บทที่ 4

สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต

สมบัติทางไดอิเล็กทริกที่ดีนั้นควรมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง มีการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกน้อย และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าสูงๆในช่วงอุณหภูมิกว้าง จากสมบัติไดอิเล็กทริกของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต การเปลี่ยนเฟสจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกจุดคูรีอยู่ที่ประมาณ -10 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้มีการเปลี่ยนโครงสร้างจากรอมโบฮีดรอลเป็นคิวบิกและให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 18,000 ซึ่งการใช้งานจริงไม่สามารถกระทำได้เนื่องจากการทำงานของวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปใช้งานตั้งแต่อุณหภูมิห้องขึ้นไปด้วยเหตุนี้การใช้งานของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตจึงต้องใช้สารเฟอร์โรอิเล็กทริกชนิดอื่นช่วยในการปรับปรุงสมบัติไดอิเล็กทริกให้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่น การใช้เลดไททาเนตเป็นสารเติม เลดไททาเนตมีจุดคูรีที่ 480-490 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิคูรีสูงกว่าเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีผลทำให้วัสดุมีอุณหภูมิคูรีสูงขึ้น โดยวัสดุเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่มีการเติม 10% เลดไททาเนต[4] จะมีอุณหภูมิคูรีที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส และได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงขึ้น หรือการใช้เลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็นสารเติมในสารที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำกว่า เช่นแบเรียมไททาเนต ซึ่งมีอุณหภูมิคูรีประมาณ 120 องศาเซลเซียส ปริมาณเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ใช้ 5% ทำให้วัสดุที่ได้มีอุณหภูมิคูรีที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียสและได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดประมาณ 15,000

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้สารเฟอร์โรอิเล็กทริกบิสมัทโซเดียมไททาเนตเป็นสารหลักและเติมด้วยสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบต เนื่องจากบิสมัทโซเดียมไททาเนตมีช่วงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดในช่วงกว้าง มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 2,500 ที่ประมาณ 320 องศาเซลเซียส การเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตน่าจะทำให้อุณหภูมิคูรีของวัสดุลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิคูรีของบิสมัทโซเดียมไททาเนตและน่าจะได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงขึ้น

การทดลองใช้สารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็นตัวเติมในบิสมัทโซเดียมไททาเนตจากการสังเคราะห์สารที่ต่างกัน 2 วิธี

วิธีที่ 1 การเตรียมเป็นสารละลายของแข็งจากสารทั้งสองชนิด

วิธีที่ 2 การเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต

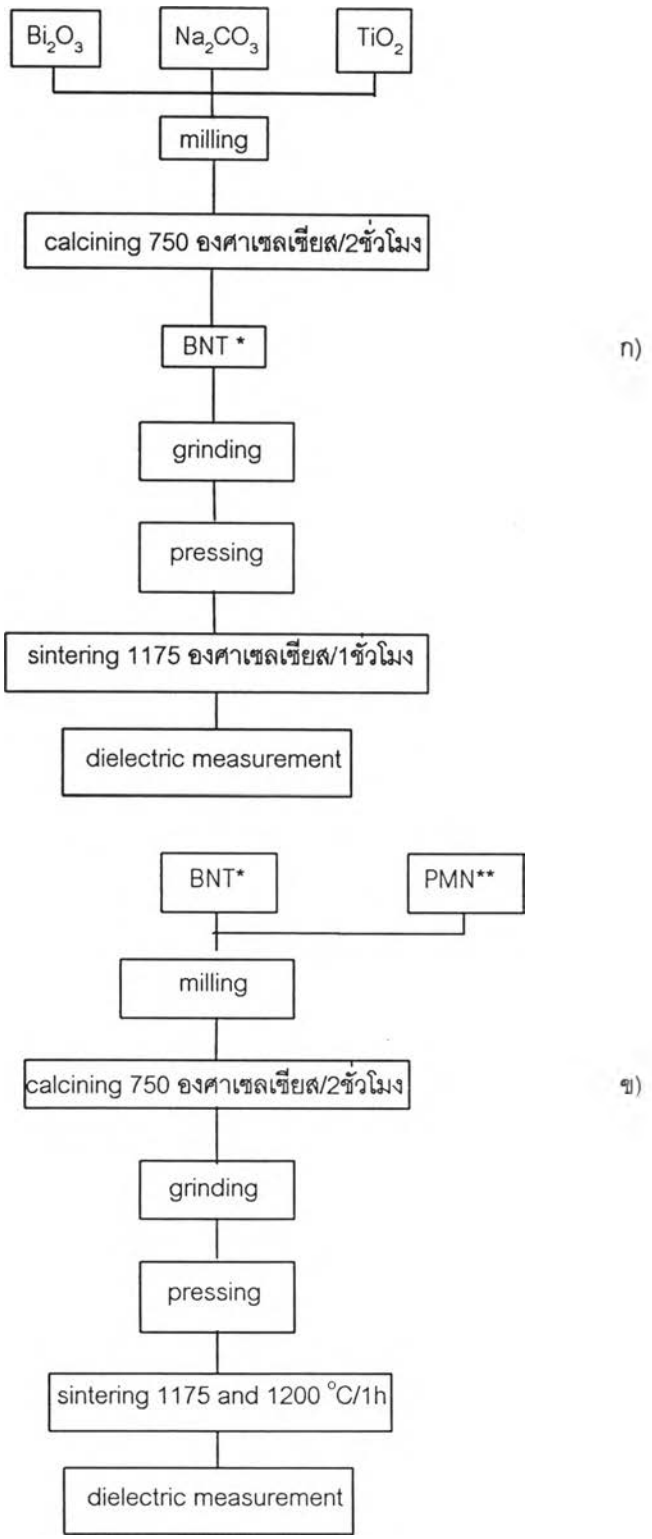
จากนั้นพิจารณาสมบัติไดอิเล็กทริกโดยผลของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก

4.1 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมเป็นสารละลายของแข็ง

4.1.1 ขั้นตอนการเตรียม

บิสมัทโซเดียมไททาเนตสามารถเตรียมได้จากบิสมัทออกไซด์ (reagent grade, Rieddel-de Haen, assay 99.5%), โซเดียมคาร์บอเนต (analytical grade, Caro erba, assay 99.7%) และไททาเนียมออกไซด์ (analytical grade, Caro erba, assay 99.0%) ชั่งและบดผสมในหม้อบด (ball mill) ในเอทานอลนาน 6 ชั่วโมง โดยใช้ลูกบดเป็นเซอร์โคเนีย บดแล้วนำสารเทใส่บีกเกอร์ นำไปอบให้แห้งในตู้อบอุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส สารผสมที่แห้งแล้วนำมาเผาแคลไซน์ที่ 1175 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Kuharuangrong[29] นาน 2 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรวจสอบเฟสด้วย x-ray powder diffraction

เมื่อเตรียมสารบิสมัทโซเดียมไททาเนตได้แล้วจะนำมาผสมกับสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมได้จากบทที่ 2 โดยกำหนดปริมาณการเติมของสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็น 5% และ 15% เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กทริก จากนั้นวิธีการเตรียมสารจะมีขั้นตอนเหมือนกับการเตรียมสารบิสมัทโซเดียมไททาเนต แสดงดังรูป 4.1



รูป 4.1 ขั้นตอนการเตรียมบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต ก)การเตรียมบิสมัทโซเดียมไททาเนต, ข)เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นสารละลายของแข็งทั้งสองชนิด, *BNT=$Bi_{1/2}Na_{1/2}TiO_3$ **PMN=$Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Impedance analyzer (Hewlett Packard 4192ALF) โดยการนำสารมาขึ้นรูปอัดเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 มิลลิเมตรและหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แรงที่ใช้อัด 80-85 เมกะปาสคาล เม็ดตัวอย่างที่ได้นำมาเผาซินเทอร์ริงที่อุณหภูมิ 1175 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เม็ดตัวอย่างที่เผาแล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเพื่อให้ทราบขนาดที่แท้จริงของเม็ดตัวอย่างก่อนการวัดสมบัติไดอิเล็กทริก ทาอิเล็กโทรดเงิน (silver-paste) ที่ผิวทั้ง 2 ด้าน แล้วเผาให้อิเล็กโทรดติดที่ผิวที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

การวัดสมบัติไดอิเล็กทริกจะวัดในรูปของค่าเก็บประจุไฟฟ้า และค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่าเก็บประจุของวัสดุจะคำนวณเปลี่ยนเป็นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกดังสมการ

$$K = C/C_0 \qquad \text{.....(4.1)}$$

โดย K = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

C = ค่าเก็บประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ (nF)

C_0 = ค่าเก็บประจุของวัสดุที่สูญญากาศ (nF)

ค่าเก็บประจุของวัสดุที่สูญญากาศสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวของวัสดุและความหนาของวัสดุจากสมการต่อไปนี้

$$C_0 = \varepsilon_0 A/h \qquad \text{.....(4.2)}$$

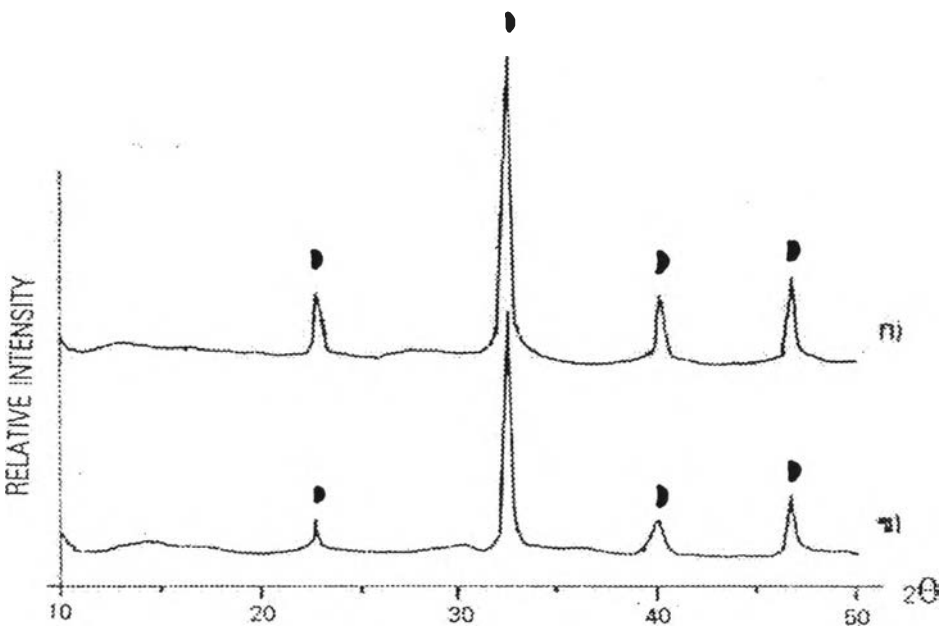
โดยที่ ε_0 = เป็นค่าคงที่เพอร์มิทติวิตีที่สูญญากาศ = $8.854*10^{-3}$ nF/m

A = พื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด (m^2)

h = ความหนาของชิ้นวัสดุหรือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (m)

4.1.2 การตรวจเฟสของผลิตภัณฑ์ด้วย x-ray diffraction

ผลการตรวจสอบโครงสร้างด้วย XRD ให้ผลของโครงสร้างเฟสเป็นดังรูป 4.2 การเตรียมด้วยวิธีผสมแบบสารละลายของแข็ง อัตราส่วนของบิสมัทโซเดียมไททาเนตต่อเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเป็น 0.95 ต่อ 0.05 ได้ผลดังรูป 4.2 ข. ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเฟสของบิสมัทโซเดียมไททาเนตเพียงอย่างเดียวดังรูป 4.2 ก. แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเฟสเพอร์รอฟสไกต์ของเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเพียง 0.05 สามารถเกิดสารละลายของแข็งกับสารบิสมัทโซเดียมไททาเนตได้

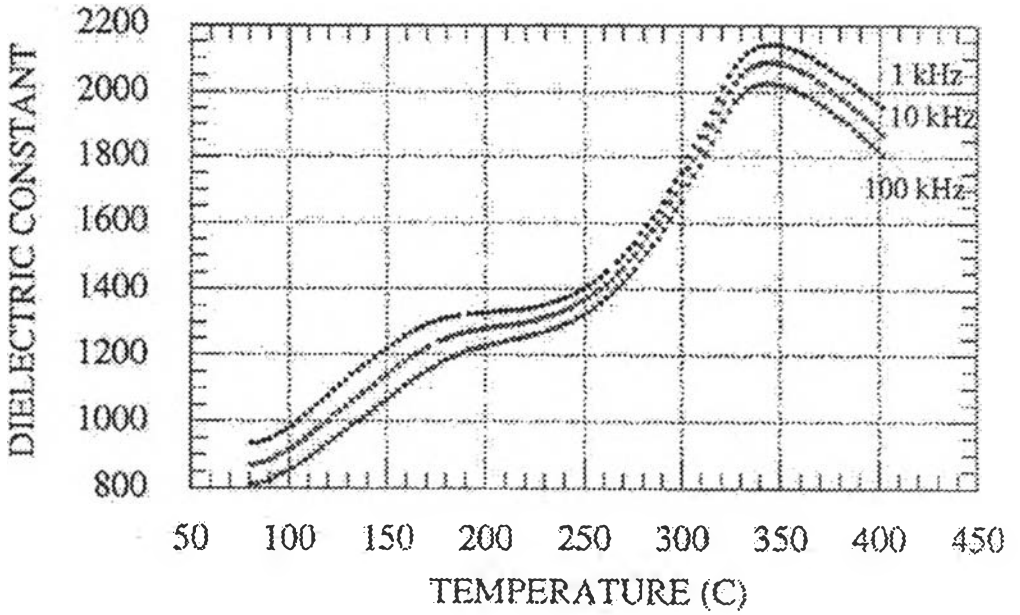


รูป 4.2 ผล XRD ของระบบบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต ก)บิสมัทโซเดียมไททาเนต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ข)จากการเตรียมด้วยวิธีการผสมแบบสารละลายของแข็งของ 0.95BNT+0.05PMN 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ◗ = BNT

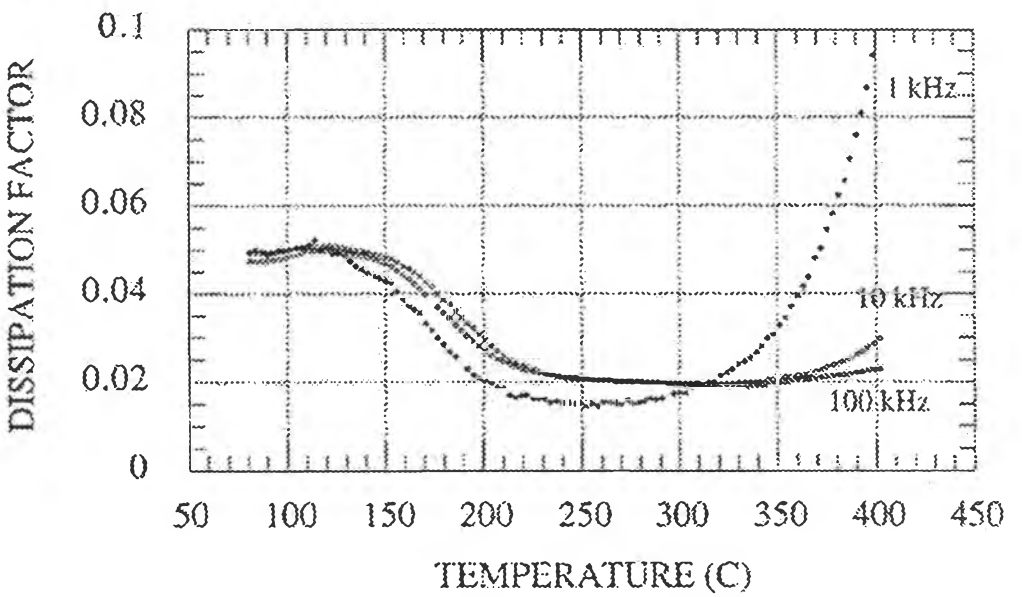
4.1.3 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการเตรียมแบบสารละลายของแข็ง

จากรายงานการวิจัยต่างๆ[21,22,23] มีการเปลี่ยนเฟสของสารบิสมัทโซเดียมไททาเนต 2 ช่วงเกิดที่ประมาณ 220 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนเฟสจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นแอนไทเฟอร์โรอิเล็กทริก และจากแอนไทเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกที่ 320 องศาเซลเซียส จากรูป 4.3 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนตเมื่อเผาที่ 1175 องศาเซลเซียส ได้ผลของอุณหภูมิคูรีประมาณ 345 องศาเซลเซียส และมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุด 2,150 ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

การผสมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตลงในบิสมัทโซเดียมไททาเนตในปริมาณ 5% และ 15% ได้ผลสมบัติไดอิเล็กทริกแสดงดังรูป 4.4-4.6 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดและอุณหภูมิคูรีดังแสดงในตาราง 4.1

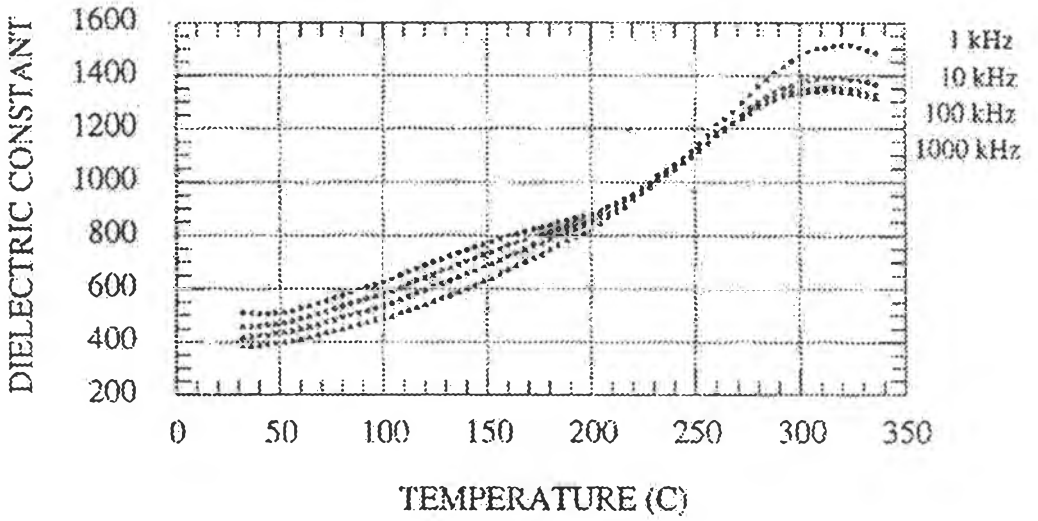


ก)

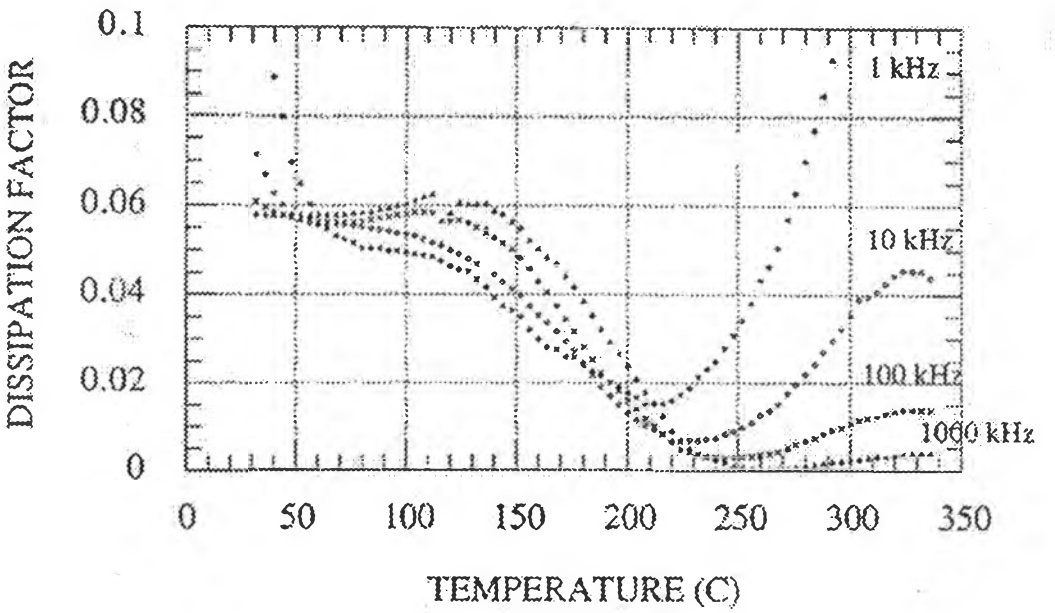


ข)

รูป 4.3 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต 1175 องศาเซลเซียส/1 ชั่วโมง ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

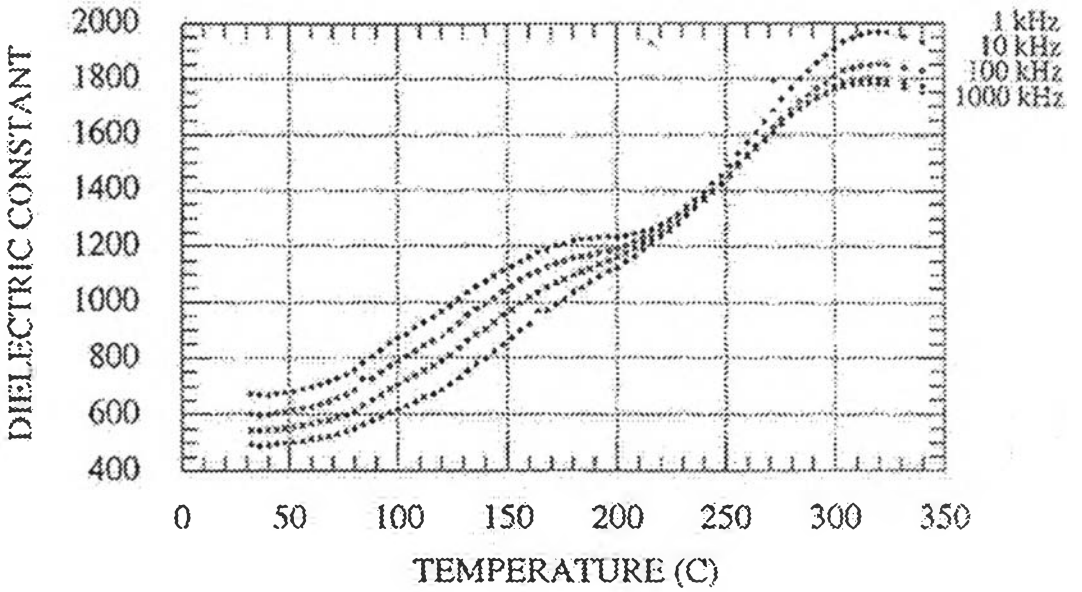


ก)

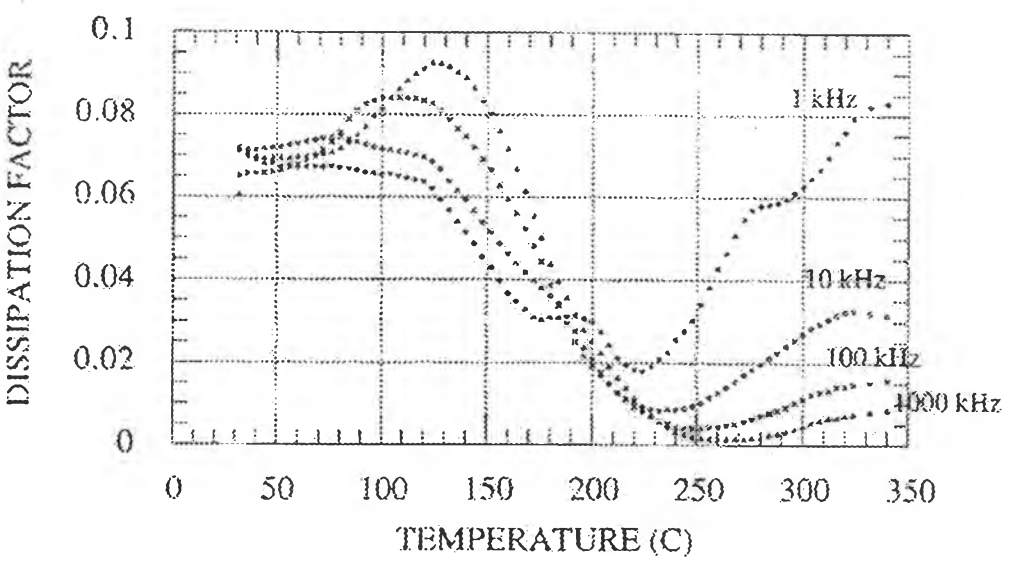


ข)

รูป 4.4 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมด้วยสารละลายของแข็งของบิสมัทโซเดียมไททาเนต+5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

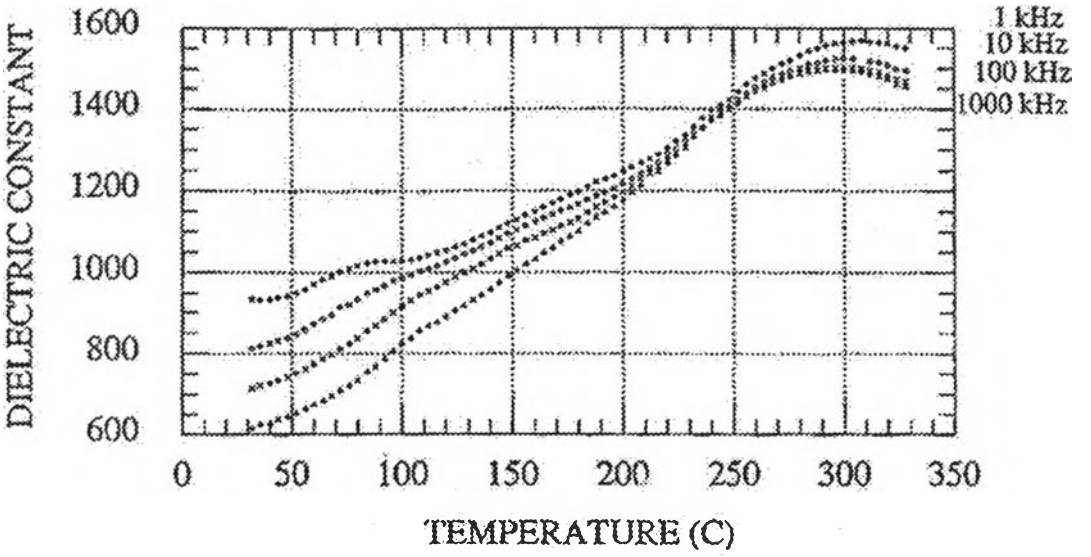


ก)

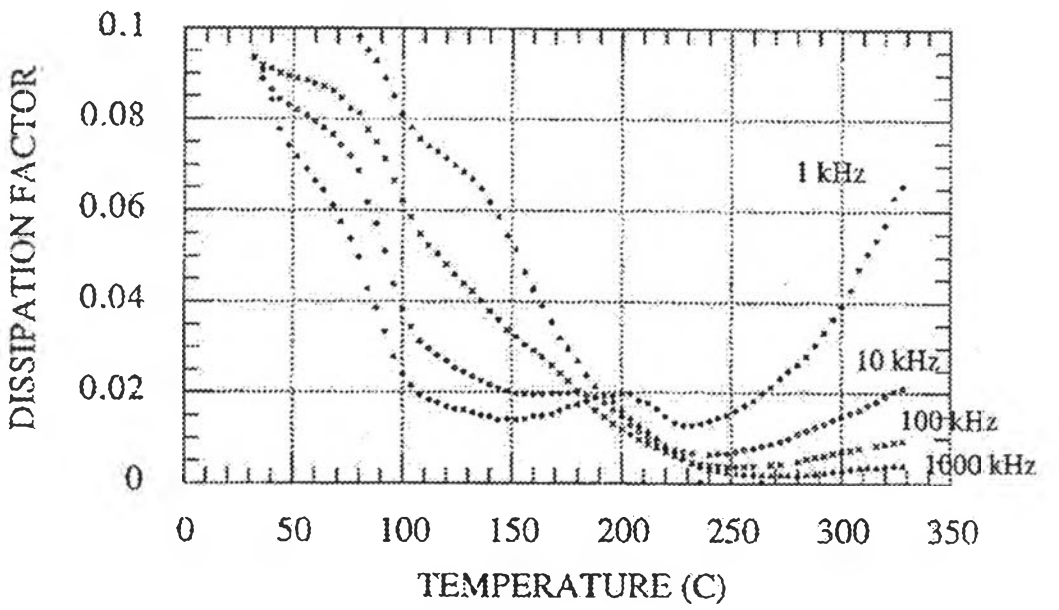


ข)

รูป 4.5 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมด้วยสารละลายของแข็งของบิสมัทโซเดียมไททาเนต+5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก



ก)



ข)

รูป 4.6 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมด้วยสารละลายของแข็งของบิสมัทโซเดียมไททาเนต+10%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

ตาราง 4.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิคูรีของวัสดุบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต ด้วยวิธีการผสมแบบสารละลายของแข็งแต่ละชนิดผสมกัน

สัดส่วนการเติมและภาวะการเผา	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุด ที่ 1 กิโลเฮิรตซ์	อุณหภูมิคูรี (องศาเซลเซียส)
BNT, 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง	2,150	345
0.95BNT+0.05PMN, 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง	1,500	320
0.95BNT+0.05PMN, 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง	1,950	320
0.85BNT+0.15PMN, 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง	1,550	310

จากตาราง 4.1 ผลของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าไดอิเล็กทริกของสารบิสมัทโซเดียมไททาเนต ที่อุณหภูมิซินเทอร์ริง 1175 องศาเซลเซียส จะให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก 1,500 ซึ่งน้อยกว่าการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาณสารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิคูรีของวัสดุมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย สำหรับปริมาณเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เติมลงในสารบิสมัทโซเดียมไททาเนตไม่ได้ช่วยให้สมบัติไดอิเล็กทริกดีขึ้นแต่กลับทำให้แย่ลง ผลของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกนี้ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง เพราะผลการตรวจสอบเฟสไม่พบสิ่งผิดปกติใดๆ ดังนั้นสมบัติไดอิเล็กทริกต่ำลงอาจเนื่องจาก

1. จากการผสมสารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
2. เลดแมกนีเซียมไนโอเบตอาจเกิดเฟสไพโรคลอร์ขึ้นได้ขณะเผาซินเทอร์ริง
3. อาจมีการสูญเสียตะกั่วออกไซด์เนื่องจากการระเหยได้ของตะกั่ว

วัสดุบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ผ่านการเผาซินเทอร์ริงแล้ว นำมาวัดความหนาแน่นของวัสดุได้ผลดังตาราง 4.2 การวัดความหนาแน่นของวัสดุใช้วิธีการแทนที่น้ำของอาร์คิมิดิส ตามวิธีของ ASTM C 373-72 พบว่าวัสดุที่มีการเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับความหนาแน่นของวัสดุบิสมัทโซเดียมไททาเนต

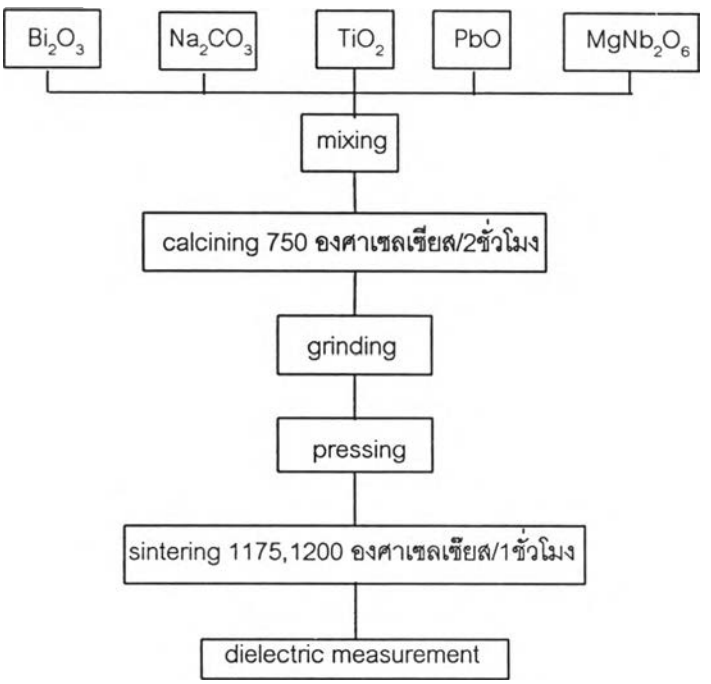
ตาราง 4.2 ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างของวิธีการเตรียมด้วยสารละลายของแข็ง

สัดส่วนการเติมและภาวะการเผา	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
BNT, 1175 องศาเซลเซียส	5.73
0.95BNT+0.05PMN, 1175 องศาเซลเซียส	5.74
0.95BNT+0.05PMN, 1200 องศาเซลเซียส	5.75

4.2 สมบัติไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต

4.2.1 ขั้นตอนการเตรียม

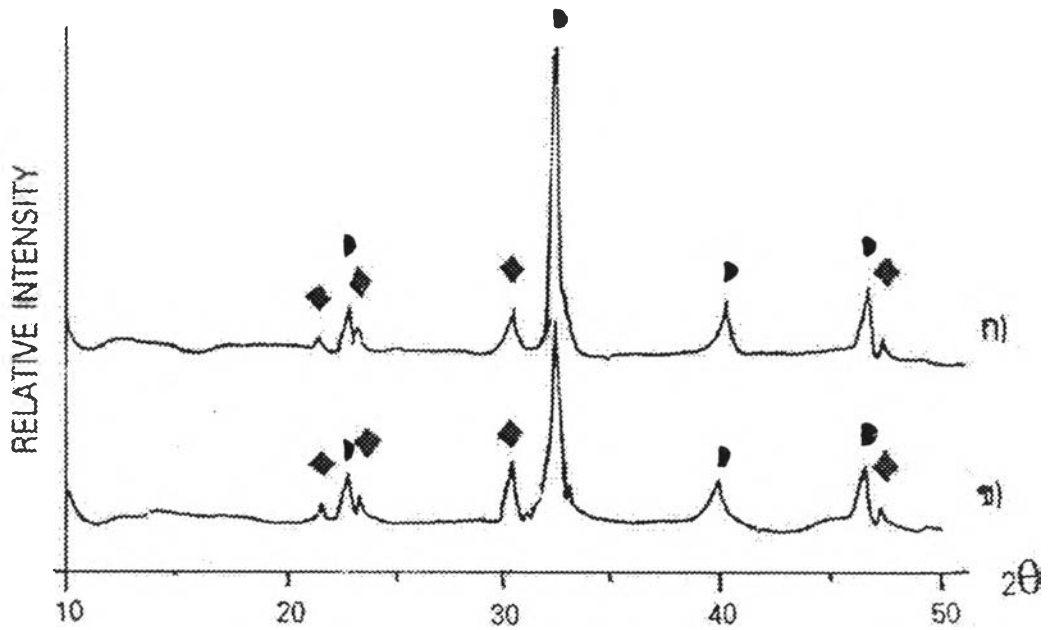
วิธีการเตรียมสารในระบบบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต โดยการเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต ซึ่งประกอบด้วย บิสมัทออกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต ไททาเนียมไดออกไซด์ ตะกั่วออกไซด์ และแมกนีเซียมไนโอเบต ($MgNb_2O_6$) ขั้นตอนแสดงในรูป 4.7 การใช้แมกนีเซียมไนโอเบตแทนที่จะใช้แมกนีเซียมออกไซด์และไนโอเบียมออกไซด์เป็นสารตั้งต้น เพราะต้องการหลีกเลี่ยงเฟสไพโรคลอร์ที่อาจเกิดขึ้นจากการที่ตะกั่วออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไนโอเบียมออกไซด์



รูป 4.7 ขั้นตอนการเตรียมบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบออกไซด์และคาร์บอเนต

4.2.2 การตรวจสอบเฟสของผลิตภัณฑ์ด้วย x-ray diffraction

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแคลไซน์แล้วจะนำมาตรวจสอบเฟสด้วย XRD ของการเตรียมบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบต ได้ผลแสดงดังรูป 4.8 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเฟสเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบผล XRD แสดงเฟสของสารบิสมัทโซเดียมไททาเนตรูป 4.2 ได้ผลการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เป็น 21 22 33 และ 47 จากรูป 4.8 เฟสที่ปรากฏใหม่นี้อาจเป็นการเกิดเฟสใหม่ ซึ่งตรวจสอบจาก JCPDS อาจเป็นเฟสของ $Pb_2Bi_4Ti_5O_{18}$ แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นเฟสนี้ เพราะมีความเข้มสัมพัทธ์หรือความสูงกราฟไม่เพียงพอที่จะยืนยันผล



รูป 4.8 ผล XRD ของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่เตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบออกไซด์และคาร์บอเนต ก)0.95BNT-0.05PMN 1175 องศาเซลเซียส, ข) 0.85BNT-0.15PMN 1175 องศาเซลเซียส, ◗ = BNT, ◆ = unknown phase

จากรูป 4.8 จะพบเฟสเกิดขึ้นใหม่ซึ่งต้องมีผลกับสมบัติไดอิเล็กทริกอย่างแน่นอน โดยน่าจะมีผลทำให้วัสดุมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำลงมากกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนต เนื่องจากเฟสที่เกิดขึ้นไม่น่าเป็นสารที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่สูงกว่าบิสมัทโซเดียมไททาเนตหรือเลดแมกนีเซียมไนโอเบต

4.2.3 ผลไดอิเล็กทริก

วัสดุที่ผ่านการขึ้นรูปและเผาซินเทอร์ริงแล้วจะนำไปตรวจสอบความหนาแน่นตามวิธีของอาร์คีมิดิส ได้ผลดังตาราง 4.3 ที่อุณหภูมิการเผาซินเทอร์ริงสูงขึ้นมีแนวโน้มว่าความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น

ตาราง 4.3 ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่าง จากวิธีการผสมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต

สัดส่วนการเติมและภาวะการเผา	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
0.95BNT-0.05PMN 1175 องศาเซลเซียส	5.71
0.95BNT-0.05PMN 1200 องศาเซลเซียส	5.98
0.90BNT-0.10PMN 1175 องศาเซลเซียส	5.73
0.90BNT-0.10PMN 1200 องศาเซลเซียส	5.89
0.85BNT-0.15PMN 1175 องศาเซลเซียส	5.78
0.85BNT-0.15PMN 1200 องศาเซลเซียส	5.72

พิจารณาผลของค่าไดอิเล็กทริกบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตเมื่อเตรียมโดยใช้ปริมาณของเลดแมกนีเซียมไนโอเบต 5% 10% และ 15% ดังรูป 4.9-4.14 ได้ผลค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิคูรีดังแสดงในตาราง 4.4

เมื่อเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบต 5% ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดที่อุณหภูมิการเผา 1175 องศาเซลเซียส เป็น 1,800 วัดที่ 1 กิโลเฮิรตซ์ และ 2,050 สำหรับอุณหภูมิการเผา 1200 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิคูรีอยู่ที่ประมาณ 320 องศาเซลเซียส มีค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำกว่า 0.05 การเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบต 5% แล้วเผาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกน้อยกว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ได้ความหนาแน่นที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่สูงขึ้น

ตาราง 4.4 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิคูรีของวัสดุบิสมัทโซเดียมไททาเนต-เลดแมกนีเซียมไนโอเบตด้วยวิธีการผสมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนต

สัดส่วนการเติมและภาวะการเผา	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุด ที่ 1 กิโลเฮิรตซ์	อุณหภูมิคูรี (องศาเซลเซียส)
BNT, 1175 องศาเซลเซียส	2,150	345
0.95BNT-0.05PMN, 1175 องศาเซลเซียส	1,800	320
0.95BNT-0.05PMN, 1200 องศาเซลเซียส	2,050	320
0.90BNT-0.10PMN, 1175 องศาเซลเซียส	2,100	320
0.90BNT-0.10PMN, 1200 องศาเซลเซียส	2,150	320
0.85BNT-0.15PMN, 1175 องศาเซลเซียส	2,300	315
0.85BNT-0.15PMN, 1200 องศาเซลเซียส	1,850	315

การเติม 10% เลดแมกนีเซียมไนโอเบตในบิสมัทโซเดียมไททาเนต มีผลใกล้เคียงกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของบิสมัทโซเดียมไททาเนตที่ประมาณ 2,100 เมื่อเผาที่ 1175 องศาเซลเซียส และ 2,150 เมื่อเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคูรีลดลงอยู่ที่ประมาณ 320 องศาเซลเซียส

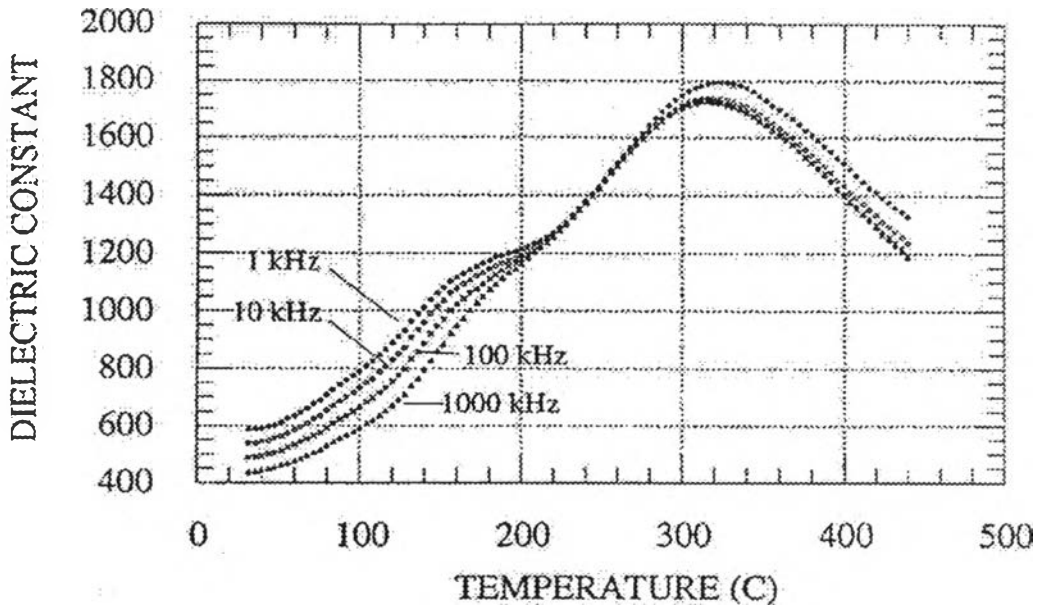
ส่วนการเติม 15%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต การเผาซินเทอร์ริง 1175 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกประมาณ 2,300 อุณหภูมิคูรีประมาณ 315 องศาเซลเซียส และการเผาซินเทอร์ริง 1200 องศาเซลเซียส ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกลดลงมาเป็นประมาณ 1,850 อุณหภูมิคูรีเท่ากับการซินเทอร์ริงที่ 1175 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กทริกลดลงมากกว่าการเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตในปริมาณที่น้อยกว่า

การที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเมื่อเติมเลดแมกนีเซียมไนโอเบตมีค่าต่ำกว่าบิสมัทโซเดียมไททาเนตนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจาก

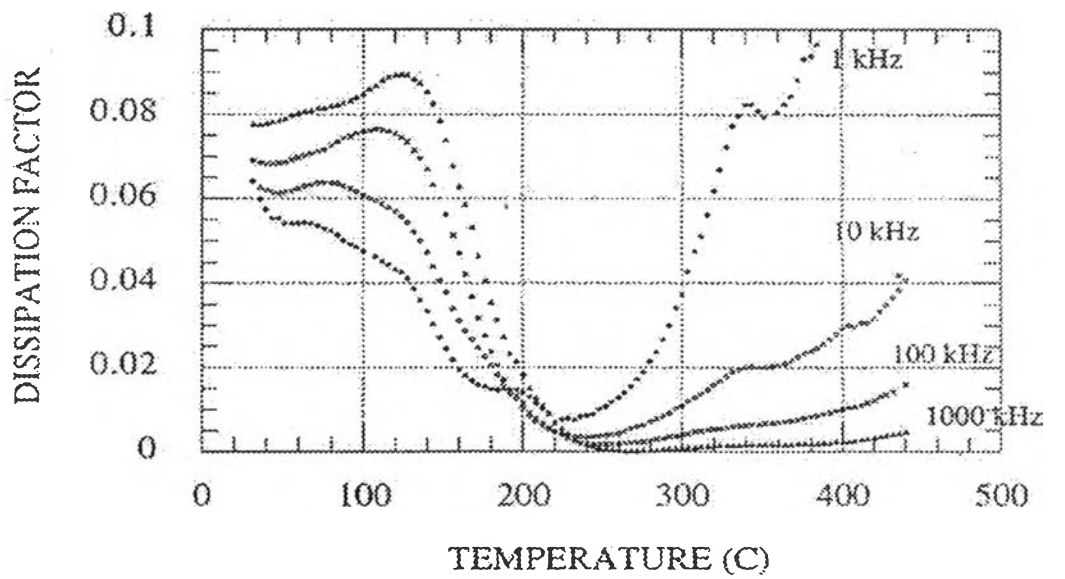
1. การผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันได้

2. อาจมีการสูญหายของตะกั่วออกไซด์ได้

3. สารเลดแมกนีเซียมไนโอเบตที่ใช้อาจเกิดเป็นเฟสไพโรคลอร์ได้ขณะทำการเผาซินเทอร์ริง

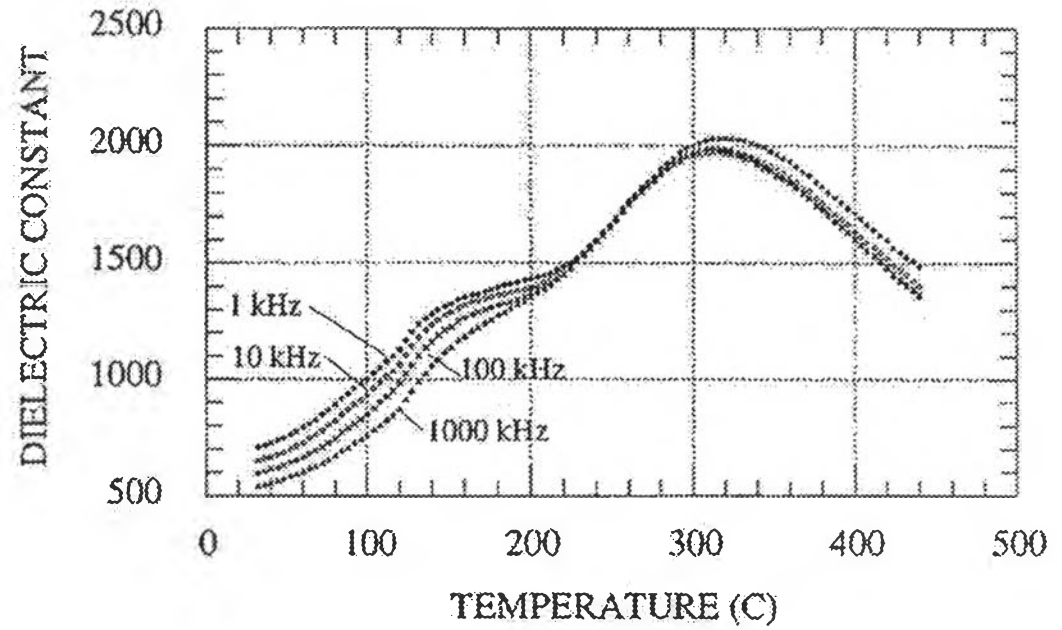


ก)

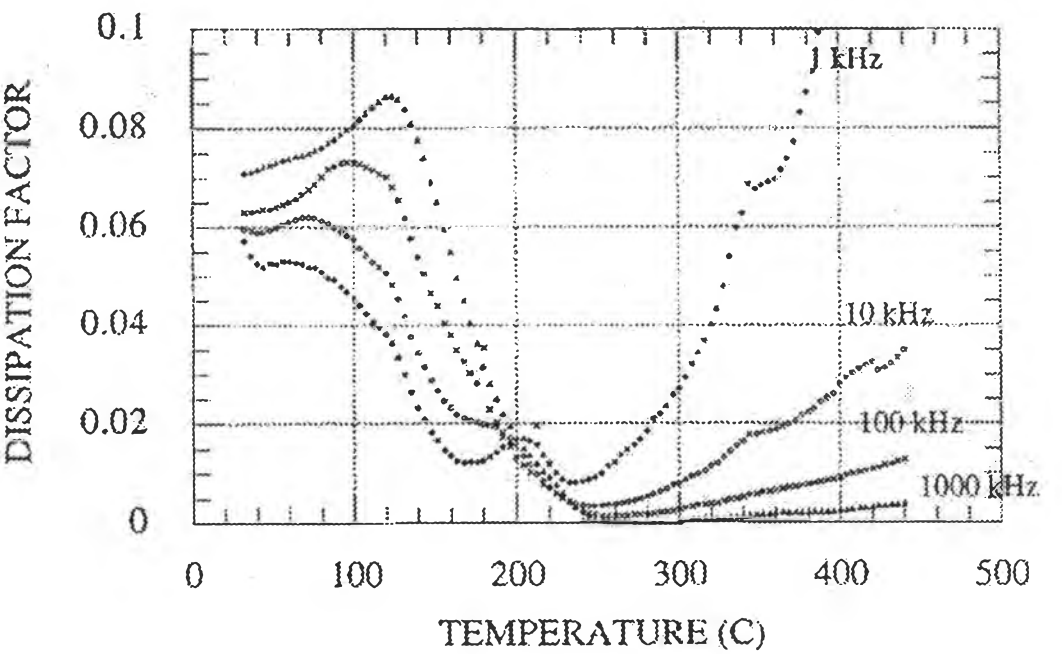


ข)

รูป 4.9 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

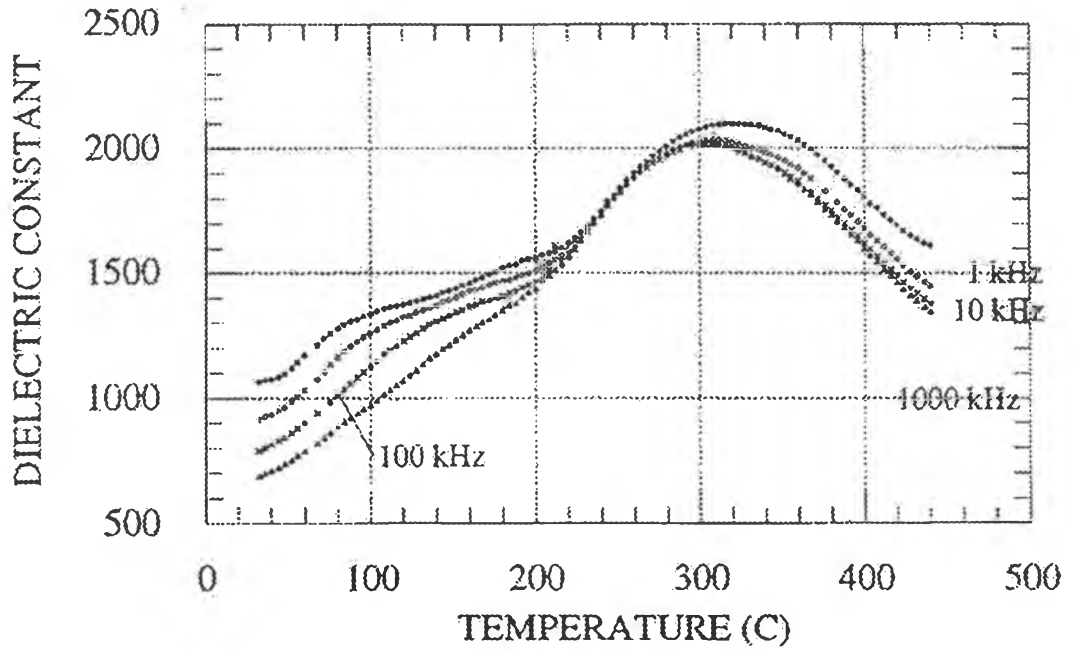


ก)

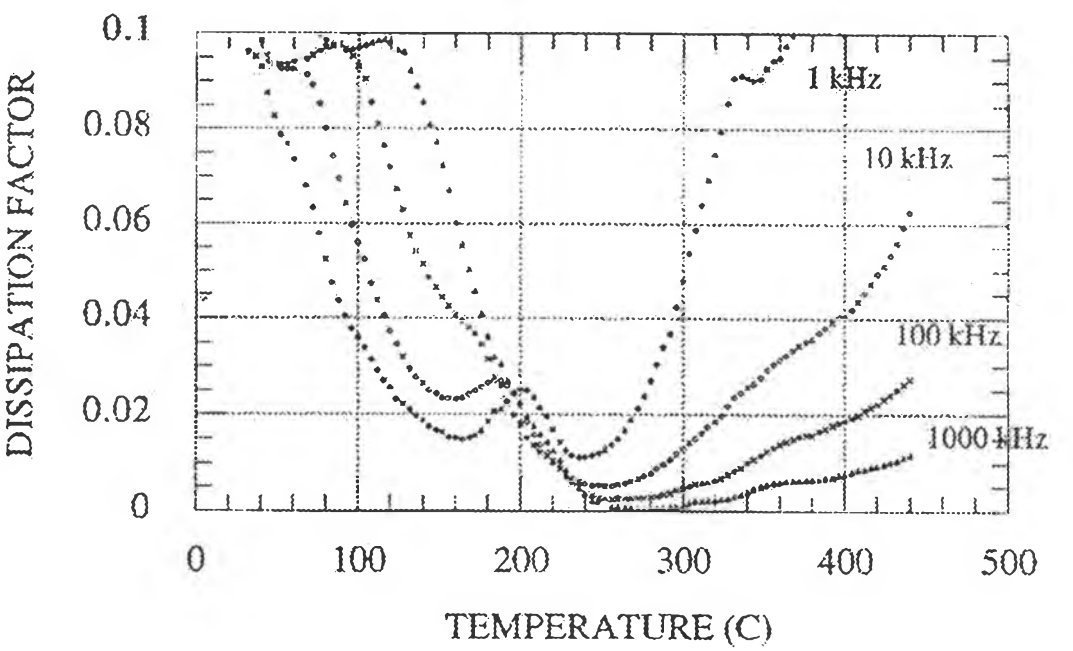


ข)

รูป 4.10 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-5%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

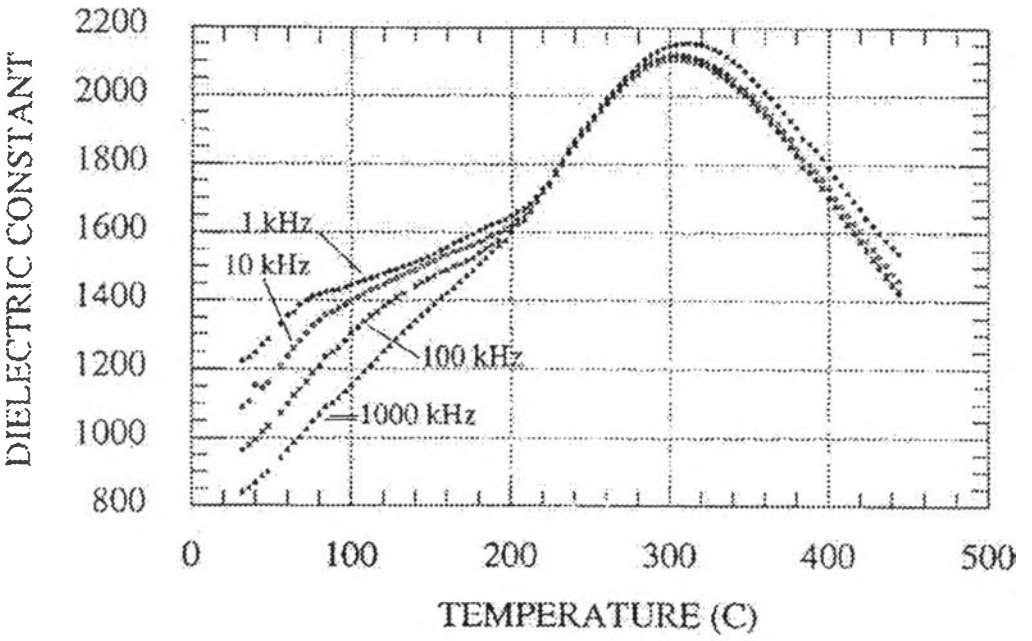


ก)

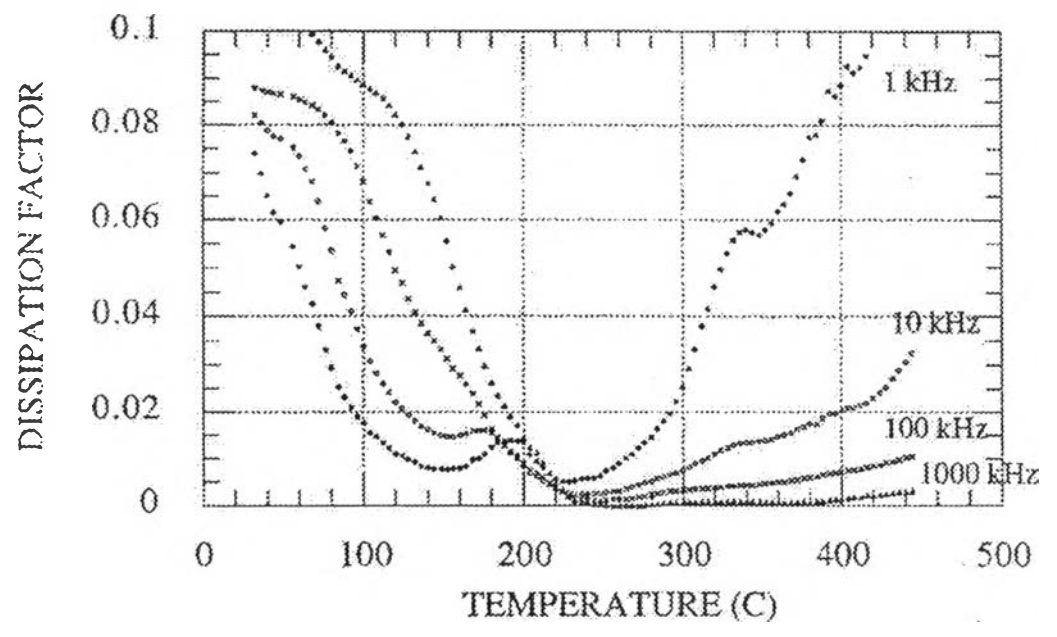


ข)

รูป 4.11 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-10%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

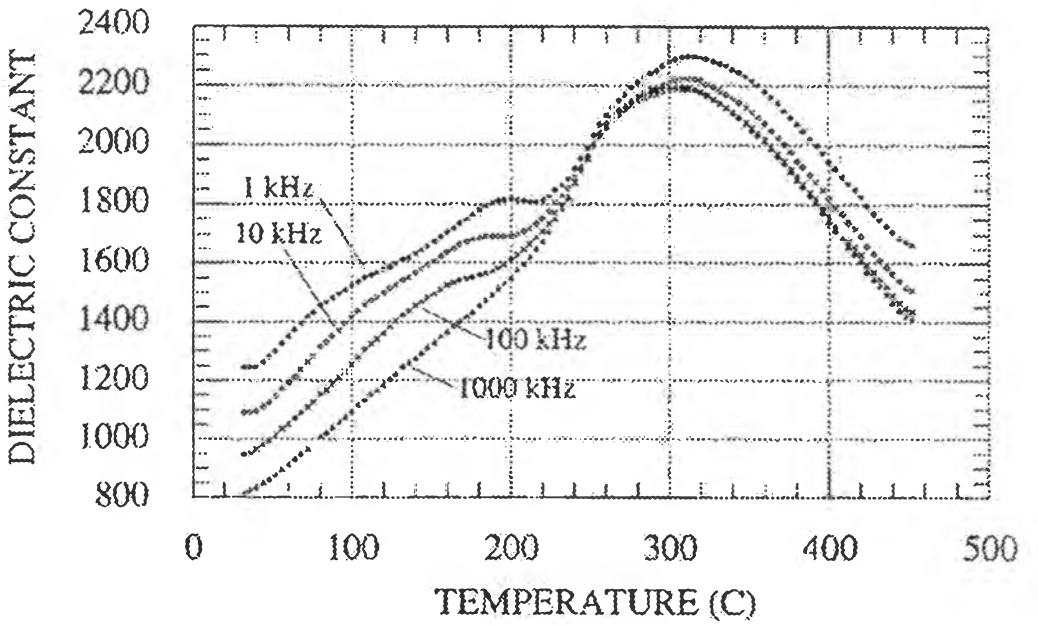


ก)

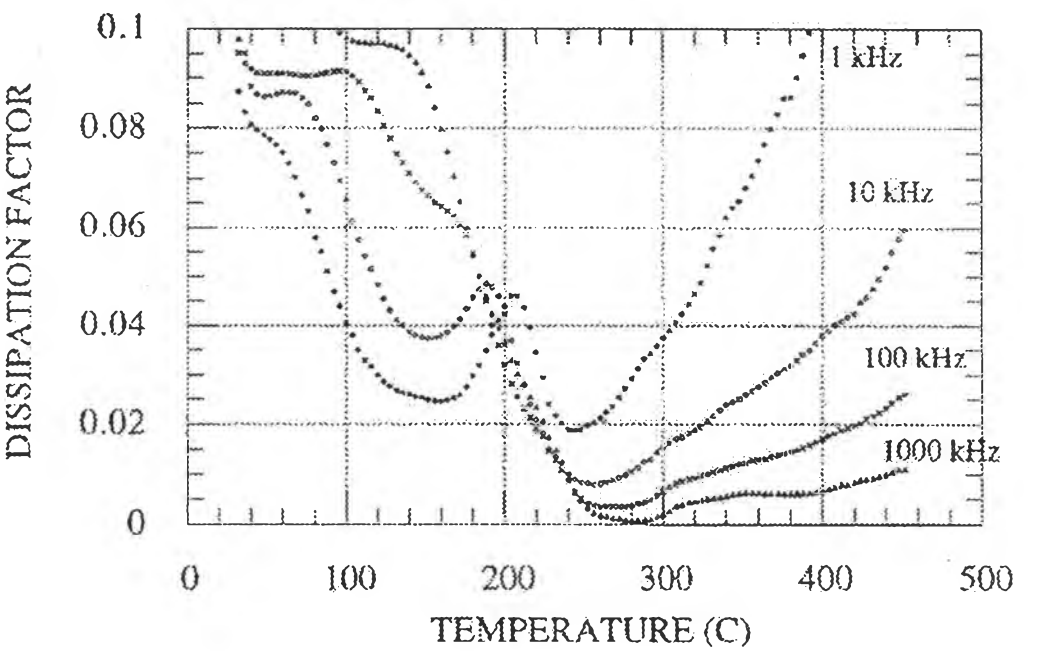


ข)

รูป 4.12 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-10%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก

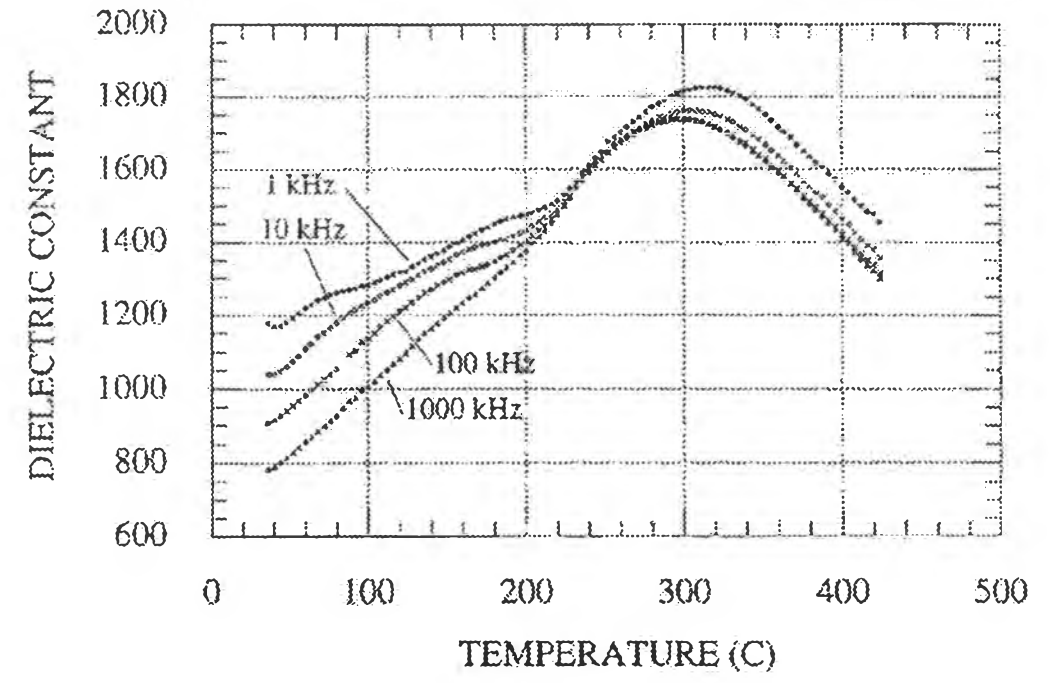


ก)

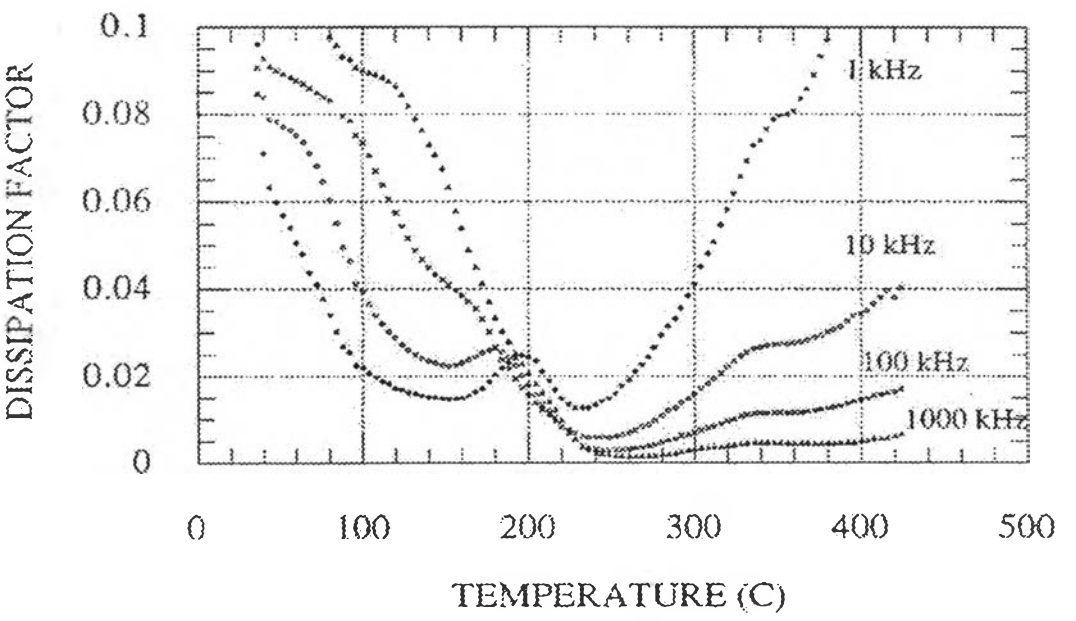


ข)

รูป 4.13 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-15%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1175 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก



ก)



ข)

รูป 4.14 สมบัติไดอิเล็กทริกจากการผสมเตรียมจากสารตั้งต้นที่เป็นออกไซด์และคาร์บอเนตของบิสมัทโซเดียมไททาเนต-15%เลดแมกนีเซียมไนโอเบต 1200 องศาเซลเซียส/1ชั่วโมง, ก)ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก, ข)ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก