บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของผง $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ โดยวิธีเรียทเวลด์อาศัยโปรแกรม General Structure Analysis System (GSAS) ซึ่งพบว่าจากคุณภาพของผงที่ใช้และข้อมูลของแผนภาพเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สามารถให้ค่า R_p ของการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองและข้อมูลจริงต่ำกว่า 5% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างผลึกที่ใช้รวมทั้งตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนในโปรแกรมให้ผลโครงสร้างผลึกที่เชื่อถือได้ โดยพบว่าการวิเคราะห์โครงสร้างจากแผนภาพเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ให้โครงสร้างเป็นแบบรอมโบฮีดรอล

สำหรับผง $Bi_{0.5}Na_{0.5}Ti_{1-x}Zr_xO_3$ ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์แล้ว พบว่า มีการขยับของพีคไปทางซ้ายทุกพีค ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของหน่วยเซลล์ นอกจากนี้ การเกิดการแยกตัวของพีคตรงตำแหน่งช่วง 2θ = 45-50° และ 55-60° ในสารที่มี Zr เจือปนตั้งแต่ x = 0.55 ขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกมีการเปลี่ยนแปลง ยังมีความเป็นไปได้ที่จะมีเฟสอื่นปนอยู่ แต่การเจือปนของเฟสอื่นจะต้องมีการวิเคราะห์ด้านโครงสร้างจุลภาคเช่นกัน จากการตรวจสอบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์พบว่า อุณหภูมิ 800 °C ดูเหมือนจะเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของเฟสอื่นเจือปนต่ำมาก

การเตรียมผงของ $Bi_{0.5}Na_{0.5}ZrO_3$ พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการเตรียมผงเซรามิก BNZ ด้วยกระบวนการบดผสมออกไซด์ คือ BNZ/10wt%Na_2CO_3 โดยกระบวนการ double calcination ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากไม่มีเฟสของผงตั้งต้น Bi_2O_3 และ ZrO_2 ปรากฏอยู่ระหว่างมุม 2θ = 25-30° เมื่อเปรียบเทียบกับผง BNZ ที่เตรียมด้วยสภาวะอื่นๆ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ยังไม่มีนักวิจัยรายงานมาก่อน นอกจากนี้ การเตรียมเซรามิก BNZ ให้มีความหนาแน่นสูงนั้นยังต้องอาศัยปัจจัยอื่นเข้ามาช่วยด้วย เช่น การเติมสารช่วยเผา (sintering aid) เป็นต้น สภาวะการเตรียมผง BNZ ด้วยวิธีผสมออกไซด์ดีที่สุด คือ การเพิ่มปริมาณผงตั้งต้น Na_2CO_3 เท่ากับ 10 wt% และเผาแคลไซน์สองครั้งสารประกอบชนิดใหม่ BNZ เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างแบบ perovskite และมีระบบผลึกเป็น orthorhombic โดยมี Bi^{3+} และ Na^+ บรรจุตรงตำแหน่ง A และ Zr^{4+} บรรจุตรงตำแหน่ง B ในโครงสร้าง

การเตรียมเซรามิก $Bi_{0.5}Na_{0.5}Ti_{0.41}Zr_{0.59}O_3$ เจือด้วยแลนทานัม พบว่าขนาดของเกรนเฉลี่ยมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณการเติมแลนทานัมสูงขึ้น นอกจากนี้ สมบัติไดอิเล็กทริกของเซรามิกนี้มีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเจือแลนทานัมเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของการเจือวัสดุเพียโซอิเล็กทริกด้วยไอออนที่มีประจุสูงกว่าไอออนในสารหลัก โดยจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของโดเมนไฟฟ้าดีขึ้น อย่างไรก็ตาม สมบัติทางเฟร์โรอิเล็กทริกมีค่าไม่ดีนัก อาจจะเนื่องมาจากวัสดุนี้ มีการสูญเสียเนื่องจากการนำไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงทำให้ค่าโพลาไรเซชันคงเหลือมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับสารเพียโซอิเล็กทริกชนิดอื่น

การเตรียมเซรามิก $Bi_{0.5}Na_{0.5}Ti_{0.41}Zr_{0.59}O_3$ เจือด้วยไนโอเบียม พบว่าขนาดของเกรนมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ซึ่งดูเหมือนว่าจะเป็นแนวโน้มปกติของสารที่เจือด้วยตัวให้ (donor) จากการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องพบว่า มีแนวโน้มที่ต่ำลงเมื่อปริมาณไนโอเบียมสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงว่าวัสดุมีการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น ส่วนค่าคงที่ไดอิเล็กทริกพบว่ามีค่าสูงสุดเมื่อเติมไนโอเบียมในปริมาณ 0.05 เศษส่วนโดยโมล

จากการศึกษาสาร $Bi_{0.5}Na_{0.5}Ti_{1-x}Co_xO_{3-x}$ ที่ปริมาณการเจือ Co เท่ากับ 0.000, 0.005, 0.010, 0.020, 0.030 มีโครงสร้างผลึกยังคงเป็นแบบรอมโบฮีดรอลเช่นเดียวกับ BNT บริสุทธิ์ และไม่พบเฟสแปลกปลอมเกิดขึ้น ในส่วนของเซรามิก การเจือ Co ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟส และการเคลื่อนตัวของพีคมีแนวโน้มไม่ชัดเจน แต่ปรากฏพีคที่มีลักษณะที่แตกต่างกันตามปริมาณ ความหนาแน่นของเซรามิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Co สูงขึ้น โดยที่ Co 0.010 เศษส่วนโดยโมล มีค่าความหนาแน่นสูงสุด โครงสร้างทางจุลภาคมีเกรนรูปร่างแบบอิควิแอกซ์ และมีขนาดเกรนใหญ่ขึ้นตามปริมาณการเจือ Co การศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าค่าความแข็งแบบวิกเกอร์สมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าความหนาแน่น โดยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณการเจือ Co 0.010 เศษส่วนโดยโมล การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าสัมประสิทธิ์การนำไฟฟ้า และสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกโดยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณการเจือ Co เท่ากับ 0.010 เศษส่วนโดยโมล และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ Co เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผลของการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยวิธีเรียทเวลด์ สามารถนำไปขยายไปสู่การศึกษาในเชิงทฤษฎี เช่น เมื่อทราบตำแหน่งของอะตอมสามารถนำไปหาโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของสารประกอบออกไซด์ที่สนใจได้ หรือเมื่อทราบถึงขนาดของการสั่นของอะตอม สามารถนำไปประมาณหาสภาพนำความร้อนของวัสดุได้ เป็นต้น โดยข้อมูลดังกล่าว สามารถถูกใช้ไปประเมินสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและการพัฒนาอุปกรณ์ที่จะนำมาประยุกต์ด้านพลังงานทดแทนต่อไปในอนาคต