

## บทที่ 3 ผลการวิจัย

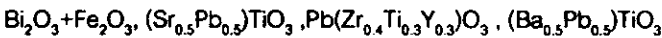
### 3.1 ผลการเตรียมสารตัวอย่าง (sample preparation)

ได้ก่อนการรูปทรงกระบอก อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้เป็น  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  เวลายืนไฟเป็น 1 h ส่วนอุณหภูมิที่ใช้เผาสารมีดังนี้

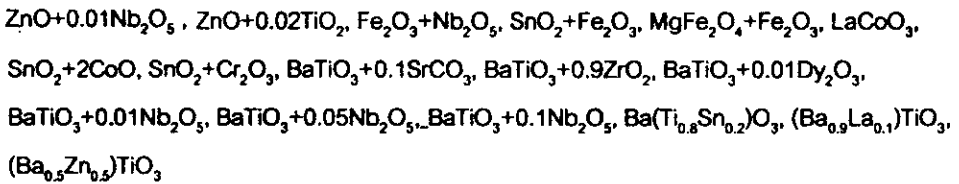
สารที่เผาครั้งที่ 1 ที่  $500^{\circ}\text{C}$  และเผาครั้งที่ 2 ที่  $1100^{\circ}\text{C}$  มีดังนี้



สารที่เผาครั้งที่ 1 ที่  $800^{\circ}\text{C}$  และเผาครั้งที่ 2 ที่  $1100^{\circ}\text{C}$  มีดังนี้



สารที่เผาที่อุณหภูมิ  $1100^{\circ}\text{C}$  มีดังนี้



### 3.2 ผลการตรวจสอบเฟส การวัดขนาดและการทำซีวไฟฟ้า

| สูตรของส่วนผสม  | ความหนา (mm) | เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm) | เฟสที่พบจาก XRD ของสาร  |
|---|--------------|-----------------------|---|
| $\text{ZnO}+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$                | 2.36 mm      | และ 12.95 mm          | $\text{ZnO}$ , $\text{ZnNb}_2\text{O}_6$ และ $\text{Nb}_2\text{O}_5$              |
| $\text{ZnO}+0.02\text{TiO}_2$                         | 2.47 mm      | และ 12.06 mm          | $\text{ZnO}$ และ $\text{ZnTiO}_4$   |
| $\text{NiO}+\text{MnO}_2$                             | 4.53 mm      | และ 12.16 mm          | $\text{NiMn}_2\text{O}_4$   |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Nb}_2\text{O}_5$         | 4.88 mm      | และ 11.73 mm          | $\text{FeNbO}_4$  |
| $\text{SnO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3$                  |              |                       | $\text{SnO}_2$ และ $\text{Fe}_2\text{O}_3$  |
| $\text{MgCO}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$                 |              |                       | $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ และ $x\text{Fe}_2\text{O}_3$                            |
| $0.2\text{MnO}_2+0.8\text{NiO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 1.88 mm      | และ 12.98 mm          | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ และ $\text{NiMn}_2\text{O}_4$ |
| $0.5\text{La}_2\text{O}_3+\text{CoO}$                 | 2.53 mm      | และ 12.5 mm           | $\text{LaCoO}_3$  |
| $\text{Ho}_2\text{O}_3+\text{CuO}$                    | 1.95 mm      | และ 12.324 mm         | $\text{Ho}_2\text{O}_3$ และ $\text{Cu}_2\text{Ho}_2\text{O}_5$                    |
| $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$         |              |                       | $\text{BiFeO}_3$ และ $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$                           |
| $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$                           |              |                       | $\text{ZrO}_2$ และ $\text{Mn}_3\text{O}_4$  |
| $\text{SnO}_2+2\text{CoO}$                            | 3.06 mm      | และ 12.97 mm          | $\text{SnCo}_2\text{O}_4$ และ $\text{SnO}_2$                                      |
| $\text{SnO}_2+\text{Cr}_2\text{O}_3$                  | 3.31 mm      | และ 13.02 mm          | $\text{SnO}_2$ และ $\text{Cr}_2\text{O}_3$  |
| $\text{BaTiO}_3+0.1\text{SrCO}_3$                     | 2.72 mm      | และ 11.929 mm         | $\text{BaTiO}_3+0.1\text{SrCO}_3$   |
| $\text{BaTiO}_3+0.9\text{ZrO}_2$                      | 2.527 mm     | และ 13.707 mm         | $\text{BaTiO}_3+0.9\text{ZrO}_2$  |

|   |                        |   |
|---|------------------------|---|
| $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Dy}_2\text{O}_3$                            | 2.796 mm และ 11.297 mm | $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Dy}_2\text{O}_3$                          |
| $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$                            | 2.76 mm และ 12.95 mm   | $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$                          |
| $\text{BaTiO}_3+0.05\text{Nb}_2\text{O}_5$                            | 2.35 mm และ 12.45 mm   | $\text{BaTiO}_3+0.05\text{Nb}_2\text{O}_5$                          |
| $\text{BaTiO}_3+0.1\text{Nb}_2\text{O}_5$                             | 2.95 mm และ 12.32 mm   | $\text{BaTiO}_3+0.1\text{Nb}_2\text{O}_5$                           |
| $0.5\text{SrCO}_3+0.5\text{PbO}$                                      | 3.27 mm และ 13.80 mm   | $(\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5})\text{TiO}_3$                      |
| $\text{PbO}+0.4\text{ZrO}_2+0.3\text{TiO}_2+0.15\text{Y}_2\text{O}_3$ | 2.80 mm และ 12.39 mm   | $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.4}\text{Ti}_{0.3}\text{Y}_{0.3})\text{O}_3$ |
| $0.5\text{BaCO}_3+0.5\text{PbO}$                                      | 2.56 mm และ 13.30 mm   | $(\text{Ba}_{0.5}\text{Pb}_{0.5})\text{TiO}_3$                      |
| $\text{BaCO}_3+0.2\text{SnO}_2+0.8\text{TiO}_2$                       | 2.73 mm และ 13.04 mm   | $\text{Ba}(\text{Ti}_{0.8}\text{Sn}_{0.2})\text{O}_3$               |
| $0.9\text{BaCO}_3+0.05\text{La}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$             | 3.31 mm และ 13.14 mm   | $(\text{Ba}_{0.9}\text{La}_{0.1})\text{TiO}_3$                      |
| $0.5\text{BaCO}_3+0.5\text{ZnO}+\text{TiO}_2$                         | 3.01 mm และ 12.81 mm   | $(\text{Ba}_{0.5}\text{Zn}_{0.5})\text{TiO}_3$                      |

แพทเทิร์น XRD ของสารทั้งหมดทำให้ดูในบทความที่อยู่ในภาคผนวก

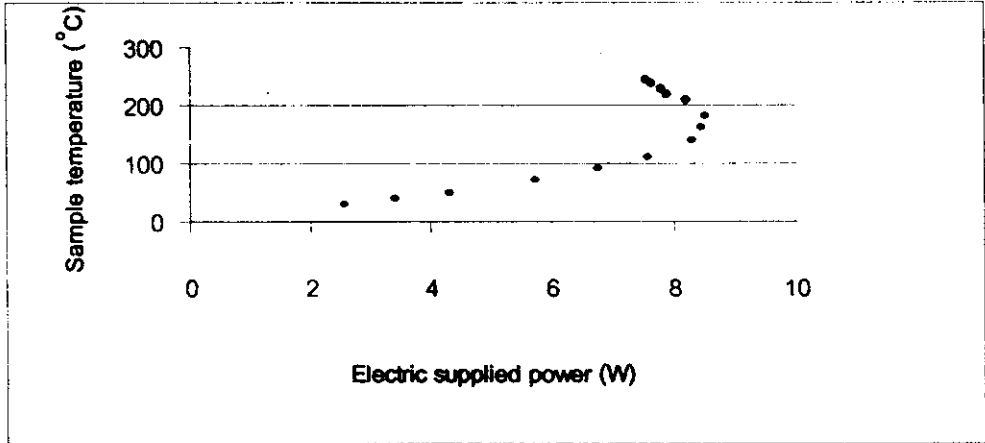
### 3.3 ผลการจัดเตรียมแผงวงจรเชื่อมต้อและเขียนโปรแกรมสำหรับการวัดและควบคุมทั่วไป

แผงวงจรเชื่อมต้อคอมพิวเตอร์ทำงานได้ สามารถวัดค่าของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าบนจอยคอมพิวเตอร์ แผงวงจรที่เชื่อมคอมพิวเตอร์นี้ทำงานโดยอาศัยโปรแกรมเทอร์โมปลาสคาลและจะนำไปดัดแปลงใช้กับการทดลองในหัวข้อถัดๆไป

### 3.4 ผลการทดสอบสารให้ความร้อน

#### 3.4.1 ผลการวัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายกับอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ทำได้

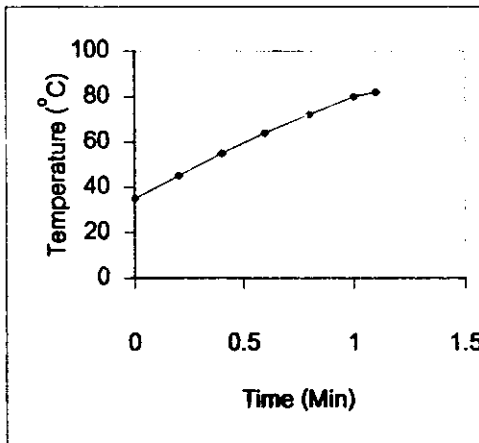
ผลการทดสอบสาร  $\text{ZnO}+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$  แสดงในรูปที่ 3.4.1 พบว่าอุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้นจาก 30 ถึง 180 °C เมื่อสารได้รับกำลังไฟฟ้าในช่วง 2.54 วัตต์ ถึง 8.52 วัตต์ แต่อุณหภูมิของสารในช่วง 180 °C ถึง 245 °C พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่สารจะลดลงจาก 8.52 วัตต์ ไปเป็น 7.55 วัตต์ อุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้อง (24 °C) ไปเป็น 245 °C



รูปที่ 3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารกับกำลังไฟฟ้าที่จ่าย  
ให้แก่สาร  $\text{ZnO}+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$

#### 3.4.2 ผลการวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอร

อุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาของสาร  $\text{ZnO}+0.02\text{TiO}_2$  จากจอคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.4.2 ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ได้จัดเตรียมขึ้นครั้งนี้สามารถแสดงเส้นโค้งนี้ได้ สารชุดนี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้งานเป็นสตรให้ความร้อน



รูปที่ 3.4.2 อุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาของสารให้ความร้อน  $\text{ZnO}+0.02\text{TiO}_2$  ที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์

#### 3.4.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนให้คงที่

สารที่ใช้ทดลองคือ  $\text{YCrO}_3$  อุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ได้ควบคุมให้คงที่ คือ  $100^\circ\text{C}$  ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ขณะทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.4.3

HEATING MATERIAL TEMPERATURE CONTROLLED VALUE

Setting Temperature = 100 °C

FURNACE START

Reading Temperature

DV = ??

AV = ? V

T = 102 °C

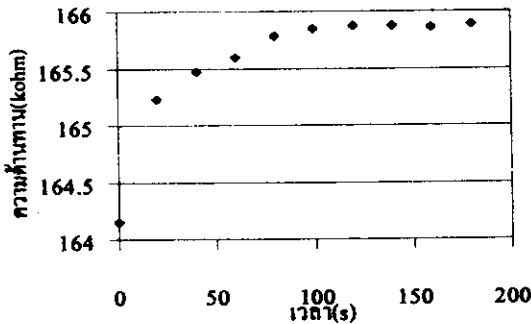
รูปที่ 3.4.3 ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังทดสอบ

### 3.5 ผลการทดสอบเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

#### 3.5.1 ผลการวัดเสถียรภาพทางไฟฟ้าเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

สารที่ทดลองมีสูตรเป็น  $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$  ผลการวัดเสถียรภาพทางไฟฟ้า ( $\Delta R$  vs  $\Delta t$ ) ของสาร แสดงดัง

รูปที่ 3.5.1 สวมความต้านทานตามเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกประมาณ 50-100 วินาที หลังจากนั้นความต้านทานของสารค่อนข้างคงที่ในขณะที่สุดอุณหภูมิซึ่งเป็นการแสดงว่าสารมีเสถียรภาพทางไฟฟ้าดี เหมาะสำหรับนำไปบรรจุอุปกรณ์แบบวงจรอุณหภูมิมาทดแทนวัสดุชนิดอื่นที่มีค่าความต้านทานของอุณหภูมิสูง



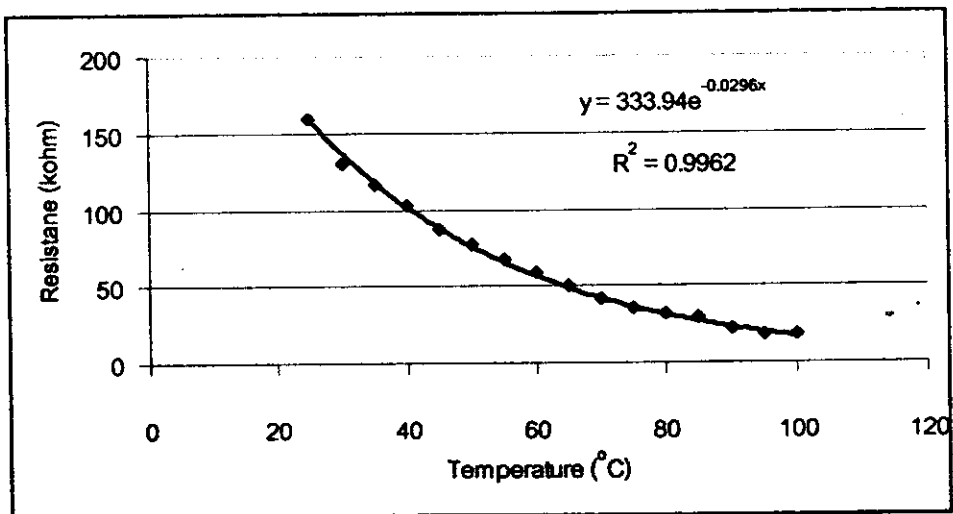
รูปที่ 3.5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (R) และเวลา (t) ของ  $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$

#### 3.5.2 ผลการวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

โดยใช้โพรบมิเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิ

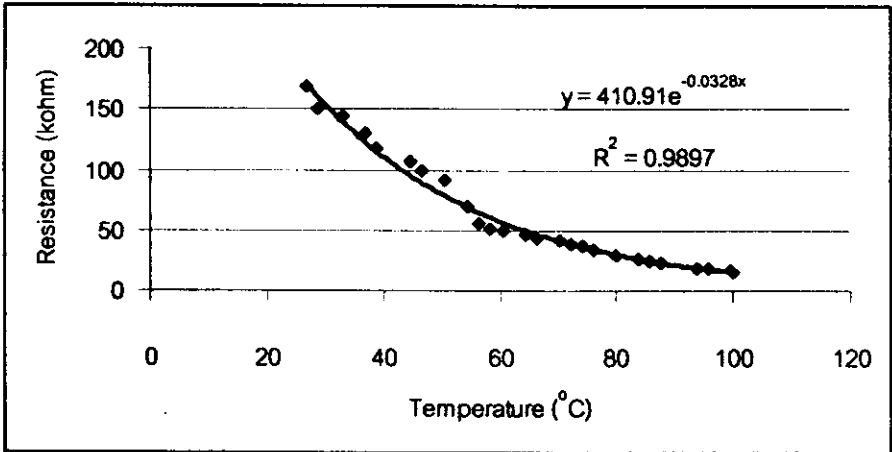
ความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC โดยใช้โพรบมิเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิ

แสดงดังรูปที่ 3.5.2 สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นลบหรือค่าความไวของเทอร์มิสเตอร์ทั้งในย่านสูงกว่าอุณหภูมิห้องมีค่า  $-1.10\%/^{\circ}C$



รูปที่ 3.5.2 ความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของของสาร  $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$  ที่วัดด้วยโพรบมิเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิ

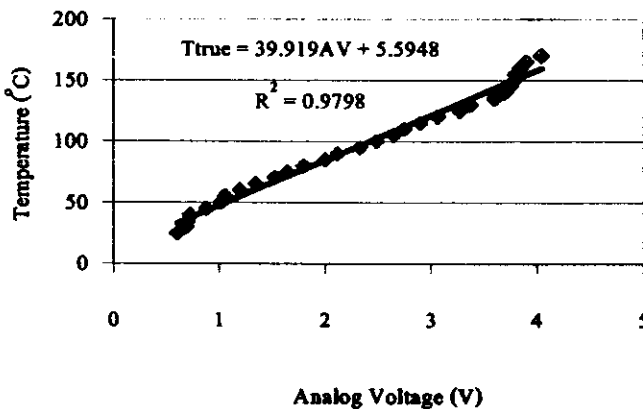
3.5.3 ผลการวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ด้วยคอมพิวเตอร์ ความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.5.3 สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานมีค่า  $-1.16\%/^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.5.3 ความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของของสาร  $\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ด้วยคอมพิวเตอร์

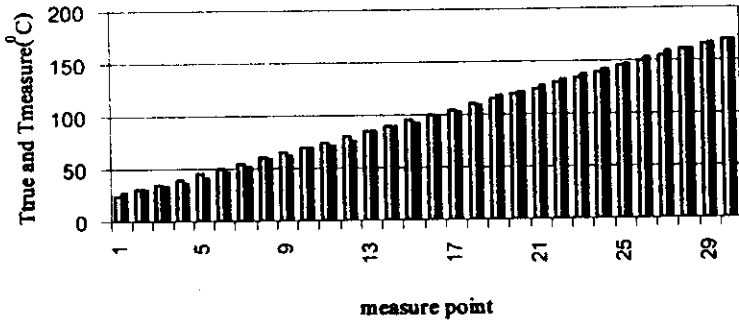
3.5.4 ผลการทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ ด้วยคอมพิวเตอร์

สารที่ทดลองมีสูตรเป็น  $\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (True) กับ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร (AV) ทั้ง 3 ชุด แสดงในรูปที่ 3.5.4 (ก)



รูปที่ 3.5.4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดจริง (True) ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (AV) ในช่วงอุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ถึง  $170^{\circ}\text{C}$  ของสาร  $\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$

เมื่อทำการปรับเทียบเพื่อให้คอมพิวเตอรืทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด แล้วก็เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (True) กับ อุณหภูมิจากเครื่องสร้าง (Tmeasure) ดังแสดงในรูปที่ 3.5.4 (ข) พบว่าสารทั้ง 3 สูตรมีสมบัติเชิงฟิสิกส์เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC และสามารถนำไปทำเป็นหัววัดอุณหภูมิในช่วง 25 °C ถึง 170 °C ได้



รูปที่ 3.5.4 (ข) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (True) กับ อุณหภูมิจากเครื่องสร้าง (Tmeasure) ของสาร  $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$

### 3.5.5 ผลการทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอรื

#### 3.5.5.1 ส่วนสูงกว่าอุณหภูมิห้อง

การทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอรืทำได้โดยการจัดเตรียมสารให้ทำหน้าที่วัดเป็นหัววัดอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ นั้นก่อนซึ่งทำได้โดยอาศัยวิธีการของหัวข้อ 3.5.4 แล้วจึงทดสอบการวัดและควบคุมอุณหภูมิ อุณหภูมิที่จะให้คอมพิวเตอรืควบคุมโดยให้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัดอยู่ในช่วง 25 °C ถึง 200 °C สารที่เตรียมได้ที่ใช้ทดลอง คือ  $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$  ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 3.5.5.1

ตารางที่ 3.5.5.1 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอรืควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าของสาร  $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$

| Setting Temperature (°C) | True(°C)      | Control Temperature or Tmeasure (°C) |
|--------------------------|---------------|--------------------------------------|
| 100                      | 104.67- 96.67 | 99.27-101.23                         |
| 125                      | 128.33-124.33 | 123.93-125.26                        |
| 150                      | 153.67-149.33 | 149.17-150.50                        |
| 175                      | 179.67-173.33 | 173.77-175.70                        |
| 200                      | 219.00-203.00 | 198.73-200.17                        |

### 3.5.5.2 ซ่านต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

การควบคุมอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิต่ำ ( $20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-50^{\circ}\text{C}$ ) จะใช้ในโตรเจนเหลวเป็นแหล่งให้ความเย็น ได้ผลดังตารางที่ 3.5.5.2 สารที่เตรียมได้ที่ใช้ทดสอบ คือ  $\text{Mn}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจริงกับอุณหภูมิที่วัดโดยใช้คอมพิวเตอร์เฉลี่ยประมาณ  $-4.24\%$  ถึง  $+2.94\%$  จากการนำสารตัวอย่างที่เตรียมได้ให้ทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิโดยมีระบบควบคุมอุณหภูมิแบบวงปิด (close loop control) ที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ สิ่งที่ได้ก็คือ ระบบการวัดและควบคุมอุณหภูมิในช่วง  $0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-50^{\circ}\text{C}$  ระบบการควบคุมที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้ได้ดีในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เข้าใจและเรียนรู้ทฤษฎีทางฟิสิกส์ได้ดีมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.5.5.2 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ควบคุมได้จาก  $0$  ถึง  $-50^{\circ}\text{C}$ .

| อุณหภูมิที่ตั้ง ( $^{\circ}\text{C}$ ) | อุณหภูมิที่ควบคุมได้ ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|--|---|
| 0                                      | 0.72 to 0.45 $^{\circ}\text{C}$             |
| -20                                    | -25.13 to -23.67 $^{\circ}\text{C}$         |
| -50                                    | -50.86 to -50.37 $^{\circ}\text{C}$         |

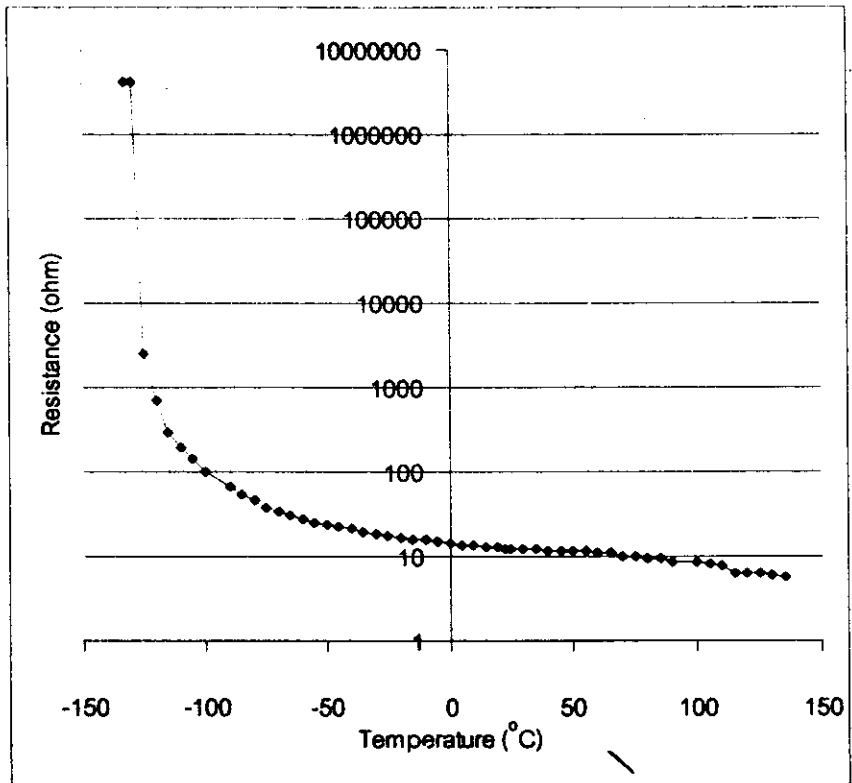
### 3.5.6 ผลการประยุกต์ของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ความเย็น

ผลการวัดสมบัติเส้นที่รีของสาร  $\text{LaCoO}_3$  ในช่วงอุณหภูมิ  $-133$  ถึง  $135^{\circ}\text{C}$  ซึ่งก็คือ ความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิของสารที่เตรียมแสดงดังรูปที่ 3.5.5 จากรูปพบว่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือในทางกลับกันความต้านทานของสารมีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่อุณหภูมิลดลง

ผลการทดสอบเพื่อประยุกต์ใช้เป็นสวิทช์ความเย็นของ  $\text{LaCoO}_3$  นั้นพบว่าการทำงานเป็นสวิทช์ความเย็นนี้มีสองจังหวะดังนี้

- จังหวะที่ 1 : ที่อุณหภูมิห้อง ( $23^{\circ}\text{C}$ ) สารมีความต้านทาน 12.46 โอห์ม กระแสไหลในวงจรมีค่าสูง ชดลวดของรีเลย์ มีอำนาจแม่เหล็ก ความต้านทานที่มัลติมิเตอร์อ่านได้มีค่าสูง (สวิทช์ 3 ไม่ต่อกับ 5)
- จังหวะที่ 2 : ชุมสารลงในไนโตรเจนเหลว ( $-133^{\circ}\text{C}$ ) สารมีความต้านทาน 4.25 เมกกะโอห์ม กระแสไหลในวงจรมีค่าต่ำ ชดลวดของรีเลย์ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก ความต้านทานที่มิเตอร์อ่านได้มีค่าต่ำ (สวิทช์ 3 ต่อกับ 5) ได้ยินเสียงการตัดต่อสวิทช์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารสามารถทำงานเป็นสวิทช์ความเย็นได้ ช่วงเวลาดังแต่ก่อนขณะไนโตรเจนเหลว (12.46 โอห์ม) จนกระทั่งไนโตรเจนเหลว (4.25 เมกกะโอห์ม) มีค่าเท่ากับ 11.34 วินาที



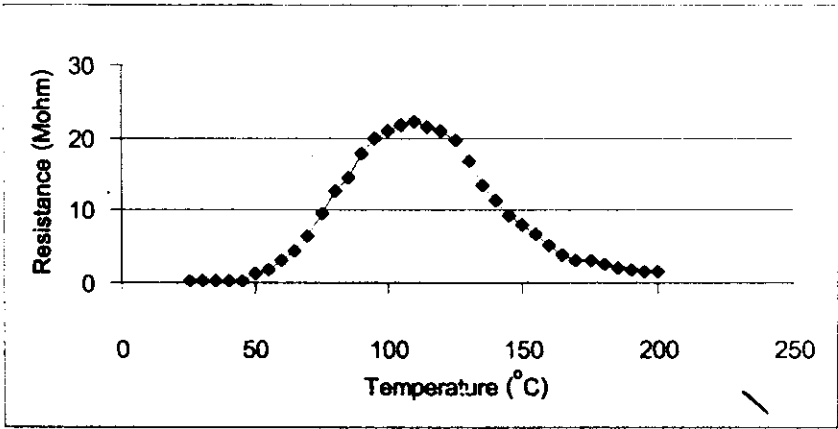


รูปที่ 3.5.5 ความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร LaCoO<sub>3</sub>

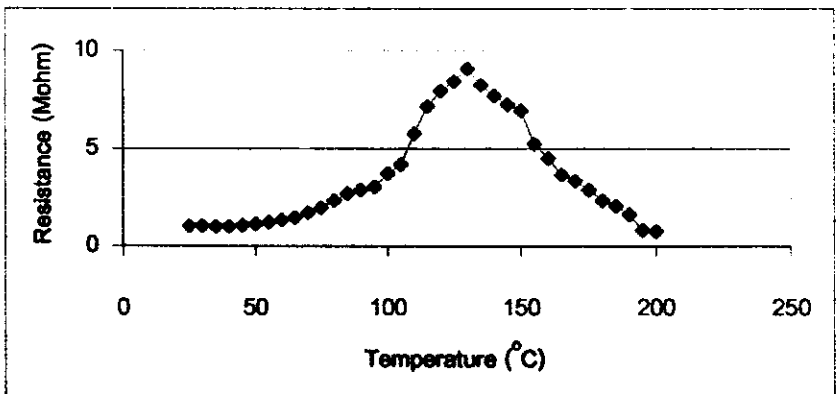
### 3.6 การทดสอบเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

#### 3.6.1 ผลการวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

สารที่ทดลองมี 2 สาร คือ สารที่ 1 :  $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  และสารที่ 2 :  $\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$  ความสัมพันธ์ของความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสารตัวอย่างในช่วง 25 ถึง 200 °C แสดงดังรูปที่ 3.6.1 ความต้านทานของสารที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ยุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 25 ถึง 110 °C สารแสดงปรากฏการณ์ PTC และความต้านทานมีค่าลดลงในขณะที่ยุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกจาก 110 ถึง 200 °C สารแสดงปรากฏการณ์ NTC แต่สารที่ 2 แสดงปรากฏการณ์ PTC ในช่วง 25 ถึง 130 °C และปรากฏการณ์ NTC ในช่วง 130 ถึง 200 °C



ก.  $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$



ข.  $\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$

รูปที่ 3.6.1 ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของสาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{ZrO}_2 + \text{MnO}_2$

### 3.6.2 ผลการทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิจากเครื่องจริง (True) และแรงดันไฟฟ้า (AV) แสดงดังรูปที่ 3.6.2.1 และสอดคล้องตามสมการ

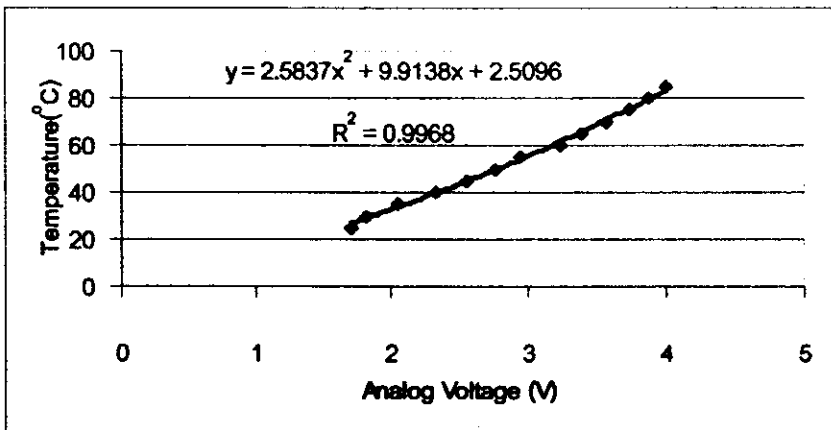
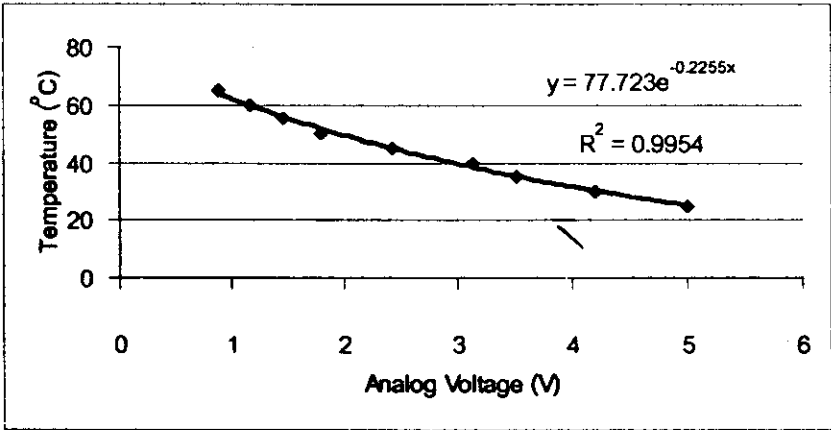
$$\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ttrue} = 77.723e^{-0.2255(\text{AV})}$$

$$\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2 : \text{Ttrue} = 2.5837(\text{AV})^2 + 9.9138(\text{AV}) + 2.5096$$

เส้นโค้งในรูป ก และ ข มีความชันต่างกันเนื่องจากการต่อตัวต้านทานโหลด RL กับสารต่อสลับกันในขณะที่ติดตั้งสารที่เตรียมที่ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ สมการทั้งสองข้างบนใช้สำหรับการปรับเทียบเพื่อให้สารที่เตรียมได้ทั้งสองเป็นหัววัดอุณหภูมิ

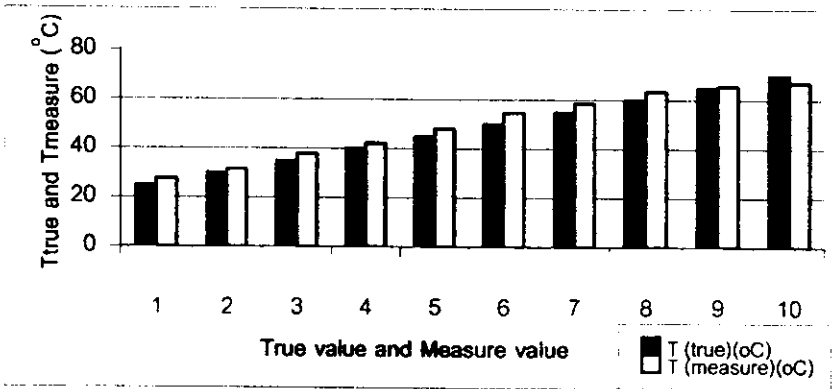
รูปที่ 3.6.2.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (True) และอุณหภูมิจากเครื่องวัด (Tmeasure) จากรูปพบว่าสาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$  แสดงสมบัติเชิงฟิสิกส์ของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC และสามารถใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิในช่วง 25 to 65 °C และ 25 to 85 °C

ก.  $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  (25-65 °C)

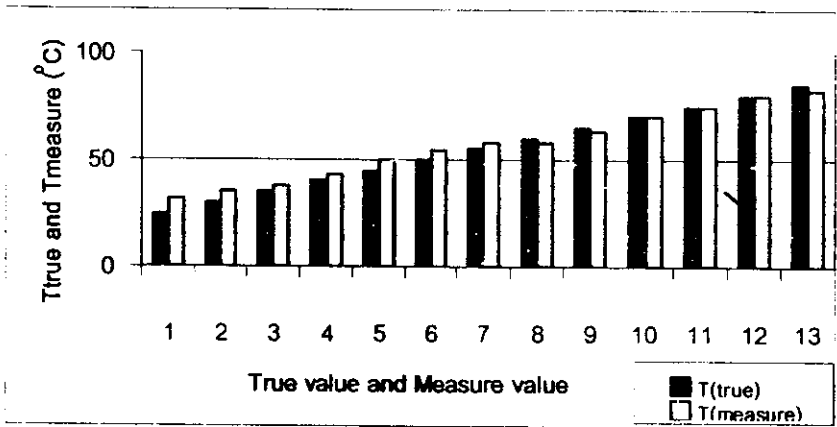


ข.  $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$  (25-85 °C)

รูปที่ 3.6.2.1 อุณหภูมิที่สัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าของสาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$



ก.  $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  (25-65 °C)



ข.  $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$  (25-85 °C)

รูปที่ 3.6.2.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง (True) และอุณหภูมิจากเครื่องวัด (Tmeasure) ของสาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{ZrO}_2+\text{MnO}_2$

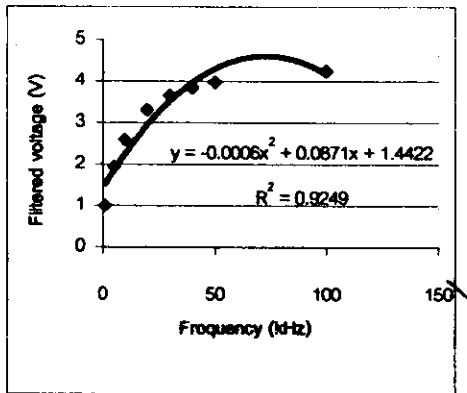
### 3.7 ผลการทดสอบตัวเก็บประจุไฟฟ้า

#### 3.7.1 ผลการวัดสมบัติไดอิเล็กทริกในสนามไฟฟ้าสลับ

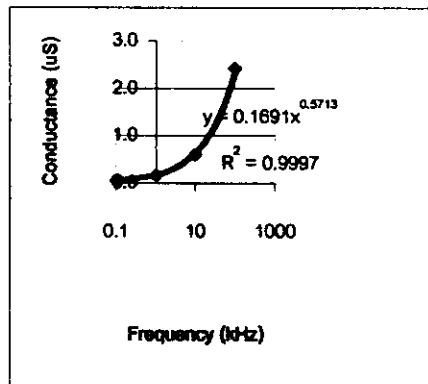
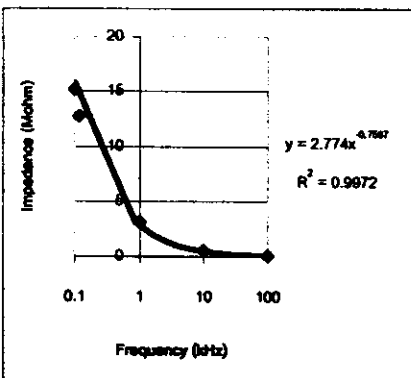
สารที่ทดลองมีสูตรเป็น  $\text{BaTiO}_3 + 0.01\text{Dy}_2\text{O}_3$  เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าไปยังสาร 1000 mV พบว่าได้กราฟ Z, G, C, D, Q vs f ที่อุณหภูมิห้อง ( $24^\circ\text{C}$ ) มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.7.1 ผลการวัดที่ความถี่ 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz พบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นอิมพีแดนซ์ ความจุไฟฟ้าและตัวประกอบการสูญเสียมีค่าลดลง แต่ความนำไฟฟ้าและตัวประกอบคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้น

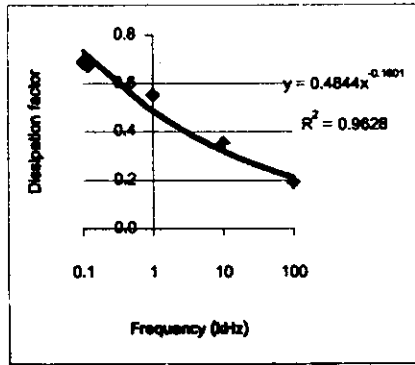
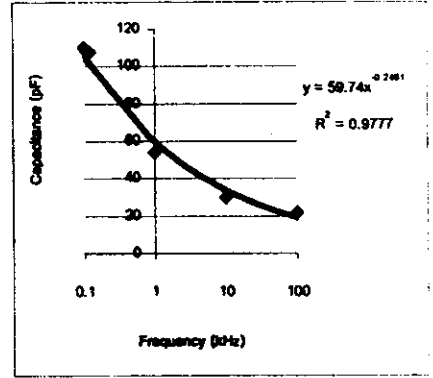
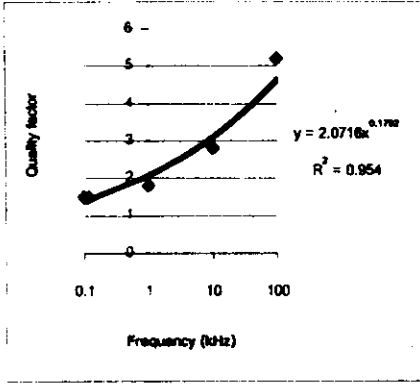
#### 3.7.2 ผลการทดสอบทดสอบอุปกรณ์กรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน

สารที่ทดลองมีสูตรเป็น  $\text{BaTiO}_3 + 0.01\text{Dy}_2\text{O}_3$  ลักษณะเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.7.2



รูปที่ 3.7.2 ผลการทดสอบทดสอบอุปกรณ์กรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน  
ของสาร  $\text{BaTiO}_3 + 0.01\text{Dy}_2\text{O}_3$



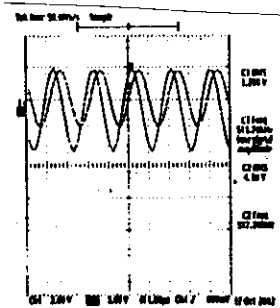


รูปที่ 3.7.1 อิมพีแดนซ์, ความนำไฟฟ้า, ความจุไฟฟ้า, ตัวประกอบที่สูญเสียและตัวประกอบคุณภาพ ที่ความถี่ 100Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz ของสาร BaTiO<sub>3</sub>+0.01Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

3.7.3 ผลการทดสอบการเลื่อนเฟสของสาร

สารที่ทดสอบมีสูตรเป็น BaTiO<sub>3</sub>+0.01Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ผลการทดสอบที่ความถี่ประมาณ 513 kHz แสดงดังรูปที่

3.7.3 ภาพของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานกับภาพของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารที่เตรียมได้ปรากฏขึ้นที่ เวลาต่างกัน



รูปที่ 3.7.3 ผลการทดสอบการเลื่อนเฟสของสาร BaTiO<sub>3</sub>+0.01Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### 3.7.4 ผลการทดสอบการเก็บประจุและคายประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

สารที่ 1 เป็น  $Ba_{0.9}La_{0.1}TiO_3$  สารที่ 2 เป็น  $(Ba_{0.5}Zn_{0.5})TiO_3$  ภาพที่แสดงการเก็บและคายประจุของสารที่เตรียมได้ที่เห็นบนจอคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.7.4

ก. สารที่ 1

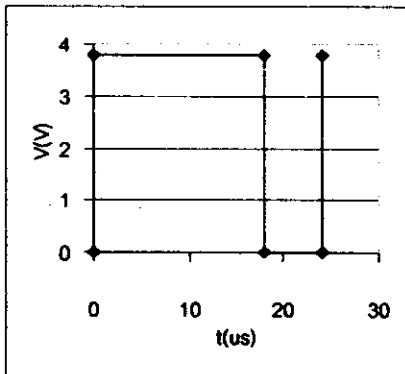
ข. สารที่ 2

### รูปที่ 3.7.4 ผลการทดสอบการเก็บประจุและคายประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

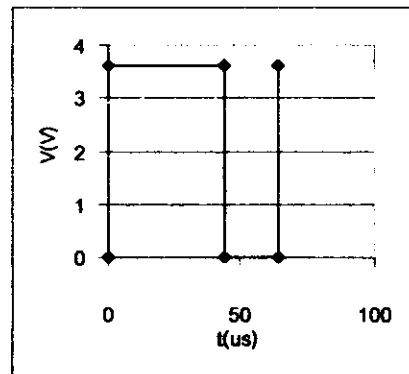
ของสาร  $Ba_{0.9}La_{0.1}TiO_3$  และสาร  $(Ba_{0.5}Zn_{0.5})TiO_3$

### 3.7.5 ผลการนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าไปใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์

ภาพของแรงดันไฟฟ้าบนจอออสซิลโลสโคปเมื่อใช้สาร  $Bi_2O_3 + 0.1Y_2O_3$  ที่เตรียมได้และใช้ตัวเก็บประจุเชิงการค้ำในวงจรออสซิลเลเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.7.5



(ก) สาร  $Bi_2O_3 + 0.1Y_2O_3$

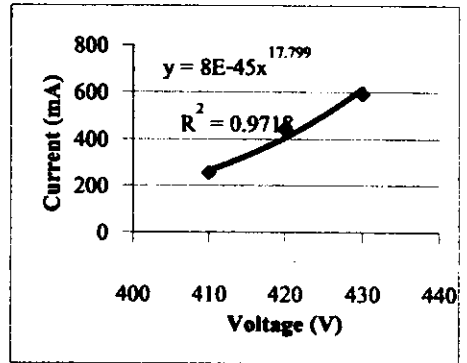
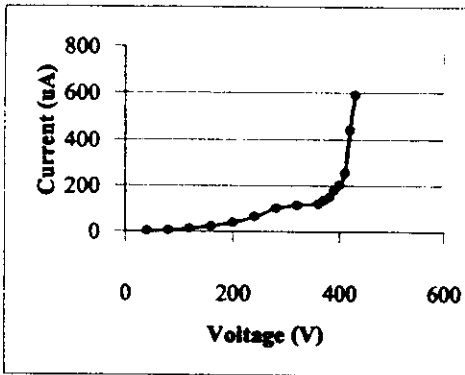


(ข) ตัวเก็บประจุเชิงการค้ำ

รูปที่ 3.7.5 ผลการนำสาร  $Bi_2O_3 + 0.1Y_2O_3$  ที่เตรียมได้และตัวเก็บประจุเชิงการค้ำไปใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์

3.7.6 ผลการทดสอบสมบัติวารีสเคอร์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

สารที่ทดลองมีสูตรเป็น  $BaTiO_3 + 0.10Nb_2O_5$  ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารกับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมและเลขรีก่าลิ่งที่ไม่เป็นเชิงเส้นแสดงดังรูปที่ 3.7.6 เลขรีก่าลิ่งที่ไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า 17.8



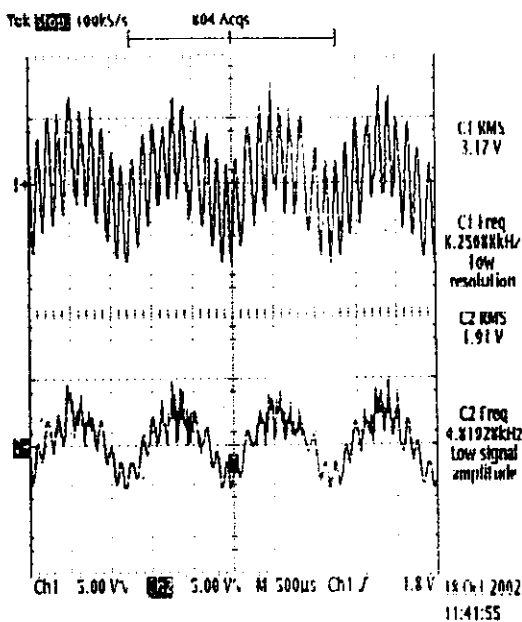
ก. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร

ข. การหาเลขรีก่าลิ่งที่ไม่เป็นเชิงเส้น

รูปที่ 3.7.6 ผลการทดสอบสมบัติวารีสเคอร์ของสาร  $BaTiO_3 + 0.10Nb_2O_5$

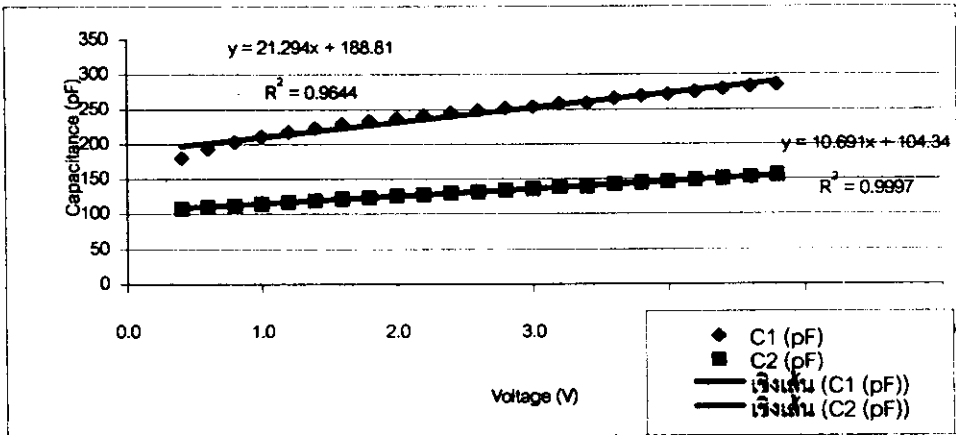
3.7.7 ผลการทดสอบสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

สารที่ 1 เป็น  $Ba_{0.9}La_{0.1}TiO_3$  สารที่ 2 เป็น  $(Ba_{0.9}Zn_{0.1})TiO_3$  สมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.7.7 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า (C) กับแรงดันไฟฟ้า (V) แสดงดังรูปที่ 3.7.7 จากกราฟเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นพบว่าสารที่ 1 จะมีค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังสมการ  $C = 21.294x + 188.81$  ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สารที่ 2 จะมีค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังสมการ  $C = 10.691V + 104.34$  ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการแยกแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำออกจากแรงดันไฟฟ้าความถี่ผสมระหว่างความถี่ต่ำกับความถี่สูง





รูปที่ 3.7.7 ผลการทดสอบสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ของสาร  $Ba_{0.9}La_{0.1}TiO_3$  และสาร  $(Ba_{0.5}Zn_{0.5})TiO_3$

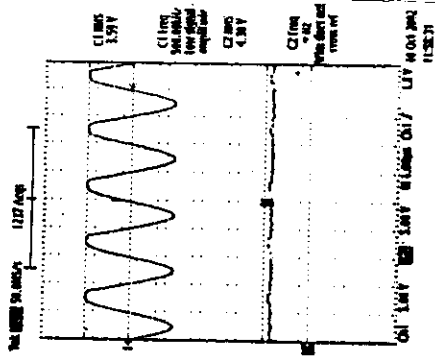
### 3.7.8 ผลการทดสอบการแยกแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำออกจากแรงดันไฟฟ้าความถี่ผสมระหว่างความถี่ต่ำกับความถี่สูง

สารที่ทดสอบมีสูตรเป็น  $BaTiO_3+0.01Dy_2O_3$  ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.7.8 สารสามารถแยกความถี่ต่ำออกจากแรงดันไฟฟ้าความถี่ผสมระหว่างความถี่ต่ำกับความถี่สูงได้ดี

รูปที่ 3.7.8 ผลการทดสอบการแยกแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำออกจากแรงดันไฟฟ้าความถี่ผสมระหว่างความถี่ต่ำกับความถี่สูงของสาร  $BaTiO_3+0.01Dy_2O_3$

### 3.7.9 ผลการทดสอบเป็นตัวเก็บประจุความถี่สูง

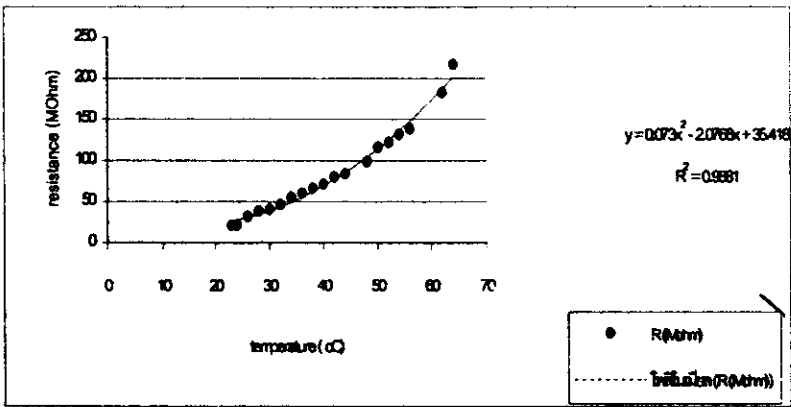
สารที่ทดสอบมีสูตรเป็น  $BaTiO_3+0.01Dy_2O_3$  ผลการวัดแสดงดังรูปที่ 3.7.9 สารที่ผ่านการทำขั้วไฟฟ้าด้วยการเงินมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพียงแต่ยังไม่ได้หุ้มสารเท่านั้น สารแสดงพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า(charge)และคายประจุไฟฟ้า(discharge) ผลของการเก็บและคายประจุไฟฟ้าทำให้สารสามารถกรองแรงดันไฟฟ้าได้เรียบได้ ผลที่แสดงอยู่ที่ความถี่ประมาณ 500 kHz



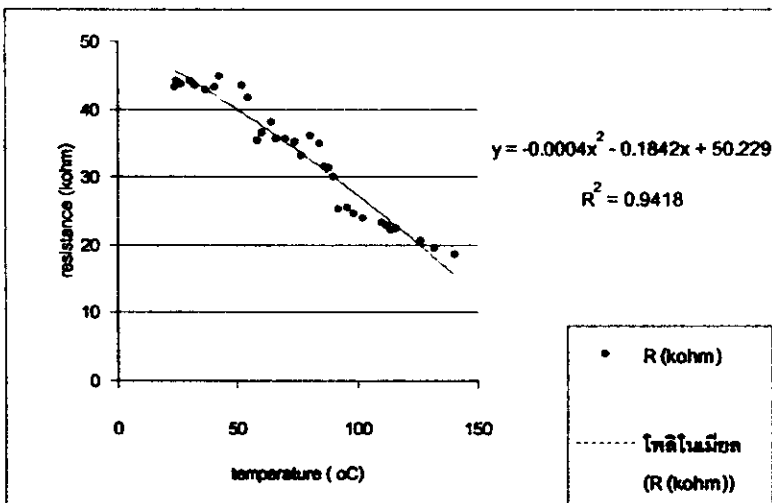
รูปที่ 3.7.9 ผลการทดสอบเป็นตัวแทนของความถี่สูงของสาร  $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Dy}_2\text{O}_3$

**3.7.10 ผลการทดสอบผลของสนามไฟฟ้าแรงสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของตัวเก็บประจุ**

สารที่ทดสอบมีสูตรเป็น  $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$  ผลของสนามไฟฟ้าแรงสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของสารจาก PTC ไปเป็น NTC แสดงดังรูปที่ 3.7.10



ก. แสดงผลการทดสอบปรากฏการณ์ PTC ก่อนโหลิง



ข. แสดงผลการทดสอบปรากฏการณ์ NTC หลังโหลิง

รูปที่ 3.7.10 ผลของสนามไฟฟ้าแรงสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของสาร  $\text{BaTiO}_3+0.01\text{Nb}_2\text{O}_5$  จาก PTC ไปเป็น NTC

### 3.7.11 ผลการทดสอบการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่

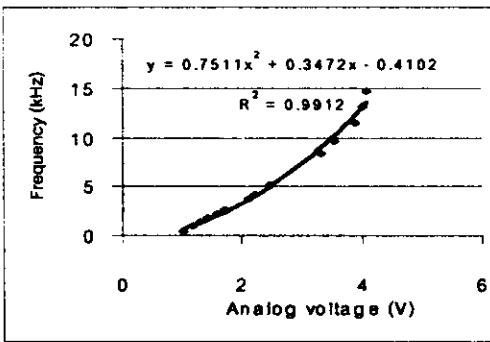
สารที่ 1 เป็น  $Ba_{0.9}La_{0.1}TiO_3$  สารที่ 2 เป็น  $(Ba_{0.5}Zn_{0.5})TiO_3$  ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จากเครื่องจริง

(true) กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร (AV) ของสารที่ 1 และ 2 แสดงในรูปที่ 3.7.11.1

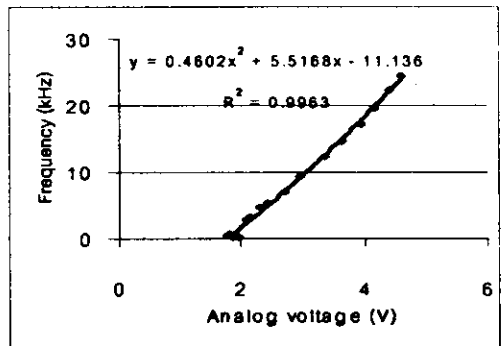
ผลการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จากเครื่องจริง (true) กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร (AV) ของสาร มีดังนี้

สารที่ 1 :  $f = 0.7511(AV)^2 + 0.3472(AV) - 0.4102$  ในช่วงความถี่ 0.396 kHz ถึง 14.65 kHz

สารที่ 2 :  $f = 0.4602(AV)^2 + 5.5168(AV) - 11.136$  ในช่วงความถี่ 0.4 kHz ถึง 24.41 kHz



สารที่ 1



สารที่ 2

รูปที่ 3.7.11.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องวัดจริง (true) กับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (AV) ของสาร  $Ba_{0.9}La_{0.1}TiO_3$  และสาร  $(Ba_{0.5}Zn_{0.5})TiO_3$

ทำการปรับเทียบ (calibration) สารที่ 1 และ 2 ที่เตรียมได้เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดความถี่ เมื่อเปรียบเทียบกับ

ความแตกต่างระหว่างความถี่จากเครื่องจริง (true) กับ ความถี่จากเครื่องสร้าง (fmeasure) ได้ผลดังแสดงในรูปที่

3.7.11.2 ผลปรากฏว่าสารแสดงการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า (frequency-to-voltage conversion) และการ

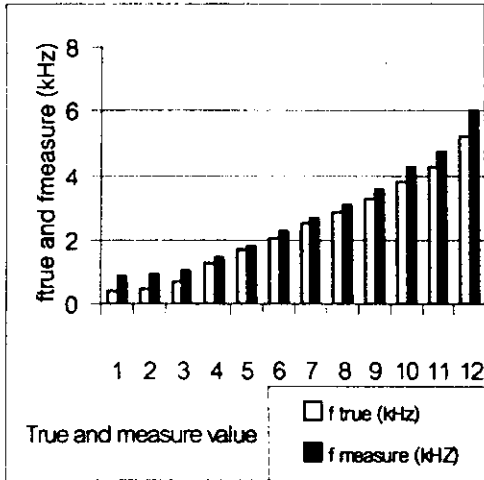
แปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (voltage-to-frequency conversion) และสามารถนำไปทำเป็นหัววัดความถี่

(frequency sensor)

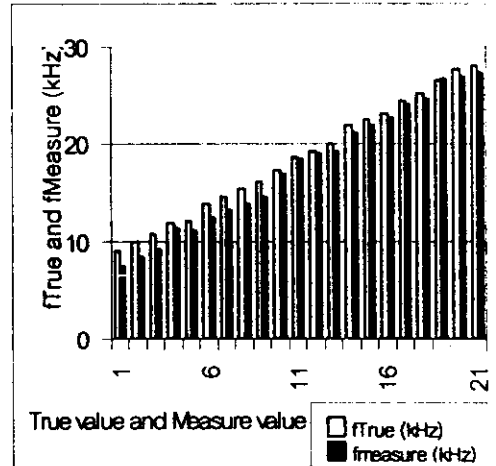
ช่วงความถี่ที่วัดได้มีดังนี้

สารที่ 1 : 0.88 kHz ถึง 6.03 kHz

สารที่ 2 : 7.48 kHz ถึง 27.25 kHz



สารที่ 1

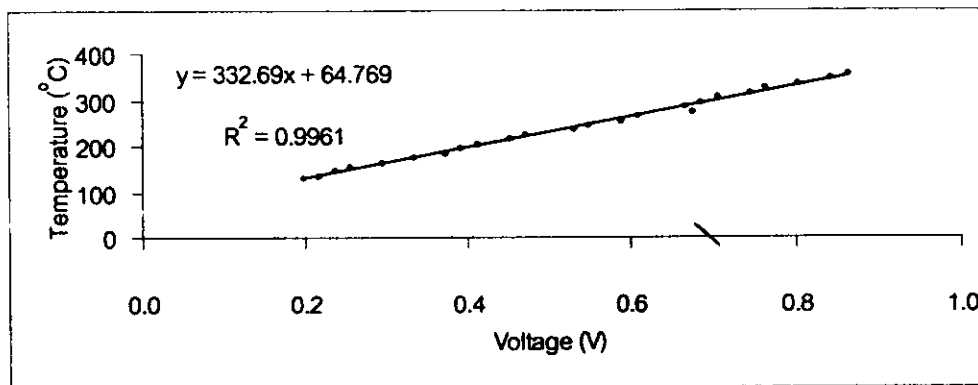


สารที่ 2

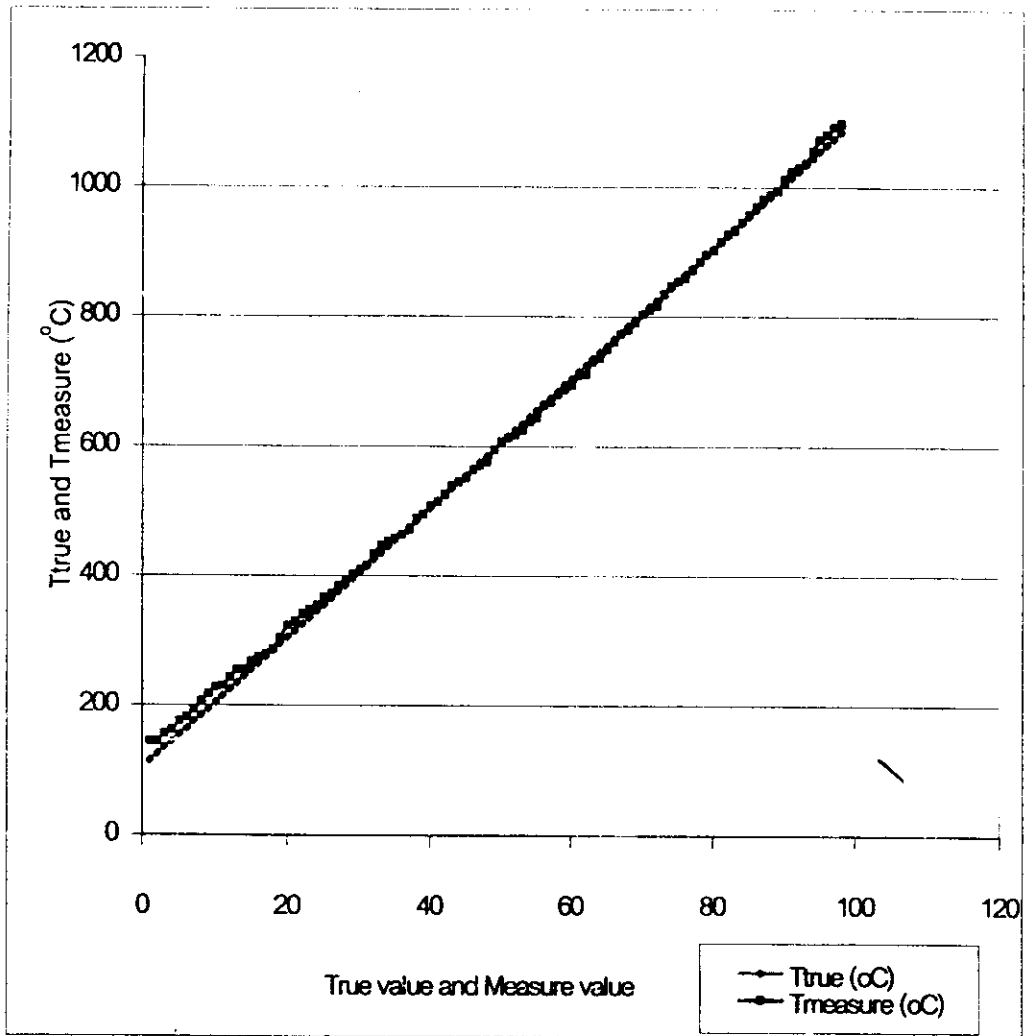
รูปที่ 3.7.11.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องจริง (ftrue) กับความถี่ที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ (fmeasure) ของสาร  $\text{Ba}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{TiO}_3$  และสาร  $(\text{Ba}_{0.5}\text{Zn}_{0.5})\text{TiO}_3$

### 3.8 ผลการจัดเตรียมเตาหลอม

การทดลองใช้เตาหลอมสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยโครงเตาหลอม วัสดุความร้อนและฉนวนความร้อน แต่ยังไม่มียระบบควบคุมอุณหภูมิ การทดลองครั้งนี้ได้ประกอบวงจรเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์และเขียนโปรแกรมควบคุมที่ใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิห้อง ( $25^{\circ}\text{C}$ ) ถึง  $1100^{\circ}\text{C}$  เตาหลอมนี้สามารถทำอุณหภูมิสูงสุด  $1100^{\circ}\text{C}$  ได้เขียนโปรแกรมให้ควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมโดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ  $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$  และเวลายืนไฟ  $\frac{1}{2}$  h ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่ชื่อ (T) กับ แรงดันอนุาลอกบนจอ (AV) ในช่วง 25 ถึง  $1100^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 3.8.1 ความสัมพันธ์ที่ได้จากเส้นกราฟ คือ สมการ  $T = 332.69(\text{AV}) + 64.769$  โดยที่  $R^2 = 0.9961$  การเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิจริง (True) และ อุณหภูมิวัด (Tmeasure) ในช่วงอุณหภูมินี้แสดงดังรูปที่ 3.8.2 ก็จะได้ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้า ภาพบนจอคอมพิวเตอร์ที่แสดงรายละเอียดต่างๆในขณะทำงาน เช่น ชื่อโปรแกรม อุณหภูมิของเตาแสดงดังรูปที่ 3.8.3



รูปที่ 3.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่ชื่อ (T) กับ แรงดันอนุาลอกบนจอ (AV)



รูปที่ 3.8.2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิจริง (True) และอุณหภูมิวัด (Tmeasure) ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 900 °C

## FURNACE TEMPERATURE CONTROLLER (25-1100 °C) FOR CERAMICS

Setting Temperature = 1100 °C

FURNACE START

Reading Temperature

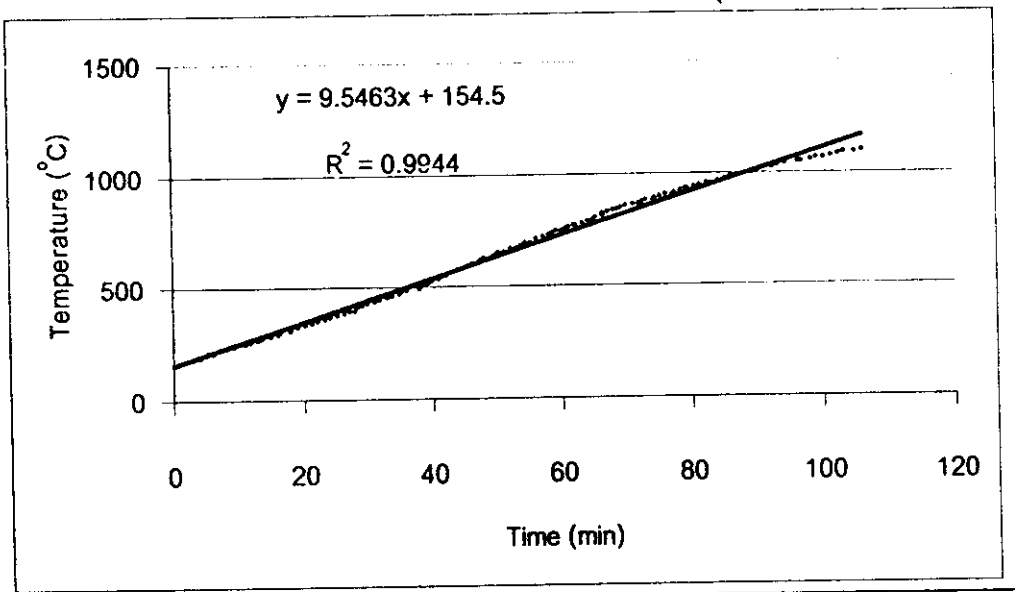
DV = ??

AV = 2.9 V

T = 1099 °C

รูปที่ 3.8.3 ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ในขณะที่ใช้งาน

เมื่อใช้คอมพิวเตอร์ที่ต่อกับแผงวงจรเชื่อมต่อสำหรับควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและวัดอุณหภูมิแล้วก็วัดอุณหภูมิภายในเตาหลอม (T) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (t) พบว่าได้ผลดังรูปที่ 3.8.4



รูปที่ 3.8.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา กับอุณหภูมิภายในเตาหลอม