



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต  
(Thermoelectric properties of Ethylammonium nitrate)

ชื่อนิสิต นางสาวชญานิศ คำน้อย

เลขประจำตัว 5933416123

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2563


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

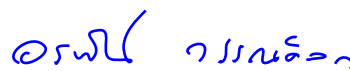
หัวข้อโครงการ สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต  
ผู้จัดทำโครงการ นางสาวชญาณิศ คำน้อย  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์  
ภาควิชา ฟิสิกส์  
ปีการศึกษา 2563

---


โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

คณะกรรมการสอบได้ตรวจรับรองโครงการฉบับนี้แล้ว

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไศยพงศ์ ฉัตรภรณ์)

  
..... กรรมการสอบ  
(อาจารย์ ดร.อรพิน วรรณดิลก)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์)

หัวข้อโครงการ	สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต
ผู้จัดทำโครงการ	นางสาวชญาณิศ คำน้อย
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2563

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรตที่ผสมด้วยสารคู่ควรรีดอกซ์ (Redox couple) คือลิเทียมไอโอดัด (LiI) และไอโอดีน ( $I_2$ ) ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โมลาร์ (M) ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคโดยใช้อุณหภูมิฝั่งร้อนในช่วง 50-40 องศาเซลเซียสและฝั่งเย็นในช่วง 28.5-25.0 องศาเซลเซียสแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มแรกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง (0.1, 0.2 และ 0.4 โมลาร์) อยู่ในช่วง 707-764  $\mu\text{V/K}$  และกลุ่มที่สองมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคต่ำ (0.3 และ 0.5 โมลาร์) อยู่ในช่วง 357-408  $\mu\text{V/K}$  เมื่อพิจารณาลักษณะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในช่วงความต้านทานโหลด 0 ถึง 111,100 โอห์ม สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค โดยกลุ่มแรก (0.1, 0.2 และ 0.4 โมลาร์) มีการกลับขั้วของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์อย่างสมบูรณ์ที่ความต่างอุณหภูมิในช่วง 8.0-10.2 องศาเซลเซียส กลุ่มที่สอง (0.3 และ 0.5 โมลาร์) มีการกลับขั้วของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์อย่างสมบูรณ์ที่ความต่างอุณหภูมิอยู่ในช่วง 13.9-16.2 องศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามีความสูงของจุดยอดของกราฟที่ลดลงและเกิดที่ความต่างศักย์น้อยลงเมื่อความต่างอุณหภูมิลดลงและกรณีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า สำหรับค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.39  $\text{mW/m}^2$  ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์และความต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 35.4 องศาเซลเซียส

Project Title	Thermoelectric properties of Ethylammonium nitrate
Author	Chayanit Kamnoi
Project Advisor	Associate Professor Somchai Kiatgamolchai (Ph.D)
Co-Project Advisor	Assistant Professor Nipaka Sukpirom (Ph.D)
Department	Physics
Academic Year	2020

---

### Abstract

This project studied the thermoelectric properties of ethylammonium nitrate with redox couple(Lithium Iodide (LiI) and Iodine (I<sub>2</sub>)) at concentrations of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5 molars (M). The Seebeck coefficient was measured with the hot side temperature in the range of 50-40 °C and the cold side in the range of 28.5-25.0 °C. The result can be divided into two groups: the first group with high Seebeck coefficient(0.1, 0.2, and 0.4 molars) in the range 707-764  $\mu\text{V/K}$  and the second group has low Seebeck coefficient(0.3 and 0.5 molars) in the range 357-408  $\mu\text{V/K}$ . The current-voltage(I-V) characteristic using the load resistance 0 to 111,100 ohms can be divided into two similar groups as the Seebeck coefficient. The first group(0.1, 0.2, and 0.4 molars) reversed the I-V polarity in the temperature difference ranges of 7.2- 10.2 °C. The second group(0.3 and 0.5 molars) reversed the I-V polarity in the temperature difference range of 13.9-16.2 °C. The power density peak tended to decrease and occur at smaller potential difference as the temperature difference decreases. The higher the concentration is, the lower the power density is. The maximum power density was 2.39  $\text{mW/m}^2$  at the concentration of 0.4 molar and temperature difference was 35.4 °C.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรดนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้ณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนการศึกษาในโครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ อีกทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการนำวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือมาใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณนางสาวธีรศรา มั่งเรืองสกุล สำหรับการช่วยเหลือในการทดลองและให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ในท้ายที่สุดนี้ ขอแสดงความขอบพระคุณครอบครัวอันเป็นที่รัก คณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนนิสิตผู้เป็นกัลยาณมิตรทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ชญาณิศ คำน้อย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	2
2.1 วัสดุและกลไกการเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	2
2.2 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	2
2.3 ปรากฏการณ์ซีเบค	2
2.4 สภาพต้านทานไฟฟ้า	3
2.5 ของเหลวไอออนิกและสารคู่ควบรีด็อกซ์	4
2.6 โครงสร้างของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต	6
2.7 ปฏิกริยาภายในสารละลาย	7
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลองและวิธีการทดลอง</b>	8
3.1 ขั้นตอนการเตรียมสาร	8
3.2 วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	9
3.3 วัดลักษณะเฉพาะกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในวงจร	11
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	12
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	12
4.2 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์	15
4.3 ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้ากับความต่างศักย์	23
4.4 ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างอุณหภูมิ	28
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	29
5.1 สรุปผล	29
5.2 ปัญหาที่พบ	30
5.3 ข้อเสนอแนะ	30
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	31
<b>ภาคผนวก</b>	32

## สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1:	การเกิดปรากฏการณ์ซีเบค(Seebeck effect)	3
รูปที่ 2.2:	โครงสร้างทางเคมีของของเหลวไอออนิก	4
รูปที่ 2.3:	โครงสร้างทางเคมีของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต(EAN)	6
รูปที่ 2.4:	ปฏิกิริยาภายในสารละลาย	7
รูปที่ 3.1:	การเตรียมขั้วสารโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	8
รูปที่ 3.2:	นำสารที่เตรียมเรียบร้อยแล้ววางบนเครื่อง Magnetic Stirrer	9
รูปที่ 3.3:	การบรรจุสารลงบนวงแหวนแก้วและนำภาชนะทองเหลืองวางทับบริเวณ ด้านบนแผ่นแพลทินัมพร้อมกับต่อสายไฟบริเวณอิเล็กทรอนิกส์โทรดทั้งบนและล่าง	9
รูปที่ 3.4:	เทน้ำร้อนลงในภาชนะทองเหลือง	10
รูปที่ 3.5:	วงจรการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค, 1=วงแหวนแก้ว, 2=ภาชนะทองเหลืองสำหรับ ใส่น้ำร้อน, 3=ฐานทองเหลือง, 4=แผ่นแพลทินัม(แผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรด), 5=เทอร์โมคัปเปิล และ 6=ฐานรองอุปกรณ์	10
รูปที่ 3.6:	(ซ้าย) เครื่องมัลติมิเตอร์ (Keithley 2700 + Scanner 7710) และ (ขวา) ตัวต้านทาน ปรับค่าได้	11
รูปที่ 3.7:	วงจรการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์, 1=วงแหวนแก้ว, 2=ภาชนะทองเหลืองสำหรับใส่น้ำร้อน, 3=ฐานทองเหลือง, 4=แผ่นแพลทินัม- (แผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรด), 5=เทอร์โมคัปเปิล และ 6=ฐานรองอุปกรณ์	11
รูปที่ 4.1:	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3	12
รูปที่ 4.2:	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3	13
รูปที่ 4.3:	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3	13
รูปที่ 4.4:	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3	14
รูปที่ 4.5:	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3	14
รูปที่ 4.6:	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.1-0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3	15
รูปที่ 4.7:	ลักษณะกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1M การวัดครั้งที่ 1	16
รูปที่ 4.8:	ลักษณะกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1M การวัดครั้งที่ 2	16
รูปที่ 4.9:	ลักษณะกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1M การวัดครั้งที่ 3	16
รูปที่ 4.10:	ลักษณะกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2M การวัดครั้งที่ 1	17
รูปที่ 4.11:	ลักษณะกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2M การวัดครั้งที่ 2	17
รูปที่ 4.12:	ลักษณะกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2M การวัดครั้งที่ 3	17





## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1: แสดงปริมาณสารที่ได้จากการคำนวณของแต่ละความเข้มข้นในหน่วยกรัม	8
ตาราง 4.1: ช่วงความต่างของอุณหภูมิที่เริ่มมีการกลับซ้ำอย่างสมบูรณ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	21

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้มีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นตลอดเวลาและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่แหล่งพลังงานต่าง ๆ นั้นกลับมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความขาดแคลนของพลังงานได้ จึงเป็นสาเหตุให้มีการใช้พลังงานทดแทนเกิดขึ้น การที่จะนำพลังงานทดแทนมาใช้นั้นจะต้องไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อ สิ่งอื่น โดยพลังงานต่าง ๆ ในปัจจุบันที่นำมาเป็นพลังงานทางเลือก ได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ฯลฯ มาเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า ซึ่งพลังงานความร้อนจัดว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ทั้งที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม จากใต้พื้นโลก อีกทั้งพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้ง(Waste heat) ซึ่งพลังงานความร้อนเหล่านี้จัดว่าเป็นพลังงานความร้อนที่สูญเปล่าที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นจึงได้มีเทคโนโลยีที่สำคัญที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาส่วนนี้ คือ เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงผ่านปรากฏการณ์ซีเบค(Seebeck effect)[1] สารที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ บิสมัท เทลลูไรด์ (BiTe<sub>3</sub>) ที่มีสมบัติเป็นของแข็งและรูปทรงเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมบาง การเป็นของแข็งนั้นทำให้การขึ้นรูปเป็นทรงอื่นตามแหล่งความร้อนต่าง ๆ เป็นไปได้ยาก ดังนั้นผู้ทดลองจึงมีความสนใจสารที่ขึ้นรูปง่ายและสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างหรือขนาดตามที่ต้องการ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ๆ และสภาพนำไฟฟ้าสูง สมบัติต่าง ๆ เหล่านี้พบได้ในของเหลวไอออนิก(Ionic Liquid : IL)[2] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต(Ethylammonium nitrate) ที่ผสมกับสารคู่ควอเตอร์คอลลีเทียมไอโอดัดและไอโอดีน

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกและลักษณะเฉพาะกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรตที่ผสมสารคู่ควอเตอร์คอลลีเทียมไอโอดัดและไอโอดีน

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ซีเบคจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ โดยให้อุณหภูมิฝั่งร้อนและเย็นมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างอิสระ

1.3.2 ศึกษาลักษณะเฉพาะกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรตที่ผสมสารคู่ควอเตอร์คอลลีเทียมไอโอดัดและไอโอดีนที่ความเข้มข้น 0.1-0.5 โมลาร์

1.3.3 ศึกษาความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรตที่ผสมสารคู่ควอเตอร์คอลลีเทียมไอโอดัดและไอโอดีนที่ความเข้มข้น 0.1-0.5 โมลาร์

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถอธิบายสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของของเหลวไอออนิกที่นำมาใช้ในการทดลองได้

1.4.2 สามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อต่อยอดและพัฒนาสมบัติของสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.4.3 ฝึกการคิดวิเคราะห์และอภิปรายผลที่ได้จากการทดลอง

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 วัสดุและกลไกการเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นวัสดุที่มีอิเล็กตรอนเกินหรือมีตำแหน่งว่างในโครงสร้างผลึก วัสดุนี้สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยการถ่ายเทของพาหะ ซึ่งเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การสะสมของพาหะที่บริเวณอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า ซึ่งต่างจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าและความต่างศักย์ ความร้อนทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างภายในที่เรียกว่า โฟนอน(Phonon) และพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ทำให้เกิดการถ่ายเทของประจุไฟฟ้า เราเรียกการเปลี่ยนรูปพลังงานไปมาระหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าว่า ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก(Thermoelectric effect)

#### 2.2 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกบ่งชี้ด้วยค่า “Z” หรือที่เรียกกันว่า Figure of Merit วัสดุที่มีค่า Z ที่สูง หรือมีประสิทธิภาพสูงนั้น ต้องมีคุณสมบัติ 3 ประการได้แก่

- 2.1 มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค(Seebeck coefficient) ที่สูงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่สูง
- 2.2 มีสภาพนำไฟฟ้าสูงซึ่งนำไปสู่ความต้านทานภายในที่ต่ำ
- 2.3 มีสภาพนำความร้อนต่ำ เพื่อคงสภาพเกรเดียนต์อุณหภูมิที่สูง

คุณสมบัติทั้ง 3 ประการนี้มีความสัมพันธ์กันด้วยหลักทางฟิสิกส์ตามสมการต่อไปนี้

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} \quad (1)$$

เมื่อ  $Z$  คือค่าประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ( $K^{-1}$ )

$S$  คือค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ( $V/K$ )

$\sigma$  คือสภาพการนำไฟฟ้า ( $\Omega/m$ )

$\kappa$  คือสภาพการนำความร้อนของวัสดุ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

#### 2.3 ปรากฏการณ์ซีเบค

ปรากฏการณ์ซีเบค(Seebeck effect) ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1821 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน Thomas Johann Seebeck เขาพบว่าเมื่อนำโลหะสองชนิดมาเชื่อมต่อกันในลักษณะวงจรมัด ซึ่งมีรอยต่อสองรอยต่อและให้อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างรอยต่อของตัวนำทั้งสองชนิดนั้นจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมัดได้ ในปัจจุบันสำหรับลวดตัวนำหนึ่งชนิด เมื่อปลายทั้ง 2 ด้านมีอุณหภูมิแตกต่าง  $\Delta T$  จะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายเส้นลวด ซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

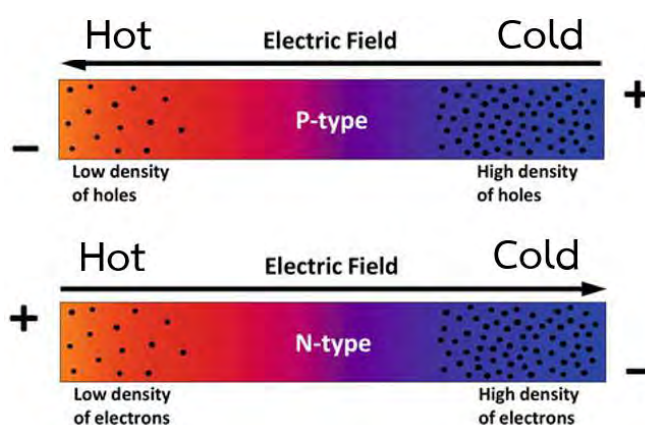
$$\Delta V = S \Delta T \quad (2)$$

เมื่อ  $\Delta V$  คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

$S$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค ( $V/K$ )

$\Delta T$  คือ ผลต่างอุณหภูมิ (K)

สาเหตุที่ทำให้ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อประจุพาหะไม่ว่าจะเป็น อิเล็กตรอนหรือโฮลได้รับความร้อน พาหะดังกล่าวจะเกิดการแพร่จากฝั่งร้อนไปยังฝั่งเย็น ทำให้มีการสะสมของประจุพาหะต่างชนิดกันที่ปลายทั้งสองข้าง ความแตกต่างของชนิดประจุที่ปลายทั้งสองข้างหรือกรณีประจุชนิดเดียวกันแต่ความหนาแน่นต่างกันทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าและเกิดสนามไฟฟ้าภายในวัสดุในทิศทางที่ออกแรงกระทำต่อประจุพาหะในทิศทางตรงกันข้ามกับการแพร่ เมื่อแรงผลักดันจากการแพร่และจากสนามไฟฟ้าภายในมีค่าเท่ากันระบบจะเข้าสู่สมดุล ส่งผลให้ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นมีค่าคงที่และสนามไฟฟ้าภายในที่สภาวะสมดุลมีค่า  $E = S\Delta T$  ดังรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงสภาวะที่มีผลต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แล้วทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นเมื่อประจุพาหะอยู่ในสภาวะสมดุล



(แหล่งที่มา: [http://www.esanpedia.oar.ubu.ac.th/eresearch/files/Thanapol\\_Chapanote](http://www.esanpedia.oar.ubu.ac.th/eresearch/files/Thanapol_Chapanote))

รูปที่ 2.1: การเกิดปรากฏการณ์ซีเบค(Seebeck effect)

## 2.4 สภาพต้านทานไฟฟ้า

ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า โดยการให้กระแสไฟฟ้าผ่านวัสดุ วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าแล้วคำนวณหาความต้านทานไฟฟ้าจากสมการ

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

เมื่อ  $R$  คือความต้านทาน ( $\Omega$ )

$V$  คือความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

$I$  คือกระแสไฟฟ้า (A)

สภาพต้านทาน คือ ความสามารถของสารในการต้านกระแสไฟฟ้า สภาพต้านทานขึ้นอยู่กับชนิดของสาร โดยสมการเป็นดังนี้

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (4)$$

เมื่อ  $\rho$  คือสภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega\text{m}$ )

$R$  คือความต้านทาน ( $\Omega$ )

$A$  คือพื้นที่หน้าตัดวัสดุ ( $\text{m}^2$ )

$l$  คือความยาวของวัสดุ (m)

เราสามารถหาความต้านทานภายในแหล่งกำเนิดจากกฎแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ที่กล่าวไว้ว่า “ผลรวมทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานภายในวงจรไฟฟ้านั้น” จะได้ว่า

$$\varepsilon = Ir + V$$

$$I = -\frac{V}{r} + \frac{\varepsilon}{r} \quad (5)$$

เมื่อ  $\varepsilon$  คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลาย (V)

$I$  คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)

$r$  คือความต้านทานภายในของสารละลาย ( $\Omega$ )

$V$  คือความต่างศักย์รวมของระบบ (V)

หากแนวโน้มกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์เป็นเส้นตรง สามารถหาสมการเชิงเส้นของกราฟ( $Y=A+BX$ ) เพื่อเปรียบเทียบกับสมการ (5) จะได้ว่า

$$B = -\frac{1}{r}$$

$$r = -\frac{1}{B} \quad (6)$$

และ

$$A = \frac{\varepsilon}{r}$$

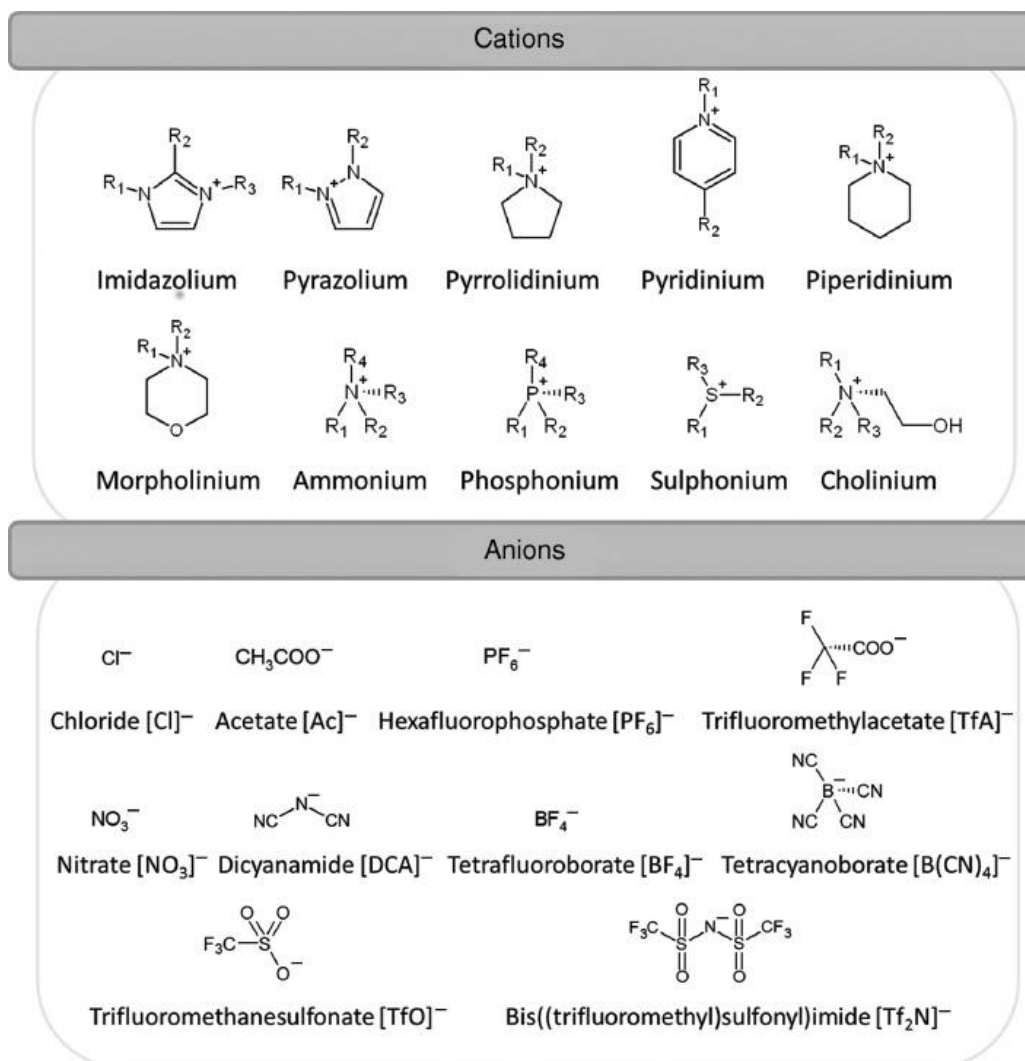
$$\varepsilon = Ar \quad (7)$$

เมื่อ  $A$  คือจุดตัดแกน  $Y$

$B$  คือความชันกราฟ

## 2.5 ของเหลวไอออนิกและสารคู่ควบรีต็อกซ์

ของเหลวไอออนิก(Ionic Liquid:IL) คือสารประกอบไอออนิกซึ่งอยู่ในสถานะของไหลที่อุณหภูมิห้อง โดยสารประกอบไอออนิกที่หลอมเหลวที่อุณหภูมิห้อง รู้จักกันในชื่อเรียกที่ว่า “Room Temperature Ionic Liquid: RTIL” ทั้งนี้ โดยปกติแล้วของเหลวไอออนิกมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  ซึ่งโครงสร้างของของเหลวไอออนิกเกิดจากการจับคู่ระหว่างแคทไอออน(Cation) ที่มีประจุเป็นบวกและแอนไอออน(Anion) ที่มีประจุเป็นลบ โดยมีโครงสร้างลักษณะเป็นดังนี้



(แหล่งที่มา: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/revce-2016-0054/html>)

### รูปที่ 2.2: โครงสร้างทางเคมีของตัวอย่างของเหลวไอออนิก

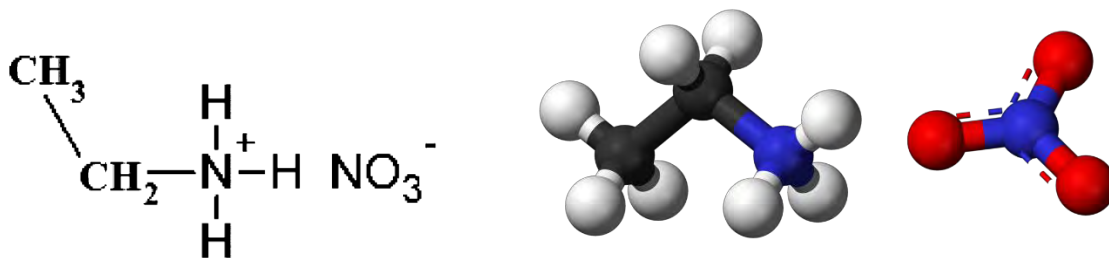
สมบัติโดยทั่วไปของของเหลวไอออนิก

1. มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 100 °C
2. ระเหยยาก มีความดันไอต่ำที่สภาวะอุณหภูมิห้อง
3. เป็นตัวทำละลายที่ดีและสามารถละลายได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์
4. สามารถออกแบบสมบัติของของเหลวไอออนิกได้จากโครงสร้างได้หลากหลาย เช่น ความสามารถในการละลายในน้ำหรือตัวทำละลาย ซึ่งที่ที่มีความเป็นขั้วสูงหรือต่ำแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนลบและบวกและความยาวโซ่

**Redox couple** หรือสารคู่ควบรีดอกซ์ ทำหน้าที่ในการให้และรับอิเล็กตรอนหรือจัดว่าเป็นตัวออกซิไดซ์/ตัวรีดิวซ์(Oxidized form/Reduced form) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทั้งนี้เติมเข้าไปเพื่อช่วยให้สมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และการแพร่ของประจุภายในสารละลายดียิ่งขึ้น นอกจากนี้จะต้องมีสมบัติในการละลายในของเหลวไอออนิกได้

## 2.6 โครงสร้างของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต

เอทิลแอมโมเนียมไนเตรต(Ethylammonium nitrate: EAN) ถูกอธิบายโดย Paul Walden ในปี 1914 และเชื่อว่าเป็นตัวอย่างแรกที่รายงานเกี่ยวกับของเหลวไอออนิกที่อุณหภูมิห้อง โดยมีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_2H_8N_2O_3$  หรือ  $(C_2H_5)NH_3^+NO_3^-$  ซึ่งจัดว่าเป็นของเหลวที่ไม่มีกลิ่นและไม่มีสีจนถึงมีสีเหลืองเล็กน้อย เป็นเกลือที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ประมาณ  $285\text{ K}$ ) มีจุดเดือดอยู่ที่  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ประมาณ  $513\text{ K}$ ) และยังมีความหนาแน่นอยู่ที่  $1.261\text{ g/cm}^3$  ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยการให้ความร้อนแก่เอทิลไนเตรตด้วยสารละลายแอมโมเนียที่มีแอลกอฮอล์หรือการทำปฏิกิริยาของเอทิลลามีนกับกรดไนตริกเข้มข้นได้ โดยมีโครงสร้างทางเคมีของ EAN เป็นดังนี้



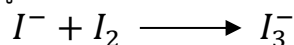
(แหล่งที่มา: <https://store.p212121.com/ethylammonium-nitrate/>และ  
<https://www.pngegg.com/th/png-ylnyb>)

รูปที่ 2.3: โครงสร้างทางเคมีของเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต(EAN)

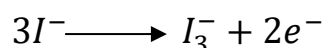
## 2.7 ปฏิกิริยาภายในสารละลาย

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน(Oxidation-Reduction reaction) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์(Redox reaction) เป็นปฏิกิริยาชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นโดยการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากตัวรีดิวซ์สู่ตัวออกซิไดซ์ ทำให้เกิดการถ่ายโอนประจุ(Charge transfer) ภายในอะตอมของสาร โดยสามารถพิจารณาแต่ละปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทดลองได้ดังนี้

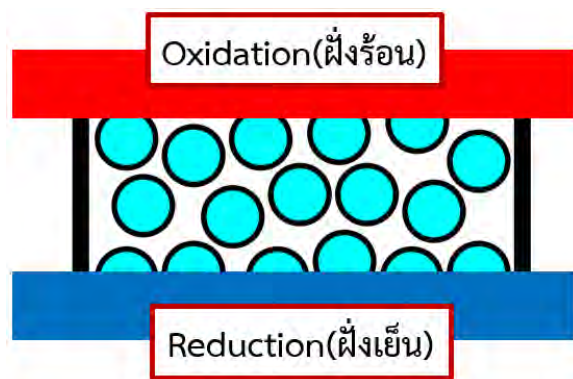
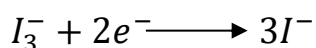
ปฏิกิริยาของสารละลายที่ใส่สารคู่ควบรีด็อกซ์เป็นลิเทียมไอโอดัด(LiI) และไอโอดีน( $I_2$ ) เป็นดังนี้



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการสูญเสีย/ให้อิเล็กตรอน โดยตัวที่สูญเสีย/ให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์(Reducing agent) ซึ่งในที่นี่จะเกิดขึ้นที่ฝั่งร้อนของแผ่นอิเล็กโทรด



ปฏิกิริยารีดักชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการรับอิเล็กตรอน โดยตัวที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวออกซิไดซ์(Oxidizing agent) ซึ่งในที่นี่จะเกิดขึ้นที่ฝั่งเย็นของแผ่นอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.4: ปฏิกิริยาภายในสารละลาย



### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการทดลองและวิธีการทดลอง

##### 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสาร

3.1.1 พิจารณาค่าความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์ ซึ่งก็คือลิเทียมไอโอไดด์และไอโอดีน ตั้งแต่ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 โมลาร์(M) โดยให้เอทิลแอมโมเนียมไนเตรต มีปริมาตร 3 ml(3.7830 กรัม) แต่ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ให้เอทิลแอมโมเนียมไนเตรต มีปริมาตร 5 ml

3.1.2 ใช้สมการ มวล =  $\frac{\text{มวลโมเลกุล} \times \text{ความเข้มข้น} \times \text{ปริมาตร}}{1000}$  เพื่อคำนวณหาปริมาณสารลิเทียมไอโอไดด์และไอโอดีน ที่จะต้องใช้ของแต่ละความเข้มข้นในหน่วยกรัม จะได้ค่าดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1: ปริมาณสารที่ได้จากการคำนวณของแต่ละความเข้มข้นในหน่วยกรัม

ลำดับการเติม สารคู่ควบรีดอกซ์	ปริมาณสารแต่ละความเข้มข้นหน่วยเป็นกรัม(g)				
	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M(5 ml)	0.5M
1. ไอโอดีน	0.0761	0.1523	0.2284	0.5076	0.3807
2. ลิเทียมไอโอไดด์	0.0402	0.0803	0.1205	0.2677	0.2008

3.1.3 ชั่งปริมาณสารของไอโอดีนและลิเทียมไอโอไดด์ ให้เป็นไปตามตาราง 3.1 หรือใกล้เคียงที่สุดโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ซึ่งในการชั่งสารแต่ละตัวจะใช้กระดาษชั่งในการรองสาร เพื่อความสะดวกในการนำสารเทสารใส่ขวดที่ได้เตรียมไว้ หลังจากนั้นเทียบบัญชีไตโรยางค์เพื่อหาปริมาณเอทิลแอมโมเนียมไนเตรต (กรณีที่ชั่งจริงแล้วไม่ได้ค่าตามตาราง) ที่จะต้องเติมลงไปเป็นลำดับสุดท้ายของแต่ละความเข้มข้นในหน่วยกรัมเช่นกันเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ



รูปที่ 3.1: การเตรียมชั่งสารโดยใช้เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

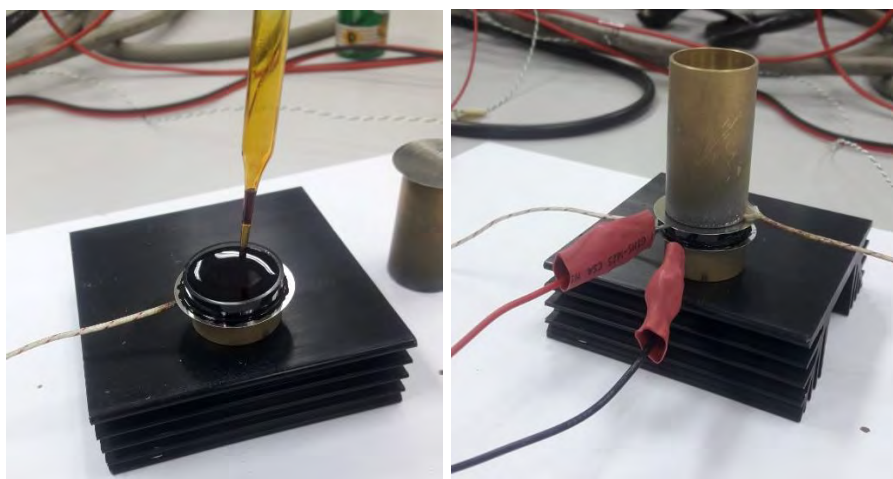
3.1.4 นำขวดสารที่ใส่แท่งแม่เหล็กขนาดเล็กที่เตรียมเรียบร้อยแล้วไปวางไว้บนเครื่องกวนสาร(Magnetic Stirrer) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายเข้ากันทั้งหมด



รูปที่ 3.2: นำสารที่เตรียมเรียบร้อยแล้ววางบนเครื่อง Magnetic Stirrer

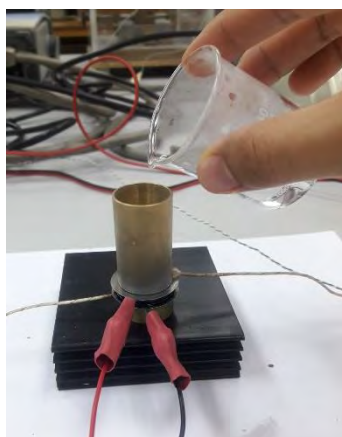
### 3.2 วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

3.2.1 นำสารบรรจุไว้ในวงแหวนแก้ว ซึ่งมีแผ่นแพลทินัมประกบไว้ทั้งบนและล่างของวงแหวนแก้ว โดยแผ่นแพลทินัมทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรด จากนั้นนำภาชนะทองเหลืองวางทับบริเวณด้านบนของแผ่นแพลทินัมและใช้สายไฟสีแดงหนีบที่แผ่นบนและสายไฟสีดำหนีบที่แผ่นล่างของอิเล็กโทรด ที่ได้ต่อเข้ากับเครื่องมัลติมิเตอร์(Keithley 2700 + Scanner 7710)



รูปที่ 3.3: การบรรจุสารลงในวงแหวนแก้วและนำภาชนะทองเหลืองวางทับบริเวณด้านบนแผ่นแพลทินัม พร้อมกับต่อสายไฟบริเวณอิเล็กโทรดทั้งบนและล่าง

3.2.2 เติมน้ำร้อนลงไปยังภาชนะทองเหลืองและทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ได้ต่อเข้ากับแท่งโลหะและกั้นภาชนะทองเหลืองที่ใส่น้ำร้อนไว้



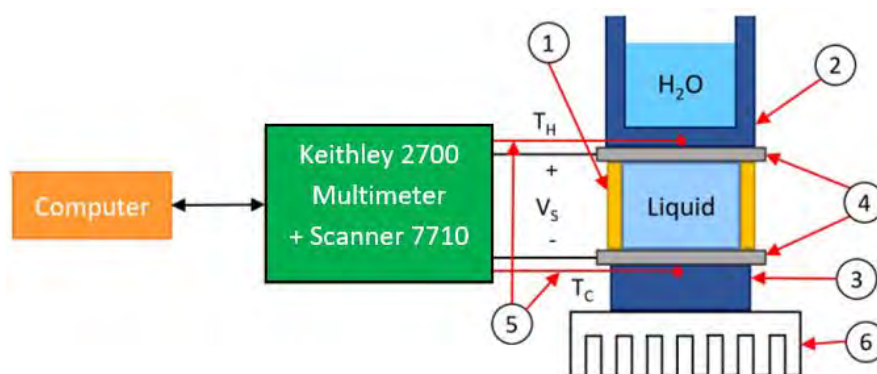
รูปที่ 3.4: เติมน้ำร้อนลงในภาชนะทองเหลือง

3.2.3 ใช้โปรแกรม ExceLINK สำหรับอ่านค่าและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความต่างศักย์ โดยตั้งค่าโปรแกรมให้อ่านค่าทุก ๆ 5 วินาที

3.2.4 ทำการทดลองซ้ำในครั้งที่ 2 และ 3 ของแต่ละความเข้มข้น โดยแต่ละครั้งจะต้องเว้นระยะเวลาในการทดลองอย่างน้อย 15-20 นาที เพื่อให้ระบบมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายในห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส)

3.2.5 เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จสิ้น นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ผล

3.2.6 พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค



รูปที่ 3.5: วงจรการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค, 1=วงแหวนแก้ว, 2=ภาชนะทองเหลืองสำหรับใส่น้ำร้อน, 3=ฐานทองเหลือง, 4=แผ่นแพลทินัม(แผ่นอิเล็กทรอนิกส์), 5=เทอร์โมคัปเปิล และ 6=ฐานรองอุปกรณ์  
\*หมายเหตุ: ขั้วบวกด้านบน  $V_s$  คือสายไฟสีแดง(ฝั่งร้อน) และขั้วลบด้านล่าง  $V_s$  คือสายไฟสีดำ(ฝั่งเย็น)

### 3.3 วัตถุประสงค์เฉพาะกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในวงจร

3.3.1 นำสารบรรจุไว้ในวงแหวนแก้ว โดยมีแผ่นแพลทินัมประกบไว้ทั้งบนและล่างของวงแหวนแก้ว และนำภาชนะทองเหลืองวางทับบริเวณด้านบนของแผ่นแพลทินัม ใช้สายไฟสีแดงหนีบที่แผ่นบนและสายไฟสีดำหนีบที่แผ่นล่างของอิเล็กโทรดต่อสายไฟเข้ากับเครื่องมัลติมิเตอร์(Keithley 2700 + Scanner 7710)

3.3.2 นำตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ 2 ตัวต่อเข้ากับอิเล็กโทรดแบบอนุกรม โดยตัวต้านทานหนึ่งปรับให้มีความเท่ากับ 10 โอห์มและตัวต้านทานอีกตัวหนึ่งจะปรับค่าตั้งแต่ต่ำสุดจนถึงสูงสุดที่ 0-111,100 โอห์ม



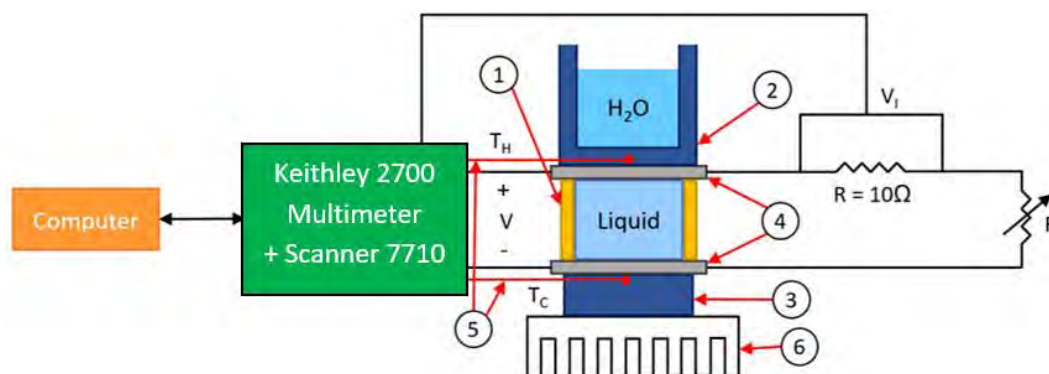
รูปที่ 3.6: (ซ้าย)เครื่องมัลติมิเตอร์ (Keithley 2700 + Scanner 7710) และ (ขวา)ตัวต้านทานปรับค่าได้

3.3.3 ขณะปรับตัวต้านทาน โปรแกรม ExceLINK จะอ่านค่าและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความต่างศักย์ไปพร้อม ๆ กัน โดยตั้งค่าโปรแกรมให้อ่านค่าทุก ๆ 2 วินาที

3.3.4 ทำการทดลองซ้ำในครั้งที่ 2 และ 3 ของแต่ละความเข้มข้น โดยแต่ละครั้งจะต้องเว้นระยะเวลาในการทดลองอย่างน้อย 15-20 นาที เพื่อให้ระบบมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายในห้อง(ประมาณ 25 องศาเซลเซียส)

3.3.5 เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จสิ้น นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ผลและคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า(Power density)

3.3.6 พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์, ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้ากับความต่างศักย์และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างของอุณหภูมิ



รูปที่ 3.7: วงจรการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์, 1=วงแหวนแก้ว, 2=ภาชนะทองเหลืองสำหรับใส่น้ำร้อน, 3=ฐานทองเหลือง, 4=แผ่นแพลทินัม(แผ่นอิเล็กโทรด), 5=เทอร์โมคัปเปิล และ 6=ฐานรองอุปกรณ์

\*หมายเหตุ: ขั้วบวกด้านบน V คือสายไฟสีแดง(ฝั่งร้อน)และขั้วลบด้านล่าง V คือสายไฟสีดำ(ฝั่งเย็น)

## บทที่ 4

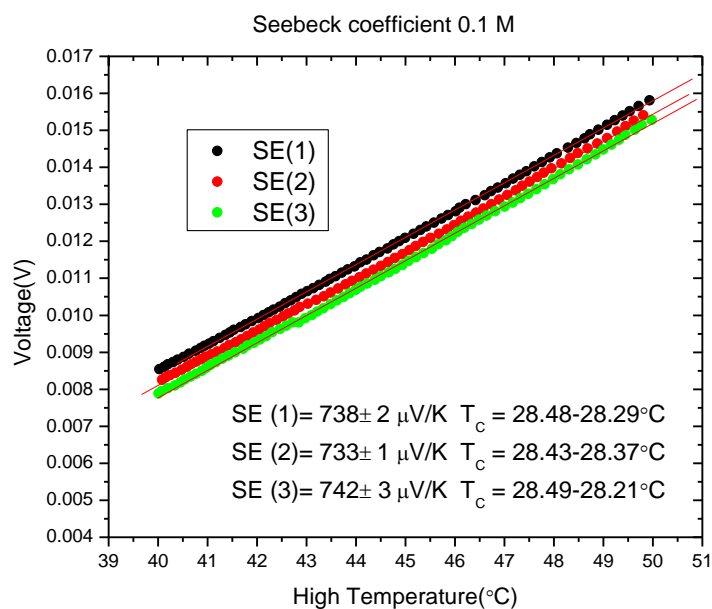
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด

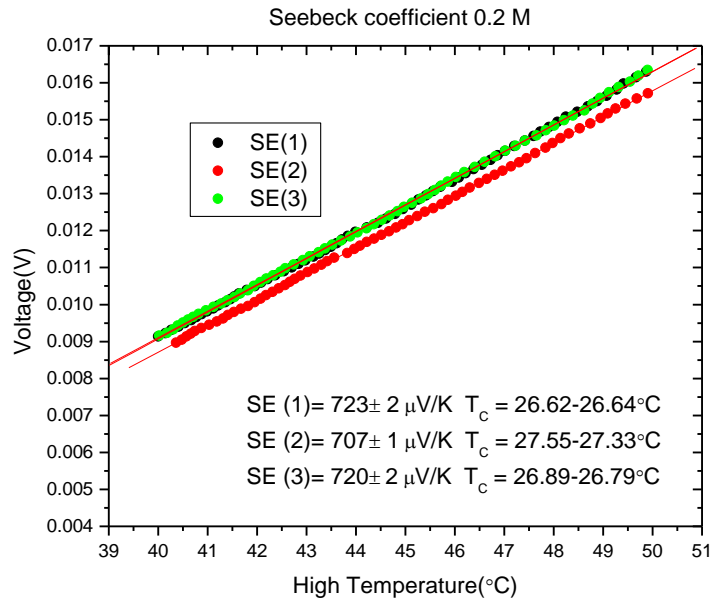
#### 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

เนื่องจากอุณหภูมิฝั่งเย็นค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงพล็อตกราฟระหว่างความต่างศักย์ซีเบคกับอุณหภูมิฝั่งร้อน ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคหาได้จากความชันของกราฟดังกล่าว โดยผลการทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่มดังนี้

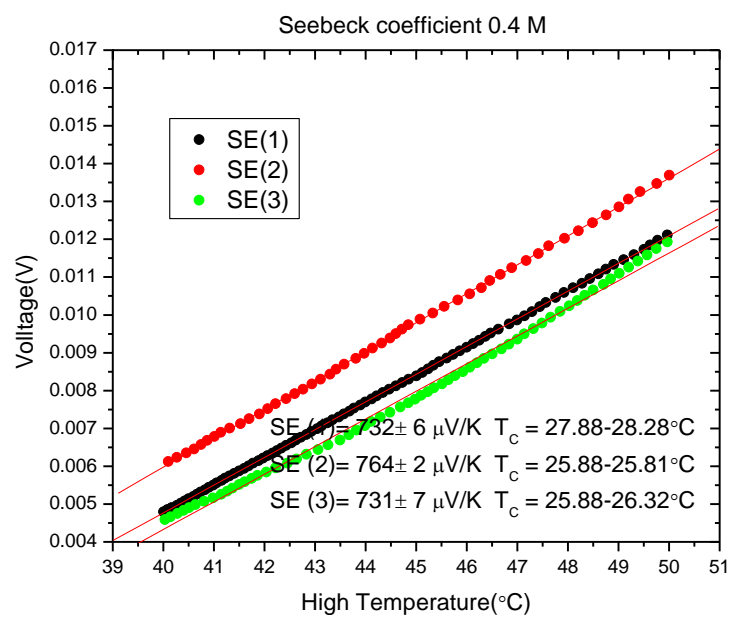
กลุ่มที่ 1 ได้แก่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์, 0.2 โมลาร์ และ 0.4 โมลาร์ เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สูงอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 707-764  $\mu\text{V/K}$  ซึ่งแสดงค่าดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.1: ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3



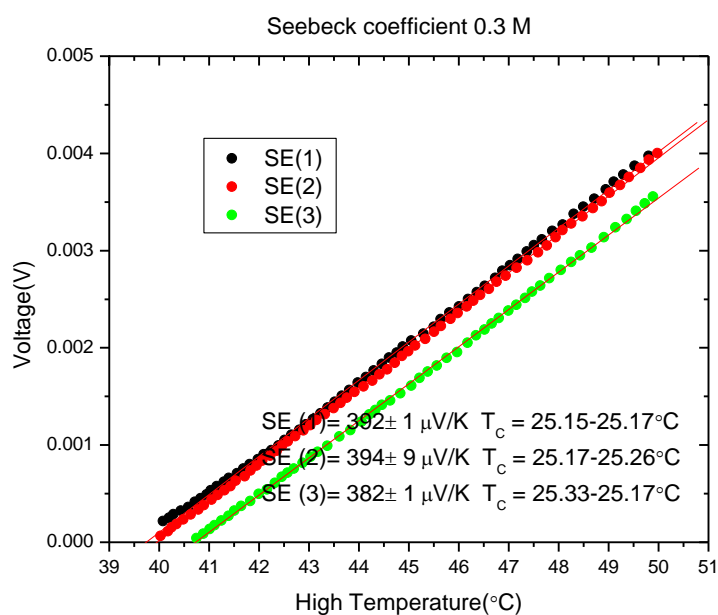
รูปที่ 4.2: ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3



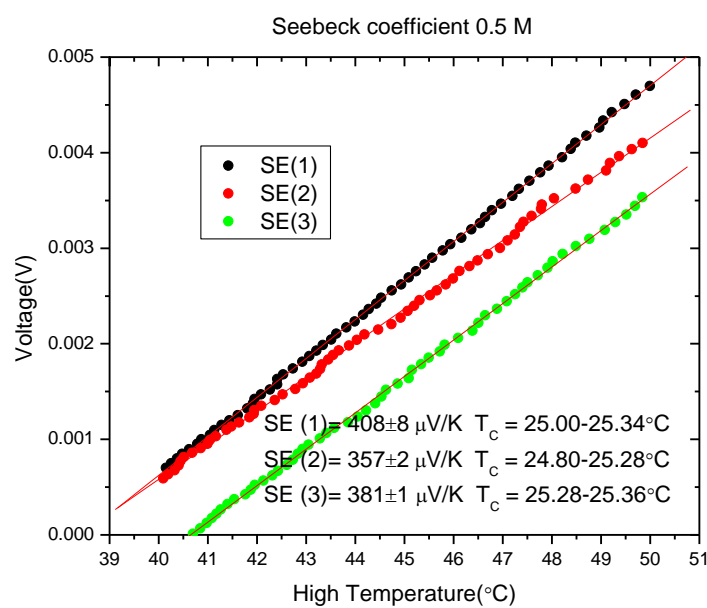
รูปที่ 4.3: ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3



กลุ่มที่ 2 ได้แก่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ และ 0.5 โมลาร์ เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ต่ำอยู่ในช่วง 357-408  $\mu\text{V/K}$  ซึ่งแสดงค่าดังกราฟต่อไปนี้



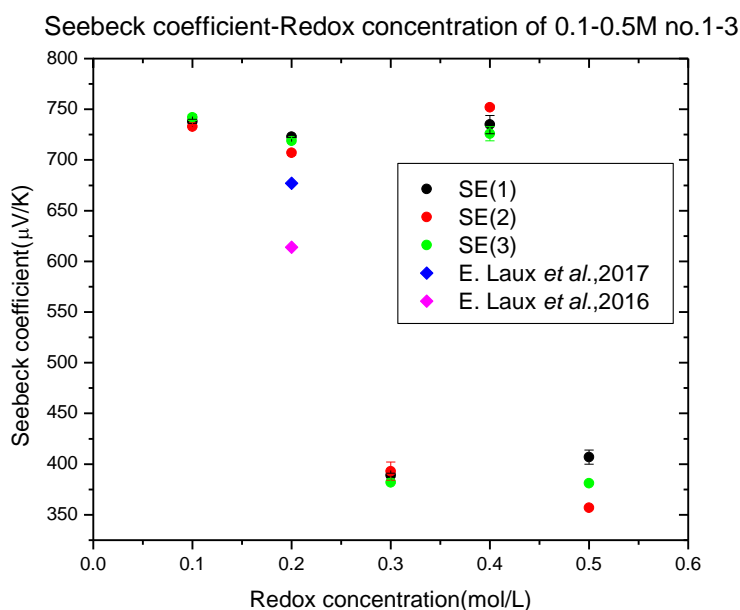
รูปที่ 4.4: ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3



รูปที่ 4.5: ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3

จากกราฟรูปที่ 4.1-4.5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิฝั่งร้อนมีค่าลดลง ค่าความต่างศักย์ซีเบคก็จะมีแนวโน้มที่ลดลง จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ทั้งนี้ในการพิจารณาของแต่ละความเข้มข้นจะเลือกพิจารณาอุณหภูมิฝั่งเย็นที่คงที่ในระดับหนึ่งแล้ว ซึ่งนั่นอาจจะแสดงให้เห็นว่าถึงแม้อุณหภูมิฝั่งเย็นของแต่ละความเข้มข้นจะไม่ได้มีค่าเท่ากันหรือมีการเปลี่ยนแปลงภายในความเข้มข้นเดียวกันที่เกิดจากการส่งถ่าย

ความร้อน(Heat transfer) จากอิเล็กโทรดฝั่งร้อนนั้นอาจจะไม่ได้ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมากนัก เนื่องจากช่วงความต่างของอุณหภูมิของฝั่งร้อนและเย็นนั้นกว้างกว่าและยังกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิฝั่งร้อนที่เลือกมาพิจารณาเหมือนกัน แต่อาจจะเกี่ยวข้องกับการละลายของสารคู่ควบรีดอกซ์ที่ผสมอยู่ในของเหลวไอออนิก เพราะการละลายของสารคู่ควบรีดอกซ์สามารถทำให้ประจุเกิดการเคลื่อนที่จากของเหลวไอออนิกไปยังอิเล็กโทรดได้ อีกทั้งปริมาณของพาหะที่เคลื่อนที่หรือความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมินั้น ๆ ซึ่งเมื่อนำรูปที่ 4.1-4.5 ทั้ง 5 ความเข้มข้นที่ได้ทดลองอย่างละ 3 ครั้งมาพล็อตกราฟร่วมกับงานวิจัยอื่นเพื่อทำการเปรียบเทียบจะได้ดังกราฟต่อไปนี้



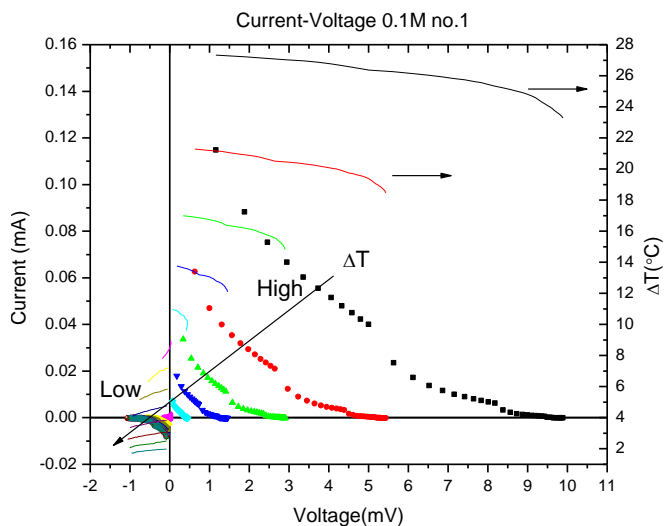
รูปที่ 4.6: ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของความเข้มข้น 0.1-0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

กราฟรูปที่ 4.6 งานวิจัยที่ได้นำมาพิจารณาเปรียบเทียบเป็นของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่ได้มีการอ้างอิงถึงช่วงของอุณหภูมิที่ได้ทดลองและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ชัดเจน โดยงานวิจัยฉบับแรก(E. Laux et al.,2017) มีเงื่อนไขในการวัดคือค่าความต่างของอุณหภูมิกงที่อยู่ 58 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคอยู่ที่ 677  $\mu\text{V/K}$  และงานวิจัยฉบับที่สอง(E. Laux et al.,2016) มีเงื่อนไขในการวัดคือค่าความต่างของอุณหภูมิกงที่อยู่ 43 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค 614  $\mu\text{V/K}$  ในขณะที่เดียวกันเงื่อนไขในโครงการของผู้ทดลองนี้ไม่ได้ทำการควบคุมความต่างของอุณหภูมิให้คงที่ แต่พิจารณาโดยปล่อยให้อุณหภูมิฝั่งร้อนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 50-40 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้พบว่าภายในความเข้มข้นเดียวกันและกลุ่มเดียวกันมีค่าที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง(0.1, 0.2 และ 0.4 โมลาร์) มีค่าอยู่ในช่วง 707-764  $\mu\text{V/K}$  สำหรับอีกกลุ่มที่มีค่าต่ำ(0.3 และ 0.5 โมลาร์) จะมีค่าอยู่ในช่วง 357-408  $\mu\text{V/K}$

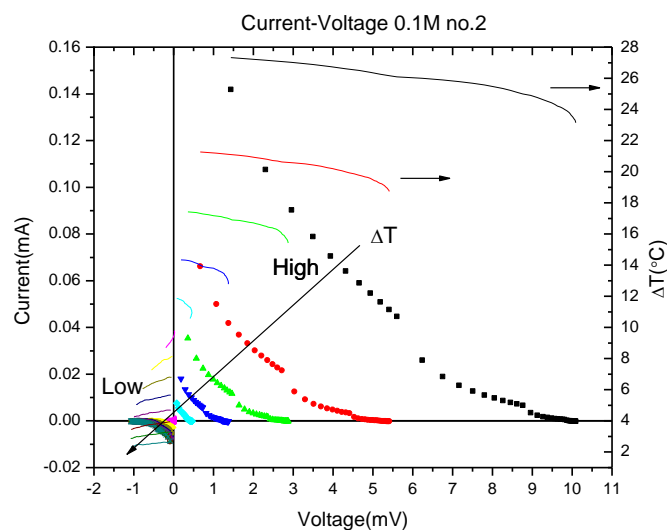
#### 4.2 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์

จุดข้อมูลของกราฟแต่ละช่วง/เส้นแสดงถึงค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในวงจรและความต่างศักย์ตกคร่อมแหล่งกำเนิด ซึ่งกราฟที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

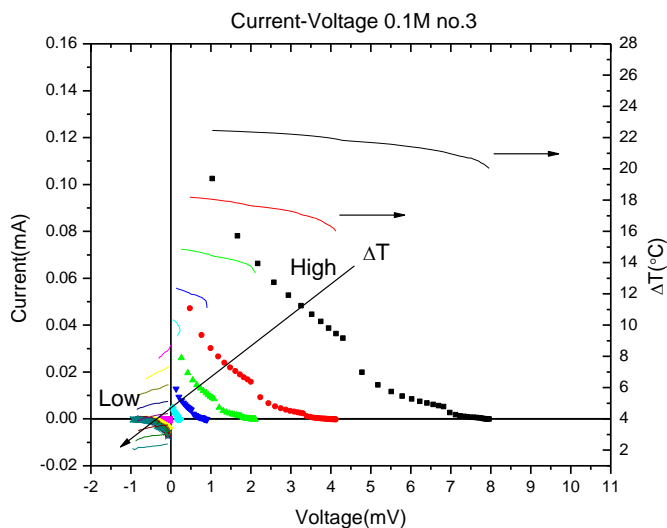




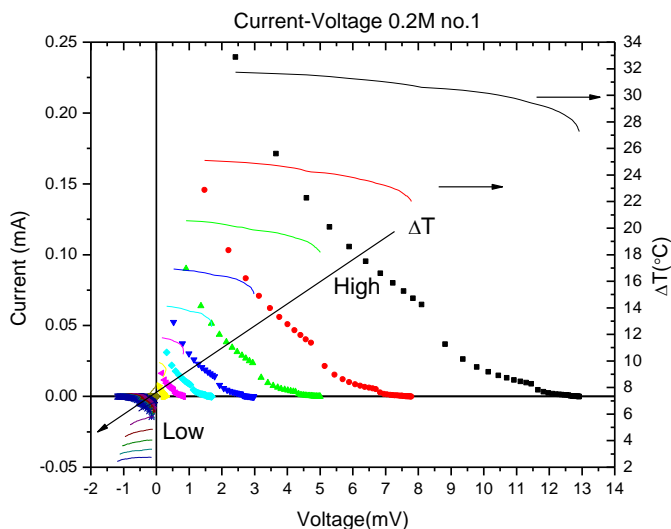
รูปที่ 4.7: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



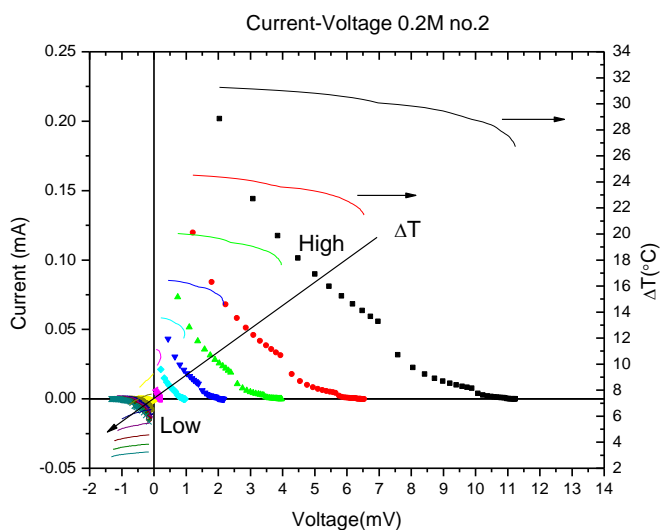
รูปที่ 4.8: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



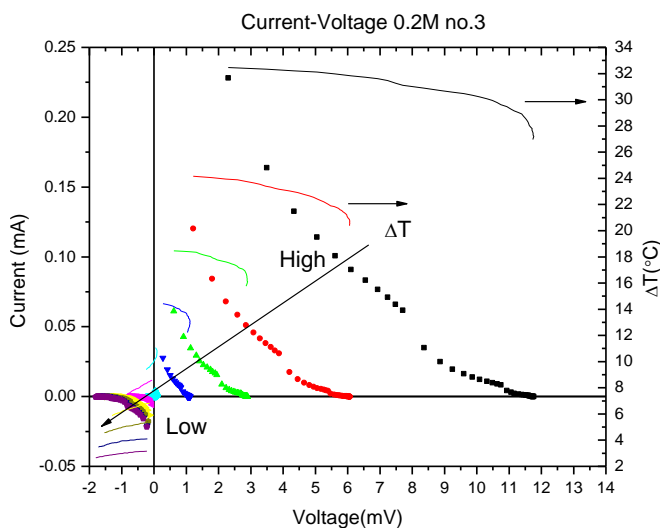
รูปที่ 4.9: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



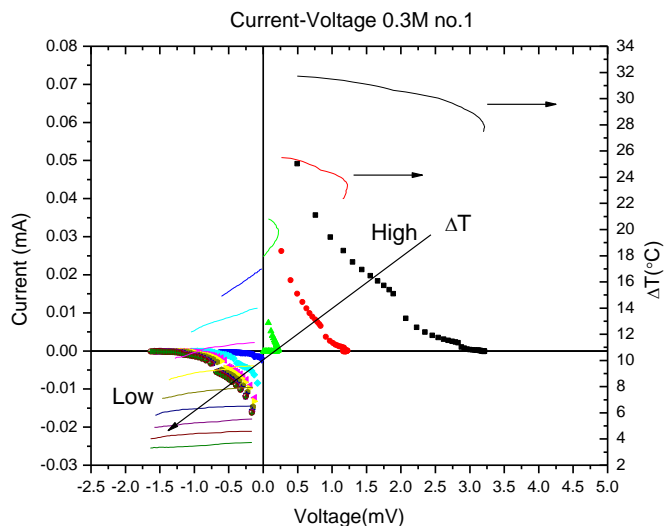
รูปที่ 4.10: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



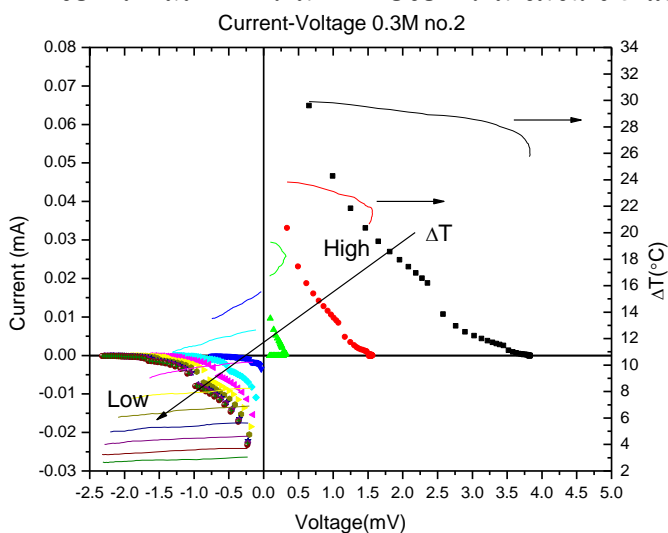
รูปที่ 4.11: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



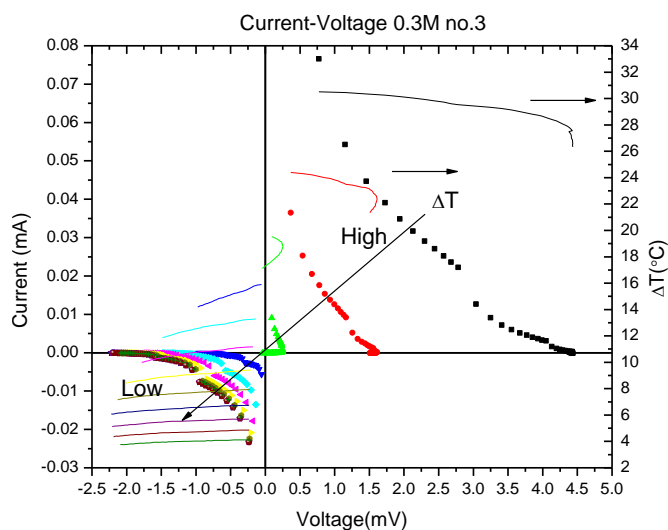
รูปที่ 4.12: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



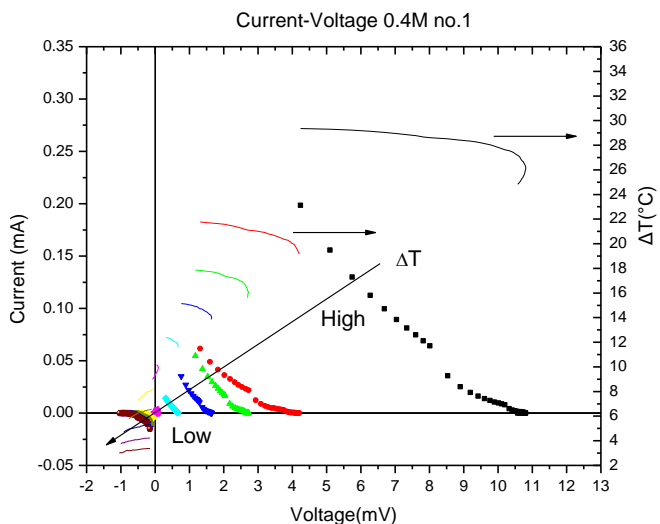
รูปที่ 4.13: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



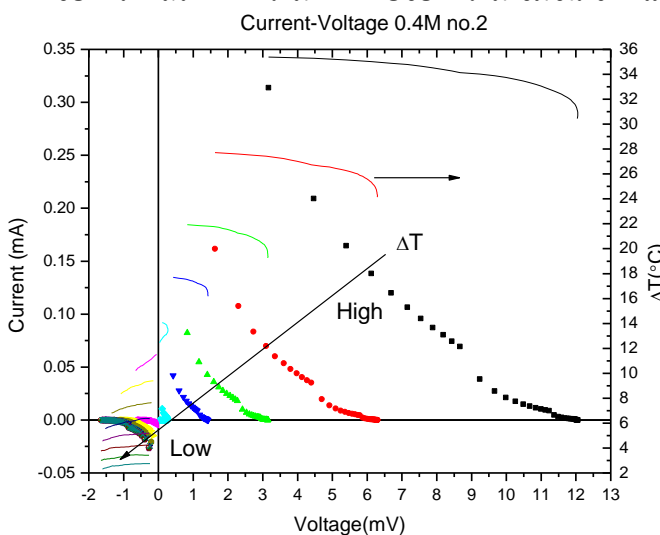
รูปที่ 4.14: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



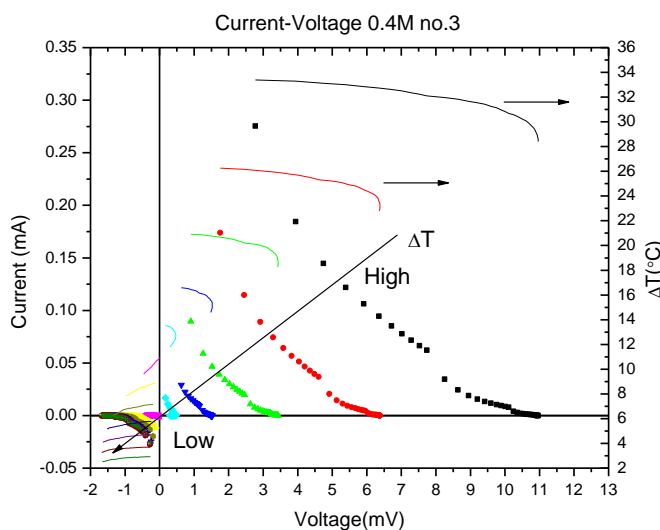
รูปที่ 4.15: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



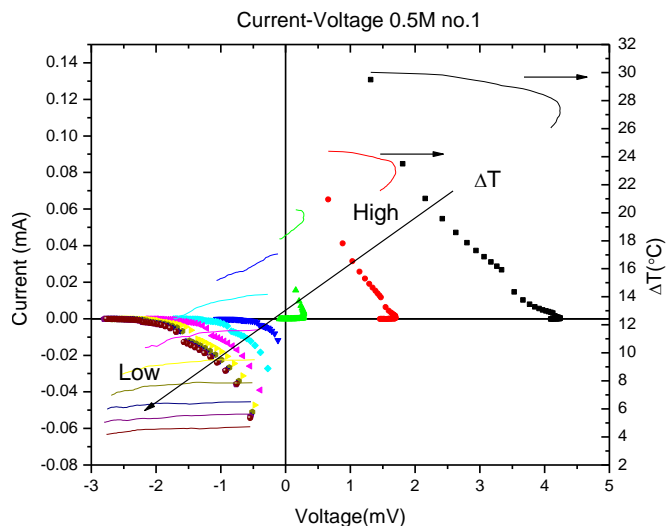
รูปที่ 4.16: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



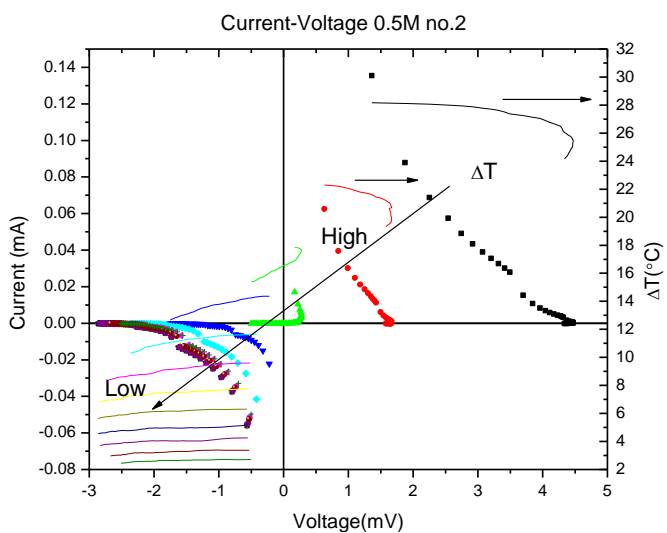
รูปที่ 4.17: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



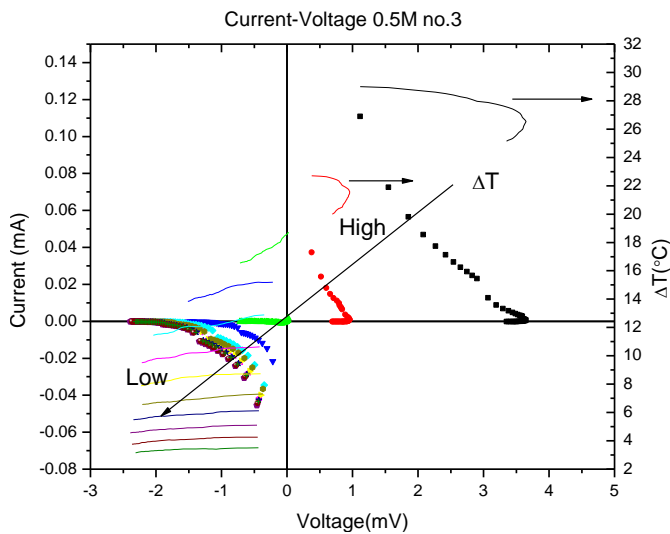
รูปที่ 4.18: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



รูปที่ 4.19: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



รูปที่ 4.20: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



รูปที่ 4.21: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3

กราฟจุดข้อมูลแต่ละเส้นของรูปที่ 4.7-4.21 เกิดจากการปรับค่าความต้านทานของวงจรดังรูปที่ 3.7 จากน้อยไปมาก โดยเริ่มตั้งแต่ 0-111,100 โอห์ม ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณากราฟทุกเส้นร่วมกันจะพบว่าความต้านทานภายในและความต่างศักย์มีค่าลดลง ส่งผลให้ความชันกราฟมาก ถ้าความต้านทานภายในและความต่างศักย์มีค่ามากทำให้ความชันกราฟน้อย ซึ่งตามทฤษฎีนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดมีความต้านทานภายในที่คงที่แล้วกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง โดยความชันของกราฟจะเท่ากับ  $-\frac{1}{r}$  และจุดตัดแกนต้องเท่ากับ  $\frac{\mathcal{E}}{r}$  แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณากราฟของผู้ทดลองกลับพบว่ากราฟที่ได้เป็นเส้นโค้ง อาจสันนิษฐานได้ว่าเมื่อความต่างของอุณหภูมิลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากไม่ได้มีการควบคุมความต่างของอุณหภูมิในฝั่งร้อนหรือฝั่งเย็นให้คงที่ ส่งผลให้เส้นแนวโน้มของกราฟตัดกับจุดต่าง ๆ ของเส้นตรงอีกหลายเส้นที่มีความต่างของอุณหภูมิคงที่และเป็นไปได้ว่าความต้านทานภายในของสารละลายไม่คงที่ เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเช่นเดียวกับกรณีของไดโอด นอกจากนี้จะเห็นว่าเส้นกราฟของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีแนวโน้มที่เลื่อนเข้าสู่จุดกำเนิดของกราฟและมีการกลับหัวของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์โดยสมบูรณ์ที่ความต่างของอุณหภูมิหนึ่ง ๆ โดยช่วงความต่างของอุณหภูมิของการกลับหัวเป็นดังตาราง 4.1

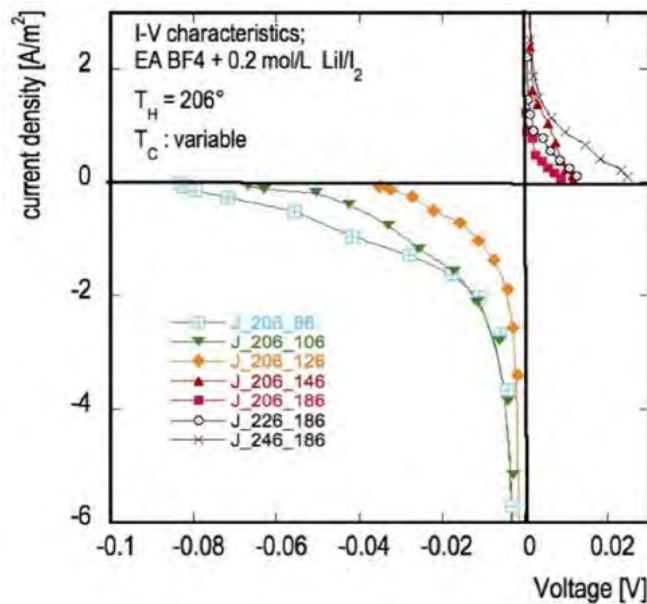
ตาราง 4.1: ช่วงความต่างของอุณหภูมิที่เริ่มมีการกลับหัวอย่างสมบูรณ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

ความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์ (โมลาร์:M)	ความต่างของอุณหภูมิ( $\Delta T$ ) ครั้งที่ 1-3			ค่าเฉลี่ยของความต่างอุณหภูมิ( $^{\circ}\text{C}$ )
	ครั้งที่ 1( $^{\circ}\text{C}$ )	ครั้งที่ 2( $^{\circ}\text{C}$ )	ครั้งที่ 3( $^{\circ}\text{C}$ )	
0.1M	7.2-6.3	8.1-7.3	8.7-7.9	8.0-7.2
0.2M	6.9-6.2	9.3-8.2	8.6-7.5	8.1-7.3
0.3M	17.0-14.9	15.6-13.5	15.9-14.2	16.2-14.2
0.4M	8.2-7.3	11.5-10.2	10.9-9.6	10.2-9.0
0.5M	17.1-15.1	14.4-12.7	15.2-13.8	15.6-13.9

จากตารางข้างต้น เราสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีความต่างอุณหภูมิต่ำ(0.1, 0.2 และ 0.4 โมลาร์) และกลุ่มที่มีความต่างอุณหภูมิสูง(0.3 และ 0.5 โมลาร์) ซึ่งสองกลุ่มนี้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกัน โดยกลุ่มแรกมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สูง ดังนั้นจึงเกิดการกลับหัวที่ความต่างของอุณหภูมิน้อยกว่า(เกิดช้ากว่า) กลุ่มที่ 2 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่น้อยกว่า ดังนั้นมีการกลับหัวง่ายกว่า(เกิดที่ความต่างของอุณหภูมิสูงกว่าหรือเกิดเร็วกว่านั่นเอง)

เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟของงานวิจัย E. Laux *et al.*, 2016 ดังรูปที่ 4.22 พบว่าแนวโน้มกราฟของงานวิจัยดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.7-4.21 ซึ่งให้อุณหภูมิฝั่งเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างอิสระและสารคู่ควบรีดอกซ์เดียวกันเพียงแต่ชนิดของเหลวไอออนิกคือ เอทิลแอมโมเนียม เตตระฟลูออโรโบเรต (Ethylammonium tetrafluoroborate: EA BF<sub>4</sub>) และให้อุณหภูมิฝั่งร้อนคงที่อยู่ที่ 206 องศาเซลเซียส โดยมีการการกลับหัวความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่จุดหลอมเหลวของของเหลวไอออนิกที่อุณหภูมิ 167 องศาเซลเซียส แต่การกลับหัว(เปลี่ยนเครื่องหมาย) ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์นั้นไม่ได้เปลี่ยนเครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าเป็นบวกคงเดิม เมื่อความต่างของอุณหภูมิฝั่งร้อนและฝั่งเย็นมีค่าสูงกว่าจุดหลอมเหลวพบว่าแคโทดไอออนและแอนไอออนที่อยู่ระหว่างผิวของเหลวไอออนิกและผิวของอิเล็กโทรดมีแนวโน้มอยู่ฝั่งร้อนที่มีหัวไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าแต่เมื่ออุณหภูมิฝั่งเย็นลดลงมาจนมีค่าต่ำกว่าจุดหลอมเหลว จะทำให้เกิดการสร้างชั้นที่เป็นกึ่งของแข็งบริเวณผิวอิเล็กโทรดฝั่งเย็น

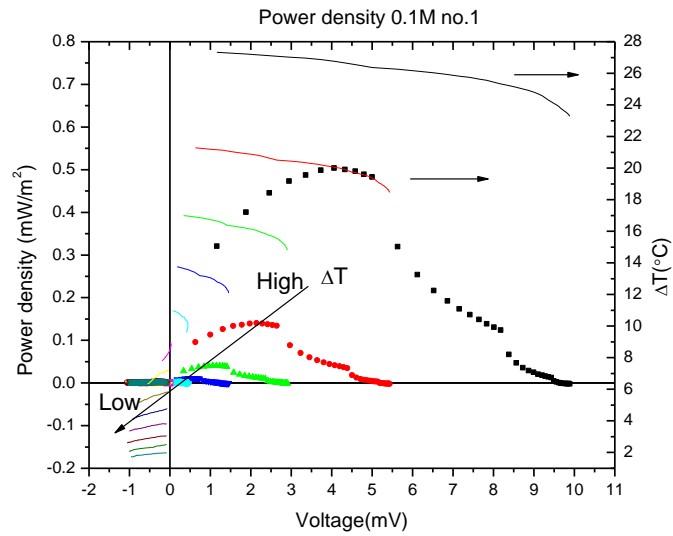
เนื่องจากเกิดการควบแน่นของของเหลวไอออนิกที่กำลังจะเปลี่ยนเป็นของแข็ง จึงทำให้ไอออนบริเวณผิวยึดมีความหนาแน่นของประจุมากกว่าและพบว่าข้อผิดพลาดในผิวยึดเป็นบวกแต่ผิวยึดร้อนเป็นลบแทน ซึ่งทำให้ค่าความต่างศักย์เกิดการกลับขั้วขึ้น



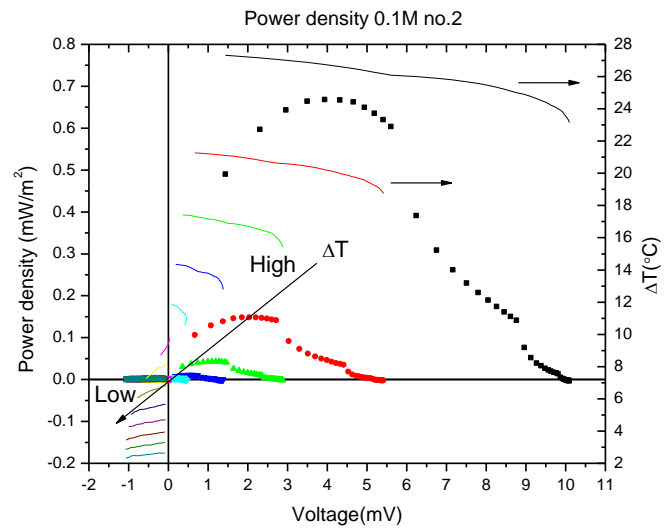
รูปที่ 4.22: ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ จากงานวิจัย

E. Laux *et al.*, 2016

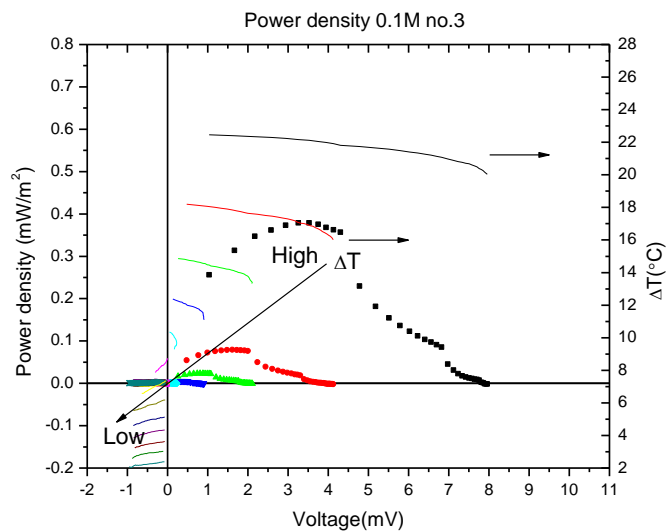
### 4.3 ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้ากับความต่างศักย์



รูปที่ 4.23: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1

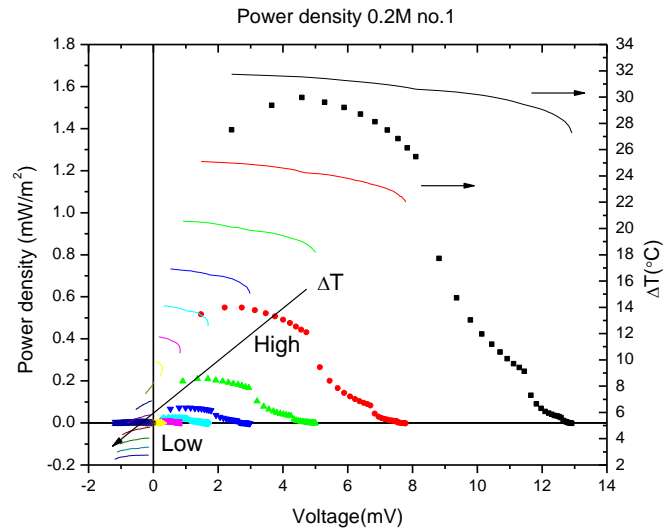


รูปที่ 4.24: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2

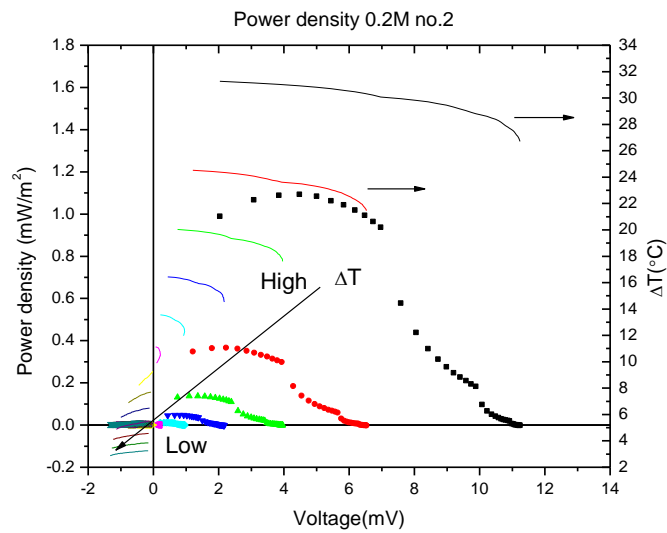


รูปที่ 4.25: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3

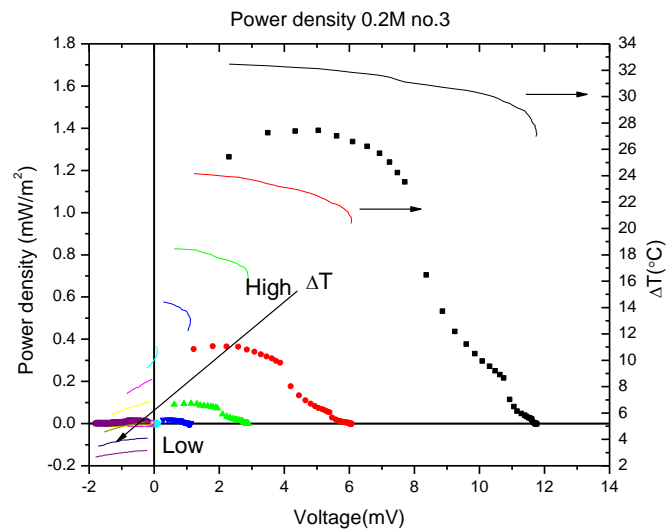




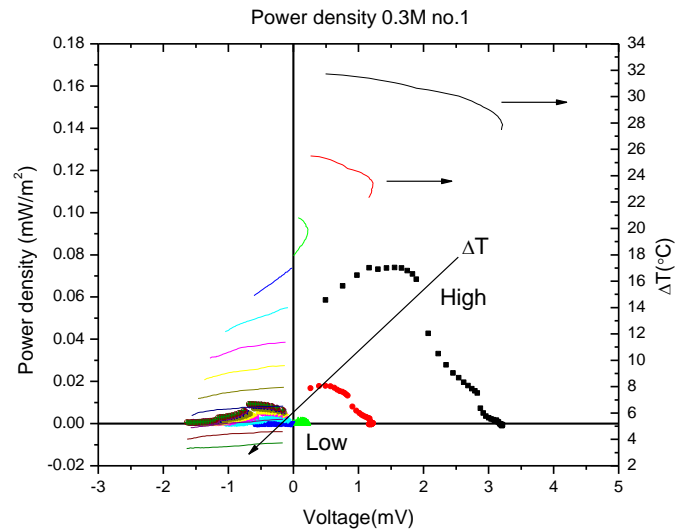
รูปที่ 4.26: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



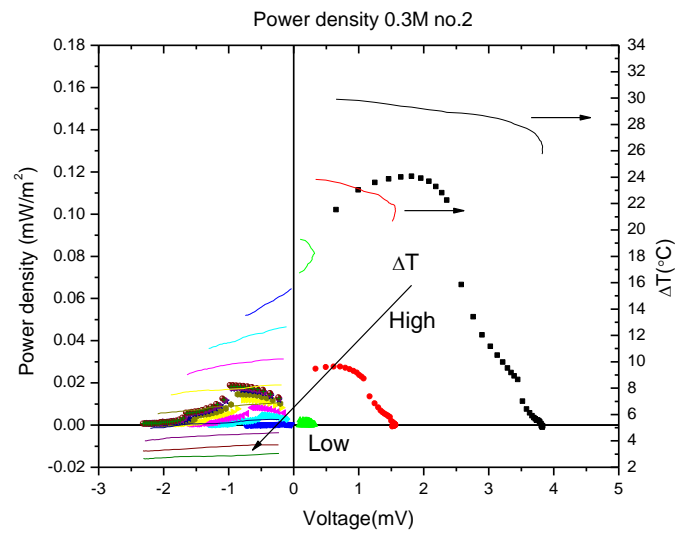
รูปที่ 4.27: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



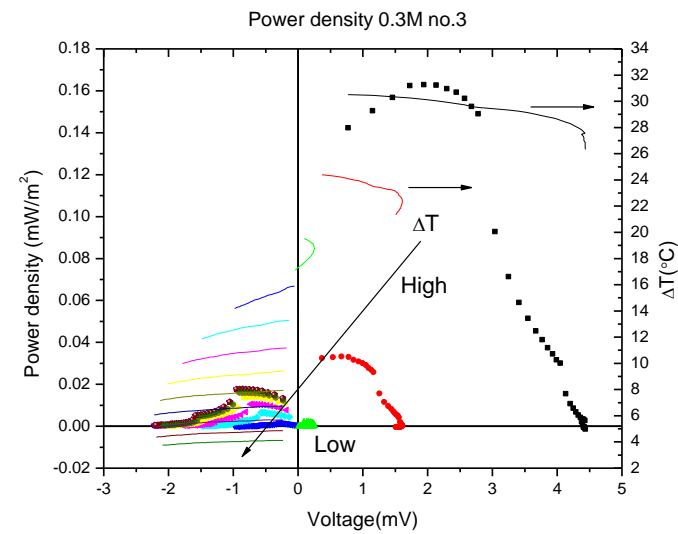
รูปที่ 4.28: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



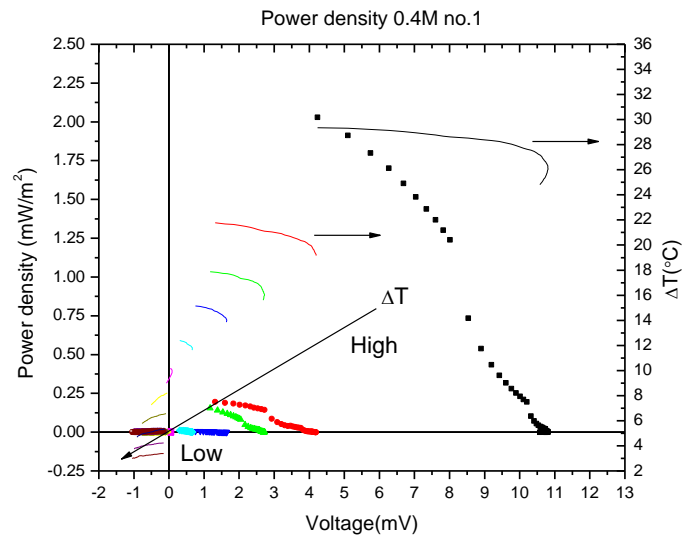
รูปที่ 4.29: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



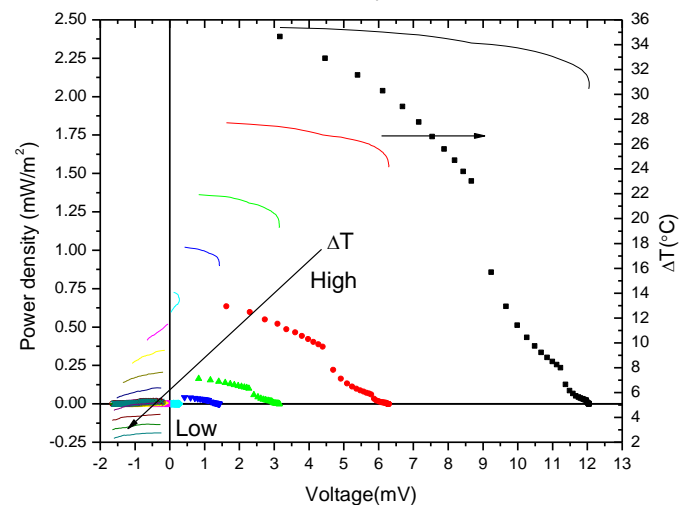
รูปที่ 4.30: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



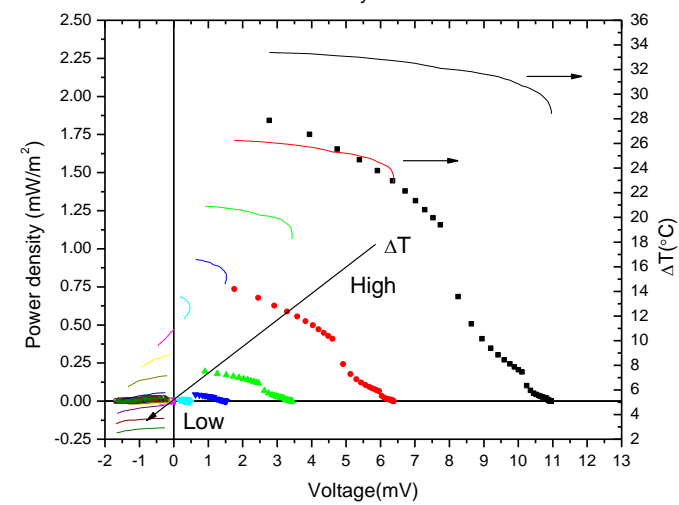
รูปที่ 4.31: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



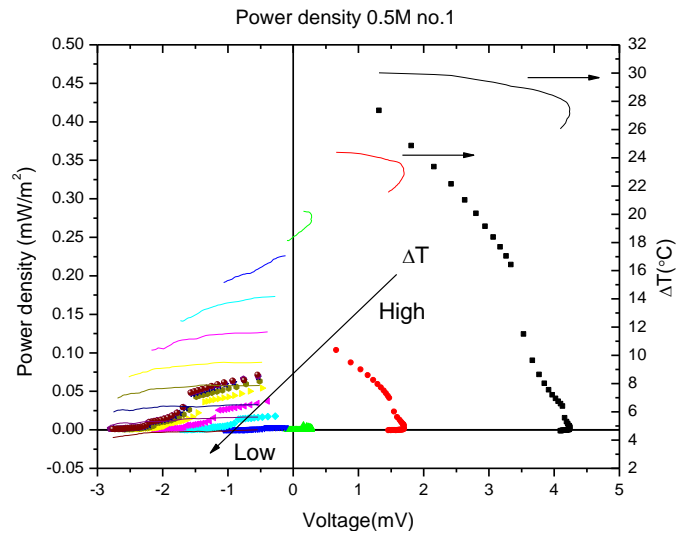
รูปที่ 4.32: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



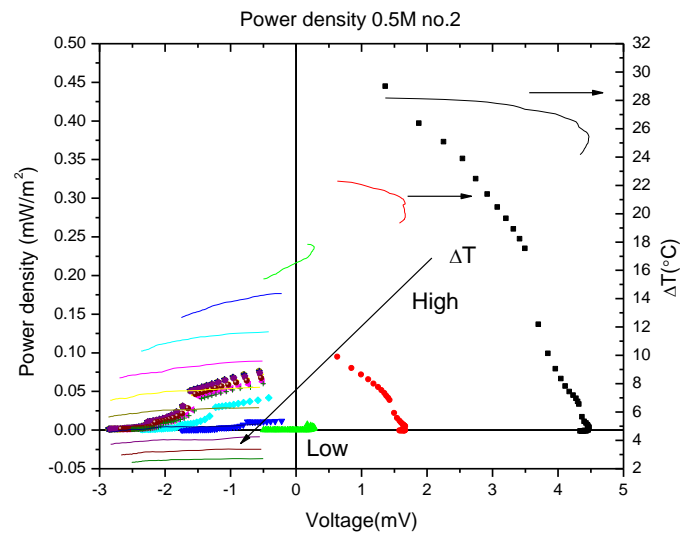
รูปที่ 4.33: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2



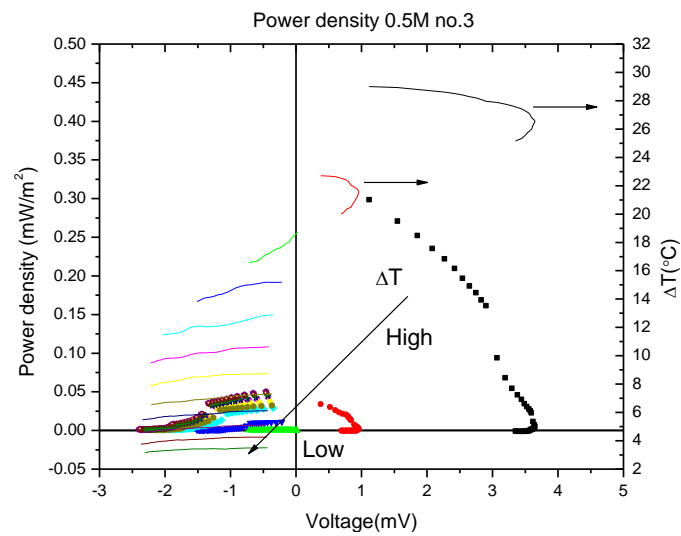
รูปที่ 4.34: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3



รูปที่ 4.35: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1



รูปที่ 4.36: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2

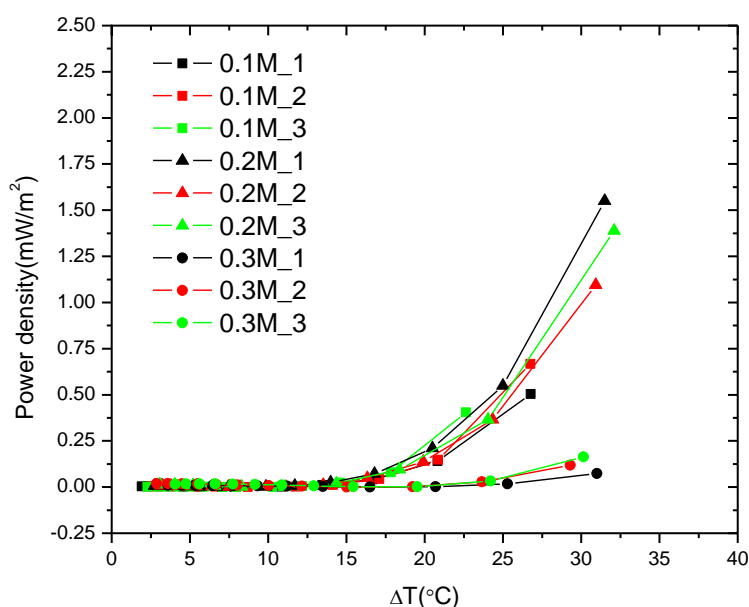


รูปที่ 4.37: ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ของความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3

กราฟรูปที่ 4.23-4.37 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มแรกที่มีจุดยอดกราฟ(เกิด peak) ที่ชัดเจน ได้แก่ความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์และกลุ่มที่สองไม่มีจุดยอดของกราฟ(ไม่เกิด peak) ได้แก่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.5 โมลาร์ จุดยอดของกราฟที่เกิดขึ้นในกลุ่มแรกเกิดเนื่องจากความต้านทานภายในที่ยังอยู่ในช่วงของความต้านทานภายนอก ในขณะที่กรณีของความเข้มข้น 0.4 และ 0.5 โมลาร์ ค่าความต้านทานภายในมีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานของโหลดภายนอก กราฟแต่ละเส้นจะเกิดขึ้นที่ความต่างศักย์น้อยเมื่อความต่างของอุณหภูมิลดลง แต่ทั้งนี้หลังเกิดการกลับขั้วของความต่างศักย์พบว่าจุดยอดและจุดสูงสุดของกราฟทั้งสองกลุ่มกลับมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นและเลื่อนไปทางความต่างศักย์ที่เป็นลบมากขึ้นทั้ง ๆ ที่ความต่างอุณหภูมิลดลง ซึ่งยังไม่สามารถอธิบายได้

#### 4.4 ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างของอุณหภูมิ

จุดยอดของกราฟ(ในกรณีเกิด peak) มาพล็อตรวมกับความต่างของอุณหภูมิ โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.38: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างของอุณหภูมิ ที่ความเข้มข้น 0.1-0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1-3 (เกิด peak)

จากกราฟรูปที่ 4.38 ในช่วงความต่างของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันของแต่ละความเข้มข้น พบว่าที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์มีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดตามมาด้วยความเข้มข้น 0.1 และ 0.3 โมลาร์ตามลำดับ ถ้าเปรียบเทียบช่วงความต่างของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันของความเข้มข้น 0.2 และ 0.3 โมลาร์ พบว่าความต่างของอุณหภูมิมีค่าเป็น 31.54 และ 31.05 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์จะมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 1.55 mW/m<sup>2</sup> และที่ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์มีค่าเป็น 0.0739 mW/m<sup>2</sup>

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผล

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมีค่าสูงอยู่ในช่วง 707-764  $\mu\text{V/K}$  สำหรับความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.4 โมลาร์และกลุ่มที่สองมีค่าต่ำ โดยอยู่ในช่วง 357-408  $\mu\text{V/K}$  สำหรับความเข้มข้น 0.3 และ 0.5 โมลาร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มแรกพบว่าที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ที่สูงกว่าความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์ สำหรับกลุ่มที่สองพบว่าความเข้มข้น 0.3 โมลาร์มีค่าที่สูงกว่า 0.5 โมลาร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับงานวิจัยที่ได้ศึกษา ทดลองภายใต้เงื่อนไขของความต่างของอุณหภูมิที่คงที่ของความเข้มข้น 0.2 โมลาร์เพียงความเข้มข้นเดียว พบว่าจากงานวิจัย E. Laux *et al.*, 2017 และ E. Laux *et al.*, 2016 มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคอยู่ที่ 614 และ 677  $\mu\text{V/K}$  ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันโครงการของผู้ทดลองมีค่าอยู่ที่ 707-723  $\mu\text{V/K}$

ลักษณะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในช่วงความต้านทานโหลด 0 ถึง 111,100 โอห์ม สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค โดยกลุ่มแรก(0.1, 0.2 และ 0.4 โมลาร์) มีการกลับขั้วของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์อย่างสมบูรณ์ที่ความต่างอุณหภูมิในช่วง 8.0-10.2 องศาเซลเซียส กลุ่มที่สอง (0.3 และ 0.5 โมลาร์) มีการกลับขั้วของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์อย่างสมบูรณ์ที่ความต่างอุณหภูมิอยู่ในช่วง 13.9-16.2 องศาเซลเซียส

จากการวัดของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ทั้ง 5 ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1-0.5 โมลาร์ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มแรกของการกลับขั้วอย่างสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นของความต่างศักย์สัมประสิทธิ์ซีเบคนั้นทราบได้ว่าที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.5 โมลาร์ มีช่วงของความต่างของอุณหภูมิสอดคล้องกับตารางที่ 4.1 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.27-15.5 องศาเซลเซียสและ 12.84-14.67 องศาเซลเซียสตามลำดับ แต่ค่าความต่างศักย์สัมประสิทธิ์ซีเบคที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์ ไม่มีการกลับขั้วเกิดขึ้น อีกทั้งความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ที่มีการกลับขั้วก็มีช่วงความต่างศักย์ที่ไม่สอดคล้องกับตาราง 4.1 เช่นกัน เนื่องจากช่วงความต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 3.31-6.47 องศาเซลเซียส

ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามีความสูงของจุดยอดของกราฟที่ลดลงและเกิดที่ความต่างศักย์น้อยลงเมื่อความต่างอุณหภูมิลดลงและกรณีความเข้มข้นสูงกว่าจะมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อความต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.39  $\text{mW/m}^2$  ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์และความต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 35.4 องศาเซลเซียส

## 5.2 ปัญหาที่พบ

1. ในขณะที่ทดลองหลังจากที่เติมน้ำร้อนลงไปพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปในช่วงช่วงได้มีของเหลวล้นออกมา นอกวงแหวนแก้วเล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาตรภายในของเหลวลดลงได้และอาจทำให้ลดพื้นที่ผิวสัมผัสกับผิวของอิเล็กโทรด ดังนั้นในเบื้องต้นจึงได้ใช้ทิชชูในการซับออกและสังเกตค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้ในช่วงนั้นว่ามีความแตกต่างมากน้อยอย่างไร

2. ไม่สามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ครั้งของสัมประสิทธิ์ซีเบคในแต่ละความเข้มข้นมาเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากค่าอุณหภูมิฝั่งเย็นไม่ได้มีค่าเช่นเดียวกัน เพราะในการทดลองนี้ให้อุณหภูมิฝั่งร้อนและเย็นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างอิสระ ดังนั้นจึงได้เลือกเพียงค่าของอุณหภูมิฝั่งร้อนที่มีค่าใกล้เคียงกันคือ 50 องศาเซลเซียสมาพิจารณา โดยที่อุณหภูมิฝั่งเย็นไม่เท่ากัน ส่งผลให้ค่าความต่างอุณหภูมิไม่คงที่ ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของกราฟแต่ละครั้งภายในความเข้มข้นเดียวกันแทน

3. เมื่อทดลองทั้ง 3 ครั้งติดต่อกันโดยไม่ได้เว้นระยะเวลาในการทดลอง พบว่าเมื่อทำในครั้งที่ 2 และ 3 ค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้ขณะที่ยังไม่เติมน้ำร้อนมีค่าสูง เป็นไปได้ว่าอาจจะมีประจุที่ตกค้างที่ผิวของอิเล็กโทรดมากจากการทดลองในครั้งที่ 1 ซึ่งบ่งบอกถึงการมีกระแสไฟฟ้ามากภายในตัวเอง ดังนั้นจึงได้แก้ปัญหาโดยการเว้นระยะเวลาในการทดลองแต่ละครั้งอย่างน้อย 15-20 นาที

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เตรียมสารที่ความเข้มข้นสูงก่อนและทำการเจือจาง(Dilute) สารละลายโดยแบ่งใช้ตามความเข้มข้นที่ต้องการ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของมวลสารที่นำมาทดลอง

2. ควบคุมอุณหภูมิฝั่งร้อน/ฝั่งเย็นด้านใดด้านหนึ่งให้คงที่ เพื่อง่ายต่อการนำข้อมูลมาเฉลี่ยได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Laux *et al.*, “Thermoelectric Generators Based on Ionic Liquids,” *J. Electron. Mater.*, vol. 47, no. 6, pp. 3193–3197, 2018, doi: 10.1007/s11664-018-6175-z. [18 January 2021]
- [2] H. Keppner, S. Uhl, E. Laux, L. Jeandupeux, J. Tschanz, and T. Journot, “Ionic Liquid-based Thermoelectric Generator: Links between Liquid Data and Generator Characteristics[1] H. Keppner, S. Uhl, E. Laux, L. Jeandupeux, J. Tschanz, and T. Journot, “Ionic Liquid-based Thermoelectric Generator: Links between Liquid Data and Gen,” *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 2, pp. 680–689, 2015, doi: 10.1016/j.matpr.2015.05.086. [18 January 2021]
- [3] E. Laux *et al.*, “Development of thermoelectric generator based on ionic liquids for high temperature applications,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 4, pp. 10195–10202, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.265 [18 January 2021]
- [4] E. Laux, S. Uhl, T. Journot, J. Brossard, L. Jeandupeux, and H. Keppner, “Aspects of Protonic Ionic Liquid as Electrolyte in Thermoelectric Generators,” *J. Electron. Mater.*, vol. 45, no. 7, pp. 3383–3389, Jul. 2016, doi: 10.1007/s11664-016-4526-1. [20 January 2021]
- [5] Thermoelectric [Online]. Available from: <https://thermal.ferrotec.com/products/peltier-thermoelectric-cooler-modules/high-power/> [10 January 2021]
- [6] Thermoelectric generator [Online]. Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric\\_generator](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_generator) [10 January 2021]
- [7] Thermoelectric generator [Online]. Available from: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/apr/thermoelectric-energy-generation-takes-flight-for-aircraft-and-spacecraft-monitoring> [10 January 2021]
- [8] Seebeck coefficient [Online]. Available from: <http://www.linseis.com/en/properties/seebeck-coefficient/> [10 January 2021]
- [9] Redox reaction [Online]. Available from: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Supplemental\\_Modules\\_\(Analytical\\_Chemistry\)/Electrochemistry/Redox\\_Chemistry/Oxidation-Reduction\\_Reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Redox_Chemistry/Oxidation-Reduction_Reactions) [12 May 2021]



## ภาคผนวก ก

ตั้งค่าโปรแกรม ExceLINK ให้อ่านค่าทุกๆ 5 วินาที เพื่อวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค และตั้งค่าให้อ่านค่าทุก 2 วินาที สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

TaskName	Seebeck					
<b>ExceLINK</b>						
<b>KEITHLEY</b> A Greater Measure of Confidence						
<b>Task: Configure Scanning DMM Channels</b>						
<b>Task</b>	Name Seebeck					
	Description					
	Created By physics					
	Company chula					
	Date Created 17/3/2021					
	Date Modified 3/4/2021					
	Status/Cmds Task stopped successfully					
<b>Instrument</b>	Device KE2700_GPIB16					
	Password					
	Slot 1 Module M7710					
	Slot 2 Module Undetected					
	Slot 3 Module					
	Slot 4 Module					
	Slot 5 Module					
	Front Panel Lockout On					
<b>Setup</b>	Line Sync Off					
	Autozero On					
	Display Digits 6½					
	DCV Input Divider Off					
	Open TC Detection Off					
	Temp Scale °C					
<b>Limits</b>	Digital Outputs Off					
	Pulse Output Off					
	Polarity High					
	Duration 0.02 sec					
	Master Latch Off					
<b>Channel Scan List</b>						
Channel	Measurement	Scaling	Alarm Limits	Rep Filter	Sampling	Options
Seebeck / IV /	Seebeck Scan / IV Scan /	IV1 / IV2 / IV3 /	SE1 / SE2 / SE3 /			

Microsoft Excel - chayanit3.4.21

เพิ่ม แก้ไข มุมมอง แทรก รูปแบบ เครื่องมือ ข้อมูล ExcelINX หน้าต่าง วิเคราะห์

Arial 10 B I U % +.0 +.0

A37 25.7819672

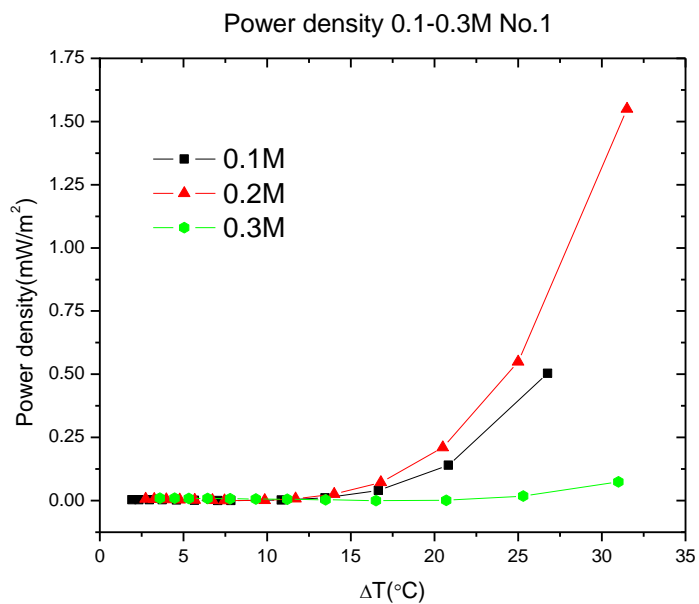
	A	B	C	D	E	F	G	H
4	<b>Task: Scan DMM Channels</b>							
5	<b>Task</b>	Name	Seebeck Scan					
6		Description						
7		Created By	physics					
8		Company	chula					
9		Date Created	17/3/2021					
10		Date Modified	3/4/2021					
11	Status/Cmds	Collecting data...						
12	<b>Configuration</b>	Worksheet	Seebeck					
13	<b>Trigger</b>	Model	Scan					
14		Source	Timer					
15		Delay	Auto	sec				
16		Reading Count	INF					
17		Timer	5 sec					
18		Monitor	None					
19	Monitor Limits	None						
20	<b>Data Location</b>	Worksheet	Seebeck Scan					
21		Starting Col	A					
22		Starting Row	37					
23		Organize By	Rows					
24		Autoincrement	Use one table					
25		Auto Wrap	On					
26	Log File							
27	Format	Delimited text (comma)						
28	<b>Data Display</b>	Add Channel Tags	No					
29		Add Channels	No					
30		Add Units	No					
31		Scroll Display	No					
32		Limits	None					
33		Timestamp	None					
34	Update Interval	100 msec						
35								

Seebeck \IV\ Seebeck Scan \IV Scan \IV1 \IV2 \IV3 \SE1 \SE2 \SE3 /

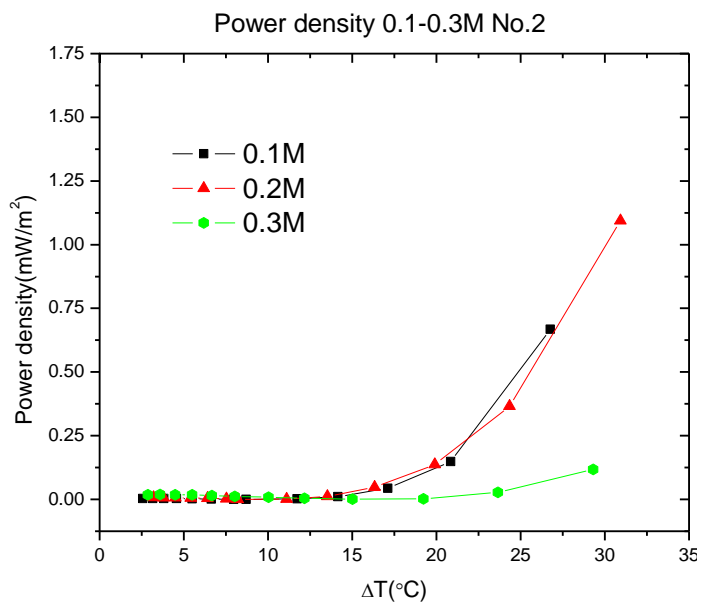
	<b>Task Data</b>		
36			
37	25.7819672	24.961174	-0.001561231
38	25.7642479	24.9480228	-0.001567146
39	25.7820702	24.9276199	-0.001573623
40	25.7536087	24.9297428	-0.001572462
41	25.7249031	24.9065208	-0.001576429
42	25.722765	24.9045925	-0.001577647
43	25.7027836	24.9040051	-0.00157948
44	25.7148495	24.8968334	-0.00157953
45	25.7241249	24.9170227	-0.001574377
46	25.7437248	24.9121819	-0.001570544
47	25.7633686	24.90382	-0.001568522
48	25.7590523	24.8972378	-0.001564697
49	25.7738056	24.8965778	-0.001565588
50	25.7589397	24.890749	-0.001562107
51	25.780674	24.8977757	-0.001556959
52	25.7447414	24.9091225	-0.001554145
53	25.6832886	24.8885326	-0.001562455
54	25.6471558	24.8729057	-0.001574827
55	25.6558704	24.8629742	-0.001582526
56	25.6550884	24.8488083	-0.00159066
57	25.6309853	24.8470268	-0.001600187
58	25.6318188	24.8333626	-0.001600902
59	25.6130142	24.8338051	-0.001604027
60	25.6130142	24.8338051	-0.001604027

Seebeck \IV\ Seebeck Scan \IV Scan \IV1 \IV2 \IV3 \SE1 \SE2 \SE3 /

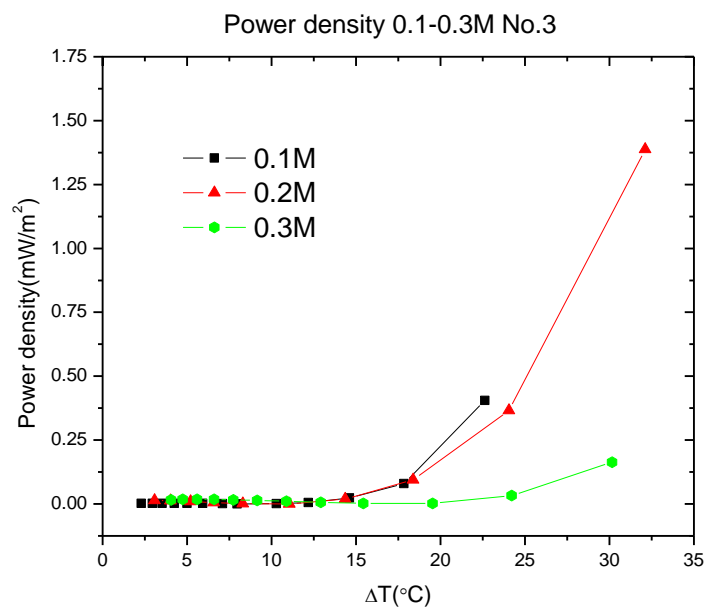
## ภาคผนวก ข



รูปที่ 4.39: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างของอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 0.1-0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 1 (เกิด peak)



รูปที่ 4.40: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างของอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 0.1-0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 2 (เกิด peak)



รูปที่ 4.41: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับความต่างของอุณหภูมิที่ความเข้มข้น 0.1-0.3 โมลาร์ การวัดครั้งที่ 3 (เกิด peak)