



## โครงการ

### การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว

Construction of apparatus for Seebeck coefficient of liquid measurement

ชื่อนิสิต นางสาวฉวีสร่า มั่งเรืองสกุล

เลขประจำตัว 6033414323

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# โครงการวิทยาศาสตร์นิสิตชั้นปีที่ 4

เรื่อง

การสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว

นางสาวธีรสร่า มั่งเรืองสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

หัวข้อโครงการ	การสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว
ผู้จัดทำโครงการ	ธีรสรามั่งเรื่องสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2563

---

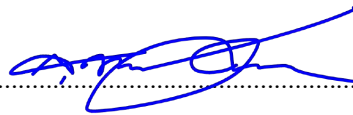
โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2563

คณะกรรมการได้ตรวจรับรองรายงานฉบับนี้แล้ว



.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรเจริญ ฝิโลทัยดำเกิง)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคนธ์ ตุงคะสมิต)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย)

หัวข้อโครงการ	การสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว
ผู้จัดทำโครงการ	ธีรสร่า มั่งเรืองสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2563

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว เครื่องมือวัดประกอบด้วยวงแหวนแก้ว ซึ่งประกบส่วนบนและล่างด้วยแผ่นแพลทินัม แวกซ์ตาถูกทาระหว่างวงแหวนแก้วกับแผ่นล่างเพื่อกันซึม โดยวางอยู่บนฐานทองเหลืองที่ตั้งบนแผงระบายความร้อน และมีภาชนะทองเหลืองกันแบนวางบนแผ่นแพลทินัมแผ่นบน การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สอดไว้ที่ฐานทองเหลืองและกันของภาชนะทองเหลืองกันแบน วัดความต่างศักย์ระหว่างแผ่นแพลทินัมทั้งสองด้วยมัลติมิเตอร์ (Keithley 2700) ที่ติดตั้งสแกนเนอร์ (Keithley 7710) ทำการทดสอบเครื่องมือด้วยน้ำผสมกับสารคู่ควบรีดอกซ์ (Redox couple) คือลิเทียมไอโอดัดและไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เคยมีการรายงานไว้แล้ว ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $530 \pm 40 \mu\text{V/K}$  [1] โดยทำการทดสอบทั้งหมดสามรอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $-442 \pm 94$ ,  $-520 \pm 140$  และ  $-443 \pm 8 \mu\text{V/K}$  ตามลำดับ สรุปได้ว่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดนี้ยังไม่ดีเท่าที่ควร จึงได้ทดลองวัดแบบระบบ โดยนำสารละลายออกจากวงแหวนแก้ว แล้วทำความสะอาดวงแหวนแก้วและแผ่นแพลทินัมด้วยไอโซโพรพานอลก่อนทดลองครั้งถัดไป พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $22 \mu\text{V/K}$  ซึ่งน้อยกว่าการวัดแบบไม่ระบบระบบ นอกจากนี้ระบบยังสามารถวัดลักษณะเฉพาะของความต่างศักย์-กระแสไฟฟ้าได้เมื่อนำตัวต้านทานปรับค่าได้มาต่อแบบอนุกรมกับสารละลาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์สูงจะมีความต้านทานภายในต่ำ และสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์สูงจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงตามไปด้วย กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่ามากขึ้นเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

**คำสำคัญ:** ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค, สารคู่ควบรีดอกซ์

<b>Project title</b>	Construction of apparatus for Seebeck coefficient of liquid measurement
<b>Name</b>	Theerissara Mungruengsakul
<b>Project advisor</b>	Associate Professor Somchai Kiatgamolchai (Ph.D)
<b>Department</b>	Physics
<b>Academic year</b>	2020

---

### Abstract

This project designed and built an apparatus for Seebeck coefficient of liquid measurement. The apparatus consists of the glass ring sandwiched between two platinum plates. Black wax is used to seal the glass ring with the bottom plate. Then it was put on the brass block which is also on a heat sink. The flat bottom brass container with hot water is put on the top platinum plate. Thermocouple type K was inserted into the brass block and brass container for temperature measurement. The voltage between both electrodes was measured with a multimeter (Keithley2700) equipped with a scanner (Keithley 7710) via an “ExcelLink” computer program. The apparatus was tested using water mixed with redox couple lithium iodide and iodine at a concentration of 0.4 molarity which has the Seebeck coefficient of  $530 \pm 40 \mu\text{V/K}$  [1]. We measured 3 set of 0.4 M solutions and found the average Seebeck coefficient were  $-442 \pm 94$ ,  $-520 \pm 140$  and  $-443 \pm 8 \mu\text{V/K}$  respectively. It can be concluded that the accuracy and precision of this measuring apparatus are not good. We repeated the measurement by removing the solution from the glass ring, cleaning the platinum plates, and refilling the solution back to the glass ring before each measurement. We called this as the “disturbed measurement”. It was found the standard error was reduced to  $22 \mu\text{V/K}$ . In addition, the system can also measure the characteristic of the voltage-current when the variable resistor is connected with the solution in series circuit. The results showed that a solution with a high concentration of redox couple had low internal resistance and high power. The maximum power tends to increase when the temperature difference increases.

**Keywords:** *Seebeck coefficient, Redox couple*

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านและชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาด้วยความใส่ใจอย่างยิ่ง ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิปกา สุขภิรมย์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการให้คำปรึกษาทางด้านสารเคมี ให้คำแนะนำในการเตรียมสารละลาย และให้ความกรุณาช่วยเหลือในการใช้เครื่องกวนสารตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรเจริญ ฝโลทัยดำเกิง ประธานกรรมการสอบโครงการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคตณศ ตุงคะสมิต กรรมการสอบโครงการ สำหรับคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงการ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข อาจารย์ผู้สอนรายวิชา 2304499 โครงการวิทยาศาสตร์ สำหรับการติดตามดูแล ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจ

ขอขอบคุณ คุณศุภศิลป์ ดาราสุรีย์ เจ้าหน้าที่แผนกเครื่องกลึงเป่าแก้ว ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาฯ

ขอขอบคุณ คุณทวีศักดิ์ จันทร์ดวง เจ้าหน้าที่หน่วยเครื่องกลของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือในการกลึงแท่งทองเหลืองให้เป็นภาชนะตามที่ต้องการ

ท้ายนี้ขอขอบคุณ ครอบครัว รุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ภาควิชาฟิสิกส์ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลกันเสมอมา

นางสาวธีรสิรา มั่งเรืองสกุล

## สารบัญ

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม</b>	
2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.2 ปรากฏการณ์ซีเบค	3
2.3 กฎของโอห์ม	4
2.4 ความต้านทานไฟฟ้า	5
2.5 การถ่ายเทความร้อน	5
<b>บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง</b>	
3.1 การออกแบบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว	7
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ประกอบเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว	9
3.3 การตรวจสอบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว	12
3.3.1 การเตรียมสารละลาย	12
3.3.2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	13
3.3.3 การวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์	14
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง</b>	
4.1 การเตรียมสารละลาย	16

4.2 การทดสอบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว	17
4.2.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	17
4.2.2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคระหว่างการวัดแบบรบกวนระบบและ การวัดแบบไม่รบกวนระบบ	24
4.2.3 การวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์	26
4.2.4 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ปัญหาที่พบ	41
5.3 ข้อเสนอแนะ	42
<b>บรรณานุกรม</b>	43
<b>ภาคผนวก</b>	45



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันมีการนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้หลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกดังรูปที่ 1.1 (Thermoelectric generator) ภายในอุปกรณ์นี้ประกอบไปด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านต่างกัน การถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำด้วย พาหะอาจจะเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือโฮล (Hole) หรือทั้งสองพร้อมกัน การสะสมของพาหะเหล่านี้ที่ปลายด้านหนึ่งทำให้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเกิดความต่างศักย์ตกคร่อม โดยมีค่าเท่ากับ  $S\Delta T$  โดย  $S$  คือสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) และ  $T$  คืออุณหภูมิเฉลี่ย [2] วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีสถานะเป็นของเหลวที่ได้รับ ความสนใจในปัจจุบันคือ ของเหลวไอออนิก (Ionic liquid) เนื่องจากของเหลวไอออนิกนั้นสามารถนำไฟฟ้าได้ดี นำความร้อนได้น้อยกว่าของแข็ง [3] และสามารถเปลี่ยนรูปทรงได้ง่ายตามภาวะที่บรรจ ผู้จัดทำเห็นว่าของเหลวไอออนิกมีคุณสมบัติที่ดีกว่าของแข็งหลายประการ และสามารถนำมาพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ในอนาคต แต่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว ผู้จัดทำจึงได้จัดทำโครงการนี้ขึ้นมาเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลวและประเมินความแม่นยำและความถูกต้อง



รูปที่ 1.1 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck Coefficient) ของของเหลวและประเมินความแม่นยำและความถูกต้อง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในช่วงอุณหภูมิ 25.0 - 60.0 °C ของน้ำผสมลิเทียมไอโอดัด (LiI) และไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ที่ความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์
- 1.3.2 วัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกในช่วงอุณหภูมิ 25.0 - 60.0 °C ของน้ำผสมลิเทียมไอโอดัด (LiI) และไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์
- 1.3.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำผสมลิเทียมไอโอดัด (LiI) และไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ด้วยวิธีการวัดแบบรบกวนระบบและไม่รบกวนระบบ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้เครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว
- 1.4.2 ได้ประสบการณ์ในการสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว
- 1.4.3 ได้รับความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกและปรากฏการณ์ซีเบค

## บทที่ 2

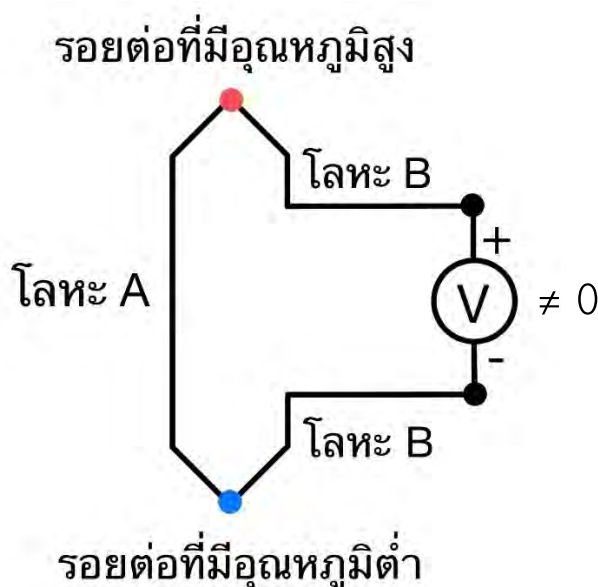
### ทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric effect) เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายทั้งสองด้านของวัสดุ การถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำด้วย การสะสมของพาหะ (อิเล็กตรอนหรือโฮลหรือทั้งสอง) ที่ปลายด้านหนึ่ง ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองด้าน

#### 2.2 ปรากฏการณ์ซีเบค

ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1821 โดยโทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน เขาพบว่าเมื่อนำโลหะสองชนิดมาเชื่อมต่อกันในลักษณะวงจรมัด ซึ่งมีรอยต่อสองรอยต่อ เมื่อให้อุณหภูมิที่ต่างกันกับสองรอยต่อนั้น วงจรดังกล่าวจะสามารถเบนเข็มทิศที่นำมาวางอยู่ใกล้ ๆ ได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร หากตัดวงจรแล้วต่อโวลต์มิเตอร์แบบอนุกรมเข้ากับวงจรจะสามารถวัดค่าความต่างศักย์ (แรงเคลื่อนไฟฟ้า) ที่เกิดขึ้นได้ [4] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค

ปรากฏการณ์ซีเบคที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อให้ความร้อนกับปลายด้านหนึ่งของวัสดุชนิดหนึ่ง พหะจากบริเวณอุณหภูมิสูงจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้มีการสะสมของพหะ ความแตกต่างของความหนาแน่นพหะที่ปลายทั้งสองด้านทำให้เกิดความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าภายในวัสดุในทิศทางต้านการเคลื่อนที่ของพหะ เมื่อแรงผลักดันเนื่องจากผลต่างอุณหภูมิมีค่าเท่ากับแรงต้านเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะทำให้ระบบเข้าสู่สมดุล ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าคงที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ (1)

$$S = \frac{dV}{dT}$$

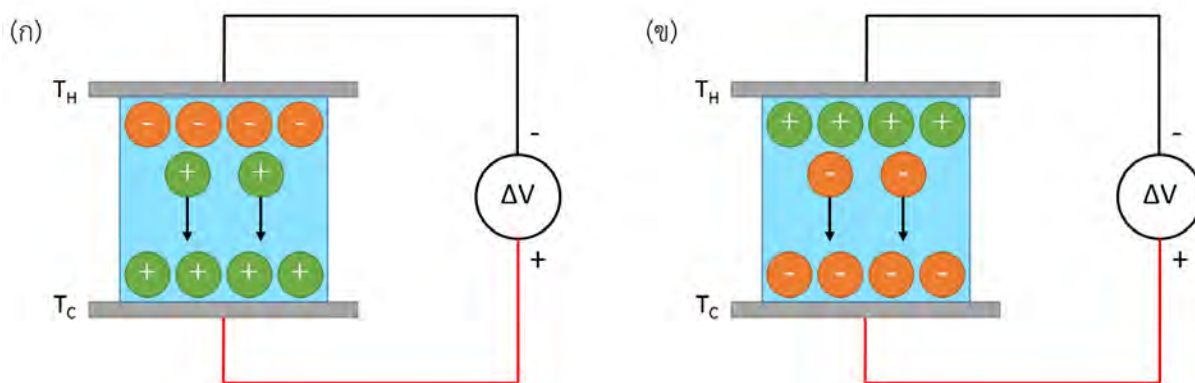
$$\Delta V \approx S \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ  $\Delta V$  คือความต่างศักย์ (V)

$S$  คือค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

$\Delta T$  คือผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองข้างของวัสดุ (K)

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุแต่ละชนิดนั้น คือความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างปลายทั้งสองด้านของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสามารถเป็นได้ทั้งบวกและลบซึ่งแสดงถึงการสะสมของพหะที่ขั้วอิเล็กโทรดต่างกัน โดยทั่วไปหากเป็นเครื่องหมายบวกหมายถึงโฮลเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนไปยังขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็น แต่ถ้าเป็นเครื่องหมายลบหมายถึงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนไปยังขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดความต่างศักย์จากปรากฏการณ์ซีเบคของของเหลว (ก)ความต่างศักย์มีค่าเป็นบวก (ข)ความต่างศักย์มีค่าเป็นลบ

### 2.3 กฎของโอห์ม

ในปี ค.ศ.1826 จอร์จ ซิมอน โอห์ม (George Simon Ohm) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว คือ กระแสไฟฟ้า (I), ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และความ

ต้านทานไฟฟ้า ( $R$ ) ซึ่งได้อธิบายความสัมพันธ์ไว้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรแปรผันโดยตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าและแปรผกผันกับความต้านทานของวงจร [5, 6] ดังสมการ (2)

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

เมื่อ  $I$  คือกระแสไฟฟ้า (A)  
 $V$  คือความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด (V)  
 $R$  คือความต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega$ )

## 2.4 ความต้านทานไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance) เป็นปริมาณที่บอถึงความสามารถในการต้านการเคลื่อนที่ของประจุภายในวัสดุ ถ้ามีค่ามากจะแสดงว่ามีความสามารถในการต้านการเคลื่อนที่ของประจุหรือการไหลของกระแสไฟฟ้าได้มาก ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอจะแปรผันตรงกับความยาวและแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น ๆ ดังสมการ (3)

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

เมื่อ  $\rho$  คือสภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega\text{m}$ ) ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ  
 $L$  คือความยาวของวัสดุ (m)  
 $A$  คือพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ตัดฉากกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ( $\text{m}^2$ )

สำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดี ความต้านทานภายในควรมีค่าน้อย ๆ เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มาก ๆ

## 2.5 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิระหว่างสองบริเวณแตกต่างกัน โดยความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า กลไกการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

- 1) การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางโดยที่ตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่แต่สิ้น ความร้อนจะเคลื่อนที่ไปตามเนื้อของวัตถุจากตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น การนำแผ่นอะลูมิเนียมมาเผาไฟ โมเลกุลของแผ่นอะลูมิเนียมที่อยู่ใกล้เปลวไฟจะร้อนก่อนโมเลกุลที่อยู่ไกลออกไป เมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลจะสั่นมากขึ้นจึงชนกับโมเลกุลที่อยู่ติดกัน และทำให้โมเลกุลที่อยู่ติดกันสั่นต่อเนื่องกันไป ความร้อนจึงถูกถ่ายเทไปโดยการสั่นของโมเลกุลของแผ่นอะลูมิเนียม [7]

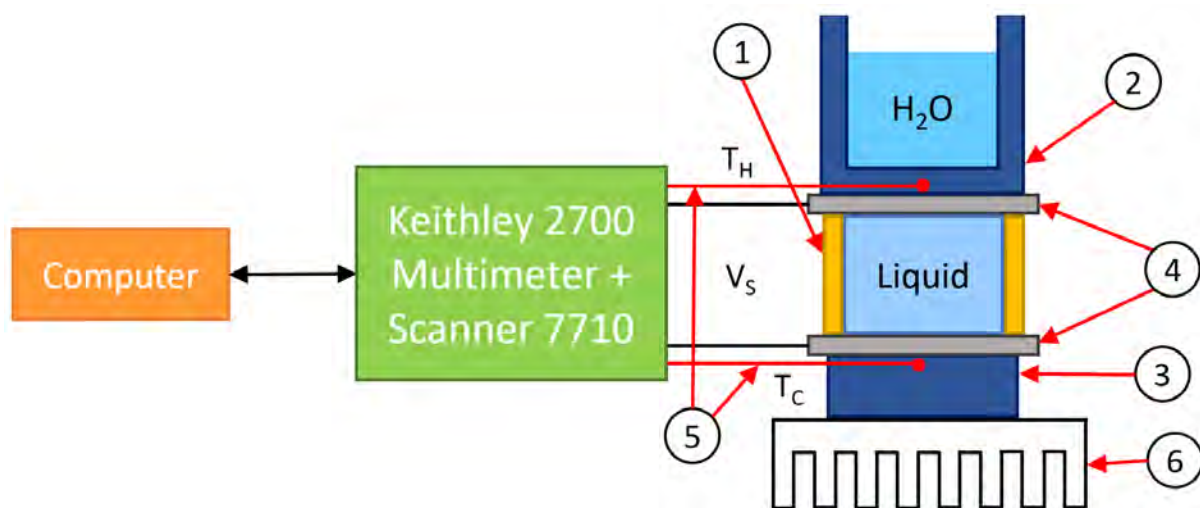
- 2) การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ ของเหลวและแก๊ส เช่น ลมร้อนและน้ำร้อน
- 3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง แต่จะแผ่รังสีความร้อนเป็นการปล่อยพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [8]

### บทที่ 3

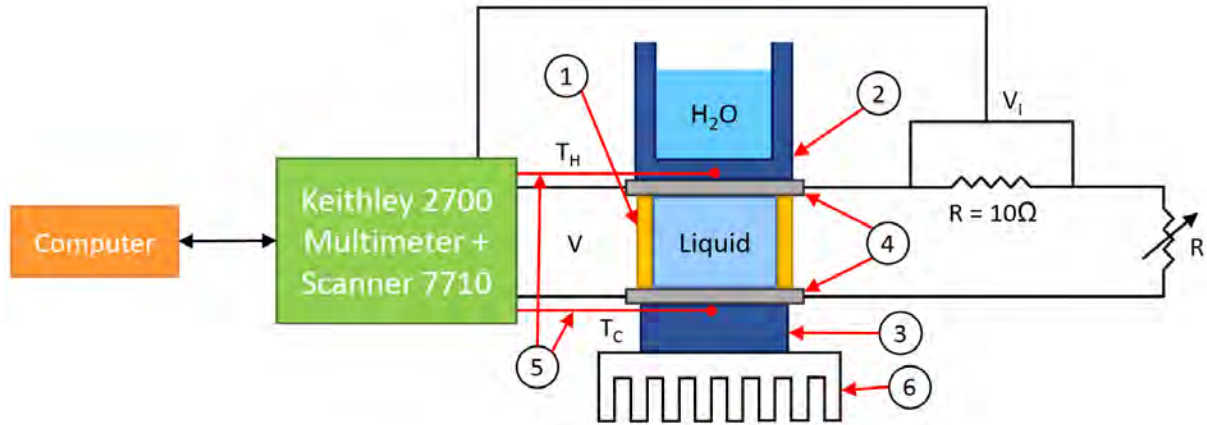
#### การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

##### 3.1 การออกแบบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว

เครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลวมีหลักการออกแบบคือการทำให้อุณหภูมิแตกต่างกันสองบริเวณ ความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ พาหะภายในของเหลวก็จะเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้ทั้งสองบริเวณมีการสะสมของพาหะที่แตกต่างกัน อาจเป็นชนิดที่ต่างกัน และ/หรือชนิดเดียวกันแต่ความหนาแน่นต่างกันก็ได้ จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมของเหลวกับอุณหภูมิของทั้งสองบริเวณแล้ว ก็สามารถนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลวได้ตามสมการ (1) นอกจากนี้เมื่อต่อของเหลวเข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้แบบอนุกรม ก็สามารถวัดความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าของแหล่งกำเนิด แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้ตามสมการ  $P=IV$  การออกแบบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลวแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และแบบของการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์สำหรับของเหลวแสดงดังรูปที่ 3.2

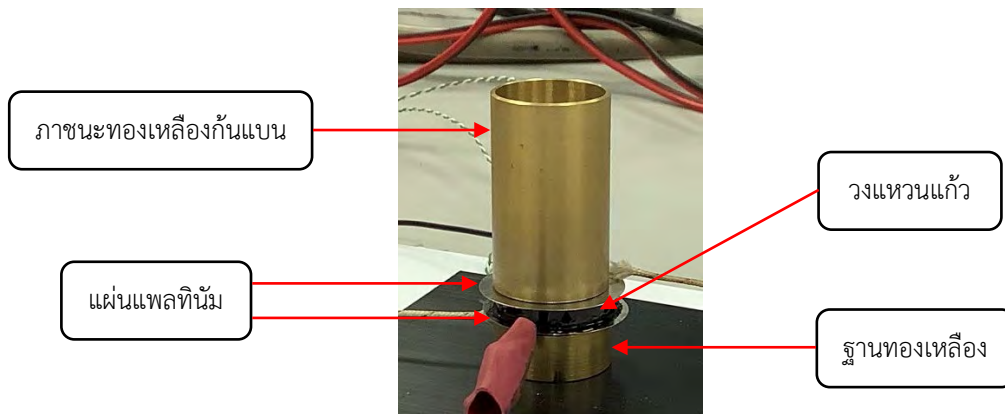


รูปที่ 3.1 แบบของเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว, 1=วงแหวนแก้ว, 2=ภาชนะทองเหลืองกันแบน, 3=ฐานทองเหลือง, 4=แผ่นแพลทินัม, 5=เทอร์โมคัปเปิลชนิด K, 6=แผงระบายความร้อน



รูปที่ 3.2 แบบของการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์สำหรับของเหลว, 1=วงแหวนแก้ว, 2=ภาชนะทองเหลืองกันแบน, 3=ฐานทองเหลือง, 4=แผ่นแพลทินัม, 5=เทอร์โมคัปเปิลชนิด K, 6=แผงระบายความร้อน

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 ของเหลวบรรจุภายในวงแหวนแก้วที่ติดกับแผ่นแพลทินัมด้วยแวกซ์ซีด้า เพื่อกันของเหลวซึมออกมา แล้วประกบส่วนบนของวงแหวนแก้วด้วยแผ่นแพลทินัม ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้ว อิเล็กโทรด จากนั้นนำไปวางบนฐานทองเหลือง และนำภาชนะทองเหลืองกันแบนมาวางบนแผ่นแพลทินัม สำหรับเติมน้ำร้อนดังรูปที่ 3.3 การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สอดไว้ที่ฐานทองเหลืองและกันของ ภาชนะทองเหลืองกันแบน วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองด้วยมัลติมิเตอร์ (Keithley 2700) ที่ ติดตั้งสแกนเนอร์ (Keithley 7710) และอ่านค่าด้วยโปรแกรม ExcelLink ทดสอบเครื่องมือวัดด้วยน้ำผสมกับ สารคู่ควบรีดอกซ์คือ ลิเทียมไอโอดด์ (LiI) และไอโอดีน ( $I_2$ ) ที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ โดยเปรียบเทียบกับ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่เคยมีการรายงานไว้แล้ว ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $530 \pm 40 \mu\text{V/K}$  [1]



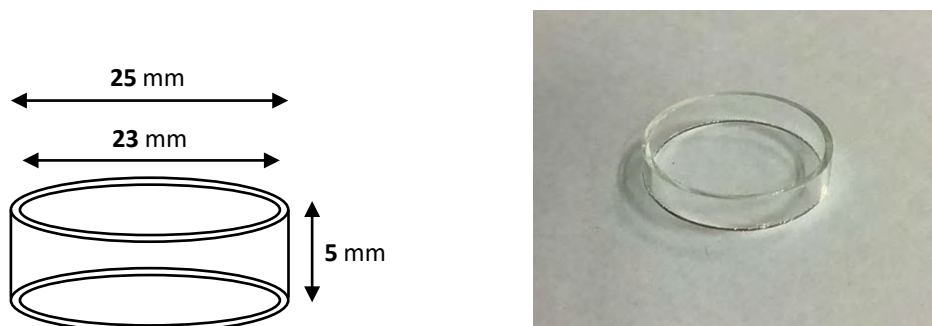
รูปที่ 3.3 การประกอบเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว



### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ประกอบเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว

#### 3.2.1 วงแหวนแก้ว

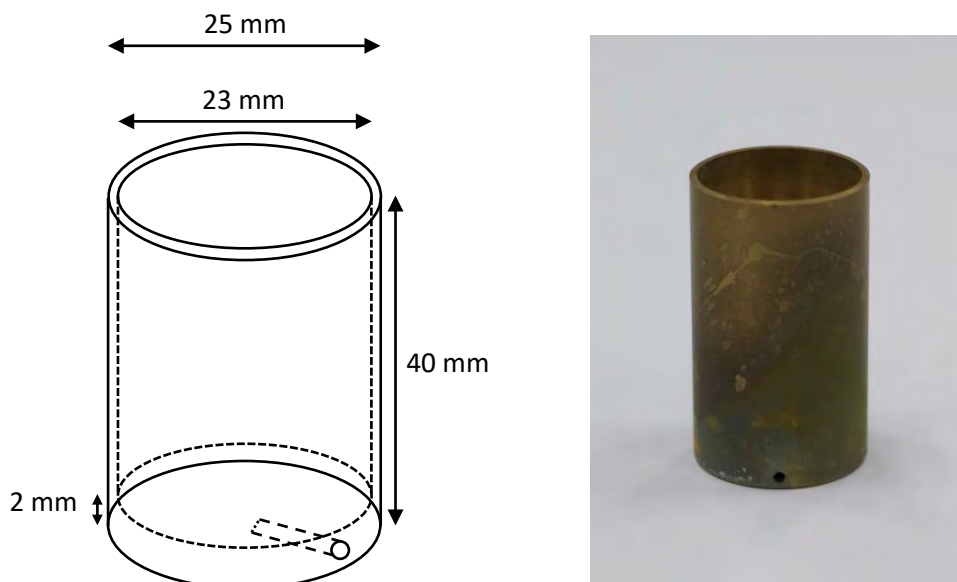
วงแหวนแก้วที่ใช้เตรียมมาจากหลอดทดลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 23 มิลลิเมตร นำไปตัดด้วยเครื่องตัดใบเพชรให้มีความสูง 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงแหวนแก้ว

#### 3.2.2 ภาชนะทองเหลืองกันแบน

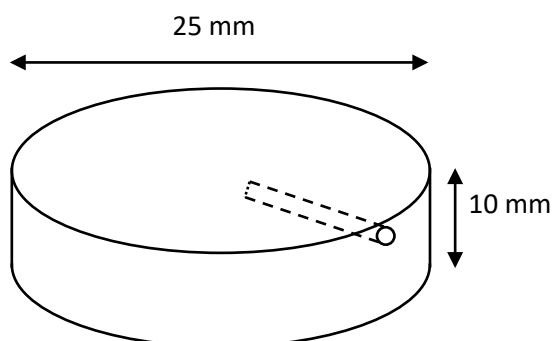
ภาชนะทองเหลืองกันแบนที่ใช้เตรียมมาจากการนำแท่งทองเหลืองไปกลึงเป็นภาชนะกันแบนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 23 มิลลิเมตร และมีความสูง 40 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5 แล้วเจาะรูขนาดเล็กที่ก้นให้สามารถใส่เทอร์โมคัปเปิลได้



รูปที่ 3.5 ภาชนะทองเหลืองกันแบน

### 3.2.3 ฐานทองเหลือง

ฐานทองเหลืองที่ใช้เตรียมมาจากการนำแท่งทองเหลืองไปกลึงเป็นฐานทองเหลืองให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และมีความสูง 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6 แล้วเจาะรูขนาดเล็กที่ก้นให้สามารถใส่เทอร์โมคัปเปิลได้ โดยพยายามเจาะให้ใกล้ผิวบนที่สุด



รูปที่ 3.6 แบบของฐานของทองเหลือง

### 3.2.4 แผ่นแพลทินัม

แผ่นแพลทินัมที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และมีความหนา 0.1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด คุณสมบัติของขั้วอิเล็กโทรดที่ดีคือไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละลาย ในงานวิจัยของ [9] ใช้กระจกแซฟไฟร์เคลือบด้วยโรเดียม (Rh) ในงานวิจัยของเราได้ทดลองใช้แผ่นกระจกแซฟไฟร์ที่เคลือบด้วย Au/Pd แต่พบว่าหลุดลอกง่ายเมื่อสัมผัสกับของเหลว ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้เป็นแผ่นโลหะแพลทินัมแทน



รูปที่ 3.7 แผ่นแพลทินัม

### 3.2.5 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

ในการวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

### 3.2.6 มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิคือ Keithley 2700 Multimeter/Data Acquisition/Switch Systems ดังรูปที่ 3.9 โดยติดตั้ง Scanner รุ่น 7710 อยู่ภายในเครื่อง



รูปที่ 3.9 Keithley 2700 Multimeter/Data Acquisition/Switch Systems

### 3.2.7 ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ใช้ คือ HARS-X-5-10 High Accuracy Resistance Substituter ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทานได้ตั้งแต่ 0-1,111,100Ω



รูปที่ 3.10 HARS-X-5-10 High Accuracy Resistance Substituter

### 3.3 การตรวจสอบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสำหรับของเหลว

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลาย

สารละลายที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ น้ำ RO ผสมกับสารคู่ควบรีดอกซ์ (สารคู่ควบรีดอกซ์ที่ใช้คือลิเทียมไอโอดัดและไอโอดีน ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์) ในการเตรียมสารละลายแต่ละความเข้มข้นจะใช้น้ำ 3 มิลลิลิตร

- 1) คำนวณหามวลของลิเทียมไอโอดัดและไอโอดีนที่ต้องใช้ของแต่ละความเข้มข้น โดยใช้สมการ

$$m = \frac{Mw \times C \times V}{1000}$$

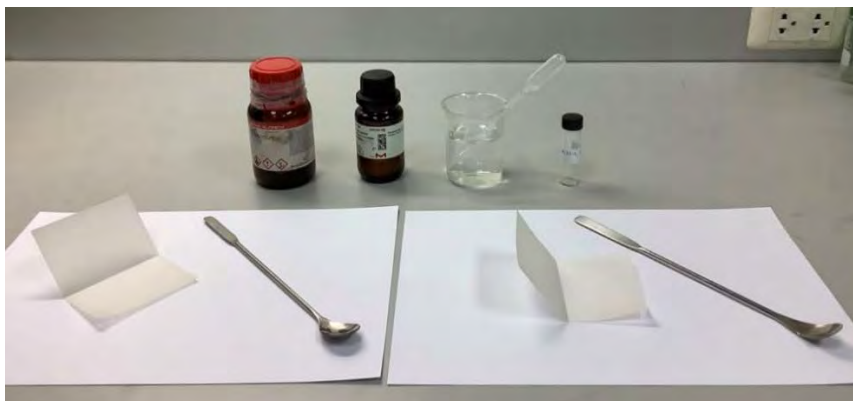
เมื่อ  $m$  แทนมวลของสารในหน่วยกรัม,  $Mw$  แทนมวลโมเลกุลของสาร,  $C$  แทนความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ และ  $V$  แทนปริมาตรในหน่วยมิลลิลิตร จะได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารในหน่วยกรัมของแต่ละความเข้มข้น

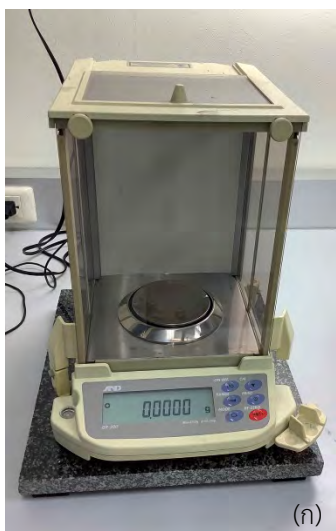
สารคู่ควบรีดอกซ์	ปริมาณสารในหน่วยกรัมของแต่ละความเข้มข้น			
	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M
ไอโอดีน (I <sub>2</sub> )	0.0761	0.1523	0.2284	0.3046
ลิเทียมไอโอดัด (LiI)	0.0402	0.0803	0.1205	0.1606

- 2) ชั่งปริมาณสารของไอโอดีน และลิเทียมไอโอดัด ตามลำดับ ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งให้ได้มวลตามหรือใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้ดังตารางที่ 3.1 แล้วจึงเทใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดไว้
- 3) เติมน้ำตามปริมาณที่ต้องการ แล้วใส่แม่เหล็กขนาดเล็กลงไปในขวดแก้วจากนั้นปิดฝาให้เรียบร้อย

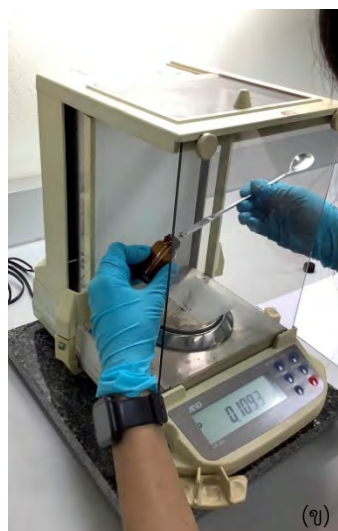
- 4) นำขวดแก้วไปวางบนเครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้แม่เหล็กขนาดเล็กกวนสารให้เข้ากันได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 3.11 ไอโอดีน, ลิเทียมไอโอดด์, น้ำ RO, ขวดแก้วที่มีฝาปิด, กระจกชาม และช้อนตักสาร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.12 (ก)เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง (ข)การชั่งสาร

### 3.3.2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคแบบไม่รบกวนระบบ

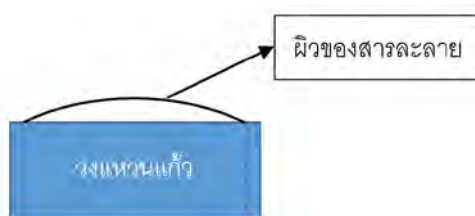
- 1) ดูดสารละลายที่เตรียมไว้ด้วยหลอดหยดและนำมาหยดลงในวงแหวนแก้วที่ติดกับแผ่นแพลทินัมโดยให้ผิวของของเหลวมีลักษณะโค้งเล็กน้อยดังรูปที่ 3.13 จากนั้นนำแผ่นแพลทินัมอีกหนึ่งแผ่นมาวางบนด้านบนของวงแหวนแก้ว แล้วนำภาชนะทองเหลืองกันแบนมาวางไว้ด้านบนแผ่นแพลทินัม หากมีของเหลวซึมออกมาให้ซับออก

- 2) ต่อสายไฟเข้ากับแผ่นแพลทินัมทั้งสองแผ่น โดยให้สายสีแดงต่อเข้ากับแผ่นล่าง ส่วนสายสีดำต่อเข้ากับแผ่นบนเพื่อให้เครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวกสำหรับโวลต์ และลบสำหรับอิลีกตรอน และต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับฐานและภาชนะทองเหลือง
- 3) เติมน้ำร้อนในภาชนะทองเหลืองกันแบน จากนั้นจึงอ่านและบันทึกค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิด้วยโปรแกรม ExcelLink ซึ่งตั้งค่าในโปรแกรมให้อ่านค่าทุก ๆ 5 วินาที
- 4) ทำการทดลองซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 ของแต่ละความเข้มข้น (เมื่อทำการทดลองครั้งที่ 1 เสร็จให้เว้นระยะเวลาอย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้ระบบมีอุณหภูมิเท่ากับสิ่งแวดล้อม ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ) ก่อนทำการทดลองซ้ำครั้งถัดไป)
- 5) นำข้อมูลที่ได้อ่านวิเคราะห์ผลและคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารละลาย

#### การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคแบบรบกวนระบบ

การวัดแบบรบกวนระบบ (disturb the system) เป็นการวัดซ้ำ โดยก่อนวัดครั้งถัดไปต้องนำสารละลายออกจากวงแหวนแก้วก่อน จากนั้นทำความสะอาดวงแหวนแก้วและแผ่นแพลทินัมด้วยไอโซโพรพานอล แล้วจึงนำสารละลายกลับมาใส่ใหม่เพื่อวัดซ้ำครั้งถัดไป โดยมีเหตุผลเนื่องจากพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีขนาดลดลงเรื่อย ๆ สำหรับการวัดแบบไม่รบกวนระบบในครั้งถัด ๆ มา ซึ่งสันนิษฐานว่ามีประจุสะสมอันเนื่องจากการวัดในครั้งก่อนหน้า

ในการทดลองนี้จะพิจารณาน้ำผสมกับไอโอดีนและลิเทียมไอโอดด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ขั้นตอนในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคแบบรบกวนระบบเหมือนกับการวัดแบบไม่รบกวนระบบ โดยเปลี่ยนในขั้นตอนข้อ 4) กล่าวคือ หลังจากวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคครั้งที่ 1 เสร็จให้นำสารละลายออกจากวงแหวนแก้วทำความสะอาดแผ่นแพลทินัมและวงแหวนแก้ว จากนั้นเช็ดด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol) แล้วจึงนำมาทดลองครั้งถัดไป



รูปที่ 3.13 ลักษณะผิวของสารละลาย

#### 3.3.3 การวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์

- 1) ดูดสารละลายที่เตรียมไว้ด้วยหลอดหยดและนำมาหยดลงในวงแหวนแก้วที่ติดกับแผ่นแพลทินัมโดยให้ผิวของของเหลวมีลักษณะโค้งดังรูปที่ 3.13 จากนั้นนำแผ่นแพลทินัมอีกหนึ่ง

แผ่นมาวางบนด้านบนของวงแหวนแก้ว แล้วนำภาชนะทองเหลืองก้นแบนมาวางไว้ด้านบนแผ่นแพลทินัม หากมีของเหลวซึมออกมาให้ซับออก

- 2) ต่อสายไฟเข้ากับแผ่นแพลทินัมทั้งสองแผ่น โดยให้สายสีแดงต่อเข้ากับแผ่นล่าง ส่วนสายสีดำต่อเข้ากับแผ่นบนเพื่อให้เครื่องหมายของความต่างศักย์สอดคล้องกับเครื่องหมายของพาหะ และแผ่นแพลทินัมทั้งสองจะต่อกับตัวต้านทานสองตัวแบบอนุกรม โดยตัวต้านทานแรกปรับให้มีค่าความต้านทาน 10 โอห์ม เพื่อใช้คำนวณหากระแสไฟฟ้า และตัวที่สองสามารถปรับค่าความต้านทานได้ตั้งแต่ 0-111,100Ω เพื่อใช้เป็นโหลดสำหรับเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก จากนั้นต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับฐานและภาชนะทองเหลือง
- 3) เติมน้ำร้อนในภาชนะทองเหลืองก้นแบน จากนั้นจึงอ่านและบันทึกค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิด้วยโปรแกรม ExcelLink ซึ่งตั้งค่าในโปรแกรมให้อ่านค่าทุก ๆ 2 วินาที
- 4) ทำการทดลองซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 ของแต่ละความเข้มข้น (เมื่อทำการทดลองครั้งที่ 1 เสร็จแล้วให้เว้นระยะเวลาอย่างน้อย 15 นาที ก่อนทำการทดลองซ้ำครั้งถัดไป)
- 5) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลและคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าจากสมการ (2) และคำนวณกำลังไฟฟ้าจากสมการ  $P=IV$  จากนั้นนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

โครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว โดยทดสอบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคด้วยน้ำผสมกับสารคู่ควบรีดอกซ์ ได้แก่ ลิเทียมไอโอดีน (LiI) ผสมไอโอดีน ( $I_2$ ) ที่ความเข้มข้นอย่างละ 0.4 โมลาร์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่เคยมีการรายงานไว้แล้ว ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $530 \pm 40 \mu V/K$  [1]

#### 4.1 การเตรียมสารละลาย

ปริมาณสารที่ใช้จริงในการเตรียมสารละลายและลักษณะทางกายภาพของน้ำผสมกับลิเทียมไอโอดีนและไอโอดีนที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์ แสดงดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ปริมาณสารที่ใช้จริงในการเตรียมสารละลายและลักษณะทางกายภาพของสารละลายแต่ละความเข้มข้น

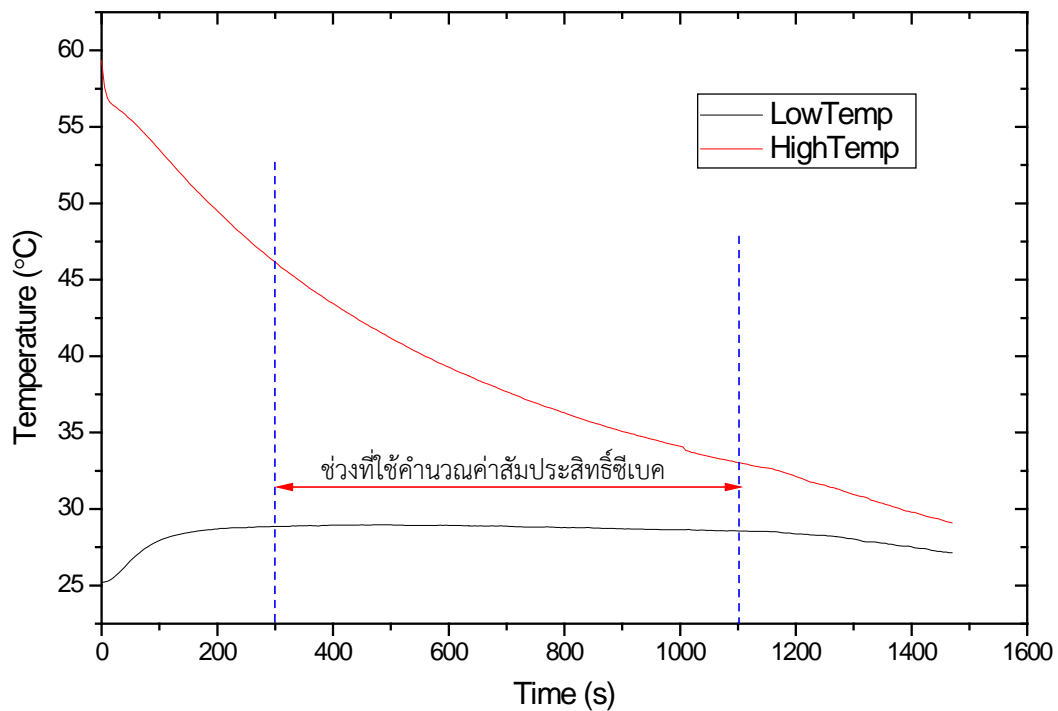
ความเข้มข้นของลิเทียมไอโอดีนและไอโอดีน		0.4M		0.3M	0.2M	0.1M
		Batch 1	Batch 2			
ปริมาณสารที่ใช้ในหน่วยกรัมของแต่ละความเข้มข้น	$I_2$	0.4665	0.3217	0.2192	0.1529	0.0738
	LiI	0.2475	0.1675	0.1066	0.0854	0.0454
	น้ำ RO	5.0000	3.1780	2.6639	3.2321	3.4017
ลักษณะทางกายภาพของสารละลาย		มีสีน้ำตาลเข้ม	- มีสีน้ำตาลเข้ม - มีตะกอนของ $I_2$ เหลืออยู่	- มีสีน้ำตาลเข้ม - มีตะกอนของ $I_2$ เหลืออยู่	- มีสีน้ำตาลเข้ม - มีตะกอนของ $I_2$ เหลืออยู่	- มีสีน้ำตาลเข้ม - มีตะกอนของ $I_2$ เหลืออยู่

จากตารางที่ 4.1 ได้เตรียมสารละลายของน้ำผสมกับลิเทียมไอโอดีนและไอโอดีนที่ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ จำนวน 2 Batch เพื่อทดสอบความถูกต้องของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของเครื่องมือวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ผลจากการเตรียมสารละลายปรากฏว่าลักษณะทางกายภาพของสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4M (Batch 2), 0.3M, 0.2M และ 0.1M มีตะกอนของไอโอดีนเหลืออยู่ ทั้งนี้มีรายงานว่าสารคู่ควบรีดอกซ์ ได้แก่ ลิเทียมไอโอดีนและไอโอดีนอย่างละ 0.4 โมลาร์ สามารถละลายน้ำได้ [1]



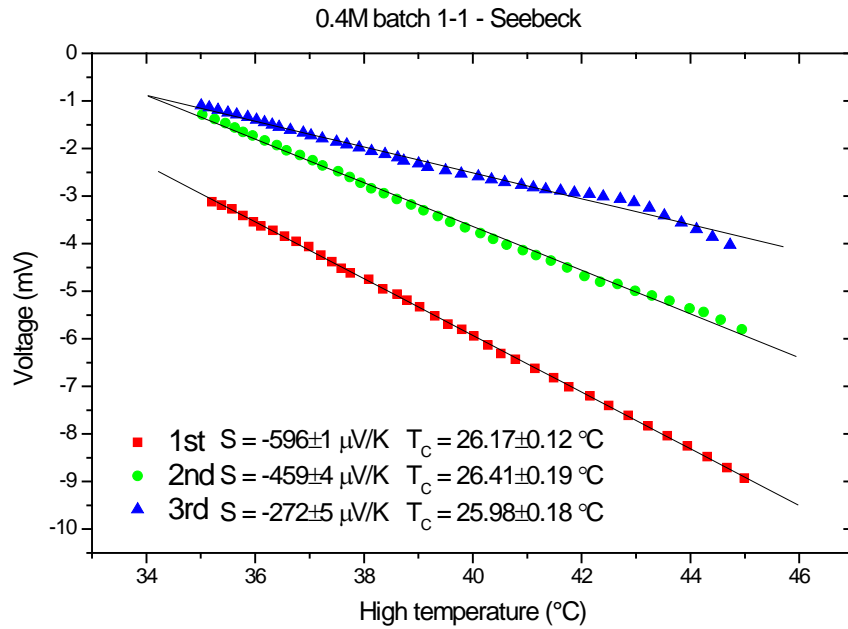
## 4.2 การทดสอบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลว

### 4.2.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

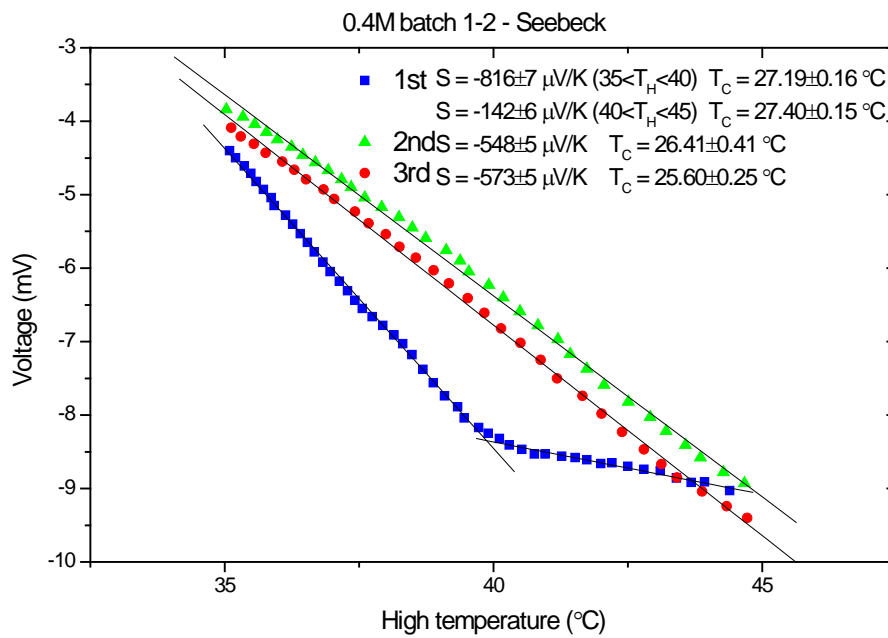


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M

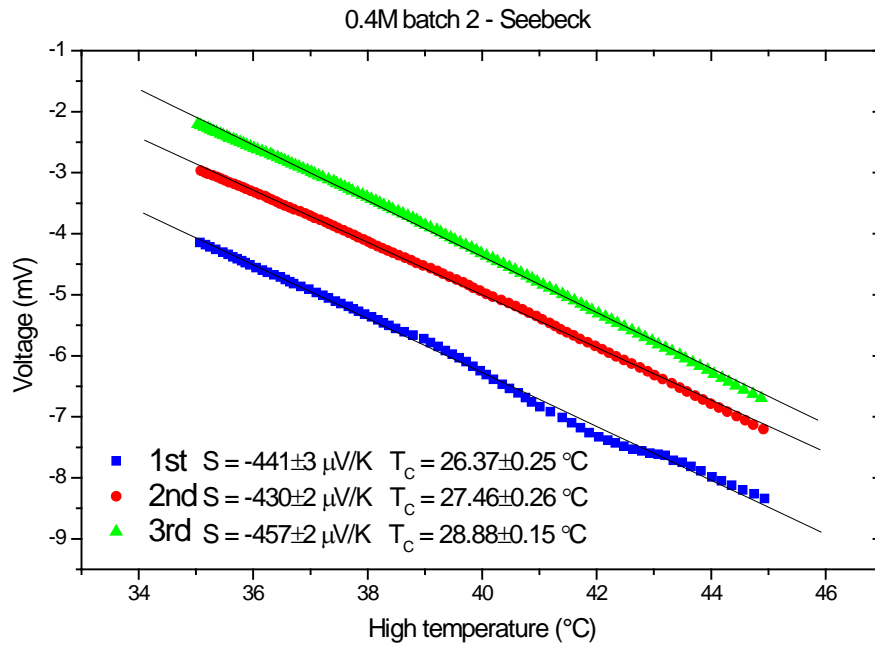
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนและฝั่งเย็นเป็นดังรูปที่ 4.1 ซึ่งในช่วง 0-300 วินาทีแรกอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นอุณหภูมิเริ่มลดช้าลง และในช่วงแรกอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นสูงขึ้น จากนั้นอุณหภูมิก่อนข้างคงที่ เราใช้ข้อมูลในช่วงที่อุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อน ( $T_H$ ) และความต่างศักย์ตกคร่อมของสารละลาย ( $V$ ) ความชันของกราฟมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารละลาย สำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4M Batch 1 ได้ทำการวัดจำนวน 2 รอบ โดยรอบที่ 1 ใช้ชื่อเรียกเป็น Batch 1-1 และทำการวัดรอบที่ 2 ในวันถัดไป ใช้ชื่อเรียกเป็น Batch 1-2



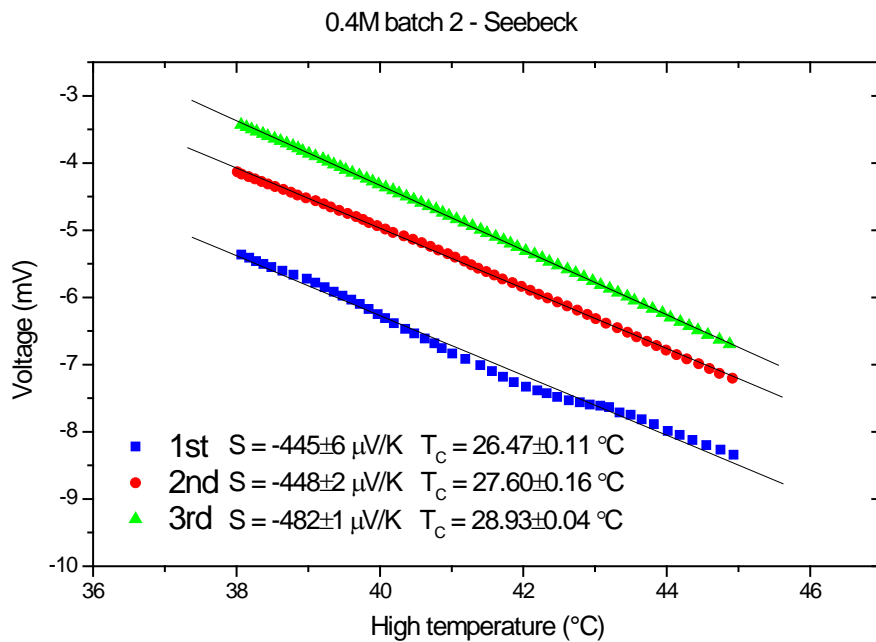
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 1-1) สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ( $35 < T_H < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )



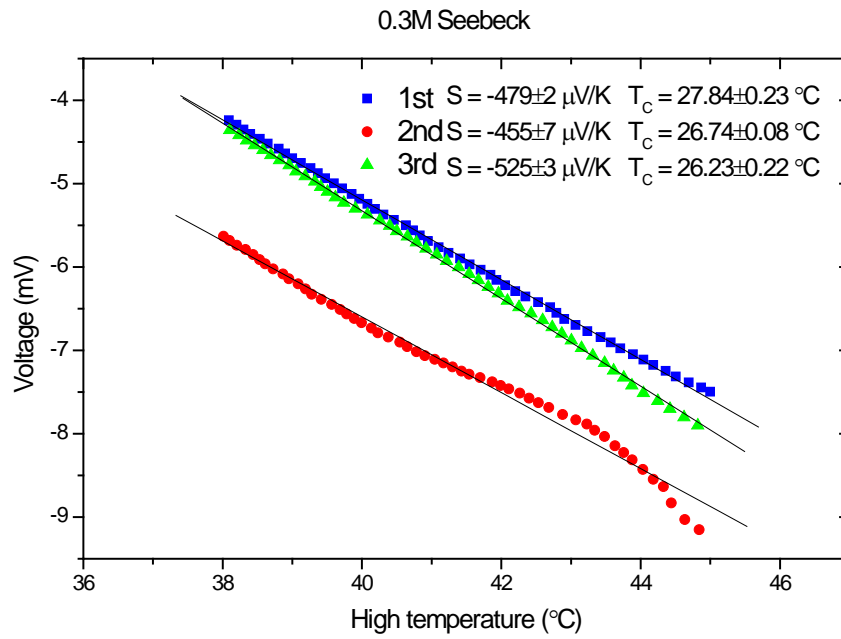
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 1-2) สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ( $35 < T_H < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )



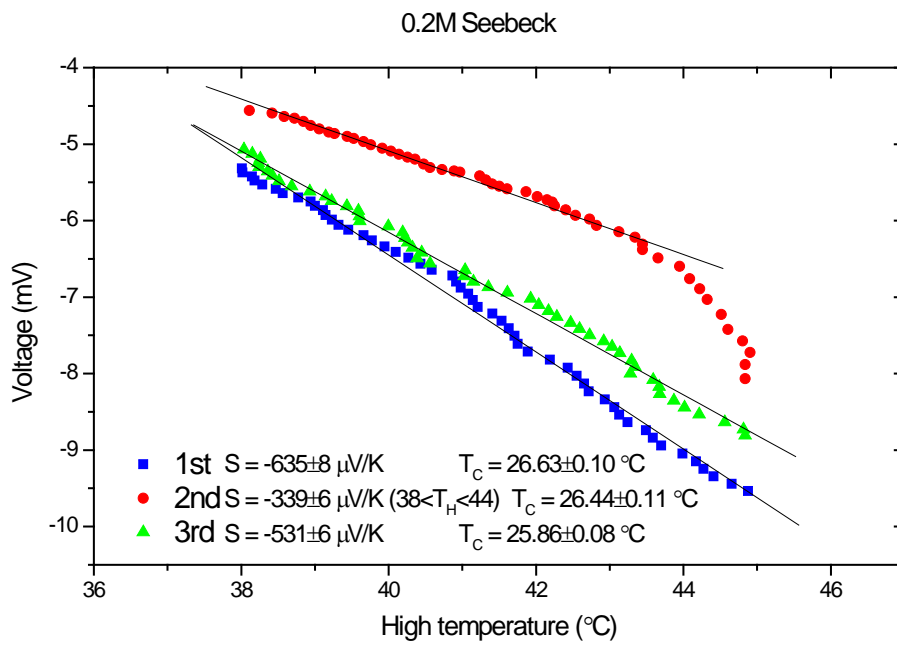
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ( $35 < T_H < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )



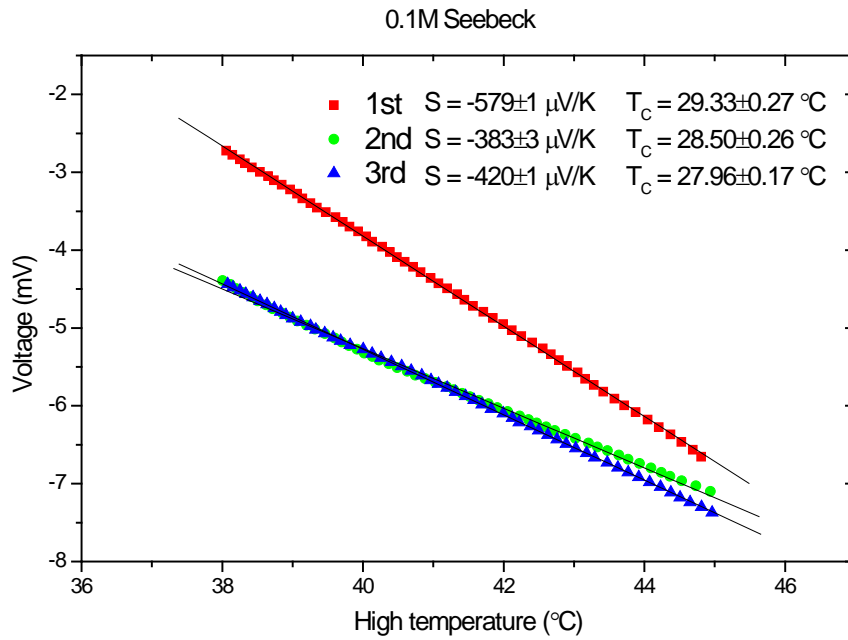
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ( $38 < T_H < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )



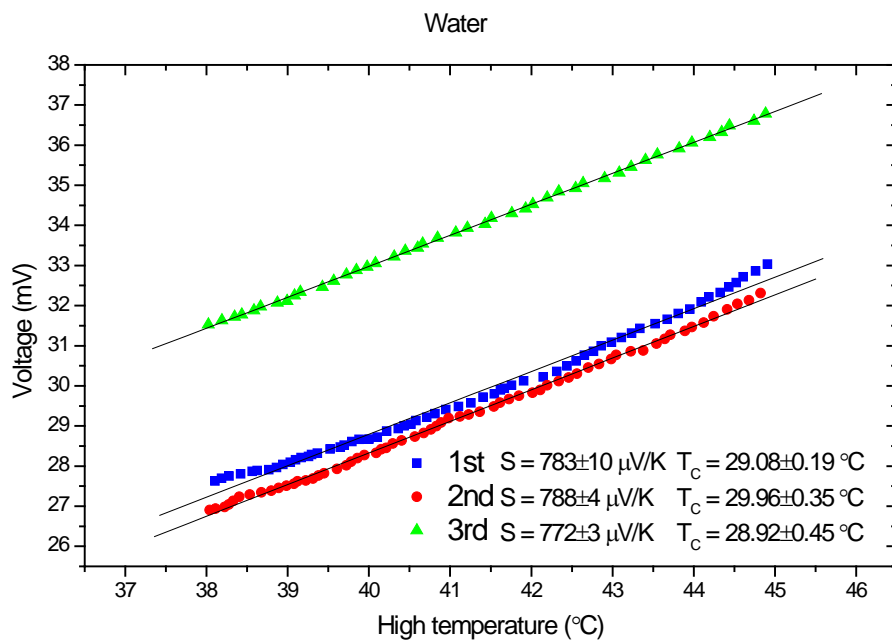
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.3M สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ( $38 < T_H < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )



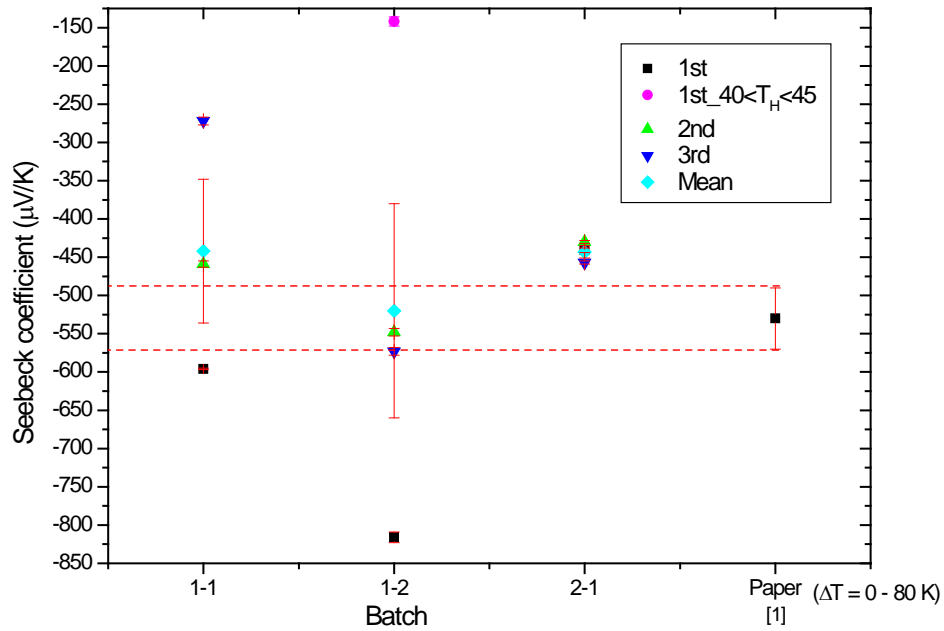
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.2M สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ( $38 < T_H < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ )



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.1M สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (38<T<sub>H</sub><45 °C)

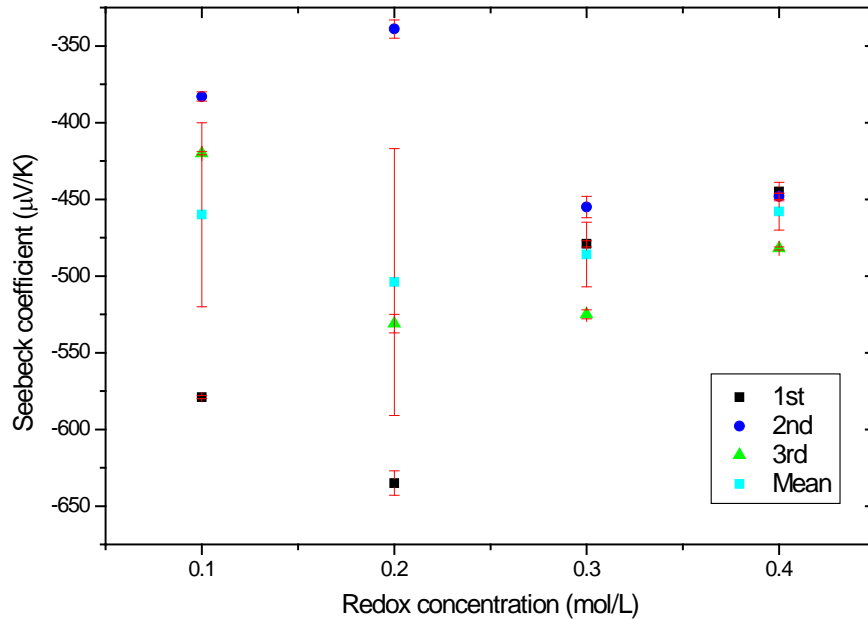


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำ สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (38<T<sub>H</sub><45 °C)



รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำผสมกับ Lil และ  $I_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M

จากรูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของแต่ละครั้งกับค่าที่เคยมีการรายงานไว้แล้ว ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $530 \pm 40 \mu\text{V/K}$  [1] พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยของสารละลายที่ความเข้มข้น 0.4M ของ Batch 1-1, Batch 1-2 และ Batch 2 มีค่าเท่ากับ  $-442 \pm 94$ ,  $-520 \pm 140$  และ  $-443 \pm 8 \mu\text{V/K}$  ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของ Batch 1-1 และ Batch 2 อยู่นอกขอบเขตช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่เคยมีการรายงานไว้ [1] และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดมีค่าสูงมาก บ่งบอกว่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดยังไม่ดีเท่าที่ควร ข้อสังเกตที่พบคือการวัดในครั้งถัด ๆ ไป ค่า  $|S|$  จะน้อยลงเรื่อย ๆ สันนิษฐานว่ามีประจุสะสมอยู่บนขั้วอิเล็กโทรดจากการทดลองครั้งก่อน ถึงแม้ผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าเท่ากับ 0 องศาเซลเซียสแล้ว จึงได้ทดลองลัดวงจรระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเป็นระยะเวลาหนึ่ง พบว่าความต่างศักย์ลดลงเข้ามา จากข้อสันนิษฐานนี้จึงเป็นที่มาของการทดลองแบบระบบปิดโดยนำสารละลายออกจากวงแหวนแก้วแล้วเทกลับเข้าไปใหม่เพื่อทดลองซ้ำครั้งถัดไป

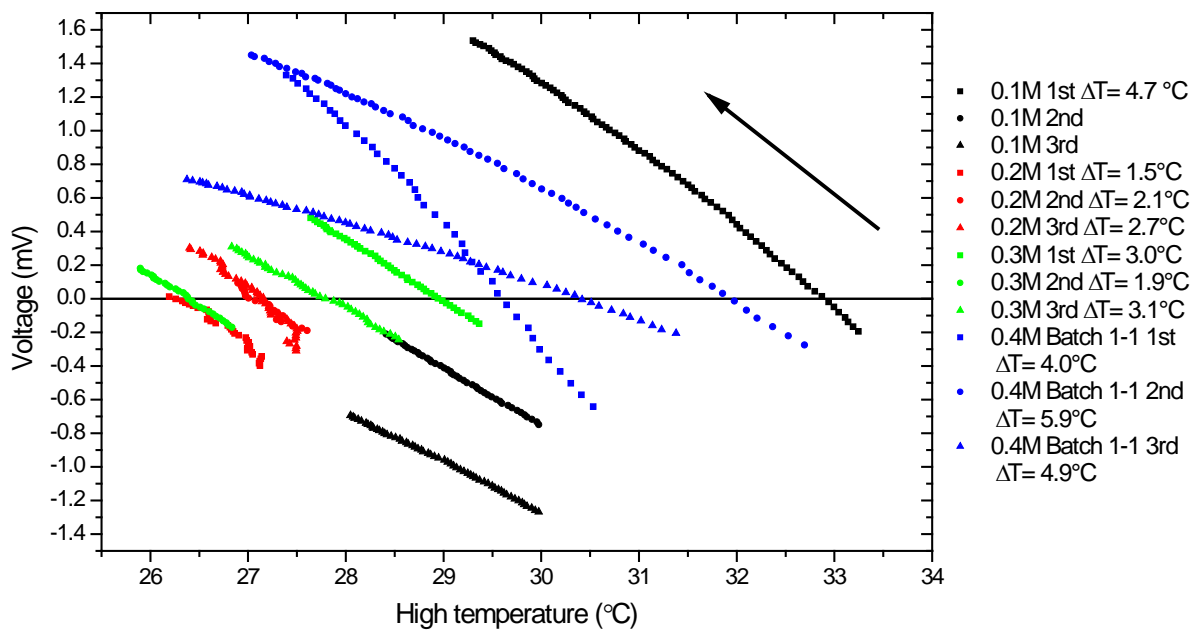


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารละลายแต่ละความเข้มข้นที่มีตะกอนของไอโอดีนเหลืออยู่ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยของสารละลายแต่ละความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียง ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่คาดว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์มาก จะมีขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคน้อยกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์น้อย จากรูปที่ 4.9 พบว่าน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวก เนื่องจากน้ำสามารถแตกตัวได้เป็นไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) โดย  $H^+$  มีสัมประสิทธิ์การแพร่เท่ากับ  $9.31 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  ซึ่งมากกว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ  $OH^-$  ที่มีค่าเท่ากับ  $5.30 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  [10] ดังนั้น  $H^+$  จึงเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนไปยังขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นได้ไวกว่า ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำเป็นบวก ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำผสมกับสารคู่ควบรีดอกซ์ที่มีค่าเป็นลบ เนื่องจากมีประจุลบของ  $I^-$  และ  $I_3^-$  เมื่อได้รับความร้อนประจุลบก็จะกระจายตัวมากขึ้น และทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดซ์ โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนดังสมการ (4) และเกิดปฏิกิริยารีดักชันบนขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นดังสมการ (5) ทำให้ความหนาแน่นของประจุลบที่ขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนลดลง และประจุลบบางส่วนก็เคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนไปยังฝั่งเย็นด้วยแรงอันเนื่องมาจากผลต่างของอุณหภูมิ ทำให้ความหนาแน่นของประจุลบที่ขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นมีค่ามากกว่าฝั่งร้อน ความต่างศักย์ที่วัดได้จึงเป็นลบ



อีกประเด็นที่น่าสนใจคือเราพบว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองมีค่าน้อยลงจนถึงค่าหนึ่ง ความต่างศักย์ที่วัดได้มีการกลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวก สำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4M (Batch 1-1), 0.3M, 0.2M มีการกลับเครื่องหมายทั้งสามครั้งของการทดลอง ยกเว้นสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1M ที่มีการกลับเครื่องหมายเพียงครั้งที่ 1 ครั้งเดียว และเมื่อนำข้อมูลทั้งสามครั้งในช่วงที่มีการกลับเครื่องหมายของความต่างศักย์มาเขียนกราฟแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 โดยสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4M (Batch 1-1), 0.3M, 0.2M และ 0.1M ความต่างศักย์ซีเบคมีการกลับเครื่องหมายในช่วงผลต่างอุณหภูมิ 4.0-5.9, 1.9-3.1, 1.5-2.7 และ 4.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าสารละลายแต่ละความเข้มข้นมีการกลับเครื่องหมายของความต่างศักย์ในช่วงที่มีผลต่างของอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่ไม่ใช่ช่วงที่อุณหภูมิฝั่งร้อนเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิฝั่งเย็นมีค่าไม่เท่ากันนั่นเอง

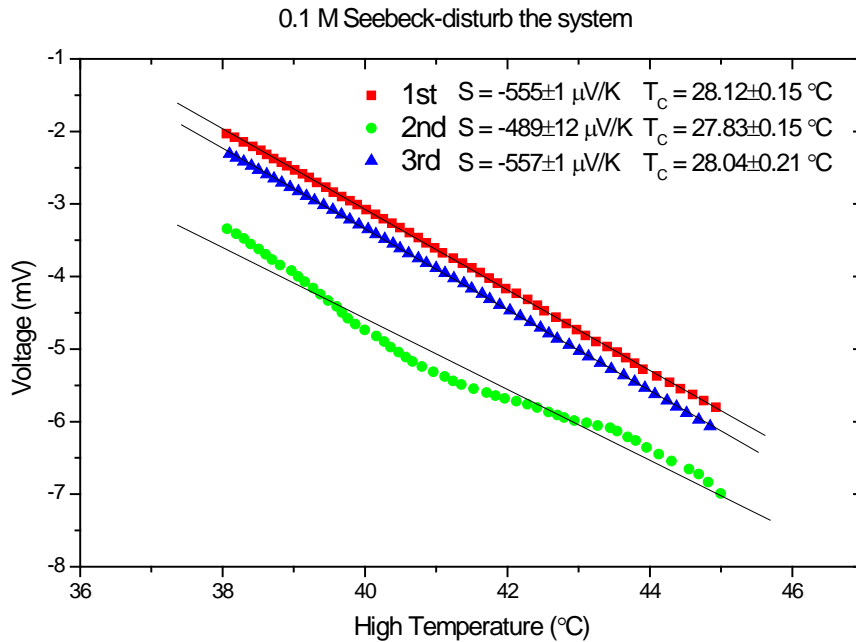


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และอุณหภูมิฝั่งร้อนของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  แต่ละความเข้มข้น ในช่วงที่มีการกลับเครื่องหมาย โดยที่  $T_H > T_C$  ตลอดเวลา

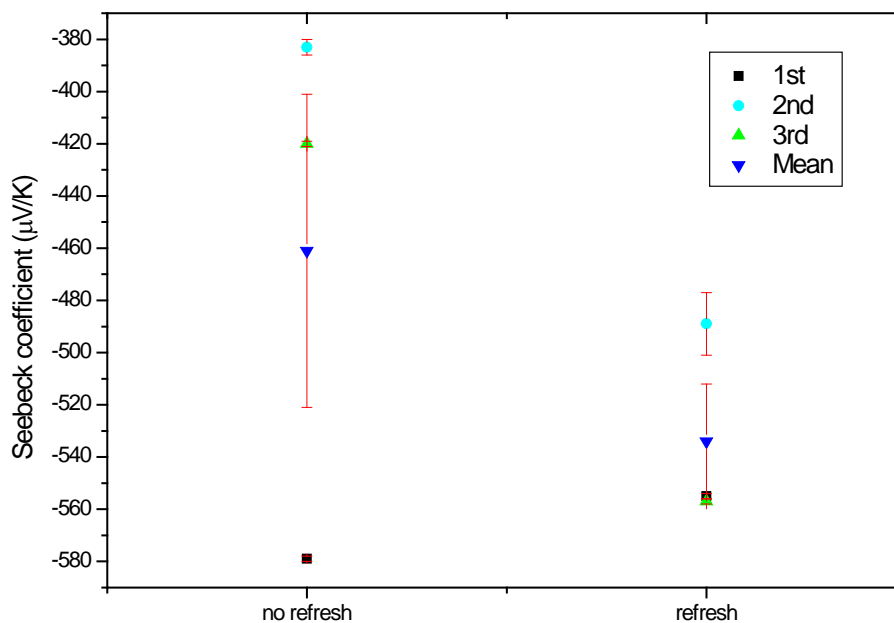
#### 4.2.2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคระหว่างการวัดแบบระบบและการวัดแบบไม่ระบบ

พิจารณาสารละลายของน้ำผสมกับลิเทียมไอโอดด์และไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเมื่อวัดแบบระบบแสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และเมื่อวัดแบบไม่ระบบแสดงได้ดังรูปที่ 4.8





รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิฝั่งร้อนและความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ  $I_2$  ที่ความเข้มข้น 0.1M เมื่อวัดแบบรบกวนระบบ สำหรับการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง



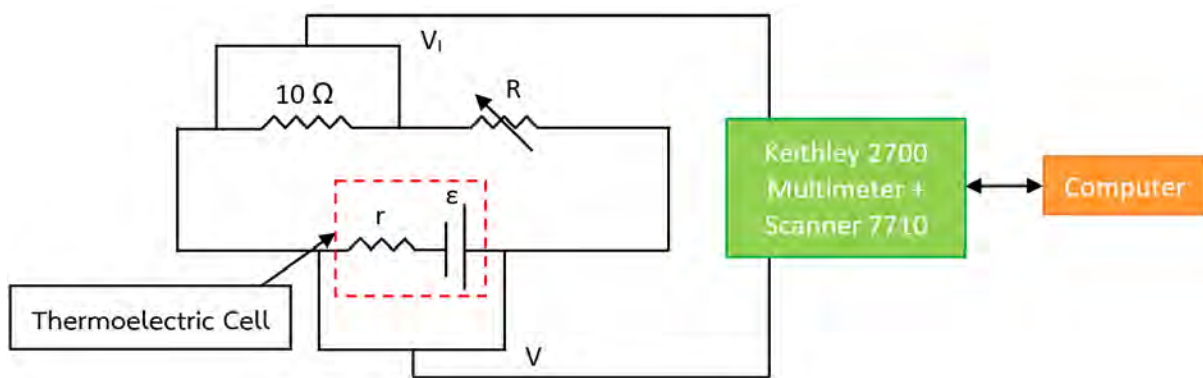
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำผสมกับ LiI และ  $I_2$  ที่ความเข้มข้น 0.1M เมื่อวัดแบบรบกวนระบบและไม่รบกวนระบบ

จากรูปที่ 4.14 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยเมื่อวัดแบบไม่รบกวนระบบมีค่าเท่ากับ -579, -383 และ -420  $\mu\text{V/K}$  ซึ่งเขียนได้เป็น  $-461 \pm 60 \mu\text{V/K}$  และค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยเมื่อวัดแบบรบกวนระบบมีค่าเท่ากับ -555, -489 และ -557  $\mu\text{V/K}$  ซึ่งเขียนได้เป็น  $-534 \pm 22 \mu\text{V/K}$  จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดแบบรบกวนระบบมีค่าน้อยกว่าการวัดแบบไม่รบกวนระบบ

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากความต่างศักย์ที่วัดได้ไม่ใช่ความต่างศักย์ ณ จุดสมดุล (แรงผลักดันเนื่องจากผลต่างอุณหภูมิเท่ากับแรงต้านเนื่องจากสนามไฟฟ้า) เพราะอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ประจุลบของ  $I^-$  และ  $I_3^-$  เคลื่อนที่ไปมาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองตลอดเวลาเช่นกัน สังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยของการวัดแบบไม่รบกวนระบบมีค่าน้อยกว่าการวัดแบบรบกวนระบบ ทั้งนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคแบบไม่รบกวนระบบมีขนาดลดลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้งที่ทำซ้ำ

#### 4.2.3 การวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์

วงจรสำหรับการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์แสดงดังรูปที่ 4.18 เราสามารถคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรได้จากความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม โดยใช้สมการ (2)



รูปที่ 4.15 วงจรสำหรับการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า

จากกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์กล่าวว่า “ผลรวมทางพีชคณิตของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้านั้น” [11] จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \varepsilon &= Ir + V \\ I &= -\frac{V}{r} + \frac{\varepsilon}{r} \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ  $\varepsilon$  คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลาย (V)

$r$  คือความต้านทานภายในของสารละลาย ( $\Omega$ )

$I$  คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)

$V$  คือความต่างศักย์รวมของระบบ (V)

หากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของสารละลายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง เราสามารถหาสมการเชิงเส้นของกราฟ ( $Y = A + BX$  เมื่อ A แทนจุดตัดแกน Y และ B แทนความชันของกราฟ) มาเทียบกับสมการ (6)

จะได้ว่า

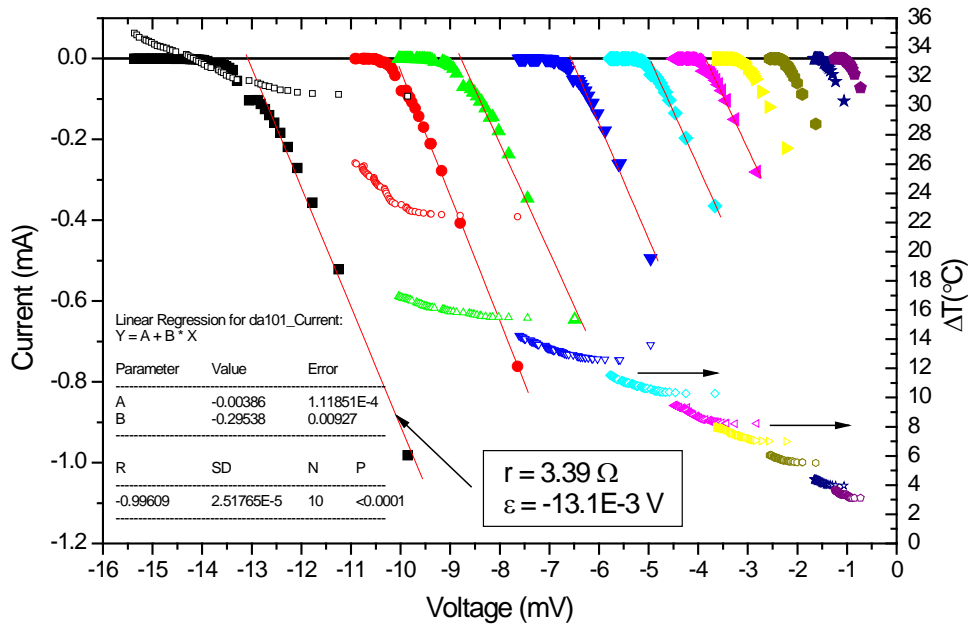
$$B = -\frac{1}{r}$$

$$r = -\frac{1}{B} \tag{7}$$

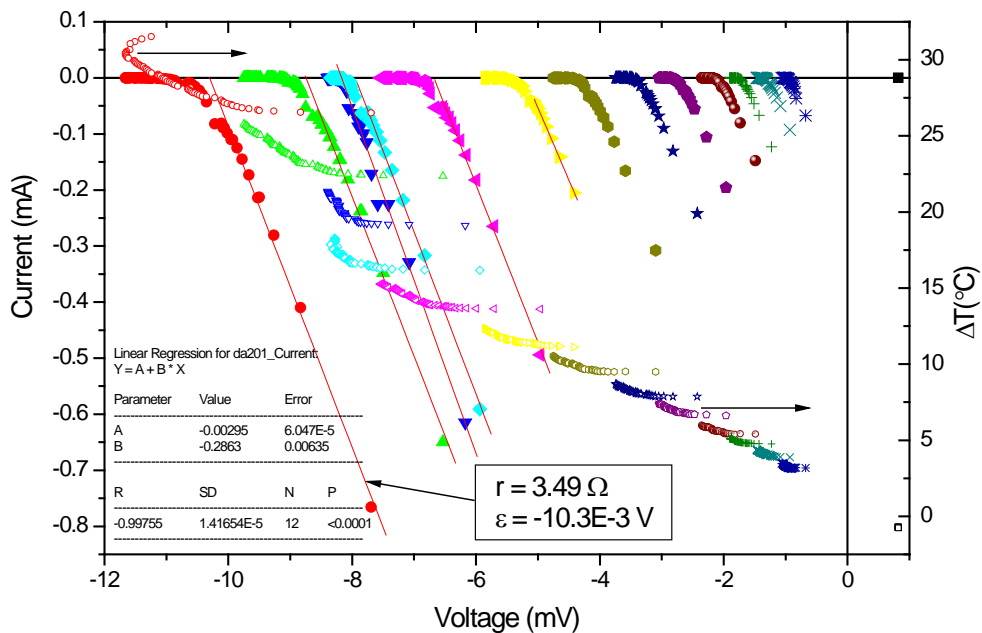
และ

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

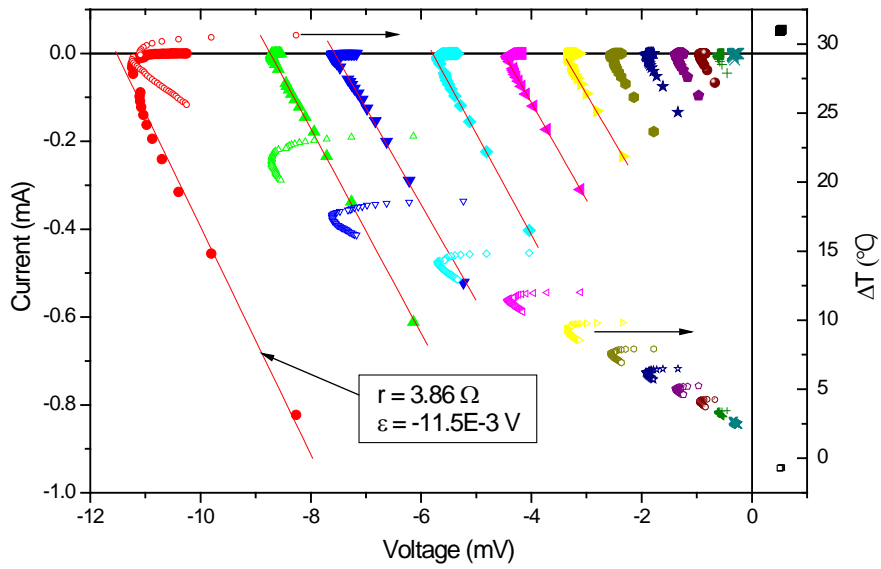
$$\varepsilon = Ar \tag{8}$$



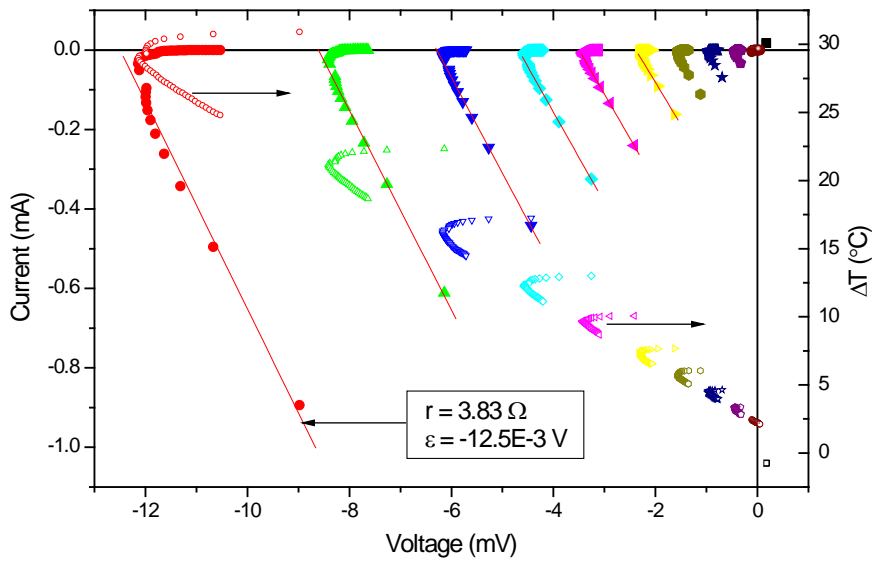
รูปที่ 4.16 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $LiI$  และ  $I_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 1) ครั้งที่ 1



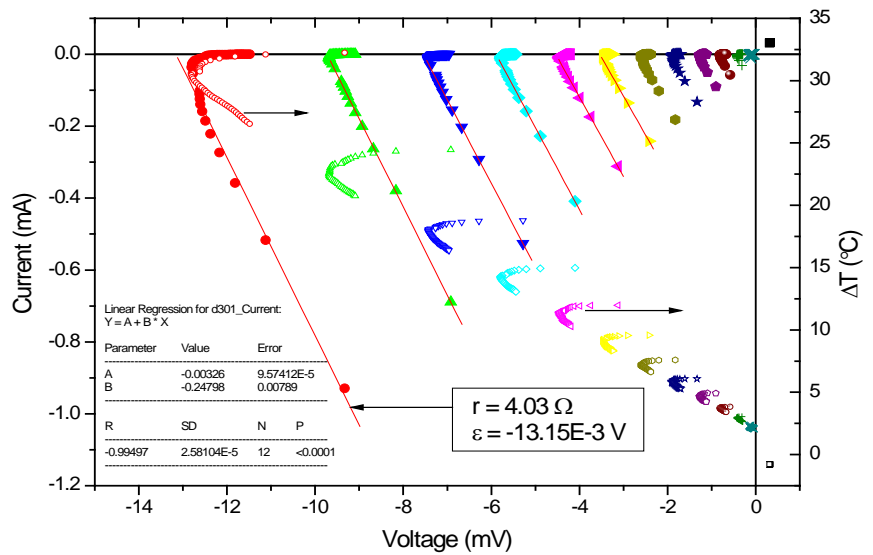
รูปที่ 4.17 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $LiI$  และ  $I_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 1) ครั้งที่ 2



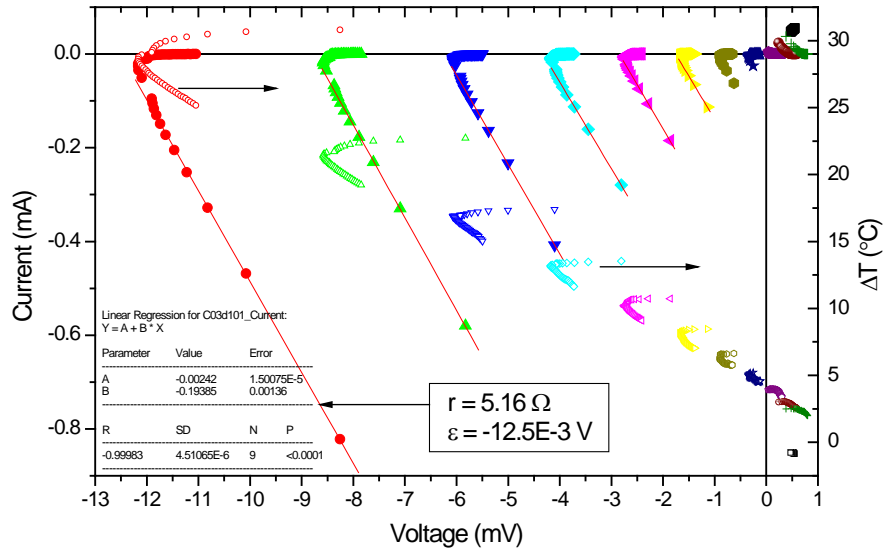
รูปที่ 4.18 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) ครั้งที่ 1



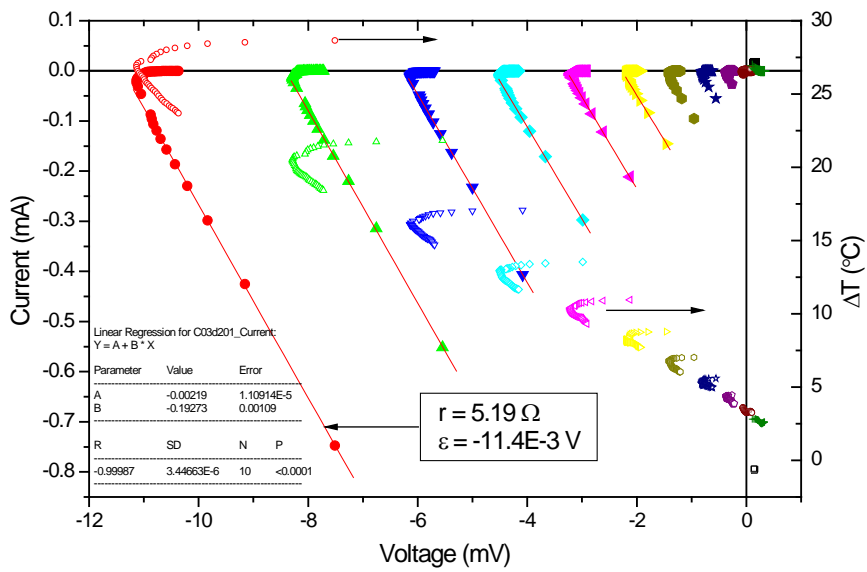
รูปที่ 4.19 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) ครั้งที่ 2



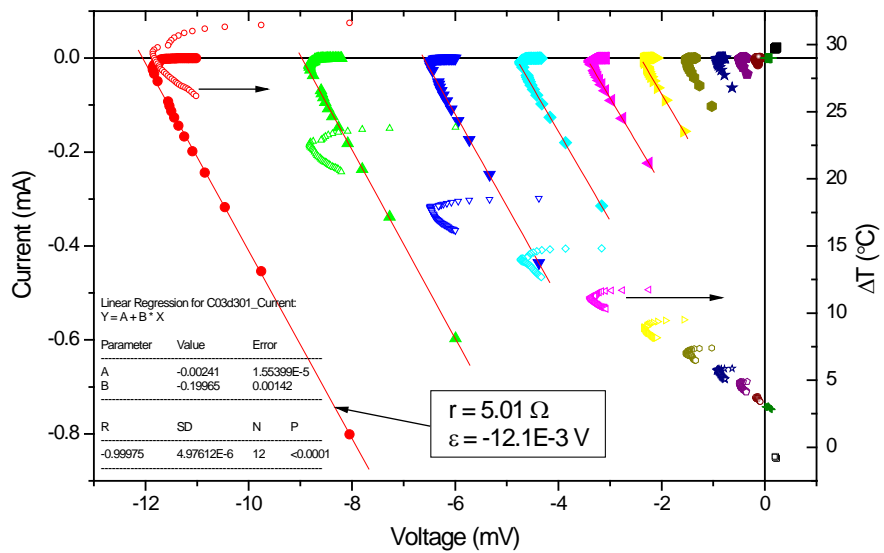
รูปที่ 4.20 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) ครั้งที่ 3



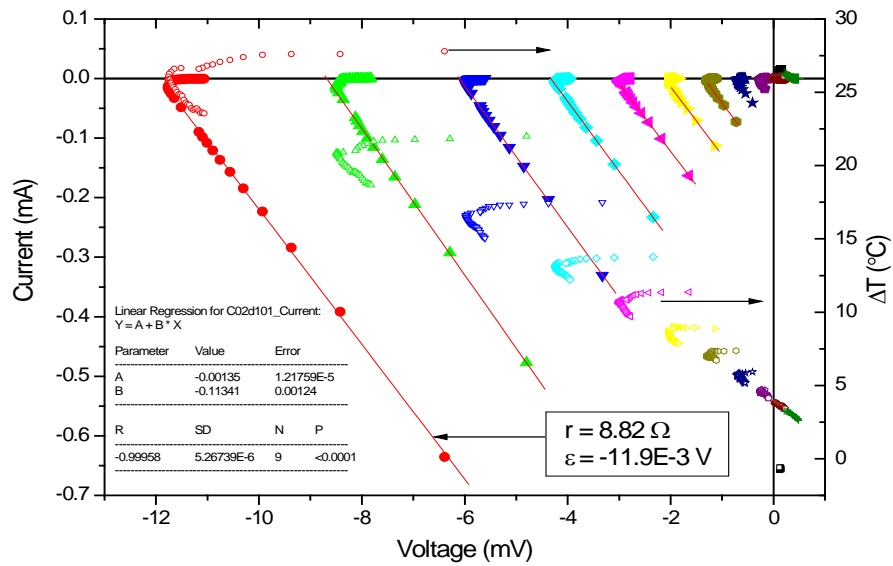
รูปที่ 4.21 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.3M ครั้งที่ 1



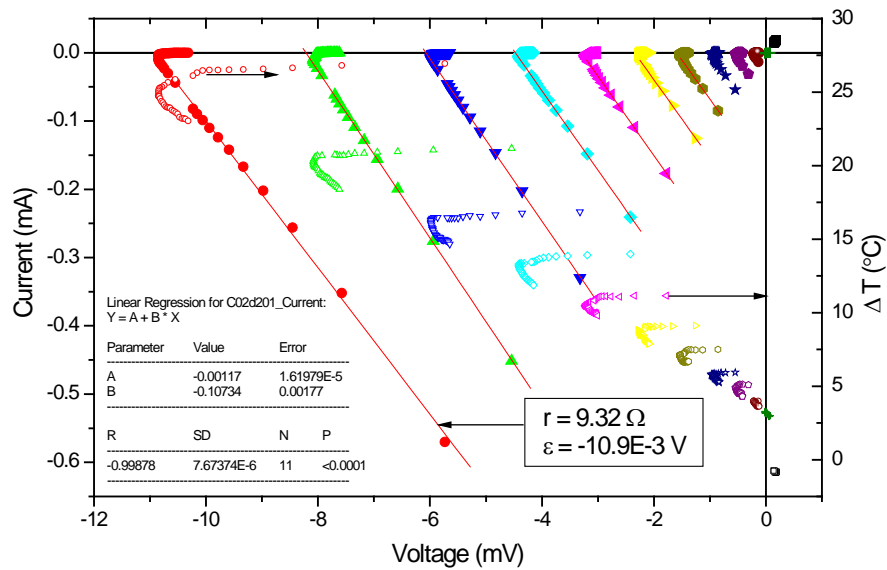
รูปที่ 4.22 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.3M ครั้งที่ 2



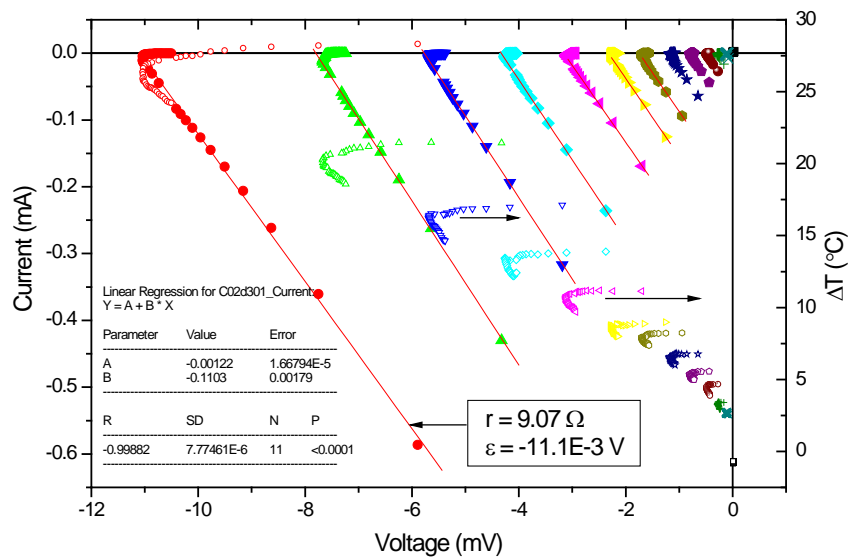
รูปที่ 4.23 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.3M ครั้งที่ 3



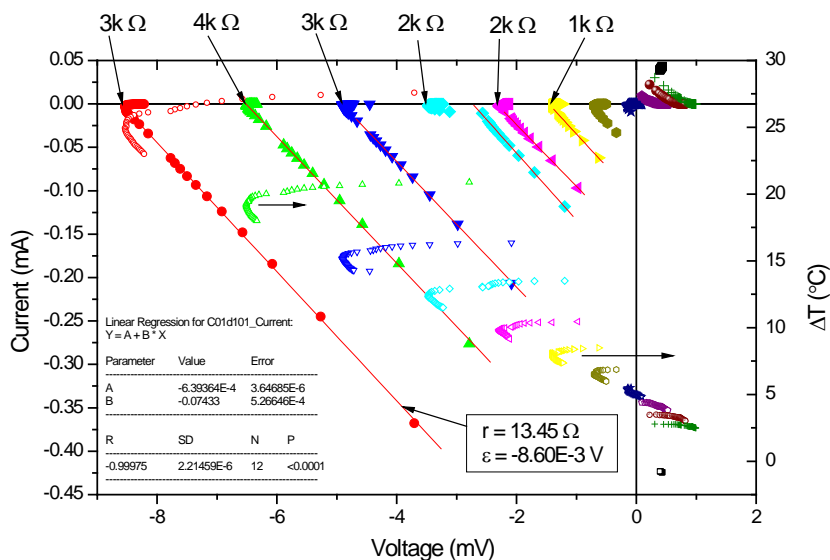
รูปที่ 4.24 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.2M ครั้งที่ 1



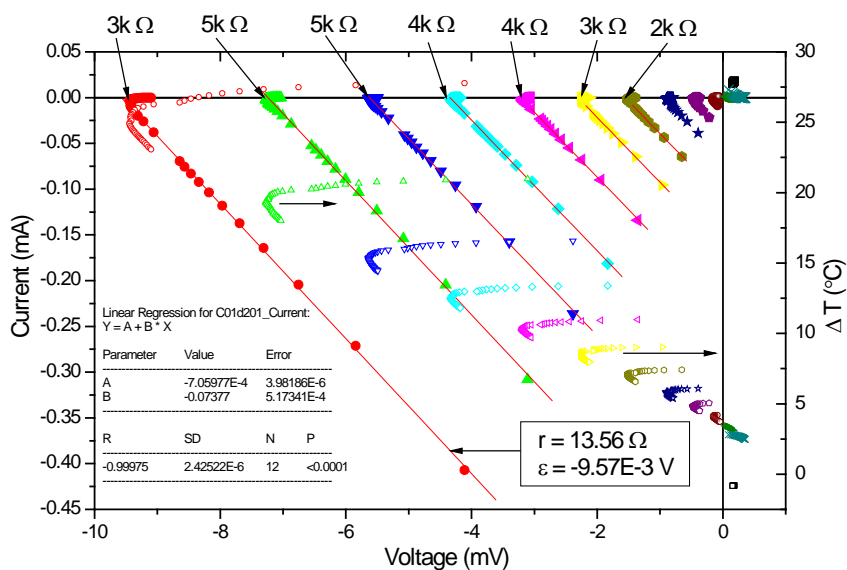
รูปที่ 4.25 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.2M ครั้งที่ 2



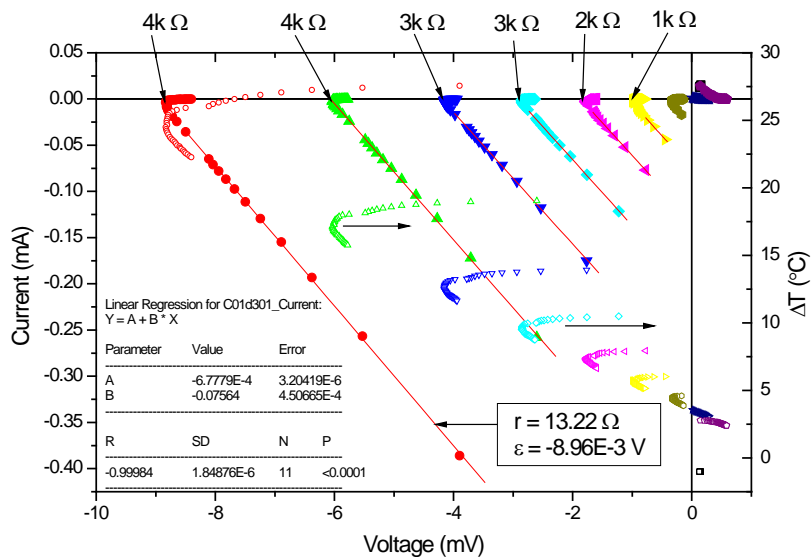
รูปที่ 4.26 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.2M ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.27 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.1M ครั้งที่ 1

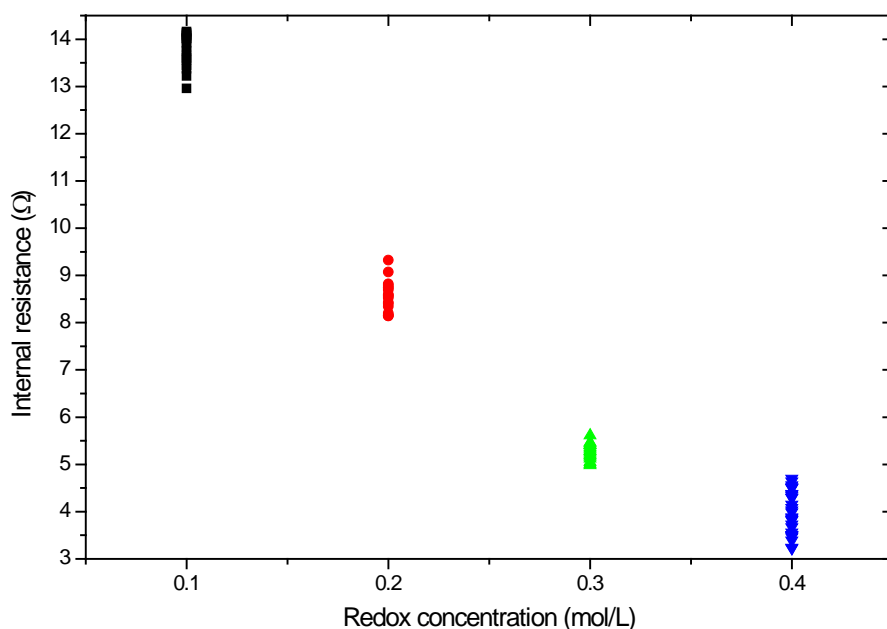


รูปที่ 4.28 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.1M ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.29 ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ LiI และ I<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้น 0.1M ครั้งที่ 3

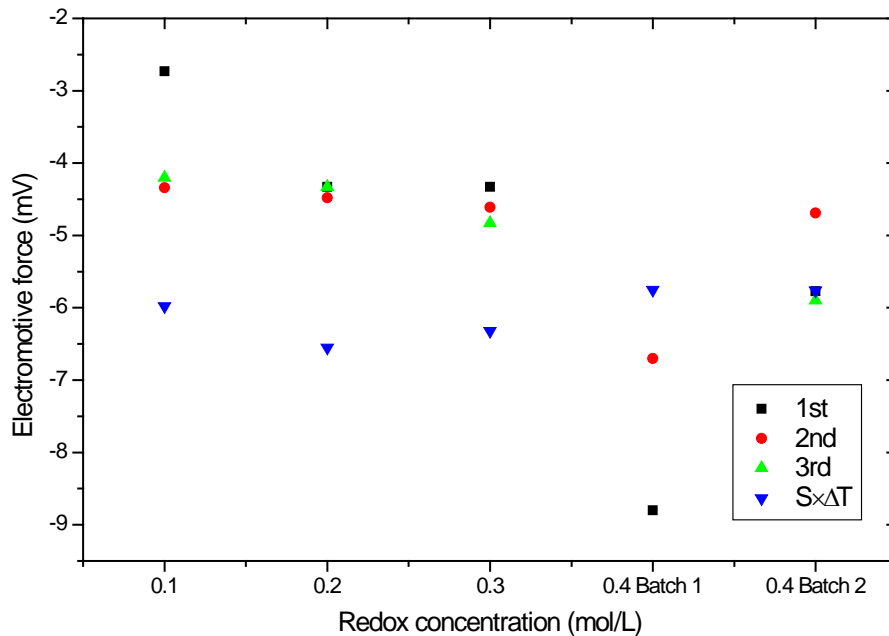
จากรูปที่ 4.16 - 4.29 จุดข้อมูลทีปที่นำมาเขียนกราฟแสดงถึงลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในแต่ละช่วงที่เกิดจากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-111,100 โอห์ม และจุดข้อมูลโพร่งแสดงถึงผลต่างของอุณหภูมิขณะวัดความต่างศักย์ จะเห็นว่าลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของสารละลายแต่ละความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ในช่วงแรกของกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นช่วงที่มีความต้านทานปรับค่าได้ (R) ต่ำ เราสามารถเลือกข้อมูลช่วงที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แล้วหาสมการเชิงเส้นของกราฟ เพื่อนำมาคำนวณหาความต้านทานภายใน และแรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลายจากสมการ (7) และ (8) ตามลำดับ จะได้ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าประมาณความต่างศักย์ขณะวงจรมีความต้านทานรวมสูงหรือความต่างศักย์ของสารละลายแบบวงจรเปิด (Open circuit voltage) นั้นเอง และสังเกตได้ว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิลดลง แรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะลดลงเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อหาความต้านทานภายในได้แล้วก็สามารถนำมาคำนวณหาสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารละลายได้จากสมการ (3) โดยมีพื้นที่หน้าตัด (A) เท่ากับ  $4.15 \times 10^{-4}$  ตารางเมตร และมีความยาว (L) เท่ากับ 0.005 เมตร



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานภายในและความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์

จากรูปที่ 4.30 พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์สูง มีความต้านทานภายในของสารละลายต่ำ และส่งผลให้มีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำเช่นกัน





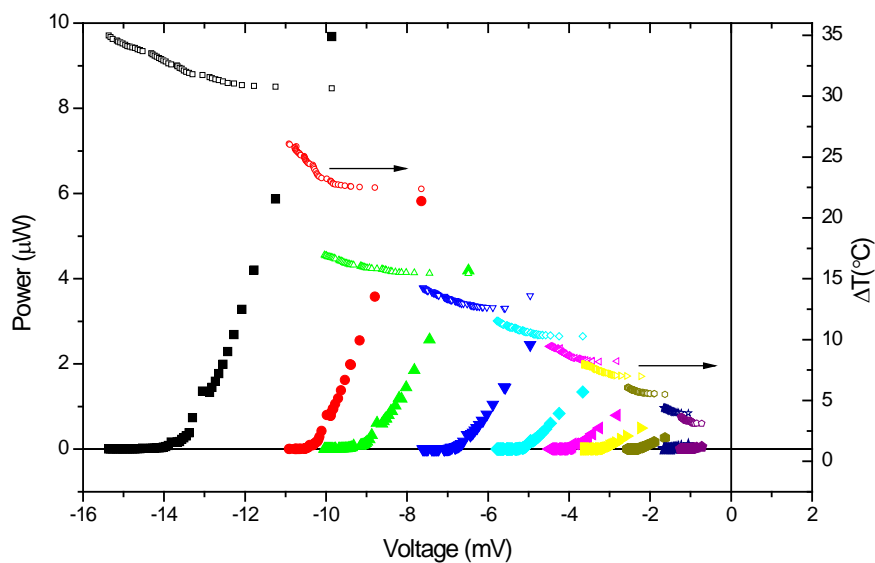
รูปที่ 4.31 แรงเคลื่อนไฟฟ้าของสารละลายแต่ละความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์และความต่างศักย์ที่คำนวณจากผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์ซีเบคและผลต่างของอุณหภูมิ

รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์และความต่างศักย์ที่คำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยคูณกับผลต่างของอุณหภูมิ ซึ่งในทางทฤษฎีควรจะเท่ากัน พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) มีผลเปรียบเทียบใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี แต่สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1M, 0.2M, 0.3M และ 0.4M (Batch 1) ให้ผลเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่  $|S\Delta T|$  มีค่าน้อยกว่า  $|E|$  เนื่องจากกราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในช่วงที่ความต้านทานภายนอกมีค่ามากขึ้น เส้นกราฟเริ่มโค้งสองแบบคือลู่ออกเข้าหาจุดกำเนิด และลู่ออกจากจุดกำเนิด

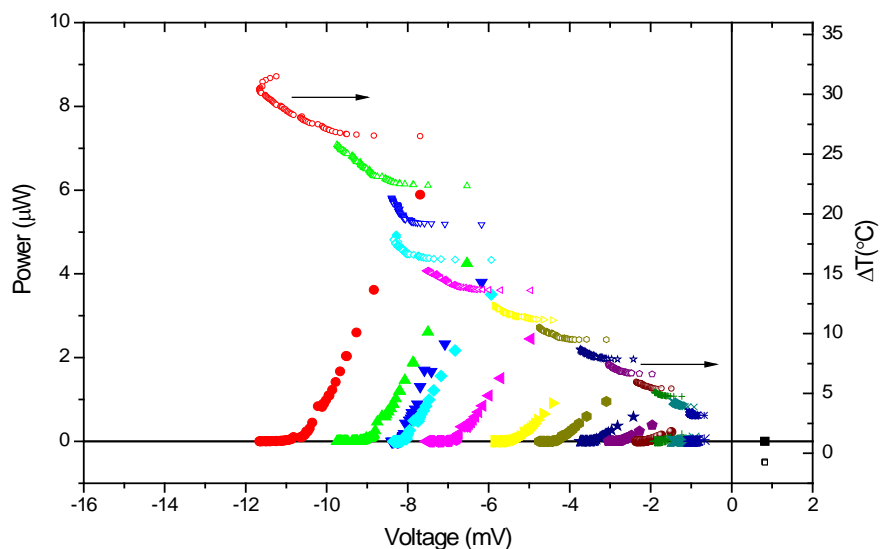
ลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ทั้งหมดของทุกความเข้มข้นยกเว้นความเข้มข้น 0.4M (Batch 1) พบว่าเส้นกราฟมีจุดวกกลับเมื่อความต้านทานรวมของระบบมีค่าประมาณ 1-5 k $\Omega$  และถ้ามีจุดวกกลับในช่วงที่ผลต่างของอุณหภูมิมีน้อย ๆ อาจทำให้ความต่างศักย์กลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวกได้ ดังรูปที่ 4.21 - 4.29 เมื่อผลต่างของอุณหภูมিরะหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองมีค่าน้อยลงจนถึงค่าหนึ่ง ความต่างศักย์ที่วัดได้มีการกลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวก สำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.3M, 0.2M และ 0.1M ความต่างศักย์มีการกลับเครื่องหมายในช่วงผลต่างอุณหภูมิ 3.0-4.1, 3.2-3.9 และ 3.6-5.0 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความต่างศักย์ของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเนื่องจากการกลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวกเช่นกันดังรูปที่ 4.12 แต่ความต่างศักย์ของสารละลายความเข้มข้น 0.4M (Batch 1) ไม่มีการกลับเครื่องหมาย ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต่างศักย์ของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่มีการกลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวก

#### 4.2.4 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์

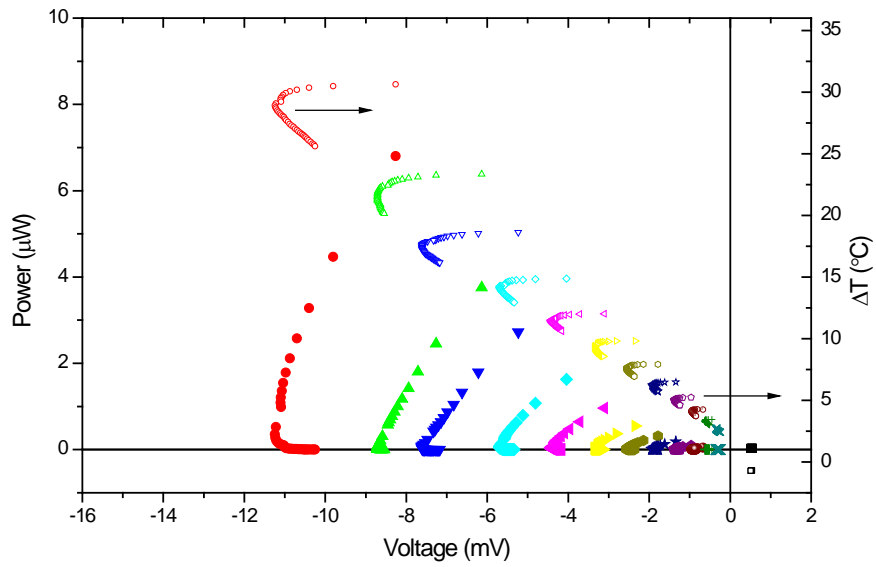
อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ ดังนั้นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะต้องสามารถสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ดี ซึ่งกำลังไฟฟ้าเป็นปริมาณที่ขึ้นกับอยู่กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า และคำนวณได้จากสมการ  $P = IV$  เมื่อ  $P$  แทนกำลังไฟฟ้า (W),  $I$  แทนกระแสไฟฟ้า (A) และ  $V$  แทนความต่างศักย์ (V) โดยใช้ค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง แล้วนำค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงของการปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-111,100 โอห์มและผลต่างของอุณหภูมิของสารละลายแต่ละความเข้มข้นของสารคู่ควบรีดอกซ์มาเขียนกราฟแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้ โดยจุดข้อมูลทีปที่นำมาเขียนกราฟแสดงถึงลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ในแต่ละช่วงที่เกิดจากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-111,100 โอห์ม และจุดข้อมูลโปร่งแสดงถึงผลต่างของอุณหภูมิขณะวัดความต่างศักย์



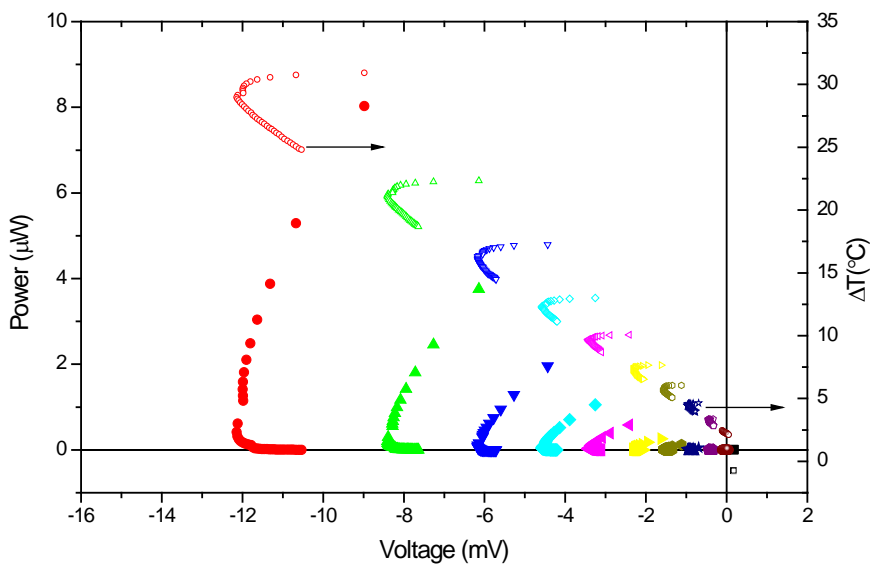
รูปที่ 4.32 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 1) ครั้งที่ 1



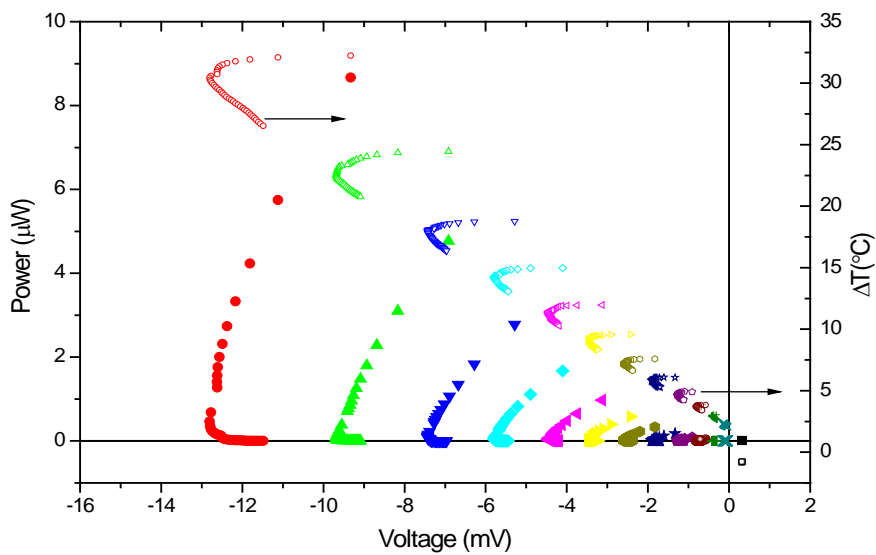
รูปที่ 4.33 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 1) ครั้งที่ 2



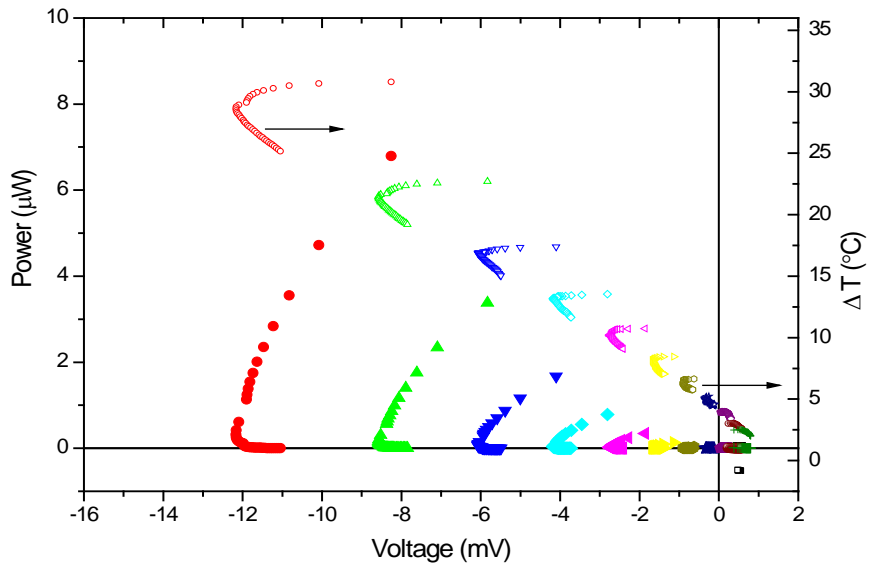
รูปที่ 4.34 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) ครั้งที่ 1



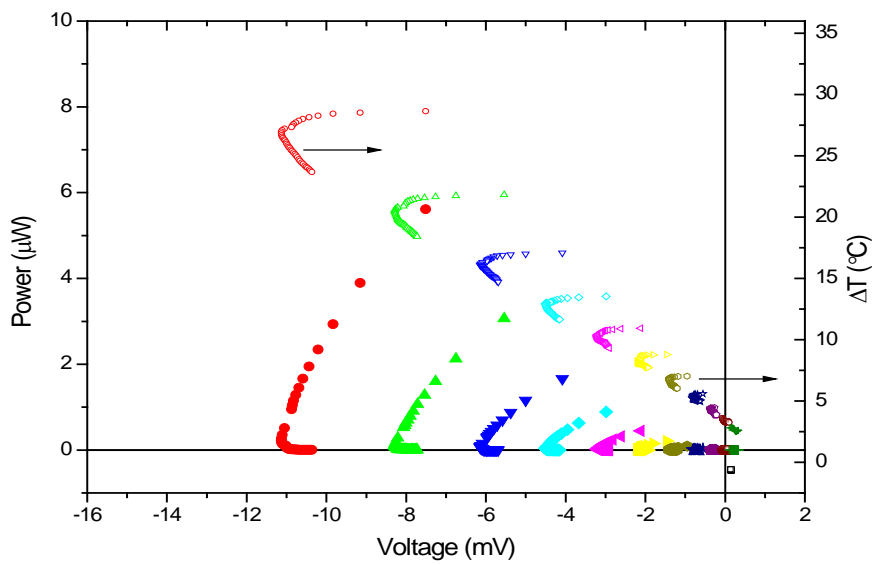
รูปที่ 4.35 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) ครั้งที่ 2



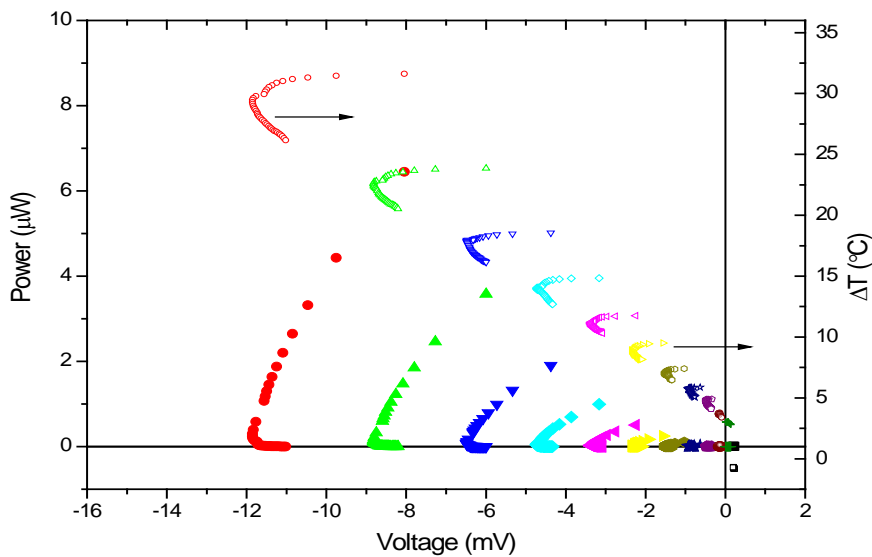
รูปที่ 4.36 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.4M (Batch 2) ครั้งที่ 3



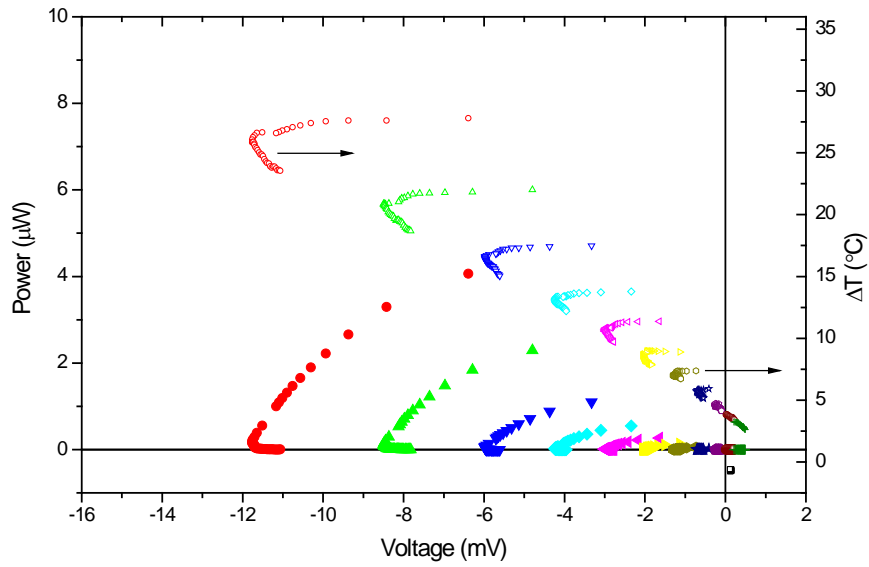
รูปที่ 4.37 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.3M ครั้งที่ 1



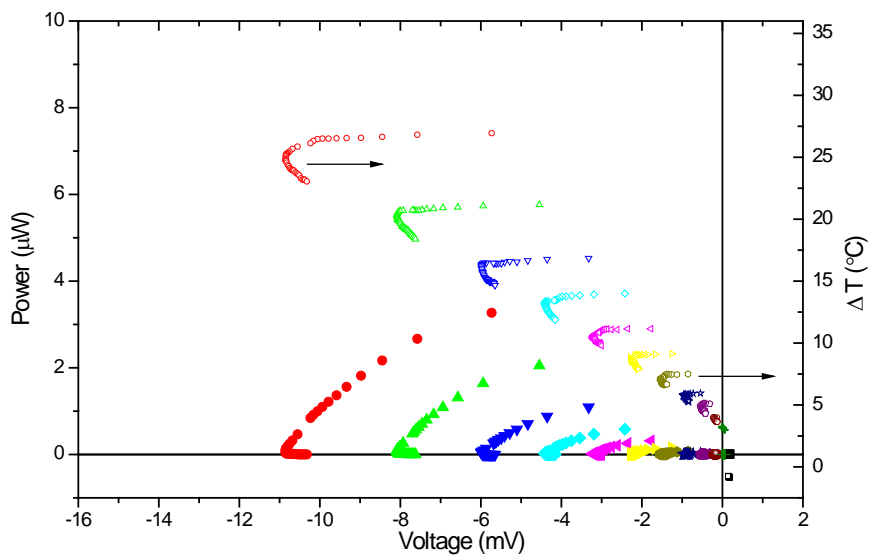
รูปที่ 4.38 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.3M ครั้งที่ 2



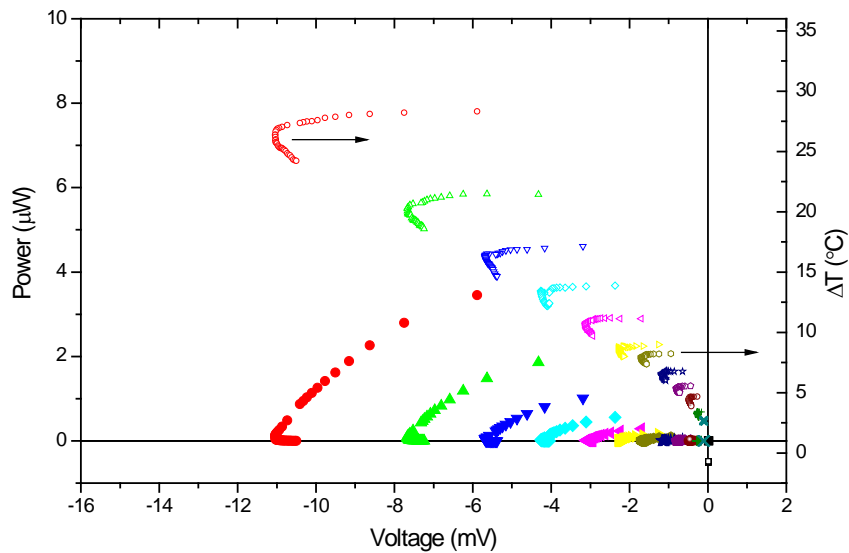
รูปที่ 4.39 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.3M ครั้งที่ 3



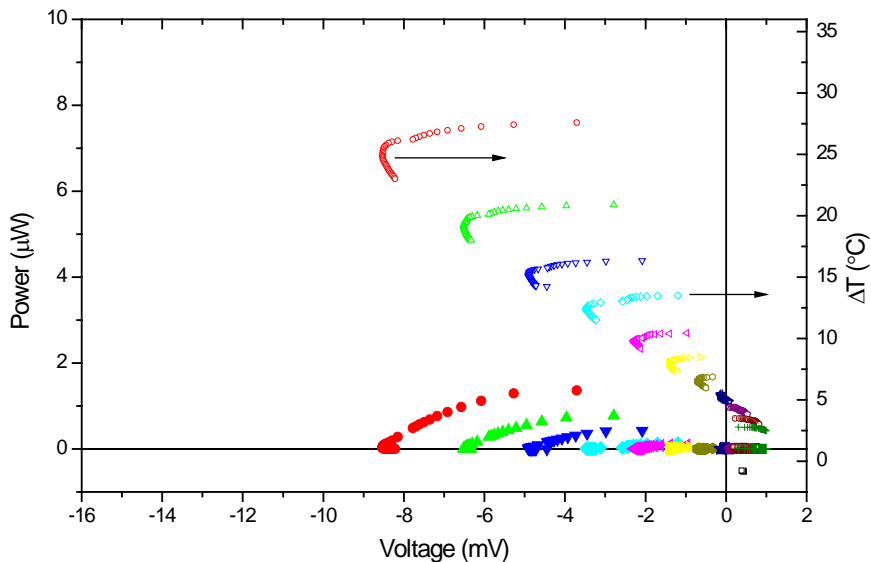
รูปที่ 4.40 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.2M ครั้งที่ 1



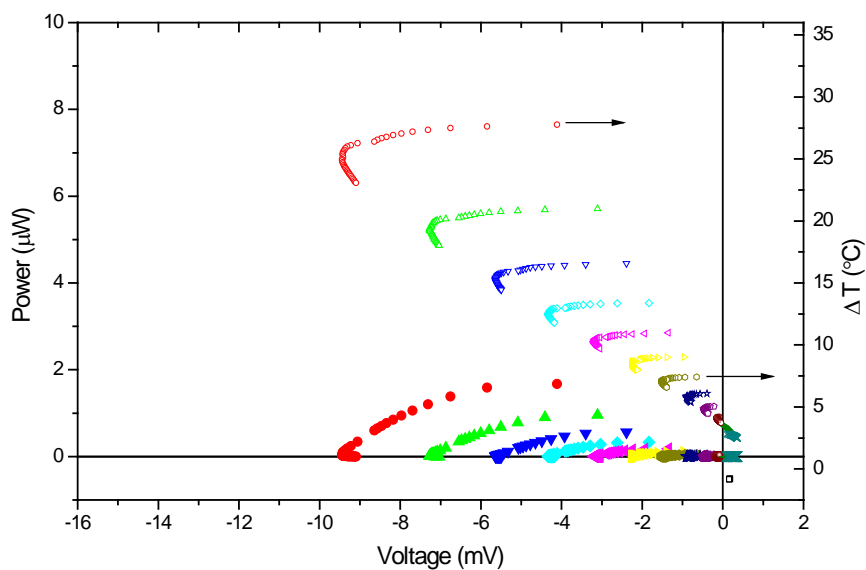
รูปที่ 4.41 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.2M ครั้งที่ 2



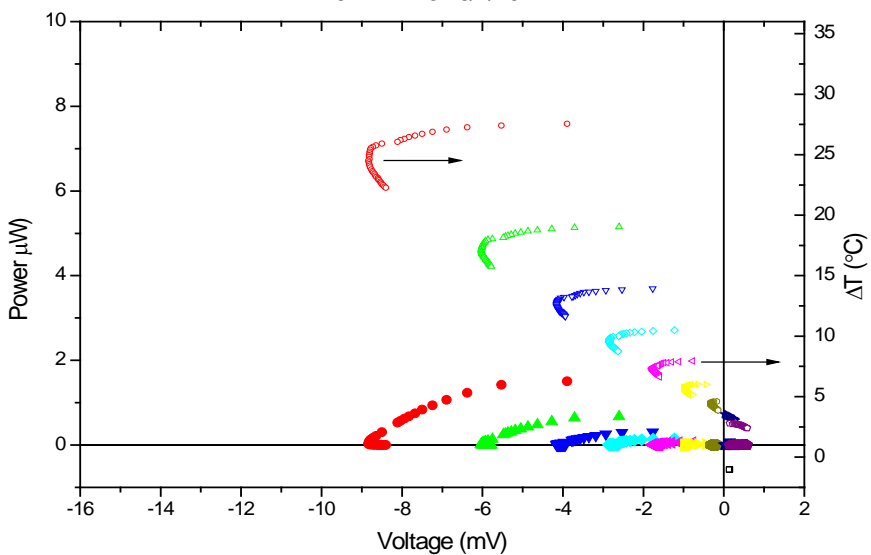
รูปที่ 4.42 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.2M ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.43 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.1M ครั้งที่ 1



รูปที่ 4.44 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.1M ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.45 ลักษณะเฉพาะของกำลังไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของน้ำผสมกับ  $\text{LiI}$  และ  $\text{I}_2$  ที่ความเข้มข้น 0.1M ครั้งที่ 3

จากรูปที่ 4.32 - 4.45 สังเกตได้ว่ากราฟมีแนวโน้มคล้ายกัน กล่าวคือ เมื่อความต้านทานรวมนอกระบบมีค่าน้อยที่สุด (10 โอห์ม) กำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ยังไม่พบจุดสูงสุดของกราฟเนื่องจากความต้านทานรวมนอกระบบมีค่ามากกว่าความต้านทานภายในของสารละลาย และเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมีค่าลดลง กำลังไฟฟ้าก็ลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงที่ผลต่างของอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารคู่ควปรีดอกซ์สูงนั้นมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ได้ออกแบบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลวประกอบด้วยวงแหวนแก้วที่ทำหน้าที่บรรจุของเหลว ประกอบด้วยส่วนบนและส่วนล่างของวงแหวนแก้วด้วยแผ่นแพลทินัม ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด แวกซ์ดำถูกทาระหว่างวงแหวนแก้วกับแผ่นแพลทินัมล่างเพื่อกันของเหลวซึมออกมา จากนั้นนำไปวางบนฐานทองเหลือง ซึ่งวางอยู่บนแผงระบายความร้อน และนำภาชนะทองเหลืองกันแบนสำหรับบรรจุน้ำร้อนมาวางบนแผ่นแพลทินัมแผ่นบน การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สอดไว้ที่ฐานทองเหลืองและกันของภาชนะทองเหลือง วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดด้วยมัลติมิเตอร์ (Keithley 2700) ที่ติดตั้งสแกนเนอร์ (Keithley 7710) และอ่านค่าด้วยโปรแกรม ExceLink นอกจากนี้ระบบยังสามารถวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ได้เมื่อนำตัวต้านทานปรับค่าได้มาต่อเข้ากับของเหลวแบบอนุกรม

การทดสอบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลวด้วยน้ำผสมกับสารคู่ควบรีดอกซ์ ได้แก่ ลิเทียมไอโอดัดและไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่เคยมีการรายงานไว้แล้ว ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $530 \pm 40 \mu\text{V/K}$  [1] พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยของสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ของ Batch 1-1, Batch 1-2 และ Batch 2 มีค่าเท่ากับ  $-442 \pm 94$ ,  $-520 \pm 140$  และ  $-443 \pm 8 \mu\text{V/K}$  ตามลำดับ สรุปได้ว่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดนี้ยังไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์ ที่มีตะกอนของไอโอดีนเหลืออยู่พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยมีค่าเป็นลบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่สัมพันธ์กับความต้านทานภายในของสารละลาย และตรงข้ามกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำที่มีค่าเป็นบวก

การเปรียบเทียบวิธีวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของน้ำผสมกับลิเทียมไอโอดัดและไอโอดีนความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แบบรบกวนระบบและไม่รบกวนระบบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยเมื่อวัดแบบไม่รบกวนระบบมีค่าเป็น  $-461 \pm 60 \mu\text{V/K}$  และค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยเมื่อวัดแบบรบกวนระบบมีค่าเป็น  $-534 \pm 22 \mu\text{V/K}$  การวัดแบบรบกวนระบบให้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานต่ำกว่าการวัดแบบไม่รบกวนระบบ แต่ยังเป็นความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่สูงอยู่

จากผลการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของสารละลายน้ำผสมกับลิเทียมไอโอดัดและไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์ พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงมีความต้านทานภายในและสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ นอกจากนั้นสารละลาย



ที่มีความเข้มข้นสูงมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ และกำลังไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นเมื่อผลต่างของอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์และความต่างศักย์ที่คำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยคูณกับผลต่างของอุณหภูมิ ซึ่งในทางทฤษฎีควรจะเท่ากัน พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.4 (Batch 2) โมลาร์ มีผลเปรียบเทียบใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี แต่สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 (Batch 1) โมลาร์ ให้ผลเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับทฤษฎี

จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของสารละลายน้ำผสมกับลิเทียมไอโอไดด์และไอโอดีนที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โมลาร์ พบว่าลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของสารละลายแต่ละความเข้มข้นมีจุดวกกลับเมื่อความต้านทานรวมของระบบมีค่ามาก ( $\approx 1-5 \text{ k}\Omega$ ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีการกลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวกสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.3, 0.2 และ 0.1 โมลาร์ ความต่างศักย์ซีเบคมีการกลับเครื่องหมายในช่วงผลต่างอุณหภูมิ 1.9-3.1, 1.5-2.7 และ 4.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความต่างศักย์จากการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ที่มีการกลับเครื่องหมายในช่วงผลต่างอุณหภูมิ 3.0-4.1, 3.2-3.9 และ 3.6-5.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่ความต่างศักย์ซีเบคของสารละลายความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ (Batch 1-1) มีการกลับเครื่องหมายจากลบเป็นบวกในช่วงผลต่างอุณหภูมิ 4.0-5.9 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต่างศักย์จากการวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ที่ไม่มีการกลับเครื่องหมาย

## 5.2 ปัญหาที่พบ

- 1) ในการทดลองเมื่อเติมน้ำร้อนในภาชนะทองเหลืองกันแบนแล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่อง ความร้อนถูกถ่ายเทจากขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนไปยังขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็น ทำให้ขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้น ความต่างศักย์ที่วัดได้อาจไม่ใช่ความต่างศักย์ ณ จุดสมดุล (แรงผลักดันเนื่องจากผลต่างอุณหภูมิมิมีค่าเท่ากับแรงต้านเนื่องจากสนามไฟฟ้า)
- 2) เมื่อทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง วงแหวนแก้วที่ติดอยู่กับแผ่นแพลทินัมล้างด้วยแวชดำหลุดออกจากกัน จึงต้องนำมาทำความสะอาดแล้วทาแวชดำใหม่อีกครั้ง

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของของเหลวพบว่ามีข้อจำกัดในเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนและฝั่งเย็น ทำให้ผลการทดลองในแต่ละครั้งมีอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งเย็นที่แตกต่างกัน และอุณหภูมิฝั่งร้อนลดลงอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นในการพัฒนาเครื่องมือนี้ควรทำให้สามารถควบคุมและกำหนดอุณหภูมิของขั้วอิเล็กโทรดฝั่งร้อนและฝั่งเย็นได้คงที่ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนและสามารถกำหนดเงื่อนไขในการทดลองได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น การวัดลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก มีจุดข้อมูลที่ห่างกันมาก เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าได้เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 10 โอห์ม และความต้านทานรวมนอกระบบมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 10 โอห์ม ซึ่งมีค่ามากกว่าความต้านทานภายในของสารละลาย ทำให้ไม่สามารถได้ข้อมูลในช่วงที่กัลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุดได้ ดังนั้นควรใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีความละเอียดมากขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถี่ขึ้น

### บรรณานุกรม

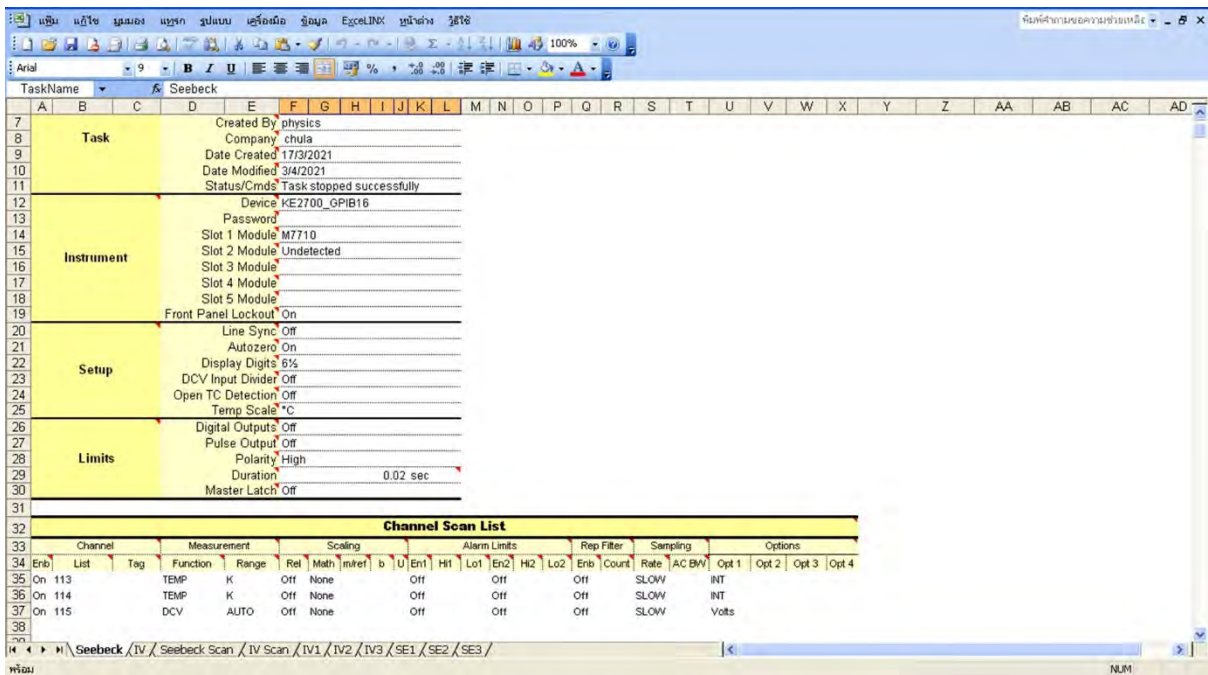
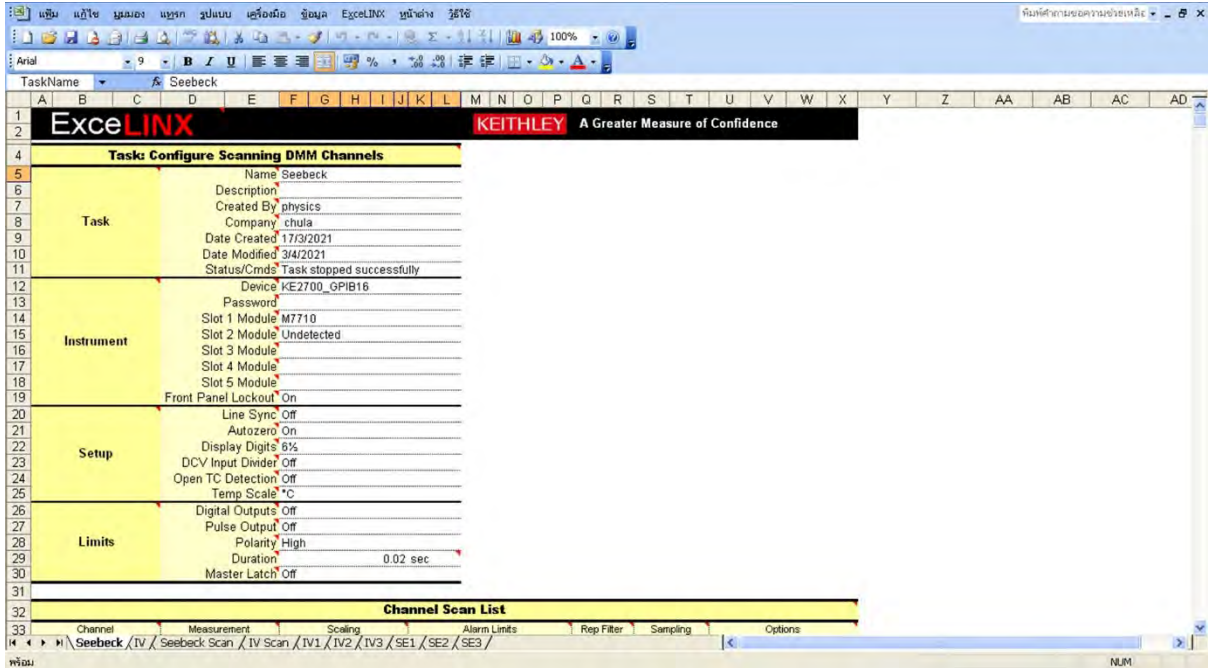
- [1] T. Abraham *et al.*, "Seebeck coefficients in ionic liquids -prospects for thermo-electrochemical cells," *Chemical Communications*, vol. 47, no. 22, pp. 6260-6262, 2011.
- [2] M. Bonetti, S. Nakamae, M. Roger, and P. Guenoun, "Huge Seebeck coefficients in nonaqueous electrolytes," *Journal of Chemical Physics*, vol. 134, no. 11, pp. 1-9, 2011.
- [3] E. Laux *et al.*, "Novel ionic liquids for thermoelectric generator devices," *Materials Today: Proceedings*, vol. 8, pp. 672-679, 2019.
- [4] ชนะพจน์ ธนพล, "การศึกษาเชิงทฤษฎีของสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก," *อุบลราชธานี*, 2556.
- [5] สุชาติ แต่ตระกูล, "กฎของโอห์ม," 16 March 2018. [Online]. Available: <http://www.kroosuchat.com/index.php/2011-10-29-12-21-22/7-dc-curent/1>. [Accessed 16 April 2021].
- [6] Napat Watjanatepin, "บทที่ 2 กฎของโอห์ม," [Online]. Available: <http://www.g-tech.ac.th/vdo/moterdoc/>. [Accessed 16 April 2021].
- [7] ฌปภัช พิมพ์ดี, "การถ่ายโอนความร้อน," สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 4 มิถุนายน 2560. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-science/item/7107-2017-06-04-06-30-35>. [Accessed 17 เมษายน 2563].
- [8] Wisut, "การถ่ายเทความร้อน," 31 July 2020. [Online]. Available: <https://3t-insulation.com/heat-transfer/>. [Accessed 17 April 2021].
- [9] H. Keppner *et al.*, "Ionic Liquid-based Thermoelectric Generator: Links between Liquid Data and Generator Characteristics," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, no. 2, pp. 680-689, 2015.

- [10] S. Lee and J. Rasaiah, "Proton transfer and the mobilities of the H<sup>+</sup> and OH<sup>-</sup> ions from studies of a dissociating model for water," *Journal of Chemical Physics*, vol. 135, no. 12, 2011.
- [11] วิฑิต วรรณเลิศลักษณ์, "การประยุกต์ใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์," สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 11 มิถุนายน 2560. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7235-kirchoff-s-law>. [Accessed 20 เมษายน 2564].

ภาคผนวก

การตั้งค่าในโปรแกรม ExceLink

สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค



Excel spreadsheet showing configuration for 'Task Scan DMM Channels'.

Section	Property	Value
<b>Task</b>	Name	Seebeck Scan
	Description	
	Created By	physics
	Company	chula
	Date Created	17/3/2021
<b>Configuration</b>	Worksheet	Seebeck
	Model	Scan
<b>Trigger</b>	Source	Timer
	Delay	Auto sec
	Reading Count	INF
	Timer	5 sec
<b>Data Location</b>	Monitor	None
	Monitor Limits	None
	Worksheet	Seebeck Scan
	Starting Col	A
	Starting Row	37
	Organize By	Rows
	Autoincrement	Use one table
<b>Data Display</b>	Auto Wrap	On
	Log File	
	Format	Delimited text (comma)
	Add Channel Tags	No
	Add Channels	No
	Add Units	No
	Scroll Display	No
<b>Task Data</b>	Limits	None
	Timestamp	None
	Update Interval	100 msec

Excel spreadsheet showing 'Task Data' table.

Task ID	Value 1	Value 2
25 7819672	24.961174	-0.001561231
25 7642479	24.9480228	-0.001567146
25 7820702	24.9276199	-0.001573623
25 7536067	24.9297428	-0.001572462
25 7249031	24.9065208	-0.001576429
25 722785	24.9045925	-0.001577647
25 7027836	24.9040051	-0.00157948
25 7148495	24.8968334	-0.00157953
25 7241249	24.9170227	-0.001574377
25 7437248	24.9121819	-0.001570544
25 7633686	24.90382	-0.001568522
25 7590523	24.8972378	-0.001564697
25 7738056	24.8965778	-0.001565589
25 7589397	24.890749	-0.001562107
25 780674	24.8977757	-0.001568959
25 7447414	24.9091225	-0.001554145
25 6832886	24.8885326	-0.001562455
25 6471558	24.8729057	-0.001574827
25 6558704	24.8629742	-0.001562526
25 6550884	24.8488083	-0.00159066
25 6309853	24.8470288	-0.001600187
25 6318188	24.8333626	-0.001600902
25 6130142	24.8338051	-0.001604027

สำหรับการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

**Task Configure Scanning DMM Channels**

**Task**

- Name: IV
- Description:
- Created By: physics
- Company: chula
- Date Created: 17/3/2021
- Date Modified: 3/4/2021
- Status/Cmds:

**Instrument**

- 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

**Setup**

- Line Sync: Off
- Autozero: On
- Display Digits: 6½
- DCV Input Divider: Off
- Open TC Detection: Off
- Temp Scale: °C

**Limits**

- Digital Outputs: Off
- Pulse Output: Off
- Polarity: High
- Duration: 0.02 sec
- Master Latch: Off

**Channel Scan List**

Channel	Measurement	Scaling	Alarm Limits	Rep Filter	Sampling	Options
Seebeck / IV / Seebeck Scan / IV Scan / IV1 / IV2 / IV3 / SE1 / SE2 / SE3 /						

**Task Configure Scanning DMM Channels**

**Task**

- Date Modified: 3/4/2021
- Status/Cmds:

**Instrument**

- 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

**Setup**

- Line Sync: Off
- Autozero: On
- Display Digits: 6½
- DCV Input Divider: Off
- Open TC Detection: Off
- Temp Scale: °C

**Limits**

- Digital Outputs: Off
- Pulse Output: Off
- Polarity: High
- Duration: 0.02 sec
- Master Latch: Off

**Channel Scan List**

Enb	List	Tag	Function	Range	Rel	Math	inRef	b	U	En1	H1	Lo1	En2	H2	Lo2	Enb	Count	Rate	AC BW	Opt 1	Opt 2	Opt 3	Opt 4
On	111		DCV	AUTO	Off	None				Off			Off			Off		SLOW	Volts				
On	112		DCV	AUTO	Off	None				Off			Off			Off		SLOW	Volts				
On	113		TEMP	K	Off	None				Off			Off			Off		SLOW	INT				
On	114		TEMP	K	Off	None				Off			Off			Off		SLOW	INT				

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a task configuration table. The table is organized into sections: Task, Configuration, Trigger, Data Location, and Data Display. The 'Task' section includes fields for Name, Description, Created By, Company, Date Created, Date Modified, and Status. The 'Configuration' section includes Worksheet, Model, Source, Delay, Reading Count, and Monitor. The 'Trigger' section includes Worksheet, Starting Col, Starting Row, Organize By, Autoincrement, and Auto Wrap. The 'Data Location' section includes Log File, Format, Add Channel Tops, Add Channels, Add Units, and Scroll Display. The 'Data Display' section includes Limits, Timestamp, and Update Interval. The spreadsheet is titled 'ExceLINX' and 'KETHLEY A Greater Measure of Confidence'. The status bar at the bottom shows the file path: '\\Seebeck \IV \Seebeck Scan \IV Scan \IV1 \IV2 \IV3 \SE1 \SE2 \SE3 \'. The status bar also shows '13.84'.

Section	Field	Value
Task	Name	IV Scan
	Description	
	Created By	physics
	Company	ohu
	Date Created	18/2/2021
	Date Modified	24/2/2021
	Status/Code	Task stopped successfully
Configuration	Worksheet	IV
	Model	Scan
	Source	Timer
	Delay	Auto sec
	Reading Count	INF
	Time	2 sec
Trigger	Monitor	None
	Monitor Limits	None
Data Location	Worksheet	IV Scan
	Starting Col	A
	Starting Row	37
	Organize By	Rows
	Autoincrement	Use one table
	Auto Wrap	On
Data Display	Log File	
	Format	Delimited text (comma)
	Add Channel Tops	No
	Add Channels	No
	Add Units	No
	Scroll Display	No
	Update Interval	100 msec