บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของสารเฟร์โรอิเล็กทริกและเพียโซอิเล็กทริก แม้ว่าจะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง และเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้นักวิจัยได้ค้นพบวัสดุที่สามารถนำไปใช้งานทางด้านตัวขับเร้า (actuators) ทรานสดิวเซอร์ (transducers) และเครื่องตรวจจับ (sensors) เช่น อุปกรณ์ทำความสะอาดอัลตราโซนิกส์ (ultrasonic cleaners) เครื่องสแกนหัวใจ (heart scanner) เครื่องตรวจหาสิ่งมีชีวิตใต้ท้องทะเลหรือโซนาร์ (sonar) เครื่องพิมพ์แบบอิงก์เจ็ต (ink jet printer) และเครื่องเปลี่ยนสัญญาณแบบเพียโซ (piezo-transformer) เป็นต้น สาเหตุหลักที่ทำให้วัสดุเหล่านี้มีสมบัติทางไฟฟ้าอย่างที่วัดออกมาได้ คือ โครงสร้างผลึก (crystal structure) ของวัสดุแต่ละชนิด ส่วนเหตุผลรองลงมาคือลักษณะของตัวชิ้นงานที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เช่น มีลักษณะเป็นเซรามิก (ceramics) หรือผลึกเดี่ยว (single crystals) ถึงแม้ว่าผลึกเดี่ยวจะมีสมบัติโดยรวมดีกว่าเซรามิก แต่กระบวนการผลิตจะค่อนข้างซับซ้อนยุ่งยาก ดังนั้น ในปัจจุบัน ชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเฟร์โรอิเล็กทริกหรือเพียโซอิเล็กทริกจึงมีลักษณะเป็นเซรามิกเป็นส่วนมาก ดังนั้น สภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตเซรามิกจึงมีส่วนสำคัญ เนื่องจากจะส่งผลให้ความหนาแน่นและความบริสุทธิ์ของเฟส (phase purity) เปลี่ยนแปลงไป กระบวนการผลิตเซรามิกเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตให้ได้เซรามิกที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นในทางทฤษฎี (theoretical density) หรือ ความหนาแน่นของผลึกเดี่ยวมากที่สุด โดยยังคงความเป็นเฟสตามที่ต้องการอยู่ เมื่อได้สภาวะสำหรับกระบวนการผลิตเซรามิกที่เหมาะสมแล้ว จึงจะนำไปใช้ในการผลิตจริงสำหรับอุตสาหกรรมต่อไป

แต่อย่างที่ได้กล่าวไปแล้วว่าเมื่อได้เซรามิกที่มีคุณภาพดีแล้ว นั่นคือ มีความหนาแน่นสูง มีรูพรุนต่ำ และเป็นเฟสเดี่ยว (single phase) ที่ไม่มีสารประกอบอื่นเจือปน สิ่งที่จะเป็นตัวระบุว่าวัสดุนั้นจะมีสมบัติทางไฟฟ้าดีพอที่จะนำไปใช้ได้หรือไม่ คือ โครงสร้างผลึก ตัวอย่างเช่น ในกรณีของแบเรียมไททาเนต ($BaTiO_3$) ซึ่งเป็นสารชนิดแรกๆ ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) สูงมาก จึงทำให้วัสดุชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในการทำตัวเก็บประจุ (capacitor) ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อีกสมบัติหนึ่งที่พบในแบเรียมไททาเนต คือ สมบัติทางเพียโซอิเล็กทริก นั่นคือ การที่วัสดุสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เมื่อได้รับแรงดันภายนอก (external pressure) หรือในทางกลับกันคือการที่วัสดุสามารถเกิดความเครียด (strain) หรือการยืดหดตัวได้เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า สมบัติชนิดนี้เกิด

ขึ้นได้เนื่องจากว่าโครงสร้างผลึกมีลักษณะเป็นแบบ non-centrosymmetric โดยการที่วัสดุสามารถยืดหดได้นั้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนภายในโครงสร้าง ซึ่งในกรณีของแบเรียมไททาเนตที่อุณหภูมิห้องมีโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) คือ มีด้านหนึ่งยาวกว่าด้านที่เหลือ ทำให้ไอออนสามารถเคลื่อนที่ไปมาตามด้านยาวได้ จึงส่งผลให้วัสดุนี้มีค่าไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูงและสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกที่ดีพอสมควร อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันแบเรียมไททาเนตได้ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์เก็บประจุเป็นหลัก เนื่องจากว่าในการใช้งานด้านเพียโซอิเล็กทริกนั้น มีวัสดุที่ดีกว่าเข้ามาแทนที่ นั่นคือ เลด เซอร์โคเนตไททาเนต (lead zirconate titanate หรือ PZT)

สำหรับเลดเซอร์โคเนตไททาเนตนี้ เป็นสารประกอบที่มีการจัดเรียงตัวเป็นแบบเพอรอฟสไกต์เช่นเดียวกับแบเรียมไททาเนต แต่เป็นสารละลายของแข็งระหว่างเลดเซอร์โคเนต ($PbZrO_3$) และเลดไททาเนต ($PbTiO_3$) โดยเลดเซอร์โคเนตมีโครงสร้างผลึกเป็นออโทรอมบิก (orthorhombic) และมีสมบัติเป็นแอนไทเฟร์โรอิเล็กทริก ส่วนเลดไททาเนตมีโครงสร้างผลึกเป็นเตตระโกนอลและมีสมบัติเป็นเฟร์โรอิเล็กทริก เมื่อนำมาผสมกันเป็น $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนจากออโทรอมบิกไปเป็นรอมโบฮีดรอล (rhombohedral) และเตตระโกนอลตามปริมาณ x ที่เพิ่มขึ้นของไททาเนียม ซึ่งจากการศึกษาสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกของสารชนิดนี้ พบว่าบริเวณที่มีสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกที่ดีที่สุดคือบริเวณที่วัสดุมีองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่า morphotropic phase boundary ซึ่งเป็นบริเวณที่วัสดุมีเฟสอยู่ระหว่างรอมโบฮีดรอลและเตตระโกนอล ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างผลึกพร้อมกับการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าพบว่า การที่วัสดุนี้มีสมบัติที่ดีที่สุดตรงบริเวณนี้เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของไอออนภายในโครงสร้างผลึกไปพร้อมๆกับมีการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกไปมาระหว่าง รอมโบฮีดรอลและเตตระโกนอล ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดโพลาไรเซชั่น (polarization) และโดเมนไฟฟ้า (electric domain) มีค่าสูงกว่าปกติ นอกจากนี้ การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่อุณหภูมิต่างๆ จะทำให้ทราบถึงอุณหภูมิสูงสุดที่วัสดุนี้สามารถนำไปใช้งานได้ หรือที่เรียกกันว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature) โดยจากการศึกษา พบว่าวัสดุนี้มีอุณหภูมิคูรีที่สูงกว่าแบเรียมไททาเนตทำให้วัสดุนี้สามารถนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างขึ้น ในปัจจุบัน PZT ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเซรามิกได้ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการ ใช้งานที่ความถี่สูงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว นอกเหนือจาก PZT สารชนิดอื่นที่ในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้ในเครื่องแสกนหัวใจด้วยคลื่นความถี่สูง คือ เลดแมกนีเซียมไนโอเบตไททาเนต ($Pb(Mb_{1/3}Nb_{2/3}O_3)$-$PbTiO_3$ หรือ PMN-PT) และเลดซิงค์ไนโอเบตไททานเต ($Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3}O_3)$-$PbTiO_3$ หรือ PZN-PT) ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าวัสดุเหล่านี้มีสมบัติทางไดอิเล็กทริกและเพียโซอิเล็กทริกที่สูงมากๆเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารประกอบที่นำมาผสมและสัดส่วนนี้เองจะส่งผลไปทำให้โครงสร้างผลึกหนึ่งถูกปรับหรือเปลี่ยนแปลงไปเป็นอีกโครงสร้างผลึก

หนึ่ง ซึ่งก็เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้การนำสารเหล่านี้ไปใช้งานจึงต้องดูว่าองค์ประกอบทางเคมีใดจะเหมาะสมกับอุปกรณ์ชนิดใด

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นว่า การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกนั้นมีส่วนสำคัญที่ช่วยอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นในเชิงการวัดสมบัติทางไดอิเล็กทริกหรือเพียโซอิเล็กทริกก็ตาม และเป็นที่น่าสังเกตว่าวัสดุที่ใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความถี่สูงจะเป็นวัสดุที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น และการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกรวมทั้งสมบัติทางไฟฟ้าของสารที่ผ่านมามักจะเป็นข้อมูลของสารเหล่านี้ ดังนั้น เมื่อมีรายละเอียดของข้อมูลครบถ้วนรวมไปถึงการทดสอบการใช้งานจริงของวัสดุเหล่านี้ จึงทำให้อุตสาหกรรมได้นำวัสดุเหล่านี้ไปผลิต ขายและนำไปใช้งานได้จริง

ในปัจจุบันและในอนาคตอันใกล้ อุปกรณ์หลายอย่างเช่น วัสดุเชื่อม (soldering materials) ได้ถูกปรับเปลี่ยนให้มาใช้สารอื่นเช่น ดีบุก (Sn) แทนตะกั่ว เนื่องจากมีสภาพที่เป็นพิษน้อยกว่า โดยคาดว่าอุปกรณ์ที่ใช้งานทางด้านเพียโซอิเล็กทริกจะถูกปรับเปลี่ยนให้มาใช้สารอื่นแทนที่ตะกั่วเช่นกัน การหาสารมาทดแทนตะกั่วนั้นเป็นสิ่งที่ต้องใช้เวลา เริ่มตั้งแต่การเตรียมสารใหม่ การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น โดยจากการศึกษาของนักวิจัยพบว่าสารบิสมัทโซเดียมไททาเนต ($Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ หรือ BNT) ที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับแบเรียมไททาเนตและเลดเซอร์โคเนตไททาเนต อาจจะเป็นวัสดุที่นำมาใช้งานทางด้านเพียโซอิเล็กทริกแทนสารประกอบที่มีตะกั่วได้ และถึงแม้ว่าได้มีผู้ที่ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของสารนี้ หรือการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของสารนี้เพื่อดูถึงผลกระทบของสารที่เติมที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้า แต่ยังขาดการวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกอย่างละเอียด ทั้งนี้ เป็นเพราะว่าการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกอาจจะต้องใช้เวลาเพื่อหาแบบจำลองในการวิเคราะห์ถึงลักษณะของหน่วยเซลล์ (unit cell) ตำแหน่งของอะตอม (atomic position) และอื่นๆ จึงทำให้ข้อมูลส่วนนี้มีไม่มากนักดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยนี้ คือ การศึกษาโครงสร้างผลึกโดยละเอียดของวัสดุเฟร์โรอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วที่มีสารบิสมัทโซเดียมไททาเนตเป็นฐานด้วยวิธีเรียทเวลด์ เนื่องจากสามารถให้ข้อมูลดังที่กล่าวมาได้ ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเพิ่มองค์ความรู้เกี่ยว กับโครงสร้างผลึกและผลกระทบที่มีต่อสมบัติทางไฟฟ้าของสารชนิดนี้ โดยข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสารประกอบไร้สารตะกั่วอื่นๆ ที่อาจจะนำไปสู่การสร้างสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าเทียบเท่ากับสารเฟร์โรอิเล็กทริกและเพียโซอิเล็กทริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบได้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยมีความมั่นใจว่าผลงานวิจัยจะสามารถนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่ มีผลกระทบ (impact factor) สูงได้อย่างแน่นอน เนื่องจากว่า ข้อมูลทางด้านโครงสร้างผลึกยังมีผู้สนใจอยู่มากและอาจจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลมาตรฐานใน Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) ซึ่งอยู่ในความดูแลของ International Centre for Diffraction Data (ICDD) ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อผลิตสารประกอบเฟร์โรอิเล็กทริกและเพียโซอิเล็กทริกที่มีบิสมัทโซเดียมไททาเนตเป็นฐาน

1.2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกและการเปลี่ยนเฟสในสารเหล่านี้โดยวิธีเรียทเวลด์ (Rietveld)

1.2.3 เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่และงานวิจัยที่มีมาตรฐานระดับนานาชาติ ที่สามารถยกมาตรฐานการศึกษา และการวิจัยที่สอดคล้องกับการพัฒนาหลักสูตรวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้งระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา

1.2.4 เพื่อสร้างความเชื่อมโยงกับมหาวิทยาลัยทั้งในและต่างประเทศผ่านการทำงานวิจัยร่วมกัน

1.2.5 เพื่อนำผลวิจัยที่ได้ไปเผยแพร่ และตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ โดยเฉพาะการสร้างรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์และโครงสร้างผลึกอย่างละเอียด เพื่อใช้เป็นข้อมูลมาตรฐานของ International Centre for Powder Diffraction (ICDD)