สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**จ**
สารบัญภาพ	**ฉ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 แนวคิดทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**24**
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	24
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	24
3.3 วิธีการสังเคราะห์เซรามิก	25
3.4 วิธีการตรวจสอบสมบัติเซรามิก	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	**33**
4.1 ผลการตรวจสอบสมบัติไดอิเล็กทริก	33
4.2 ผลการตรวจสอบสมบัติเฟร์โรอิเล็กทริก	54
4.3 ผลการตรวจสอบสมบัติความเครียดที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า	57
4.4 ผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึก	59
4.5 ผลการตรวจความหนาแน่นและร้อยละการหดตัว	60
4.5 ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาค	63
4.6 ผลการตรวจสมบัติเชิงกลของเซรามิก	69
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	**71**
บรรณานุกรม	**73**

ประวัติผู้วิจัย **76**

สารบัญตาราง

ตารางที่		**หน้า**
2.1	แสดงสมบัติความเครียดที่เหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าภายนอกของวัสดุ(BNKT-BST)	20
2.2	แสดงโครงสร้างและตัวแปรของแลททิซของวัสดุระบบสตรอนเซียมไอรอนไนโอเบต	21
4.1	แสดงช่วงของอุณหภูมิ (T_d) และอุณหภูมิ (T_m) ทุกความเข้มข้น ที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์	45
4.2	แสดงค่าสมบัติเฟร์โรอิเล็กทริกของเซรามิก (1-x)BNKT–xSFT ที่ความต่างศักย์ 6000 V	56
4.3	ค่าความหนาแน่นของเซรามิกที่ปริมาณ SFT ต่างๆ	60
4.4	ค่าร้อยละการหดตัวเชิงเส้นของเซรามิกที่ปริมาณ SFT ต่างๆ	62
4.5	ขนาดเกรนเฉลี่ยของเซรามิกที่ปริมาณ SFT ต่าง ๆ	64
4.6	สมบัติของกลของเซรามิกของเซรามิกที่ปริมาณ SFT ต่างๆ	70

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การแบ่งกลุ่มของผลึกของวัสดุใน 32 กลุ่ม	5
2.2	ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสารเพียโซอิเล็กทริก	6
2.3	ไดโพลภายในเนื้อสาร (a) ก่อนทำการโพลลิ่ง และ (b) หลังทำโพลลิ่ง	7
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับโพลาไรเซชันของสารเฟร์โรอิเล็กทริก	8
2.5	การกระจายในโพลาไรเซชันของวัสดุไดอิเล็กทริก	9
2.6	การจัดเรียงไดโพลภายในเนื้อสารภายหลังหลังและก่อนการให้สนามไฟฟ้า	10
2.7	ลักษณะตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนานเมื่อให้ประจุเข้าไป (a) ระหว่างแผ่นคู่ขนานเป็นสุญญากาศ และ (b) ระหว่างแผ่นคู่ขนานเป็นสารไดอิเล็กทริก	11
2.8	โครงสร้างผลึกแบบเพอร์รอฟสไกต์	13
2.9	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อเจือไนโอเบียมในเซรามิกบิสมัทโซเดียม ไททาเนตและบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนต	14
2.10	ภาพถ่าย SEM ของเซรามิก BNKT-BA ที่เติมโพแทสเซียมที่สัดส่วน x เท่ากับ 0.15, 0.20, 0.22 และ 0.25	15
2.11	ผลของ BCZ ที่ผสมใน BNKT เซรามิกต่อสมบัติเฟร์โรอิเล็กทริกและสมบัติความเครียด	16
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโพลาไรเซชันกับสนามไฟฟ้าของเซรามิก BNKT/xZnO	16
2.13	สมบัติของความเครียดที่ถูกเหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าของชิ้นงานตัวอย่างที่ถูกปรับปรุงสมบัติโดยใช้สารเจือต่าง ๆ กัน	17
2.14	สมบัติของความเครียดที่ถูกเหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าของชิ้นงานตัวอย่างเมื่อทำการเติมไนโอเบียมสูงขึ้น	18
2.15	แสดงลักษณะของเกรนและค่าไดอิเล็กทริกเมื่อทำการเจือด้วย Ta	18
2.16	ขนาดเกรนเมื่อทำการเติมแมงกานีสมากขึ้น	19
2.17	สมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกและความเครียดที่เหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าภายนอกเมื่อทำการเติมบิสมัทเฟอร์ไรท์	19
2.18	แสดงค่าไดอิเล็กทริกและค่าความสูญเสียทางไดเล็กทริกของวัสดุสตรอนเชียมไอรอนไนโอเบต	22
2.19	แสดงค่าไดอิเล็กทริกและค่าความสูญเสียทางไดเล็กทริกของวัสดุ BZT-BFT	23
2.20	สมบัติทูนาบิลิทีของวัสดุ BZT-BFT	23

3.1	แผนผังการเผาแคลไซน์ของผงในระบบ (1-x)BNKT–xSFT	26
3.2	แผนผังขั้นตอนการเตรียมผงเซรามิกในระบบ (1-x)BNKT–xSFT	27
3.3	แผนผังการเผาซินเทอร์เซรามิกในระบบ (1-x)BNKT–xSFT	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.4	แผนผังขั้นตอนการเตรียมเซรามิกในระบบ (1-x)BNKT–xSFT	28
3.5	เครื่องสำหรับวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก	29
3.6	เครื่องตรวจสมบัติเฟร์โรอิเล็กทริก	30
3.7	ชิ้นงานที่เตรียม XRD	31
3.8	เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	31
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและความถี่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ – 2 เมกะเฮิรตซ์	33
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและความถี่ในช่วง 20 เฮิรตซ์– 2 เมกะเฮิรตซ์	34
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.00 โดยโมล	35
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.01 โดยโมล	36
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.02 โดยโมล	37
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.025 โดยโมล	38
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.03 โดยโมล	39
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.035 โดยโมล	40
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.04 โดยโมล	41
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่	42

ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.05 โดยโมล
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.06 โดยโมล 43
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด เปรียบเทียบกับทุก ความเข้มข้นที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ 44
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้ในการวัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.00 โดยโมล 45
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.01 โดยโมล 46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.02 โดยโมล 47
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.025 โดยโมล 48
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.03 โดยโมล 49
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.035 โดยโมล 50
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.04โดยโมล 51
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.05 โดยโมล 52
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกและอุณหภูมิที่ใช้วัด ณ ความถี่ต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ x = 0.06 โดยโมล 53
4.22 วงวนฮีสเทอรีซีส (P-E hysteresis loop) ที่ความเข้มข้น (a) x=0.00, (b) x=0.01, (c) x=0.02, (d) x=0.025, (e) x=0.03, (f) x=0.035, (g) x=0.04, (h) x=0.05 และ (i) x=0.06 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ 54
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและสนามไฟฟ้า (S-E) ที่ความเข้มข้น (a) x=0.00, (b) x=0.01, (c) x=0.02, (d) x=0.025, (e) x=0.03, (f) x=0.035, (g) 57

x=0.04, (h) x=0.05 และ (i) x=0.06 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ

4.24 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก (1 – x)BNKT – xSFT 59

4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณของ SFT ของเซรามิก (1 – x)BNKT – xSFT 61

4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการหดตัวเชิงเส้นกับปริมาณของ SFT ของเซรามิก (1 – x)BNKT – xSFT 63

4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนเฉลี่ยกับปริมาณของ SFT ต่าง ๆ 64

4.28 ภาพถ่ายผิวหน้าของเซรามิกระบบ (1-x)BNKT-xSFT ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 7,000 เท่า (a) x=0.00 (b) x=0.01 (c) x=0.02 (d) x=0.025 (e) x=0.03 (f) x=0.035 (g) x=0.04 (h) x=0.05 และ (i) x=0.06 ตามลำดับ 65