

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง (ภาษาไทย) แผงเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบโพลิเมอร์นำไฟฟ้า
(ภาษาอังกฤษ) Thermoelectric cells from
conducting polymer composite

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พลังงานความร้อนมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมมนุษย์มากมาย เช่น การขนส่ง กระบวนการผลิตจากอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ความร้อนจากกระบวนการต่างๆ เหล่านี้ บางส่วนได้ถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่สาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน ดังนั้นการค้นหาเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่เหลือใช้จากการใช้งานในชีวิตประจำวันให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เทอร์โมอิเล็กทริก นอกจากจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้แล้ว สารเทอร์โมอิเล็กทริกยังสามารถนำมาเป็นเครื่องทำความเย็นได้อีกด้วย จึงได้มีการพัฒนาสารเทอร์โมอิเล็กทริกมาโดยตลอด ในปัจจุบันมีนักพัฒนาสารเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ในทางการค้าและอุตสาหกรรม โดยนำมาเป็นตัวผลิตไฟฟ้าในรถยนต์ซึ่ง BMW ได้พัฒนานำสารเทอร์โมอิเล็กทริกมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากเครื่องยนต์ขณะขับขี่ [1] สารเทอร์โมอิเล็กทริกที่นิยมนำมาใช้ได้แก่สาร บิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3 [2]) ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมสารที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน นอกจากนี้ สารบางตัวเช่น Te ยังหายากและราคาแพงซึ่งทำให้ต้องมีต้นทุนในการผลิตสูง โดยทั่วไปขั้นตอนการผลิตสารทางเทอร์โมอิเล็กทริกคือ การสังเคราะห์สารและการขึ้นรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการขึ้นรูปซึ่งมีหลายวิธีเช่น การเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้สารมีการเชื่อมกัน (sintering) การขึ้นรูปแบบอัดเม็ดพร้อมกับการให้ความร้อน (hot pressing and spark plasma sintering) [3] ถึงแม้ว่าขั้นตอนการขึ้นรูปสารเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งหมดนี้เป็นวิธีที่ดี แต่ก็ยังเป็นวิธีที่มีความยุ่งยากและมีราคาแพงซึ่งต้องใช้ต้นทุนอย่างสูงในการผลิต

จากปัญหาดังกล่าวนำมาซึ่งการหาวิธีการขึ้นรูปสารเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่าย โดยใช้ความรู้ทางโพลิเมอร์เข้ามาช่วยในการขึ้นรูป เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เนื่องจากไม่ต้องใช้ความร้อนในการขึ้นรูป นอกจากนี้เพื่อให้เห็นความน่าจะเป็นของวิธีการขึ้นรูปสารเทอร์โมอิเล็กทริกวิธีนี้เพื่อที่จะนำไปพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป จึงได้มีการศึกษาการประกอบเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยสร้างเซลล์ต้นแบบควบคู่กันไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตสารเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างง่ายเพื่อเป็นข้อมูลนำไปพัฒนาต่อในระดับอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของสารเทอร์โมอิเล็กทริกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีโพลีเมอร์
3. สามารถสร้างเซลล์ต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกได้
4. เผยแพร่ความรู้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ต่อไป

1.3 การตรวจเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี ผลงานที่เกี่ยวข้อง กรอบแนวคิดการวิจัย

เทอร์โมอิเล็กทริก คือ สารที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า และสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความแตกต่างของอุณหภูมิได้ โดยอาศัยหลักการหลักๆ 3 หลักการ คือ ซีเบ็คเอฟเฟกต์ (Seebeck effect) เพอร์เทียเอฟเฟกต์ (Peltier effect) และทอมสันเอฟเฟกต์ (Tomson effect) ซึ่ง Peltier effect จะอธิบายเกี่ยวกับ การที่เมื่อทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างระหว่างสองข้างของวัสดุ จะทำให้พาหะ (charge) เคลื่อนที่จากที่ที่มีความต่างศักย์ที่สูงกว่าไปยังที่มีความต่างศักย์ที่น้อยกว่าส่งผลให้อุณหภูมิทั้งสองข้างของวัสดุไม่เท่ากัน โดยฝั่งหนึ่งจะร้อนและอีกฝั่งจะเย็น โดยมีการพัฒนานำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมทำความเย็น นอกจากนี้คือ Seebeck effect ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับการทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองข้างของวัสดุ พาหะฝั่งร้อนเมื่อได้พลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่จากที่ที่ร้อนไปยังที่ที่เย็นกว่า เกิดการรวมกันของพาหะที่ฝั่งเย็นส่งผลให้ฝั่งที่เย็นมีศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่า หลักการนี้ถูกนำไปพัฒนาเป็นวัสดุผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อไป นอกจากนี้ Tomson effect จะทำหน้าที่อธิบายว่าการเคลื่อนที่ของพาหะเป็นไปเพื่อทำให้เกิดสมดุลของอุณหภูมิ [4]

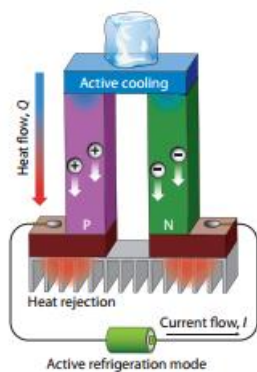
สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาสารเทอร์โมอิเล็กทริกในด้านของการนำมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งต้องมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสารเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งตัวที่บอกประสิทธิภาพของสารเทอร์โมอิเล็กทริกนี้คือ ค่าฟิกเกอร์ออฟเมอริท (Figure of merit (ZT)) ซึ่งค่า ZT นี้เป็นไปดังสมการที่ 1[5]

$$ZT = \sigma S^2 T / K \quad (1)$$

| | | |
|-------|----------|--------------------------|
| เมื่อ | σ | คือ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า |
| | S | คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบก |
| | K | คือ ค่าสภาพการนำความร้อน |

สารที่เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีจะต้องมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบกที่มีค่าสูง นอกจากนี้จะต้องมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่ำ เพื่อที่จะได้รักษาความแตกต่างของอุณหภูมิให้ได้นานที่สุด จะส่งผลให้ได้ค่าประสิทธิภาพที่สูง สารทางเทอร์โมอิเล็กทริกมีหลายประเภท สามารถ

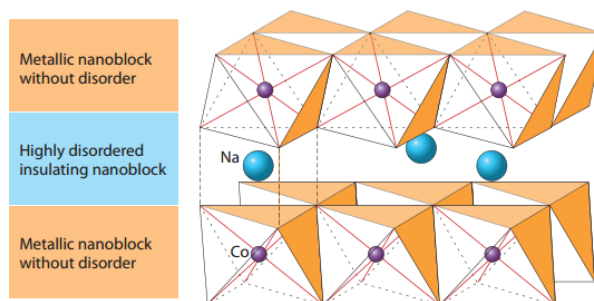
แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆคือ สารประเภท พี และ เอ็น (P-type and N-type) ซึ่งสารทั้งสองประเภทมีชนิดของพาหะที่ต่างกัน โดยสารประเภทพี มีพาหะเป็น โฮล(hole) ซึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบกเป็นบวก ส่วนสารประเภทเอ็น มีพาหะเป็นอิเล็กตรอน มีสัมประสิทธิ์ซีเบกเป็นลบ เมื่อนำสารทั้งสองชนิดมาต่อกันก็สามารถได้เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของสารชนิด เอ็นและพีเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ[6]

จากรูปที่ 1 เมื่อให้ความต่างของอุณหภูมิ อิเล็กตรอนและโฮลของสารเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและเอ็นจะวิ่ง และทำให้เกิดกระแสไหลในวงจร ซึ่งในกรณีที่เป็นสารชนิดพี อย่างเดียวหรือสารชนิดเอ็นอย่างเดียวก็สามารถเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ด้วยเช่นกัน [6]

สารเทอร์โมอิเล็กทริกที่น่าสนใจสารหนึ่งคือ สารพวกโลหะออกไซด์ เพราะเป็นสารที่มีความทนต่ออากาศสูง และเป็นสารที่หาง่ายทำให้มีราคาไม่แพง สารจำพวกนี้ที่น่าสนใจคือ โซเดียมโคบอลออกไซด์(Na_xCoO_2) เพราะเป็นสารเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงกว่าสารอื่นๆที่อยู่ในจำพวกเดียวกัน [7]

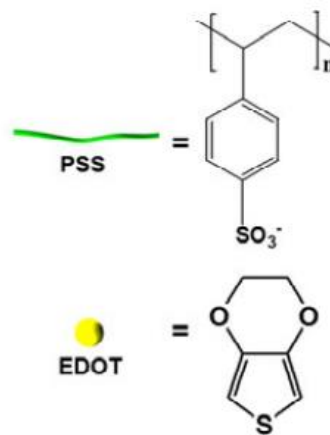


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ Na_xCoO_2 [6]

สาร Na_xCoO_2 มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยชั้นของโคบอลออกไซด์(CoO_2) สองชั้นที่มีชั้นของโซเดียมอยู่ตรงกลาง ดังรูปที่ 2.2 โดยชั้นของ CoO_2 เป็นชั้นที่มีการนำไฟฟ้าที่ดีดังนั้นพาหะสามารถวิ่ง

ผ่านชั้นนี้ได้โดยง่าย ทำให้สารชนิดนี้มีค่าค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าสัมประสิทธิ์ซีเบก ที่ค่อนข้างสูง แต่พหุหะไม่สามารถผ่านชั้นของโซเดียม ไปได้ทำให้สารนี้มีค่าความนำความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพดี [6]

พิจารณาสารจำพวกโพลิเมอร์ชนิดนำไฟฟ้า สารตัวหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นสารเทอร์โมอิเล็กทริกได้แก่ สาร Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT:PSS) โดยเป็นสารที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ PEDOT:PSS

จากโครงสร้างตามรูปที่ 3 สารโพลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็น PSS และ PEDOT โดยส่วนที่เป็น PSS จะทำหน้าที่ยึดติดกับสารเคมีชนิดอื่น และ PEDOT ทำหน้าที่ในการนำไฟฟ้า สารชนิดนี้เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ดี มีสภาพนำไฟฟ้าที่ดี ราคาถูกและสามารถนำไปใช้ในงานต่างๆได้ง่าย [8] ดังนั้น PEDOT: PSS จึงเป็นโพลิเมอร์ที่นอกจากจะสามารถนำไปช่วยในการขึ้นรูปสารเทอร์โมอิเล็กทริกได้แล้วยังสามารถช่วยในการนำไฟฟ้าของสารเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นได้อีกด้วย

ในการประกอบเซลล์ทางเทอร์โมอิเล็กทริกส่วนใหญ่ จะใช้สารเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและเอ็นมาประกอบเข้าด้วยกันและต่อกันแบบอนุกรมดังรูปที่ 4[9]



รูปที่ 2.4 แสดงรูปเทอร์โมอิเล็กทริกเซลล์ของบริษัท Marlow Industrial ซึ่งทำจาก Bi_2Te_3 อัลลอย

จากรูปที่ 2.4 เป็นเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกทั่วไปที่นำมาประกอบขายในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการนำสารเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีและเอ็นมาประกอบกันแบบอนุกรม ถือว่าเป็นเซลล์ย่อย หลังจากนั้นนำเซลล์ย่อยหลายเซลล์มาประกอบกันทั้งอนุกรมและขนานเพื่อให้ได้ค่า ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างวิธีการสังเคราะห์สารเทอร์โมอิเล็กทริก

| วิธีการ | ข้อมูลการสังเคราะห์สาร | ประสิทธิ ภาพ | อ้างอิง |
|---|--|---|---------|
| Solid-state reaction (SSR) followed by acid treatment | สารตั้งต้น : Na_2CO_3 and Co_3O_4 เผา : 1123 K เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในอากาศ แช่กรด : 0.5 M $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นรูปด้วยการเผา : 1173 K เป็นเวลา 24 h ภายใต้ออกซิเจน | $S \sim 90 \mu\text{V/K}$ $\rho \sim 0.52 \Omega \text{ cm}$ at 400K $\text{Na}_{0.7}\text{CoO}_2$ | [10] |
| SSR | สารตั้งต้น : Na_2CO_3 and Co_3O_4 เผา : 1123 K เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในอากาศ ขึ้นรูปด้วยการเผา : 900°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในอากาศ | $S \sim 120 \mu\text{V/K}$ $\rho \sim 0.03 \Omega \text{ cm}$ at 300K | [11] |

| | | | |
|-----|---|---|------|
| | | $\text{Na}_{1.5}\text{Co}_2\text{O}_4$ | |
| SSR | <p>สารตั้งต้น : Na_2CO_3 and Co_3O_4</p> <p>เผา : 750°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงในอากาศ</p> <p>ขึ้นรูปด้วยการเผา : 850°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงในอากาศ</p> <p>Thin film deposition : pulsed laser deposition (PLD) method</p> | <p>Single crystal for thin film</p> <p>$128.9 \mu\text{V/K}$ at 300K</p> <p>$\text{Na}_{0.7}\text{CoO}_2$</p> | [12] |

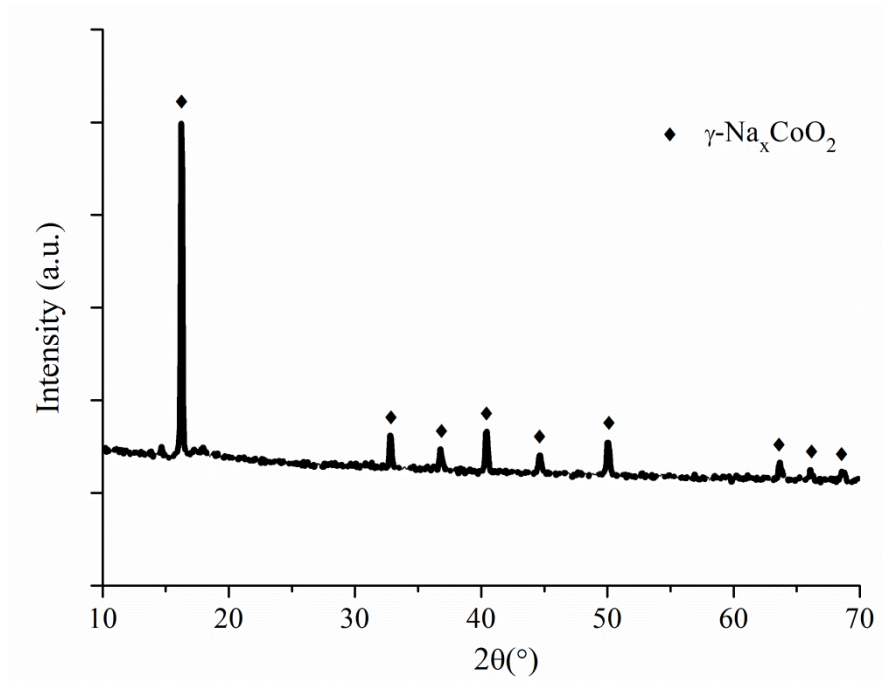
ตารางที่ 2.2 การใช้สาร PEDOT: PSS ในงานทางเทอร์โมอิเล็กทริกมีดังนี้

| วิธีการ | ข้อมูลการสังเคราะห์สาร | ประสิทธิภาพ | อ้างอิง |
|-----------------|---|------------------------------|---------|
| ผสม (composite) | <p>สารตั้งต้น PEDOT: PSS, SWNT 35% Wt</p> <p>ทำฟิล์มบาง</p> | P.F. = $25 \mu\text{W/mK}^2$ | [8] |
| ผสม | <p>สารตั้งต้น PEDOT: PSS , Bi_2Te_3</p> <p>ใช้วิธีการผสม (Powder mixing)</p> | P.F. = $60 \mu\text{W/mK}^2$ | [13] |
| | <p>สารตั้งต้น PEDOT: PSS , $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$</p> | ZT~ 0.1 | [14] |

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารเทอร์โมอิเล็กทริก

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

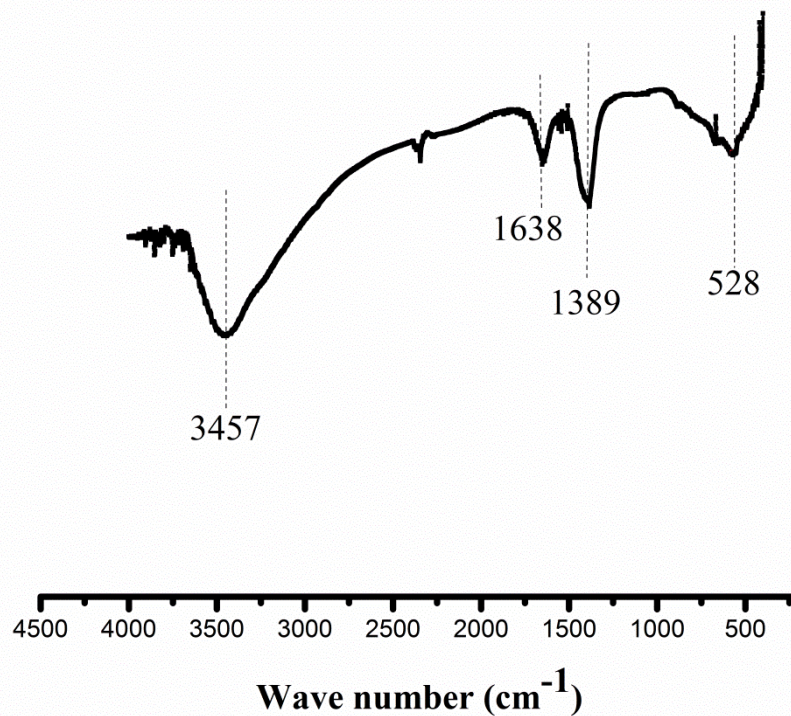
โครงสร้างผลึกของสารเทอร์โมอิเล็กทริก โซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ผสมกับสารโพลีเมอร์นำไฟฟ้า ($\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}$) สามารถตรวจสอบโดยใช้เทคนิค Powder X-ray Diffraction บ่งชี้ว่าสารผสมโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์กับสารโพลีเมอร์นำไฟฟ้าที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีเป็นชนิด แกมมา โซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ (γ- Na_xCoO_2) ซึ่งเป็นเฟสที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดีและเป็นสารเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีด้วยในจำนวนเฟสทั้งหมดของโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ (α- Na_xCoO_2 และ β- Na_xCoO_2) ตามรายงานของ Hangtao Wang และคณะ (2005: 3917-3920) ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบ powder X-ray diffraction ซึ่งบ่งชี้องค์ประกอบผลึกของสารผสมโซเดียมโคบอลต์ ออกไซด์กับสารโพลีเมอร์นำไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.1 ผลการวัดจาก powder X-ray diffraction แสดงให้เห็นว่าทุกพีคเป็นพีคของ $\gamma\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ และสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีเฟสเดียว นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าสารโพลีเมอร์นำไฟฟ้าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสารโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ซึ่งเป็นเฟสหลัก นอกจากนั้นโครงสร้างผลึกยังสามารถศึกษาได้ด้วยวิธีการ scanning electron microscope (SEM)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์จาก FTIR

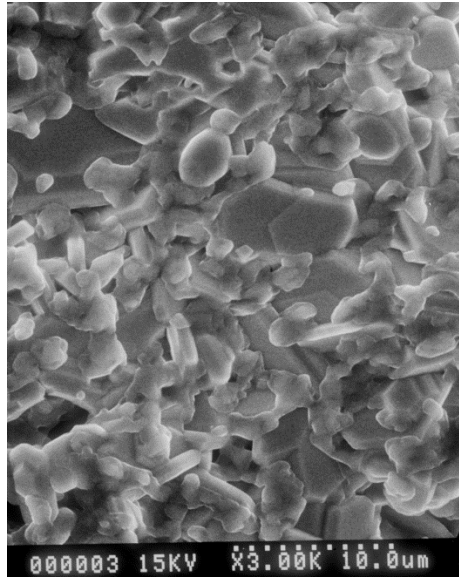


รูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดสัมพันธ์กับเลขคลื่น

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดลองได้ยืนยันผลจาก XRD นั่นคือ การสั่นของพันธะของ Na_xCoO_2 ที่สำคัญคือ ช่วงประมาณ 523 cm^{-1} , 997 cm^{-1} และ 1384 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ Na-O, Co-O ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการสั่นของพันธะในช่วง 1638 cm^{-1} พบว่าเป็นการสั่นของ sodium cobaltite crystal lattice ซึ่งชุดของการสั่นทั้งหมดเป็นผลการสั่นของโลหะ กับอกซิเจน ผลการทดลองทั้งหมดนี้ยืนยันได้จากงานวิจัยของ Mst. Taslima Akter และคณะ (2014: 123-133)

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกด้วย SEM

ผลึกของสารผสมโซเดียมโคบอลออกไซด์ ซึ่งจากการศึกษาด้วยวิธี XRD พบว่าผลึกนั้นมีโครงสร้างเป็นเฮกซาโกนัล และผลดังกล่าวยืนยันโดยรูปจากรูป SEM กำลังขยาย 3,000 เท่าดังรูปที่ 4.2

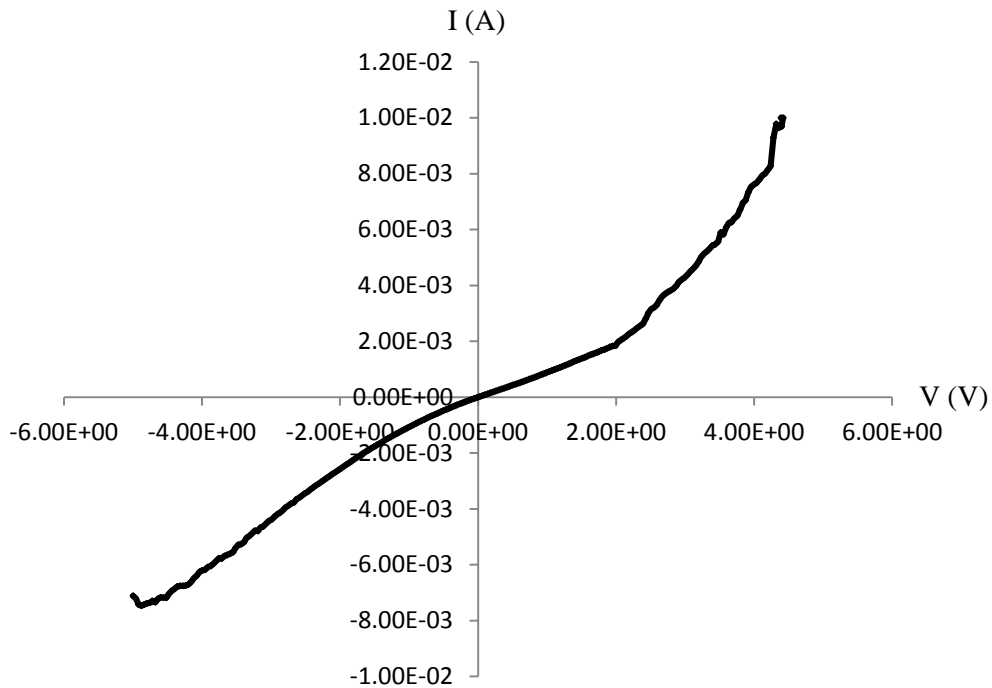


รูปที่ 4.3 รูปผลึกสารโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.2 พบว่าผลึกมีความหลากหลายของขนาดภาคตัดขวางตั้งแต่ ประมาณ 1 ไมโครเมตรถึงประมาณ 8 ไมโครเมตร จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าขนาดเล็กประมาณ 1 ถึง 2 ไมโครเมตร นั้นมีปริมาณเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากความสัมพันธ์ของขนาดที่หลากหลายนี้อาจส่งผลต่อค่า การนำไฟฟ้า และค่าการนำความร้อนของสารได้ เนื่องจากเกิดรอยต่อระหว่างผลึกทำให้ประจุเคลื่อนที่ได้ยาก ได้

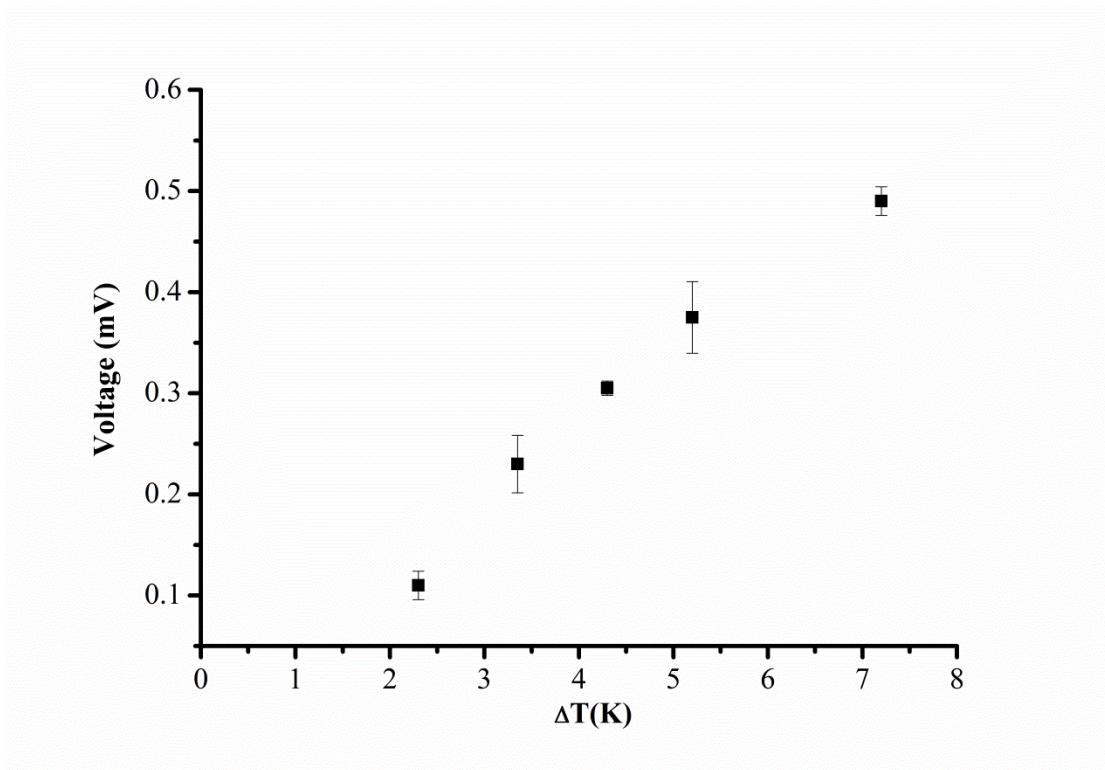
4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก

สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของสารผสมโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ ได้แก่ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ค่าซีเบคโคแอฟฟิเชียน (Seebeck coefficient) รวมถึงค่า แฟกเตอร์ กำลัง (Power factor) ซึ่งถ้าค่าทั้งสามมีค่ามากก็อาจจะสามารถคาดเดาได้ว่าประสิทธิภาพของสาร โซเดียมโคบอลต์ออกไซด์นี้อาจมีค่ามากตามไปด้วยแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ตามกฎของโอห์มที่อุณหภูมิห้อง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อให้ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นกระแสเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า สาร $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT}:\text{PSS}$ ที่นำไปวัดนี้แสดงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ นั่นคือเมื่อให้ความต่างศักย์จนถึงค่าหนึ่งแล้วกระแสจะเพิ่มขึ้นมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อให้แรงดันที่มีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานแล้ว จะทำให้พาหะสามารถข้ามช่องว่างพลังงานมายังแถบนำกระแสได้มากขึ้นทำให้เกิดกระแสที่มากขึ้น จากความสัมพันธ์นี้สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้ โดยค่าความต้านทานที่ได้มีค่า $344.82 \pm 5 \Omega\text{cm}$ ที่อุณหภูมิห้องเมื่อนำค่าความต้านทานที่ได้มาคำนวณหาค่าสภาพนำไฟฟ้าจากสมการ $R = \rho L/A$ พบว่าค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ได้มีค่า 6.25 S/m ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากสาร $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}$ กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิห้อง

จากความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.4 เมื่อหาสมการความสัมพันธ์จะได้สมการดังนี้

$$Y = 0.0686x$$

เมื่อ Y คือ ค่าความต่างศักย์มีหน่วยเป็น mV

X คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ 2 ด้านของสารตัวอย่างรูปทรงกระบอก

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ของค่าซีเบคโคเอฟฟิเชี่ยล ($s = \Delta V/\Delta T$) จะได้ว่า ค่าซีเบคโคเอฟฟิเชี่ยลของสาร $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}$ มีค่า $68.6 \mu\text{V/K}$ ที่อุณหภูมิห้อง

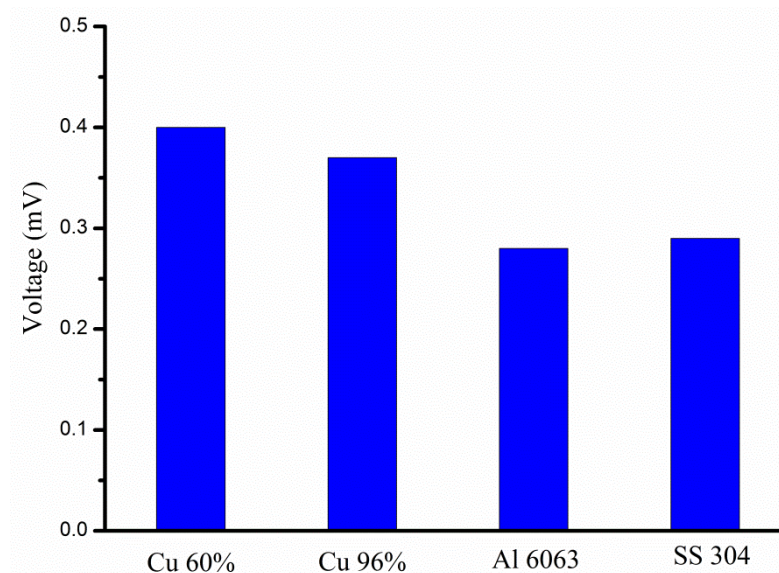
จากค่าซีเบคโคเอฟฟิเชี่ยลและค่าสภาพการนำไฟฟ้าสามารถคำนวณหาค่าแฟกเตอร์กำลังได้ จากสมการ $P = \sigma S^2 \text{ W/mK}^2$ สำหรับในงานวิจัยนี้จะได้ค่าแฟกเตอร์กำลังมีค่า $0.029 \mu\text{W/mK}^2$

จากค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำดังนั้นจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าที่ต่ำ รวมไปถึงค่าแพกเตอร์กำลัง เมื่อเทียบกับสารโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ที่เคยถูกรายงานไว้แล้วก่อนหน้านี้ของ Kenjiro FUJITA และคณะ (2001:4644-4647) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าสารโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นเป็นโลหะ และมีค่าการนำไฟฟ้า ค่าซีเบกโคเอฟฟิเชี่ยล และค่าแพกเตอร์กำลังดังนี้คือ 200,000 S/m, 100 μ W/K และ 500 W/mK² ตามลำดับ

พิจารณาค่าซีเบกโคเอฟฟิเชี่ยลพบว่ามีความบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นสารชนิดพี (p-type) มีพาหะข้างมากเป็นโฮล จากรูปจะเห็นได้ว่าทั้งค่าการนำไฟฟ้าและค่าซีเบกโคเอฟฟิเชี่ยลมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิ ค่าซีเบกโคเอฟฟิเชี่ยลเป็นค่าที่ชี้ถึงสัดส่วนของค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นต่ออุณหภูมิซึ่งถ้ามีค่ามากก็อาจจะยืนยันได้ว่าเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่จะศึกษาต่อไปอาจจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ดีได้

4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

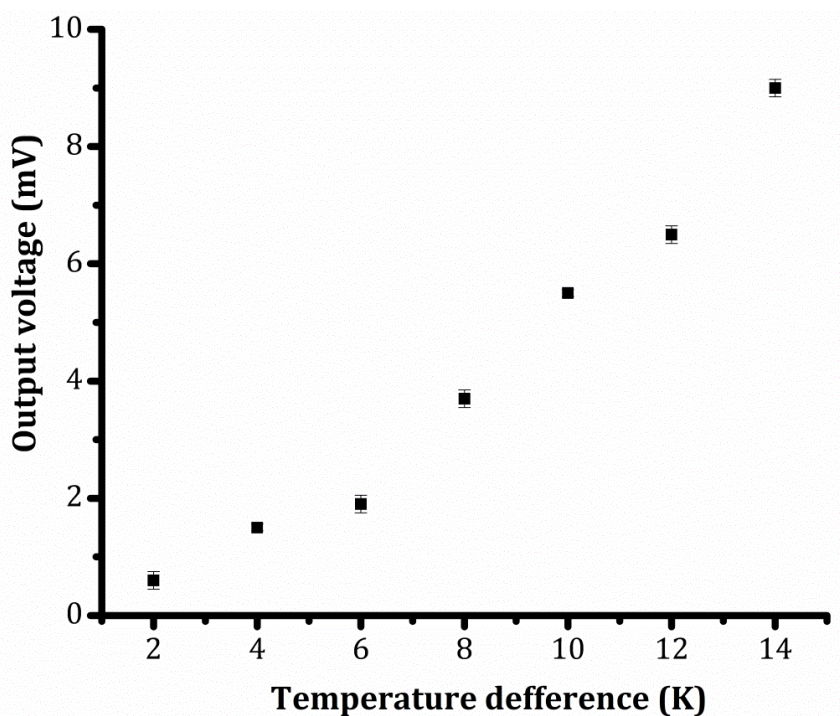
จากการศึกษาเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกการจับคู่ระหว่างสาร p-type และ n-type มีความสำคัญต่อค่าความต่างศักย์ จากผลการศึกษาค่าความต่างศักย์ของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}/$ โลหะชนิดต่างๆ คือ Cu 60% (ทองเหลือง) , Cu 96% (ทองเหลือง), Al 6063 (อะลูมิเนียม) และ SS 304 (สแตนเลส) ที่ความแตกต่างอุณหภูมิเดียวกันให้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}/$ โลหะชนิดต่างๆ

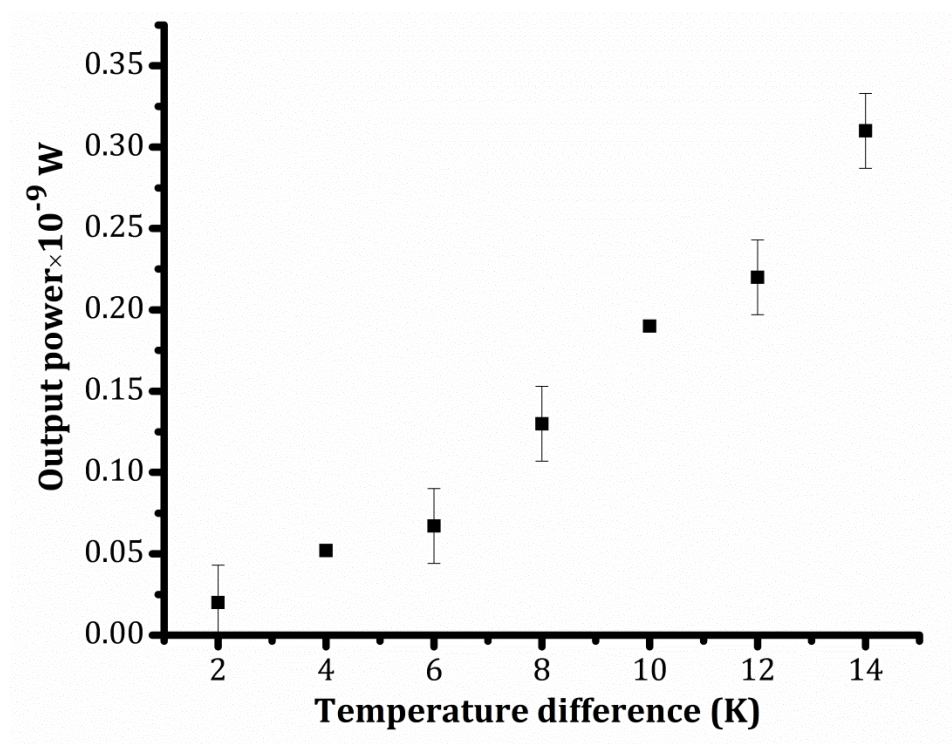
จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าที่ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าเดียวกัน Cu 60% ให้ค่าความต่างศักย์ที่มากที่สุด ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ที่ Cu 60% มีคุณสมบัติของโลหะอัลลอยด์ ทำให้มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าโลหะบริสุทธิ์ ซึ่งผลดังกล่าวทำให้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของ Cu 60% ดีกว่าโลหะชนิดอื่นๆที่นำมาศึกษา ดังนั้นในส่วนต่อมาเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS} / \text{Cu-Zn alloy}$ จะได้นำมาศึกษาต่อไปสำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในค่าอื่นๆ

เนื่องจากเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกต้องประกอบด้วย สารเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็น p-type และสาร n-type ต่อกันแบบอนุกรมดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่จะนำมาศึกษาคือ $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS} / \text{Cu-Zn alloy}$ ซึ่งเป็นสาร p-type และ n-type ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง 2 ด้านของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก ก็จะสามารถวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นได้ซึ่งเรียกว่า เอาท์พุทโวลต์เทจ (Output voltage) และสามารถนำมาคำนวณหาค่าเอาท์พุทพาวเวอร์ (Output power) ได้ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง Output voltage กับความแตกต่างของอุณหภูมิ และ Output power กับความแตกต่างของอุณหภูมิแสดงในรูป 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Output voltage กับ อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างสองด้านของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า Output voltage เพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิที่แตกต่าง นั่นคือเมื่อให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับพาหะใช้ในการเคลื่อนที่ได้มากขึ้นซึ่งจะมีผลให้ค่าความต่างศักย์มีค่ามากขึ้นตามนั่นเอง เนื่องจากสาร p-type ที่ได้นำมาศึกษานี้มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำก็อาจมีส่วนทำให้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ได้ 2 ช่วงคือความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 1-6K และ 8-14K จากค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ค่า Output voltage คือ 0.33 mV/K และ 0.85 mV/K ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Wang และคณะ (2011: 307) ที่กล่าวไว้ว่า เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ขายในท้องตลาดปัจจุบันนี้ ให้ค่า Output voltage น้อยกว่า 1 mV/K ต่อ 1 เซลล์ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วง 8- 14K เซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำจาก $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS} / \text{Cu-Zn alloy}$ น่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขายในท้องตลาด



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Output power กับ อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างสองด้านของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

จากสมการพื้นฐานตามกฎของโอห์มสามารถคำนวณหาค่า Output power ได้จากสมการ

$$P = V^2/R$$

เมื่อ V คือ Output voltage

R คือ ค่าความต่างศักย์ (ความต้านทานของวงจร + ความต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้า)

จากการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานมีค่า $29 \text{ k}\Omega$ โดยที่ค่าความต้านทานของวงจรมีค่า $2 \text{ k}\Omega$ และค่าความต้านทานภายในเซลล์มีค่า $27 \text{ k}\Omega$ จากสมการดังกล่าวทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่า Output power ยังอยู่ในค่าที่ต่ำซึ่งยังต้องมีการพัฒนาต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

5.1.1 โครงการได้ออกแบบและประกอบเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบด้วยสาร $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}/\text{Cu-Zn alloy}$

5.1.2 สาร p-type ที่สร้างขึ้น $\text{Na}_x\text{CoO}_2/\text{PEDOT: PSS}/\text{Cu-Zn alloy}$ มีคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลที่เคยรายงานไปก่อนหน้านี้แล้ว แต่ใช้วิธีการผลิตสารที่ราคาถูกลง และง่ายกว่า ซึ่งอาจจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานที่อุณหภูมิต่ำเพราะอุณหภูมิต่ำจะให้ค่าประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำอยู่แล้ว

5.1.3 ซึ่งให้ค่าความต่างศักย์ต่อ 1 เซลล์มีค่า 0.85 mV/K ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วง 8-14K ได้ให้ผลที่ค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับเซลล์ที่ขายกันโดยทั่วไป

5.1.4 โครงการได้เผยแพร่องค์ความรู้

- โครงการได้เสนอผลงานวิชาการแบบนำเสนอผลงาน ในงานประชุมวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม International Conference on Agriculture, Biological and Chemical Sciences (ICABCS 2015) April 17-18, 2015, Hatyai Thailand จัดโดย International Postgraduate Network (IPN.org)



รูปที่ 5.1 ภาพงานแสดงผลงานวิชาการ

- โครงการได้เผยแพร่องค์ความรู้ผ่านทางวารสาร Advances in Environmental Biology, 9(10) Special 2015, Pages: 26-29 ดังเอกสารที่แนบมา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรดำเนินการทดลองเพิ่มเติม โดยหาสาร p-type และ n-type ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้โดยคำนึงถึงความสะดวกในการผลิต ราคาต่อหน่วย และค่าความเป็นพิษของสารเคมีที่เลือกมากผลิตรวมเข้าไปด้วย

5.2.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมในการออกแบบเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยอาจจะหาวิธีต่อวงจร เพื่อให้ได้ค่า Output power ที่มากกว่านี้