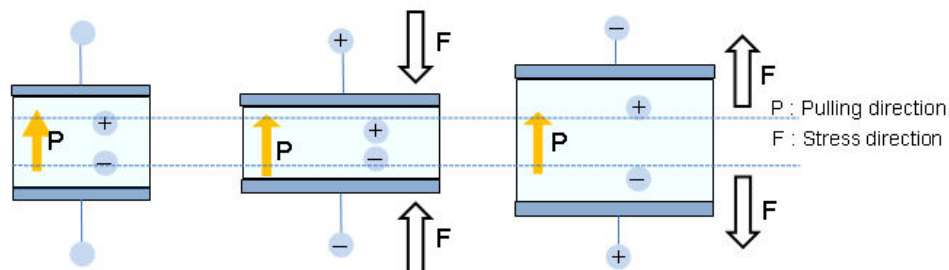


บทที่ 1

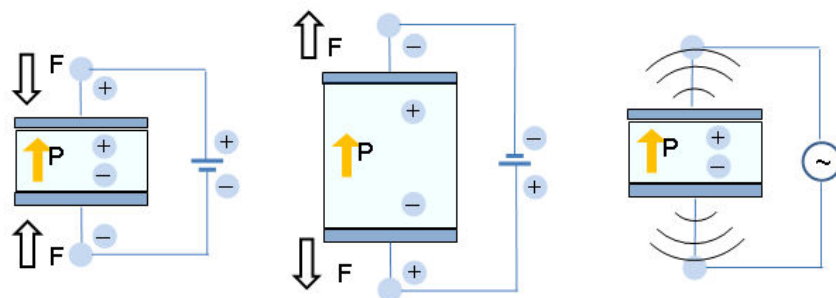
บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม (Energy harvesting technology) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการผลิตพลังงานสะอาดที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกทดแทนแหล่งพลังงานหลักที่ก่อมลภาวะต่อโลกอย่างเช่น น้ำมัน ถ่านหิน นิวเคลียร์ โดยอาศัยการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากมายรอบตัวเรา ทั้งจากการเคลื่อนไหวของร่างกายจากแรงสั่นสะเทือน แปรให้เป็นพลังงานไฟฟ้านำกลับมาใช้ใหม่ เซรามิกไพโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) สามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อเซรามิกได้รับแรงกดหรือแรงดึง เรียกว่า Direct Effect (ภาพที่ 1) นอกจากนี้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เรียกว่า Converse Effect (ภาพที่ 2) โดยวัสดุเกิดการยืดหดตัวเองได้เมื่อถูกกระตุ้นภายใต้กระแสไฟฟ้าและขนาดของการยืดหดขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ตัววัสดุได้รับ



ภาพ 1.1 Direct piezoelectric effect



ภาพ 1.2 Invers piezoelectric effect

ด้วยเหตุนี้วัสดุไพโซอิเล็กทริกจึงมีความสำคัญอย่างมากในการประยุกต์ใช้ในระบบ Energy harvesting และประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวเก็บประจุชนิดเพอร์โรอิเล็กทริก ตัวขับเร้า ไพโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วเซรามิกไพโซอิเล็กทริกที่นำมาประยุกต์ใช้นั้นอยู่ในกลุ่มเซรามิกที่มีโครงสร้างในกลุ่มเพอโรฟสไกต์ (ABO_3) และส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก ตัวอย่างเช่น $PbTiO_3$, $Pb(Zr, Ti)O_3$ และ $Pb(Mg Nb)O_3$ เนื่องจากเซรามิกเหล่านี้แสดงค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริกที่สูง ($d_{33} \sim 250-400$ pC/N) อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลักจะก่อให้เกิดมลพิษอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากความเป็นพิษสูงของตะกั่วออกไซด์ที่ระเหยในระหว่างการผลิต ด้วยเหตุนี้การพัฒนาวัสดุไพโซอิเล็กทริกที่ปราศจากตะกั่วเพื่อทดแทนเซรามิกที่ใช้ตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลักจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน ในปี ค.ศ.1960 Smolenskii และคณะ [1] ค้นพบเซรามิกบิสมาทโซเดียมไททานเตที่มีสูตรทางเคมี คือ $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ (BNT) ซึ่งเป็นวัสดุไพโซอิเล็กทริกที่ปราศจากตะกั่วชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเซรามิก BNT แสดงโครงสร้างผลึกเพอร์โรฟสไกต์แบบรอมโบอีดรอลที่อุณหภูมิห้องและแสดงค่าสภาพขั้วคงค้างสูง ($P_r \sim 38$ $\mu C/cm^2$) อย่างไรก็ตามเซรามิก BNT แสดงค่าสัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริกที่ต่ำ ($d_{33} \sim 90$ pC/N) และค่าสนามไฟฟ้าลบข้างสูง ($E_c \sim 7.3$ kV/mm) ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าลบข้างที่สูงนี้ส่งผลให้การทำขั้วไฟฟ้าของเซรามิก BNT ยาก ด้วยเหตุนี้ได้มีคณะวิจัยจำนวนมากได้คิดค้นวิธีและเทคนิคต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก BNT เช่น สมบัติไพโซอิเล็กทริก เพอร์โรอิเล็กทริก และสมบัติไดอิเล็กทริก เทคนิคการเจือสารเพอร์โรสไกต์เป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก BNT เช่น การเติมสารจำพวก $BaTiO_3$ (BT) [2], $Bi_{0.5}K_{0.5}TiO_3$ (BKT) [3], $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ (KNN) [5] ($Ba_{0.85}Ca_{0.15})(Ti_{0.90}Zr_{0.10})O_3$ (BCTZ) [6] และ ($Ba_{0.98}Ca_{0.02})(Sn_{0.06}Ti_{0.94})O_3$ (BCST) เป็นต้น เข้าร่วมตัวกับ BNT ก่อตัวเป็นสารละลายของแข็งของเซรามิกแบบระบบทวิภาคที่อัตราส่วนของสารอยู่บริเวณรอยต่อเฟส (Morphologic phase boundary; MPB)

เมื่อไม่นานมานี้ Bo Wu และคณะ [7] ทำการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริก (d_{33}) ของเซรามิก BNT โดยการเจือสาร ($Ba_{0.98}Ca_{0.02})(Sn_{0.06}Ti_{0.94})O_3$ (BCST) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริกสูง (~ 500 pC/N) ในระบบทวิภาค $(1-x)Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3-x(Ba_{0.98}Ca_{0.02})(Sn_{0.06}Ti_{0.94})O_3$; [(1-x)BNT-xBCST] ที่อัตราส่วน $0 \leq x \leq 0.10$ เตรียมด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง โดยแคลไซน์ที่อุณหภูมิ $850^\circ C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และซินเตอร์ที่อุณหภูมิ $1160^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าที่ปริมาณ $x=0.06$ เซรามิกแสดงโครงสร้างเฟสรวมระหว่างรอมโบอีดรอลกับเทตระโกนอล และแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี โดยมีค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริกสูง ($d_{33} \sim 170$ pC/N) สัมประสิทธิ์คู่วบไฟฟ้าเชิงระนาบที่ดี ($K_p \sim 32.8\%$) ค่าสภาพขั้วคงค้างที่ดี ($P_r \sim 38.5$ $\mu C/cm^2$) ซึ่งค่า d_{33} ที่ได้สูงกว่าเซรามิก BNT ค่อนข้างมาก

เมื่อเร็วๆ นี้ Li-Feng Zhu และคณะ [8] ได้สังเคราะห์เซรามิก $(1-x)(Ba_{0.9}Ca_{0.1})TiO_3-xBa(Sn_{0.2}Ti_{0.8})O_3$ (BCT-xBST) ที่ปริมาณ x ต่างๆ ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง พบว่าที่ปริมาณ $x = 0.45$ โดยเซรามิกดังกล่าวจะมีสูตรทางเคมีเป็น $(Ba_{0.945}Ca_{0.055})(Ti_{0.91}Sn_{0.09})O_3$ (BCTS) แสดงค่าคงที่ไพโซอิเล็กทริกสูงมากประมาณ ~ 630 pC/N และมีค่าสัมประสิทธิ์คู่วบไฟฟ้าเชิงระนาบสูง

($K_p \sim 52\%$) ดังนั้น สารเพอร์อฟสไกต์สไกต์ของ BCTS ที่องค์ประกอบทางเคมีดังที่กล่าวเป็นสารเจืออีกตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับนำไปใช้เป็นสารเจือเพื่อปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก BNT

นอกจากนี้เทคนิคการสังเคราะห์เซรามิกไพโอโซอิเล็กทริกเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงคุณภาพและสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกไพโอโซอิเล็กทริก เป็นที่ทราบกันดีว่าการสังเคราะห์เซรามิกไพโอโซอิเล็กทริกด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งเป็นการเตรียมเซรามิกที่มีขั้นตอนการเตรียมไม่ยุ่งยากเตรียมสารได้จำนวนมาก แต่ข้อเสียของวิธีการเซรามิกไพโอโซอิเล็กทริกด้วยวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิในการเตรียมที่สูง อีกทั้งระยะเวลาในการแคลไซน์และซินเตอร์เป็นเวลานาน ส่งผลให้อาจเกิดการระเหยของสารตั้งต้นทำให้อัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีไม่เป็นตามต้องการ นอกจากนี้การกระจายองค์ประกอบทางเคมีไม่เป็นเนื้อเดียวกันและขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ เทคนิคการเผาไหม้เป็นกระบวนการเตรียมเซรามิกไพโอโซอิเล็กทริกที่มีคุณภาพสูงและประหยัดถูกคิดค้นโดย T. Bongkarn และคณะ ซึ่งวิธีการเผาไหม้เป็นเทคนิคที่มีความสะดวก ไม่ยุ่งยาก เตรียมสารได้ในปริมาณครั้งละมากๆ และใช้ต้นทุนต่ำ ทั้งนี้วิธีการเผาไหม้ เป็นวิธีที่อาศัยการปลดปล่อยพลังงาน ที่ได้จากการจุดระเบิดซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีของเชื้อเพลิง เช่น ยูเรีย (urea) เฮกซะเมทิลเททระมิน (hexamethyltetra-mine) และ ไกลซีน (glycine) เป็นต้น [9-19] พลังงานที่ได้จากการจุดระเบิดนี้ช่วยให้อุณหภูมิในการเผาสารลดลง จึงทำให้ประหยัดพลังงานอย่างมาก และเทคนิคการเผาไหม้นี้ยังเป็นวิธีเดียว ในการเตรียมผลึกที่ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่ำและเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นในระดับโมเลกุลอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ผลึกที่ได้มีคุณภาพดี มีองค์ประกอบทางเคมีตามที่ต้องการ และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยในระดับนาโน

นอกจากนี้จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเจือ ($Ba_{0.945}Ca_{0.055}$) ($Ti_{0.91}Sn_{0.09}$) O_3 (BCTS) ลงในเซรามิก $Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ (BNT) ที่เตรียมด้วยเทคนิคการเผาไหม้และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาคกับสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกดังกล่าวยังไม่มีงานวิจัยมาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นสังเคราะห์เซรามิก $(1-x)(BNT)-x(BCTS)$ ด้วยเทคนิคการเผาไหม้ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิการเตรียมและผลของปริมาณการเจือ BCTS ที่มีต่อโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก ดังกล่าวอีกด้วย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบ Energy harvesting ต่อไป

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติไพโอโซอิเล็กทริกของเซรามิก BNT ให้ดีขึ้น โดยการเจือสาร BCTS
2. เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมผลึกและเซรามิก BCTS และ $(1-x)BNT-xBCTS$ ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการเผาไหม้
3. เพื่อศึกษาผลของปริมาณ x ที่มีต่อโครงสร้างผลึก โครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก $(1-x)BNT-xBCTS$ ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการเผาไหม้

ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมผงผลึกและเซรามิก BCTS โดยใช้เงื่อนไขการเตรียมต่างๆ
2. เตรียมเซรามิก 0.94BNT-0.06BCTS ด้วยวิธีการเผาไหม้ โดยใช้เงื่อนไขการเตรียมต่างๆ
3. เตรียมเซรามิก $(1-x)\text{BNT}-x\text{BCTS}$ ที่ปริมาณ x ต่างๆ ด้วยวิธีการเผาไหม้
4. ศึกษาโครงสร้างผลึกและศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผงผลึกที่เตรียมได้จากข้อ 1
5. เตรียมเซรามิก $(1-x)\text{BNT}-x\text{BCTS}$ ที่ปริมาณ x ต่างๆ ด้วยวิธีการเผาไหม้โดยใช้เงื่อนไขการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ
6. นำเซรามิกที่เตรียมได้จากข้อ 3 มาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ โครงสร้างเฟส โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางไฟฟ้าเชิงกล
7. สรุปผลการทดลอง ทำรูปเล่มสมบูรณ์ และเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารระดับนานาชาติ จำนวน 2 เรื่อง