

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพประกอบ	ด
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ศ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนเอกสารทางวิชาการ	3
2.1 ความเป็นพิษอิเล็กทรอนิกส์	3
2.2 สารพิษอิเล็กทรอนิกส์	9
2.2.1 เลดเซอร์โคเนต (PbZrO ₃)	9
2.2.2 เลดติตาทาเนต (PbTiO ₃)	11
2.2.3 เลดเซอร์โคเนตติตาทาเนต (PZT)	12
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	18
3.1 สารเคมีที่ใช้	18
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	18
3.3 การเตรียมผงสารตัวอย่าง	19
3.3.1 การเตรียมผงเลดเซอร์โคเนต	19
3.3.2 การเตรียมผงเลดติตาทาเนต	21
3.3.3 การเตรียมผงเลดเซอร์โคเนตติตาทาเนตแบบดั้งเดิม	21
3.3.4 การเตรียมผงเลดเซอร์โคเนตติตาทาเนตแบบดัดแปลง	21
3.3.5 การเผาแคลไซน์ (Calcination)	22

	หน้า
3.4 การเตรียมเซรามิกสารตัวอย่าง	23
3.4.1 การขึ้นรูป	23
3.4.2 การเผาซินเตอร์ (Sintering)	24
3.5 การตรวจสอบผงที่เตรียมได้	27
3.5.1 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน	27
3.5.2 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึก	28
3.5.3 การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการกระจายตัว	30
3.6 การตรวจสอบเซรามิกที่เตรียมได้	30
3.6.1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึก	30
3.6.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	31
3.6.3 การตรวจสอบทางกายภาพ	31
3.6.3.1 การหาค่าความหนาแน่น	31
3.6.3.2 การหาค่าความหดตัว	32
3.6.3.3 การหาน้ำหนักที่สูญหาย	33
3.6.4 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	35
4.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง PZ	35
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ผง PZ ด้วยเทคนิค DTA	35
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ผง PZ ด้วยวิธี XRD	36
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ผง PZ ด้วยกล้อง SEM	50
4.1.4 ผลการวิเคราะห์ผง PZ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	52
4.1.5 ผลการวิเคราะห์เซรามิก PZ ด้วยวิธีการ XRD	53
4.1.6 ผลการหาค่าความหดตัวของเซรามิก PZ	58
4.1.7 ผลการหาน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZ	62

	หน้า
4.1.8 ผลการหาค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZ	65
4.1.9 ผลการตรวจสอบสมบัติไดอิเล็กตริกของเซรามิก PZ	69
4.1.10 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก PZ	75
4.2 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง PT	79
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ผง PT ด้วยเทคนิค DTA	79
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ผง PT ด้วยวิธี XRD	79
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ผง PT ด้วยกล้อง SEM	88
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ผง PT ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	90
4.2.5 ผลการวิเคราะห์เซรามิก PT ด้วยวิธีการ XRD	91
4.2.6 ผลการหาค่าความหดตัวของเซรามิก PT	96
4.2.7 ผลการหาค่าความหนาแน่นของเซรามิก PT	98
4.2.8 ผลการตรวจสอบสมบัติไดอิเล็กตริกของเซรามิก PT	100
4.2.9 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก PT	105
4.3 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง PZT ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมออกไซด์แบบดั้งเดิม	107
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยเทคนิค DTA	107
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยวิธี XRD	108
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยกล้อง SEM	119
4.3.4 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	121
4.3.5 ผลการวิเคราะห์เซรามิก PZT ด้วยวิธีการ XRD	122
4.3.6 ผลการหาค่าความหดตัวของเซรามิก PZT	125
4.3.7 ผลการหาค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT	129
4.3.8 ผลการหาค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT	132
4.3.9 ผลการตรวจสอบสมบัติไดอิเล็กตริกของเซรามิก PZT	136

	หน้า
4.3.10 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก PZT	142
4.4 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง PZT ที่เตรียมด้วยวิธีการผสมออกไซด์แบบดัดแปลง	143
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยเทคนิค DTA	143
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยวิธี XRD	144
4.4.3 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยกล้อง SEM	152
4.4.4 ผลการวิเคราะห์ผง PZT ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	154
4.4.5 ผลการวิเคราะห์เซรามิก PZT ด้วยวิธีการ XRD	155
4.4.6 ผลการหาค่าความหดตัวของเซรามิก PZT	161
4.4.7 ผลการหาค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT	165
4.4.8 ผลการหาค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT	168
4.4.9 ผลการตรวจสอบสมบัติไดอิเล็กตริกของเซรามิก PZT	172
4.4.10 โครงสร้างจุลภาคของเซรามิก PZT	178
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	180
5.1 สรุปผล	180
5.2 ข้อเสนอแนะ	181
เอกสารอ้างอิง	182
ประวัติการศึกษา	184

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ ที่มีการใช้อุณหภูมิซินเตอร์และเวลาในการเผาแช่ค่าต่างๆ	59
2	แสดงค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เวลาแช่นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 และ 10 °ซ/นาที่	60
3	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ ที่มีการใช้อุณหภูมิซินเตอร์และเวลาในการเผาแช่ค่าต่างๆ	63
4	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ ค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 และ 10 °ซ/นาที่	64
5	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZ ที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ และเวลาค่าต่างๆ ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที่	66
6	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZ ที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิและ เวลาต่างๆ ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 5 และ 10 °ซ/นาที่	67
7	แสดงค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PT ที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1225 °ซ ที่มีการใช้เวลาและอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	97
8	แสดงค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PT ที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1230 °ซ ที่มีการใช้เวลาและอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	97
9	แสดงค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PT ที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1240 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	98
10	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PT เมื่อผ่านการเผาด้วยซินเตอร์ด้วย เงื่อนไขที่แตกต่างกัน	99

ตาราง	หน้า	
11	แสดงค่าความหดตัวของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ ค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิเป็น 3 °ซ/นาที	126
12	แสดงค่าความหดตัวของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1100 °ซ เป็นเวลาต่างๆ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิเป็น 3 °ซ/นาที	126
13	แสดงค่าความหดตัวของเซรามิก PZT ที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	127
14	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ ค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	129
15	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1100 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที โดยมีระยะเวลาเผาแช่นาน ต่างกัน	130
16	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างกัน	130
17	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ ค่าต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	133
18	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1100 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที โดยใช้เวลาในการ เผาแช่นานต่างกัน	133
19	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT ที่ซินเตอร์ ณ อุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	134
20	แสดงค่าความหดตัวของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	161

ตาราง		หน้า
21	แสดงค่าความหดตัวของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	162
22	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT ที่ซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	165
23	แสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	166
24	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	168
25	แสดงค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	169

สารบัญภาพประกอบ

รูป		หน้า
2.1	แสดงปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กตริกในเซรามิก PZT	4
2.2	แสดงการจัดแบ่งกลุ่มของวัสดุพวกอิเล็กโทรเซรามิกด้วยการใช้สมมาตรของวัสดุ	6
2.3	แบบจำลองแสดงลักษณะของการจัดเรียงตัวของขั้วที่ตรงข้ามกัน (antipolar) ในระนาบ ab ของ PZ	10
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZ	10
2.5	แสดงหน่วยเซลล์ (unit cell) แบบเพอรอฟสไกต์ ABO_3 ของ PZT	13
2.6	แสดงเฟสไดอะแกรมของระบบสาร $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$	14
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนในการเตรียมผง PZ	20
3.2	แสดงแผนผังการเผาแคลไซน์ที่ใช้	22
3.3	แสดงแบบของแม่พิมพ์โลหะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป	23
3.4	แสดงกลไกการรวมกันของอนุภาคในระหว่างกระบวนการเผาซินเตอร์แบบ solid state sintering	24
3.5	แสดงลักษณะการจัดวางตัวของสารตัวอย่างสำหรับการเผาซินเตอร์	26
3.6	แสดงแผนผังการเผาซินเตอร์ที่ใช้	26
3.7	แสดงแผนภาพที่อธิบายถึงหลักการทำงานของเครื่อง DTA	28
3.8	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามกฎของ Bragg	29
3.9	แผนภาพแสดงการวัดค่าความจุไฟฟ้าและค่าตัวประกอบการสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริก	34
4.1	กราฟแสดงพฤติกรรมทางความร้อนของสารผสม PbO กับ ZrO_2	36

รูป		หน้า
4.2	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	39
4.3	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ โดยใช้เวลาเผาแช่นานต่างกัน ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	40
4.4	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ทำการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 700 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3, 5, 10 และ 20 °ซ/นาที	41
4.5	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 700 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3, 5, 10 และ 20 °ซ/นาที	42
4.6	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ทำการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3, 5, 10 และ 20 °ซ/นาที	43
4.7	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3, 5, 10 และ 20 °ซ/นาที	44
4.8	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3, 5, 10 และ 20 °ซ/นาที	45

รูป		หน้า
4.9	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5, 10 และ 20 °ซ/นาที	46
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้เมื่อทำการเผาแซ่อุณหภูมิ ต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที ที่มีการใช้อุณหภูมิ ในการแคลไซน์ต่างกัน	47
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้เมื่อทำการเผาแคลไซน์ ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที ที่มีการใช้ระยะเวลาใน การเผาแซ่นานต่างกัน	47
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้เมื่อทำการเผาแคลไซน์ ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ ที่ต่างกัน	48
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้ เมื่อทำการเผาแคลไซน์ ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิที่ต่างกัน	48
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้เมื่อทำการเผาแคลไซน์ ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ ที่ต่างกัน	49
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้ เมื่อทำการเผาแคลไซน์ ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ ที่ต่างกัน	49

รูป		หน้า
4.16	แสดงภาพถ่าย SEM ของผง PZ ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที โดยใช้อุณหภูมิแคลไซน์ค่าต่างๆ	51
4.17	แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผง PZ	52
4.18	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZ ที่ผ่านการการเผาซินเตอร์ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที ที่มีการใช้อุณหภูมิซินเตอร์และเวลาเผาแซ่ค่าต่างๆ	54
4.19	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 °ซ/นาที	55
4.20	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 10 °ซ/นาที	56
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้ กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 °ซ/นาที	57
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZ ที่ได้ กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 10 °ซ/นาที	57
4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PZ กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลง 5 °ซ/นาที	61
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PZ กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลง 10 °ซ/นาที	61
4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญหายกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 และ 10 °ซ/นาที	65

รูป		หน้า
4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์กับค่าความหนาแน่นของเซรามิก เมื่อเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 °ซ/นาที่	68
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์กับค่าความหนาแน่นของเซรามิก เมื่อเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 10 °ซ/นาที่	68
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์ และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริกกับความถี่ของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่น 96.64%	70
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์ และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริก กับอุณหภูมิของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่น 96.64%	70
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริกกับความถี่ของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่น 90.94%	71
4.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริก กับอุณหภูมิของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่น 90.94%	71
4.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริกกับความถี่ของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่น 86.48%	72
4.33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่น 86.48%	72
4.34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์กับความถี่ของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน	73
4.35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดีลิกตริกกับความถี่ของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน	73
4.36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอม สัมพัทธ์กับอุณหภูมิของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน	74

รูป		หน้า
4.37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดโอดเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน	74
4.38	แสดงภาพถ่าย SEM ของผิวเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 °ซ/นาที่	76
4.39	แสดงภาพถ่าย SEM ของผิวที่แตกหักของเซรามิก PZ ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 10 °ซ/นาที่	77
4.40	แสดงภาพถ่าย SEM ของบริเวณผิวที่แตกหักของเซรามิก PZ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน	78
4.41	แสดงพฤติกรรมทางความร้อนของสารผสม PbO กับ TiO ₂	79
4.42	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	81
4.43	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ/นาที่ โดยใช้เวลาเผาแช่นานต่างกัน ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	82
4.44	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 700 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิ 3, 5, 10, 20 และ 25 °ซ/นาที่	83
4.45	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิ 3, 5, 10, 20 และ 25 °ซ/นาที่	84

รูป		หน้า
4.46	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3, 5, 10, 20 และ 25 °ซ/นาที่	85
4.47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที่	86
4.48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ/นาที่ ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที่ ที่มีการใช้เวลาในการเผาแตกต่างกัน	86
4.49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ด้วยอุณหภูมิ 700 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิ 3, 5, 10, 20 และ 25 °ซ/นาที่	87
4.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิ 3, 5, 10, 20 และ 25 °ซ/นาที่	87
4.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง อุณหภูมิ 3, 5, 10, 20 และ 25 °ซ/นาที่	88
4.52	แสดงภาพถ่าย SEM ของผง PT ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ โดยใช้อุณหภูมิแคลไซต์ค่าต่างๆ	89
4.53	แสดงพฤติกรรมกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผง PT	90
4.54	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PT ที่ผ่านเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1225 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	92

รูป		หน้า
4.55	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1225 °ซ เป็นเวลานาน 2.15 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 5 และ 10 °ซ/นาที	93
4.56	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1225 °ซ เป็นเวลานาน 2.30 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	94
4.57	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1230 °ซ เป็นเวลานาน 2.30 ชั่วโมง ด้วยเวลาและอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	95
4.58	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร PT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1225 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	96
4.59	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 97.18%	101
4.60	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 97.18%	101
4.61	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 57.13%	102
4.62	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 57.13%	102
4.63	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับความถี่ของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 97.18% และ 57.13%	103
4.64	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 97.18% และ 57.13%	103

รูป		หน้า
4.65	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับอุณหภูมิของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 97.18% และ 57.13%	104
4.66	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่น 97.18% และ 57.13%	104
4.67	แสดงภาพถ่าย SEM ของเซรามิก PT ที่มีความหนาแน่นต่างกัน	105
4.68	กราฟแสดงพฤติกรรมทางความร้อนของสารผสม PbO, ZrO ₂ และ TiO ₂	107
4.69	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิค่าต่าง ๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	110
4.70	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ โดยใช้เวลาในการเผาแช่นานต่างกัน	111
4.71	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 700 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 1, 3, 5 และ 10 °ซ/นาที่	112
4.72	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 700 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่ออุณหภูมิ 3, 5 และ 10 °ซ/นาที่	113
4.73	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่ออุณหภูมิ 1, 3, 5 และ 10 °ซ/นาที่	114

รูป		หน้า
4.74	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิอุณหภูมิ 1, 3, 5 และ 10 °ซ/นาที	115
4.75	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิอุณหภูมิ 3, 5 และ 10 °ซ/นาที	116
4.76	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	117
4.77	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิ 750 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที โดยใช้ระยะเวลา ในการเผาแตกต่างกัน	117
4.78	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	118
4.79	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	118
4.80	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วย อุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	119
4.81	แสดงภาพถ่าย SEM ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที โดยใช้อุณหภูมิแคลไซน์ค่าต่างๆ	120
4.82	แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผง PZT	121
4.83	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที	123

รูป		หน้า
4.84	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	124
4.85	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที่	125
4.86	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดตัวของเซรามิก PZT กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาแช่นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที่	127
4.87	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดตัวของเซรามิก PZT กับระยะเวลาเผาแช่ เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1100 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลง 3 °ซ/นาที่	128
4.88	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดตัวของเซรามิก PZT กับอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง	128
4.89	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญหายกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ PZT เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	131
4.90	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญหายกับเวลาเผาแช่ที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ PZT ด้วยอุณหภูมิ 1100 °ซ ที่ใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	131
4.91	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญหายกับอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ PZT ด้วยอุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง	132
4.92	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์กับค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	134
4.93	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT กับระยะเวลาเผาแช่ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1100 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ โดยใช้เวลาในการเผาแช่ต่างกัน	135

รูป		หน้า
4.94	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT กับอัตรา การขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ใช้ เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1150 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง	135
4.95	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็น ความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 89.43%	137
4.96	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็น ความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 89.43%	137
4.97	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็น ความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 87.68%	138
4.98	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็น ความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 87.68%	138
4.99	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็น ความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 79.94%	139
4.100	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็น ความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 79.94%	139
4.101	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	140
4.102	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของ ไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นต่างกัน	140
4.103	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	141
4.104	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของ ไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	141

รูป		หน้า
4.105	แสดงภาพถ่ายของผิวที่แตกหักของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	142
4.106	กราฟแสดงพฤติกรรมทางความร้อนของสารผสมระหว่าง PZ และ PT	144
4.107	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	145
4.108	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิเป็น 3 °ซ/นาที่	146
4.109	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ/นาที่ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิเป็น 3 °ซ/นาที่ โดยใช้เวลาในการเผาแช่นานต่างกัน	147
4.110	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ต่างกัน	148
4.111	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ต่างกัน	149
4.112	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 1000 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ต่างกัน	150
4.113	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 800 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ต่างกัน	151
4.114	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ โดยใช้เวลาในการเผาแช่นานต่างกัน	151

รูป		หน้า
4.115	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยการใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ต่างกัน	152
4.116	แสดงภาพถ่าย SEM ของผง PZT ที่ผ่านการเผาแคลไซน์เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ โดยใช้อุณหภูมิแคลไซน์ต่างกัน	153
4.117	แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผง PZT	154
4.118	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	155
4.119	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	156
4.120	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่ โดยใช้เวลาในการเผาเช่นกันต่างกัน	157
4.121	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	158
4.122	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซรามิก PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างๆ	159
4.123	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	160
4.124	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเฟส PZT ที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิต่างกัน	160
4.125	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดรัดตัวของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	163

รูป		หน้า
4.126	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดตัวของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	163
4.127	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดตัวของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	164
4.128	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหดตัวของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	164
4.129	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญหายกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ PZT ด้วยอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	167
4.130	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญหายของเซรามิก PZT ที่เผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลาค่าต่างๆ ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	167
4.131	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์กับค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิค่าต่างๆ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 3 °ซ/นาที่	170
4.132	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิกับค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	170
4.133	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิกับค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	171
4.134	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิกับค่าความหนาแน่นของเซรามิก PZT เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิค่าต่างๆ	171

รูป		หน้า
4.135	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 90.55%	173
4.136	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 90.55%	173
4.137	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 88.93%	174
4.138	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 88.93%	174
4.139	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 83.31%	175
4.140	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่น 83.31%	175
4.141	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	176
4.142	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	176
4.143	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์กับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	177
4.144	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิของเซรามิก PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่างกัน	177
4.145	แสดงภาพถ่ายของผิวที่แตกหักของเซรามิก PZT ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์	178
4.146	แสดงเซรามิกของสารตัวอย่างที่เตรียมได้	179

อักษรย่อและสัญลักษณ์

PZ	เลดเซอร์โคเนต	
PT	เลดติตาเนต	
PZT	เลดเซอร์โคเนตติตาเนต	
T_c	อุณหภูมิคูรี	
ϵ_r	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์	
D	ค่าการกระจัดทางไดอิเล็กตริก	
T	ความเค้น	
E	สนามไฟฟ้า	
S	ความเครียด	
d	ค่าสัมประสิทธิ์ทางไพโซอิเล็กตริก	
s	ค่าการยอมตาม	
ϵ	ค่าสภาพยอม	
ϵ^T	ค่าสภาพยอมของวัสดุเมื่อแรงเค้นมีค่าคงที่	
S^E	ค่าการยอมตามของวัสดุเมื่อค่าสนามไฟฟ้าคงที่	
d_{33}	ค่าสัมประสิทธิ์ทางไพโซอิเล็กตริกของวัสดุที่มีการแยกขั้วไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทาง 3 เมื่อมีการให้แรงแก่วัสดุไพโซอิเล็กตริกในทิศทาง 3	3
g	ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรถัด	
ϵ_0	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของสุญญากาศ	
k	ค่าสัมประสิทธิ์คู่ควบไพโซอิเล็กตริก	
ABO_3	เพอโรฟสไคท์	
MPB	มอร์โฟโทรฮิกเฟสบาวเดรี	
TEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทะลุผ่าน	
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	
PVA	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	
DTA	ดิฟเฟอเรนเชียล เทอร์มอล อานาไลซิส	

XRD	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
T_M	อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแคลไซต์
T_S	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาแซ่
R_1/R_2	อัตราการใช้/ลงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา
T_m	อุณหภูมิหลอมเหลว
d	ค่า d-spacing หรือระยะห่างระหว่างคู่ระนาบอะตอม
λ	ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากเป้าทองแดง
θ	มุมของ Bragg
I_M	ความเข้มสูงสุดของพีคของรังสีเอกซ์ของเฟสหลัก
I_m	ความเข้มสูงสุดของพีคของรังสีเอกซ์ของเฟสปลอมปน
ρ	ความหนาแน่น
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
t	ความหนา
V	ปริมาตร
W	น้ำหนัก
$\tan\delta$	ค่าความสูญเสียเป็นความร้อนของไดอิเล็กตริก
A	พื้นที่ขั้วไฟฟ้าบนผิวของสารตัวอย่าง