

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวัสดุโพซิโวลีกริกปลดสารตะกั่วกลุ่มอัลคาไลไนต์ โพแทสเซียม โซเดียม ไนโอเบต $K_{0.52}Na_{0.48}NbO_3$ (KNN) โดยการเติมสารเจือ (dopant) ลิเทียม (Li^+) แอนติโมนี (Sb^{5+}) ที่อัตราส่วนคงที่ ปริมาณ 0.04 โมล เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้า และเติมแทนทาลัม (Ta^{5+}) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ $x=0.00, 0.04, 0.08$, และ 0.12 โมล เข้าไปในระบบสารประกอบที่สังเคราะห์ขึ้น มีสูตรทางเคมี คือ $(K_{0.50}Na_{0.46}Li_{0.04})(Nb_{(0.96-x)}Sb_{0.04}Ta_x)O_3$ (KNN-LST) ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธี solid state reaction เฝ้าให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแบบแห้ง (dry pressing) ด้วยแรงอัด 130 MPa จากนั้นอัดด้วยวิธีการอัดเท่ากันทุกทิศทาง (CIP) ด้วยแรงอัด 250 MPa และเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1130 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อนำมาศึกษาผลของการเติมสารเจือแทนทาลัม (Ta^{5+}) ที่มีผลต่อพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้า และเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสลับเปลี่ยนทิศทางของโดเมนเนื่องจากความล้าทางไฟฟ้าของสารโพแทสเซียม โซเดียม ไนโอเบต ที่เติมสารเจือต่าง ๆ ภายใต้สนามไฟฟ้า ± 2.5 kV จำนวน 1,000 – 1,000,000 รอบ ที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ดังกล่าวสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. จากการทดสอบความล้าทางไฟฟ้าของ KNN-LST ที่เติม

สารเจือ Ta^{5+} ปริมาณ 0.00, 0.04, 0.08, และ 0.12 โมล ที่สนามไฟฟ้า ± 2.5 kV ต่อความหนา 1 มิลลิเมตร ความถี่ 50 Hz ที่จำนวน 1,000,000 รอบ ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าอัตราเสื่อมสภาพการมีขั้วลดน้อยลงตามปริมาณสารเจือ Ta^{5+} เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากการเติมสารเจือนั้น ทำให้เกิดช่องว่างออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายในโครงสร้าง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการตรึงของโดเมนไว้ตามทิศทางที่เหนี่ยวนำไว้ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงของค่า pole density และค่าคงที่โพซิโวลีกริก ผลการทดสอบสามารถอธิบายพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าได้ว่า สาเหตุการเกิดความล้าทางไฟฟ้านั้น มี 2 ประการคือ

1.1 เกิดจากผลการตรึงของผนังโดเมน (Domain pinning effect) (Park et al.,

1997 ; Brennan et al., 1998) และ ความล้าจากการถูกตรึงของโดเมนจะส่งผลให้โดเมนบางส่วนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากถูกตรึงด้วยมลทินที่มีประจุ หรือ ช่องว่างออกซิเจน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าผลการตรึงของโดเมน ส่งผลทำให้โพลาริเซชัน หรือ โดเมนภายใน ไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางได้ตามทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์

การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าความสูงของระนาบ (002) (200) สำหรับโครงสร้าง เทตระโกนอล และ (102) ต่อ (201) สำหรับโครงสร้างออร์โธโรมบิก ที่เปลี่ยนไปและค่า pole density ที่ลดลง ส่งผลให้สมบัติทางไฟฟ้า ทั้งค่าคงไดอิเล็กทริกและค่าคงที่โพลาไรเซชันไดอิเล็กทริกลดลง โดยสมบัติทางไฟฟ้าจะแปรผันแบบผกผันกับจำนวนรอบสนามไฟฟ้า

1.2 เกิดจากความเสียหายบนผิวอิเล็กโทรดและภายในสารตัวอย่าง KNN-LST (Shieh et al., 2006; Westram et al., 2009) เมื่อโดเมนไม่สามารถเปลี่ยนทิศ โดเมนข้างเคียงที่สามารถเปลี่ยนได้จะเกิดการตรึงของผนังโดเมนเอาไว้ เมื่อจำนวนรอบไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น จะเกิดความเครียดสะสมภายในชั้นสารตัวอย่าง จากนั้นจะเริ่มแตกร้าออกไปตามแนวขอบเกรน จะเห็นรอยแตกร้าได้อย่างชัดเจนทั้งที่ขอบและภายในชั้นสารตัวอย่าง ความเสียหายบนผิวอิเล็กโทรดส่งผลให้สนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมชั้นสารตัวอย่างมีค่าลดลง โพลาริเซชันที่เกิดจากสนามไฟฟ้างดงจึงมีค่าลดลงตามไปด้วย ส่วนรอยแตกร้าเกิดขึ้นภายในชั้นสารตัวอย่าง KNN-LST จะส่งผลให้ภายในชั้นสารตัวอย่างเกิดช่องว่างอากาศ และมลทินต่าง ๆ มีมากขึ้น ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในสารเซรามิกมีค่าลดลง โดยค่าไดอิเล็กทริกจะแปรผันตรงกับค่าโพลาริเซชันซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าโพลาริเซชันมีค่าลดลงด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพก่อนและหลังการทดสอบความล้าทางไฟฟ้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ตรวจสอบที่ขอบและภายในชั้นสารตัวอย่างสามารถพิสูจน์ และยืนยันถึงความเสียหายที่เกิดบนพื้นผิวสารตัวอย่าง KNN-LST ที่เกิดความล้าทางไฟฟ้าได้

จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถอธิบายถึงผลของการเติมสารเจือ Ta^{5+} ที่มีต่อพฤติกรรมความล้าทางไฟฟ้าได้ว่าการเติมสารเจือ Ta^{5+} สามารถช่วยลดการเกิดความล้าทางไฟฟ้าได้เนื่องจากการเติมสารเจือ Ta^{5+} เข้าไปในโครงสร้างของสารเซรามิก KNN-LST ทำให้สารมีสภาพแนวโน้มแสดงลักษณะฮาร์ดเซรามิก (hard ceramic) เพิ่มขึ้นคือต้องใช้สนามไฟฟ้าที่สูงขึ้นในการทำให้เกิดโพลาไรเซชัน และทำให้วงวนเกิดการอิ่มตัว การเสื่อมสภาพการมีขั้ว (depolarization) ก็เกิดขึ้นได้ยากกว่าเซอร์ฟเซรามิก (Henderson, 2004) และยังพบว่าที่ 0.08 โมล นั้นเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจากค่าโพลาริเซชันคงค้างหลังการทดสอบความล้าทางไฟฟ้าเนื่องจากที่ปริมาณการเติมนี้มีปริมาณการลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น

2. จากการศึกษาผลของการเติมสารเจือ Ta^{5+} ใน KNN-LST เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) สารตัวอย่างมีแนวโน้มเปลี่ยนจากวัฏภาคออร์โธโรมบิก (orthorhombic) ไปเป็นเทตระโกนอล (tetragonal) โดยสารตัวอย่าง KNN จะแสดงวัฏภาคออร์โธโรมบิก สารตัวอย่างที่มีปริมาณสารเจือ Ta^{5+} 0.00 โมล จะเริ่มเห็น peak ของระนาบ (002) และ (200) ที่แสดงถึงวัฏภาคเทตระโกนอล และจะชัดเจนมากขึ้น ที่ปริมาณสารเจือ Ta^{5+} 0.04, 0.08, และ 0.12 โมล ตามลำดับ สารตัวอย่างที่มีปริมาณสารเจือ Ta^{5+} 0.00-0.12 โมล มีโดเมนที่ผสมกันอยู่ระหว่างสองวัฏภาคข้างต้นที่กล่าวมา ซึ่งบริเวณนี้มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริกาคงที่ไดอิเล็กทริก ค่าความจุไฟฟ้า และค่าโพลาริเซชันให้สูงขึ้นสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเจือ Ta^{5+} ที่เติมเข้าไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา มีข้อแนะนำในการดำเนินวิจัยดังนี้

1. ถ้าขึ้นสารตัวอย่างที่ใช้มีความหนามาก แรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะต้องค่าสูงตามไปด้วย ระหว่างการทดลองอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นจึงควรควบคุมความหนาของชั้นสารตัวอย่างไม่ให้หนาจะเกินขีดความสามารถของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้า การลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบการเกิดความล้าทางไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้การทดสอบนั้นมีความปลอดภัยมากขึ้น

2. การทดสอบความล้าทางไฟฟ้า ควรทดสอบในห้องที่มีความชื้นต่ำหรือมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น หากมีความชื้นมากเกินไปจะไม่สามารถทำการทดสอบได้เพราะอาจทำให้เกิดการเบรคดาวนเร็วขึ้น และทำให้ข้อมูลที่ได้อาจจากการทดสอบเกิดการผิดเพี้ยน