

บทที่ 4

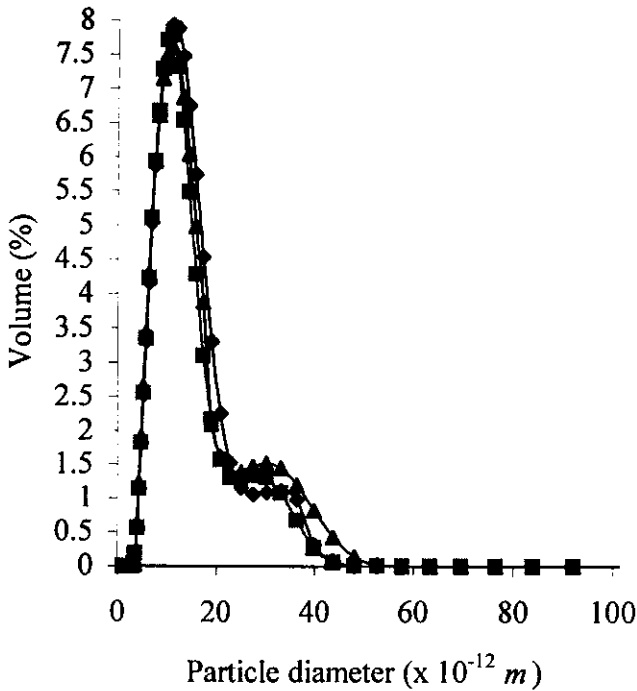
ผลการทดลองและการอภิปราย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการทดลองเป็น 2 ส่วน คือการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของ PZT ที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีปฏิกิริยาตรง และการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า สำหรับการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือต่างๆ และใช้วงจรไฟฟ้าที่ประกอบขึ้น (ภาพประกอบที่ 3.8) เพื่อใช้ในการวัดค่าความถี่เรโซแนนซ์และความถี่แอนติเรโซแนนซ์ของ PZT

1. การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของ PZT

1.1 ขนาดอนุภาคของ PZT

ผลจากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยลำแสงเลเซอร์ ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4.1

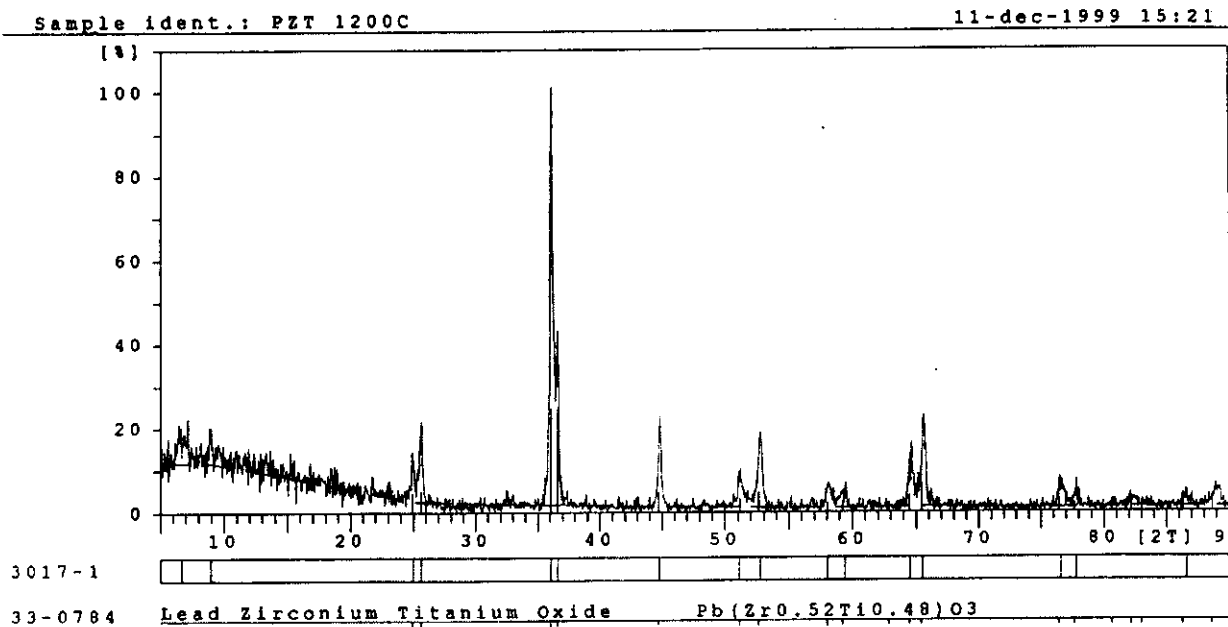


ภาพประกอบที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับขนาดอนุภาค

การวัดขนาดอนุภาคของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่ อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการวัด 3 ครั้ง มีค่าขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 2.9 ถึง 63.4 μm โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 13.2 μm (ดูภาพผนวก (ก)) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคนี้ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีค่ามาก นั่นก็เพราะผงของสารตัวอย่างมักจะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่ายขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการบดหลังจากการเผาแคลไซน์ใช้เวลาในการบดน้อยไปและใช้ตะแกรงที่มีขนาดรูใหญ่เกินไป

1.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างของผลึก PZT

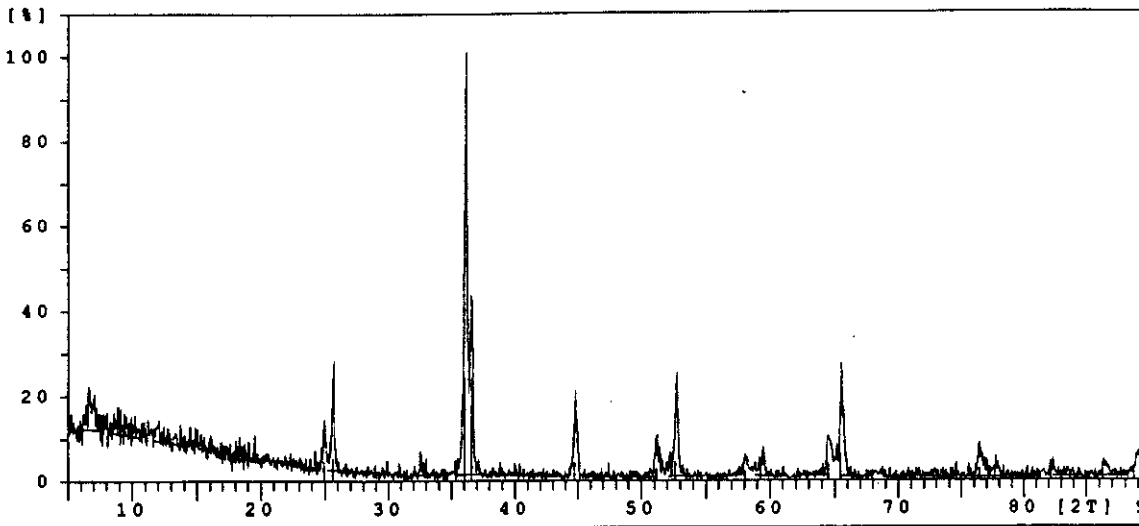
ใช้เทคนิควิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและ โครงสร้างผลึกของ PZT ที่ได้กระกระบวนการเตรียมแบบปฏิกิริยาตรง และอบผืนที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1285 °C ตามลำดับ และแสดงผลลวดลายการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) ดังภาพประกอบที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4.2 ลวดลายการเลี้ยวเบนของผง PZT เมื่ออบผืนที่ 1200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

Sample ident.: PZT 1250C

11-dec-1999 15:35



3017-3

33-0784

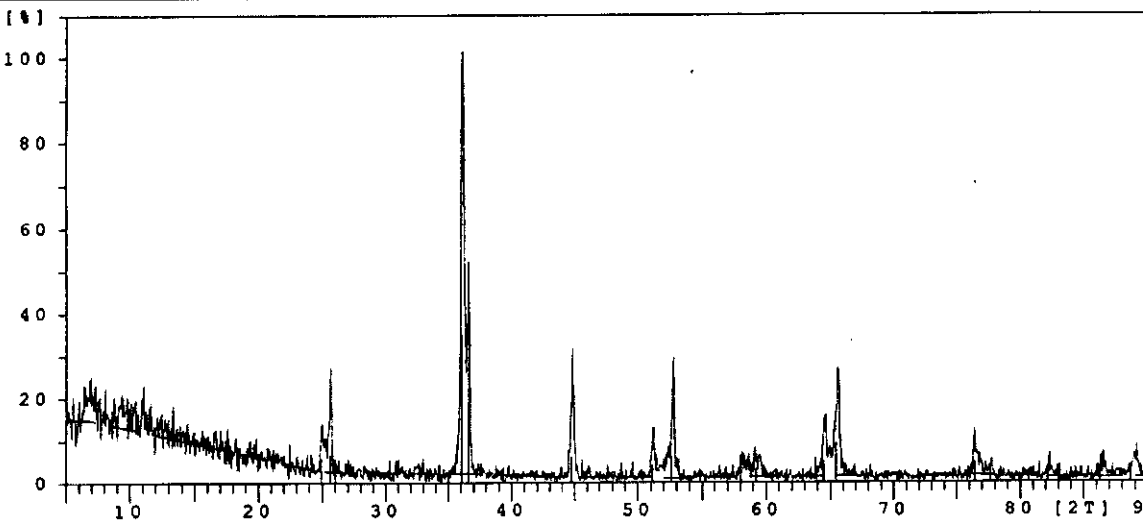
Lead Zirconium Titanium Oxide

 $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$

ภาพประกอบที่ 4.3 ลวดลายการเลี้ยวเบน ของผง PZT เมื่ออบพูนึกที่ 1250 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

Sample ident.: PZT 1285C

11-dec-1999 15:36



3017-2

33-0784

Lead Zirconium Titanium Oxide

 $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$

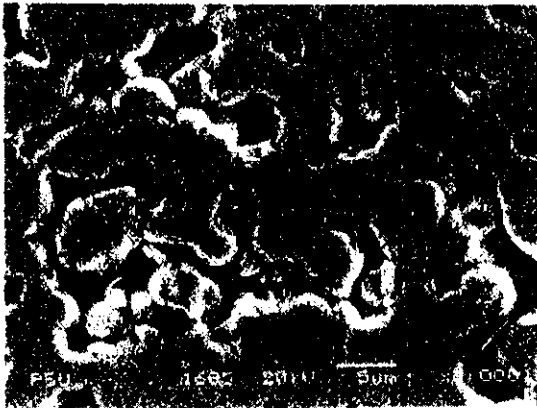
ภาพประกอบที่ 4.4 ลวดลายการเลี้ยวเบนของผง PZT เมื่ออบพูนึกที่ 1285 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การเตรียม PZT จากการบดผสมแบบปฏิกิริยาตรง ผงของ PbO ZrO_2 และ TiO_2 และอบพูนึกที่ อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1250 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตรวจสอบค่าความยาวโครงผลึก และเฟส

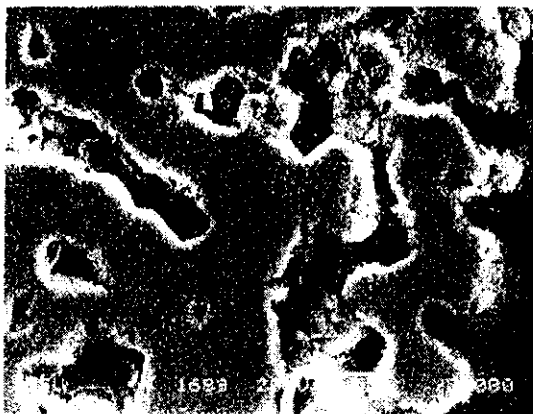
โครงสร้างของผง PZT ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1250 °C ตามลำดับ โดยเทคนิควิธีเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์และโดยนำผลเมื่ออบแห้งที่ของผง PZT ที่ได้จากการอบแห้ง ทั้ง 3 อุณหภูมิ มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน JCPDF หมายเลข 33-0784 พบว่า PZT ที่เตรียมได้มี เฟสโครงสร้างผลึกแบบเพอรอฟสไกต์ เตตระโกนอล มีค่าความยาวโครงสร้างผลึก ดังแสดงในภาคผนวก (ข) และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ ซึ่งเป็น PZT อัตราส่วนที่บริเวณ MPB

1.3 โครงสร้างจุลภาค

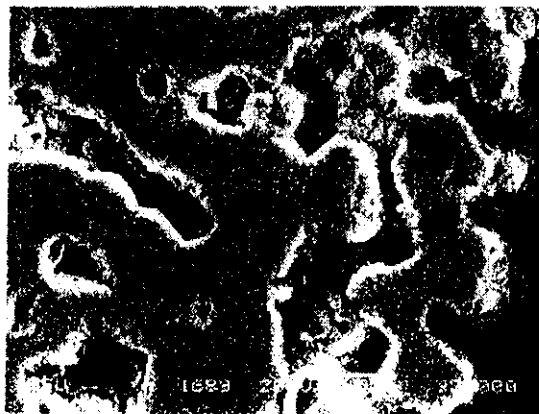
ตรวจสอบขนาดเกรนของ PZT ผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1285 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยอาศัยภาพถ่าย SEM แสดงดังภาพประกอบที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงลักษณะเกรน ของ PZT อบแห้งที่ 1200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



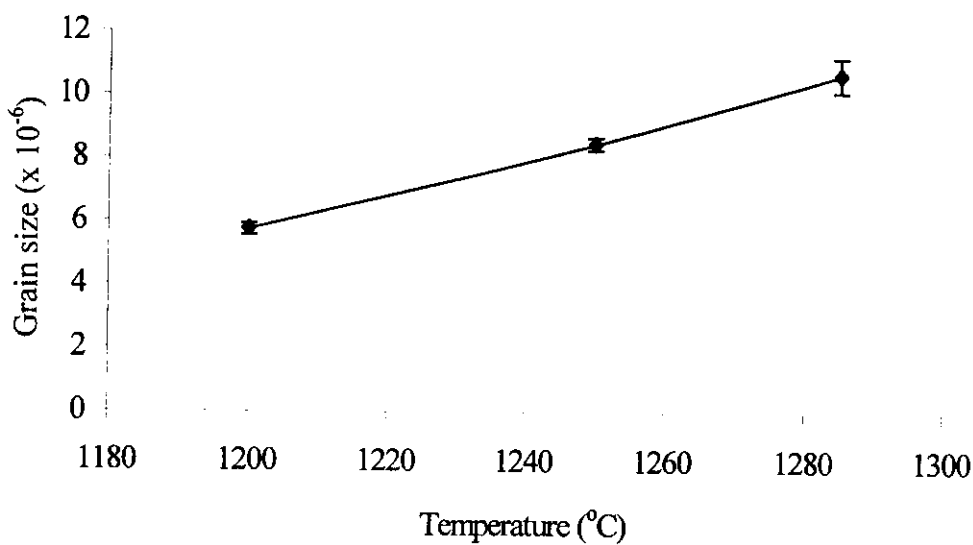
ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงลักษณะเกรน ของ PZT อบแห้งที่ 1250 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงลักษณะเกรน ของ PZT อบผนึกที่ 1285 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.4 ค่าขนาดเกรน

โดยใช้วิธีลากเส้นตรงบนภาพถ่ายนับจำนวนเกรนที่เส้นตรงตัดผ่านและเมื่อนำจำนวนเกรนไปหารความยาวของเส้นนั้นก็จะได้ขนาดเกรน ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ดังภาพประกอบที่ 4.8



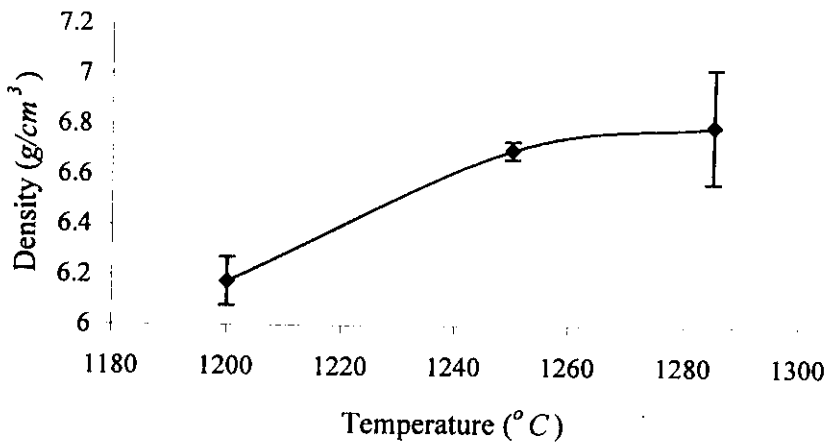
ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนกับอุณหภูมิอบผนึก

ค่าขนาดเกรนซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 4.8 เมื่อพิจารณาลักษณะกราฟพบว่าค่าขนาดเกรนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบผนึกสูงขึ้นเป็นเพราะอะตอมบริเวณเส้นแบ่งเกรนได้รับพลังงานความร้อนจึง

เกิดการแพร่ผ่านเส้นแบ่งเกรนไปรวมกับเกรนที่มีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้เกิดการขยายตัวของเกรน ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Millar และคณะ(1995) ซึ่งขนาดเกรนมีค่ามากที่สุดเมื่อเผาอบผงที่ 1285 °C คือ 10.65 μm ซึ่งค่าขนาดเกรนที่วัดได้มีค่าน้อย เพราะในการขึ้นรูปใช้แรงอัดเพียง 1 ตันและเวลาที่ใช้ในการเผาแซ่สำหรับการอบผง 1 ชั่วโมง ซึ่งปัจจัยทั้งสองอย่างนี้เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการโตของขนาดเกรน

1.5 ค่าความหนาแน่น

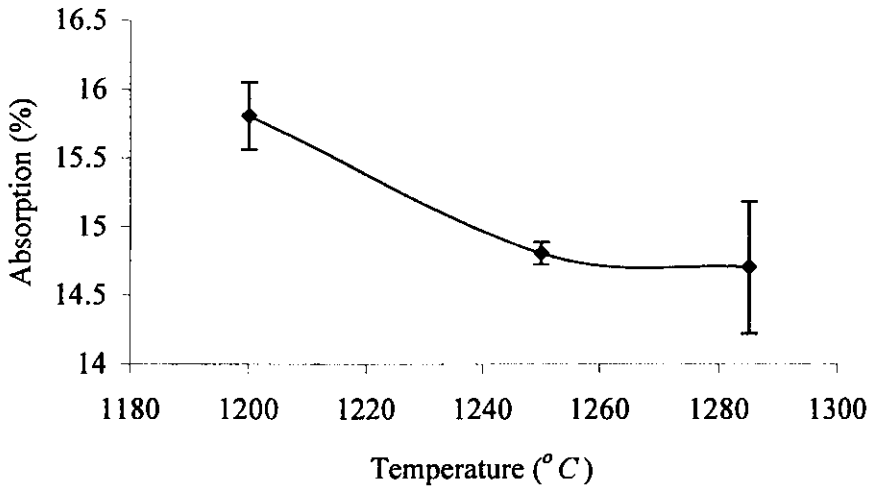
ตรวจสอบค่าความหนาแน่นของ PZT เมื่อผ่านการกระบวนอบผงที่อุณหภูมิต่างๆ โดยอาศัยหลักการของอะคิมิตีส์ และคำนวณค่าความหนาแน่นโดยสมการที่ (3.3) ซึ่งแสดงผลของค่าความหนาแน่นที่ได้ดังภาพประกอบที่ 4.9



ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอุณหภูมิอบผง

1.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

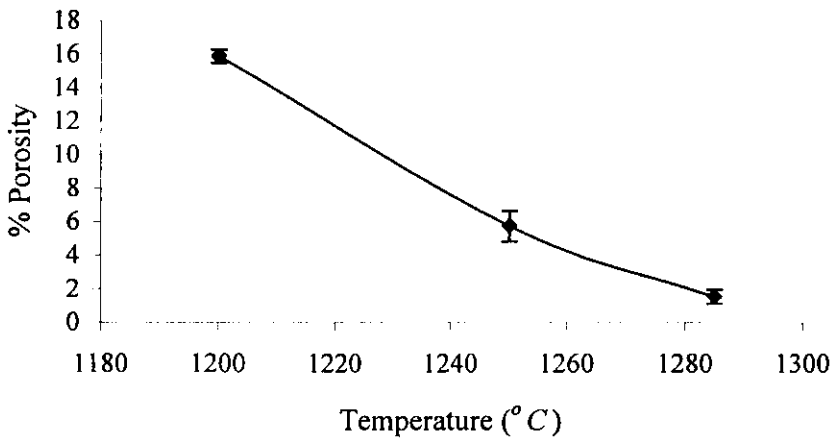
คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ PZT ที่ผ่านการอบผงที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สมการที่ (3.4) ในการคำนวณหาค่า ซึ่งค่าที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4.10



ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิอบพูนึก

1.7 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน

คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของ PZT ที่ผ่านการอบพูนึก ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สมการที่ (3.5) ในการคำนวณหาค่า ซึ่งค่าที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4.11



ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับอุณหภูมิอบพูนึก

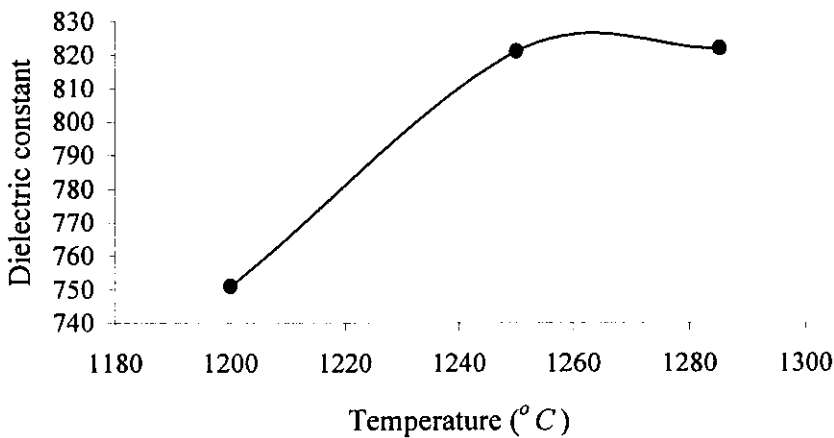
จากการหาค่าความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ PZT โดยใช้หลักการของอะคิมิตีส พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในการอบผึ่งก็มีความสัมพันธ์กัน คือเมื่ออุณหภูมิกับเวลาในการเผาอบผึ่งเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นของ PZT ก็เพิ่มขึ้น โดยขณะที่เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ PZT มีขนาดลดลง ทั้งนี้เพราะว่าการใช้อุณหภูมิในการอบผึ่งสูงจะทำให้อนุภาคเกิดการหลอมรวมกันเข้าแทรกในที่ว่างจนเต็มจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและความพรุนมีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Millar และคณะ(1995) Lee และคณะ(1999) Kong และ Ma (2001)

จากการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพโดยเฉพาะค่าความหนาแน่น และขนาดเกรนของ PZT ที่เตรียมได้ พบว่า PZT เหมาะสำหรับการใช้งานทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Randeraat และ Setterington, 1974) ; (Uchino, 2000) และ (Setter, 2002)

2. การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของ PZT

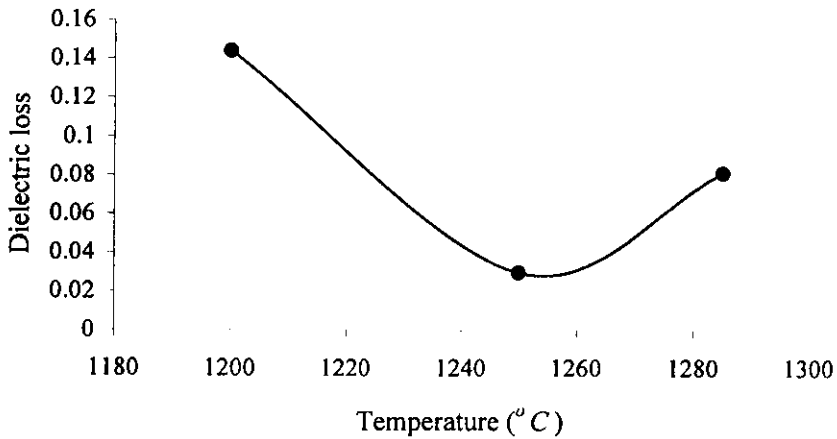
2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

วัดค่าไดอิเล็กทริกของ PZT ที่ผ่านการอบผึ่งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยการวัดขนาดความจุไฟฟ้าของ PZT ที่ความถี่ 1 kHz นำไปคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริก โดยใช้สมการที่ (3.6) และได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.12

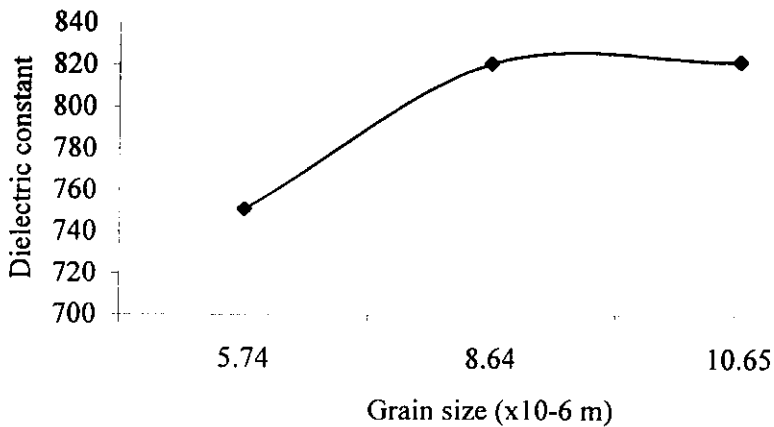


ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิอบผึ่ง

ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกวัดที่ 1 kHz ค่านี้สามารถวัดได้จากเครื่อง RCL meter โดยตรง นำค่าที่ได้เขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอบผงนึ่งดังภาพประกอบที่ 4.13



ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิอบผงนึ่ง



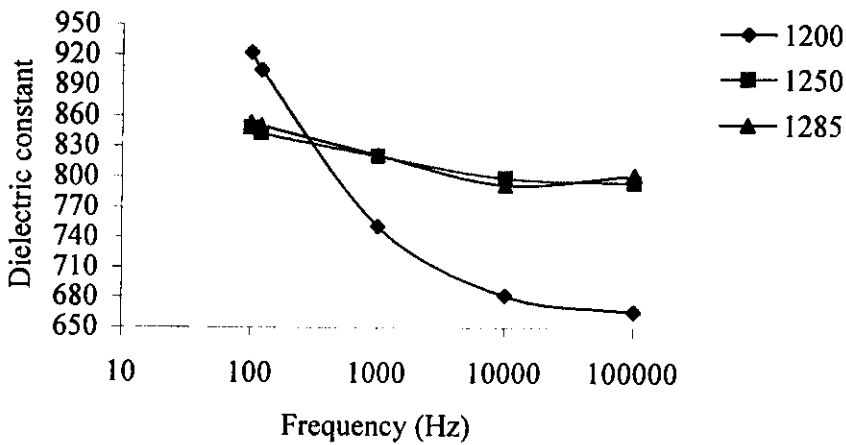
ภาพประกอบที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับขนาดเกรน

จากภาพประกอบที่ 4.12 4.13 และ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริก และขนาดเกรนกับอุณหภูมิอบผงนึ่งต่างๆ วัดที่ความถี่ 1 kHz พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าขนาดเกรนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบผงนึ่งเพิ่มขึ้น เพราะว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอบ

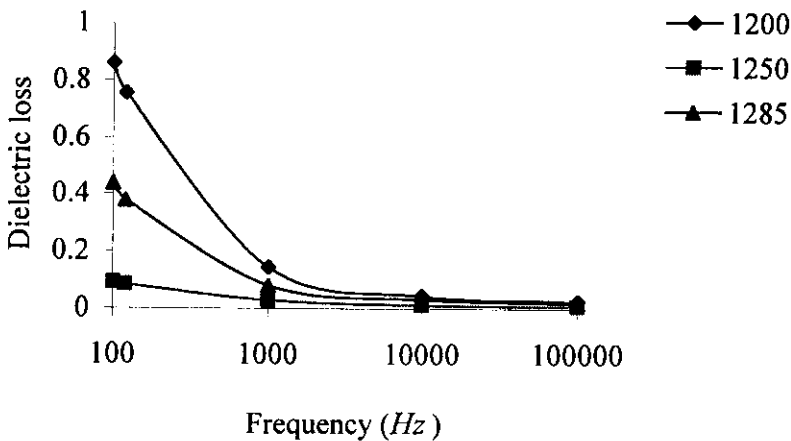
ผืนึกสูงขึ้นค่าความหนาแน่นของสารก็จะมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและขนาดเกรนมีค่ามากขึ้น แต่สำหรับค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบผืนึกเพิ่มขึ้น

2.1.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกที่ความถี่ต่างๆ

การตรวจสอบค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ความถี่ต่างๆ และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับความถี่แสดงดังภาพประกอบที่ 4.15 และ 4.16



ภาพประกอบที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับความถี่

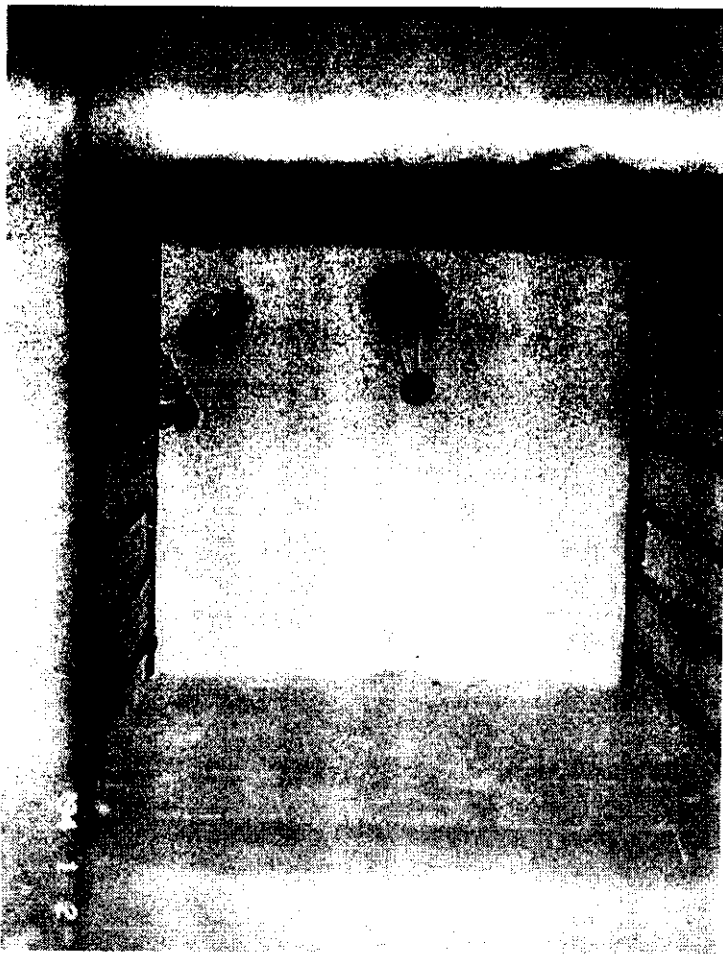


ภาพประกอบที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับความถี่

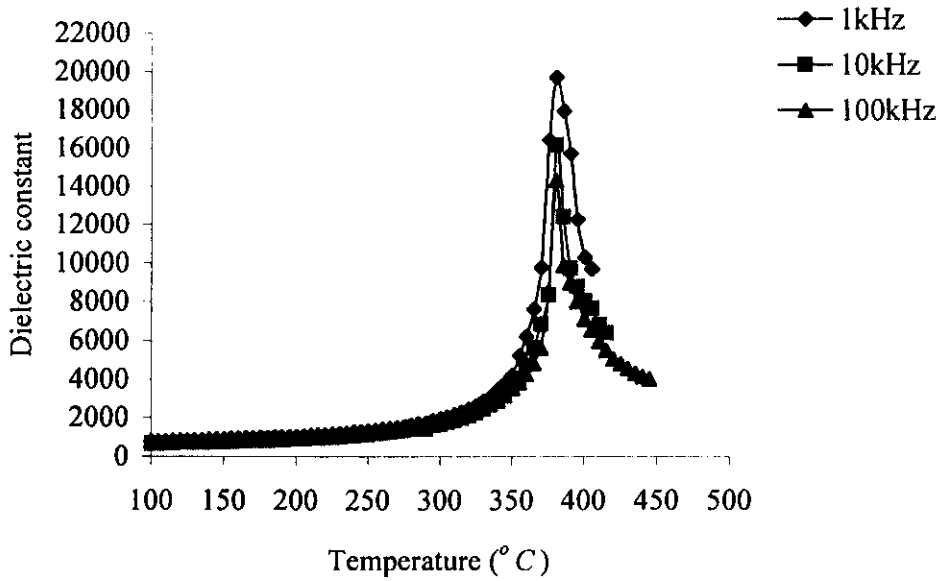
จากภาพประกอบที่ 4.15 และ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับความถี่ พบว่าเมื่อความถี่มีค่าเพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกมีค่าลดลง เพราะเมื่อค่าความถี่สูงขึ้นทำให้ขั้วคู่ไฟฟ้าภายในเนื้อสารเกิดการเคลื่อนที่ทำให้ชนกับอะตอมข้างเคียงทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียไปในรูปของความร้อนซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปแปรผันตรงกับความถี่ ดังนั้นเมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าความถี่สูงเข้าไปในสารไดอิเล็กทริกจึงทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกลดลง

2.1.2 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ

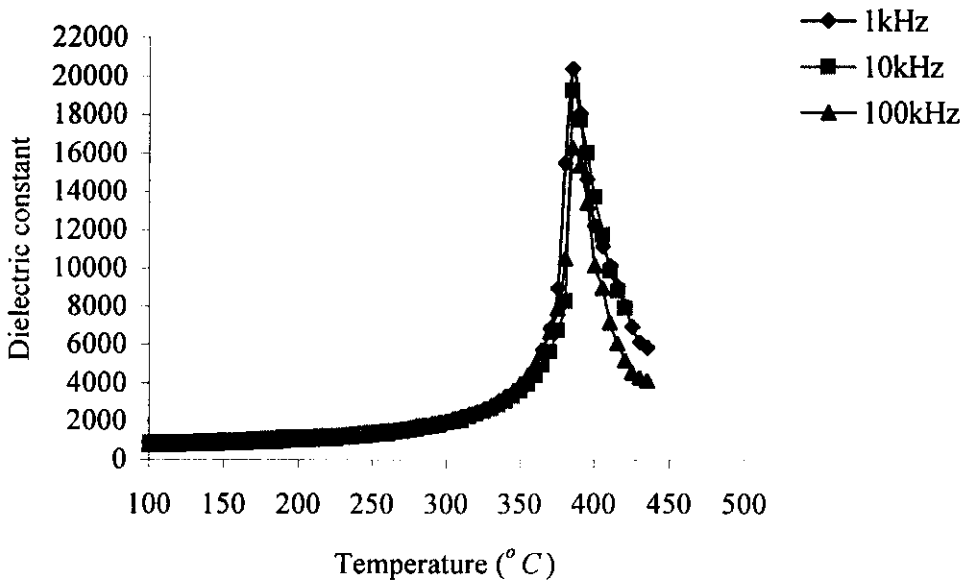
การตรวจค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิต่างๆ โดยวางลักษณะสารตัวอย่างในเตาควบคุมอุณหภูมิแสดงดังภาพประกอบที่ 4.17 และผลจากการวัดแสดงดังภาพประกอบที่ 4.18-4.20



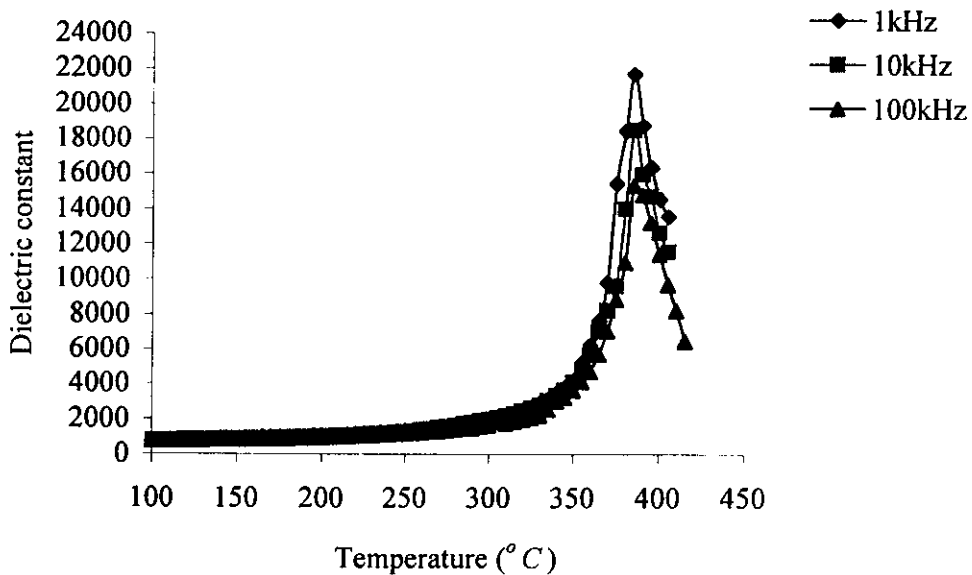
แสดงดังภาพประกอบที่ 4.17 แสดงลักษณะการจัดวางสารตัวอย่างภายในเตาควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT ที่อบผนึ่งที่ 1200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีอุณหภูมิคูรี 380 °C



ภาพประกอบที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT ที่อบผนึ่งที่ 1250 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีอุณหภูมิคูรี 385 °C

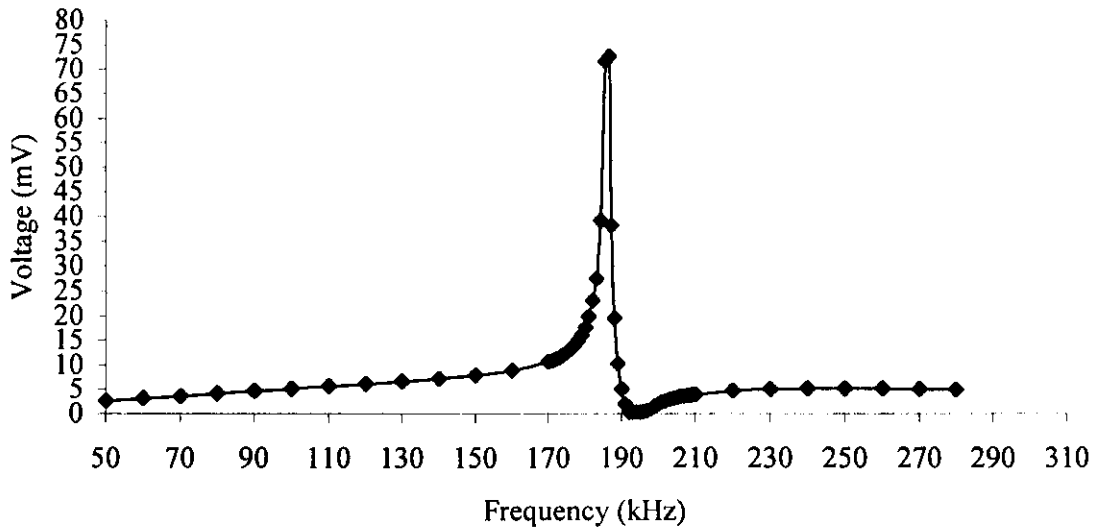


ภาพประกอบที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT ที่อบผืนที่ 1285°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีอุณหภูมิคูรี 385°C

การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของ PZT พบว่าเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่ออุณหภูมิมีค่าเท่ากับอุณหภูมิคูรีของ PZT ซึ่งอุณหภูมิคูรีของ PZT ที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีปฏิบัติโดยตรงและอบผืนที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1285°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 380 385 และ 385°C ตามลำดับ จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นอีกค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าลดลงซึ่งเป็นไปตามกฎของ Curie-Weiss (IEEE, 176-1987) และเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่ใช้ในการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกโดยจะใช้ค่าความถี่ที่ 1 10 และ 100 kHz ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ได้มีค่าลดลงเมื่อค่าความถี่มีค่าสูงขึ้น ดังกล่าวในหัวข้อ 2.1.1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rao และคณะ (1996) Jin และคณะ (1997) Abotho และคณะ (1999) Kong และคณะ (2000) และ Las และคณะ (2001)

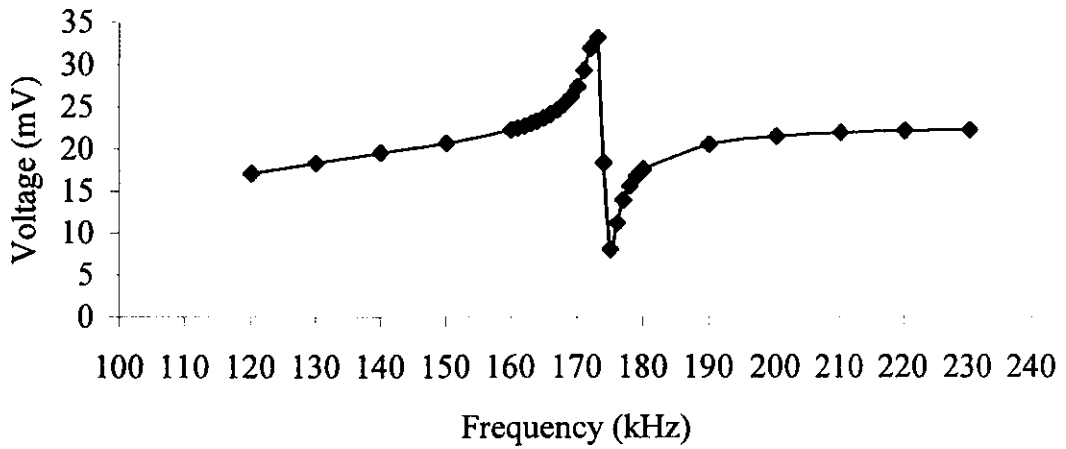
2.2 ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์

ตรวจสอบวงจรในภาพประกอบที่ 3.8 โดยใช้ PZT ผลิตภัณฑ์ทางการค้า PKI 402 โดยวัดค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ของ PKI 402 การตรวจสอบค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ทำโดยให้สัญญาณไฟฟ้าขนาดต่างๆ กับ PKI 402 ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า แล้ววัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นแล้วนำค่าความต่างศักย์และค่าความถี่ เขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์แสดงดังภาพประกอบที่ 4.20 คำนวณค่าคงที่ทางไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้สมการดังกล่าวในหัวข้อ 5.5 และเปรียบเทียบค่าดังแสดงในภาคผนวก (ค) ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยมากดังนั้นจึงใช้วงจรดังกล่าวในการวัดค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ของ PZT ที่เตรียมขึ้น

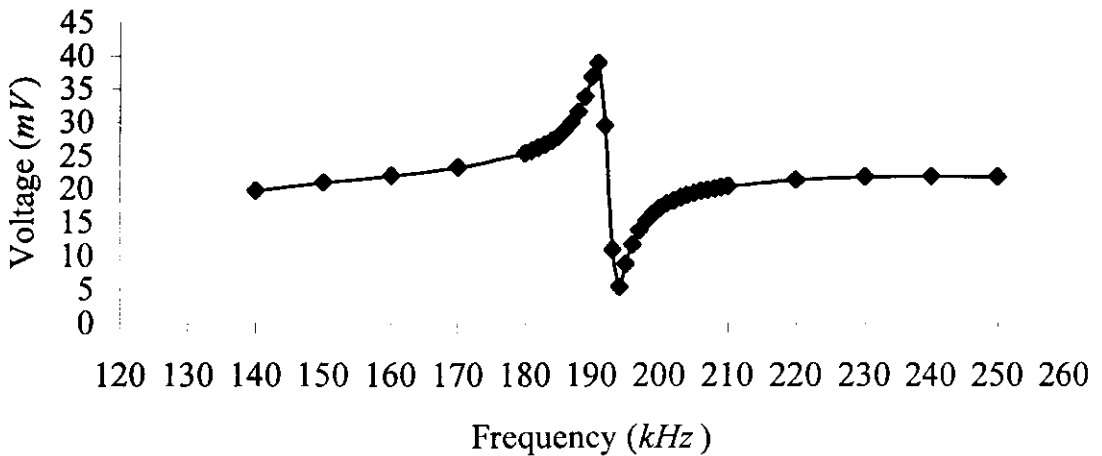


ภาพประกอบที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์สำหรับ PKI 402 มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 186 และ 194 kHz ตามลำดับ

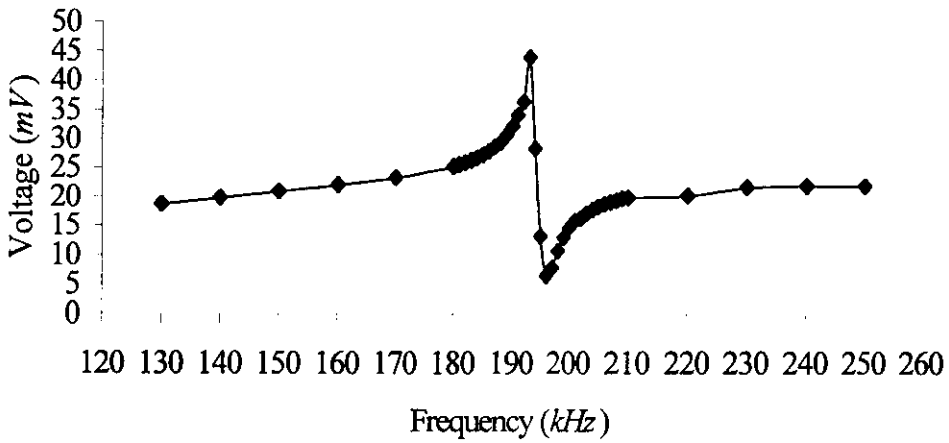
ตรวจสอบค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ของ PZT โดยทำขั้ว PZT ด้วยกาวเงินและโพลิงด้วยความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 3 kV/mm เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ใช้วงจรดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.8 โดยให้สัญญาณไฟฟ้าขนาดต่างๆ แก่ PZT วัดค่าขนาดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นแล้วนำค่าความต่างศักย์และค่าความถี่ เขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์แสดงดังภาพประกอบที่ 4.22 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์ของ PZT ที่อุณหภูมิที่ $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 173 และ 175 kHz ตามลำดับ



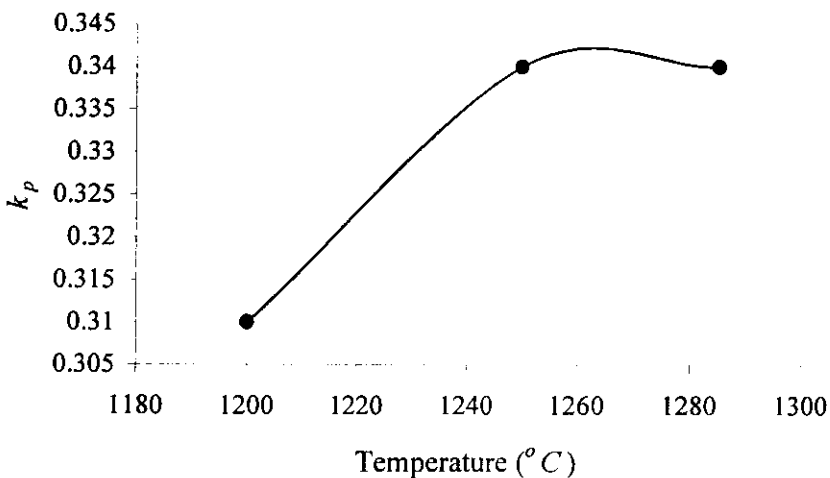
ภาพประกอบที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์ของ PZT ที่อุณหภูมิที่ $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 191 และ 194 kHz ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าความต่างศักย์ของ PZT ที่อบนึ่งที่ 1285°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 193 และ 196 kHz ตามลำดับ

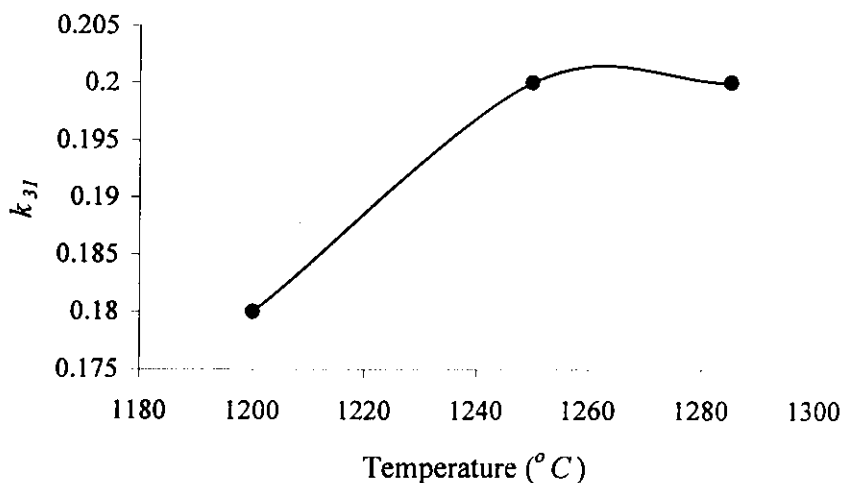
2.3 ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์

นำค่าความถี่เรโซแนนซ์และค่าความถี่แอนติเรโซแนนซ์ จากภาพประกอบที่ 4.20 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ คำนวณค่าพลาเนอรีคัปปลิงแฟกเตอร์ โดยใช้สมการที่ (2.17) และแสดงค่าดังภาพประกอบที่ 4.25



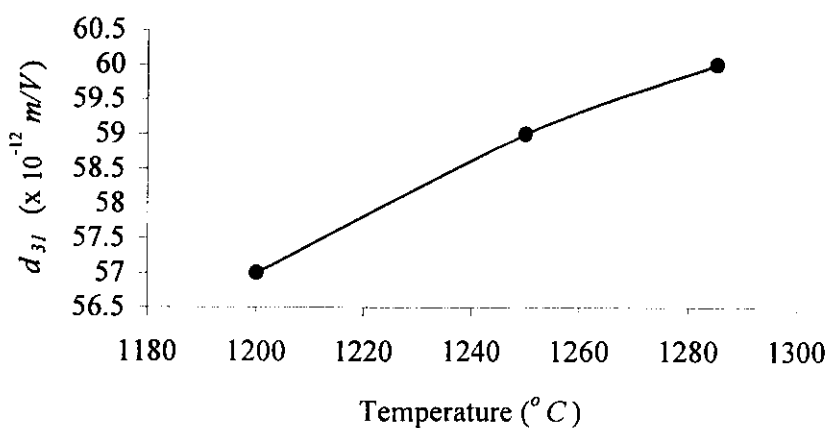
ภาพประกอบที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพลาเนอรีคัปปลิงแฟกเตอร์กับอุณหภูมิอบนึ่ง

นำค่าพลาแนร์คัปปลิงแฟกเตอร์คำนวณค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ k_{31} โดยใช้สมการที่ (2.18) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอบผิวดังภาพประกอบที่ 4.26



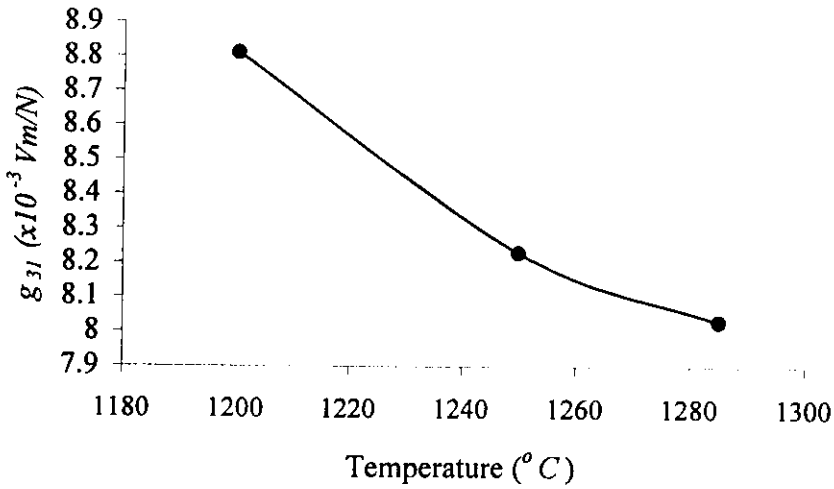
ภาพประกอบที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ k_{31} กับอุณหภูมิอบผิวก

คำนวณค่าคงที่ไพโซโซอิเล็กทริก โดยใช้สมการ (2.22) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอบผิวดังภาพประกอบที่ 4.27



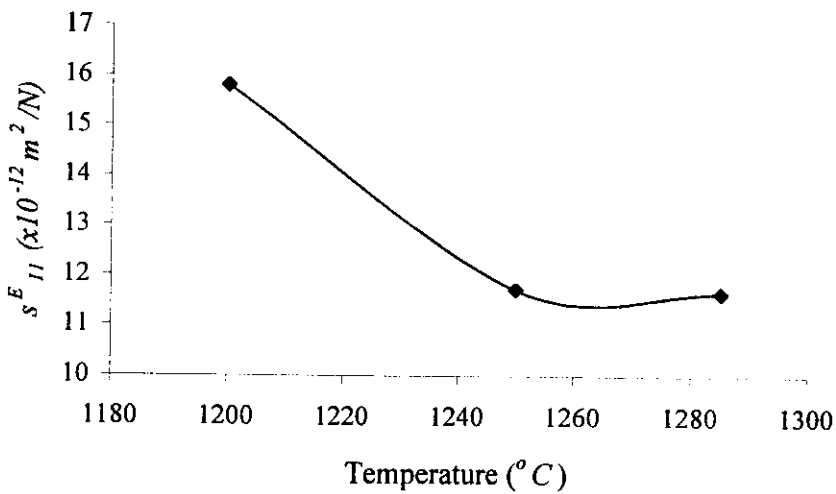
ภาพประกอบที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไพโซโซอิเล็กทริก d_{31} กับอุณหภูมิอบผิวก

คำนวณค่าคงที่ไพเอโซอิเล็กทริก โดยใช้สมการ (2.23) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของ
ชนิดต่างๆ แสดงดังภาพประกอบที่ 4.28



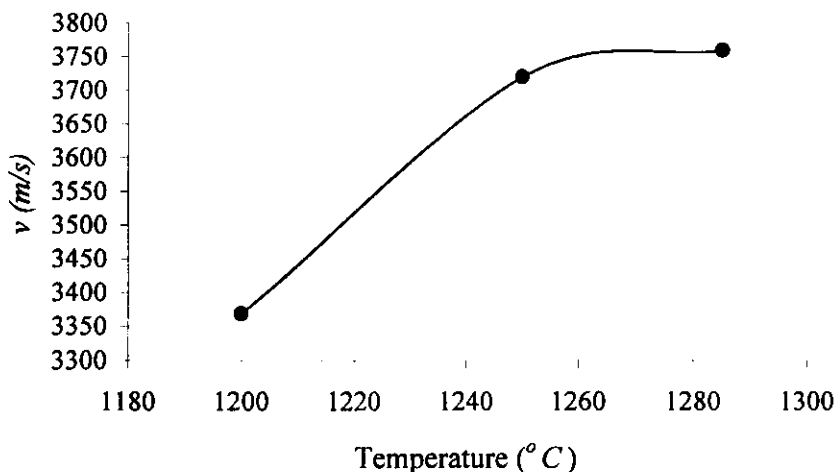
ภาพประกอบที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไพเอโซอิเล็กทริก g_{31} กับอุณหภูมิของชนิด

ค่าคงที่ยืดหยุ่น s_{11}^E คำนวณโดยใช้สมการที่ (2.19) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของ
ชนิดดังภาพประกอบที่ 4.29



ภาพประกอบที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่ยืดหยุ่น s_{11}^E กับอุณหภูมิของชนิดต่างๆ

คำนวณค่าความเร็วเสียงในวัสดุ PZT โดยอาศัยปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ในวัสดุ PZT และใช้สมการที่ (2.21) ซึ่งค่าที่คำนวณแสดงดังภาพประกอบที่ 4.30



ภาพประกอบที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเร็วเสียงใน PZT กับอุณหภูมิอบผืนึกต่างๆ

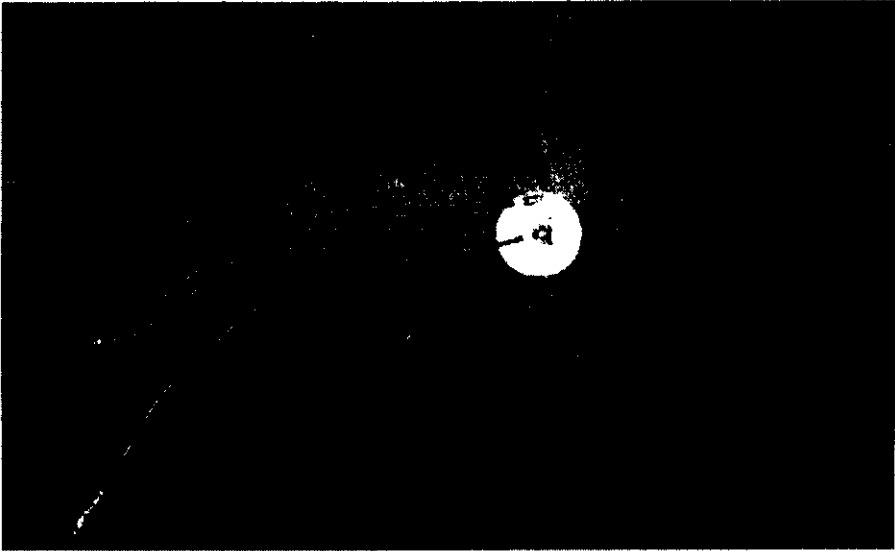
จากการนำค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ มาใช้คำนวณค่าพลาเนรัลคัปปลิงแฟกเตอร์ ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ k_{31} ค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริก d_{31} และค่าความเร็วเสียงใน PZT พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบผืนึกสูงขึ้น แต่ค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริก g_{31} และค่าคงที่ฮีสเทรีซิส s_{11}^E ที่มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิในการอบผืนึกสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nam และ Lee (1992)

นอกจากค่า d_{31} ซึ่งเป็นค่าการหดขยายในแนวด้านข้าง ยังสามารถนำไปหาค่า d_{33} ซึ่งบอกถึงการหดขยายในแนวความหนาได้ นั่นคือ $d_{31} = -\frac{1}{2}d_{33}$ (Cady, 1964) ดังนั้น d_{33} ของ PZT ที่ 1200 1250 และ 1285 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 114 118 และ 120 pm/V ตามลำดับ

ผลจากการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของ PZT ที่เตรียมขึ้นพบว่ามีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกไม่สูงนัก ค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริกความเครียดต่ำกว่าของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าต่างๆ ไป มีค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริกความเค้นค่อนข้างสูง ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิอบผืนึก พิจารณาค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิกับพบว่าในช่วง 100 ถึง 300 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิคูรีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่เมื่อให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิคูรีของ PZT จะทำให้มีค่าไดอิเล็กทริกสูงสุด ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิคูรีของ PZT มีค่าเฉลี่ย 381 °C ดังนั้น PZT ที่เตรียมได้จัดอยู่ในกลุ่มที่มีการสันเชิงกล ได้ดี และสามารถควบคุมความถี่ของการสั่นได้

6. การทำเป็นชิ้นงาน

นำ PZT ที่ได้จากการเตรียมแบบปฏิกิริยาตรงและผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 1285 °C 1 ชั่วโมง สร้างเป็นตัวกำเนิดเสียง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.31 โดยที่ใช้สารตัวอย่าง PZT ที่มีลักษณะรูปแผ่นกลมแบนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.7 mm ความหนา 0.4 mm ใช้แผ่นทองเหลืองเป็นฐานรองรับทำขั้ว และโพลิงด้วยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าดังกล่าวในหัวข้อที่ 2.2



ภาพประกอบที่ 4.31 ตัวกำเนิดเสียงซึ่งมี PZT เป็นส่วนประกอบหลัก



ภาพประกอบที่ 4.32 แสดงลักษณะการตรวจสอบการตอบสนองตอบสนองสัญญาณไฟฟ้า

จากภาพประกอบที่ 4.28 แสดงลักษณะการตรวจสอบการตอบสนองต่อสัญญาณไฟฟ้า สำหรับชิ้นงานที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0.5 Hz ถึง 30 MHz ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน และพบว่าเมื่อให้สัญญาณไฟฟ้าในช่วงความถี่ตั้งแต่ $1\text{--}12 \text{ kHz}$ ชิ้นงานเกิดการขีดหลุดและมีเสียงดังที่หูมนุษย์สามารถได้ยิน (audible sound) ซึ่งเหมาะสำหรับทำเป็นแหล่งกำเนิดเสียงในเครื่องส่งเสียงเตือน (alarm) เครื่องคิดเลข (calculator) เป็นต้น ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 kHz เป็นช่วงความถี่ที่หูมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน เราสามารถนำช่วงความถี่นี้ใช้สำหรับการไล่สัตว์ขนาดเล็ก เช่น ยุง แมลงสาบ เป็นต้น และที่ความถี่สูงกว่า 12 kHz ซึ่งเป็นความถี่อัลตราโซนิก (ultrasonic frequency) ซึ่งช่วงความถี่นี้จะเหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานในวงการแพทย์และวิศวกรรม

อย่างไรก็ตามนอกจากเรื่ององค์ประกอบทางเคมี กระบวนการผลิตที่ใช้ แนวแกนของวัสดุที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ แล้ว เรื่องของรูปร่างและความหนาแน่นของวัสดุก็เป็นตัวแปรที่มีบทบาทต่อพฤติกรรมหรือสมบัติของวัสดุไพอิโซอิเล็กทริกที่ต้องพิจารณาด้วย