สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าสารช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์สารเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก PMnN – PZT ซิงค์ออกไซด์ ที่เติมลงไปในชิ้นงานตั้งแต่ 0.25 – 1% โดยน้ำหนักไม่มีผลต่อลักษณะโครงสร้าง หรือเฟสของชิ้นงาน PMnN – PZT และจะส่งผลทำให้ขนาดเกรนของชิ้นงานมีขนาดที่โตขึ้นโดยเมื่อเพิ่มซิงค์ออกไซด์มากขึ้นขนาดเกรนของชิ้นงานก็จะโตเพิ่มขึ้นตามไปด้วยและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการซินเทอร์ลักษณะของเกรนจะมีรูปร่างที่แน่นอน (shape) และโตขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่าซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปจะมีผลทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น โดยชิ้นงานจะมีความหนาแน่นมากเมื่อใช้อุณหภูมิในการซินเทอร์ตั้งแต่ 950 องศาเซลเซียสขึ้นไปจนกระทั่งถึง 1000 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิซินเทอร์สูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิซินเทอร์ 1000 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นความหนาแน่นของชิ้นงานก็จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

จากการพิจารณาสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกพบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ไม่ได้เติมซิงค์ออกไซด์กับชิ้นงานที่มีการเติม ชิ้นงานที่มีการเติมซิงค์ออกไซด์จะมีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปพบว่าที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ 0.25% โดยน้ำหนัก ชิ้นงานจะมีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการซินเทอร์พบว่าชิ้นงานมีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกดีที่สุดเมื่อซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าสารช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์สารเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก PMnN – PZT ซิงค์ออกไซด์สามารถที่จะช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์ชิ้นงาน PMnN – PZT โดยที่สมบัติเพียโซอิเล็กทริกไม่เปลี่ยนไปได้ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ 950 องศาเซลเซียส เมื่อเติมซิงค์ออกไซด์ลงไปจำนวน 0.25 % โดยน้ำหนัก โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 7.64 g/cm^3, ค่า k_p เท่ากับ 0.51, ค่า Q_m เท่ากับ 1086 ค่า d_{33} เท่ากับ 248.67 pC/N และชิ้นงานจะมีสมบัติที่ดีที่สุดเพื่อเติมซิงค์ออกไซด์ลงไปในปริมาณ 0.25% โดยน้ำหนัก และซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 7.8 g/cm^3 ค่า k_p เท่ากับ 0.55 ค่า Q_m เท่ากับ 1195 และค่า d_{33} เท่ากับ 260 pC/N โดยสมบัติของชิ้นงานเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้เติมซิงค์ออกไซด์และซินเทอร์ที่อุณหภูมิปกติคือ 1250 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติของ PMnN – PZT ที่อุณหภูมิซินเทอร์ และปริมาณ ZnO ที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิซินเทอร์ (^{0}C)	% ZnO	ความหนาแน่น (g/cm^3)	d_{33} (pC/N)	k_p	Q_m
950	0.25	7.64	249	0.51	1086
1000	0.25	7.77	260	0.55	1195
1250	0	7.78	261	0.54	1377

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าสารช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์ซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างของชิ้นงาน โดยพิจารณาได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรดิฟแฟรคชั่น (XRD) เนื่องจาก Zn^{+2} ซึ่งมีขนาดรัศมีไอออนใกล้เคียงกับ Zr^{+4} เข้าไปแทนที่ใน Zr^{+4} ในตำแหน่ง B ของโครงสร้าง ABO_3 ทำให้ลักษณะโครงสร้างชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นของชิ้นงานพบว่าสารช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์ซิงค์ออกไซด์สามารถที่จะทำให้ชิ้นงานซินเทอร์ได้ที่อุณหภูมิต่ำลงกว่าเดิมประมาณ 250 – 300 องศาเซลเซียส คือซินเทอร์ได้ที่อุณหภูมิประมาณ 950 – 1000 องศาเซลเซียส โดยมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอุณหภูมิซินเทอร์เดิมคือ 1250 องศาเซลเซียส เนื่องจาก Zn^{+2} จะเข้าไปแทนที่ Zr^{+4} ทำให้เกิดช่องว่าง (vacancy defect) ขึ้นในชิ้นงานซึ่งจะไปเร่งอัตราการแพร่ (diffusion rate) ของอะตอมในชิ้นงานเกิดได้เร็วขึ้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กระบวนการซินเทอร์เกิดได้ง่ายและที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น โดยพิจารณาได้จากลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานซึ่งพบว่าชิ้นงานที่มีการเติมซิงค์ออกไซด์จะเกิดกระบวนการในการซินเทอร์ที่เร็วกว่าทำให้ขนาดของเกรนที่พบโตกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้เติมซิงค์ออกไซด์

เมื่อซินเทอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 950 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานจะมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมินี้สารช่วยลดอุณหภูมิในการเผาซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปจะไม่เกิดปฏิกิริยาในการเข้าไปแทนที่ที่ตำแหน่ง B ทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าต่ำ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการซินเทอร์ชิ้นงานสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นลดลงเนื่องจากว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส เกิดการระเหยของตะกั่วมากขึ้นจึงทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นลดลง

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกของชิ้นงานพบว่าชิ้นงานจะมีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกที่ดีที่สุดเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์ลงไป 0.25 % โดยน้ำหนัก และซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1000

องศาเซลเซียส ซึ่งอธิบายได้จากลักษณะความหนาแน่นและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน จากการพิจารณาผลของการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่ามากที่สุดเมื่อซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส และเติมซิงค์ออกไซด์ลงไป 1% โดยน้ำหนัก ซึ่งลักษณะเกรนของชิ้นงานจะมีรูปร่างที่แน่นอนและมีขนาดของเกรนที่โตขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้เติมซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากลักษณะความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นทำให้ชิ้นงานมีรูพรุนที่น้อยลงซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติเพียโซอิเล็กทริกดีขึ้น และขนาดเกรนของชิ้นงานซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของโดเมนและไดโพลมีขนาดที่ใหญ่กว่าชิ้นงานที่ไม่ได้เติมซิงค์ออกไซด์ลงไปทำให้ค่า k_p, K และ d_{33} ของชิ้นงานที่มีการเติมซิงค์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณของซิงค์ออกไซด์ 0.25 % โดยน้ำหนักค่า Q_m ของชิ้นงานจะมีค่ามากที่สุด อาจจะเป็นไปได้ว่าว่าซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปจำนวน 0.25% โดยน้ำหนักจะไปช่วยขัดขวางไม่ให้โดเมนของชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ขณะมีการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่เรโซแนนซ์และแอนตี้เรโซแนนซ์ทำให้ชิ้นงานมีค่า Q_m สูงขึ้น

ผลของการวิเคราะห์สมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการซินเทอร์ พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถที่จะซินเทอร์ชิ้นงานโดยการใช้สารช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์ซิงค์ออกไซด์คือ 950 องศาเซลเซียส โดยที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ 0.25 % โดยน้ำหนักและซินเทอร์ที่ 950 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะมีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกต่ำกว่าที่อุณหภูมิซินเทอร์ 1000 องศาเซลเซียสเล็กน้อย เนื่องจากที่อุณหภูมิซินเทอร์ 950 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสนั่นเอง

เมื่อใช้อุณหภูมิในการซินเทอร์ต่ำกว่า 950 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดการแทนที่ในตำแหน่ง B ของโครงสร้าง ABO_3 หรือทำให้กระบวนการในการเกิดซินเทอร์เกิดไม่สมบูรณ์ ทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าต่ำซึ่งจะส่งผลให้สมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกไม่ดีตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการซินเทอร์สูงกว่า 1000 องศาเซลเซียสตะกั่วจะเกิดการระเหยออกไปมากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานและอัตราส่วนของตะกั่วเปลี่ยนไปจึงส่งผลให้สมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกของชิ้นงานมีค่าลดลงตามไปด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าสามารถที่จะลดอุณหภูมิในการซินเทอร์สาร PMnN – PZT โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์ได้ และมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไปดังนี้

5.3.1 ทำการวิจัย และศึกษาถึงการนำชิ้นงานที่ได้จากการวิจัยไปทดสอบประสิทธิภาพในการทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า และทดสอบประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้ แล้วเปรียบเทียบกับที่ใช้ในทางการค้า

5.3.2 ทำการวิจัยโดยเปลี่ยนออกไซด์ของโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำในการที่จะใช้เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการซินเทอร์สาร PMnN – PZT แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้การวิจัยครั้งนี้

5.3.4 ทำการวิจัยโดยเปลี่ยนวิธีในการสังเคราะห์สารจากวิธีการผสมออกไซด์ (mixed oxide) เป็นวิธีคอลัมไบท์ (columbine)