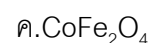
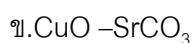
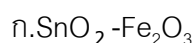


## 4. ผลการทดลองและการอภิปราย

ในงานวิจัยนี้มีผลทดลอง 4 ส่วนด้วยกัน คือ ผลการเตรียมสาร , ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ, ผลการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้งาน

### 4.1 ผลการเตรียมสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน

จากขั้นตอนการเตรียมสาร พบว่าความร้อนจากการเผาทำให้น้ำและสารอินทรีย์ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหายไป มีรูพรุนเกิดขึ้นทำให้อะตอมยึดเหนี่ยวกันมากขึ้น เนื่องจากมีการกระตุ้นให้อะตอมของสารเกิดการแพร่ (diffusion) เข้าหากัน ทำให้เกิดจุดสัมผัสที่เรียกว่า คอ (neck) จนกระทั่งเกิดการหลอมรวมตัวของสารจนกลายเป็นก้อนสารสุทธใหม่ที่มีเนื้อแน่น ลักษณะของสารแข็งและเปราะ การผสมผงของสารให้กระจายสม่ำเสมอและอุณหภูมิการเผาที่มีผลต่อสมบัติเชิงไฟฟ้าของสาร ก้อนสารมีการหดตัวหลังจากผ่านการเผาซึ่งสังเกตได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางของสารที่ลดลง ดังรูปที่ 4.1 (Buchanan, 1991)



รูปที่ 4.1 ลักษณะของสารตัวอย่าง

## 4.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

### 4.2.1 ขนาดของสาร

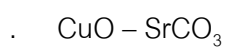
ตารางที่ 4.1 ขนาดของสารและสีของสารตัวอย่าง

ชื่อสาร	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความหนา (mm)	ลักษณะสาร
$\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$12.19\pm 0.01$	$3.29\pm 0.01$	ผิวเรียบ, สีน้ำตาล
$\text{CuO-SrCO}_3$	$12.67\pm 0.01$	$2.74\pm 0.01$	ผิวเรียบ, สีดำ
$\text{CoFe}_2\text{O}_4$	$12.74\pm 0.01$	$3.99\pm 0.01$	ผิวเรียบ, สีดำ

### 4.1.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างของสาร

ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกของสาร ลวดลายการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction pattern) ดังรูป 4.2

ก.  $\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$



#### รูปที่ 4.2 ลวดลายการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

หลังจากที่ได้เตรียมสาร  $\text{SnO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO} - \text{SrCO}_3$  และ  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  เเผ่ที่อุณหภูมิ  $1100^\circ\text{C}$ ,  $900^\circ\text{C}$  และ  $1100^\circ\text{C}$  ตามลำดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารไปตรวจสอบเฟสหรือโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าสาร 1 ประกอบด้วย 2 เฟส คือ  $\text{SnO}_2$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  พีคสูงสุดของ  $\text{SnO}_2$  ที่มุม  $26.590^\circ$ , พีคสูงสุดของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ที่มุม  $33.890^\circ$  สาร 2 ประกอบด้วย 2 เฟส คือ  $\text{CuO}$  และ  $\text{Cu}_3\text{Sr}_{1.75}\text{O}_{5.13}$  พีคสูงสุดของ  $\text{CuO}$  ที่มุม  $31.105^\circ$ , พีคสูงสุดของ

$\text{Cu}_3\text{Sr}_{1.75}\text{O}_{5.13}$  ที่มุม  $50.185^\circ$  , และสาร 3 พีคสูงสุดที่มุม  $35.490^\circ$  สูตรของส่วนผสมและสูตรของสารที่เตรียมได้ซึ่งพบจากภาพถ่าย XRD แสดงดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 สูตรของส่วนผสมและสูตรของสารที่เตรียมได้

สูตรของส่วนผสมที่ใช้เตรียม	สูตรที่ได้จากภาพถ่าย XRD
$\text{SnO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SnO}_2$ และ $\text{Fe}_2\text{O}_3$
$\text{CuO} + \text{SrCO}_3$	$\text{CuO}$ และ $\text{Sr}_3\text{Cu}_{1.75}\text{O}_3$
$\text{CoO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CoFe}_2\text{O}_4$

#### 4.3 ผลการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า

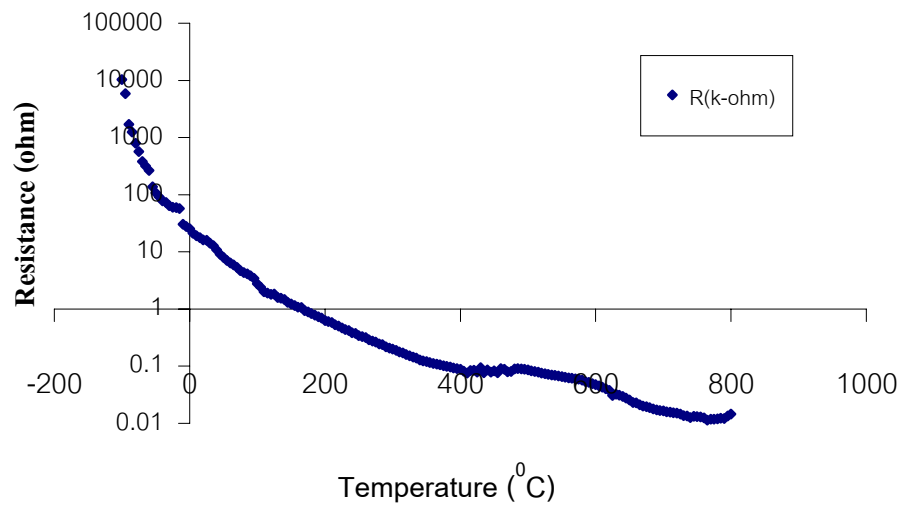
##### 4.3.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าตรง (DC) ของสาร $\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{CuO-SrCO}_3$ และ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

###### 4.3.1.1 ผลการทำขั้วไฟฟ้าและวัดความต้านทานไฟฟ้าก่อนการโพลิง

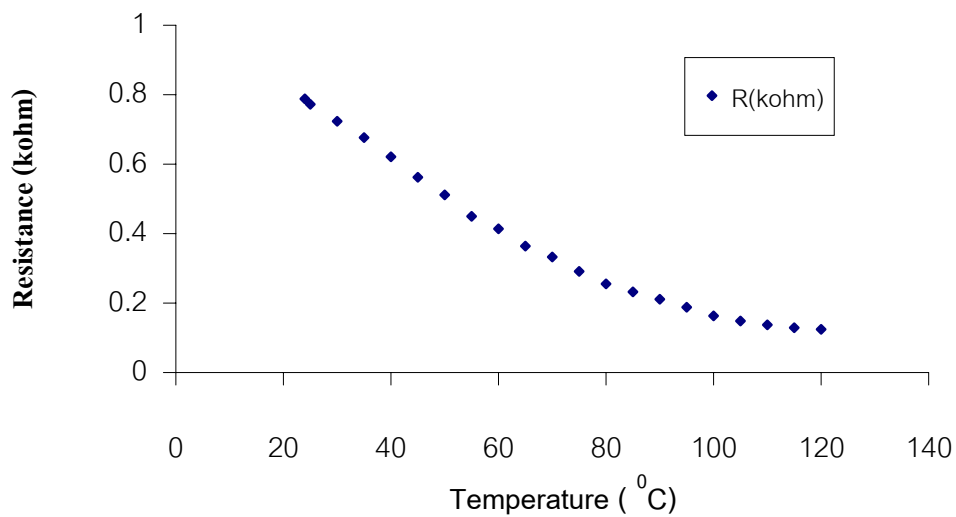
ขั้วไฟฟ้าที่ทำมาจากกาวเงินติดแน่นกับผิวหน้าของสาร ความต้านทานไฟฟ้าของสารก่อนโพลิงที่อุณหภูมิห้องแสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าก่อนโพลิงของสารตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

ชื่อสาร	ความต้านทานไฟฟ้า (R)	สภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\rho$ )
$\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$	12.98 $\text{k}\Omega$	0.46 $\text{k}\Omega\text{-m}$
$\text{CuO} - \text{SrCO}_3$	787.90 $\Omega$	100.02 $\Omega\text{-m}$
$\text{CoFe}_2\text{O}_4$	10.75 $\text{M}\Omega$	0.34 $\text{M}\Omega\text{-m}$



n. SnO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



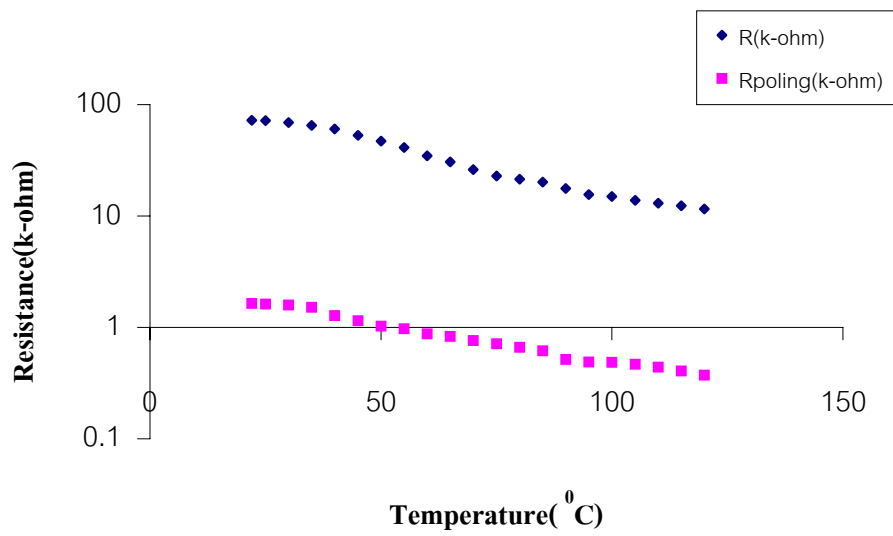
ข. CuO – SrCO<sub>3</sub>

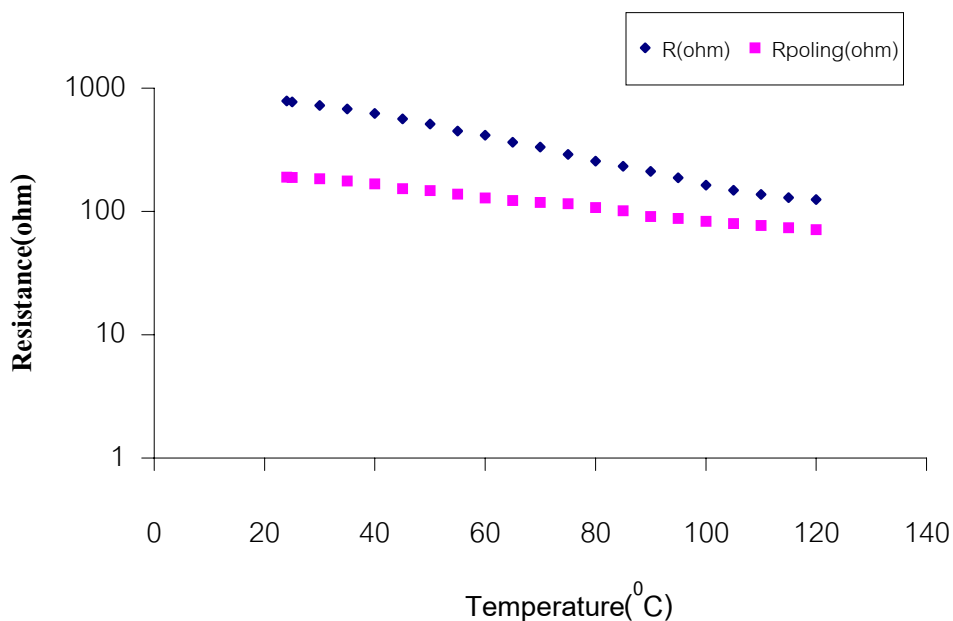
รูปที่ 4.3 แสดงความต้านทานไฟฟ้าของสารที่อุณหภูมิต่างๆก่อนการโพลิง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าของสารลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโมเลกุลเกิดการสั่น พลังงานถ่ายเทแก่อิเล็กตรอนจนกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ถ้าอิเล็กตรอนได้รับพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับช่องว่างแถบพลังงาน อิเล็กตรอนจาก valence band กระโดดขึ้นไปอยู่ใน conduction band เกิดกระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าจึงลดลง

#### 4.3.1.2 ผลการโพลิง (poling) สาร $\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{CuO} - \text{SrCO}_3$

การโพลิงสารตัวอย่างเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับเซรามิกส์ ซึ่งผลการโพลิงสาร 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.4





#### ข. CuO – SrCO<sub>3</sub>

รูปที่ 4.4 แสดงความต้านทานไฟฟ้าของสารที่อุณหภูมิต่างๆ ทั้งก่อนและหลังโพลิง

ผลการโพลิง (poling) ของสาร SnO<sub>2</sub> -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เมื่อใช้สนามไฟฟ้า = 3039.514 V/mm

พบว่าความต้านทานไฟฟ้าก่อนการโพลิงที่อุณหภูมิห้อง (24°C) = 17.10 kΩ

ความต้านทานไฟฟ้าหลังการโพลิงที่อุณหภูมิห้อง (24°C) = 1.64 kΩ

การโพลิงทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของสารลดลง 10.43 เท่า

ผลการโพลิง (poling) ของสาร CuO – SrCO<sub>3</sub> เมื่อใช้สนามไฟฟ้า = 3649.635 V/mm

พบว่าความต้านทานไฟฟ้าก่อนการโพลิงที่อุณหภูมิห้อง (24°C) = 787.90 Ω

ความต้านทานไฟฟ้าหลังการโพลิงที่อุณหภูมิห้อง (24°C) = 189.42 Ω

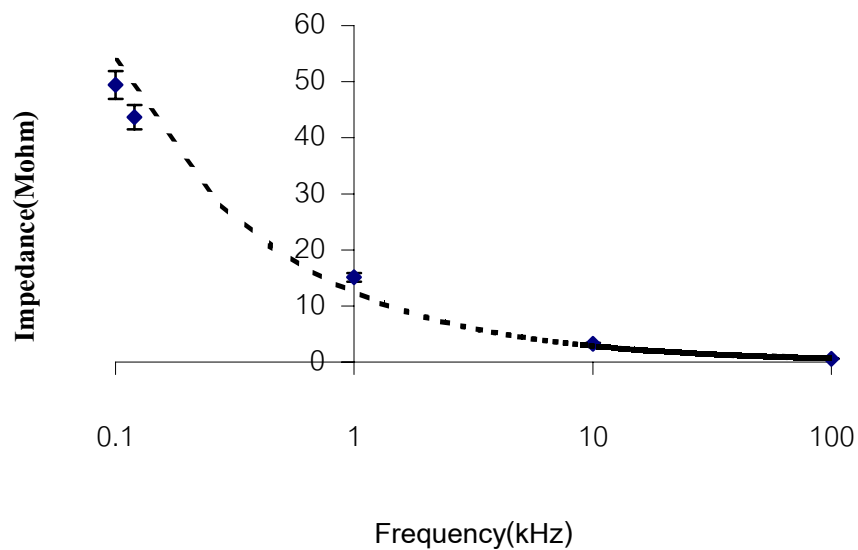
การโพลิงทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของสารลดลง 4.16 เท่า



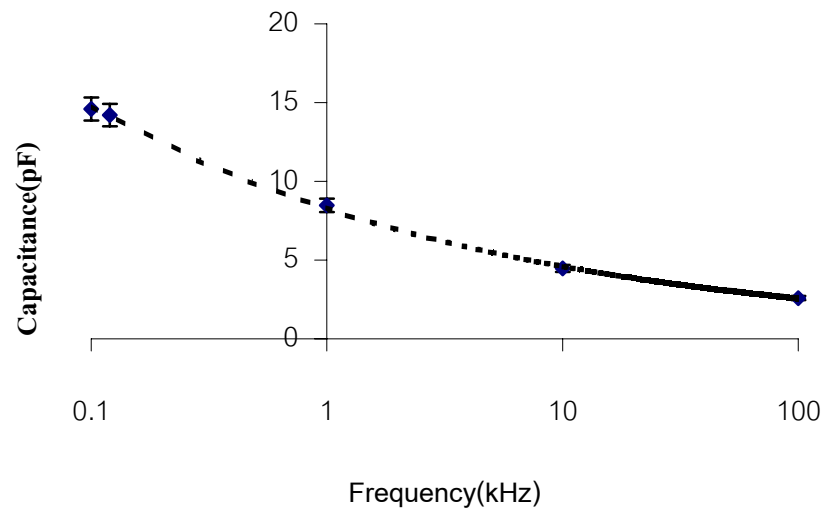
จากรูปที่ 4.4 พบว่าการโพลิงทำให้ความต้านทานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้าเรียงตัวในทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า เมื่ออิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ทำให้ชนสิ่งกีดขวางน้อยลง มีผลทำให้ความต้านทานไฟฟ้าลดลง การโพลิงในน้ำมันซิลิโคน เพื่อป้องกันการสปาร์คของสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าของสารตัวอย่าง ซึ่งอาจทำให้สารตกัววได้

#### 4.3.2 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ(AC)

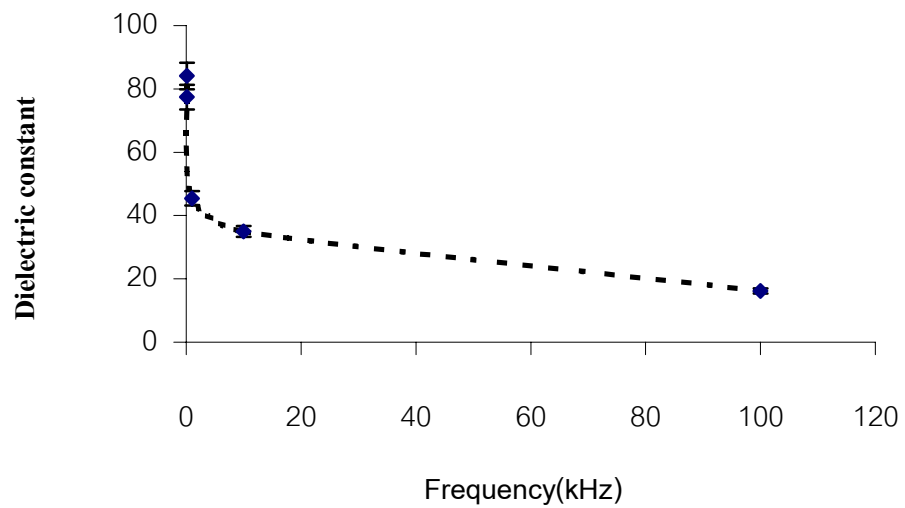
ผลการวัดค่า  $Z$ ,  $C$  และ  $\epsilon_r$  ที่ความถี่ 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz แสดงดังรูป 4.5



a. แสดงอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆ

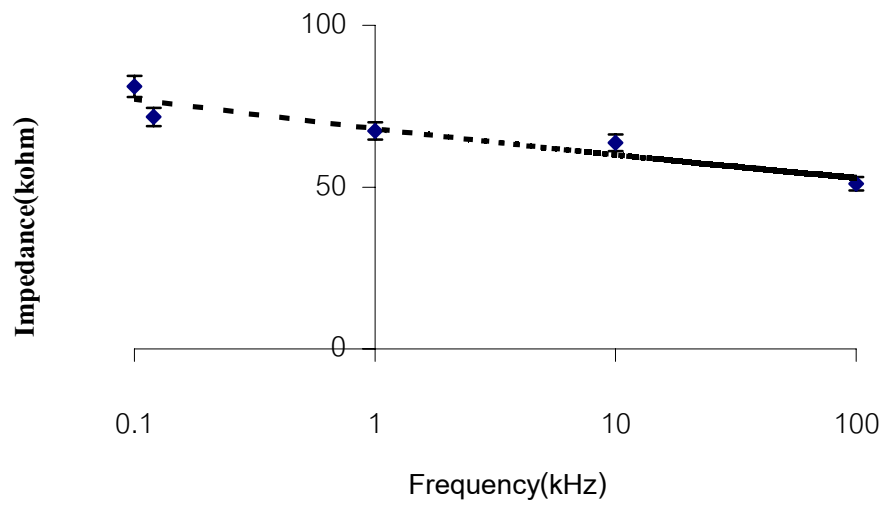


b. แสดงความจุไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ

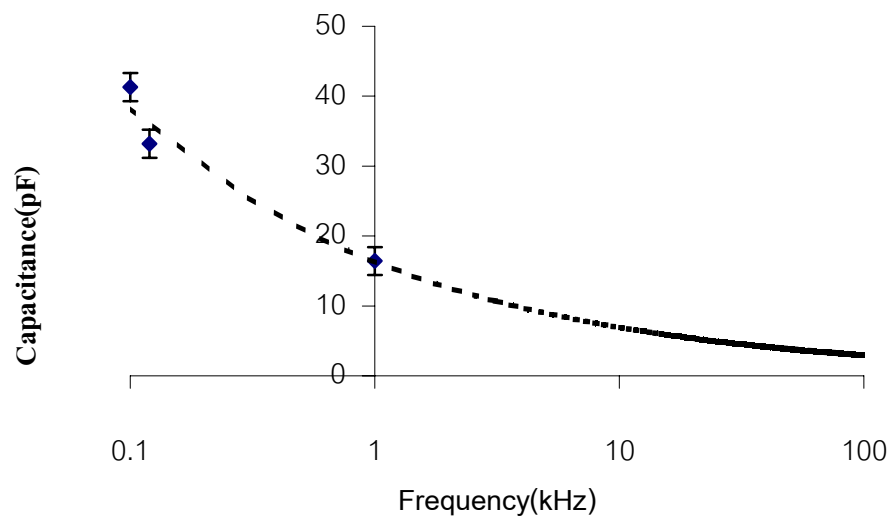


c. แสดงค่าคงที่ได้อิเล็กตริกที่ความถี่ต่างๆ

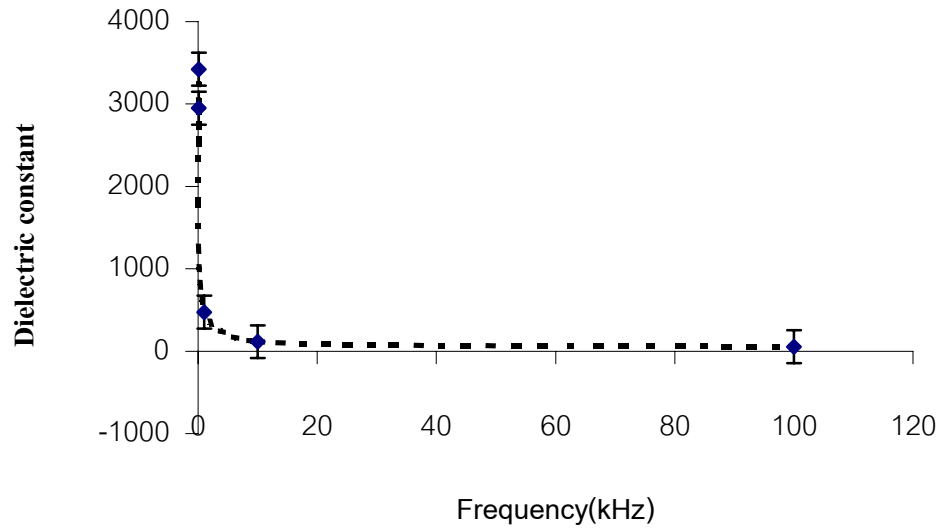
ก.  $\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$



a. แสดงอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆ

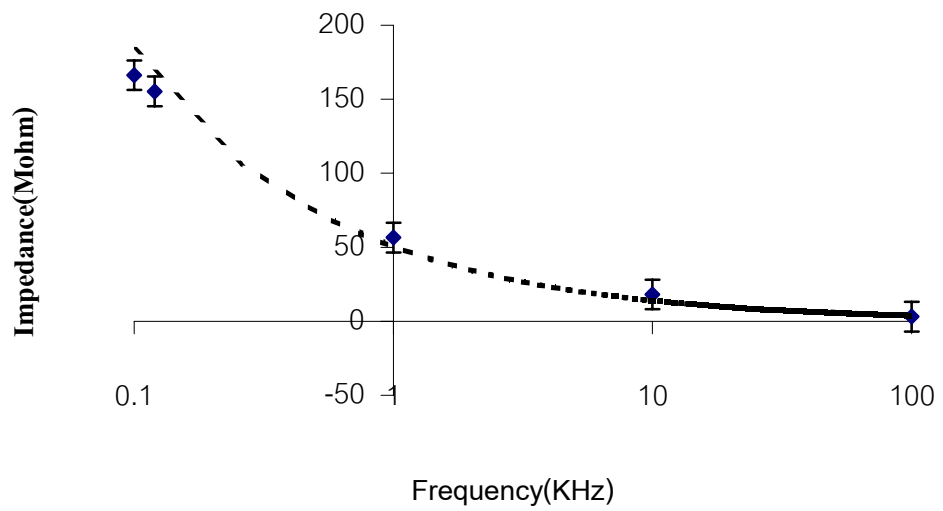


b. แสดงความจุไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ

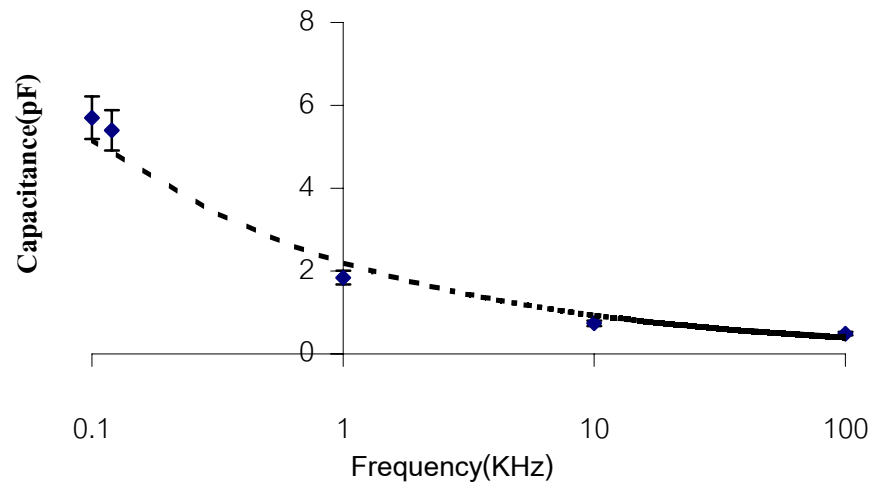


c. แสดงค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่ต่างๆ

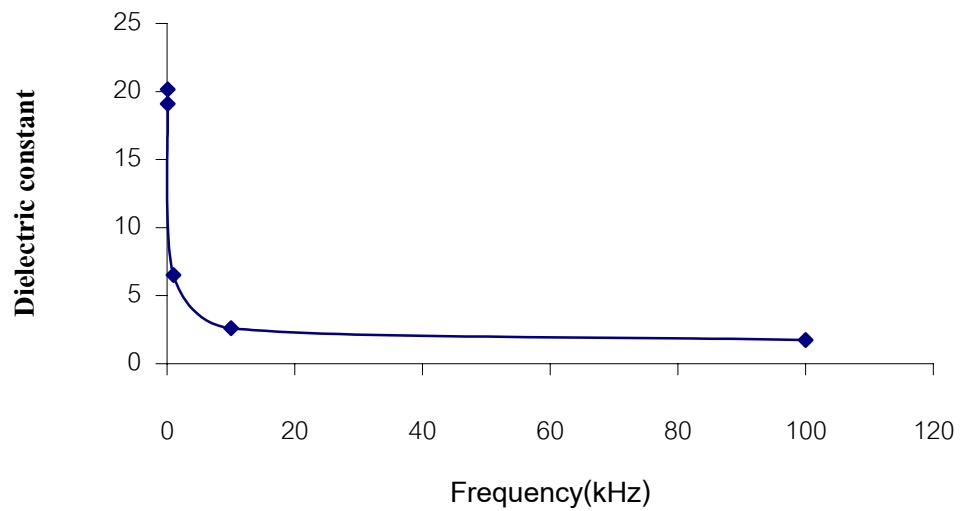
๑. CuO – SrCO<sub>3</sub>



a. แสดงอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ต่างๆ



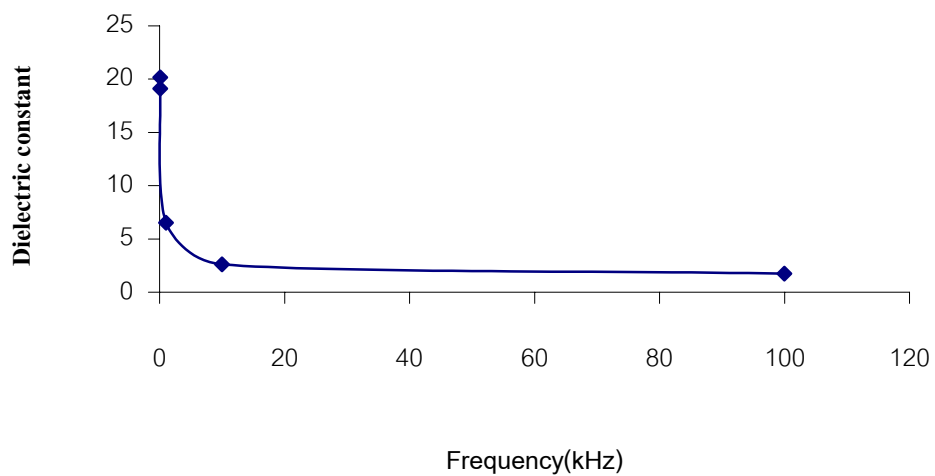
b. แสดงความจุไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ



c. แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ต่างๆ

ค.  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

รูปที่ 4.5 แสดงอิมพีแดนซ์, ความจุไฟฟ้า และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารที่ความถี่ต่างๆ

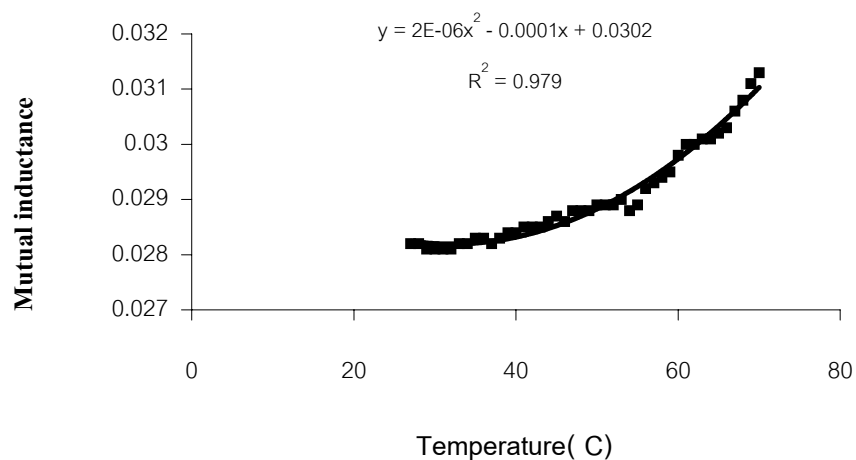


ค.  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ได้อิเล็กตริกกับความถี่ต่างๆ

#### 4.3.2.3 ผลการวัดความเหนี่ยวนำร่วมที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ผลการวัดความเหนี่ยวนำร่วมที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแสดงดังภาพประกอบที่ 4.5



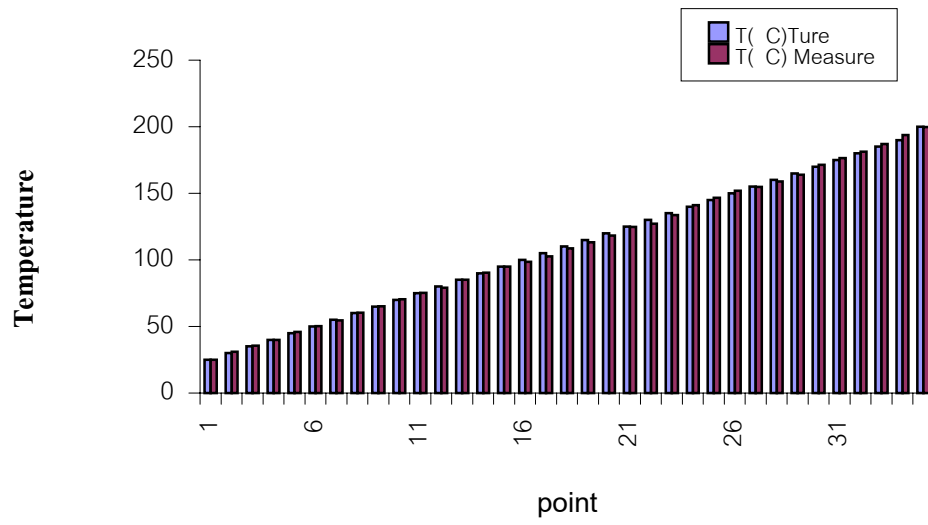
ภาพประกอบที่ 4.5 ความเหนี่ยวนำร่วมที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสาร CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

#### 4.4 ผลการประยุกต์ใช้งาน

##### 4.4.1 ผลการประยุกต์ใช้งานของสาร SnO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

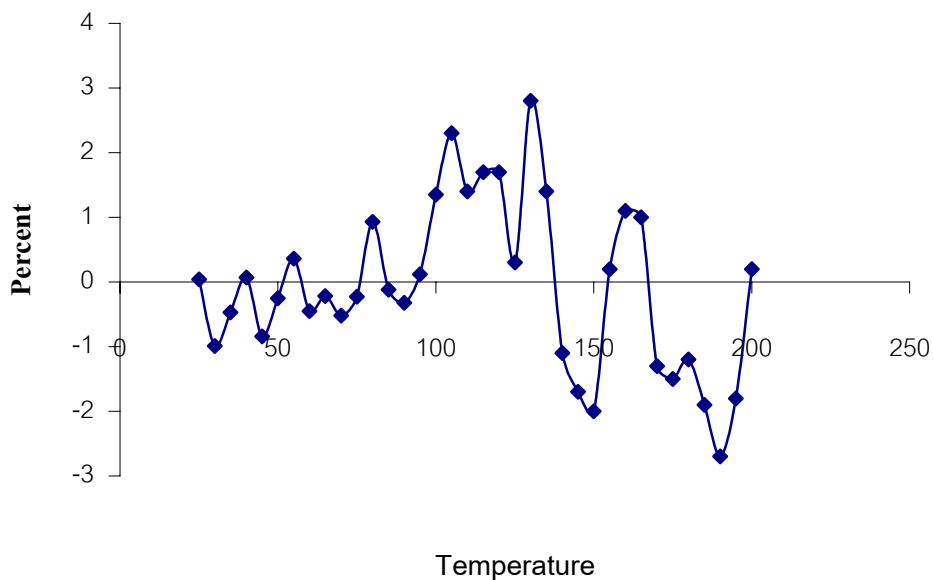
###### 4.4.1.1 ผลการทดสอบประยุกต์ใช้เป็นหัววัดอุณหภูมิ

หลังจากที่ได้ทำการปรับเทียบโดยการหา  $T=f(AV)$  แล้ว ก็นำสมการนี้ใส่ในโปรแกรม แล้วสั่ง RUN แล้วแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิจริง (Ttrue) และอุณหภูมิวัด (Tmeasure) ที่อุณหภูมิ 24-200 °C ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.6 ผลที่ได้ คือ สารที่เตรียมได้จะทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิโดยแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ เมื่อพิจารณาความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้นนี้ได้ผลว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจริงกับอุณหภูมิวัดในช่วงอุณหภูมิ 24°C ถึง 100°C มีค่าประมาณ 3% ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.7 สรุปแล้วสารสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นหัววัดอุณหภูมิได้



ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิจริง (Ttrue) และอุณหภูมิวัด (Tmeasure) ในช่วงอุณหภูมิ 24-200 °C





ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิจริง กับ อุณหภูมิวัดของสาร  $\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ในช่วงอุณหภูมิ  $24^\circ\text{C}$  ถึง  $100^\circ\text{C}$

#### 4.4.1.2 ผลการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

ระบบการทดสอบสารให้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิจะประกอบด้วยสารที่เตรียมทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิ วงจรขั้วปริเลย์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโซลิดสเตทรีเลย์เพื่อจ่ายไฟฟ้าหรือหยุดจ่ายไฟฟ้าให้แก่ขดลวดของเตาหลอม หลังจากที่ตั้ง RUN โปรแกรม พบว่าคอมพิวเตอร์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดเป็นจังหวะสลับกัน เตาจะร้อนขึ้นเรื่อยๆ เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ คอมพิวเตอร์ก็จะควบคุมอุณหภูมิของเตาให้คงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง ผลจากการทดลองการควบคุมอุณหภูมิดังนี้

เมื่อตั้งอุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  พบว่า คอมพิวเตอร์สามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน  $59.99^\circ\text{C}$

เมื่อตั้งอุณหภูมิ  $120^\circ\text{C}$  พบว่า คอมพิวเตอร์สามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน  $119.1^\circ\text{C}$

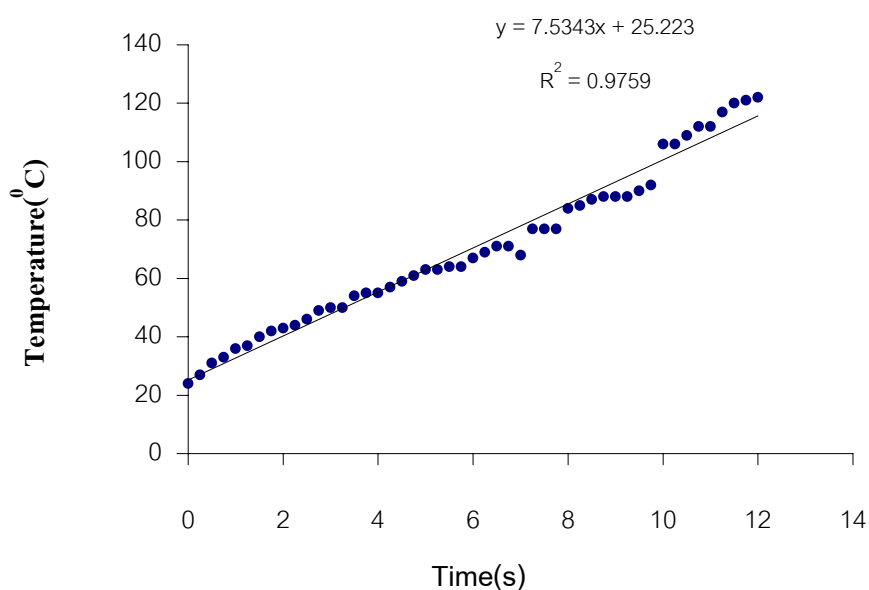
เมื่อตั้งอุณหภูมิ  $180^\circ\text{C}$  พบว่า คอมพิวเตอร์สามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน  $176.6^\circ\text{C}$

ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิของคอมพิวเตอรืในสาร  $\text{SnO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ในช่วงอุณหภูมิ  $24^\circ\text{C}$  ถึง  $200^\circ\text{C}$

### 4.3.2 ผลการประยุกต์ใช้งานของสาร CuO – SrCO<sub>3</sub>

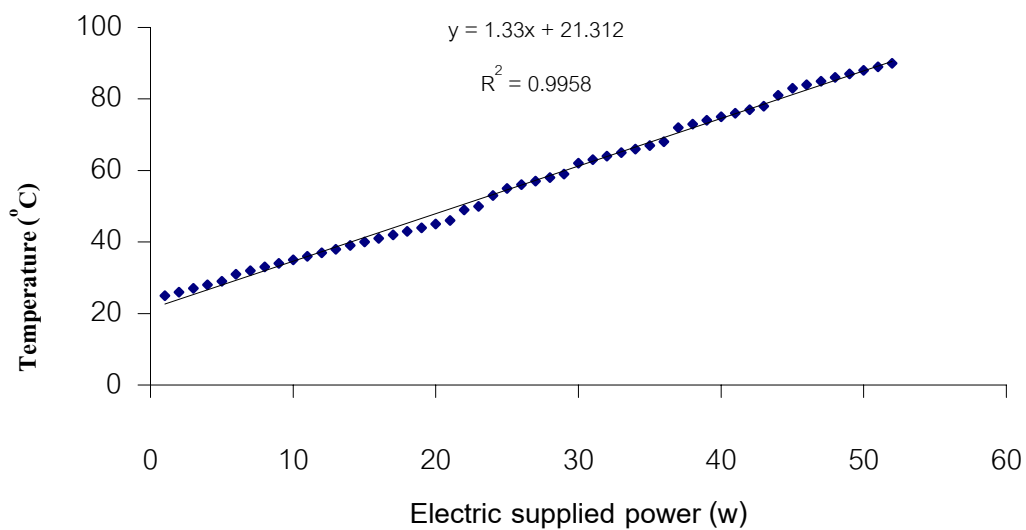
#### 4.3.2.1 ผลการทดลองการแปลงไฟฟ้าเป็นความร้อน

ผลการวัดอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่เวลาต่างๆ ของสารแสดงดังภาพประกอบที่ 4.9 จากกราฟพบว่าเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้แก่สาร สารจะร้อนขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

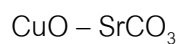


ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่เวลาต่างๆของ CuO – SrCO<sub>3</sub>

ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารกับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่สารแสดงดังภาพประกอบที่ 4.10 ปรากฏว่าเมื่อให้กำลังไฟฟ้าแก่สารเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารจะเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารกับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่สาร

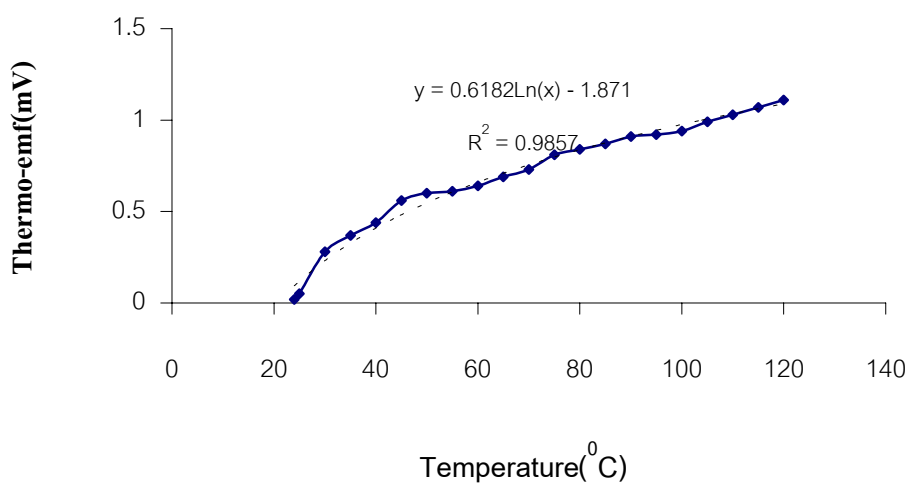


#### 4.4.2.2 ผลการใช้คอมพิวเตอรืวัดอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

หลังจากปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านสารเพื่อให้สารร้อน ก็ได้นำเทอร์โมคอปเปิลวัดอุณหภูมิแล้วขยายแรงดันไฟฟ้าจากหัววัด 2 ครั้ง ส่งผ่านวงจรเชื่อมต่อเข้าคอมพิวเตอร์ ปรากฏว่าคอมพิวเตอร์แสดงอุณหภูมิของสารให้ความร้อนนี้ได้ คอมพิวเตอร์จะแสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามเวลา

#### 4.4.2.3 ผลการวัดแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริก

ผลการวัดแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆของ CuO – SrCO<sub>3</sub> แสดงดังภาพประกอบที่ 4.12 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิต่างๆของ CuO – SrCO<sub>3</sub>

#### 4.4.2.4 ผลการสร้างระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงแรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

แรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่คอมพิวเตอร์แสดงผลออกมาแสดงดังภาพประกอบที่ 4.13

ภาพประกอบที่ 4.13 แรงดันเทอร์โมอิเล็กทริกที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่คอมพิวเตอร်แสดงผลออกมา

#### 4.4.3 ผลประยุกต์ใช้งานของสาร $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

##### 4.4.3.1 แท่งแม่เหล็กถาวร

สารที่ผ่านการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กจากขดลวดมีลักษณะเป็นแท่งแม่เหล็กถาวร การตรวจสอบว่ามีอำนาจแม่เหล็กค้างในสารทำได้โดยนำไปวางใกล้เข็มหมุด ปรากฏว่าสารสามารถดึงดูดเข็มหมุดได้ นอกจากนี้ก็ยังพบว่าสามารถทำอำนาจแม่เหล็กในสารให้หายไปโดยการนำไปที่อุณหภูมิ  $520^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิคูรีของสาร

##### 4.4.3.2 ผลการใช้ระบบเชื่อมต่อกอมพิวเตอร်วัดสนามแม่เหล็กของสาร ตัวอย่าง

เส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวด ( $d$ ) = 0.1 mm =  $0.1 \times 10^{-3}$  m

พื้นที่หน้าตัดของขดลวด ( $A$ ) =  $\pi d^2/4 = (22/7)(0.1 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = ?? \text{ m}^2$

สภาพต้านทานไฟฟ้าของขดลวดทองแดง ( $\rho$ ) =  $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

ความต้านทานไฟฟ้าของลวด ( $R$ ) =  $0.3704 \times 10^3 \Omega$

ความยาวของขดลวด ( $L$ ) =  $RA/\rho = 1.686$  m

รัศมีของแท่งสารที่หมุนรอบแกน ( $r$ ) = 1.6 cm =  $1.6 \times 10^{-2}$  m

ความถี่การหมุนของแท่งสาร ( $f$ ) = 49.64 Hz

แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากขดลวดรีเลย์ ( $V$ ) = 4.59 (คอมพิวเตอร้อ่าน)

อัตราการขยายของออฟแอมป์ = 187.8

คอมพิวเตอรค์ำนวนค่าสนามแม่เหล็กจากสมการที่ (3.2) ได้สนามแม่เหล็ก  $7.082 \text{ Wb/m}^2$   
 ดังภาพประกอบที่ 4.14

#### 4.3.3.3 ผลการประยุกต์ใช้เป็นหัววัดการหมุน

หลังจากที่ได้ประกอบวงจร เขียนโปรแกรมและตรวจสอบจนคอมพิวเตอร์สามารถอ่านแรงดันไฟฟ้าได้ก็ได้อัตราการหมุนของแท่งสาร ( $r$ ) = 0.016 m หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่การหมุนกับแรงดันไฟฟ้า ( $f$  vs  $V$ ) ซึ่งได้ผลดังสมการ  $f = 1.2601(AV)(AV)^2 + 9.721(AV)$  นำสมการใส่ในโปรแกรม หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณค่าจาสมาการที่ (3.4) ดังภาพประกอบที่ 4.15

ภาพประกอบที่ 4.15 แสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์ขณะทำการวัดความถี่และความเร็วของ

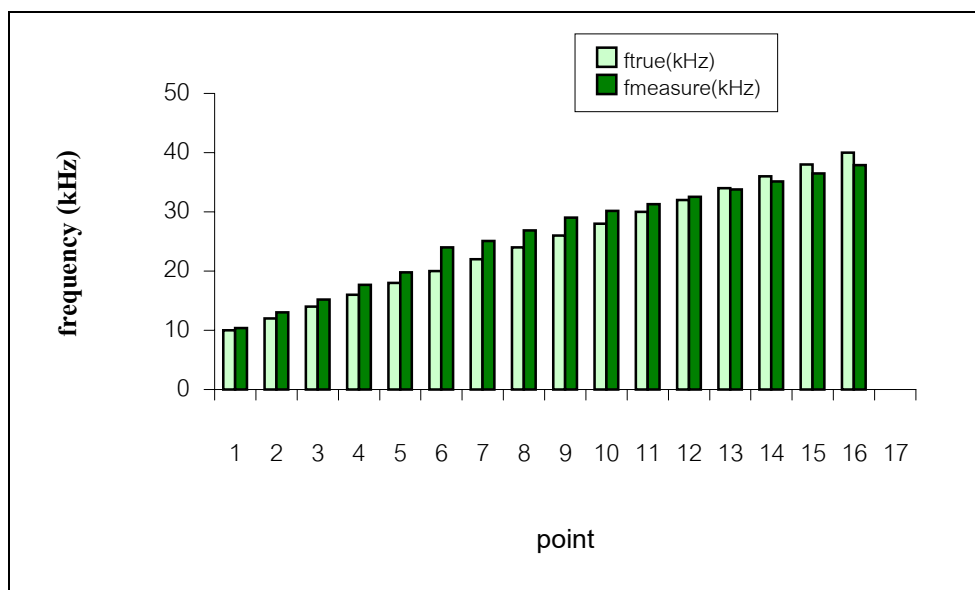
สาร  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

#### 4.4.3.4 ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์การแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าหรือ เป็นอุปกรณ์วัดความถี่ของแรงดันไฟฟ้า

หลังจากที่ได้ทำการปรับเทียบโดยการหา  $f = f(AV)$  แล้วก็นำสมการนี้ใส่ในโปรแกรมแล้วสั่ง RUN แล้วแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความถี่จริง ( $f_{\text{true}}$ ) และความถี่วัด ( $f_{\text{measure}}$ ) ในช่วงความถี่ 10-40 kHz โดยใช้สาร  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  เป็นหัววัดความถี่ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.16 ผล

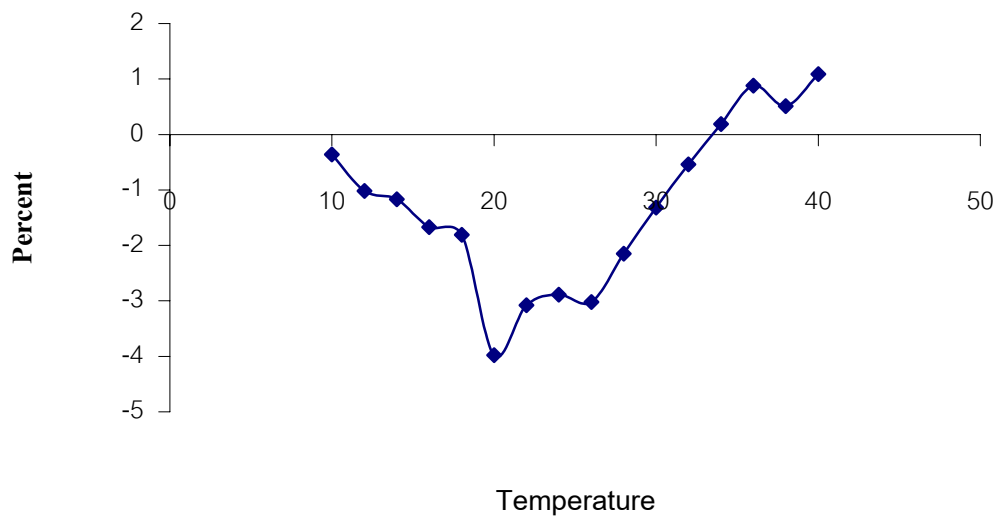


ที่ได้ คือ สารที่เตรียมได้จะทำหน้าที่เป็นหัววัดความถี่ที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ สรุปลแล้วสารสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นหัววัดความถี่ได้



ภาพประกอบที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความถี่จริง (ftrue) และความถี่วัด (fmeasure) ที่ 10 kHz–40 kHz ของสาร  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

เมื่อพิจารณาความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความถี่ที่สร้างขึ้นนี้ได้พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างความถี่จริงกับความถี่วัดในช่วงความถี่ 10 ถึง 40 Hz มีค่าประมาณ 4 % ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.17 ดังนั้นสารสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นหัววัดความถี่ได้



ภาพประกอบที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความถี่จริง กับความถี่วัดของสาร  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ในช่วงความถี่ 10 ถึง 40 Hz