๆ และสามารถจัดแบ่งคุณภาพการวัดของชิ้นงานตาม เกรด ได้

พารามิเตอร์การวัดของ E4980A ดังนี้

- Cp-D, Cp-Q, Cp-G, Cp-Rp
- Cs-D, Cs-Q, Cs-Rs
- Lp-D, Lp-Q, Lp-G, Lp-Rp, Lp-Rdc1
- Ls-D, Ls-Q, Ls-Rs, Ls-Rdc1
- R-X
- Z- θ_d , Z- θ_r
- G-B
- Y- θ_d , Y- θ_r

คำนิยามของพารามิเตอร์แต่ละองค์ประกอบ

Cp Capacitance value measured with parallel-equivalent circuit model

Cs Capacitance value measured with series-equivalent circuit model

Lp Inductance value measured with parallel-equivalent circuit model

Ls Inductance value measured with series-equivalent circuit model

D Dissipation factor

Q Quality factor (inverse of D)

G Equivalent parallel conductance measured with parallel-equivalent circuit model

R_p Equivalent parallel resistance measured with parallel-equivalent circuit model

R_s Equivalent series resistance measured with series-equivalent circuit model

R_{dc} Direct-current resistance

R Resistance

X Reactance

Z Impedance

Y Admittance

θ_d Phase angle of impedance/admittance (degree)

θ_r Phase angle of impedance/admittance (radian)

B Susceptance

V_{dc} Direct-current voltage

I_{dc} Direct-current electricity $V_{dc}-I_{dc}1$



รูปที่ 2.1 แสดงหน้าจอและปุ่มฟังก์ชันต่างๆ

หน้าที่ของ ปุ่ม และ ลูกบิดต่าง ๆ มีดังนี้

1. Power switch ใช้สำหรับการ ปิด-เปิด เครื่อง E4980A/AL เมื่อเปิดเครื่องสวิตช์จะเป็นสีเขียว แต่ถ้าปิดเครื่องสวิตช์จะเป็น สีแดง

2. LCD ใช้สำหรับแสดงผลการวัดและค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบ

3. Softkeys ใช้สำหรับเลือกวัดค่าแต่ละค่าและแต่ละฟังก์ชัน โดยแต่ละ Softkeys จะมี Label ปรากฏขึ้น

4. Menu keys ปุ่ม Menu ที่ใช้สำหรับเข้าไปปรับค่าที่ต้องการใช้ในการควบคุม ดังนี้

[Display Format] key Displays measurement results and selections.

[Meas Setup] key Sets measurement conditions, a correction function, and limit values for BIN sorting.

[Recall A] key Recalls the setting information on internal memory 0.

[Recall B] key Recalls the setting information on internal memory 1.

[Save/Recall] key Saves and recalls the setting information. Saves measurement results and screen images.

[System] key Sets the system. Sets the GP-IB interface and LAN. Performs a self-test.

[Local/Lock] key Locks and unlocks hard keys and softkeys on the front panel. Cancels remote control with GPIB commands.

5. Cursor keys ใช้สำหรับเลื่อนตำแหน่ง Cursor ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแก้ไข

6. Entry keys ใช้สำหรับใส่ค่าตัวเลขลงใน E4980A/AL

7. LED indicator เป็น LED แสดงสถานะเมื่อ DC bias on

8. Preset key กดเพื่อใช้ค่า Default

9. Trigger key ใช้สำหรับ Trigger เมื่อตั้งค่าเป็น Manual Trigger

10. DC Bias key ใช้สำหรับ On หรือ Off DC Bias

11. DC Source key ใช้สำหรับ On หรือ Off DC Source

12. UNKNOWN terminals ใช้เชื่อมต่อสาย Test fixture เพื่อใช้กับอุปกรณ์ทดสอบ

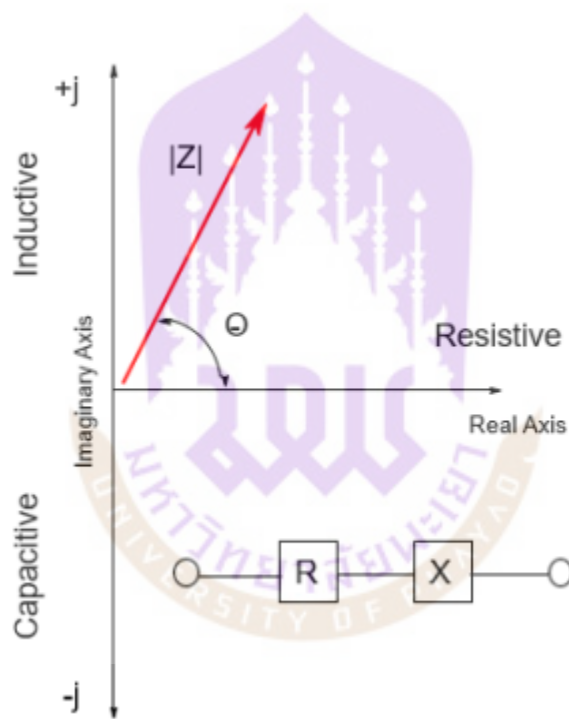
13. Front USB port ใช้ SAVE Data ลงใน USB Memory

2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์ (Fundamental of Electronic Components)

อุปกรณ์พื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์หลักของหลักการวัดค่าทางไฟฟ้าที่มี 3 ส่วนประกอบ คือ

1. ตัวต้านทาน (Resistors) ทำหน้าที่ต้านทานกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Ohm
2. ตัวเก็บประจุ (Capacitors) ทำหน้าที่สะสมประจุไฟฟ้าเมื่อมีระดับแรงดันไฟฟ้าเพียงพอที่จะให้ประจุสะสมในตัวเก็บประจุได้มีหน่วยเป็น Farad
3. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors) ทำหน้าที่เก็บพลังงานในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตัวเหนี่ยวนำเอง มีหน่วยเป็น Henries

ซึ่งเมื่อนำทั้งสามส่วนประกอบมาต่ออนุกรมในวงจรกระแสสลับจะมีความต้านทานรวมหรือความต้านทานเชิงซ้อนของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่า อิมพีแดนซ์ (Impedance) มีหน่วยเป็น Ohm โดยที่อิมพีแดนซ์ จะมีประกอบด้วย Resistance (R) เป็นส่วนของจำนวนจริง (Real Part) และ Reactance (X) เป็นส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary)



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ระหว่าง R, L, C

โดยที่มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1-3

$$Z = R + jX \quad 1$$

$$|Z| = (R^2 + X^2)^{1/2} \quad 2$$

$$\Theta = \text{Arctan}(X/R) \quad 3$$

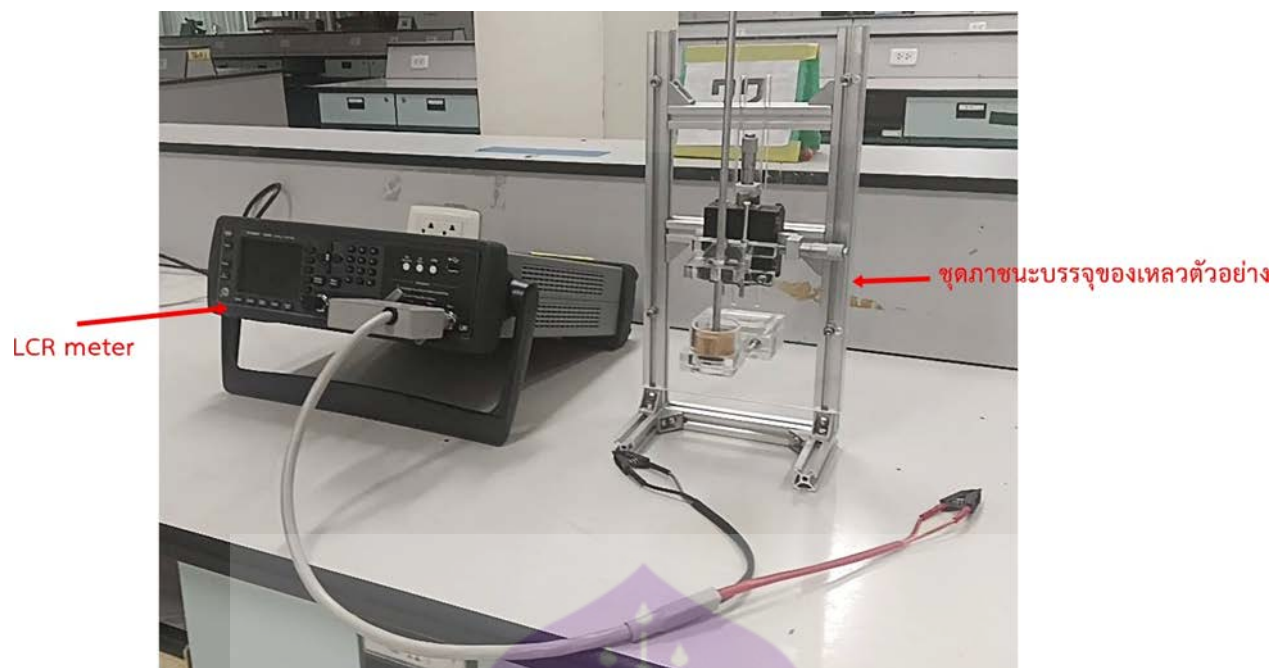
2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่อง LCR Meter เป็นเครื่องมือที่สำคัญสามารถใช้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า การเหนี่ยวนำไฟฟ้า รวมถึงค่าอิมพีแดนซ์ งานวิจัยใน [1] ได้นำเสนอวิธีการวัดค่าคงที่ไดโพลีเมทริกเชิงซ้อนของของเหลวได้แก่ น้ำเมทานอล และเอทานอล โดยใช้วิธีการสะท้อนในท่อคลื่นวงกลมที่ถูกตัด ร่วมกับเครื่อง RF LCR Meter ช่วงความถี่ 10 ถึง 1,000 MHz วิธีการนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความสะดวกในการใช้งาน ในทำนองเดียวกัน [2] งานวิจัยนี้แนะนำเสนอเครื่องสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวัดตัวอย่างของเหลว โดยใช้ความถี่ต่ำ (0.01 – 10 Hz) และการวิเคราะห์ฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง ใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแผ่นโลหะคู่ขนานทำมาจากโลหะแพทลินัม สามารถวัดในช่วงมิลลิเฮิรตซ์ได้ ผลการทดสอบยืนยันความแม่นยำของเครื่องมือเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและการวัดด้วย LCR Meter โดยสามารถขยายช่วงความถี่และเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ของเหลวที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ในด้านการประยุกต์ใช้งาน เครื่อง LCR Meter ถูกนำมาใช้ในระบบโทโมกราฟี หรือการสร้างภาพสองมิติด้วยค่าสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุตัวอย่างที่สมบัติแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ใน [3] ที่พัฒนาระบบโทโมกราฟีแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อวัดค่าการเหนี่ยวนำร่วมในของเหลว อีกทั้ง [4] ได้ศึกษาาระบบโทโมกราฟีความต้านทานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพของการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของของเหลว ในด้านการพัฒนาเซ็นเซอร์ งานวิจัยใน [5] ได้ออกแบบและพัฒนาเซ็นเซอร์วัดความดันแบบแผ่นความจุไฟฟ้า ออกแบบขั้วไฟฟ้าแบบ interdigitate โดยใช้เครื่อง LCR Meter ในการวัดความเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้า จากที่เกิดจากแรงดันของของเหลว นอกจากนี้ ใน [6] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ระบบสองขั้วไฟฟ้าร่วมกับเครื่อง LCR Meter สำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือที่สูง

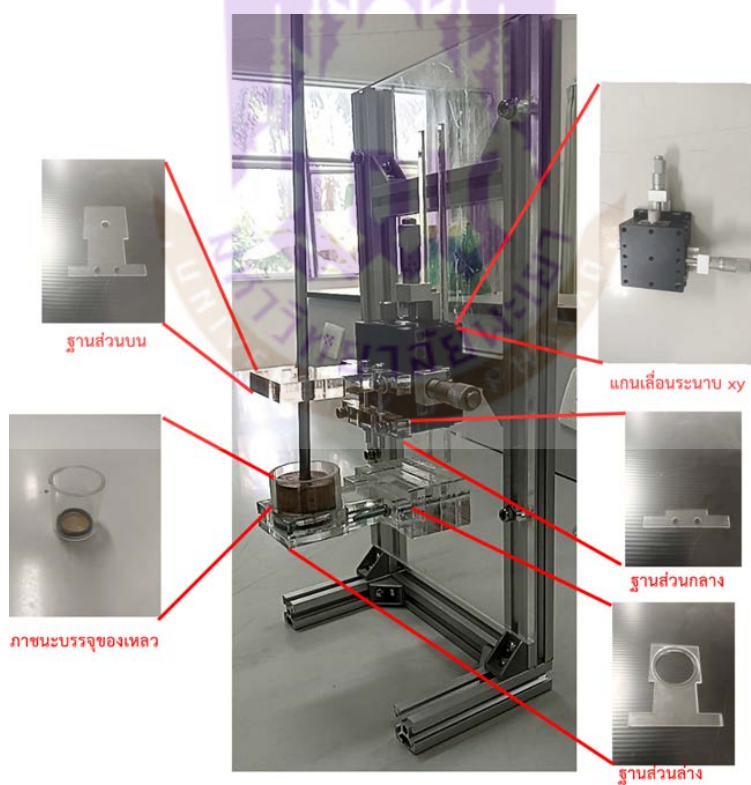
จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น แสดงให้เห็นว่าเครื่อง LCR Meter มีความสำคัญและน่าสนใจในการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของของเหลว ทั้งในแง่ของการออกแบบเซ็นเซอร์ การวัดสมบัติทางไฟฟ้าที่เฉพาะเจาะจง และการประยุกต์ใช้ในระบบโทโมกราฟี งานวิจัยเหล่านี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในอนาคต

2.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

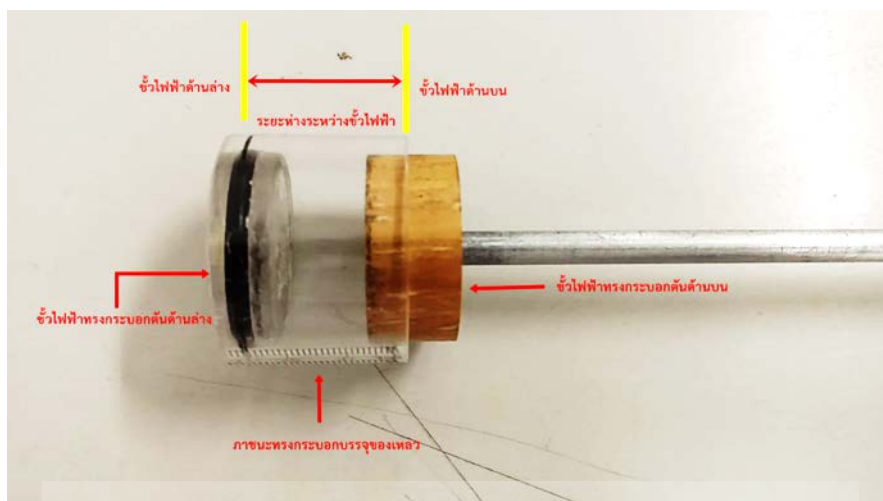
เนื่องจากตัวอย่างที่เป็นของเหลวยังไม่มีภาชนะที่บรรจุและขั้วไฟฟ้าสำหรับการวัดค่าทางไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงออกแบบและพัฒนาเป็นชุดการวัดของเหลวสำหรับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า LCR โดยได้ออกแบบชุดขาตั้งสำหรับติดตั้งขั้วไฟฟ้าและภาชนะบรรจุของเหลวโดยใช้โปรแกรมที่ชื่อ Corel draw ในการออกแบบ จากนั้นใช้เครื่องเลเซอร์ตัดเตอร์ตัดแผ่นอะคริลิกตามที่ได้ออกแบบไว้เพื่อประกอบเป็นต้นแบบสำหรับชุดวัดสมบัติทางไฟฟ้าชนิดของเหลวที่ใช้กับเครื่องวัดแอลซีอาร์ดังรูปที่ 2.3-2.5 และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพรวมถึงการใช้งานที่สะดวก เพื่อที่จะได้เป็นต้นแบบในการกลึงโดยใช้โลหะเพื่อความแข็งแรงและมั่นคง



รูปที่ 2.3 ชุดต้นแบบการวัดสมบัติทางไฟฟ้าชนิดของเหลว



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบที่รวมอยู่บนฐานชุดวัด(ต้นแบบ)



รูปที่ 2.5 ภาชนะบรรจุของเหลวและขั้วไฟฟ้า(ต้นแบบ)

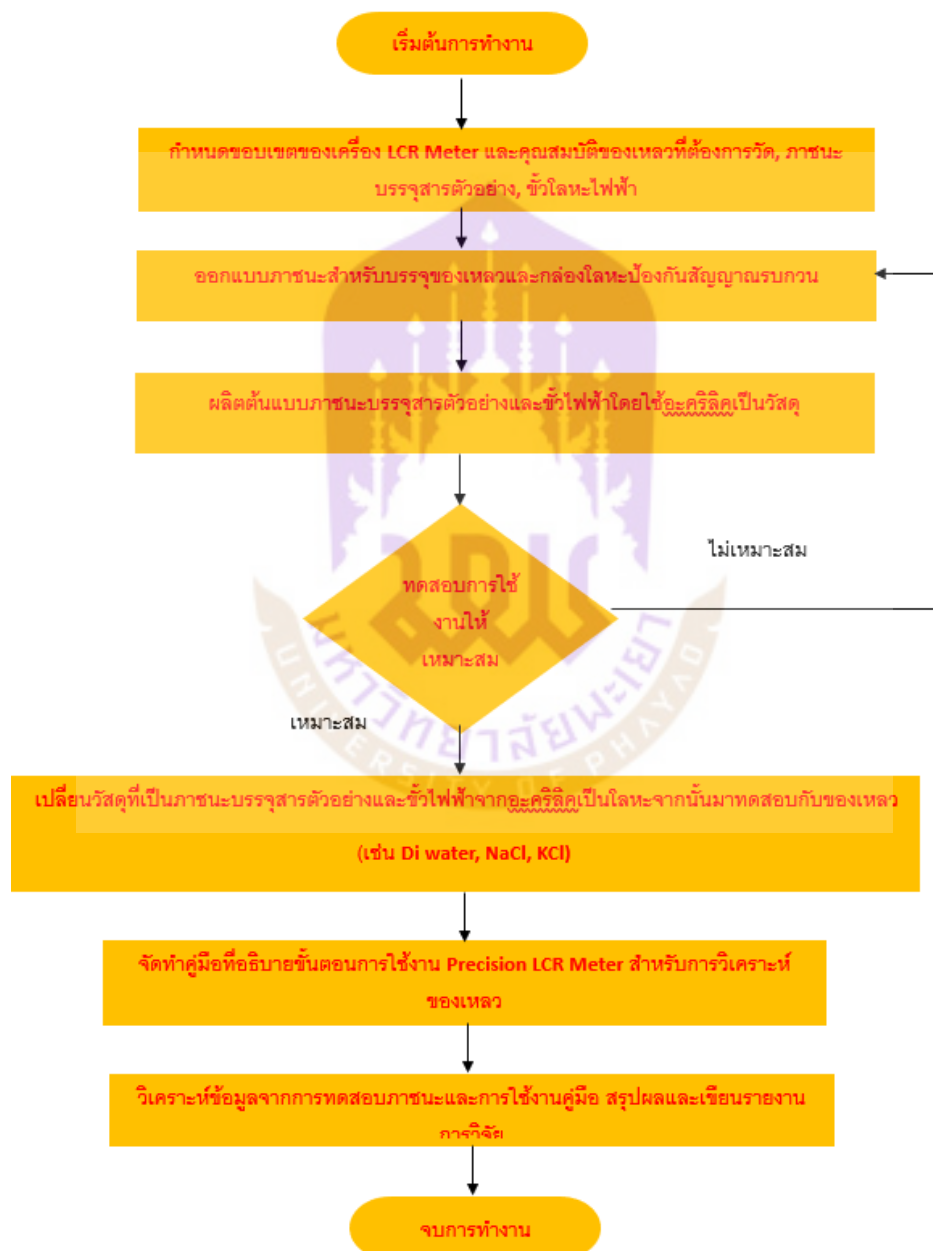


บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบต้นแบบชุดการวัดสำหรับของเหลวภาพรวม



รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมของงานวิจัย

จาก Flow chart สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1 ในขั้นตอนแรกกำหนดข้อมูลพื้นฐานทางเทคนิคของ Precision LCR Meter และคุณสมบัติที่สำคัญของของเหลวที่ต้องการวัดในงานวิจัยนี้จะเลือกพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวัด คือ ความจุไฟฟ้า, ความต้านทาน และความต้านทานเชิงซ้อน และสมบัติทางไฟฟ้าของภาชนะบรรจุสารตัวอย่างจะเลือกวัสดุที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าและมีความโปร่งแสงเพื่อที่สังเกตการณ์ทดลองหรือระดับของเหลวได้ นอกจากนี้โลหะสำหรับประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าจะต้องมีความทนทานต่อการเกิดไฮดรอกไซด์หรือสนิมให้ได้มากที่สุด เนื่องจากขั้วไฟฟ้าจะสัมผัสกับของเหลวตลอดเวลา

2 ในการออกแบบภาชนะสำหรับบรรจุของเหลวจะใช้ซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Corel draw ในการออกแบบจากนั้นจะใช้เลเซอร์ตัดเตอร์ตัดแผ่นอะคริลิกเพื่อที่จะประกอบเป็นต้นแบบจากนั้นทดสอบและปรับแก้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ในส่วนของกล่องโลหะป้องกันสัญญาณรบกวนจะเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับภาชนะและขั้วไฟฟ้าโดยพิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้า ความทนทานต่อสารเคมี และการนำไฟฟ้า

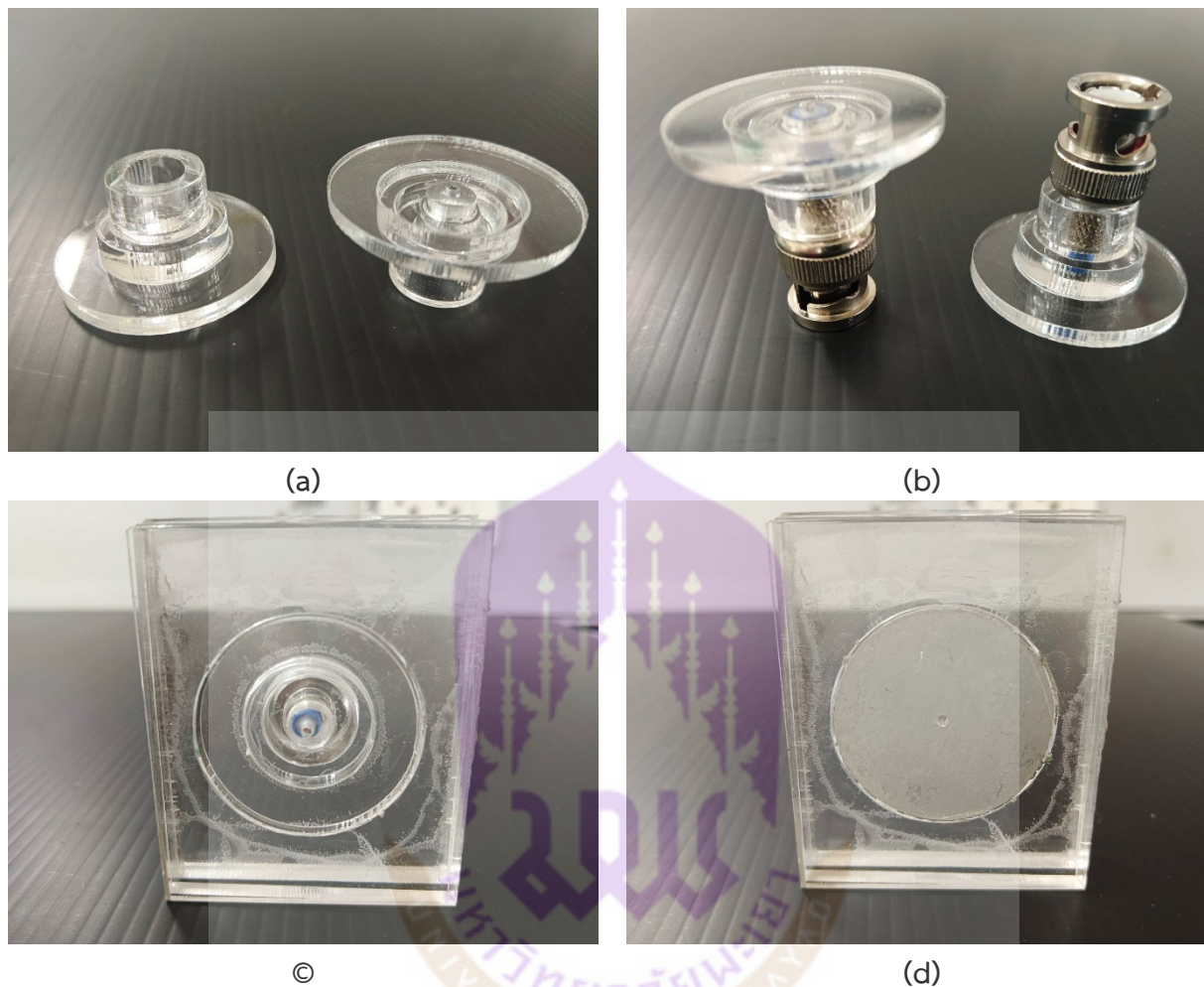
3 เมื่อผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุสารตัวอย่างและขั้วไฟฟ้าสำเร็จแล้วจะใช้โลหะที่ทนต่อการเกิดออกไซด์ แทนอะคริลิกโดยผลิตจากการกลึงเพื่อให้มีความมั่นคงและแข็งแรง

4 นำภาชนะและขั้วไฟฟ้าที่ได้จากการกลึงมาทดสอบกับ Precision LCR Meter โดยใช้ของเหลวตัวอย่าง (เช่น Di water, NaCl)

5 จัดทำคู่มือที่อธิบายขั้นตอนการใช้งาน Precision LCR Meter สำหรับการวิเคราะห์ของเหลว

6 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบภาชนะและการใช้งานคู่มือ สรุปผลและเขียนรายงานการวิจัย

3.2 การออกแบบชุดวัดและชี้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างชี้ไฟฟ้า ฐานอะคริลิกเคลือบด้วยกาวเงิน

จากรูปที่ 3.2 สามารถอธิบายขั้นตอนการสร้างชี้ไฟฟ้าได้ดังนี้

- 1.ออกแบบขนาดของชี้ไฟฟ้าพร้อมกับข้อต่อชี้ไฟฟ้าเข้ากับชี้ต่อ BNC (BNC connector) โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Corel draw ในการออกแบบ
- 2.เมื่อได้แบบแล้วเตรียมวัสดุที่เป็นแผ่นอะคริลิกความหนาขนาดต่างๆตามที่กำหนดไว้จากนั้นจะใช้เครื่องตัดเลเซอร์ตัดให้เป็นชิ้นงานออกมาออกมาแล้วนำมาประกอบด้วยน้ำยาประสานอะคริลิก ดังรูปที่3.2 (a)

3. เมื่อได้ฐานอะคริลิคสำหรับเคลือบขั้วไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วจะประกอบขั้วต่อ BNC โดยใช้กาวอีพ็อกซี (Epoxy) ดังรูปที่ 3.2 (b)
4. จากรูปที่ 3.2 © จะทำการเคลือบสารที่เป็นโลหะที่ชื่อว่า (Conductive Silver Paint) บนพื้นผิวของฐานอะคริลิคด้วยเทคนิคที่ชื่อว่า การสกรีน บนแม่พิมพ์โดยความหนาจะใช้ความหนาของเทปกาวเป็นตัวอ้างอิง
5. เมื่อได้ขั้วไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับขั้วต่อ BNC เรียบร้อยแล้วจะนำไปติดตั้งบนชุดวัด เพื่อพร้อมทดสอบกับของเหลวชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.3 ทดสอบขั้วไฟฟ้ากับตัวกลางที่เป็นอากาศ

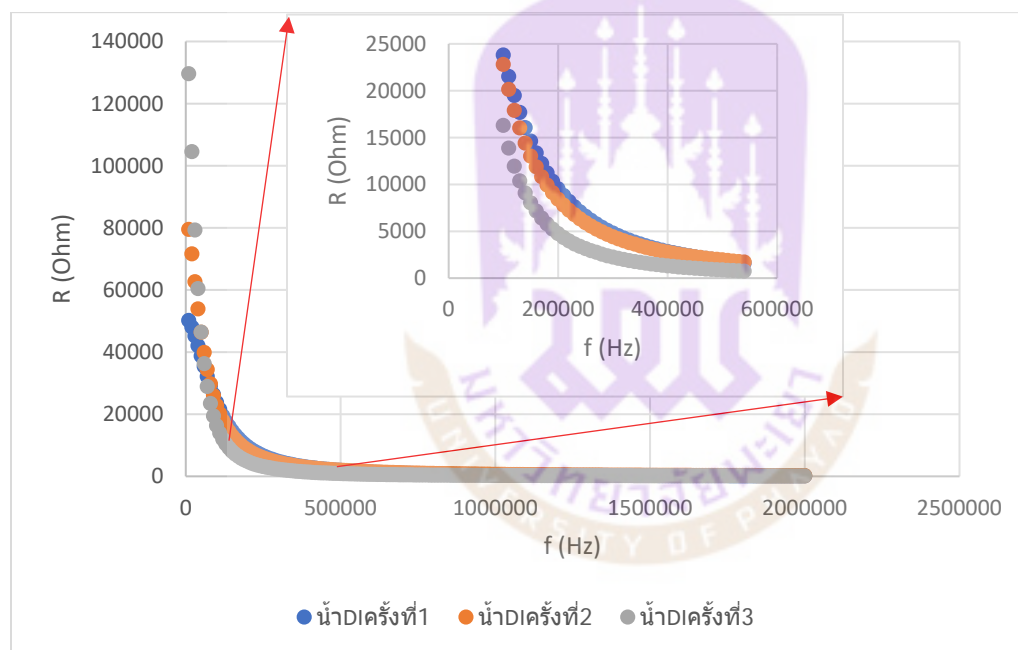
รูปที่ 3.3 เป็นการจัตุชุดวัดของเหลวสำหรับเครื่องวัด Precision LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A นอกจากนี้ยังได้ทดสอบกับของเหลวเช่น น้ำ DI (Deionized Water) และสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้นต่างๆซึ่งผลจะแสดงในบทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปราย

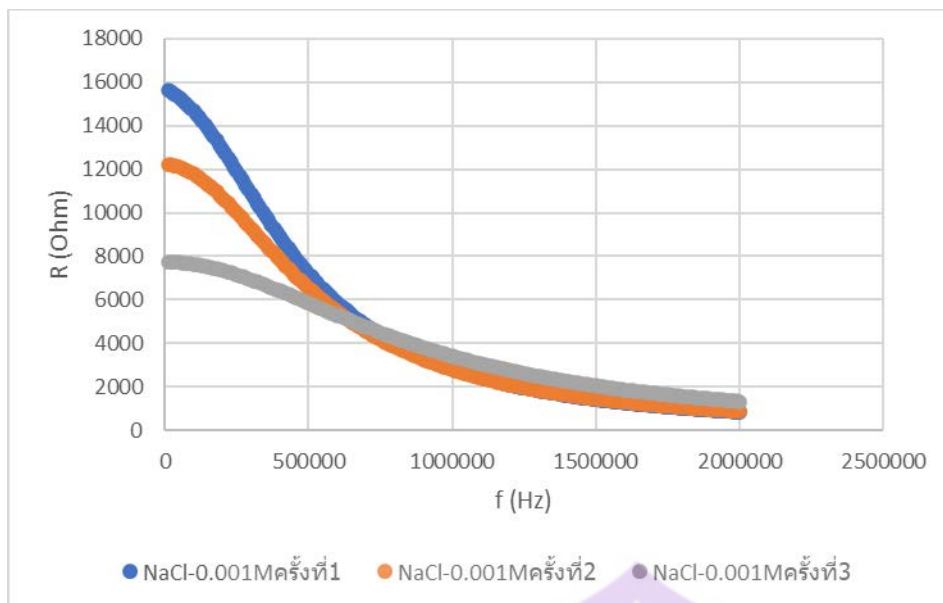
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดสอบขั้วไฟฟ้าในการวัดค่าความต้านทาน, ค่าความจุไฟฟ้า และค่าความต้านทานเชิงซ้อนของน้ำ DI และสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.001M, 0.01M, 0.05M และ 0.5M ตามลำดับ โดยใช้ความถี่ 20 – 2MHz จากเครื่องวัด Precision LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A ผลดังรูปที่ 4.1–4.15



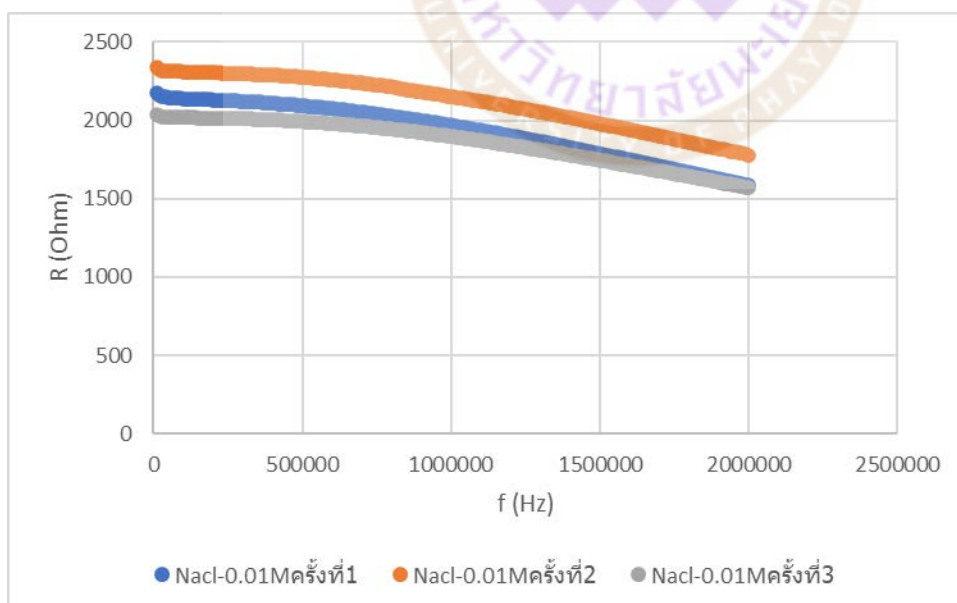
รูปที่ 4.1 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของน้ำ DI (Deionized Water)

จากรูปที่ 4.1 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานของน้ำ DI โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานในหน่วย โอห์ม (Ω) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความต้านทานลดลง จากนั้นเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



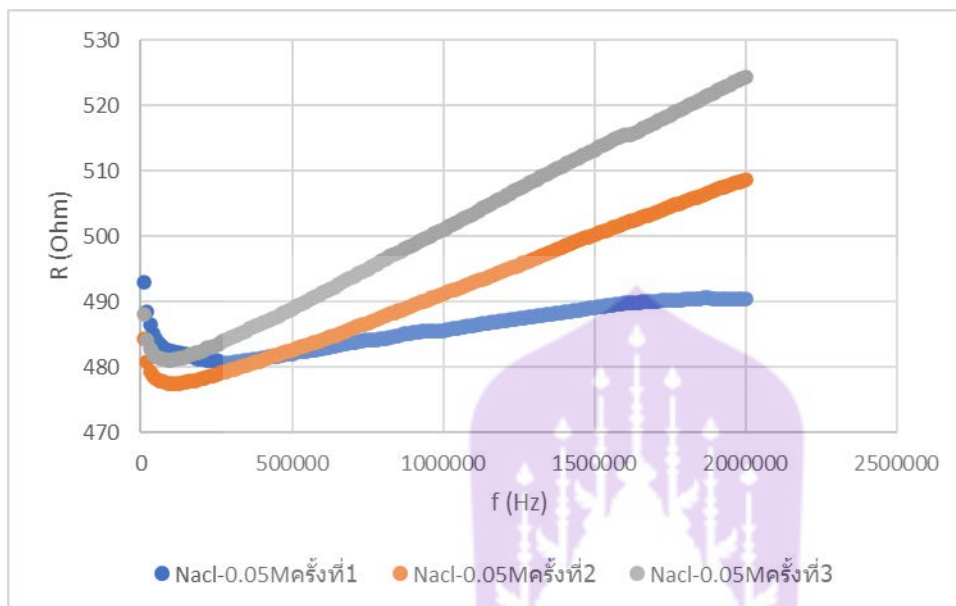
รูปที่ 4.2 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M

จากรูปที่ 4.2 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานในหน่วย โอห์ม (Ω) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความต้านทานลดลงและมีค่าแตกต่างกัน จากนั้นเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มลดลงและเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนักในช่วงนี้



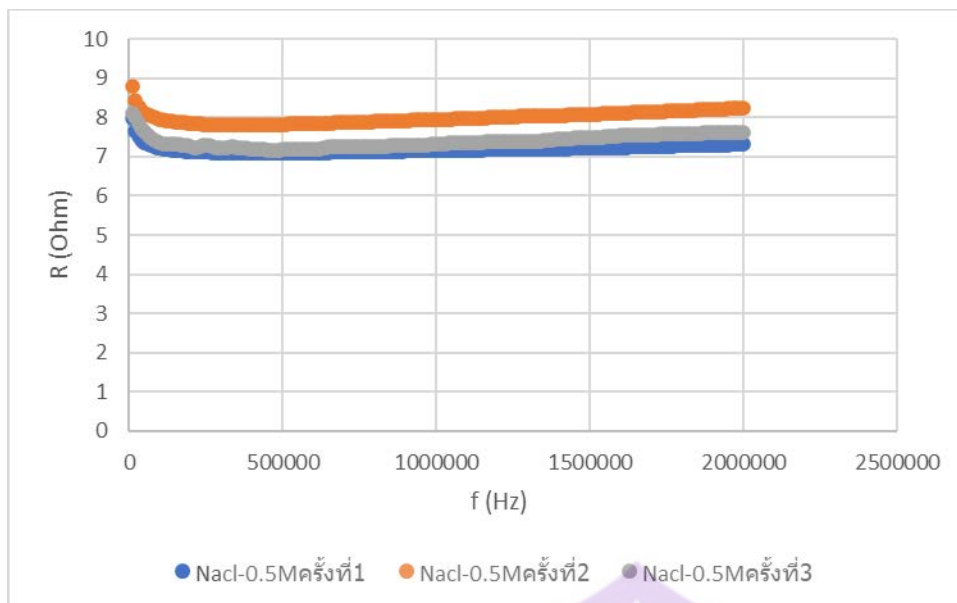
รูปที่ 4.3 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M

จากรูปที่ 4.3 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานในหน่วย โอห์ม (Ω) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความต้านทานแนวโน้มค่อนข้างคงที่ จากนั้นเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มลดลงและเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



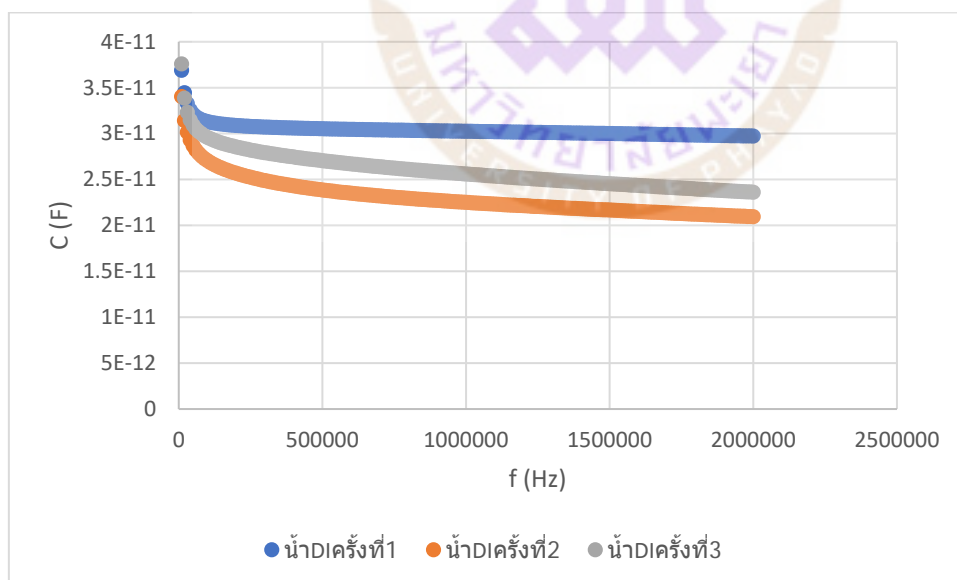
รูปที่ 4.4 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M

จากรูปที่ 4.4 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานในหน่วย โอห์ม (Ω) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นและมีค่าแตกต่างกัน จากนั้นเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักและเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



รูปที่ 4.5 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M

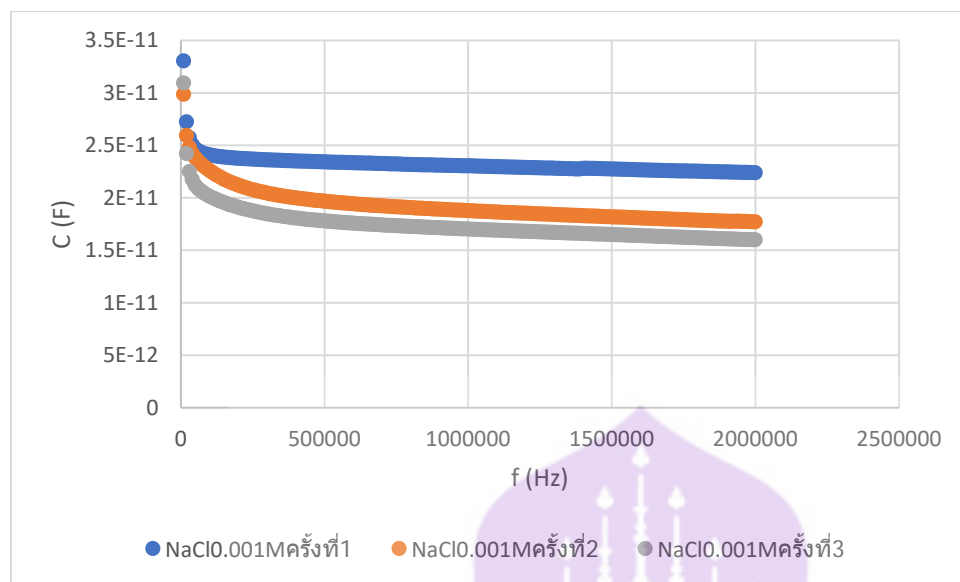
จากรูปที่ 4.5 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานในหน่วย โอห์ม (Ω) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความต้านทานลดลงและมีค่าแตกต่างกัน และเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



รูปที่ 4.6 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของน้ำ DI (Deionized Water)

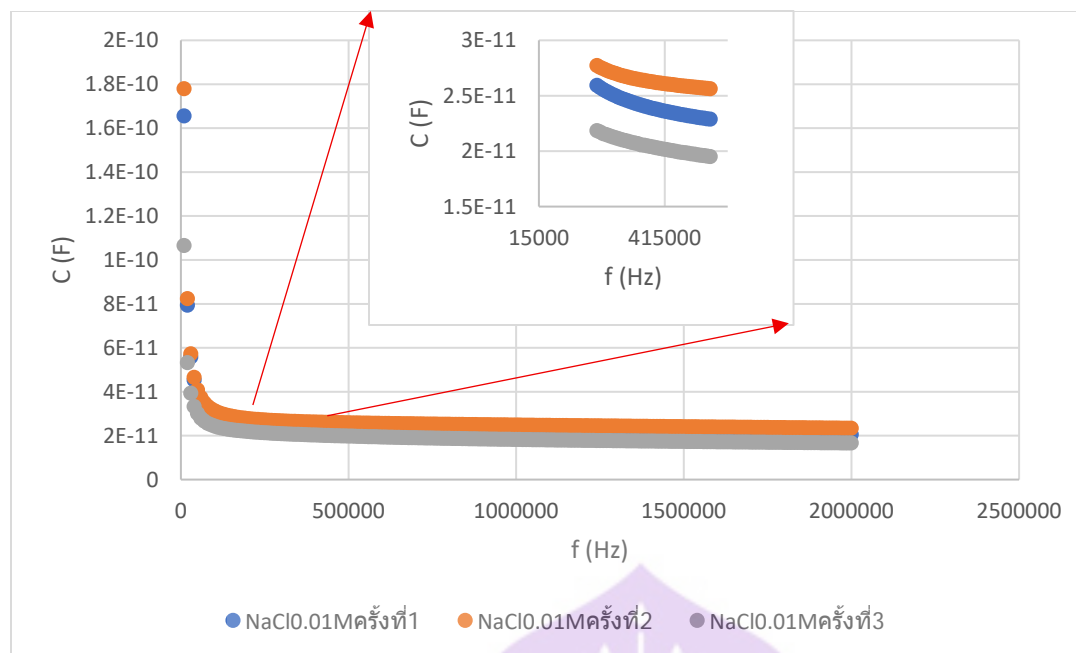
จากรูปที่ 4.6 ได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของน้ำ DI โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความจุไฟฟ้าในหน่วย ฟารัด (F) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 –

500,000 Hz จะมีค่าความจุไฟฟ้าลดลงและมีค่าแตกต่างกัน และเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



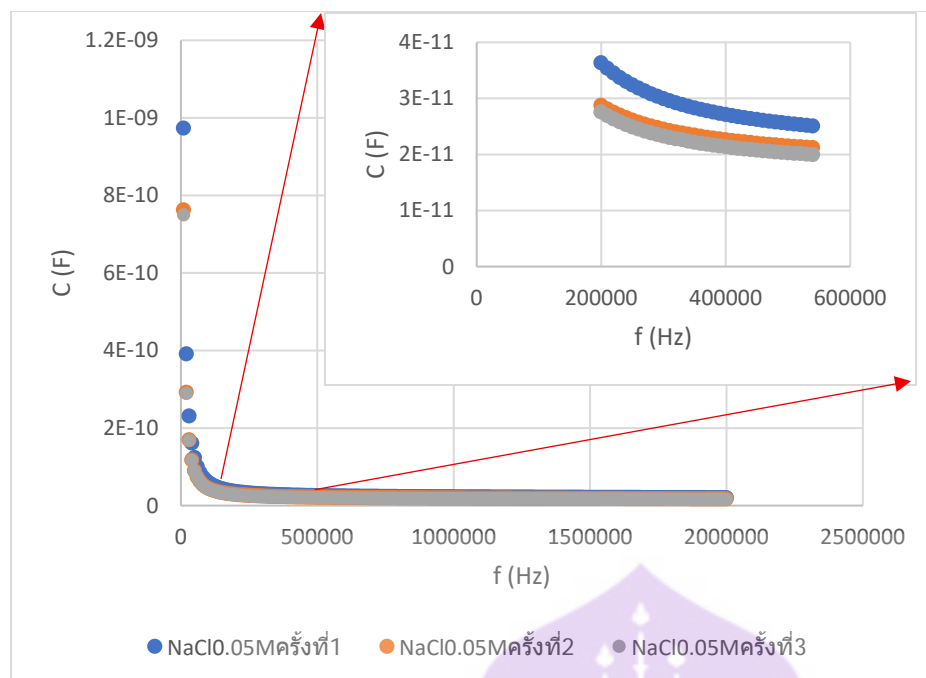
รูปที่ 4.7 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลายNaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M

จากรูปที่ 4.7 ได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความจุไฟฟ้าในหน่วย ฟารัด (F) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความจุไฟฟ้าลดลงและมีค่าแตกต่างกัน และเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



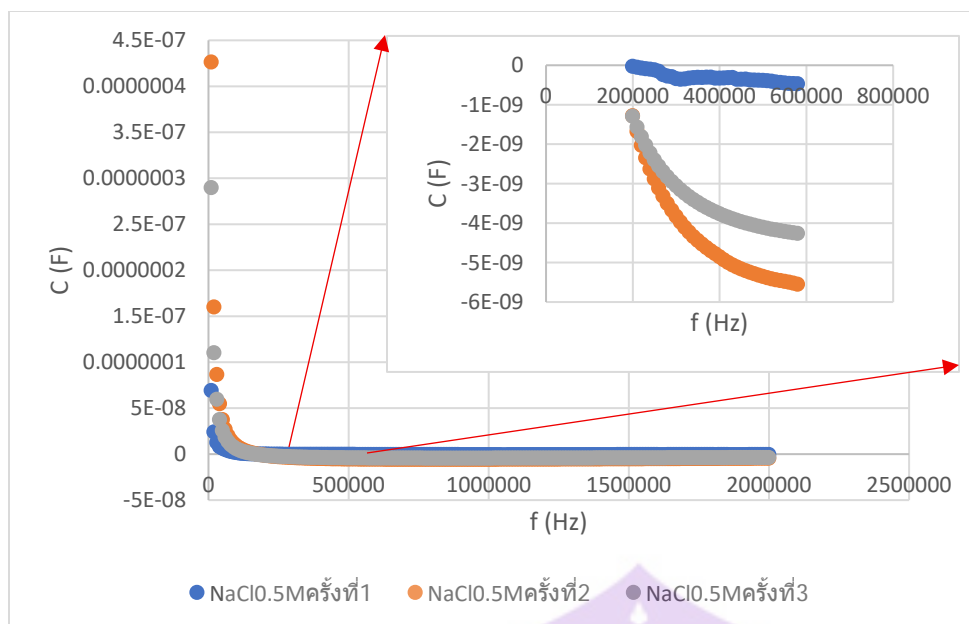
รูปที่ 4.8 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M

จากรูปที่ 4.8 ได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความจุไฟฟ้าในหน่วย ฟารัด (F) จากกราฟจะเห็นว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความจุไฟฟ้าลดลงและมีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



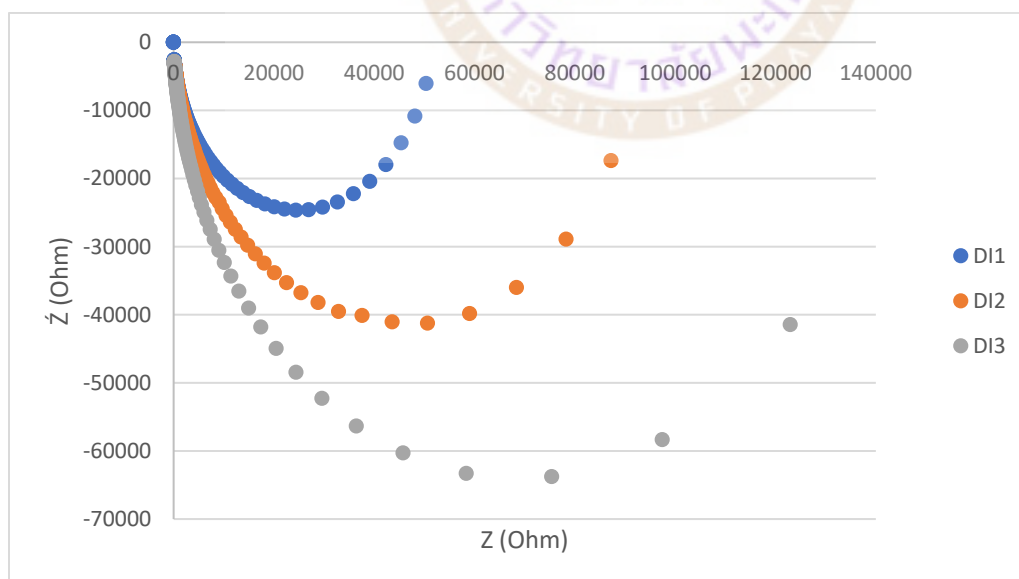
รูปที่ 4.9 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M

จากรูปที่ 4.9 ได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความจุไฟฟ้าในหน่วย ฟารัด (F) จากกราฟจะเห็นว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความจุไฟฟ้าลดลงและมีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



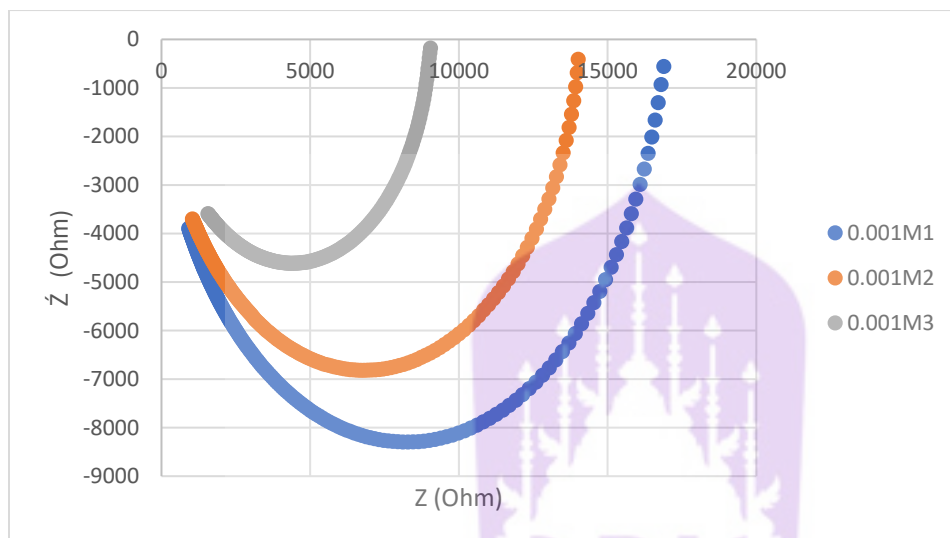
รูปที่ 4.10 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M

จากรูปที่ 4.10 ได้ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความถี่ในหน่วย เฮิร์ต (Hz) และแกน y จะเป็นค่าความจุไฟฟ้าในหน่วย ฟารัด (F) จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ต่ำ 20 – 500,000 Hz จะมีค่าความจุไฟฟ้าลดลงและมีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อความถี่อยู่ในช่วง 500,000-2MHz จะมีแนวโน้มคงที่และเมื่อวัดซ้ำ 3 ครั้ง จะพบว่ารูปแบบของกราฟจะไม่เปลี่ยนจากเดิมมากนัก



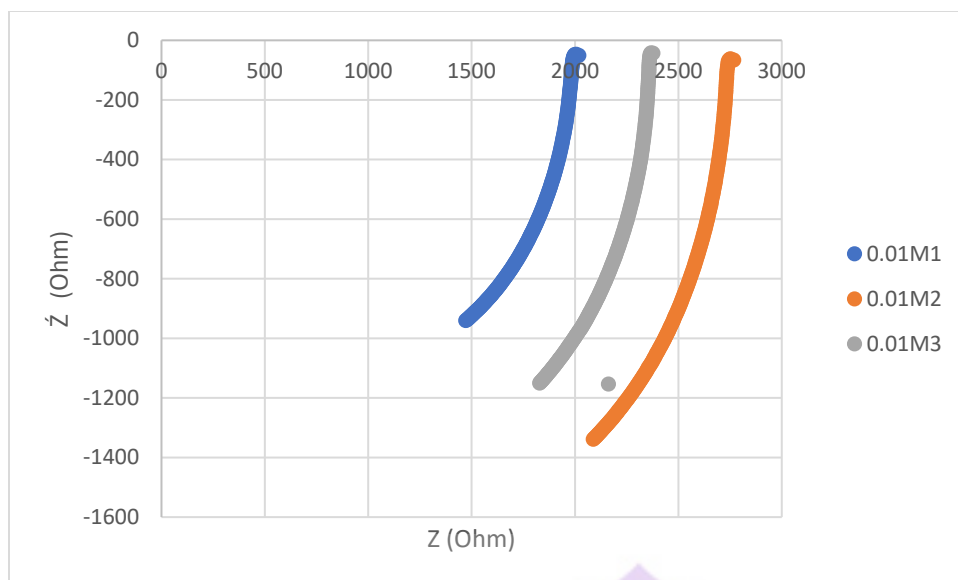
รูปที่ 4.11 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของน้ำ DI (Deionized Water)

จากรูปที่ 4.11 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของน้ำ DI โดยทำการวัด 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนจำนวนจริง (Real Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟทั้ง 3 เส้นมีความแตกต่างกันและมีค่าความต้านทานเชิงซ้อนทั้งสองแกนมีค่ามากและมีความโค้งมาก



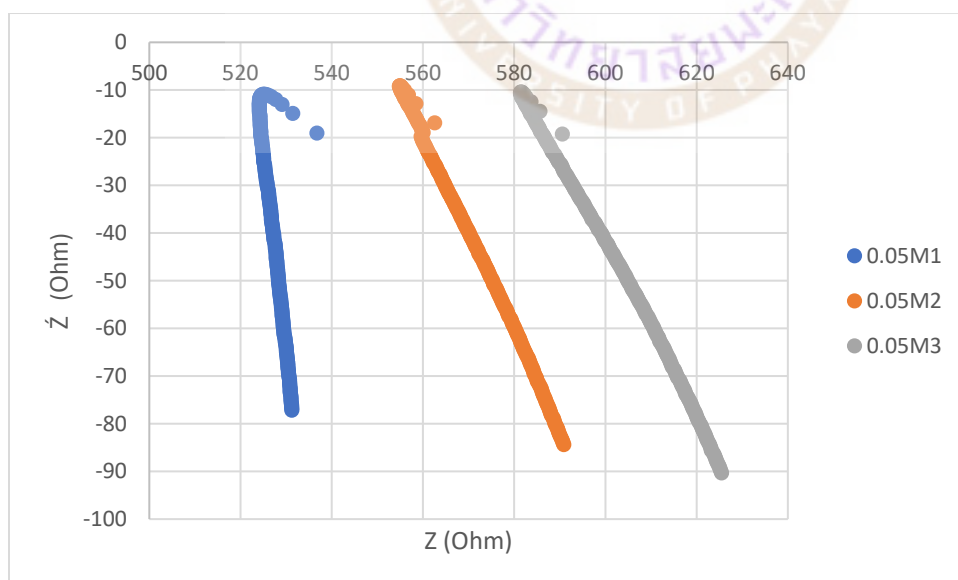
รูปที่ 4.12 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M

จากรูปที่ 4.12 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนจำนวนจริง (Real Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟทั้ง 3 เส้นมีความแตกต่างกันแต่ยังมีรูปแบบคล้ายเดิมและยังคงมีความโค้งมาก



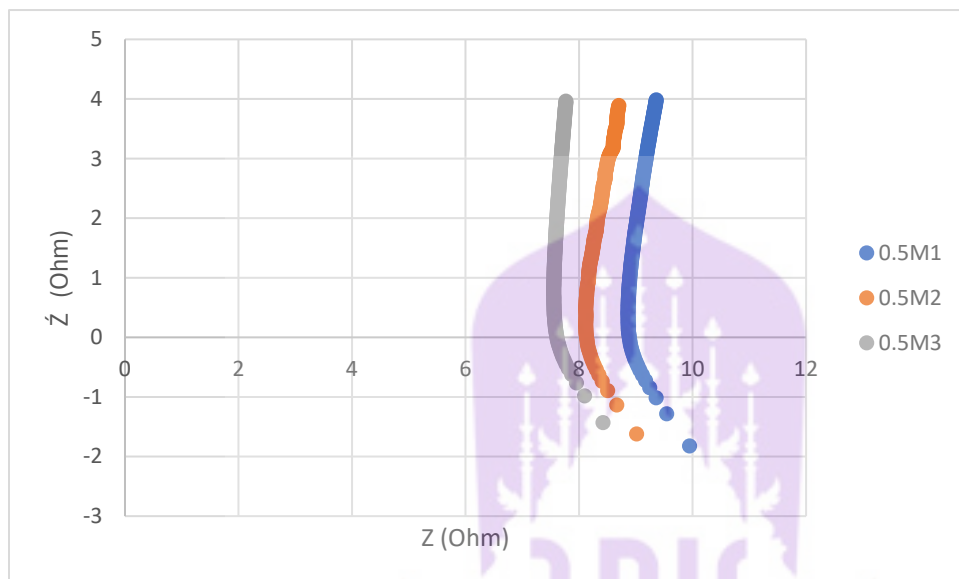
รูปที่ 4.13 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M

จากรูปที่ 4.13 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.01 M โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนของจำนวนจริง (Real Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟทั้ง 3 เส้นมีความแตกต่างกัน แต่ยังคงมีลักษณะความโค้ง



รูปที่ 4.14 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M

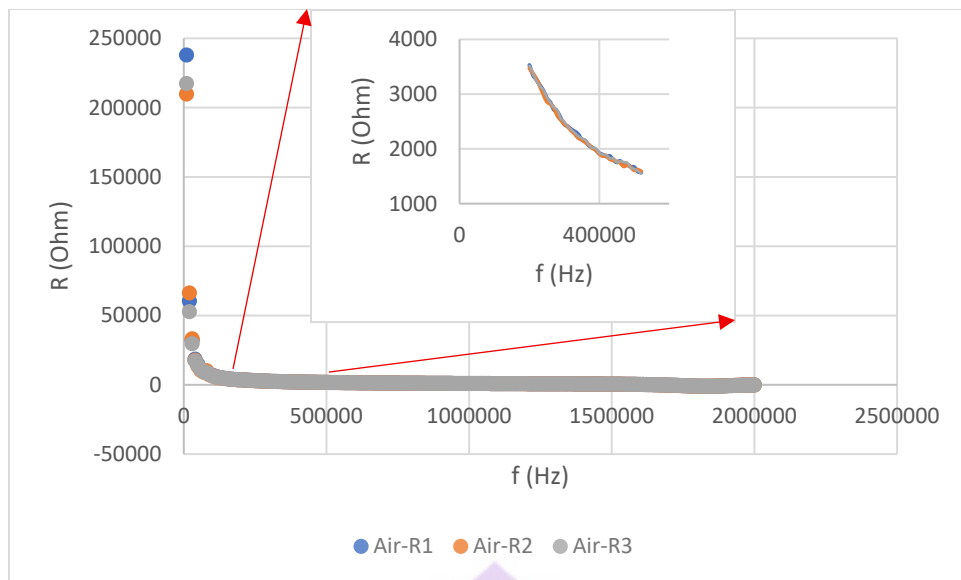
จากรูปที่ 4.14 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนจำนวนจริง (Real Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟทั้ง 3 เส้นมีความแตกต่างกันแต่ยังคงมีรูปแบบคล้ายเดิม แต่ความโค้งของกราฟหายไป เนื่องจากการนำไฟฟ้าที่มากขึ้น



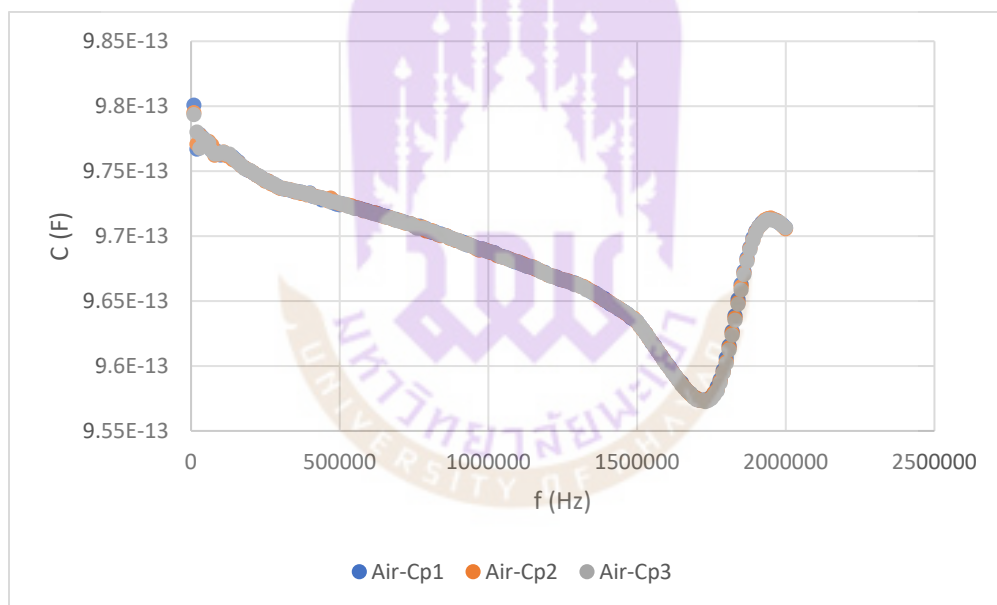
รูปที่ 4.15 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M

จากรูปที่ 4.15 ได้ทำการวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง และในแกน x จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนจำนวนจริง (Real Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) และแกน y จะเป็นค่าความต้านทานเชิงซ้อนในส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) ในหน่วย โอห์ม (Ohm) จากกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟทั้ง 3 เส้นมีความแตกต่างกันแต่ยังคงมีรูปแบบคล้ายเดิม แต่ความโค้งของกราฟหายไป เนื่องจากการนำไฟฟ้าที่มากขึ้น

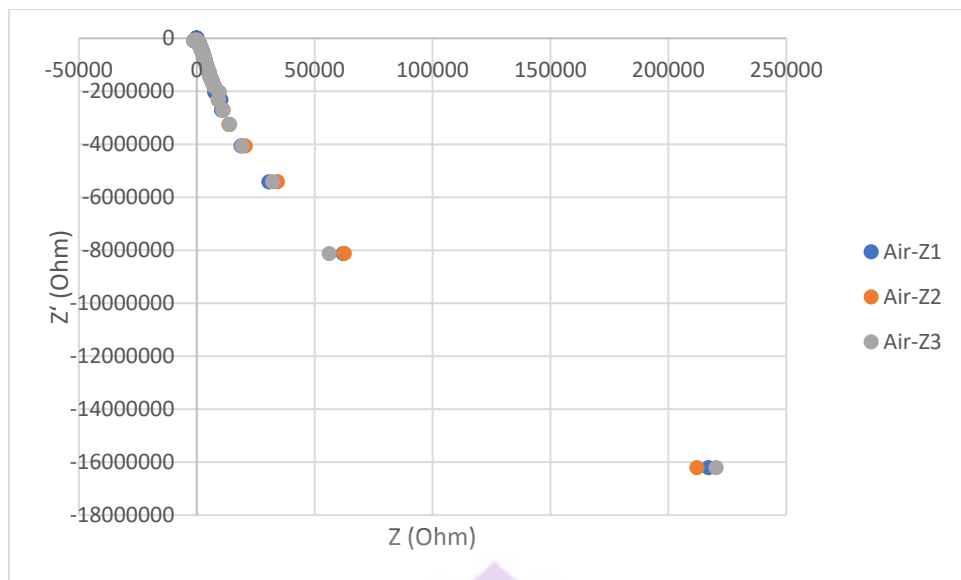
นอกจากนี้ยังได้ทดสอบขั้วไฟฟ้ากับตัวกลางที่เป็นอากาศในอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.16-4.18



รูปที่ 4.16 ทดสอบวัดค่าความต้านทานของอากาศ



รูปที่ 4.17 ทดสอบวัดค่าความจุไฟฟ้าของอากาศ



รูปที่ 4.18 ทดสอบวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนของอากาศ



บทที่ 5

สรุป และอภิปรายผล

จากผลการทดลองในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า, ความจุไฟฟ้า และค่าความต้านทานเชิงซ้อนของน้ำ DI, สารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.001 M, 0.01 M, 0.05 M, 0.5 M และอากาศ โดยเครื่องวัด Precision LCR Meter ยี่ห้อ Keysight รุ่น E4980A ในช่วงความถี่ 20 Hz – 2 MHz สรุปได้ว่าค่าความต้านทานของน้ำ DI จะมีค่าน้อยที่สุดและสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M จะมีค่าความต้านทานมากที่สุด นอกจากนี้ค่าความจุไฟฟ้าของน้ำ DI จะมีค่าน้อยที่สุดและสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M จะมีค่าความจุไฟฟ้ามากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อวัดค่าความต้านทานเชิงซ้อนระหว่างน้ำ DI กับสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M พบว่าน้ำ DI มีความโค้งของกราฟ (Nyquist plot) มีมากกว่ากับสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5 M ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความต้านทานที่มากขึ้นด้วย ในส่วนของอากาศพบว่ามีค่าความต้านทานน้อยกว่าน้ำ DI



บรรณานุกรม

- [1] Shibata, Kouji. (2023), A Simplified Measurement Procedure for Dielectric Measurement of Liquids, Including Calibration via the Cut-Off Circular Waveguide Reflection Method, IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pp. 01-06
- [2] L. Callegaro, F. Durbiano, E. Orrù and B. Trinchera (2013), An Impedance Spectrometer for the Metrology of Electrolytic Conductivity, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 62, no. 6, pp. 1766-1770
- [3] Cui, Z., Chen, Y., Zou, P., Wang, C., & Wang, H. (2018), Development of electromagnetic tomography system using LCR meter, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 1-5.
- [4] Wang, C., Cao, Q., Cui, Z., Chen, Y., & Wang, H. (2019), Evaluation of Voltage-driven Electrical Resistance Tomography Using LCR Meter-based Measurement System, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 1-6.
- [5] E. A. Unigarro, A. U. Achury, J. C. Bohorquez, J. S. Riquelme and F. E. Segura-Quijano (2014), Design and implementation of a planar capacitive pressure sensor, IEEE 9th IberoAmerican Congress on Sensors, Bogota, Colombia, 2014, pp. 1-3
- [6] Satish, A. Hemavathi, Anuj Krishna, Priyanka Jain, R. S. Meena, R. P. Aloysius, S. Swarupa Tripathy, V. P. S. Awana, Nahar Singh and J. C. Biswas (2023), Feasibility of Electrolytic Conductivity of Aqueous Solutions Using Two-Electrode System. MAPAN 38, 337-341.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)

นายศักดิ์ดา เชื้อนรอบเขต

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)

Mr. Sakda koenrobket

ตำแหน่งปัจจุบัน

พนักงานสายบริการ ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

(e-mail) sakda.ko@up.ac.th

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

19 หมู่ 2 ตำบล แม่กา อำเภอ เมือง จังหวัด พะเยา 56000

ประวัติการศึกษา

ปีที่สำเร็จการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา (วิชาเอก)	สถาบันการศึกษา
2555	ปริญญาตรี	วท.บ (ฟิสิกส์)เกียรตินิยม อันดับ 2	มหาวิทยาลัยพะเยา
2557	ปริญญาโท	วท.ม (ฟิสิกส์ประยุกต์)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่