

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ญ
อักษรย่อ และสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 สารเพียโซอิเล็กทริก	3
2.1.1 สารเฟอร์โรอิเล็กทริก	5
2.1.2 โครงสร้างผลึกเพียโซอิเล็กทริก	5
2.2 เลดเซอร์โคเนตติตนาเต	8
2.2.1 โครงสร้างของพีแซดที	8
2.3 สมบัติเพียโซอิเล็กทริก	10
2.3.1 สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก	12
2.3.2 Piezoelectric Coupling Factor	13
2.4 สมบัติไดอิเล็กทริก	15
2.4.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	15
2.4.2 การสูญเสียในวัสดุไดอิเล็กทริก	17
2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับพอลิเมอร์	18
2.5.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์	18
2.5.2 โพลีเอธิลีน	21
2.5.3 การหาความหนาแน่นของพอลิเมอร์	22
2.6 ของผสมเพียโซอิเล็กทริกและพอลิเมอร์	23
2.6.1 การเรียงติดกัน	23
2.6.2 ของผสมแบบ 0-3	23
2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา	24
บทที่ 3. วิธีการทดลอง	
3.1 การเตรียมเซรามิกพีแซดทีในของผสม	27

3.1.1	ขั้นตอนการเตรียมผงแคลไซต์	27
3.1.2	ขั้นตอนการขึ้นรูป	30
3.1.3	ขั้นตอนการเผาซินเตอร์	31
3.1.4	ขั้นตอนการเตรียมผงเซรามิกโดยวิธีการบด-ร่อน	33
3.2	การวิเคราะห์เซรามิก และผงเซรามิกที่เตรียม	35
3.2.1	การวิเคราะห์ด้วย x-ray diffractometer	36
3.2.2	การหาค่าความหดตัว	37
3.2.3	การหาค่าความหนาแน่น	37
3.2.4	การหาขนาดผงเซรามิก	38
3.3	การเตรียมของผสมแบบ 0-3	39
3.3.1	การรีดแผ่น	39
3.3.2	การอัดเม็ดของผสม	40
3.3.3	การทำขั้วอิเล็กโตรด	40
3.3.4	การโพล	41
3.4	สมบัติไดอิเล็กตริก	42
3.4.1	การหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	42
3.4.2	การหาค่า $\tan\delta$	42
3.5	สมบัติเพียโซอิเล็กตริก	43
3.6	การวัดค่า Resonance Frequency และ Antiresonance Frequency	45
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1	ผลการทดลอง	46
4.1.1	ผลการวิเคราะห์ด้วย x-ray diffractometer	46
4.1.2	ผลการวัดค่าความหดตัว	49
4.1.3	ผลการหาขนาดผงสารพีแซดที่	49
4.1.4	ผลการหาค่าความหนาแน่น	53
4.1.5	ผลการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	56
4.1.6	ผลการหาค่า d_{33}	61
4.1.7	การกระจายของอนุภาคเซรามิกพีแซดที่โดยการถ่ายภาพ SEM	65
4.1.8	ผลการหาค่า planar coupling factor	75
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	75
4.2.1	การวิเคราะห์ผลที่ได้จาก x-ray diffractometer	75
4.2.2	การวิเคราะห์ผลการหดตัวของเซรามิกพีแซดที่	75

4.2.3 การวิเคราะห์การหาขนาดของผงสารพีแชนด์ที่	75
4.2.4 การวิเคราะห์ผลการหาค่าความหนาแน่นของเซรามิกพีแชนด์ที่, โพลีเอธิลีน และของผสม	76
4.2.5 การวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของพีแชนด์ที่, โพลีเอธิลีน และของผสม	78
4.2.6 การวิเคราะห์ผลค่า d_{33} ของเซรามิกพีแชนด์ที่ และของผสม	79
4.2.7 การวิเคราะห์ผลจากภาพถ่าย SEM	80
บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	81
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	82
5.3 ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก	89
ประวัติการศึกษา	92

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 อุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิที่เปลี่ยนเป็นแก้วของเทอร์โมพลาสติก	20
3.1 สารตั้งต้นที่นำมาใช้เตรียมผงพีแซดที	28
4.1 การเปรียบเทียบค่า d-spacing ของเซรามิกพีแซดที	48
4.2 เปอร์เซนต์ความหดตัวของเซรามิกพีแซดที	49
4.3 แสดงผลการหาขนาดผงเซรามิกที่ผ่านการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงในลอน ขนาดต่างๆ	50
4.4 ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง	54
4.5 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของของผสมเทียบกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพลสำหรับ ของผสมที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงพีแซดทีกับพอลิเมอร์เท่ากับ 40:60 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร	56
4.6 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของของผสมเทียบกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพลสำหรับ ของผสมที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงพีแซดทีกับพอลิเมอร์เท่ากับ 50:50 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร	57
4.7 ค่า d_{33} ของของผสมเทียบกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพลสำหรับของผสม ที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงพีแซดทีกับพอลิเมอร์เท่ากับ 40:60 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร	62
4.8 ค่า d_{33} ของของผสมเทียบกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพลสำหรับของผสม ที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงพีแซดทีกับพอลิเมอร์เท่ากับ 50:50 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร	62

สารบัญภาพประกอบ

รูป	หน้า
2.1 การจำแนกสารโดยอาศัยสมมาตรผลึก	3
2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กตริก (ก) แบบ direct และ (ข) แบบ converse	4
2.3 แสดงเส้นวงฮิสเตอร์รีซิสของผลึกที่มีเฟอร์โรอิเล็กตริก	5
2.4 หน่วยเซลล์ของแบเรียมติตาเนตที่มีโครงสร้างแบบคิวบิก	6
2.5 การเปลี่ยนโครงสร้างของแบเรียมติตาเนตที่อุณหภูมิต่างๆ	6
2.6 การเรียงโดเมนก่อนและหลังการให้สนามไฟฟ้า	7
2.7 โครงสร้างผลึกพีแซดที่เป็นแบบ perovskite	8
2.8 เฟสไดอะแกรมของระบบ $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$	9
2.9 แผนภาพ 2 มิติ ของโครงสร้างแบบ perovskite ของ BaTiO_3 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของอ็อกซิเจนในทิศทางต่างๆ	12
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance กับความถี่	13
2.11 ค่า k_p สำหรับสารที่มีรูปร่างเป็นแผ่นจานกลม (disc)	14
2.12 การวางตัวเก็บประจุ (a) ในสนามไฟฟ้ากระแสตรง (b) ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ (c) แสดงค่า loss tangent ที่เกิดขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริก	16
2.13 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างและพฤติกรรมของเทอร์โมพลาสติคพอลิเมอร์	19
2.14 แสดงหน่วยเซลล์ของผลึกโพลีเอธิลีน	21
2.15 การเกิดโพลีเอธิลีนจากปฏิกิริยารวมตัวของโมเลกุลเอธิลีน	22
2.16 ลักษณะการเรียงติดกันของของผสม 2 เฟส	24
3.1 การใช้อุณหภูมิในการเผาแคลไซน์	29
3.2 แบบแม่พิมพ์โลหะที่ใช้อัด	30
3.3 การจัดเรียงเม็ดเซรามิกพีแซดที่เพื่อทำการเผาซินเตอร์	31
3.4 การใช้อุณหภูมิในการเผาซินเตอร์	32
3.5 การเกิด neck ระหว่างอนุภาคในการเผาซินเตอร์	33
3.6 การร่อนผงเซรามิกพีแซดที่	34
3.7 แผนผังขั้นตอนการเตรียมและวิเคราะห์ผงเซรามิกพีแซดที่	35
3.8 การสะท้อนจากกระนาบอะตอมที่ขนานกันห่างกัน d	36
3.9 การผสมของผสมแบบ 0-3 โดยวิธีการรีดแผ่น	40
3.10 แผนภาพการโพล	41
3.11 หลักการวัดค่า d_{33}	43

รูป	หน้า
4.1 Diffraction pattern ของเซรามิกพีแชนด์ที่เตรียมได้	47
4.2 ภาพถ่าย SEM ของผงเซรามิกที่ผ่านการบด-ร่อนผ่านตะแกรงไนลอนเบอร์ 140 (ผงสาร size 1 ขนาดเล็กกว่า 34 μm .)	50
4.3 ภาพถ่าย SEM ของผงเซรามิกที่ผ่านการบด-ร่อนผ่านตะแกรงไนลอนเบอร์ 120 และ 140 (ผงสาร size 2 ขนาดประมาณ 34-60 μm .)	51
4.4 ภาพถ่าย SEM ของผงเซรามิกที่ผ่านการบด-ร่อนผ่านตะแกรงไนลอนเบอร์ 36 และ 120 (ผงสาร size 3 ขนาดประมาณ 60-167 μm .)	51
4.5 ภาพถ่าย SEM ของผงเซรามิกที่ผ่านการบด-ร่อนผ่านตะแกรงไนลอนเบอร์ 28 และ 36 (ผงสาร size 4 ขนาดประมาณ 167-181 μm .)	52
4.6 ภาพถ่าย SEM ของผงเซรามิกที่ผ่านการบด-ร่อนผ่านตะแกรงไนลอนเบอร์ 28 และ 17 (ผงสาร size 5 ขนาดประมาณ 181-316 μm .)	52
4.7 โครงสร้างจุลภาคของเม็ดเซรามิกพีแชนด์	53
4.8 กราฟความหนาแน่นกับขนาดผงเซรามิกพีแชนด์ที่ใช้เตรียมของผสม	55
4.9 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของของผสมที่เตรียมขึ้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่างพีแชนด์กับพอลิเมอร์เท่ากับ 40:60 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเทียบกับขนาดของผงเซรามิกที่ใช้เตรียมของผสม	58
4.10 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของของผสมที่เตรียมขึ้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่างพีแชนด์กับพอลิเมอร์เท่ากับ 50:50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเทียบกับขนาดของผงเซรามิกที่ใช้เตรียมของผสม	59
4.11 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของของผสมเทียบกับความถี่	60
4.12 ค่า $\tan \delta$ ของของผสมเทียบกับความถี่	61
4.13 ค่า d_{33} ของของผสมที่เตรียมขึ้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่างพีแชนด์กับพอลิเมอร์ เท่ากับ 40:60 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเทียบกับขนาดของผงเซรามิกที่ใช้เตรียมของผสม	63
4.14 ค่า d_{33} ของของผสมที่เตรียมขึ้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่างพีแชนด์กับพอลิเมอร์ เท่ากับ 50:50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเทียบกับขนาดของผงเซรามิกที่ใช้เตรียมของผสม	64
4.15 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 40:60 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดเล็กกว่า 34 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	65

4.16 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 40:60 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 34-60 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	66
4.17 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 40:60 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 60-167 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	67
4.18 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 40:60 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 167-181 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	68
4.19 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 40:60 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 181-316 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	69
4.20 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 50:50 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดเล็กกว่า 34 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 2000 เท่า	70
4.21 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 50:50 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 34-60 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 4000 เท่า	71
4.22 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 50:50 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 60-167 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 1000 เท่า	72
4.23 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 50:50 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 167-181 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	73
4.24 การกระจายของอนุภาคพีแชนด์ทีในเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่อัตราส่วน 50:50 ซึ่งเตรียมจากผงเซรามิกที่มีขนาดประมาณ 181-316 μm . (a) ขยาย 40 เท่า (b) ขยาย 200 เท่า	74
ก.1 ดาข่ายในลอนเบอร์ 17	89
ก.2 ดาข่ายในลอนเบอร์ 28	90
ก.3 ดาข่ายในลอนเบอร์ 36	90
ก.4 ดาข่ายในลอนเบอร์ 120	91
ก.5 ดาข่ายในลอนเบอร์ 140	91

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ϵ_r	dielectric constant หรือค่า relative permittivity
ϵ_0	permittivity ของ free space
ω	ความถี่เชิงมุม
λ	ความยาวคลื่นของ x-ray
ρ	ความหนาแน่น
θ	มุมที่วัดจากระนาบอะตอมที่ขนานกันห่างกัน d
a	lattice parameter a
A	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นโลหะที่ประกบวัสดุไดอิเล็กตริก
b	lattice parameter b
c	lattice parameter c
C	ความจุไฟฟ้าของวัสดุ
C_0	ความจุไฟฟ้าของอากาศ
d	d-spacing
d	ความหนา
D	dielectric displacement
d_{15}	piezoelectric coefficient ในแนวเฉือน
d_{31}	piezoelectric coefficient ในแนวตั้งฉากการโพล
d_{33}	piezoelectric coefficient ในแนวขนานการโพล
D_b	เส้นผ่านศูนย์กลางก่อนเผาซินเตอร์
d_h	hydrostatic piezoelectric coefficient
$d_h g_h / \tan \delta$	figure of merit for hydrophone application
D_s	เส้นผ่านศูนย์กลางหลังทำการเผาซินเตอร์
E	Electrical field
E_a	Applied electrical field
F	แรง
f_a	antiresonance frequency
f_r	resonance frequency
g	piezoelectric voltage coefficient
HDPE	High Density Polyethylene
I/I_0	อัตราส่วนความเข้มต่อความเข้มสูงสุด

I_c	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ
I_R	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน
k	electromechanical coupling factor
k'	relative dielectric constant
k''	plannar coupling factor
LDPE	Low Density Polyethylene
M	มวล
MPB	mophotropic phase boundary
N_A	Avogadro number
P	electical polarization
PZT	Lead Zirconate Titanate
Q	total chargr
s	material compliance
S	เปอร์เซ็นต์ความหดตัว
S	Scanning Electron Microscope
t	ความหนา
$\tan\delta$	dissipation loss factor, loss tangent
T	applied mechanical stress
T_c	อุณหภูมิวิกฤติ
T_d	degradation temperature
T_m	melting temperature
T_g	glass transition temperature
V	ปริมาตร
Z	impedance