บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีส่วนใหญ่นั้นมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบในเทคโนโลยีมากมาย เช่น ตัวเก็บประจุ (capacitor) เซ็นเซอร์ (sensor) และแอคทูเอเตอร์ (actuator) เป็นต้น ซึ่งวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นส่วนใหญ่คือเซรามิกส์บริสุทธิ์ที่เป็นสารเพียโซอิเล็กทริกที่แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกโดยแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ เฟอร์โรอิเล็กทริกแบบปกติ (normal ferroelectric) รีแลกเซอร์เฟอร์โรอิเล็กทริก (relaxor ferroelectric) และแอนติเฟอร์โรอิเล็กทริก (anti ferroelectric) ซึ่งสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเหล่านี้จะให้สมบัติแตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับประเภทของสาร ซึ่งมีความโดดเด่นในแต่ละประเภท และเนื่องจากสารเฟอร์โรอิเล็กทริกนั้นเป็นสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง (high dielectric constant) ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวหากวัสดุให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่สูงกว่าในขณะที่มีขนาดเท่ากันแล้ว ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้านมากกว่า และยังเป็นการลดขนาดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้เล็กลงในขณะที่มีประสิทธิภาพเท่าเดิมหรือมากกว่าซึ่งเป็นประโยชน์ของการลดพื้นที่ในการสร้างเทคโนโลยีได้อย่างมากมาย

วัสดุส่วนใหญ่ในการนำมาสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์คือวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เลดเซอร์โคเนตไททาเนต ($Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$; PZT) เป็นวัสดุที่ได้รับนิยมอย่างสูงซึ่งมีการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากสารดังกล่าวเป็นสารที่แสดงสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกอย่างโดดเด่น สามารถเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึงร้อยละ 45-55 โดยขึ้นกับประเภทของสารเจือ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีอุณหภูมิคูรีสูง จาก 230-490°C ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนของ Zr:Ti มีค่าเท่ากับ 0.52:0.48 ซึ่งเป็นบริเวณแนวรอยต่อเฟส (motphotropic phase boundary; MPB) [1-3] อีกทั้งการเตรียมเซรามิกส์ชนิดดังกล่าวให้มีความหนาแน่นสูงนั้นทำได้ง่ายและสารตั้งต้นในการเตรียมนั้นมีราคาถูกซึ่งเป็นการเหมาะสมสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม PZT มีปริมาณของเลดออกไซด์ (PbO) เป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 60% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นโลหะหนักที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้ามีการกำจัดเศษซากอุปกรณ์ที่ไม่ถูกวิธี [4] ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้ตระหนักถึงความสำคัญในเรื่องนี้เป็นอย่างยิ่ง โดยในปี ค.ศ.2006 สหภาพยุโรป (EU) ได้ออกระเบียบว่าด้วยการกำจัดเศษซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Waste from electrical and electronic equipment หรือ WEEE) และการควบคุมและห้ามนำเข้าสินค้าที่มีสารอันตรายเกินมาตรฐานที่กำหนด (Restriction

of certain hazardous substances หรือ RoHS) ซึ่งตะกั่วก็เป็นสารหนึ่งในสารต้องห้ามดังกล่าวด้วย นอกจากนั้นยังมีหลายประเทศ อาทิ ประเทศญี่ปุ่น จีน และเกาหลีใต้ ก็ได้เริ่มออกระเบียบในลักษณะดังกล่าวด้วย [5-6]ดังนั้นจึงได้มีการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วขึ้น เพื่อที่จะนำมาทดแทนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในปัจจุบันได้นักวิจัยหลายกลุ่มที่ได้ทำการศึกษาวัดวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วเพื่อที่จะนำมาทดแทนวัสดุที่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบอาทิเช่น โพแทสเซียมโซเดียมไนโอเบต (KNN), บิสมัทโซเดียมไนโอเบต (BNT) รวมถึงบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนต ($(Bi_{0.5}K_{0.5}TiO_3$; BKT) ด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเตรียมเซรามิกไร้สารตะกั่วให้มีความหนาแน่นสูงนั้นค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากในขั้นตอนของกระบวนการเผาซินเตอร์ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ไร้สารตะกั่วอย่างเช่นBKT นั้นเกิดการระเหยของโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 900°C) [7] ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงในกระบวนการเตรียมเซรามิกแบบต่างๆ เช่นการใช้เทคนิคการกดร้อน (Hot pressing) ซึ่งเทคนิคดังกล่าวทำให้เซรามิกนั้นมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องด้วยเทคนิคดังกล่าวมีต้นทุนที่สูงอีกทั้งยังมีข้อจำกัดหลายประการจึงทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมซึ่งนอกจากการเตรียมเซรามิกด้วยเทคนิคต่างๆแล้ว ยังสามารถปรับปรุงเซรามิกให้มีความหนาแน่นได้ด้วยการเติมสารเจือเข้าไปในระบบของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วได้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการเกิดสารละลายของแข็งในระบบดังกล่าวเพื่อหาปริมาณสารเจือให้เซรามิกมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของเซรามิกที่เตรียมได้ โดยมุ่งศึกษาทางด้านโครงสร้างผลึก (Crystal structure) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สัณฐานวิทยา (Morphology) และสมบัติทางไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) ของสารระบบดังกล่าว

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

บิสมัทโพแทสเซียมไททาเนต ($Bi_{0.5}K_{0.5}TiO_3$; BKT) ซึ่งเป็นวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นเพอรอฟสไกต์ โดยที่อุณหภูมิห้อง BKT นั้นมีโครงสร้างแบบเททระโกนอล ซึ่งมีอุณหภูมิในการเปลี่ยนเฟสจากเททระโกนอลไปเป็นคิวบิคเสมือน (pseudocubic) ที่อุณหภูมิ 270°C BKT นั้นเป็นสารเพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วที่น่าสนใจ

เนื่องจากมีอุณหภูมิคูรีค่อนข้างสูงที่ประมาณ 380°C อย่างไรก็ตามการเตรียมเซรามิก BKT ให้มีความหนาแน่นสูงนั้นค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากในขั้นตอนของกระบวนการเผาซินเตอร์นั้นเกิดการระเหยของโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 900°C) [7]ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงในกระบวนการเตรียมเซรามิกแบบต่างๆ เช่นการใช้เทคนิคการกดร้อน (Hot pressing) ซึ่งเทคนิคดังกล่าวทำให้เซรามิกนั้นมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องด้วยเทคนิคดังกล่าวมีต้นทุนที่สูงอีกทั้งยังมีข้อจำกัดหลายประการจึงทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการอุตสาหกรรม

นอกจากการเตรียมเซรามิกด้วยเทคนิคต่างๆแล้ว ยังสามารถปรับปรุงเซรามิกให้มีความหนาแน่นได้ด้วยการเติมสารเจือเข้าไปในระบบ BKT ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเติมสารเจือสตรอนเทียมไททาเนต ($SrTiO_3$; ST) เนื่องจากมีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์และเป็นสารประกอบกลุ่มไททาเนตซึ่งนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก ซึ่งสำหรับ ST นั้นได้นิยมทำเป็นตัวเก็บประจุเนื่องจากมีสมบัติทางไดอิเล็กทริกที่ดีเยี่ยม มีความเสถียรเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง [8] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีความสนใจที่จะใช้ ST มาช่วยในการปรับปรุงให้ BKT มีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น และทำให้ระบบ BKT ที่ทำการเติมสารเจือ ST เข้าไปให้มีค่าไดอิเล็กทริกที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุที่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. เตรียมผงเพียโซอิเล็กทริกในระบบที่มีบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนตเป็นองค์ประกอบหลักให้มีความบริสุทธิ์สูง
2. เตรียมเซรามิกเพียโซอิเล็กทริกในระบบที่มีบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนตเป็นองค์ประกอบหลักให้มีความหนาแน่นสูง
3. ตรวจสอบปริมาณเฟสที่เกิดขึ้นด้วย สมบัติทางกายภาพ ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค และสมบัติทางไฟฟ้าในระบบที่มีบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนตเป็นองค์ประกอบหลัก
4. หาสัดส่วนองค์ประกอบของสตรอนเทียมไททาเนตที่ทำให้สมบัติทางไดอิเล็กทริกดีที่สุด

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

เป็นการศึกษาถึงวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในระบบบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนตที่เจือด้วยสตรอนเทียมไททาเนตโดยได้กล่าวไว้ในงานวิจัยฉบับนี้ แบ่งเนื้อหาทั้งหมด 6 บท โดยแต่ละบทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ โดยกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการศึกษา ตลอดทุกหัวข้อได้กล่าวถึงวิธีการดำเนินงาน เพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ และในตอนสุดท้ายได้กล่าวถึงรายละเอียดของเนื้อหา เพื่อให้ผู้สนใจได้ทราบถึงขอบเขตของการเขียนรายงานเล่มนี้

บทที่ 2 เป็นส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะและสมบัติต่างๆ ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก จากนั้นได้กล่าวถึงผลึกเฟอร์โรอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างเป็นเพอรอฟสไกต์ที่มีหลายลักษณะเพื่อให้เข้าใจพอสังเขป ในหัวข้อถัดมาได้อธิบายถึงวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก ซึ่งแบ่งได้เป็นแบบปกติ, แบบแอนติเฟอร์โรอิเล็กทริก และแบบรีแลกเซอร์เฟอร์โรอิเล็กทริกและสุดท้ายได้กล่าวถึงวิธีและเทคนิคการเตรียมเซรามิก

บทที่ 3 กล่าวถึงการเตรียมชิ้นงานของเซรามิก ตั้งแต่สารเคมีเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์การทดลองที่เกี่ยวข้อง จนกระทั่งถึงกระบวนการเตรียมผง ด้วยเทคนิคปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction) เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเตรียมเซรามิกให้มีความหนาแน่นสูง รวมไปถึงการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก (Crystal structure) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) การเปลี่ยนเฟส (Phase transition) สมบัติไดอิเล็กทริก (Dielecrtric properties) และทางสัณฐานวิทยา (Microstructure)

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยกล่าวถึงผลของการศึกษาทางโครงสร้างของเซรามิกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางสัณฐานวิทยา การเปลี่ยนเฟส และศึกษาทางไฟฟ้าของเซรามิกด้วยสมบัติไดอิเล็กทริก

บทที่ 5 เป็นกล่าวถึงผลพร้อมทั้งการอภิปรายผลการทดลองของเซรามิกที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) ซึ่งประกอบไปด้วย ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางไดอิเล็กทริกที่เตรียมได้

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

หมายเหตุ : จากการทำการศึกษาและทำวิจัยการสังเคราะห์และสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกที่มีบิสมัทโพแทสเซียมไททาเนตเป็นองค์ประกอบหลักที่เจือด้วยสาร $LiSbO_3$ พบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูปและสมบัติทางไฟฟ้า ทางคณะผู้วิจัยจึงได้แก้ไขปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสารเจือมาเป็น $SrTiO_3$