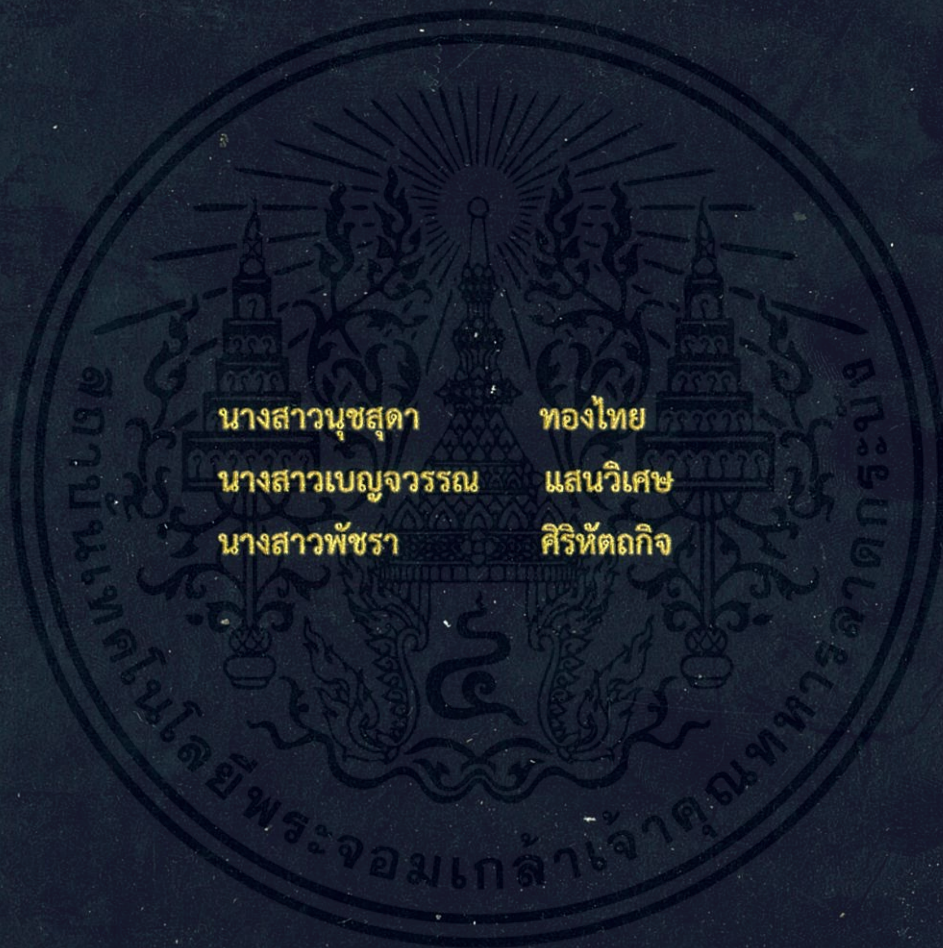


การสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะของเซรามิกที่มีโครงสร้างแบบ

ดิออน จากคอปสัน

SYNTHESIS AND CHARACTERISTIC CERAMIC BASED ON DION-
JACOBSON STRUCTURE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะของเซรามิกที่มีโครงสร้างแบบ
ดิออน จาค็อบสัน

SYNTHESIS AND CHARACTERISTIC CERAMIC BASED ON DION-
JACOBSON STRUCTURE



นางสาวนุชสุดา

นางสาวเบญจวรรณ

นางสาวพัชรา

ทองไทย

แสนวิเศษ

ศิริหัตถกิจ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS AND CHARACTERISTIC CERAMIC BASED ON DION-
JACOBSON STRUCTURE



MISSNUDSUDA

THONGTHAI

MISSBENJAWAN

SANWISET

MISSPATCHARA

SIRIHATTHAKIJ

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารชุดนี้ที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะของเซรามิกที่มีโครงสร้างแบบ
ดิออน จากคือปสัน

Synthesis and Characteristic Ceramic Based on Dion-jacobson
Structure

ชื่อนักศึกษา นางสาวนุชสุดา ทองไทย รหัสนักศึกษา 54050200
นางสาวเบญจวรรณ แสนวิเศษ รหัสนักศึกษา 54050201
นางสาวพัชรา ศิริหัตถกิจ รหัสนักศึกษา 54050228

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นราธิป วิทยากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. รังสรรค์ เมืองเหลือ ประธานกรรมการ	รังสรรค์ เมืองเหลือ
ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช กรรมการ	ปานไพลิน
ผศ.ดร. นราธิป วิทยากร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	นราธิป วิทยากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะของเซรามิกที่มีโครงสร้างแบบดิออนจาคีออปสัน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนุชสุดา	ทองไทย	รหัสนักศึกษา 54050200
	นางสาวเบญจวรรณ	แสนวิเศษ	รหัสนักศึกษา 54050201
	นางสาวพัชรา	ศิริหัตถกิจ	รหัสนักศึกษา 54050228
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร		

บทคัดย่อ

ผงผลึกในระบบ $BaCaNb_2O_7$, $BaCaTa_2O_7$, $KBiNb_2O_7$ และ $KBiTa_2O_7$ ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ซึ่งการฟอร์มเฟสดิออนจาคีออปสัน ของผงผลึกในระบบ $BaCaNb_2O_7$, $BaCaTa_2O_7$, $KBiNb_2O_7$ และ $KBiTa_2O_7$ โดยการใช้การวิเคราะห์ร่วมกันคือเทคนิคการตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน (TGA) และการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าเฟสดิออนจาคีออปสันที่มีความบริสุทธิ์จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิในการแคลไซน์ระหว่าง 900-1000 องศาเซลเซียส ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิในการเผามีอิทธิพลต่อการฟอร์มเฟสของโครงสร้างดิออนจาคีออปสัน

คำสำคัญ : การแคลไซน์ ดิออนจาคีออปสัน วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Synthesis and Characteristic Ceramic Based on Dion-jacobson Structure		
Student	Miss Nudsuda	Thongthai	Student ID 54050200
	Miss Benjawan	Sanviset	Student ID 54050201
	Miss Patchara	Sirihatthakij	Student ID 54050228
Degree	Bachelor of Science (Industrials Chemistry)		
Department	Chemistry		
Academic Year	2014		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Naratip Vittayakorn		

ABSTRACT

The BaCaNb₂O₇, BaCaTa₂O₇, KBiNb₂O₇ and KBiTa₂O₇ powders were synthesized via solid state reaction. Dion Jacobson phase formation of BaCaNb₂O₇, BaCaTa₂O₇, KBiNb₂O₇ and KBiTa₂O₇ were investigated as a function of calcination temperature by using a combination of thermogravimetric analyzer (TGA) and X-ray diffraction (XRD) techniques. Pure phase of Dion Jacobson was observed in the calcination temperature between 900-1000°C. The obtained results clearly revealed the influences of calcination temperature on phase formation of Dion Jacobson powder.

Key word : Calcination Dion-jacobson Solid state reaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงการพิเศษในหัวข้อเรื่องการสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะของเซรามิกที่มีโครงสร้างแบบดิออน จากข้อปัสัน โครงการพิเศษ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากบุคคลต่อไปนี้

ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นราธิป วิทยากร ที่คอยติดตามดูความคืบหน้าของงานวิจัย ให้ความรู้และแนะนำสิ่งต่างๆเกี่ยวกับงานวิจัยคอยให้กำลังใจและช่วยแก้ไขปัญหาคณะทั้งโครงการพิเศษนี้สำเร็จไปลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ ในการเป็นคณะกรรมการในการตรวจสอบวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และพื้ น้ำ ที่ให้เบิกอุปกรณ์ เครื่องมือในการทดลอง รวมทั้งงบประมาณ และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และคนในครอบครัวของผู้จัดทำที่คอยเฝ้าถาม ท่วงโย และให้กำลังใจ

ขอบคุณพี่ ป.เอก พี่ ป.โท ที่ได้คอยช่วยเหลือ แนะนำ และช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จ

ขอบคุณเพื่อนทุกคนในสาขาเคมีอุตสาหกรรมรุ่น 30 ที่คอยให้กำลังใจมาตลอดโดยไม่ทอดทิ้งกัน และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานวิจัย ที่อดทนฝ่าฟัน อุปสรรค เคียงข้างกันเสมอมา ผู้จัดทำหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในงานด้านนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวนุชสุดา

ทองไทย

นางสาวเบญจวรรณ

แสนวิเศษ

นางสาวพัชรา

ศิริห์ตถกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 สมบัติธาตุตามตารางธาตุ.....	4
2.1.1 ขนาดอะตอม.....	4
2.1.2 อิเล็กโทรเนกาติวิตี.....	6
2.1.3 พลังงานไอออไนเซชัน.....	6
2.1.4 สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน.....	6
2.2 เซรามิก.....	8
2.2.1 เซรามิกแบบดั้งเดิม.....	8
2.2.1.1 พอร์ซเลน.....	8
2.2.1.2 สโตนแวร์.....	8
2.2.1.3 โบนไชน่า.....	8
2.2.1.4 เอิร์ธเทนแวร์.....	9
2.2.2 เซรามิกสมัยใหม่.....	9
2.2.2.1 เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง.....	9
2.2.2.2 เซรามิกสำหรับงานด้านการแพทย์.....	10
2.2.2.3 อิเล็กโทรเซรามิก.....	10
2.3 โครงสร้างเพอรอฟสไกต์.....	16
2.3.1 การประยุกต์ใช้งานของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์.....	17
2.4 ลักษณะโครงสร้างเพอรอฟสไกต์ (Type of perovskite structure).....	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.1 เพอโรฟสไกต์แบบสี่เหลี่ยม (Cubic Perovskite).....	19
2.4.2 เพอโรฟสไกต์แบบคู่ (Double Perovskite).....	19
2.4.3 เพอโรฟสไกต์แบบชั้น (Layered Perovskite) : รัตเดิลเดนซ์ ป๊อปเปอร์ (Ruddleson Popper)อูริวิลเลียส (Aurivillius) และด็อน จาค็อบสัน (Dion-Jacobson).....	20
2.5 โครงสร้างด็อน จาค็อบสัน.....	23
2.5.1 ประวัติของโครงสร้างด็อน จาค็อบสัน.....	23
2.5.2 ต้นกำเนิดของปรากฏการณ์เฟอโรอิเล็กทริก ในตระกูลของออกไซด์ที่มี ชั้น : โครงสร้างด็อน จาค็อบสัน.....	24
2.5.3 ความเป็นผลึกของด็อน จาค็อบสัน.....	25
2.5.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างบิดเบี้ยว.....	27
2.5.3.2 ต้นกำเนิดของผลึกทางเคมีของโครงสร้างที่มีชั้นในตระกูล ด็อน จาค็อบสัน.....	28
2.5.4 การสังเคราะห์ในโครงสร้างด็อน จาค็อบสัน.....	30
2.5.4.1 ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction).....	30
2.6 ระบุว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และระบุว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์.....	31
2.6.1 ระบุว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์(WEEE).....	31
2.6.2 ระบุว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์(RoHS).....	32
2.7 กระบวนการเตรียมผงเพียโซอิเล็กทริกด้วยวิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction).....	33
2.7.1 กระบวนการบดผสมด้วยลูกบอลโดยอาศัยการสั่นสะเทือน (Vibration mill)	34
2.7.2 การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction).....	34
2.8 หลักการของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
2.8.1 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติ ทางความร้อน (TGA).....	35
2.8.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD).....	36

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
28.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)....	38
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	56
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	57
3.3 กระบวนการเตรียมผงผลึก.....	57
3.4 กระบวนการเตรียมเซรามิก.....	60
3.5 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน.....	60
3.5.1 วิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA).....	61
3.6 การตรวจสอบพฤติกรรมเกิดการเกิดเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD).....	62
3.7 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy).....	64
บทที่ 4 ผลวิจัยและอภิปรายผลวิจัย.....	66
4.1 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ในระบบ $BaCaNb_2O_7$	66
4.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction ; XRD).....	69
4.1.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มสเปกโตรมิเตอร์(FT-IR).....	70
4.1.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA.....	72
4.2 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $BaCaTa_2O_7$	74
4.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction ; XRD).....	76
4.2.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR).....	77
4.2.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA.....	79
4.3 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $KBiNb_2O_7$	81
4.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction ; XRD).....	83

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มสเปกโตมิเตอร์ (FT-IR).....	84
4.3.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA.....	86
4.4 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ KBiTa_2O_7	88
4.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction ; XRD).....	90
4.4.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มสเปกโตมิเตอร์ (FT-IR).....	91
4.4.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA.....	92
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	95
5.1 สรุปผลวิจัย.....	95
5.1.1 ระบบแบเรียมแคลเซียมไนโอเบต.....	95
5.1.2 ระบบแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट.....	96
5.1.3 ระบบโพแทสเซียมบิสมาทไนโอเบต.....	97
5.1.4 ระบบโพแทสเซียมบิสมาทแทนทาลेट.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	100
เอกสารอ้างอิง.....	101
เอกสารอ้างอิงรูปภาพ.....	103
ภาคผนวก.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 แสดงภาพสัญญาณลักษณะระเปียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS).....	33
2.21 แสดงตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็งของ LiNiO_2	35
2.22 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA.....	37
2.23 แสดงแบบจำลองการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์.....	38
2.24 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SiC	38
2.25 ตั้งอย่างคลื่นรังสีอินฟราเรดของอะนิลีน.....	40
2.26 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี.....	40
2.27 แสดงรูปที่สร้างขึ้นของโครงสร้าง $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ โดยบริเวณสีเหลืองจะแสดงถึงตำแหน่งออกตะฮีดรอลของ NBO_6 และวงกลมภายในชั้นแสดงถึงอะตอมของแคลเซียม.....	41
2.28 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{CsCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ โดยการคำนวณและสังเกตถึงรูปแบบด้านบนโดยเส้นเข็มและจุดตามลำดับ เส้นที่ตั้งตรงตรงกลางแสดงถึงรูปแบบการคำนวณจากการสะท้อนของแบท (Bagg) และเส้นที่อยู่ล่างสุดเป็นการพลอตความแตกต่างระหว่างการคำนวณและการสังเกตความเข้ม.....	43
2.29 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{NaCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$	43
2.30 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{KCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$	44
2.31 แสดงถึงโครงสร้างของ $\text{MCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ ($\text{M} =$ โลหะอัลคาไลน์).....	45
2.32 (a) แผนภูมิแสดงการสังเคราะห์ของแต่ละผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มต้นจาก $\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$ (b) โครงสร้างของ $\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$	49
2.33 แสดงถึงรูปแบบ XRD ของ Nd-Nb เมื่อ (a) การขจัดน้ำของ HNdNb_2O_7 (b) $\text{LiNdNb}_2\text{O}_7$ (c) $\text{NaNdNb}_2\text{O}_7$ ที่มีน้ำอยู่ด้วย (d) KNdNb_2O_7 (e) $\text{NH}_4\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (f) $\text{AgNdNb}_2\text{O}_7$ (g) $(\text{MnCl})\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (h) $(\text{FeCl})\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (i) $(\text{MnCl})\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (*) फिल्मपोलिพรพิลินที่ใช้ในการแยกสารประกอบจากความชื้น.....	49
2.34 แสดงผลการพลอตของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ ที่มีความสมมาตรของผลึกเป็น $\text{P2}_1\text{am}$ ที่อุณหภูมิห้อง..	51
2.35 ก) แสดงถึงผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ข) โครงผลึกของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ เฟสกับ $b-a$ และ $c-a$ โดยแกน $b-$ และ $a-$ จะแสดงถึงการสั่นไหวและระนาบกระจกตามลำดับ.....	52
2.36 ก) กราฟแสดงสมบัติไดอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นร่วมกับอุณหภูมิ ข) การสั่นสะเทือนของคลื่นความถี่ต่ำกับอุณหภูมิ ค) ค่าคงที่เพียโซอิเล็กทริกกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น.....	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงถึงรัศมีอะตอม (พิโกเมตร) ของธาตุตามหมู่และตามคาบ.....	5
2.2 แสดงถึงขนาดอะตอม.....	5
2.3 แสดงถึงแนวโน้มขนาดอะตอมในคาบเดียวกันจากซ้ายไปขวา.....	6
2.4 แสดงหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง.....	11
2.5 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งแบบของเวสติงเฮาส์.....	12
2.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบเชื้อเพลิง.....	13
2.7 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบเชื้อเพลิงภายนอก.....	14
2.8 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบการควบคุม.....	15
2.9 แสดงภาพส่วนประกอบภายในหัวฉีดน้ำมัน.....	16
2.10 แคลเซียมไททาเนตที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์.....	17
2.11 แสดงถึงตัวอย่างของเพอรอฟสไกต์แบบสี่เหลี่ยมของสารประกอบ SrTiO_3	19
2.12 ตัวอย่างเพอรอฟสไกต์แบบคู่.....	20
2.13 ตัวอย่าง $n = 1$ ของสารประกอบ Sr_2RuO_4 (ภาพซ้าย) และ $n = 2$ $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ (ภาพขวา). ..	21
2.14 ตัวอย่างโครงสร้างแบบอูริลเลียสของสารประกอบ $[\text{Bi}_2\text{O}_2]\text{-}[\text{A}_{n-1}\text{B}_2\text{O}_7]$	22
2.15 ภาพตัวอย่างของโครงสร้างไดออน จากคือปสันที่มีการเคลื่อนตัวของชั้นเพอรอฟสไกต์ และไม่มีการเคลื่อนตัว.....	23
2.16 โครงสร้างของ $n = 1$ และ $n = 2$ ของเฟสไดออน จากคือปสันใน $\text{P4} / \text{mmm}$ โครงสร้าง แต่ละชนิดกับรูปทรงหลายเหลี่ยมประสานกับอะตอมต่างๆที่เน้นการประสานของแต่ละ รูปทรงหลายเหลี่ยมในด้านขวาสุดหมายถึง $n = 2$ ของเฟสไดออน จากคือปสันของโครงสร้าง ที่เป็นแอนไอออนแกนอ้างอิงในข้อความจะแสดงกับ x	26
2.17 โครงสร้างในอุดมคติของไดออน จากคือปสัน เมื่อ $k = 2\ 3\ 4$ พบว่าจำนวนชั้นของ BO_6 ออกตะฮีดรอลเพิ่มขึ้นตามจำนวน k แต่ถ้า k เป็นอนันต์จะเป็นโครงสร้างเพอรอฟสไกต์. ..	27
2.18 แสดงการแยกชั้น A-O และ Nb-O โพลาริเซชันสำหรับการศึกษาของแต่ละวัสดุในเฟส P21am สำหรับ $\text{Rb}_y\text{Nb}_2\text{O}_7$ ตัวอย่างเช่น ชั้น A-O จะเหนี่ยวนำการเกิดโพลาริเซชัน ประมาณ $19\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ในทางตรงกันข้ามแต่ละ ชั้น Nb-O จะเหนี่ยวนำการเกิดโพลาริ- เซชันประมาณ $11\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ซึ่งข้อมูลจะคล้ายกับแกน x ซึ่งเป็นปัจจัยที่แตกต่างกัน สำหรับแคทไอออนที่ตำแหน่ง A และไอออนของ Nb ในหน่วยวาเลนซ์ (v.u.) จะ คำนวณสำหรับแต่ละวัสดุในโครงสร้างอ้างอิง $\text{P4}/\text{mmm}$	29
2.19 แผนผังแสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิบัติกิจิยาสถานะของแข็ง.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความแตกต่างของอะตอมที่ใช้ในการทดลอง.....	7
1.2 สมบัติและการประยุกต์ใช้ของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์.....	18
1.3 แสดงถึงค่าคงที่ของแรงของวัสดุไดออน จากคอปสันใน P4/mmm ความแตกต่างของพลังงานระหว่าง P4/mmm การบิดเบี้ยวของโครงสร้าง และผลรวมของความเป็นขั้ว.....	27
1.4 แสดงค่าคงที่แลตทิซของ $K[Ca_2Na_{n-3}Nb_nO_{3n+1}]$	39
1.5 แสดงค่าคงที่แลตทิซของ $H[Ca_2Na_{n-3}Nb_nO_{3n+1}].xH_2O$	40
1.6 ข้อมูลโครงสร้างผลึกของ $MCa_2Ta_3O_{10}$ (M = โลหะอัลคาไลน์) ที่ปราศจากสิ่งเจือปนจากรูปแบบการวิเคราะห์ของรังสีเอกซ์.....	44
1.7 แสดงถึงความยาวแต่ละด้านของ Nd-Nb.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.37 P –E hysteresis loop ที่อุณหภูมิห้อง.....	54
2.38 แสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของทั้งสองสารประกอบ $ABiNb_2O_7$ (A = Rb Cs).....	54
2.39 แสดงถึงรูปการวิเคราะห์หากล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของ ก) $CsBiNb_2O_7$ และ ข) $RbBiNb_2O_7$	55
2.40 ผลวิเคราะห์หากล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดระดับอะตอมของ ก) $CsBiNb_2O_7$ และ ข) $RbBiNb_2O_7$	56
2.41 ก) อุณหภูมิที่ขึ้นกับค่าคงที่ได้อิเล็กทริกภายใน I—E และ D—E ฮิสเทอรีซิสลูป ข) ผลของอุณหภูมิต่อ.....	56
2.42 แสดงภาพสัญญาณลักษณะเปรียบเทียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า และและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS).....	57
3.1 แผนผังกระบวนการเตรียมผลึกของวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง.....	61
3.2 แผนผังแสดงการเผาแคลไซน์ (T_c คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแคลไซน์).....	62
3.3 แสดงตัวอย่างเครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน.....	64
3.4 แสดงตัวอย่างเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	65
3.5 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	66
3.6 แสดงตัวอย่างเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	67
3.7 แสดงส่วนประกอบและลำดับการทำงานของเครื่องตรวจวัด [Air Quality Analytical (Gasetm-USA)2005].....	68
4.1 แสดงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ $BaCaNb_2O_7$	69
4.2 แสดงผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างของระบบ $BaCaNb_2O_7$	70
4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึก $BaCaNb_2O_7$ ที่สังเคราะห์จากวิธี ปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และผ่านการเผาแคลไซน์ที่ 800 – 1300 °C.....	72
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ของผลึก $BaCaNb_2O_7$ ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ 800 – 1150 °C.....	73
4.5 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบ $BaCaNb_2O_7$ ควบคุม อุณหภูมิที่ 50 – 900 องศาเซลเซียส.....	75
4.6 แสดงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ $BaCaTa_2O_7$	77
4.7 แสดงผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างของระบบ $BaCaTa_2O_7$	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ที่สังเคราะห์จากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และผ่านการเผาแคลไซน์ที่ $800 - 1500\text{ }^\circ\text{C}$	80
4.9 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ของผงผลึก $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ $800 - 1500\text{ }^\circ\text{C}$	81
4.10 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ควบคุมอุณหภูมิที่ $50 - 900$ องศาเซลเซียส.....	83
4.11 แสดงผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ KBiNb_2O_7	85
4.12 แสดงผงผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างของระบบ KBiNb_2O_7	86
4.13 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก KBiNb_2O_7 ที่สังเคราะห์จากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และผ่านการเผาแคลไซน์ที่ $800 - 1500\text{ }^\circ\text{C}$	88
4.14 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ของผงผลึก KBiNb_2O_7 ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ $800 - 1150\text{ }^\circ\text{C}$	89
4.15 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบ KBiNb_2O_7 ควบคุมอุณหภูมิที่ $50 - 900$ องศาเซลเซียส.....	91
4.16 แสดงผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ KBiTa_2O_7	92
4.17 แสดงผงผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างของระบบ KBiTa_2O_7	93
4.18 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก KBiTa_2O_7 ที่สังเคราะห์จากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และผ่านการเผาแคลไซน์ที่ $800 - 1150\text{ }^\circ\text{C}$	95
4.19 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ของผงผลึก KBiTa_2O_7 ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ $800 - 1150\text{ }^\circ\text{C}$	96
4.20 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ควบคุมอุณหภูมิที่ $50 - 900\text{ }^\circ\text{C}$	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

T_c	อุณหภูมิคูรี (Curie temperature)
D	สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric coefficient)
ΔP_S	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงไปของการเกิดโพลาไรเซชัน (mc/cm^2)
\mathcal{E}	ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์
P_r	โพลาไรเซชันคงเหลือ
E	สนามไฟฟ้าบังคับ
θ	มุมที่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
λ	ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันสามารถจำแนกเซรามิกได้ทั้งหมด 2 ประเภท คือ เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional Ceramic) และเซรามิกแบบสมัยใหม่ (Advance Ceramic) เซรามิกแบบดั้งเดิมมีวัสดุหลักคือ ดินดำ ดินขาว ดินแดง หินฟันม้า ทราช หินปูน หินผุ ควอตซ์ และแร่อื่น แต่ เซรามิกสมัยใหม่คือเซรามิกที่ต้องใช้วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการมาแล้วเพื่อให้ความบริสุทธิ์สูง ได้รับการควบคุมองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) อย่างแม่นยำ โดยเซรามิกสมัยใหม่อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง อิเล็กโทรเซรามิก และเซรามิกสำหรับงานด้านการแพทย์ วัสดุอิเล็กโทรเซรามิก (Electroceramic) เป็นกลุ่มที่ใช้สมบัติทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ แม่เหล็ก แสง เป็นหลัก อิเล็กโทรเซรามิกนั้นเป็นกลุ่มเซรามิกที่มีมากมายหลายชนิด และครอบคลุมสมบัติด้านต่าง ๆ หลายอย่างได้แก่ ไฟฟ้า แม่เหล็ก แสง และ ความร้อน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ไดอิเล็กทริกเซรามิก (Dielectric ceramics) เช่น แบเรียมไททาเนต (Barium Titanate, BaTiO_3) สำหรับใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพียโซอิเล็กทริกเซรามิก (Piezoelectric ceramics) ซึ่งเป็นเซรามิกที่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานกล-พลังงานไฟฟ้ากลับไปมาได้ (“Piezo” มาจากภาษากรีก แปลว่า กด (Press)) วัสดุนี้เมื่อให้แรงกลเข้าไปจะสามารถเปลี่ยนแรงกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หรือในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ ตัวอย่างเช่น เลดเซอร์โคเนตไททาเนต (Lead Zirconate Titanate, $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$) สำหรับใช้ทำทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ชุดไหลตเซลล์สำหรับเครื่องชั่งขนาดใหญ่ ตัวจุดเตาแก๊ส (Gas ignitor) นอกจากนี้อิเล็กโทรเซรามิกยังมีเซรามิกแม่เหล็ก (Magnetic ceramics) เช่น เฟอร์ไรต์ (Ferrite, Fe_3O_4) ซึ่งใช้เป็นวัสดุบันทึกข้อมูล เป็นต้น โดยส่วนใหญ่วัสดุอิเล็กโทรเซรามิกจะมีโครงสร้างแบบ เพอโรฟสไกต์ ซึ่งโครงสร้างนี้มีชื่อเรียกกันตามชื่อของแร่ แคลเซียมไททาเนต (CaTiO_3) โดยมีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ ABO_3 มี A และ B เป็นไอออนบวก มีขนาดใหญ่และเล็กตามลำดับ ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ ซึ่งปกติแล้ววัสดุอิเล็กโทรเซรามิกมีโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ เช่น เลดไททาเนต (PbTiO_3) มีอุณหภูมิคูรี (Curie Temperature) ที่ 483 องศาเซลเซียส ซึ่งตามระเบียบของสหภาพยุโรปและคณะมนตรียุโรปว่าด้วยซากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ถือกำเนิดขึ้น เนื่องจากในตะกั่วเป็นสารที่มีมลพิษและเป็นอันตรายต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เป็นเหตุให้นักวิจัยหลายกลุ่มไม่ทำกรณีใดทำทั้งนี้ อีกทั้งห้ามมิให้จัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ พยายามที่จะลดปริมาณหรือสังเคราะห์สารอื่นเพื่อทดแทนตะกั่ว อาทิเช่น แบเรียมไททาเนต

(BaTiO₃) มีอุณหภูมิคูรีเพียง 120 องศาเซลเซียส และ เลคเซอโคเนตไททานเนต (Pb(Zr,Ti)O₃) มีอุณหภูมิคูรีอยู่ที่ 350 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าโครงสร้างเพอโรฟสไกต์ปกตินั้นยังไม่สามารถตอบสนองถึงความต้องการในการใช้งานของวัสดุอิเล็กทรอนิกส์โทรเซรามิกได้ดีเท่าไรนัก โดยในปี 2012 เบาซ์ ลี และ คณะ (Bao Li et al.) [1] ได้ทำการสังเคราะห์รูบิเดียมบิสมัทไนโอเบต (RbBiNb₂O₇) ซึ่งมีโครงสร้างแบบดิออน จากคอปสัน โดยวิธีปฏิบัติกิริยาสถานะของแข็ง เผาแคลที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อัตราการขึ้นและลงอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า RbBiNb₂O₇ ที่ได้ ขึ้นฟอร์มเฟสโครงสร้างดิออน จากคอปสัน ไม่บริสุทธิ์ ยังคงเหลือ 4% โดยโมลของ บิสมัทไนโอเบตอยู่ และรายงานว่ามีอุณหภูมิคูรีที่ 945 องศาเซลเซียส แต่พบว่า รูบิเดียม (Rb) นั้นมีความเป็นพิษสูงและมีราคาแพง ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา แคลไซน์และลดระยะเวลาในการสังเคราะห์ รวมถึงหาสารอื่นทดแทน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์วัสดุที่มีโครงสร้างดิออน จากคอปสัน มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ A'A''B₂O₇ ซึ่งมี (A'A''Nb₂O₇) กับ (A'A''Ta₂O₇) โดยไอออนบวก A' คือ แบเรียม (Ba) และโพแทสเซียม (K) และไอออนบวก A'' คือ บิสมัท (Bi) และแคลเซียม (Ca) เนื่องจาก Ba และ K เป็นธาตุหมู่เดียวกับ Rb ซึ่งมีรัศมีอะตอมที่เล็กกว่า แต่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity, EN) มากกว่าและเท่ากันตามลำดับ จึงคาดว่าจะสามารถเกิดเป็นสารประกอบได้ดีกว่า และเลือกใช้ ไอออนบวก B เป็น แทนทาลัม (Ta) และ นีโอเบียม (Nb) เพราะ Ta และ Nb เป็นธาตุในหมู่เดียวกัน ตามตารางธาตุ มีประจุและมีรัศมีไอออนใกล้เคียงกันมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์โครงสร้างดิออน จากคอปสัน ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น BaCaNb₂O₇ BaCaTa₂O₇ KBiNb₂O₇ KBiTa₂O₇ ด้วยวิธีปฏิบัติกิริยาสถานะของแข็ง
- 2) เพื่อทำการศึกษาการเกิดเฟสบริสุทธิ์ของสารประกอบ BaCaNb₂O₇ BaCaTa₂O₇ KBiNb₂O₇ KBiTa₂O₇
- 3) เพื่อทำการศึกษาอุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่มีผลต่อการเกิดเฟสบริสุทธิ์ของสารประกอบ BaCaNb₂O₇ BaCaTa₂O₇ KBiNb₂O₇ KBiTa₂O₇

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์โครงสร้างดีออน จากออปสัน ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7 ด้วยวิธีปฏิบัติวิธานสถานะของแข็ง

2) ศึกษาการเกิดเฟสบริสุทธิ์ของสารประกอบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7

3) ศึกษาอุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่มีผลต่อการเกิดเฟสบริสุทธิ์ของสารประกอบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7 ดังนี้

$\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$	เผาที่อุณหภูมิ 800-1300 องศาเซลเซียส
$\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$	เผาที่อุณหภูมิ 800-1500 องศาเซลเซียส
KBiNb_2O_7	เผาที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส
KBiTa_2O_7	เผาที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส

4) ศึกษาการสันของโมเลกุลด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

5) ศึกษาการฟอร์มเฟสของสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

6) ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของสารด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงหลักการในการสังเคราะห์โครงสร้างดีออน จากออปสัน ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7 ด้วยวิธีปฏิบัติวิธานสถานะของแข็ง

2) ทราบถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาแคลไซน์เพื่อให้ได้สารประกอบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7

3) ทราบถึงการฟอร์มเฟสของสารประกอบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทบทวนเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โครงสร้างดีออน จากคือปสัน ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสารในระบบแบเรียมแคลเซียมไนโอเบต แบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट โพลแทสเซียมบิสมาทไนโอเบต และโพลแทสเซียมบิสมาทแทนทาลेट รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของสารในระบบดังกล่าวโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สมบัติธาตุตามตารางธาตุ

ในปี ค.ศ. 1661 (พ.ศ. 2204) โรเบิร์ต บอยล์ได้ให้คำจำกัดความของธาตุว่า ธาตุ คือ สารที่ไม่สามารถแตกตัวเป็นสารอื่นที่ง่ายกว่านี้อีกด้วยปฏิกิริยาเคมี ในเวลานั้นรู้จักเพียง 13 ธาตุ ได้แก่ พลวง สารหนู บิสมาท คาร์บอน ทองแดง ทองคำ เหล็ก ตะกั่ว ปรอท เงิน กำมะถัน และสังกะสี ต่อมาช่วงของนักวิทยาศาสตร์ อองตวน ลาวัวซิเย จนถึงปลายศตวรรษที่ 18 มีการค้นพบอีก 11 ธาตุ คือ คลอรีน โคบอลต์ ไฮโดรเจน แมงกานีส โมลิบดีนัม นิกเกิล ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส แพลตทินัม และ ทังสแตน หลังจากนั้นก็พบธาตุเพิ่มขึ้นทุก ๆ 2 ปี [2]

2.1.1 ขนาดอะตอม

ขนาดของอะตอมหาขอบเขตจำกัดได้ยาก เนื่องจากอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสตลอดเวลาด้วยความเร็วสูงและไม่มีตำแหน่งที่แน่นอน ดังนั้นขนาดอะตอมที่แน่นอนวัดกันไม่ได้ ในทางปฏิบัติจึงหาขนาดอะตอมด้วยรัศมีอะตอม ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอมคู่ที่สร้างพันธะต่อกันหรือที่อยู่ชิดกัน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IA							VIIIA
● 37							● 180
Li 152	Be 111	B 80	C 77	N 75	O 73	F 71	Ne 160
Na 186	Mg 160	Al 143	Si 117	P 110	S 103	Cl 99	Ar 190
K 227	Ca 197	Ga 122	Ge 123	As 125	Se 116	Br 114	Kr 200
Rb 248	Sr 215	In 163	Sn 141	Sb 145	Te 143	I 133	Xe 220
Cs 265	Ba 217	Tl 170	Pb 175	Bi 155	Po 140	At 140	

รูปที่ 2.1 แสดงถึงรัศมีอะตอม (พิโกเมตร) ของธาตุตามหมู่และตามคาบ [1]

ขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง เพราะธาตุในหมู่เดียวกัน เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้นเป็นผลให้จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสและจำนวนระดับพลังงานที่มีอิเล็กตรอนอยู่เพิ่มขึ้นด้วยการที่เวเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ห่างนิวเคลียสมากขึ้นเป็นผลให้ธาตุในหมู่เดียวกันมีขนาดอะตอมใหญ่ขึ้นตามเลขอะตอมแสดงว่าการเพิ่มจำนวนระดับพลังงานมีผลมากกว่าการเพิ่มจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส



รูปที่ 2.2 แสดงถึงขนาดอะตอม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขนาดอะตอมของธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันจากซ้ายไปขวาเมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น (เลขอะตอม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อื่นทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้
แสดงถึงจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส) เพราะธาตุในคาบเดียวกันมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ในระดับ

พลังงานเดียวกัน แต่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสแตกต่างกัน ธาตุที่มีโปรตอนมากจะดึงดูดเวเลนซ์อิเล็กตรอนได้แรงมากกว่าธาตุที่มีโปรตอนน้อย เวเลนซ์อิเล็กตรอนจึงเข้าใกล้นิวเคลียสได้มากกว่า ทำให้อะตอมมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 2.3 แสดงถึงแนวโน้มขนาดอะตอมในคาบเดียวกันจากซ้ายไปขวา [3]

2.1.2 อิเล็กโทรเนกาติวิตี

อิเล็กโทรเนกาติวิตี (Electronegativity ใช้ตัวย่อว่า EN) คือ ค่าความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนของอะตอมที่รวมกันเป็นสารประกอบ ธาตุที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงจะดึงอิเล็กตรอนดีกว่าธาตุที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีต่ำกว่า

2.1.3 พลังงานไอออไนเซชัน

ไอออไนเซชัน (Ionization Energy ใช้ตัวย่อว่า IE) หมายถึง ปริมาณพลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมในสถานะก๊าซ โดยปกติอะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า เพราะมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับโปรตอน ถ้าดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอมในสถานะก๊าซทำให้อะตอมมีจำนวนโปรตอนมากกว่าอิเล็กตรอน อะตอมจึงแสดงประจุบวกขึ้นมา เรียกว่า ไอออนบวก

อะตอมของธาตุส่วนใหญ่จะมีอิเล็กตรอนหลายอิเล็กตรอน ถ้าใช้พลังงานดึงอิเล็กตรอนตัวแรกที่อยู่นอกสุดหลุดออกจากอะตอมเรียกว่าพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 (IE_1) และเรียกพลังงานที่ใช้ดึงอิเล็กตรอนตัวที่ 2 ออกจากอะตอมนี้ว่า พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 2 (IE_2)

2.1.4 สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน

สัมพรรคภาพอิเล็กตรอนเขียนย่อเป็น (Electron Affinity ใช้ตัวย่อว่า EA) คือ ปริมาณพลังงานที่คายออกมา เมื่ออะตอมในสถานะก๊าซรับอิเล็กตรอนแล้วกลายเป็นไอออนลบ

จากงานวิจัยของเบาช์ ลี ได้ทำการสังเคราะห์ $RbBiNb_2O_7$ แต่เนื่องจากรูบิเดียมเป็นสารที่มีราคาแพง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไอออนบวก A' คือ แบเรียม (Ba) และโพแทสเซียม (K) และไอออนบวก A'' คือ บิสมัท (Bi) และแคลเซียม (Ca) เนื่องจาก Ba และ K เป็นธาตุหมู่เดียวกับ Rb ซึ่งมีรัศมีอะตอมที่เล็กกว่า แต่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี (Electronegativity, EN) มากกว่า และ เท่ากัน ตามลำดับ จึงคาดว่าจะสามารถเกิดเป็นสารประกอบได้ดีกว่า และเลือกใช้ไอออนบวก B เป็นแทนทาลัม (Ta)

และ ไนโอเบียม (Nb) เพราะ Ta และ Nb เป็นธาตุในหมู่เดียวกันตามตารางธาตุ มีประจุและมีรัศมีไอออนใกล้เคียงกันมาก

โดยการที่อะตอมหนึ่งจะเข้าไปแทนที่อีกอะตอมหนึ่งได้ดั่งนั้น ต้องมีลักษณะดังนี้

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมทั้งสองจะต่างกันไม่เกิน 15 %
2. โครงสร้างผลึกของธาตุทั้งสองจะต้องเหมือนกัน
3. ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี หรือสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ จะต้องต่างกันไม่มากนัก มิฉะนั้นจะเกิดสารประกอบไม่ได้
4. จะต้องมีความเวเลนซ์เท่ากัน

ตารางที่ 1.1 แสดงความแตกต่างของอะตอมที่ใช้ในการทดลอง

	A'			A''		B	
	รูบิเดียม (Rb)	โพแทสเซียม (K)	แบเรียม (Ba)	บิสมัท (Bi)	แคลเซียม (Ca)	ไนโอเบียม (Nb)	แทนทาลัม (Ta)
เลขเชิงอะตอม	19	37	56	83	20	41	73
รัศมีอะตอม	227	248	215	160	180	145	145
IE ₁	429	409	502.9	703	589.8	652.1	761
EN	0.82	0.82	0.89	2.02	1.00	1.6	1.5
ค่าเวเลนซ์	1A	1A	1A	5A	2A	3B	3B
โครงสร้างผลึก	ลูกบาศก์ กลางตัว (body-centered)	ลูกบาศก์ กลางตัว (body-centered)	ลูกบาศก์ กลางตัว (body-centered)	ромโบ อีทรอล (rhombohedral)	ลูกบาศก์ กลางตัว (body-centered)	ลูกบาศก์ กลางตัว (body-centered)	ลูกบาศก์ กลางตัว (body-centered)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เซรามิก

เซรามิก (ceramic) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า keramos มีความหมายว่า ความร้อน คำจำกัดความของคำว่าเซรามิกคือ วัสดุที่เกิดจากการรวมกันของสารอนินทรีย์ (inorganic) ที่อุณหภูมิสูง และสำหรับคำจำกัดความตาม ASTM คือ วัสดุที่เริ่มต้นจาก สารอนินทรีย์ มาประกอบกันเกิดปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิสูง เกิดการซินเทอร์ และทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนไปจากเดิม (ซินเทอร์ หมายถึง การที่อนุภาคของวัสดุเกิดการรวมชิดติดกันจนเกิดเป็นอนุภาคขนาดเปลี่ยนไปหรือเกิดเฟสใหม่ขึ้น) [4]

เมื่อพูดถึงคำว่าเซรามิก คนทั่วไปมักจะนึกถึงผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันของเรา เช่น ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารได้แก่ ถ้วยกาแฟ จานชาม เขียวอก พวกสุขภัณฑ์ อ่างล้างหน้าที่ใส่สบู่ แก้วน้ำ กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง กระเบื้องหลังคาเซรามิก โถง กระจก และของตกแต่งต่างๆ แต่ในความเป็นจริงแล้วจากนิยามของคำว่าเซรามิกเราจะพบว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นมีมากกว่าที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลายคนคงไม่นึกว่าสิ่งของที่เรำใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเช่น โทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ วิทยุ รถยนต์ อุปกรณ์ในเครื่องจักรต่างๆ อุปกรณ์ทางการแพทย์ กระดูกเทียม ฟันปลอมจะมีส่วนที่เป็น เซรามิก ประกอบอยู่ด้วยเกือบทั้งสิ้น เซรามิกแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.2.1 เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional ceramics) ได้แก่ ถ้วย จานชาม สุขภัณฑ์ ลูกถ้วยไฟฟ้า กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง กระเบื้องหลังคา วัสดุทนไฟ แผ่นรองเผาในเตา อิฐก่อสร้าง กระจกตันไม้ โถง กระจกและแก้ว ปูนซีเมนต์ ยิปซัม ปูนปลาสเตอร์ เป็นต้นซึ่งทำมาจากวัสดุหลักคือ ดินดำ ดินขาว ดินแดง หินฟืนม้า ทราช หินปูน หินผุ ควอตซ์ และแร่อื่นๆ

การแบ่งชนิดของเนื้อดินสำหรับเซรามิกแบบดั้งเดิม

2.2.1.1. พอร์ซเลน (Porcelain) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูง $>1250^{\circ}\text{C}$ มีความแข็งแรงสูงมาก มีการดูดซึมน้ำต่ำมาก(ใกล้เคียงศูนย์) ยกตัวอย่างเช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า กระเบื้องแกรนิต ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร(ราคาแพง) สุขภัณฑ์ มีคำเรียกอีกอย่างว่าวิเทรียสไชนา (Vitreous china)

2.2.1.2. สโตนแวร์ (Stone ware) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิเผาปานกลาง $\sim 1150-1200^{\circ}\text{C}$ มีความแข็งแรงต่ำกว่าพวกพอร์ซเลน มีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 3-5 % ตัวอย่างเช่น กระเบื้องปูพื้น ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร

2.2.1.3. โบนไชนา (Bone china) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเอ้ากระดูก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสง ความแข็งแรงปานกลาง การดูดซึมน้ำต่ำ

2.2.1.4. เอิร์ธเทน แวร์ (Earthen ware) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงมาก อยู่ในช่วง 900- 1100 °C มีความแข็งแรงต่ำ การดูดซึมน้ำสูง ~ 10-20% ตัวอย่างเช่น กระเบื้องปูผนัง กระเบื้องหลังคา ตุ๊กตาและของตกแต่ง กระถางเทอร์ราโคตตา

2.2.2 เซรามิกสมัยใหม่ (Fine ceramics/ new ceramics/ advanced ceramics)

คือเซรามิกที่ต้องใช้วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการมาแล้วเพื่อให้มีความบริสุทธิ์สูงได้รับการควบคุมองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาค (microstructure) อย่างแม่นยำ โดยเซรามิกสมัยใหม่อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง อิเล็กโทรเซรามิก เซรามิกสำหรับงานทางด้านทางการแพทย์

2.2.2.1 เซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง (Structural ceramics) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในงานที่ต้องการสมบัติทางกลที่ดีที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อนได้ดี ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี เป็นฉนวนความร้อน ตัวอย่างเซรามิกสำหรับงานโครงสร้าง เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide, SiC) สำหรับใช้ทำวัสดุสำหรับตัดแต่ง หัวพ่นไฟ (Burner) ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เช่น ปลอกนำวาล์ว (valve guide) และ ซีลที่ทนแรงดันสูง (Mechanical seal) ซิลิคอนไนไตรด์ (silicon nitride, Si₃N₄) สำหรับใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องยนตกลไก เช่น ลูกปืน (bearing ball) วาล์ว (valve) สลักลูกสูบ (piston pin) เบรคสำหรับรถยนต์ที่เป็นรถพิเศษหรือซูเปอร์คาร์ (Super car) และ ใบพัด ของเทอร์โบชาร์จเจอร์ (turbocharger rotor blade) และ อะลูมินัมไนไตรด์ (aluminum nitride, AlN) สำหรับใช้ทำแผ่นรองวงจรรสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น กรรไกรและมีดเซรามิกที่ทำด้วยเซอร์โคเนีย (ZrO₂) ซึ่งเป็นมีดเซรามิกที่มีความคมมาก และไม่ต้องลับเนื่องจากเซอร์โคเนียมีความแข็งสูงและไม่สึกกร่อนง่ายจึงไม่ทำให้มีดที่

เซรามิกสำหรับงานโครงสร้างอีกตัวอย่างหนึ่งคือผิวของยานกระสวยอวกาศ (space shuttle) ในตอนที่ยานเข้ามาจากอวกาศเข้าสู่บรรยากาศของโลกนั้นจะเกิดการเสียดสีกับบรรยากาศของโลกทำให้มีอุณหภูมิสูงมากซึ่งมากกว่า 2000 °C โครงสร้างลำตัวของยานภายในนั้นจริงๆ แล้วทำจากโลหะผสมซึ่งทนความร้อนได้ไม่เกิน 800 °C แต่ผิวของยานนั้นปูด้วยแผ่นกระเบื้องเซรามิกเล็กๆ ซึ่งทนความร้อนสูงจำนวนมาก ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำแผ่นเซรามิกดังกล่าว เช่น เส้นใยซิลิกาอะมอร์ฟัส ความบริสุทธิ์สูงมาก (very-high-purity amorphous silica fibers) และ แผ่นกระเบื้องเล็กๆ ที่ทำด้วยเซอร์โคเนียทำให้ทนอุณหภูมิสูงได้และอีกตัวอย่างหนึ่งที่อยู่ใกล้ตัวสำหรับผู้ที่ใช้รถยนต์คือ ท่อไอเสียรถยนต์จะมีเซรามิก ชนิดหนึ่งเรียกว่า แคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter) ใช้

ช่วยทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่เป็นพิษต่อมนุษย์ ให้เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ เช่น เปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นต้น

วัสดุที่ใช้ทำแคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์จะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉียบพลันได้เป็นอย่างดี ซึ่งหมายถึงจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้ก็คือคอร์เดียไรท์นั่นเอง โดยแคตาไลติกคอนเวอร์เตอร์นั้นจะใช้คอร์เดียไรท์มาขึ้นรูปโดยการ Extrude เป็นรังผึ้ง (Honey comb) เพื่อให้มีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดี

2.2.2.2 เซรามิกสำหรับงานทางด้านทางการแพทย์ พวกกระดูกเทียม ฟันปลอม ข้อต่อเทียม ตัวอย่างเช่นวัสดุที่เรียกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งทำมาจากกระดูกวัว กระดูกควายที่ผ่านการเผาแบบแคลไซน์ เพื่อไล่สารอินทรีย์ภายในและนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นกระดูกและนำไปเผาแบบซินเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

2.2.2.3 อิเล็กโทรเซรามิก (Electroceramics) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้สมบัติทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์แม่เหล็ก แสง เป็นหลัก อิเล็กโทรเซรามิกนั้นเป็นกลุ่มเซรามิกที่มีมากมายหลายชนิด และครอบคลุมสมบัติด้านต่าง ๆ หลายอย่างได้แก่ ไฟฟ้า แม่เหล็ก แสง และ ความร้อน เป็นต้น ตัวอย่างเช่นไดอิเล็กทริกเซรามิก (dielectric ceramics) เช่น แบเรียมไททาเนต (barium titanate, BaTiO₃) สำหรับใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก (piezoelectric ceramics) ซึ่งเป็นเซรามิกที่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานกล-พลังงานไฟฟ้ากลับไปมาได้ วัสดุนี้เมื่อให้แรงกลเข้าไปจะ สามารถเปลี่ยนแรงกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หรือในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ ตัวอย่างเช่น เลดเซอร์โคเนตไททาเนต (lead zirconate titanate, Pb(Zr,Ti)O₃) สำหรับใช้ทำทรานสดิวเซอร์ (transducer) ชุดโพลดเซลส์สำหรับเครื่องซึ่งขนาดใหญ่ ตัวจุดเตาแก๊ส (gas ignitor) หรือที่ใกล้ตัวเราก็คือการดับวันเกิดที่เมื่อเปิดแล้วมีเสียงเพลงดังขึ้นก็อาศัยหลักการของเพียโซอิเล็กทริกนั่นเอง นอกจากนี้อิเล็กโทรเซรามิกยังมีเซรามิกแม่เหล็ก (magnetic ceramics) เช่น เฟอร์ไรต์ (ferrite, Fe₃O₄) ซึ่งใช้เป็นวัสดุบันทึกข้อมูล เป็นต้น

อุปกรณ์ที่มีความเป็นอิเล็กโทรเซรามิกส์และใช้งานในอุณหภูมิที่สูงได้แก่

1 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell)

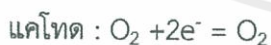
เซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์แข็ง (หรือ SOFC) เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าได้โดยตรงจาก น้ำมันเชื้อเพลิงออกไซด์ SOFC มีออกไซด์ของแข็งหรืออิเล็กโทรเซรามิก ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงนี้คือ ประสิทธิภาพสูง มีความคงทนสามารถใช้ได้นาน ความยืดหยุ่นเชื้อเพลิงของการปล่อยไอเสียต่ำ

และค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ ข้อเสียคืออุณหภูมิในการทำงานสูงซึ่งส่งผลให้การเริ่มต้นขึ้นในแต่ละครั้งของทางกลและทางเคมีเกิดปัญหา เซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์แข็งเป็นชั้นของเซลล์เชื้อเพลิงที่โดดเด่นด้วยการใช้วัสดุออกไซด์ของแข็งซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์ SOFCs ใช้อิเล็กโทรออกไซด์ในการดำเนินการของออกซิเจนไอออนเชิงลบจากแคโทด แอโนดออกซิเดชันไฟฟ้าของไอออนออกซิเจนกับไฮโดรเจนหรือคาร์บอนมอนอกไซด์ จึงเกิดขึ้นในด้านข้อบกพร่อง เมื่อไม่นานมานี้ การทำงานของโปรตอน SOFCs(PC-SOFC) มีการพัฒนาการลำเลียงโปรตอนแทนออกซิเจนไอออนผ่านอิเล็กโทรไลต์ด้วยความได้เปรียบทางความสามารถโดยทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า SOFCs แบบดั้งเดิม ในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 500 – 1000 องศาเซลเซียส ซึ่ง SOFCs ไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุตัวเร่งปฏิกิริยาแพตตินัมที่มีราคาแพงแต่สนใจใช้ตัวที่ทนอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น PEMFCs ซึ่งไม่เสี่ยงต่อความเป็นพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่อย่างไรก็ตามก็มีความเสี่ยงของกัมมะถัน จึงต้องควบคุมกัมมะถันก่อนเข้าเซลล์ดูดซับหรือด้วยวิธีอื่น เซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง มีความหลากหลายของการใช้งาน จากการใช้เป็นหน่วยพลังงานเสริมในยานพาหนะเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้ามีกำลังถึง 100 วัตต์ถึง 2 เมกะวัตต์ เมื่อในปี 2009 บริษัท ออสเตรเลีย เซลล์เชื้อเพลิงเซรามิกประสบความสำเร็จในการใช้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ SOFC ถึงทฤษฎีก่อนหน้านี้ 60% อุณหภูมิในการทำงานที่สูงขึ้นทำให้ SOFCs เหมาะสำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์การกักเก็บพลังงาน ความร้อนหรือเครื่องยนต์ ความร้อนและพลังงานรวมที่เพิ่มขึ้นต่อการประหยัมน้ำมันโดยรวม

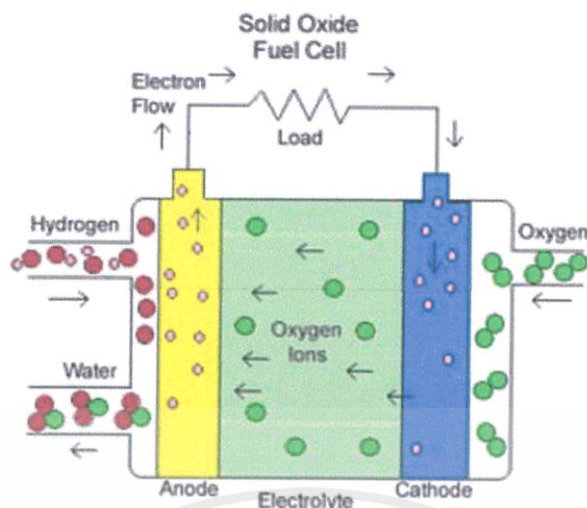
หลักการทางาน

ถูกใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังไฟฟ้ามาก ๆ ในระบบของออกไซด์ของแข็งส่วนมากแล้วจะใช้เซรามิกส์แทนอิเล็กโทรไลต์ชนิดเหลว อุณหภูมิการใช้งาน 1,000 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการทำงาน 60 %

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



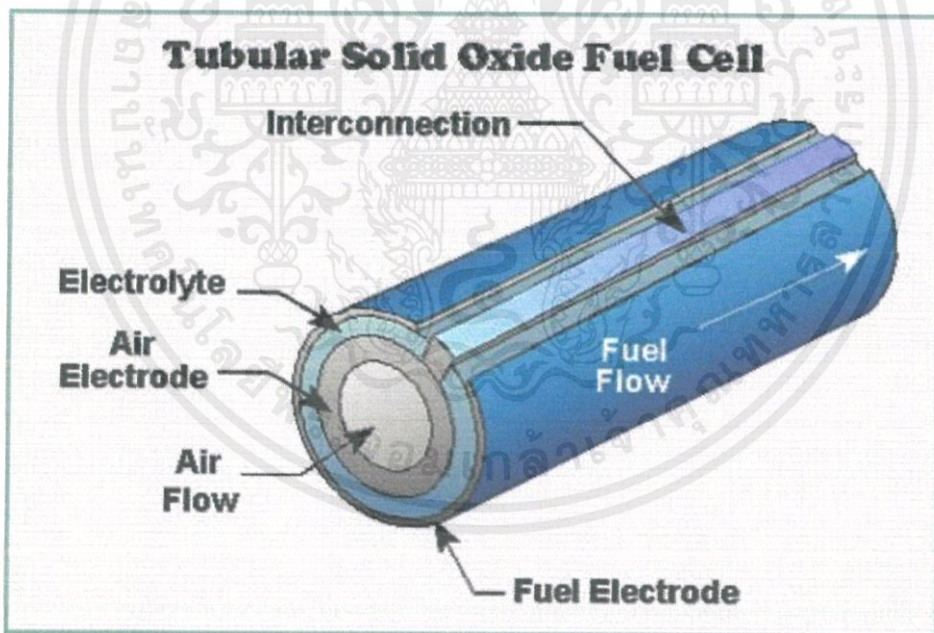
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง [4]

การประยุกต์ใช้งาน

ใน SOFC สามารถที่จะใช้ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น 10 %



รูปที่ 2.5 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง (SOFC) แบบของเวสต์ติ้งเฮาส์ (Westinghouse) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลแบบคอมมอนเรลควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

ระบบคอมมอนเรล คือระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลแบบหนึ่งซึ่งใช้ปั๊มความดันสูงดูดน้ำมันจากถังแล้วส่งน้ำมันความดันสูงไปยังท่อเรล น้ำมันจากท่อเรลจะถูกส่งไปยังหัวฉีดทุกตัว เมื่อถึงจังหวะระเบิดหัวฉีดจะถูกสั่งการให้ฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้ ซึ่งเดิมที่ระบบคอมมอนเรลใช้การสั่งการด้วยกลไก แต่ในปัจจุบันระบบคอมมอนเรลใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาสั่งการให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้

หัวฉีดในระบบคอมมอนเรลในปัจจุบันเป็นหัวฉีดไฟฟ้า น้ำมันดีเซลความดันสูงจะถูกส่งไปรอไว้ที่หัวฉีด เมื่อถึงจังหวะการฉีดหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอาจจะเรียกว่า ECU หรือ ECM จะป้อนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณการฉีดไปยังหัวฉีด หัวฉีดเมื่อได้รับสัญญาณการฉีดก็จะฉีดน้ำมันตามสัญญาณที่ได้รับทันที

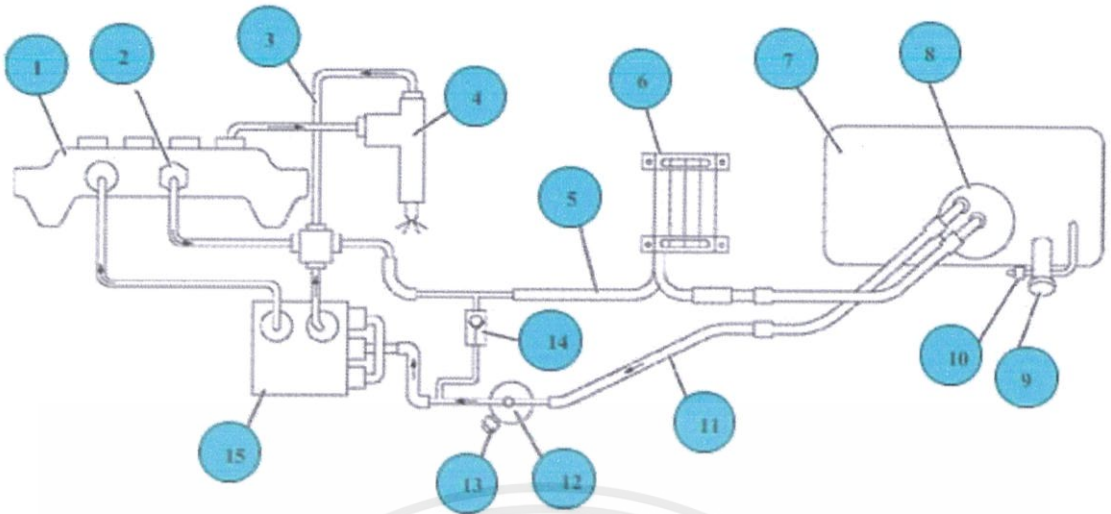
หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ถือว่าเป็นหัวใจหลักในการสั่งการให้ระบบเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำงานได้ต้องได้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ต่างๆ

แบ่งระบบออกเป็น 3 ระบบย่อยคือ

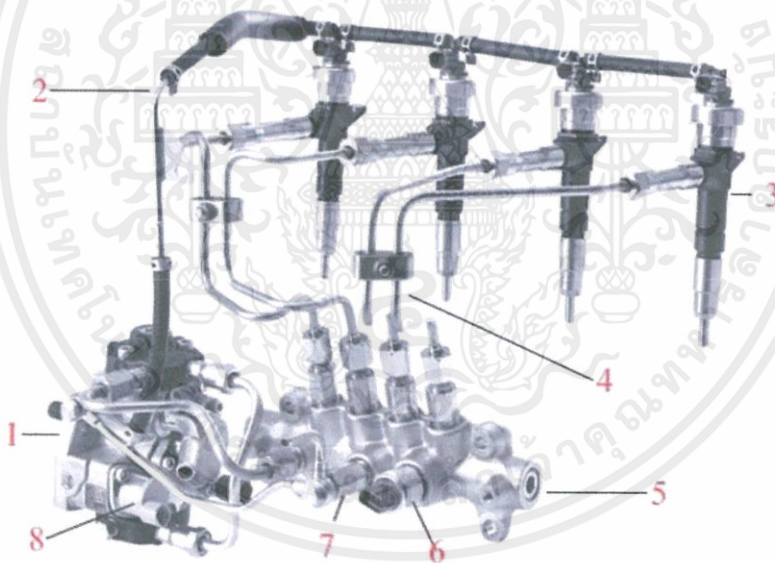
1. ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

ระบบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์บางยี่ห้อจะมีปั๊มไฟฟ้าทำหน้าที่ดูดน้ำมันจากถังส่งไปผ่านกรองน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกส่งไปยังปั๊มความดันสูง ในปั๊มความดันสูงนั้นจะมีโรเตอร์ปั๊มคอยทำหน้าที่ดูดน้ำมันจากถังเพื่อป้อนเข้าไปในปั๊มความดันสูง และจะมีวาล์วควบคุมการดูดน้ำมัน (SCV) คอยควบคุมปริมาณน้ำมันที่ป้อนเข้าไปในปั๊มความดันสูง ปั๊มความดันสูงจะส่งน้ำมันความดันสูงไปยังท่อเรลและหัวฉีด ที่ท่อเรลจะมีวาล์วจำกัดความดันทำหน้าที่ระบายน้ำมันให้กลับถังเมื่อความดันสูงเกินกว่าค่าความดันที่กำหนด

ในการควบคุมความดันน้ำมันในระบบคอมมอนเรลนี้ทำได้โดยการให้วาล์วควบคุมการดูดน้ำมัน หรือน้ำมันเมื่อระบบต้องการความดันน้อยและเปิดน้ำมันให้เข้าไปในลูกสูบปั๊มของปั๊มความดันสูงได้มากๆเมื่อระบบต้องการความดันสูง



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบเชื้อเพลิง 1) ท่อคอมมอลเรล 2) วาล์วจำกัดความดัน 3) ท่อไหลกลับ 4) หัวฉีด 5) ท่อไหลกลับ 6) ตัวระบายความร้อนน้ำมัน 7) ถังน้ำมัน 8) ป้อน้ำมัน 9) ฝาถังน้ำมัน 10) วาล์วกันกลับ 11) ท่อน้ำมัน 12) กรองน้ำมันและตัวดักน้ำมัน 13) สวิตช์เตือนไส้กรองอุดตัน 14) วาล์วระบายน้ำมันกลับถัง 15) ปั้มน้ำมันแรงสูง [6]



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบเชื้อเพลิงภายนอก 1) ปั้มน้ำมันสูง 2) ท่อไหลกลับ 3) หัวฉีด 4) แป๊ปหัวฉีด 5) ท่อคอมมอลเรล 6) เซนเซอร์ความดันน้ำมันท่อเรล 7) ตัวจำกัดความดัน 8) วาล์วควบคุมการดูดน้ำมัน [6]

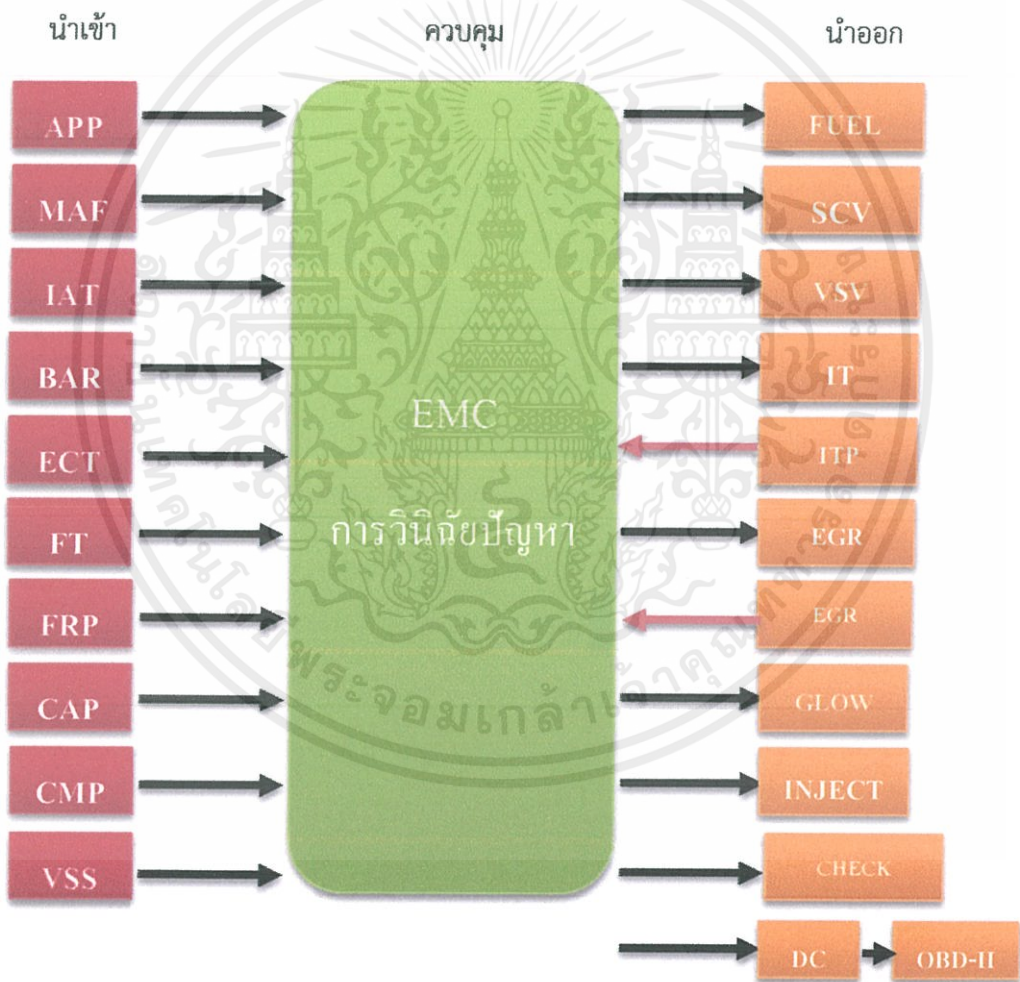
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบเหนี่ยวนำอากาศ

ในเครื่องยนต์ดีเซลยุคใหม่จะมีการติดตั้งเทอร์โบชาร์จเจอร์ในเครื่องยนต์ด้วยเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศ ซึ่งจะเป็นผลให้เครื่องยนต์ได้กำลังงานเพิ่มขึ้น เทอร์โบชาร์จเจอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไป มี 2 แบบคือ แบบธรรมดาและแบบแปรผัน ซึ่งแบบแปรผัน(แบบความดันคงที่)จะให้กำลังงานเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่ำได้ดีกว่าแบบธรรมดา

3. ระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม

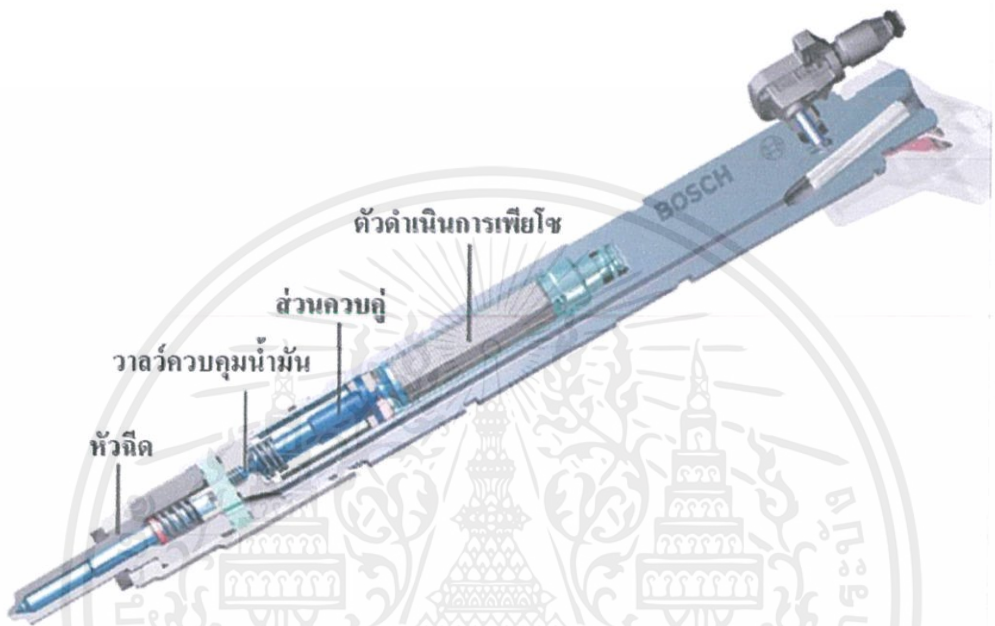
ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ส่วนคือ อุปกรณ์สัญญาณ ได้แก่ เซ็นเซอร์ต่างๆ(SENSORS) อุปกรณ์ควบคุม (ECU หรือ ECM) และอุปกรณ์การทำงาน (ACTUATORS) จากรูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบการควบคุม



รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบการควบคุม [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทำงานของ ECM ในการควบคุมจังหวะการฉีดและระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีดนั้น ECM จะใช้สัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งขาคนเร่งและสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาค้อเหวี่ยง ตัวตรวจจับความเร็วรอบเป็นหลักซึ่งอาจจะเรียกว่าระยะเวลาการฉีดพื้นฐาน หลังจากนั้นก็จะรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ต่างๆเพื่อปรับปรุงระยะเวลาการฉีดเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่พอเหมาะแก่การทำงานที่สภาวะต่างๆซึ่งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะอยู่ในหัวฉีดน้ำมัน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงภาพส่วนประกอบภายในหัวฉีดน้ำมัน [7]

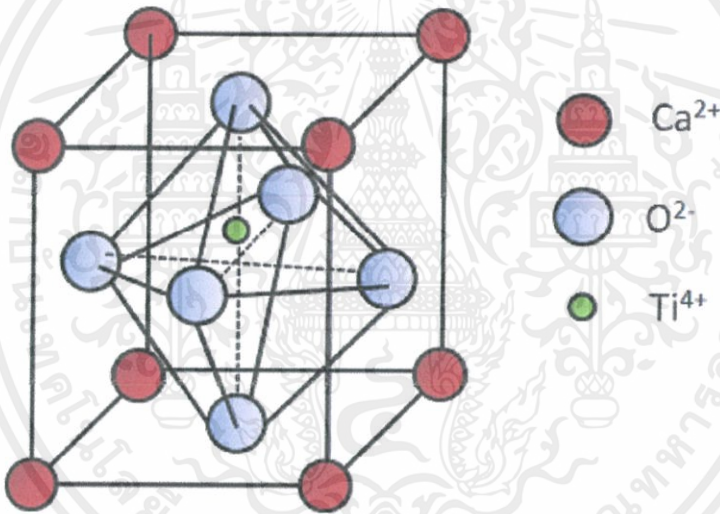
ซึ่งปกติแล้วตัวดำเนินการเพียโซจะใช้สารประกอบชนิด PZT ซึ่งสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิที่ 150 – 200 องศาเซลเซียส ถึงจะยังคงประสิทธิภาพที่ดีอยู่ได้

จากอุปกรณ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง (Solid Oxide fuel cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูง มีความคงทน ส่วนระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลแบบคอมมอนเรลควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์นั้น เป็นหัวฉีดน้ำมันที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการทำงาน โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองนี้เป็นอุปกรณ์ที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์เข้ามา ควบคุมการทำงาน โดยที่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่มีโครงสร้างที่เรียกว่าเพอรอฟสไกต์

2.3 โครงสร้างเพอรอฟสไกต์

โครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์เป็นชื่อที่เรียกกันตามชื่อของแร่แคลเซียมไททานเนต (CaTiO_3) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น ABO_3 เมื่อ A และ B เป็นไอออนบวก ซึ่งมีขนาดไอออนใหญ่และเล็กตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.10 โครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์นี้มีพื้นฐานมาจากหน่วยเซลล์ลูกบาศก์

แบบเพสเซนเตอร์ (Face center closed packing , FCC) โดย A^+ จะอยู่ที่มุมของหน่วยเซลล์ ออกซิเจนจะอยู่ที่หน้าของหน่วยเซลล์ และ B^+ จะแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างกลางทรงแปดหน้า (Octahedral site) สารประกอบที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์รวมไปถึงสารประกอบในกลุ่มไททาเนต (Titanate) หลายชนิดที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก อย่างเช่น แบเรียมไททาเนต ($BaTiO_3$) เซอร์โคเนียมไททาเนต ($SrTiO_3$) และเลดไททาเนต ($PbTiO_3$) สารประกอบกลุ่มเซอร์โคเนต (Zirconates) อย่างเช่น เลดเซอร์โคเนต ($PbZrO_3$) และแบเรียมเซอร์โคเนต ($BaZrO_3$) และสารประกอบในกลุ่มอื่นๆ เช่น แลนทานัมแกลเลต ($LaGaO_3$) แลนทานัมอะลูมินาต ($LaAlO_3$) และโพแทสเซียมไนโอเบต ($KNbO_3$) เป็นต้น นอกจากนี้โครงสร้างเพอรอฟสไกต์ยังจัดเป็นส่วนประกอบย่อยของโครงสร้างที่มีความซับซ้อนอีกด้วย เช่น สารตัวนำยวดยิ่ง (Superconductors) เป็นต้น [5]



รูปที่ 2.10 $CaTiO_3$ ที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์ [8]

2.3.1 การประยุกต์ใช้งานของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์

สมบัติและการใช้งานของเพอรอฟสไกต์ที่สำคัญสามารถสรุปได้จากตารางที่ 1 ในการใช้วัสดุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสมบัติจำพวกไดอิเล็กทริก เฟอร์โรอิเล็กทริกและไพโรอิเล็กทริก สมบัติเหล่านี้เกี่ยวข้องในการใช้งานทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า ตัวเก็บประจุ ตัวกระตุ้นหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่มแบบไดนามิก ทรานซิสเตอร์ และวงจรไฟฟ้าทั้งหมด วัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกทั้งแบบไพโร อิเล็กทริกและเพียโซอิเล็กทริกจะช่วยเพิ่มสมบัติให้แก่วสดุ สรุปได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สมบัติและการประยุกต์ใช้ของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์

วัสดุ	สมบัติ	การประยุกต์ใช้
BaTiO_3	ไดอิเล็กทริก	ตัวเก็บประจุ เซนเซอร์
$(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$	ไพโรอิเล็กทริก	ไพโรดีเทคเตอร์
PbTiO_3	ไพโรอิเล็กทริก เพียโซอิเล็กทริก	ไพโรดีเทคเตอร์ คลื่นเสียงที่ผิวหน้าจ่อ
$\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$	ไดอิเล็กทริก ไพโรอิเล็กทริก เพียโซอิเล็กทริก อีเล็กโทรออปติก	หน่วยความจำถาวร ไพโรดีเทคเตอร์ คลื่นเสียงที่ผิวหน้าจ่อ ท่อนำคลื่น
$(\text{Pb,Lu})(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$	ไพโรอิเล็กทริก อีเล็กโทรออปติก	ไพโรดีเทคเตอร์ ท่อนำคลื่น หน่วยความจำออปติคัล
LiNbO_3	เพียโซอิเล็กทริก	ไพโรดีเทคเตอร์ คลื่นเสียงที่ผิวหน้าจ่อ
$(\text{LiNbO}_3/\text{Ti})$	อีเล็กโทรออปติก	ท่อนำคลื่น การเกิดฮาร์โมนิกที่สอง อุปกรณ์แปลงสัญญาณ
$\text{K}(\text{Ta,Nb})\text{O}_3$	ไพโรอิเล็กทริก อีเล็กโทรออปติก	ไพโรดีเทคเตอร์ ท่อนำสัญญาณ คลื่นความถี่สูง
$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$	ไดอิเล็กทริก	หน่วยความจำ ตัวเก็บประจุ

2.4 ลักษณะของโครงสร้างเพอโรฟสไกต์ (Type of Perovskite structure)

โดยที่ทราบทั่วกันว่า สูตรทั่วไปของเพอโรฟสไกต์ คือ ABO_3 โดยที่ A และ B คือแคทไอออน แต่ในที่นี้จะพูดถึงโครงสร้างเพอโรฟสไกต์ ลักษณะต่างๆ[6]

2.4.1 เพอโรฟสไกต์แบบสี่เหลี่ยม (Cubic Perovskite)

จะมีลักษณะเป็นออกตะฮีดรอลโดยที่ตัวออกตะฮีดรอลนี้จะประกอบด้วย B ที่เป็น

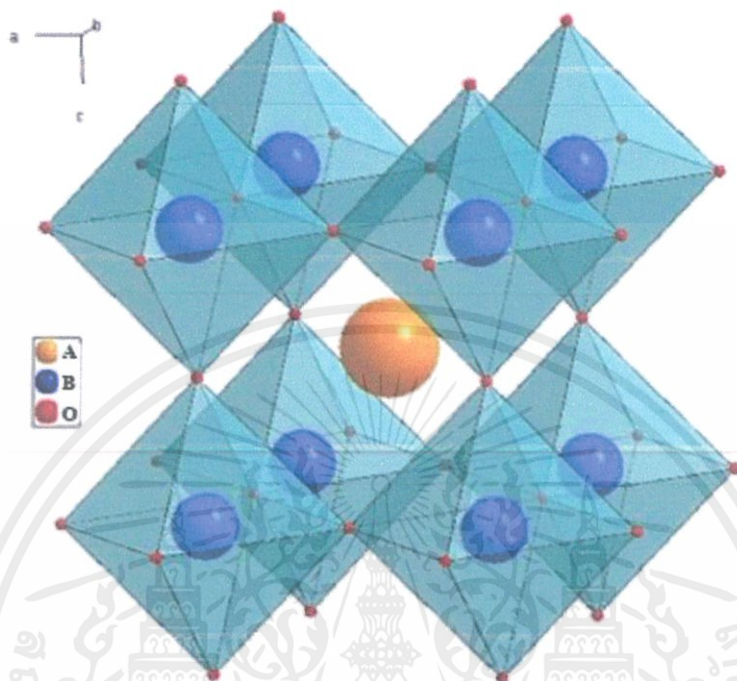
แคทไอออนอยู่ตรงกลางถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน(O) ทั้งหมด 6 ตัว เรียกว่า BO_6 ออกตะฮีดรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(BO_6 Octahedral)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในโครงสร้าง BO_6 ออกตะฮีดรอล จะมีการใช้มุมร่วมกันของออกซิเจน ซึ่งจะทำการเชื่อมโยงกันทั้งหมด 4 ตัว และ A ที่เป็นแคทไอออน จะเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างของโครงสร้าง จะได้เป็นโครงสร้างเพอโรฟสไกต์แบบสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 2.11

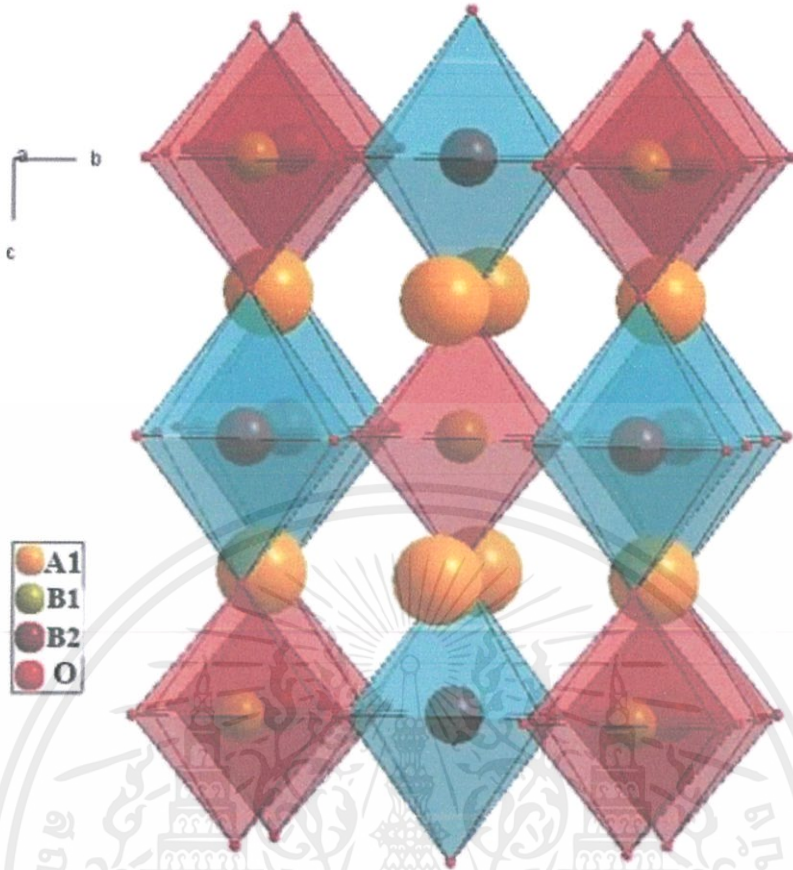


รูปที่ 2.11 แสดงถึงตัวอย่างของเพอโรฟสไกต์แบบสี่เหลี่ยมของสารประกอบ SrTiO_3 [9]

2.4.2 เพอโรฟสไกต์แบบคู่ (Double Perovskite)

เรียกว่า เพอโรฟสไกต์แบบคู่ เนื่องจากโครงสร้างประกอบไปด้วยหน่วยเซลล์ (Unit Cell) เป็น 2 เท่าของเพอโรฟสไกต์ ซึ่งภายในโครงสร้างประกอบด้วย ไซต์ที่มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 12 ที่ตำแหน่ง A และไซต์ที่มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 ที่ตำแหน่ง B แต่ทั้งสองตัวจะอยู่ที่ตำแหน่งของ BO_6 ออกตะฮีดรอลเหมือนกัน ดังรูปที่ 2.12 พบว่าอะตอม Fe และ Mo จะอยู่บนโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายๆ ตารางหมากรุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างเพอโรฟสไกต์แบบคู่ [9]

2.4.3 เพอโรฟสไกต์แบบชั้น(Layered Perovskite) : รัคเคิลเดนซ์ ป็อบเปอร์ (Ruddlesden Popper) อูริวิลเลียส(Aurivillius) และ ดิออน จาค็อบสัน(Dion-Jacobson)

เพอโรฟสไกต์แบบชั้นประกอบด้วย แผ่น 2 มิติที่เชื่อมต่อกันอย่างไม่มีที่สิ้นสุดของโครงสร้าง ABO_3 ซึ่งทำการแยกโดยโมทีฟ (Motif) สูตรโมเลกุลของเพอโรฟสไกต์แบบชั้นโดยพื้นฐาน คือ $A_{n-1}B_nO_{3n-1}$ ความแตกต่างทางด้านเอกลักษณ์ของเพอโรฟสไกต์แบบชั้นคือ

2.4.3.1 ตัวโมทีฟที่ทำการแยกชั้น

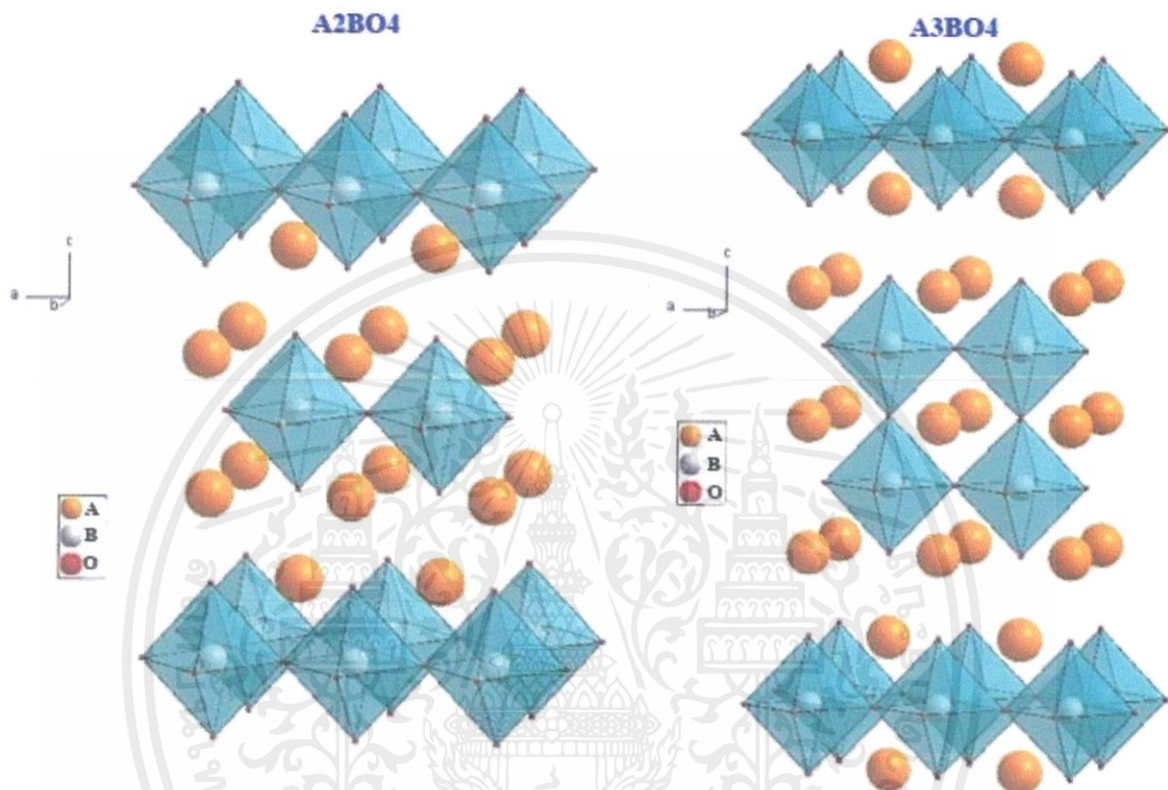
2.4.3.1 การเคลื่อนออกของชั้นจากชั้นอื่น

สูตรโครงสร้างนี้ n แสดงถึงจำนวนชั้นของแผ่น 2 มิติ $n = 1$ หมายถึงชั้นของ BO_6

ออกตะฮีดรอลที่มีจำนวน 1 ชั้น $n = 2$ หมายถึง ชั้นของ BO_6 ออกตะฮีดรอลที่มีจำนวน 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เป็นต้น ต่อไปเป็นตัวอย่างของ $n = 1$ และ $n = 2$ โดยเป็นของโครงสร้างรัคเคิลเดนซ์ ป็อบเปอร์ ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ Sr_2RuO_4 และ $Sr_3Ru_2O_7$ ดังภาพที่ 2.13 สำหรับโครงสร้างนี้ Sr คือ แคทไอออน A และ Ru คือแคท

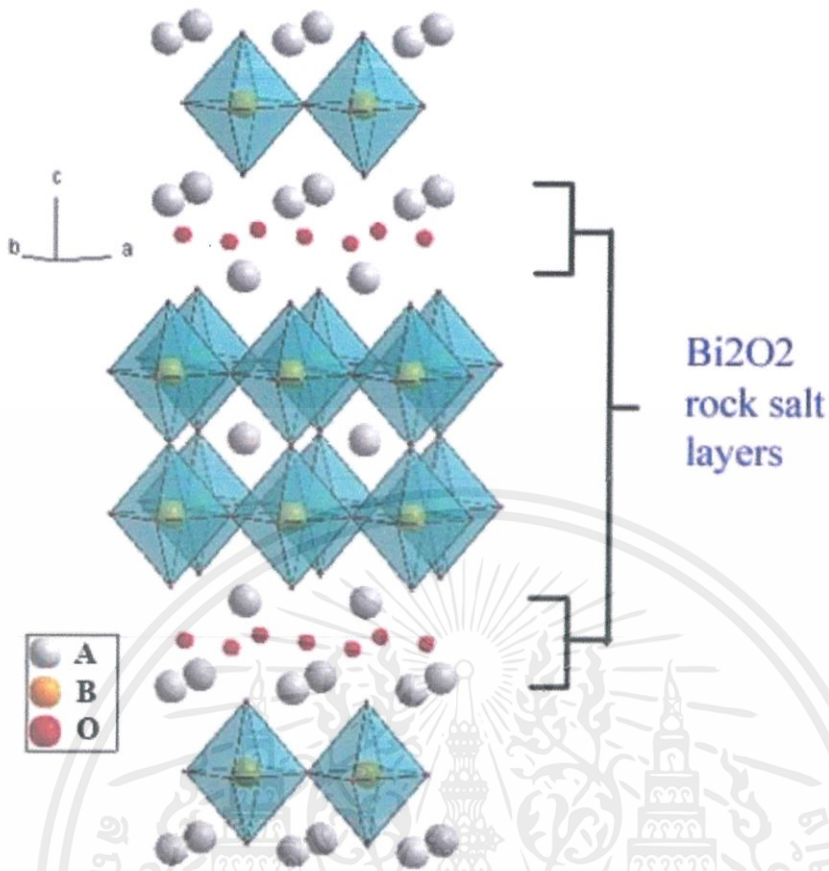
ไอออน B ในการแยกของโมทิฟ ชั้นของ Sr_2 และแผ่นของเพอโรฟสไกต์ถูกทดแทนด้วยการแทนที่ $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ และสูตรโมเลกุลของโครงสร้างรัดเดิลเดนซ์ ป็อบเปอร์คือ $A_2[A_{n-1}B_nO_{3n+1}]$ เพราะมีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างอื่น



รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง $n = 1$ ของสารประกอบ Sr_2RuO_4 (ภาพซ้าย) และ $n = 2$ $Sr_3Ru_2O_7$ (ภาพขวา) [9]

โครงสร้าง $n = 2$ ยกตัวอย่างจาก Bi_3TiNbO_9 ซึ่งเป็นสูตรโครงสร้างของอูริวิลเลียส สำหรับสูตรทั่วไปคือ $[Bi_2O_2]-[A_{n-1}B_2O_7]$ ในการแยกของโมทิฟสำหรับทุกโครงสร้างของอูริวิลเลียสคือ ชั้นโครงสร้างบิสมัทออกไซด์ (Rock-salt Bi_2O_2 layer) ตัวอย่างต่อไปนี้ Bi เป็นแคทไอออน A และมีการเลื่อนของแผ่น เพอโรฟสไกต์โดยการแทนที่ $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$

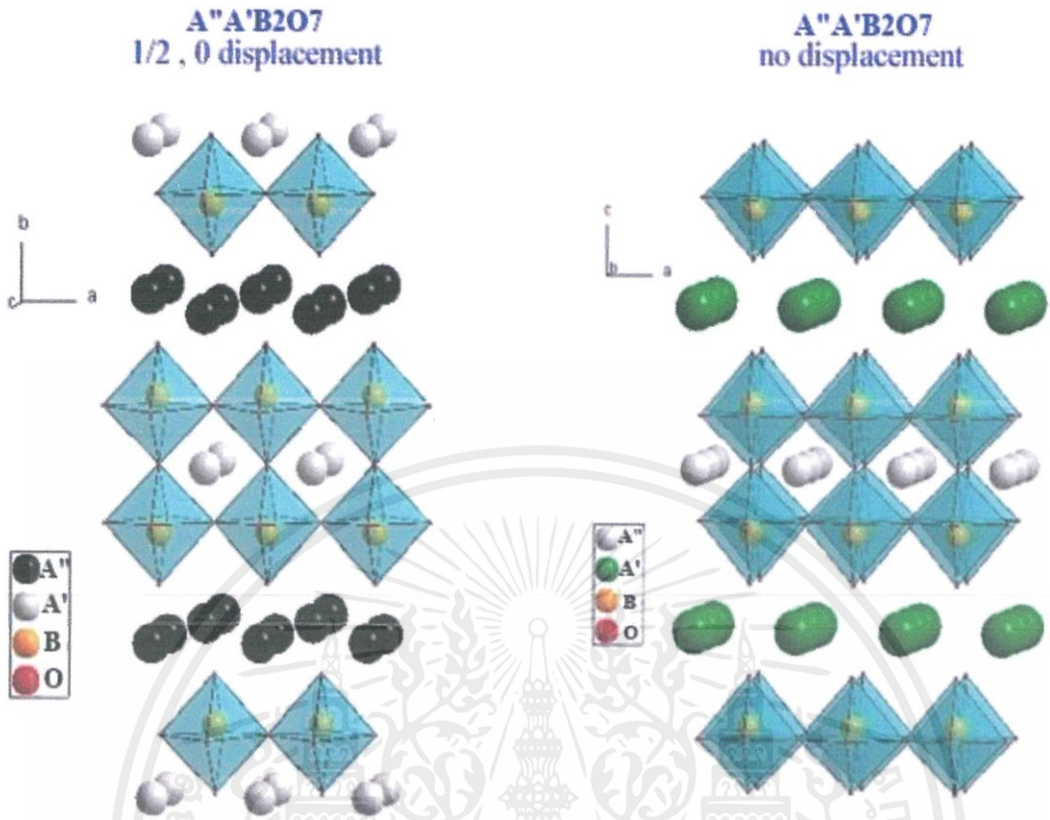
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างโครงสร้างแบบอูริวิลเลียสของสารประกอบ $[\text{Bi}_2\text{O}_2]-(\text{A}_{n-1}\text{B}_2\text{O}_7)$ [9]

โครงสร้างคืออน จาคือปลัน มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานคือ $M+1\text{A}_{n-1}\text{BnO}_{3n+1}$ จะแตกต่างจากโครงสร้างอื่นตรงที่มีชั้นของโลหะอัลคาไลน์ที่มีการแยกของโมติฟ ดังรูปที่ 2.15 จะเป็นรูปตัวอย่างของ KLaNb_2O_7 และ $\text{CsLaNb}_2\text{O}_7$ ซึ่งจะมีการเคลื่อนตัวของแผ่นเพอโรฟสไกต์ทั้งแบบ $(\frac{1}{2}, 0)$ หรือไม่มีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ภาพตัวอย่างของโครงสร้างดิออน จากคือปสันที่มีการเคลื่อนตัวของชั้นเพอโรฟสไกต์และ ไม่มีการเคลื่อนตัว [9]

2.5 โครงสร้างดิออน จากคือปสัน

2.5.1 ประวัติของโครงสร้างดิออน จากคือปสัน

โครงสร้างดิออน จากคือปสัน มีลักษณะโครงสร้างเป็นเพอโรฟสไกต์ มีสูตรโครงสร้างเป็น $A[A_{n-1}B_nO_{3n+1}]$ พบว่าภายในโครงสร้างจะประกอบด้วยแผ่นของเพอโรฟสไกต์แบบชั้นโดยที่ A เป็น หมู่อัลคาไลน์ที่สามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้ A' เป็นหมู่อัลคาไลน์ อัลคาไลน์เอิร์ธหรือหมู่โลหะที่ หายาก และ B คือธาตุทรานซิชัน โดยมีเชลล์ ดิออน และคณะ (Micheal Dion and et.al) [7,8] ได้ ทำการศึกษาสารประกอบในระบบ $KCa_2Nb_3O_{10}$ เมื่อทำการพิสูจน์เอกลักษณ์พบว่าโครงสร้างผลึก ของ $KCa_2Nb_3O_{10}$ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเทอร์โกบอล และมีโครงสร้างแบบดิออน จากคือปสัน ต่อมาในปี 1985 อัลแลนด์ จากคือปสันและคณะ (Allan Jacobson and et.al) [9] ได้ทำการสังเคราะห์ สารประกอบในระบบ $KCa_2Na_{n-3}Nb_nO_{3n+1}$ โดยทำปฏิกิริยาระหว่าง $KCa_2Nb_3O_{10}$ กับ $NaNbO_3$ ที่ อุณหภูมิสูง ซึ่งสารประกอบในระบบนี้จะเหมือนกับ $KCa_2Nb_3O_{10}$ แต่แตกต่างกันที่ความหนาของชั้น

เพอร์อฟสไกต์ในระบบ $\text{KCa}_2\text{Na}_{n-3}\text{Nb}_n\text{O}_{3n+1}$ ซึ่ง $\text{KCa}_2\text{Na}_{n-3}\text{Nb}_n\text{O}_{3n+1}$ จะสามารถแลกเปลี่ยนโพแทสเซียมไอออนได้ง่ายและรวดเร็ว โดยจุดสำคัญที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างโครงสร้างคืออนจา คือปสัน คือเลขโคออร์ดิเนชันของแคทไอออน A' เช่น เลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 จะเป็นสารประกอบ $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ หรือ เลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 8 จะเป็นสารประกอบ $\text{RbCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ เป็นต้น

2.5.2 ต้นกำเนิดของปรากฏการณ์เฟอร์โรอิเล็กทริก ในตระกูลของออกไซด์ที่มีขั้ว : โครงสร้างคืออนจา

ออกไซด์เชิงซ้อนเป็นส่วนสำคัญในเทคโนโลยีของวัสดุอินทรีย์ ซึ่งโครงสร้างเพอร์อฟสไกต์เป็นที่สนใจในการศึกษาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยเฟอร์โรอิเล็กทริก ความต้านทานแม่เหล็ก การเปลี่ยนโลหะเป็นฉนวน และการนำไฟฟ้าที่ยืดหยุ่น ถึงแม้ว่ารายละเอียดของสมบัติทางกายภาพจะค่อนข้างซับซ้อน แต่สามารถพิสูจน์ได้ในกฎของหัวแม่มือ ซึ่งเชื่อมโยงกับสมบัติที่น่าสนใจในโครงสร้างและองค์ประกอบของวัสดุ โดยความรู้นี้ได้ทำการพัฒนาอย่างเชี่ยวชาญโดยเทคนิคการสังเคราะห์ เช่น ฟิล์มบาง (Thin-film) และโทโปเคมีคอล (Topochemical) และศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ในสมบัติของเพอร์อฟสไกต์ โดยแท้จริงแล้วเพอร์อฟสไกต์นั้นเป็นสารออกไซด์เชิงซ้อนของวัสดุที่สามารถออกแบบได้

โครงสร้างเพอร์อฟสไกต์แบบชั้นมีโอกาที่จะเพิ่มการนำไปใช้ประโยชน์โดยเป็นออกไซด์เชิงซ้อนแบบชั้น คือ รัดเดิลเดนซ์ ป็อบเปอร์ (Ruddlesden-Popper) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $\text{A}_{n+1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ รูปแบบของเฟอร์โรอิเล็กทริกสามารถชี้แจงได้ในตระกูลรัดเดิลเดนซ์ ป็อบเปอร์ ซึ่งในแลตทิซบิดเบี้ยวไม่มีขั้ว (การหมุนของ BO_6 ออกตระฮีดรา) แต่จะทำให้โครงสร้างของสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น เรียกว่า ไฮบริดที่ไม่เหมาะสมของเฟอร์โรอิเล็กทริกซิติ (hybrid improper ferroelectricity)

นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างเพอร์อฟสไกต์แบบชั้นตระกูลอื่นอีกที่เพิ่มเข้ามาคือเฟสรัดเดิลเดนซ์ ป็อบเปอร์ และในธรรมชาติมักเกิดไฮบริดที่ไม่เหมาะสมของเฟอร์โรอิเล็กทริกซิติ (hybrid improper ferroelectricity) ท่ามกลางวัสดุอื่น เช่น วัสดุของโครงสร้างรัดเดิลเดนซ์ ป็อบเปอร์ โครงสร้างอูริวิลเลียส (Aurivillius) ซึ่งทั้งสองโครงสร้างที่มีการวางซ้อนกันของชั้นเพอร์อฟสไกต์เหมือนกัน โดยโครงสร้างอูริวิลเลียสมีสูตรโดยทั่วไปคือ $\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}$ ซึ่งจะถูกแทรกด้วยชั้น Bi_2O_2 ตามทิศทาง [001] โครงสร้างอูริวิลเลียสประกอบด้วยจำนวนของวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก ซึ่งมีการตรวจสอบว่ามีศักยภาพในหน่วยความจำที่ไม่มีการระเหย ตำแหน่ง B ของโครงสร้าง อูริวิลเลียสจะอยู่

ในโครงสร้างตามปกติถูกเรียกว่า การกระตุ้นเฟอร์ไรต์ที่ประจุบวก Ti^{4+} หรือ Nb^{5+} อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ วิทเทอร์และโคเวคเกอร์ [Ref] อธิบายได้ว่าต้นกำเนิดของเฟอร์ไรต์ในโครงสร้างอูริลเลียสจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง A ของโครงสร้างเพรอฟสไกต์ซึ่งลดลงโดยการรวมของการหมุนออกตรัสโตรอลและการบิดเบี้ยวของซี่ ซึ่งวัสดุเฟอร์ไรต์ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง เช่น แบเรียมไททานต จึงมีความเกี่ยวข้องกับทั้งซี่แข็งและซี่อ่อนและวิธีการหมุนของออกตรัสโตรอล

โครงสร้างและสมบัติของดิออน จากคือปสันนั้นยังไม่ได้ถูกตรวจสอบมากนัก โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นซี่ของดิออน จากคือปสัน ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างที่บิดเบี้ยวของออกตรัสโตรอล ซึ่งเมื่อ $n = 2$ ใน ดิออน จากคือปสัน จึงถูกพิสูจน์เอกลักษณ์แล้วมีผลการทดลองว่าไม่เกิดการบิดเบี้ยว โครงสร้างไม่มีซี่ (ประจุบวกสามารถทำลายสมมาตรที่ผกผันนำไปสู่โครงสร้างมีซี่) แต่อาจเกิดซี่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ซึ่งได้ถูกเสนอเป็นการไฮบริดแบบไม่เหมาะสมจึงนำมารวมกันเพื่อเพิ่มความเป็นซี่ในโครงสร้างของดิออน จากคือปสัน

2.5.3 ความเป็นผลึกของดิออน จากคือปสัน

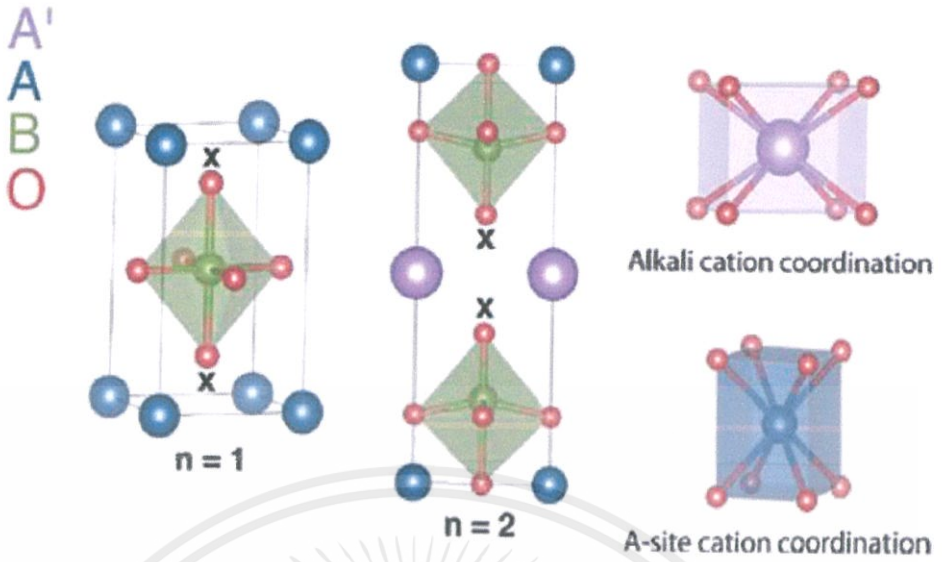
ขึ้นอยู่กับขนาดและการใช้ร่วมและการใช้แคทไอออนร่วมกันของ A'' A' ถ้า A หรือ A' เป็นแคทไอออนที่มีขนาดใหญ่ เช่น Cs^+ หรือ Rb^+ ชั้นโครงสร้างจะประกบเป็นแนวเดียวกันในรูปที่ 2.16 แต่ถ้าเป็นไอออนที่มีขนาดเล็ก เช่น K^+ โครงสร้างมีการเลื่อนไกลครึ่งหนึ่งของยูนิตเซลล์ เมื่อ $n=2$ ในโครงสร้างดิออน จากคือปสัน จะพิจารณาที่

$$A' = Cs \text{ และ } Rb$$

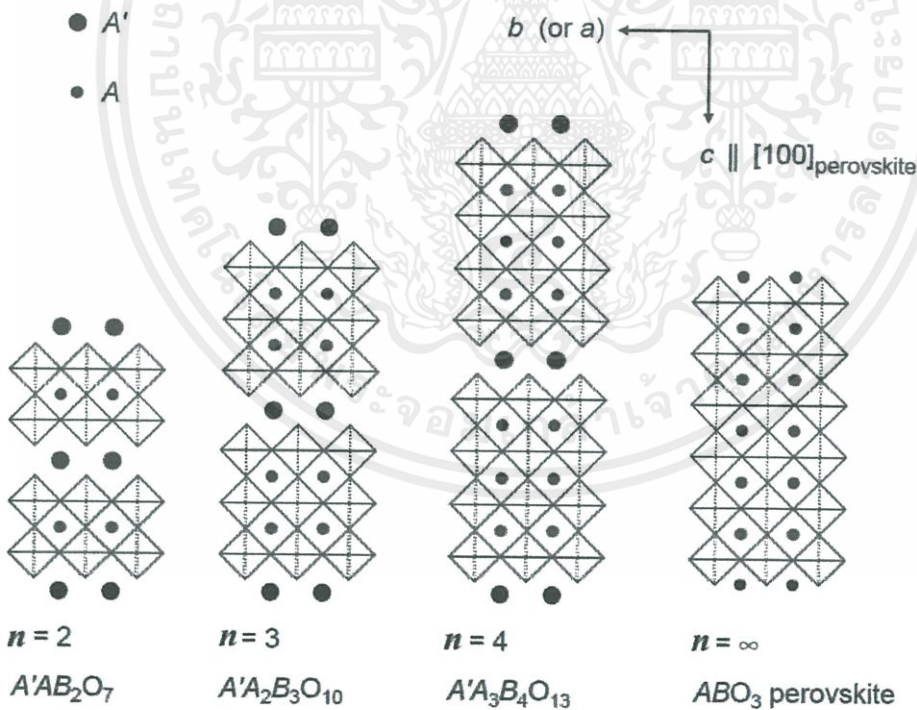
$$A = Y \text{ Bi } La \text{ และ } Nd$$

$$B = Nb$$

วัสดุที่มีองค์ประกอบเป็น $A'YNb_2O_7$ ไม่ได้ถูกสังเคราะห์ในโครงสร้างดิออน จากคือปสัน แต่ถูกศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของ $n = 1$ และ $n = 2$ ของเพรสติออน จากคอปสันใน $P4 / mmm$ โครงสร้างแต่ละชนิดกับรูปทรงหลายเหลี่ยมประสานกับอะตอมต่างๆที่เน้นการประสานของแต่ละรูปทรงหลายเหลี่ยมในด้านขวาสุดหมายถึง $n = 2$ ของเพรสติออน จากคอปสันของโครงสร้างที่เป็นแอนไอออนแกนอ้างอิงในข้อความจะแสดงกับ $x [10]$



รูปที่ 2.17 โครงสร้างในอุดมคติของคิออน จากคอปสัน เมื่อ $k = 2, 3, 4$ พบว่าจำนวนชั้นของเอกสาร BO_6 ออกตะสัตรีอลเพิ่มขึ้นตามจำนวน k แต่ถ้า k เป็นอนันต์จะเป็นโครงสร้างเพอร์อฟสไกต์ $[11]$ ชั้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างบิดเบี้ยว

โครงสร้างและโครงสร้างที่บิดเบี้ยวถูกวิเคราะห์โดยใช้การเข้าใกล้ความเป็นสมมาตร เกี่ยวข้องกับการอ้างอิงสมมาตรที่สูงหรือโครงสร้างใหญ่ด้วยรูปแบบการแทนที่ของอะตอมที่มีสมบัติบางอย่างที่สมมาตร

$\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$, $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{CsNdNb}_2\text{O}_7$ ถูกทดลองที่อุณหภูมิห้องแต่ไม่มีผลึกทางเคมีที่อธิบายเกี่ยวกับเฟอร์โรอิเล็กทริกในไดออน จากคือปสัน

ในอิเล็กตรอนคู่โคตเดี่ยวที่ถูกใช้งานของบิสมัทนั้น ถูกทำให้มีความเป็นขั้วมากขึ้น แสดงในตารางที่ 1.3 ซึ่งไม่ต้องการแคทไอออน [10]

ตารางที่ 1.3 แสดงถึงค่าคงที่ของแรงของวัสดุไดออน จากคือปสันใน $P4/mmm$ ความแตกต่างของพลังงานระหว่าง $P4/mmm$ การบิดเบี้ยวของโครงสร้างและผลรวมของความเป็นขั้ว

วัสดุ	ค่าคงที่แรง[eV]			พลังงานรวม (meV/f.u.)				ความเป็นขั้ว
	Γ_5	M_2^+	M_5^-	Pmam	P4/mbm	C2mm ^b	P2 ₁ am	
RbYNb_2O_7	-3.765	-1.821	-4.303	-529	-444	-173	-1063	40
$\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$	-0.866	-0.517	-2.347	-191	-69	-7	-349	30
$\text{RbLaNb}_2\text{O}_7$	0.285	-0.157	-1.272	-91	-6		-119	20
$\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$	-7.9	-2.08	-6.862	-353	-406	-543	-814	48
CsYNb_2O_7	-3.847	-1.709	-4.276	-508	-388	-180	-1017	40
$\text{CsNdNb}_2\text{O}_7$	-1.003	-0.407	-2.368	-179	-39	-9	-320	29
$\text{CsLaNb}_2\text{O}_7$	0.595	-0.031	-1.258	-83	<-1		-102	18
$\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$	-	-1.941	-6.686	-338	-353	-553	-783	48

ส่วนที่หลุดออก (Shedden) และการทำงานร่วม (co-worker) ไม่ได้บันทึกในกฎการแทนที่ของตำแหน่ง A และ การบิดเบี้ยวของออกทระฮีดรอลของการไล่ชั้นออกในไดออน จากคือปสัน ซึ่งทำการพิจารณา $\text{CsLaNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$ ไม่ได้เกิดการบิดเบี้ยวของโครงสร้าง ถึงแม้ว่าค่า

ที่บ่งบอกความเสถียรของเพอโรฟสไกต์ (Tolerance factor) จะถูกเสนอ ซึ่งสารทั้งสองตัวนี้ไม่ได้ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

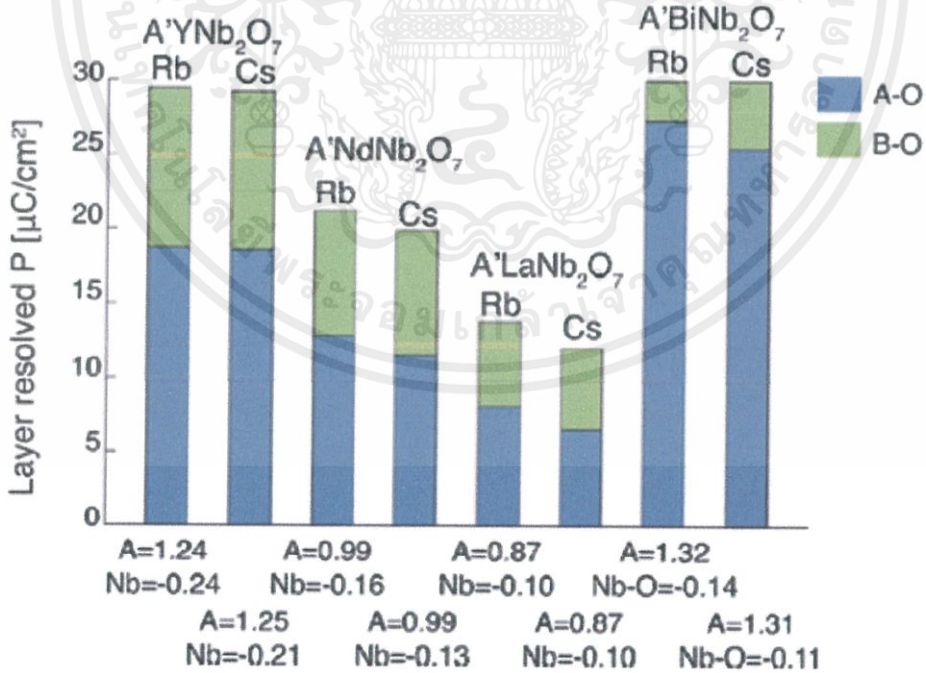
บันทึกไว้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$ มี $a \approx 3.8 \text{ \AA}$, $c \approx 10.9 \text{ \AA}$

2.5.3.2 จำนวนชั้นในการเกิดโพลาริเซชันของโครงสร้างคือน จากคือปลัน

โครงสร้างเพอโรฟสไกต์ก่อให้เกิดการแทนที่ของแอนติเฟอร์โรอิเล็กทริกที่ไอออนบวกของชั้น A-O ซึ่งมีการโพลาริเซชันด้วยตาเปล่าในโครงสร้างเพอโรฟสไกต์ Pbnm มีจำนวนมากที่ยังคงเป็น ศูนย์ เพราะตำแหน่ง A ซึ่งเกี่ยวข้องกันโดยสมมาตรการผกผันผ่านตำแหน่ง B นำไปสู่การนำชั้น โพลาริเซชันออกไป เมื่อโครงสร้างเพอโรฟสไกต์ Pbnm เป็นชั้นที่สร้างตำแหน่งที่เป็นระเบียบ ของโครงสร้างเพอโรฟสไกต์ (กับชั้นของประจุบวกที่มีความเป็นระเบียบ) หรือชั้นตอนรัดเดิลเดนซ์ ป็อปปเปอร์ แล้วตำแหน่งที่เกี่ยวข้องอีกต่อไปโดยใช้สมมาตรการผกผัน โพลาริเซชันของชั้น A-O จะไม่ ถูกยกเลิกโดยตรงและการโพลาริเซชันด้วยตาเปล่าสามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก เหล่านี้จะปรากฏออกมาจากแอนติเฟอร์โรอิเล็กทริก

การมีส่วนร่วมของชั้น A-O และ Nb-O ในการเกิดโพลาริเซชันทั้งหมดสำหรับวัสดุเพื่อ ทำการทดสอบในแต่ละชุดการทดสอบโดยครั้งแรกจะมีการทดสอบ โครงสร้างพันธะ สภาพแวดล้อม การแยกชั้น และโพลาริเซชันด้วยตาเปล่าทั้งหมดที่เกือบจะเหมือนกันทั้งหมดสำหรับทั้ง Cs และ Rb ที่มีโครงสร้างคือน จากคือปลัน ซึ่งบทบาทของอัลคาไล แคทไอออน คือการลดแรงผลักของไฟฟ้าสถิต ระหว่างแอนไอออนตามแนวแกน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 2.18 แสดงการแยกชั้น A-O และ Nb-O โพลาริเซชันสำหรับการศึกษาของแต่ละวัสดุในเฟส P21am สำหรับ RbYb₂O₇ ตัวอย่างเช่น ชั้น A-O จะเหนี่ยวนำการเกิดโพลาริเซชันประมาณ 19

$\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ในทางตรงกันข้ามแต่ละ ชั้น Nb-O จะเหนี่ยวนำการเกิดโพลาริเซชันประมาณ $11 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ซึ่งข้อมูลจะคล้ายกับแกน x ซึ่งเป็นปัจจัยที่แตกต่างกันสำหรับแคทไอออนที่ตำแหน่ง A และไอออนของ Nb ในหน่วยวาเลนซ์ (v.u.) จะคำนวณสำหรับแต่ละวัสดุในโครงสร้างอ้างอิง P4/mmm [11]

จากการคำนวณการหมุนของออกตรอะตอม พร้อมกับการแทนที่ของแคทไอออนที่ตำแหน่ง A ซึ่งประกอบด้วย $n=2$ การแทนที่ของตำแหน่ง A ในชั้นของ A-O อย่างไรก็ตามความแตกต่างของเพอร์อฟสไกต์ และรุตติลเดนซ์ บิออปเปอร์ นั้นได้ถูกศึกษาไปก่อนหน้านี้แล้ว โดยที่ผลรวมค่าความเป็นขั้วมาจาก ชั้น B-O ใน คีออน จากคือปสัน (Bi เป็นขั้วยกเว้น) เพราะความเป็นขั้วของชั้น B-O น้อยกว่าชั้นของ A-O ซึ่ง B-O และ A-O มียูนิทเซลล์ที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างในโครงสร้างและโครงสร้างทางเคมีระหว่าง $n=2$ ของในรุตติลเดนซ์ บิออปเปอร์ และในคีออน จากคือปสัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดขั้วในโครงสร้างของวัสดุซึ่งสามารถเข้าใจได้ในไฮบริด ที่ไม่เหมาะสมของเพอโรอิเล็กทริกซิติ โดยความหลากหลายของโครงสร้างนั้นเป็นส่วนหนึ่งของชั้นเพอร์อฟสไกต์ ซึ่งดูจากกลไกของไตรลิเนียร์ โดยความสมมาตรที่ได้ศึกษานั้นอยู่ในเฟสของโครงสร้างอูริวิลเลียส ซึ่งมีความซับซ้อนและหวังว่าการทดลอง $\text{CsLaNb}_2\text{O}_7$, $\text{RbLaNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$ จะเป็นโครงสร้างที่มีขั้วโดยต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง การตรวจสอบมีความเป็นไปได้โดยการออกแบบและค้นพบการทำงานของชั้นเพอร์อฟสไกต์อย่างเดียว

2.5.4 การสังเคราะห์ในโครงสร้างคีออน จากคือปสัน

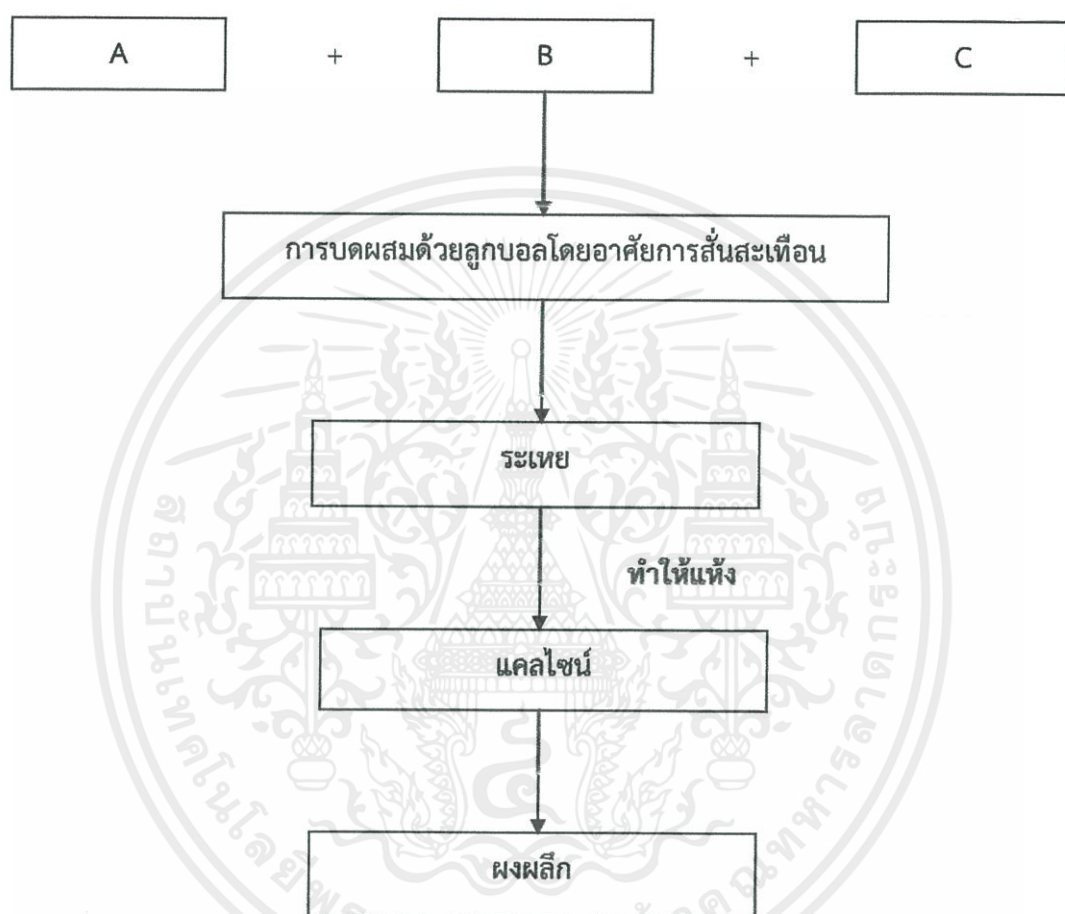
ในการสังเคราะห์โครงสร้างคีออน จากคือปสัน สามารถทำได้ด้วยวิธีปฏิบัติทางสถานะของแข็งโดยเป็นวิธีที่สะดวกในการสังเคราะห์ ง่าย และราคาถูก แต่สิ้นเปลืองพลังงาน

2.5.4.1 ปฏิบัติทางสถานะของแข็ง (Solid state reaction)

การเตรียมผงจากปฏิบัติทางสถานะของแข็ง เป็นวิธีที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารตั้งต้นที่มีสถานะเป็นของแข็งนำมาผสมกันโดยมีแอลกอฮอล์เป็นตัวกลางในการผสม เป็นวิธีที่นิยมในการเตรียมผงของเซรามิก แต่มีข้อเสียคือผลผลิตที่ได้มักมีความบริสุทธิ์ต่ำ ได้สารเนื้อหยาบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของอนุภาคได้ ผงที่สังเคราะห์ได้มักจะถูกเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) และอาจมีสารประกอบรูปร่างอื่น ๆ เจือปนกับสารตั้งต้นหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบด เช่น อะลูมินา เป็นต้น สิ่งเจือปนอาจทำให้สมบัติของสารที่เตรียมได้เปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะสมบัติทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดวิธีปฏิบัติวิธียาสถานะของแข็งระหว่างอนุภาคผงของตัวปฏิบัติวิธียา เช่น ธรรมชาติทางเคมีของตัวทำปฏิบัติวิธียา ขนาดของอนุภาค ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค ความเป็นเนื้อเดียวกัน สภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิบัติวิธียา ซึ่งปฏิบัติวิธียา เป็นประเด็นสำคัญที่มีผลต่อระยะทางในการแพร่และจำนวนผิวที่อนุภาคสัมผัสกัน



รูปที่ 2.19 แผนผังแสดงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิบัติวิธียาสถานะของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และ ระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

2.6.1 ระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

(WEEE)

WEEE ย่อมาจากคำว่า “ Waste Electrical Electronic Equipment ” หรือ เศษซากเหลือใช้จากอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถือเป็นเรื่องที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างมาก และมีหลายหน่วยงานที่กำลังมีการปรับตัวกับเรื่อง WEEE ในขณะนี้ ทั้งที่เป็นประเด็นปัญหาและเป็นโอกาสของธุรกิจในประเทศไทย ซึ่ง WEEE ถือเป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ประกาศ ดังนั้นหากมีการเคลื่อนย้ายจึงต้องมีการขออนุญาตก่อน [11]

ปัจจุบัน WEEE ในหลายประเทศ เรียกเป็นอีกชื่อหนึ่งว่า e-waste (electronic waste) คือ เป็นขยะที่เกิดจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อำนวยความสะดวกต่างๆ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีทั้งการผลิตและจำหน่าย มีการใช้อุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า เป็นต้น เมื่อใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้ว สภาพการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้เริ่มหมดอายุลง ทำให้เกิดเป็นซากของเครื่องเก่าที่ใช้งานได้และต้องนำไปทิ้ง ซึ่งที่เห็นเด่นชัดที่สุดก็คือ แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉายที่มีขนาดเล็ก ชนิด AA หรือ AAA ที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งเมื่อกำลังไฟหมดแล้ว ก็นำไปทิ้งลงถังขยะทั่วไป โดยไม่ได้คำนึงถึงผลร้ายที่ตามมาว่าเศษซากอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กนี้จะมีส่วนผสมของสารที่เป็นพิษ ซึ่งเป็นโลหะหนัก เช่น ตะกั่วปรอท ที่จะไหลลงสู่ระบบนิเวศน์และเวียนกลับมาสู่คนที่อาจบริโภคหรือสูดดมอากาศที่ไม่บริสุทธิ์ ทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพ อีกตัวอย่างหนึ่งก็คือ หลอดไฟฟลูออโรไลต์ เมื่อหลอดขาด จะทำการเปลี่ยนหลอดไฟใหม่ และทิ้งหลอดไฟเก่าลงไปในถังขยะทั่วไป ซึ่งก็จะเกิดผลไม่ดี ซึ่งขณะนี้ในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายควบคุมหรือบังคับไม่ให้ทิ้งอุปกรณ์ปนกับขยะทั่วไป แต่ต่างประเทศที่จัดอุปกรณ์ประเภทนี้ซึ่งเป็นหนึ่งในขยะมีพิษถือเป็นขยะอันตรายชนิดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์(RoHS)



รูปที่ 2.20 แสดงภาพสัญลักษณ์ระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS) ที่อาจพบเห็นบนกล่องผลิตภัณฑ์ [12]

เมื่อเลือกดูสินค้าอิเล็กทรอนิกส์หรือในแผ่นข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆจะพบสัญลักษณ์วงกลม ที่มีตัวอักษร “Pb” แล้วคาดด้วยเส้นเฉียง หรือมีเขียนคำว่า “RoHS Compliant” “Lead-Free” “Green” นั้นหมายความว่าอุปกรณ์เหล่านั้น ผ่านตามข้อกำหนดที่เรียกว่า “RoHS”

RoHS ย่อมาจาก “Restriction of Hazardous Substances” เป็น ข้อกำหนด ที่ 2002/95/EC ของสหภาพยุโรป (EU) ว่าด้วยเรื่องของการใช้สารที่เป็นอันตรายในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งหมายความรวมถึงเครื่องใช้ทุกชนิด ที่ต้องอาศัยไฟฟ้าในการทำงาน เช่น โทรทัศน์ เตาอบไมโครเวฟ วิทยุ เป็นต้น ซึ่งชิ้นส่วนทุกอย่างที่ประกอบเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ตั้งแต่แผงวงจร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไปจนถึงสายไฟ จะต้องผ่านตามข้อกำหนดดังกล่าว โดยสารที่จำกัดปริมาณในปัจจุบัน กำหนดไว้ 6 ชนิด ดังนี้

1. ตะกั่ว (Pb) ไม่เกิน 0.1% โดยน้ำหนัก
- 2.ปรอท (Hg) ไม่เกิน 0.1% โดยน้ำหนัก
3. แคดเมียม (Cd) ไม่เกิน 0.01% โดยน้ำหนัก
4. เฮกซะวาเลนต์ (Cr-VI) ไม่เกิน 0.1% โดยน้ำหนัก
5. โพลีโบรมิเนต ไบเฟนิลส์ (PBB) ไม่เกิน 0.1% โดยน้ำหนัก
6. โพลีโบรมิเนต ไดเฟนิล อีเธอร์ (PBDE) ไม่เกิน 0.1% โดยน้ำหนัก

แต่ก็มีข้อยกเว้นสำหรับอุปกรณ์บางอย่าง ที่ยังไม่สามารถใช้สารอื่นมาทดแทนได้ หรือสารที่ใช้ทดแทนมีอันตรายมากกว่า เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีสารปรอทเป็นส่วนประกอบ ตะกั่วในโลหะอัลลอยด์เครื่องมือทางการแพทย์และการทหาร RoHS เป็นข้อกำหนดที่บังคับใช้กับ

เครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ซื้อขายในสหภาพยุโรป ซึ่งเริ่มมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี2006 ในประเทศอื่นๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น จีน เกาหลี ก็เริ่มที่จะกำหนดข้อบังคับในลักษณะนี้เช่นกัน

สำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นผู้ออกแบบวงจรสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่ปราศจากตะกั่วหรือ RoHS ได้ โดยผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกยี่ห้อ มักจะผลิตอุปกรณ์รุ่นที่ปราศจากตะกั่วออกมาทดแทนอุปกรณ์รุ่นเก่า โดยอาจจะเพิ่มตัวอักษรเช่น 'G' เข้าไปใน Part Number แต่ยังคงมีฟังก์ชันการทำงานเหมือนกัน สามารถใช้แทนกันได้ สิ่งที่แตกต่างกันจากเดิมก็คือ อุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถทนความร้อนสูงที่ใช้ในกระบวนการประกอบแผงวงจรได้เนื่องจากสารที่ใช้เชื่อม (ตะกั่ว) ที่เป็นแบบปราศจากตะกั่วนี้จะมีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้นกว่าแบบที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ

2.7 กระบวนการเตรียมผงเพียโซอิเล็กทริกด้วยวิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction)

ในการเตรียมเซรามิกนั้น จะนิยมใช้วิธีการเตรียมที่ใช้ผง (powder) เป็นวัตถุดิบ วิธีเตรียมผงเซรามิกมีวิธีการเตรียมอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การตกตะกอนร่วมกัน (Co-precipitation) ไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) โซลเจล (Sol-Gel) เป็นต้น ในการทดลองนี้จะพิจารณาการเตรียมโดยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction หรือ mixed oxide) เนื่องจากเป็นวิธีการเตรียมที่ไม่ซับซ้อนและสามารถเตรียมได้ในปริมาณที่มาก แต่มีข้อจำกัดคือ ผงเซรามิกที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างต่ำ

ในการเตรียมด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการเตรียมการบดผสมด้วยลูกบอล (Ball milling) และการเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง

2.7.1 กระบวนการบดผสมด้วยลูกบอลโดยอาศัยการสั่นสะเทือน (Vibration mill)

กระบวนการบดผสมด้วยลูกบอล (Ball-milling) เป็นการบดผสมโดยใช้แรงกลในการบดผสม และในระหว่างการบดผสมจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงทางเคมี แต่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ กระบวนการนี้ได้รับความนิยมมากในการนำมาใช้เพื่อลดขนาดอนุภาคผงเซรามิก และทำลายอนุภาคผงที่มีรูพรุนหรือทำลายสิ่งแปลกปลอมที่ฝังอยู่ด้านในให้แตกออก สามารถนำมาใช้ในการผสมอนุภาคผงต่างชนิดกันให้เป็นเนื้อเดียวกันไปพร้อมๆกับการลดขนาดของอนุภาค

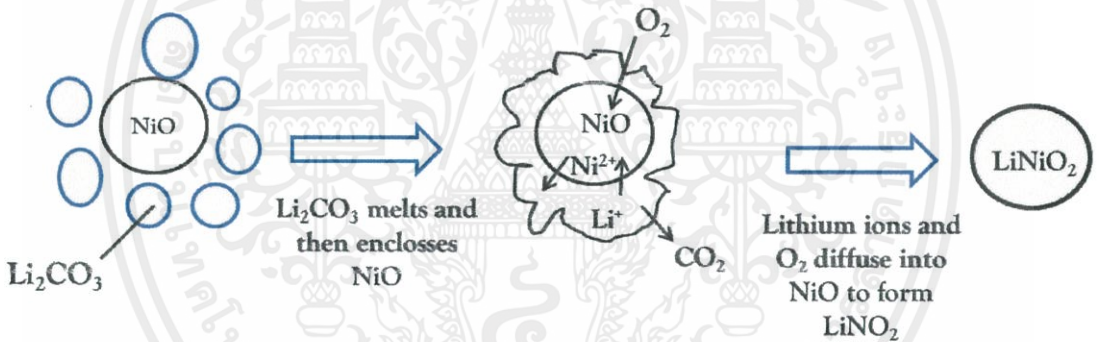
กระบวนการบดย่อยด้วยลูกบอลอาศัยการสั่นสะเทือน (Vibration) ของหม้อบด ซึ่งหม้อบด

มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงมีฝาปิดด้านใดด้านหนึ่ง โดยในหม้อบดนี้จะใส่สารที่ต้องการบดผสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ลูกบด และสารที่ช่วยในการบดผสมในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของหม้อบด โดยในขณะที่หม้อบดไม่ว่าจะรูปใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคนิคแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สั่นสะเทือน ลูกบดด้านในทำให้มีการกระทบกันในแนวแกนต่างๆ

ลูกบดจะมีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งไปในทิศทางต่างๆ ซึ่งสามารถกระทบกันเองและเกิดการกระทบกันไปเรื่อยๆ จนอนุภาคของสารมีขนาดลดลง เนื่องจากการกระทบของลูกบด การเสียดสีระหว่างหม้อบดกับลูกบด ในขณะที่การกระทบการเสียดสีเหล่านี้ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง ยังทำให้เกิดสิ่งเจือปนได้เช่นกัน เช่น ชิ้นส่วนของลูกบด หรือผนังของหม้อบด ที่เกิดการสึกกร่อนหลุดออกมา ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถป้องกันได้ โดยการเลือกใช้ลูกบดที่มีคุณภาพสูง และใช้หม้อบดที่ทำจากวัสดุที่สามารถจำกัดออกได้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่น หม้อบดพลาสติก เป็นต้น

2.7.2 การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction)

การเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็งเป็นการเกิดปฏิกิริยาที่มีการสลายตัวของตัวทำปฏิกิริยาเกิดเป็นของแข็งชนิดใหม่กับก๊าซ โดยการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นที่มีสถานะเป็นของแข็งเพื่อทำให้เกิดการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยา และเกิดเป็นของแข็งชนิดใหม่ขึ้นมา เรียกกระบวนการนี้ การแคลไซน์ (Calcination) สารตั้งต้นเกิดอันตรกิริยาต่อกัน โดยอาศัยการแพร่ระหว่างกันของไอออน เป็นการช่วยลดขอบเขตของการแพร่ในขั้นตอนการเผาซินเตอร์



รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาสถานะของแข็งของ LiNiO_2 [13]

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ธรรมชาติทางเคมีของตัวทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ ขนาดของอนุภาค ขนาดของผงผสม ความสม่ำเสมอของผงผสม บรรยากาศ อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา โดยที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อขนาดของตัวทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะทางของการแพร่มากขึ้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

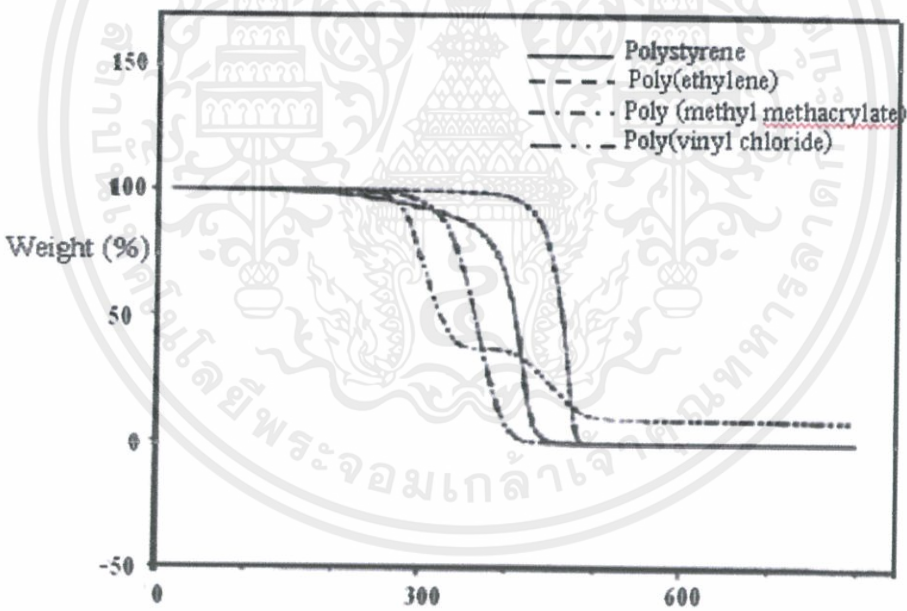
การเตรียมผงด้วยปฏิกิริยาสถานะของแข็งมีค่าใช้จ่ายน้อยแต่จะเกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาค ทำให้ต้องใช้กระบวนการบดย่อยด้วยลูกบอลมาช่วยในการลดขนาด ซึ่งส่งผลให้เกิดสิ่งเจือปน

เนื่องจากเศษของลูกบดหรือผนังของหม้อบดปะปนเสมอ นอกจากนี้การควบคุมขนาดอนุภาคในการทำผงก็ทำได้ยาก เนื่องจากกระบวนการบดทำได้ยาก

2.8 หลักการของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.8.1 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis or thermal gravimetric analysis)

เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (TGA) เป็นวิธีเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความเสถียรของผงเซรามิกเมื่อได้รับความร้อน โดยใช้พื้นฐานการวัดน้ำหนักอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง (Thermobalance) ในระหว่างการวิเคราะห์ อุณหภูมิของตัวอย่างซึ่งอยู่ในบรรยากาศปกติ หรือก๊าซเฉื่อยจะถูกทำให้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่าง และอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.22 การสูญเสียน้ำหนักในช่วงแรกของการวิเคราะห์ หรือที่อุณหภูมิต่ำอาจเกิดจากการระเหยของน้ำหรือตัวทำละลาย แต่ที่อุณหภูมิสูงมักเกิดจากการสลายตัวของผงเซรามิก ข้อมูลเหล่านี้ ทำให้ทราบเกี่ยวกับความเสถียรต่ออุณหภูมิของผงเซรามิก เทคนิคนี้ยังมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาสารที่ระเหย หรือสารเติมแต่งที่ใส่ลงไปในเซรามิก



รูปที่ 2.22 เทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย TGA [14]

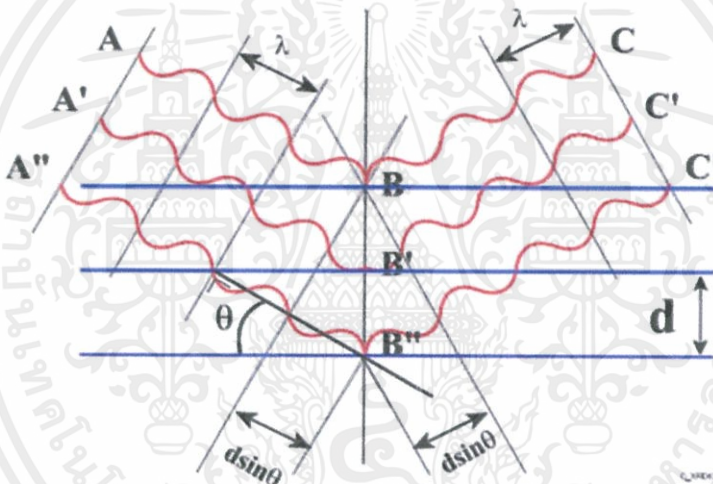
2.8.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อผู้ผู้ให้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของยูนิต

เซลล์ที่ไม่เท่ากัน ทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบใด

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละยูนิตเซลล์ ความเครียดของตัวอย่าง ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มบาง และคำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มได้อีกด้วย

โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin\theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ยังผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่างโดยจะใช้ดีเทคเตอร์รับความเข้มของรังสีเอกซ์ ที่เกิดการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆของการทดสอบ ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงแบบจำลองการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ [15]

สิ่งสำคัญในการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขึ้นกับภาวะ 2 ประการ

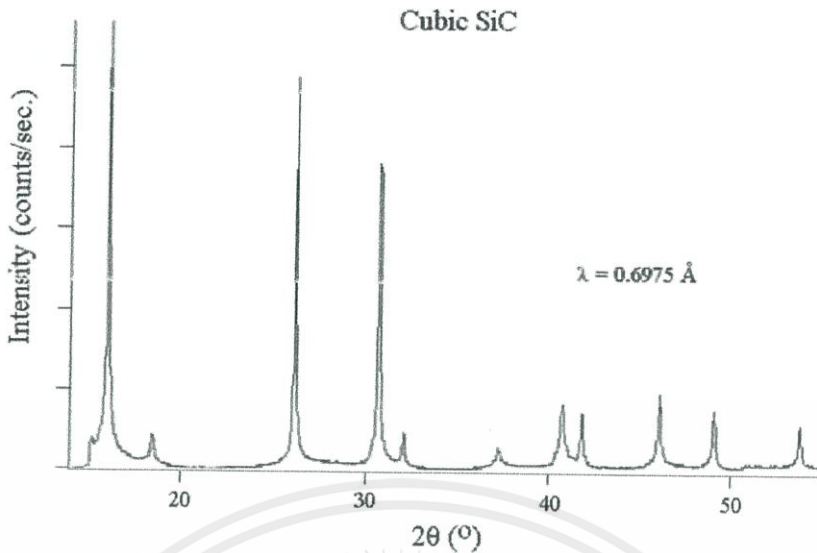
1. รังสีที่ตกกระทบ รังสีเลี้ยวเบน และเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. ระยะห่างระหว่างชั้นของอะตอมควรมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

ปัจจุบันมีองค์กร JCPDS (Joint committee on powder diffraction stand) ได้ทำการ

วัดและจัดเก็บรวบรวมข้อมูลของสารประกอบต่างๆมากกว่า 8000 ชนิด ทั้งในรูปแบบการ์ดและซีดี

ซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์เฟสของสารตัวอย่าง โดยนำรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้ค่า แต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ระยะห่างระหว่างระนาบที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับรูปแบบข้อมูลมาตรฐานของ JCPDS
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ผลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SiC [16]

2.8.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12800 - 10 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วงวิซิเบิลกับช่วงไมโครเวฟ โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

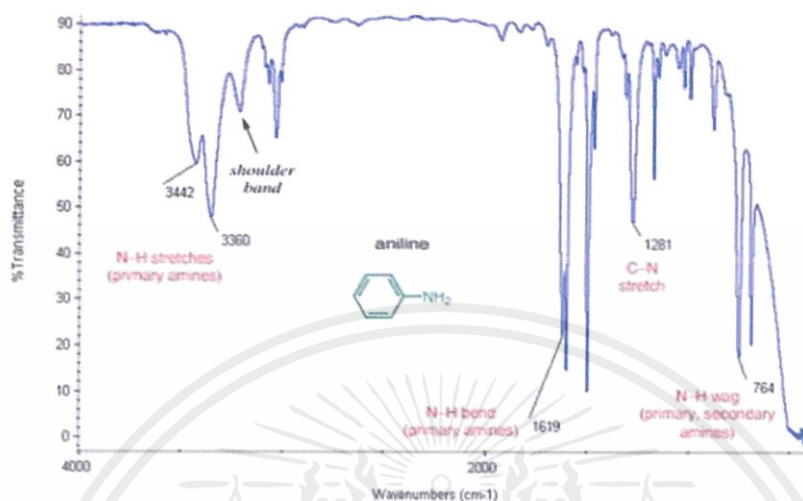
1. อินฟราเรดช่วงใกล้ ($12800-4000 \text{ cm}^{-1}$)
2. อินฟราเรดช่วงกลาง ($4000-200 \text{ cm}^{-1}$)
3. อินฟราเรดช่วงไกล ($200-10 \text{ cm}^{-1}$)

ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ ช่วงอินฟราเรดช่วงกลาง เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไป จะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้น ความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการค้า

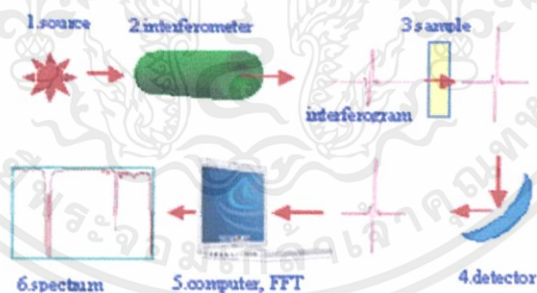
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นกับการส่งผ่าน ซึ่งเรียกว่า อินฟราเรดสเปกตรัม



รูปที่ 2.25 ดังอย่างคลื่นรังสีอินฟราเรดของอะนิลีน [17]

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง เครื่องวัดความยาวคลื่นแสง ดีเทคเตอร์และคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปภาพที่ 2.25



รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี [18]

การใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีวิเคราะห์ตัวอย่าง ใช้เวลาน้อยและไม่สิ้นเปลือง สารเคมีจึงนิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพหรือเพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของตัวอย่าง

เช่น วิเคราะห์ชนิดของสารเคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างสารสกัดจากพืช ตัวอย่างโพลีเมอร์

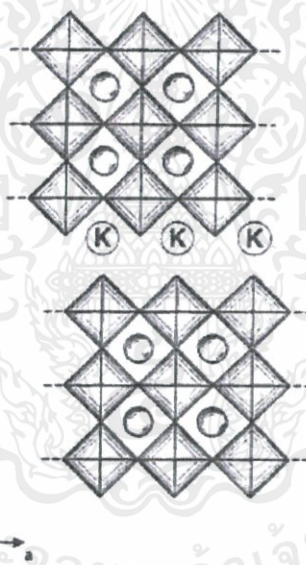
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างไดออนจาคีออปสันที่มีลักษณะเป็นเพอโรฟสไกต์แบบชั้น ซึ่งได้ทำการรวบรวมพอสังเขปดังนี้

โดยดั่งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตั้งแต่ในปี 1981 ไดออน และคณะ ได้ค้นพบโครงสร้างไดออนจาคีออปสันที่มีลักษณะเป็นเพอโรฟสไกต์แบบชั้น ครั้งแรกในสารโพแทสเซียมแคลเซียมไนโอเบต ($\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$) จากนั้น ในปี 1985 จาคีออปสันและคณะ ได้เตรียมโพแทสเซียมแคลเซียมไนโอเบต โดยการผสมสารตั้งต้น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (KCO_3) และไนโอเบต (Nb_2O_5) และเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยได้มีรายงานว่า โพแทสเซียมแคลเซียมไนโอเบตมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบออร์ทอโรมบิกดังรูปที่ 2.27 ซึ่งใช้การเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์กับรูปแบบที่สร้างขึ้น (Least-squares fitting) โดยค่าคงที่แลตทิซ (Lattice parameter) ที่ได้แสดงดังตารางที่ 1.4 และตารางที่ 1.5



รูปที่ 2.27 แสดงรูปที่สร้างขึ้นของโครงสร้าง $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ โดยบริเวณสี่เหลี่ยมจะแสดงถึงตำแหน่งออกตะฮีดรอลของ NbO_6 และวงกลมภายในชั้นแสดงถึงอะตอมของแคลเซียม [19]

ตารางที่ 1.4 แสดงค่าคงที่แลตทิซของ $\text{K}[\text{Ca}_2\text{Na}_{n-3}\text{Nb}_n\text{O}_{3n+1}]$ [8]

n	a, Å	b, Å	c, Å
3	3.853	3.868	29.47
4	3.861	3.878	37.23

5	3.863	3.882	45.00
6	3.869	3.883	52.80
7	3.870	3.887	60..57

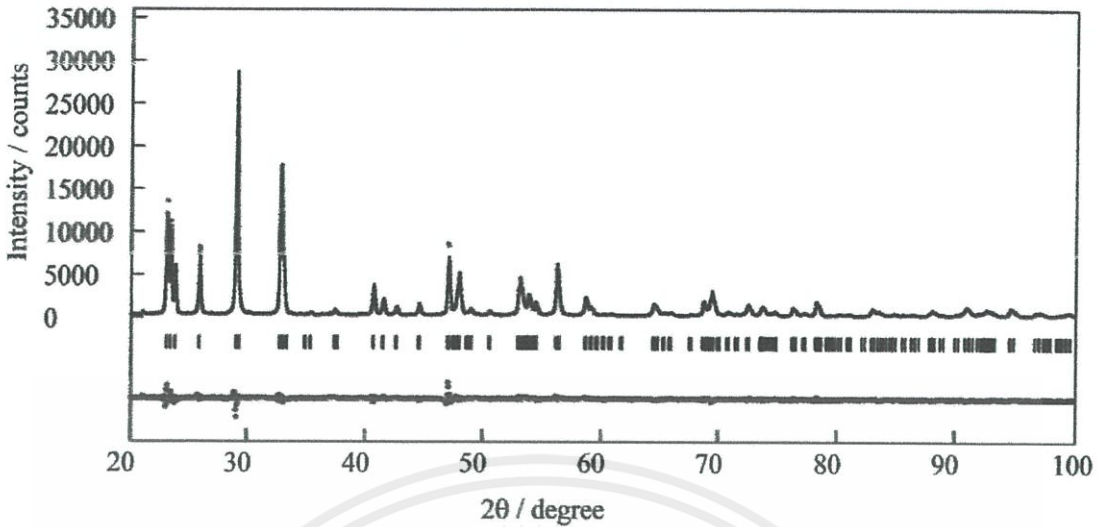
ตารางที่ 1.5 แสดงค่าคงที่แลตทิซของ $H[Ca_2Na_{n-3}Nb_nO_{3n+1}].xH_2O$ [8]

n	a, Å	c, Å	
		x = 1 - 1.5	x = 0
3	3.849	16.21	14.37
4	3.863	20.14	18.35
5	3.870	24.02	22.25
6	3.872	27.92	26.25
7	3.876	31.82	30.10

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้รายงานถึงสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพต่างๆ โครงสร้างนี้จึงเป็นโครงสร้างใหม่ที่น่าสนใจและเหมาะแก่การศึกษาค้นคว้าต่อไป

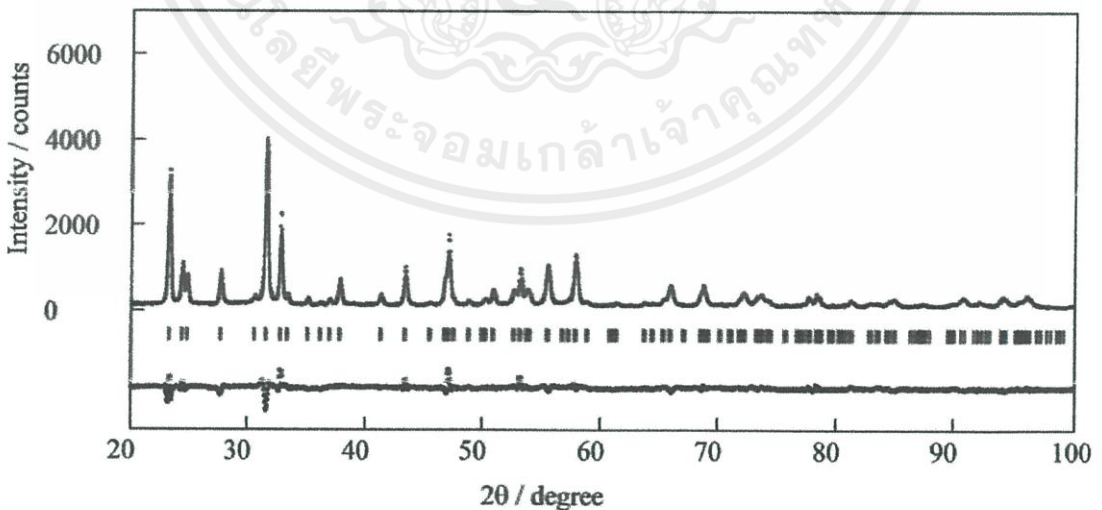
ต่อมาจากการค้นคว้าหาข้อมูลพบว่ามีหลายงานวิจัยที่ใช้วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange reaction methods) มาใช้ในการสังเคราะห์โครงสร้างเพอโรฟสไกต์แบบชั้น ยกตัวอย่างงานวิจัย ในปี 1998 โทตะและคณะ (K. Toda et. al) [12] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ โครงสร้างคือน จากคอปสันที่มีสารประกอบเป็น $MCa_2Ta_3O_{10}$ ($n = 3$) โดยที่ M คือ Na K และ Cs ใช้วิธีสังเคราะห์แบบปฏิกิริยาสถานะของแข็งกับการแลกเปลี่ยนไอออน ในการสังเคราะห์ได้ทำการสังเคราะห์ $CsCa_2Ta_3O_{10}$ ด้วยวิธีปฏิกิริยา สถานะของแข็ง และ สังเคราะห์ $NaCa_2Ta_3O_{10}$ กับ $KCa_2Ta_3O_{10}$ ด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน ใช้สารตั้งต้นเป็น $RbCa_2Ta_3O_{10}$ ผสมกับโลหะอัลคาไลน์ หลอมเหลวที่ 673 K (Na) และ 623 K (Na) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปล้างด้วยน้ำ DI และทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการตรวจสอบเอกลักษณ์ของวัสดุด้วยเครื่องวิเคราะห์ การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ เมื่อนำ $CsCa_2Ta_3O_{10}$ ไปวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า จากการสะท้อนทั้งหมดเป็นของโครงสร้างเทตระโกลอนอล ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะพบความสมมาตรของผลึก $P4$ $P4^-$ $P4/m$ $P422$ $P4mm$ $P4^-m2$ $P4^-$ $2m$ และ $P4/mmm$ ดังรูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{CsCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ โดยการคำนวณและสังเกตถึงรูปแบบค้ำบนโดยเส้นเข็มและจุดตามลำดับ เส้นที่ตั้งตรงตรงกลางแสดงถึงรูปแบบการคำนวณจากการสะท้อนของแบท (Bagg) และเส้นที่อยู่ล่างสุดเป็นการพลอตความแตกต่างระหว่าง การคำนวณและการสังเกตค่าความเข้ม [20]

ต่อมาสำหรับสารประกอบประเภท $\text{NaCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ แสดงดังรูปที่ 2.29 รูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็น $h + k + l = 2n$ สำหรับการสะท้อน hkl ซึ่งจะมีความเป็นไปได้ที่จะมีความสามารถของผลึก 8 กลุ่มกับแลตทิซชนิด I

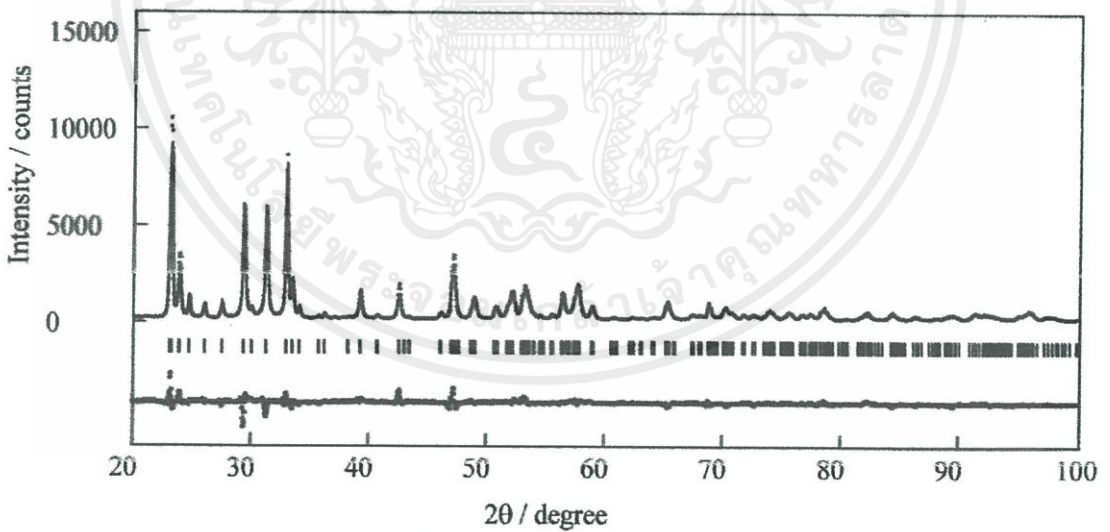


รูปที่ 2.29 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{NaCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้นไปขอสงวนไว้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของสารประกอบโซเดียมนั้นสามารถประมาณได้โดยใช้ความแตกต่างของ Fourier maps ซึ่งง่ายสำหรับตำแหน่งของอะตอมโซเดียมจาก Fourier maps เป็นเพราะปัจจัยของการกระจัดกระจายอะตอม ไอออนโซเดียมในการแลกเปลี่ยนไอออนของสารประกอบ $\text{NaCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ จะอาศัยอยู่ในตำแหน่งที่สี่เท่า สารประกอบโซเดียมนี้มีความทนทานต่อสภาพอากาศ โมเลกุลของน้ำในสารประกอบโซเดียมที่มีโมเลกุลของน้ำจะพบอยู่ภายในชั้นของโซเดียมซึ่งทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นเพิ่มขึ้น จำนวนโมเลกุลของน้ำต่อสูตรโมเลกุลหน่วยเซลล์จะขึ้นกับความชื้นในอากาศ เพราะฉะนั้นเราสามารถสังเกตน้ำที่อยู่ในสารประกอบได้จากรูปแบบการแพร่กระจาย

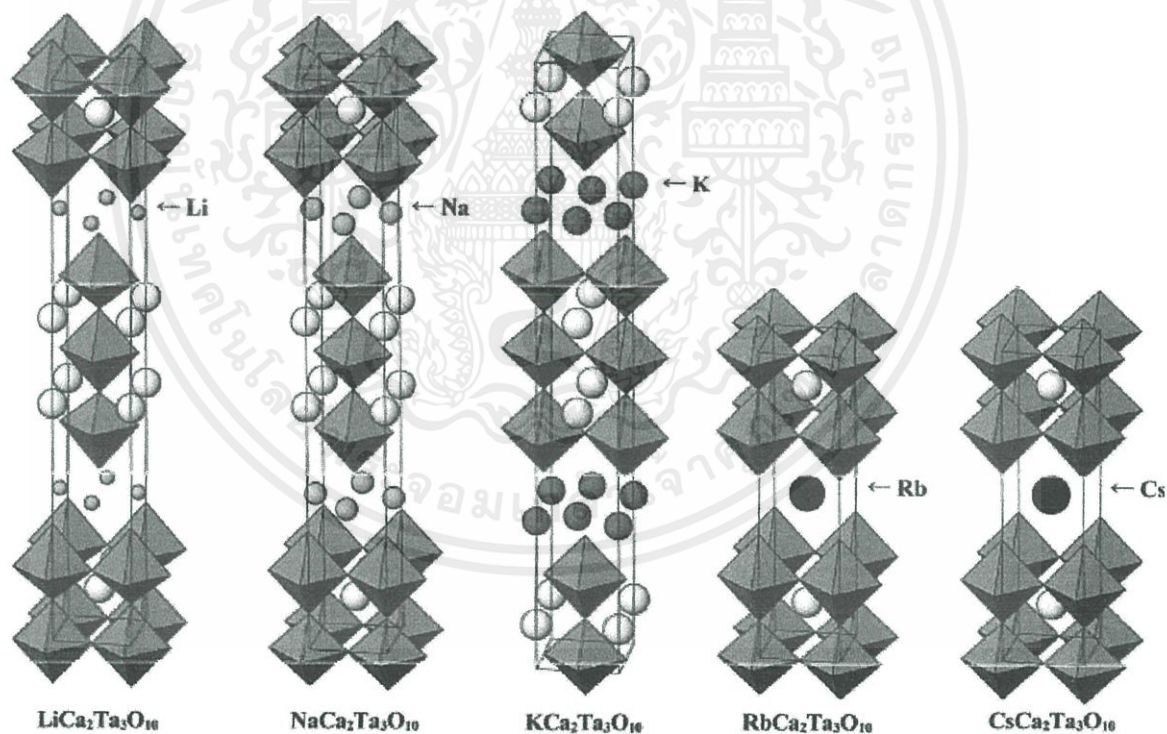
ในรูปที่ 2.30 แสดงถึงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{KCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ ในด้านการสะท้อนจะพบ $h + k + l = 2n$ สำหรับการสะท้อน hkl ซึ่งแสดงถึงความเป็นไปได้ของ $Cmm2$ $Cm2m$ $C222$ และ $Cmmm$ ความสมมาตรของผลึกเกิดจากการมีอยู่ของสารประกอบโพแทสเซียมไททาเลตคือ $C222$ ซึ่งจะคล้ายคลึงกับโครงสร้างเพอรอฟสไกต์แบบคู่ เพราะฉะนั้นในการจำลองรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน KCaTa_2O_7 จะแสดงโดยความคล้ายคลึงกับโครงสร้างแบบจำลองที่เป็นของโครงสร้าง เพอรอฟสไกต์แบบคู่ ข้อมูลโครงสร้างของผลึกได้รับจากการอ้างอิงในตารางที่ 6 ซึ่งจะเปรียบเทียบควบคู่ไปกับ $\text{LiCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ และ $\text{RbCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ ปัจจัย R (R-factors) จัดมาเพื่อสารประกอบเหล่านี้ในการยอมรับ



รูปที่ 2.30 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{KCa}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ [20]

รูปที่ 2.31 แสดงถึงโครงสร้างผลึกของชั้นเพอรอฟสไกต์ของสารประกอบ $\text{MCA}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ (แม้ว่า $M = \text{Li Na K Rb Cs}$) ซึ่งสนใจที่จะเปรียบเทียบลักษณะของชั้นเพอรอฟสไกต์ การติดกันของแผ่น

เพอร์อฟสไกต์ขึ้นกับขนาดของไอออนภายในชั้น ชั้นเพอร์อฟสไกต์ในสารประกอบรูปีเดียมและซีเซียมจะซ้อนกันโดยไม่มีการเคลื่อนออก การติดกันของชั้นเพอร์อฟสไกต์ของสารประกอบโพแทสเซียมจะมีการเคลื่อนตัว โดย $\frac{1}{2}$ ซึ่งเป็นเพียงการเคลื่อนที่ 1 มิติภายในแผ่นชั้น ไอออนโพแทสเซียมจะอยู่ในตำแหน่งไตรโกนอลโคออดิเนชันหรืออีกแง่มุมหนึ่ง การเกาะกันของแผ่นเพอร์อฟสไกต์ในการแลกเปลี่ยนสารประกอบโซเดียมและลิเทียมเป็นการซ้อนทับกันของการเคลื่อนตัว $\frac{1}{2}$ คล้ายกับการเคลื่อนที่ไดโกนอล (Diagonal) กับแผ่นชั้น ลักษณะของการซ้อนทับกันจะคล้ายคลึงกับโครงสร้างเพอร์อฟสไกต์แบบคู่ $M\text{LaTa}_2\text{O}_7$ ($M = \text{Li, Na, K, Rb}$) ผลที่ได้จะสนับสนุนความบางของชั้นเพอร์อฟสไกต์ซึ่งไม่ใช่ปัจจัยหลักในลักษณะเฉพาะของชั้น เพอร์อฟสไกต์ที่ซ้อนทับกัน แทนหาเลดทั้งหมดจะมีความเป็นประจุบวกที่สูงของอะตอมกลางสามารถนำไปสู่ความหนาแน่นที่ต่ำสำหรับภายในช่องว่างชั้น ปฏิกริยาประจุไฟฟ้าระหว่างชั้นเพอร์อฟสไกต์และไอออนภายในจะค่อนข้างต่ำ การสะท้อนกลับจะถูกการซ้อนทับกันของชั้นเพอร์อฟสไกต์ป้องกันไว้ เนื่องจากขนาดของไอออนของไอออนภายในชั้น เพราะฉะนั้นในลำดับการซ้อนทับกันจะขึ้นกับปริมาณขนาดระหว่างชั้นเพอร์อฟสไกต์



รูปที่ 2.31 แสดงถึงโครงสร้างของ $M\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_{10}$ ($M =$ โลหะอัลคาไล) [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 ข้อมูลโครงสร้างผลึกของ $MCa_2Ta_3O_{10}$ ($M =$ โลหะอัลคาไลน์) ที่ปราศจากสิ่งเจือปน จากรูปแบบการวิเคราะห์ของรังสีเอกซ์ [10]

ตัวอย่าง	อะตอม	ตำแหน่ง	g	x	y	z	B(nm ²)
$LiCa_2Ta_3O_{10}$	Li	4d	0.5	0.0	0.5	0.25	0.006(1)
I4/mmm (No. 139)	Ca	4e	1.0	0.0	0.0	0.4236(1)	0.006
a = 0.38515(6)	Ta(1)	2a	1.0	0.0	0.0	0.0	0.006
	Ta(2)	4e	1.0	0.0	0.0	0.1495(1)	0.006
nm	O(1)	4c	1.0	0.0	0.5	0.0	0.006
c = 2.8339(5)	O(2)	4e	1.0	0.0	0.0	0.210(2)	0.006
nm	O(3)	4e	1.0	0.0	0.0	0.075	0.006
$R_{wp} = 12.33\%$	O(4)	8g	1.0	0.0	0.5	0.130(1)	0.006
$R_p = 9.08\%$							
$R_l = 5.64\%$							
$R_F = 3.21\%$							
$NaCa_2Ta_3O_{10}$	Na	4d	0.5	0.0	0.5	0.25	0.004(2)
I4/mmm (No. 139)	Ca	4e	1.0	0.0	0.0	0.426(1)	0.004
a = 0.38607(3)	Ta(1)	2a	1.0	0.0	0.0	0.0	0.004
	Ta(2)	4e	1.0	0.0	0.0	0.1452(2)	0.004
nm	O(1)	4c	1.0	0.0	0.5	0.0	0.004
c = 2.9216(2)	O(2)	4e	1.0	0.0	0.0	0.207(3)	0.004
nm	O(3)	4e	1.0	0.0	0.0	0.064(2)	0.004
$R_{wp} = 10.62\%$	O(4)	8g	1.0	0.0	0.5	0.135(2)	0.004
$R_p = 8.40\%$							
$R_l = 7.04\%$							
$R_F = 4.31\%$							
$KCa_2Ta_3O_{10}$	K	4g	0.0	0.0	0.2439(0.0	0.0033(7
C222 (No. 21)	Ca	4g	1.0	0.0	6)	0.0)
a = 0.38657(3)	Ta(1)	2c	1.0	0.5	0.0736(0.5	0.0033
	Ta(2)	4h	1.0	0.0	4)	0.5	0.0033
nm	O(1)	2d	1.0	0.0	0.0	0.5	0.0033
b = 2.9777(2)	O(2)	4h	1.0	0.0	0.35734	0.5	0.0033
nm							

c = 0.38520(3)	O(3)	4h	1.0	0.0	(8)	0.5	0.0033
nm	O(4)	4g	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0033
Rwp = 9.87%	O(5)	4h	1.0	0.0	0.1318(0.5	0.0033
Rp = 7.50%	O(6)	2b	1.0	0.0	8)	0.0	0.0033
RI = 2.93%					0.301(1)		0.0033
RF 5 1.54%					0.3680(
					9)		
					0.437(1)		
					0.5		
RbCa₂Ta₃O₁₀	Rb	1d	1.0	0.5	0.5	0.5	0.027(5)
P4/mmm (No. 123)	Ca	2h	1.0	0.5	0.5	0.146(2)	0.021(5)
a = 0.38573(2)	Ta(1)	1a	1.0	0.0	0.0	0.0	0.005(2)
nm	Ta(2)	2g	1.0	0.0	0.0	0.2835(4)	0.004(2)
c = 1.50440(7)	O(1)	2f	1.0	0.0	0.5	0.0	0.03(1)
nm	O(2)	2g	1.0	0.0	0.0	0.122(4)	0.03
Rwp = 9.04%	O(3)	4i	1.0	0.0	0.0	0.264(3)	0.03
Rp = 6.87%	O(4)	2g	1.0	0.0	0.0	0.404(5)	0.03
RI = 2.75%							
RF = 1.59%							
CsCa₂Ta₃O₁₀	Cs	1d	1.0	0.5	0.5	0.5	0.022(3)
P4/mmm (No. 123)	Ca	2h	1.0	0.5	0.5	0.146(1)	0.012(4)
a = 0.38659(1)	Ta(1)	1a	1.0	0.0	0.0	0.0	0.003(2)
nm	Ta(2)	2g	1.0	0.0	0.0	0.2788(3)	0.004(2)
c = 1.52538(5)	O(1)	2f	1.0	0.0	0.5	0.0	0.03(1)
nm	O(2)	2g	1.0	0.0	0.0	0.125(4)	0.03
Rwp = 7.35%	O(3)	4i	1.0	0.0	0.0	0.255(3)	0.03
Rp = 5.43%	O(4)	2g	1.0	0.0	0.0	0.391(4)	0.03
R_i = 2.01%							
R_F = 1.28%							

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

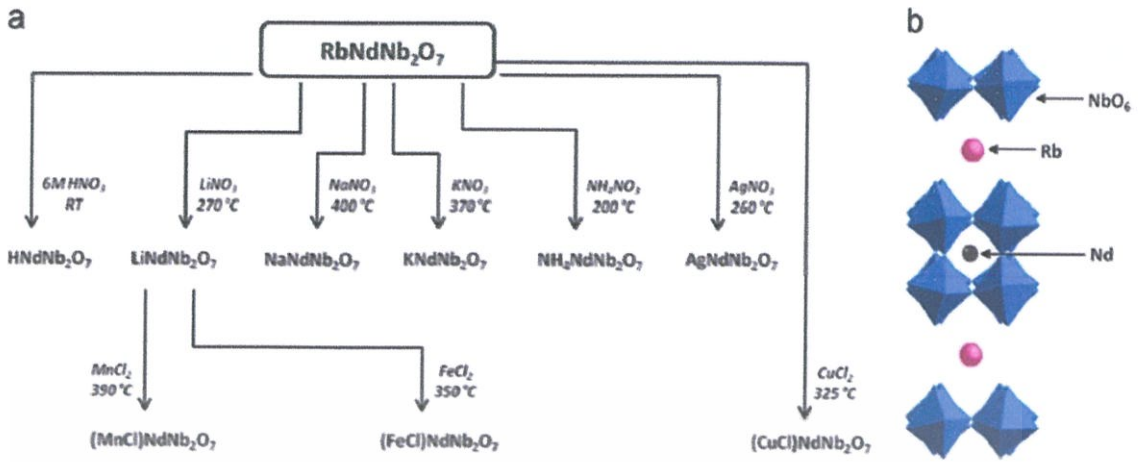
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2001 เวนกะทราแมนและคณะ (T. Venkataraman et. al) [13] ได้ทำการสังเคราะห์ โครงสร้างและการนำไฟฟ้าของ $A[A_2B_3O_{10}]$ ($A' = Rb, Cs$; $A = Sr, Ba$; $B = Nb, Ta$) เป็นสูตร โมเลกุลใหม่ของโครงสร้าง ไดออน จากคือปสันที่มีลักษณะเพอโรฟสไกต์แบบชั้น ซึ่งทำการสังเคราะห์ โดยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งระหว่างโลหะออกไซด์ในเทรตและคาร์บอนเตภายใต้สภาวะที่กำหนดไว้ โครงผลึกจะถูกกำหนดโดยใช้ข้อมูลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในการรวมกันกับการวิเคราะห์ แกนซีมีค่าคงที่แลตทิซเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอัลคาไลน์เอิร์ธเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งสารประกอบ สตรอนเชียมและแบเรียมมีโครงสร้างผลึกเป็นเทระโกนอล ขณะที่แคลเซียมมีโครงสร้างผลึกเป็น รอมโบอีตรอล ในด้านของการนำไฟฟ้าของเพอโรฟสไกต์จะถูกกำหนดโดยใช้เครื่องวัดความต้านทาน ไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง ท่ามกลางสารประกอบไอออนอัลคาไลน์และความแตกต่างของ อัลคาไลน์เอิร์ธ สารประกอบแคลเซียมแสดงสมบัติการนำไฟฟ้าที่สูงมากกว่าสตรอนเชียมและ สารประกอบแบเรียม การวัดไฟฟ้ากระแสตรงแสดงให้เห็นถึงเพอโรฟสไกต์แบบชั้นทั้งไอออนิกและ การนำไฟฟ้า

โจเซฟ และคณะ [13] ได้ศึกษาเกี่ยวกับเพอโรฟสไกต์ที่มีลักษณะเป็นชั้นของโครงสร้าง ไดออน จากคือปสัน ที่มีสูตรทั่วไปคือ $A[A'_{n-1}B_nO_{3n-1}]$ โดย A เป็นโลหะอัลคาไลน์ A' เป็น แรร์เอิร์ธ หรืออัลคาไลน์เอิร์ธ B เป็นโลหะทรานซิชัน และ n เป็นจำนวนชั้นของเพอโรฟสไกต์ ซึ่งทำใน ปฏิกิริยาโทโพเคมีคอลโดยการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจเพราะสามารถควบคุมและ ออกแบบสารประกอบได้โดยจะใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส

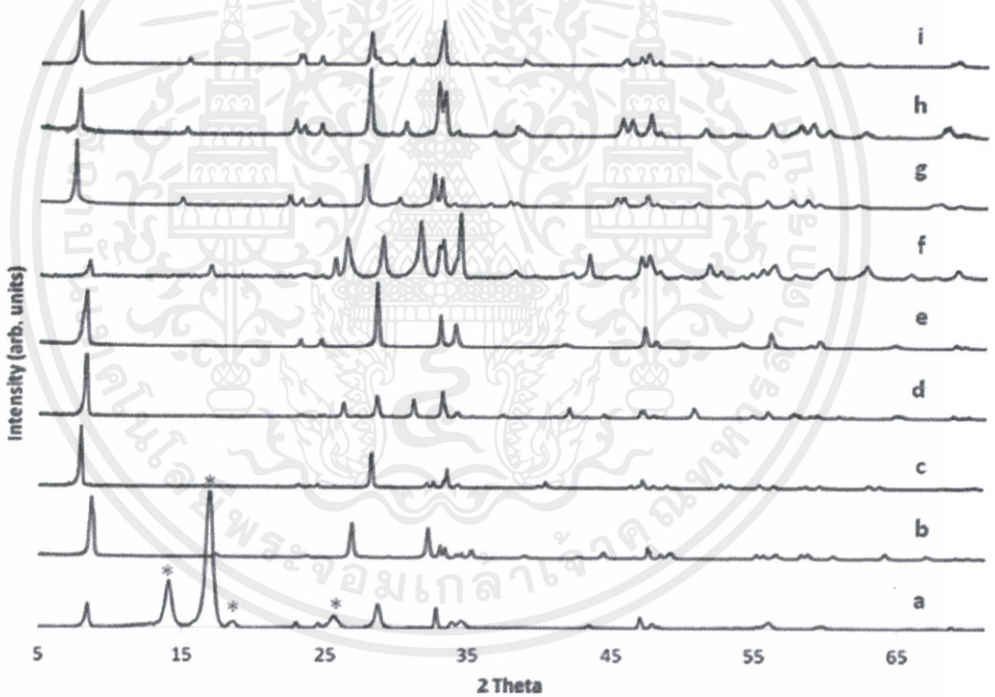
$ANdNb_2O_7$ ($A = H, Li, Na, K, NH_4, Ag$) และ $(MCl)NdNb_2O_7$ เมื่อ $M = Mn, Fe$ และ Cu ถูก สังเคราะห์โดยใช้วิธีโทโพเคมีคอลจาก $RbNdNb_2O_7$ (รูปที่ 2.32) และมีพฤติกรรมทางความร้อน สภาวะการเกิดปฏิกิริยาสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนของผลิตภัณฑ์โดยผ่านวิธีอื่นๆ ($HNdNb_2O_7$, $NaNdNb_2O_7$ และ $KNdNb_2O_7$) ถูกปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่ง $LiNdNb_2O_7$, $NH_4NdNb_2O_7$ และ $AgNdNb_2O_7$ เป็นสารประกอบใหม่ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกันถูกดำเนินการ ภายใต้สภาวะที่คล้ายกัน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยา $(MCl)NdNb_2O_7$ ($M = Mn, Fe, Cu$) ซึ่ง $(MnCl)NdNb_2O_7$ และ $(FeCl)NdNb_2O_7$ เป็นสารประกอบ ใหม่ สารประกอบทั้งหมดถูกยืนยันโดยใช้ XRD (รูปที่ 2.33) และ EDS ในการตรวจสอบ โดยใน บางกรณีจะพบ Rb หลงเหลืออยู่ประมาณน้อยกว่า 4% และขนาดของแต่ละระนาบสามารถดูได้จาก

เอกสาร ตำราที่ 1.7 ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 (a) แผนภูมิแสดงการสังเคราะห์ของแต่ละผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มต้นจาก $\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$

(b) โครงสร้างของ $\text{RbNdNb}_2\text{O}_7$ [21]



รูปที่ 2.33 แสดงถึงรูปแบบ XRD ของ Nd-Nb เมื่อ (a) การขจัดน้ำของ HNdNb_2O_7 (b)

$\text{LiNdNb}_2\text{O}_7$ (c) $\text{NaNdNb}_2\text{O}_7$ ที่มีน้ำอยู่ด้วย (d) KNdNb_2O_7 (e) $\text{NH}_4\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (f) $\text{AgNdNb}_2\text{O}_7$

(g) $(\text{MnCl})\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (h) $(\text{FeCl})\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (i) $(\text{MnCl})\text{NdNb}_2\text{O}_7$ (*) फिल्मพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการ

แยกสารประกอบจากความชื้น [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

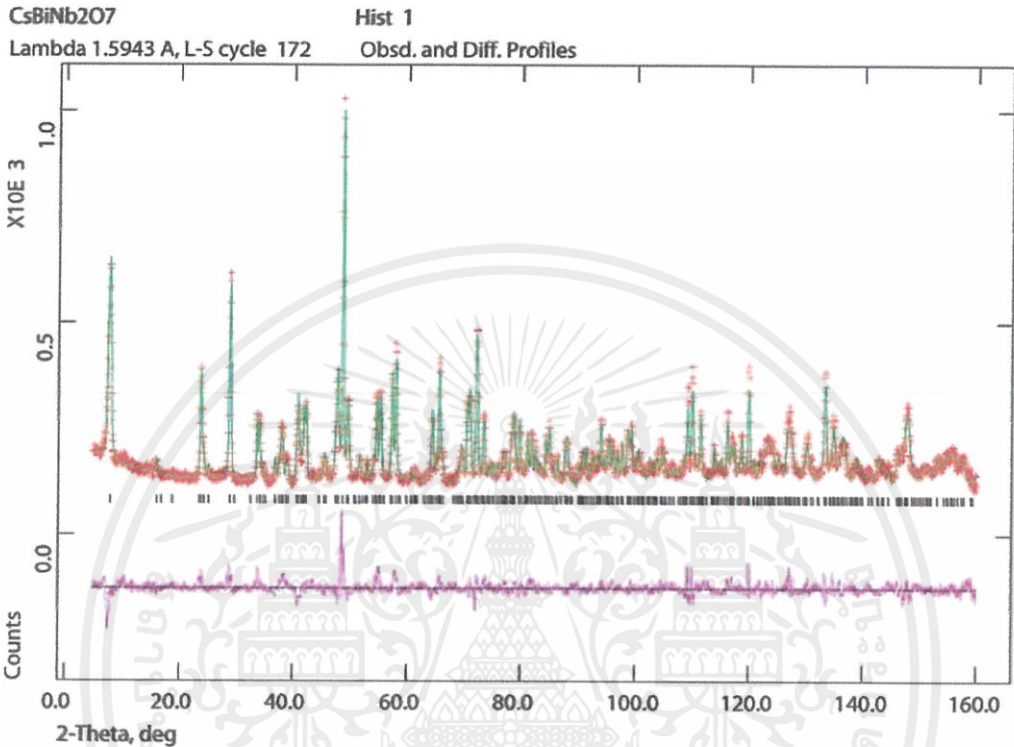
ตารางที่ 1.7 แสดงถึงความยาวแต่ละด้านของ Nd-Nb [13]

สารประกอบ	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Vol (Å ³)	ช่องว่างระหว่างชั้น (Å)
HNdNb ₂ O ₇ ^t	3.862(2)	-	10.513	156.802	10.51
	7.687(3)	-	19.556(6)	-	9.778
LiNdNb ₂ O ₇ ^t	3.805(7)	-	20.3585(5)	294.751	10.18
NaNdNb ₂ O ₇ ^t	3.874(3)	-	20.8990(4)	313.650	10.45
	7.720(3)	-	20.925(10)	-	10.46
NaNdNb ₂ O ₇ ^t ·nH ₂ O ⁰	22.34(1)	5.641(6)	5.273(2)	664.503	11.17
KdNb ₂ O ₇ ^t	21.53(1)	3.862(3)	3.844(3)	319.624	10.77
	7.688(3)	3.862(3)	21.546(6)	-	10.77
RbNdNb ₂ O ₇ ^t	5.412(3)	5.411(6)	10.902(7)	319.258	10.90
NH ₄ NdNb ₂ O ₇ ^t	3.830(4)	-	21.7529(6)	319.091	10.88
AgNdNb ₂ O ₇ ^t	20.860(8)	3.865(2)	3.840(2)	309.596	10.43
(MnCl)NdNb ₂ O ₇ ^t	3.834(3)	-	11.9071(3)	175.029	11.91
(FeCl)NdNb ₂ O ₇ ^t	3.832(8)	-	11.8129(7)	173.463	11.81
(CuCl)NdNb ₂ O ₇ ^t	3.847(3)	-	11.6599(3)	172.560	11.66
	3.8498(2)	-	11.6597(4)	172.808	11.66

อย่างไรก็ตามในการสังเคราะห์แบบการแลกเปลี่ยนไอออนนั้นใช้เวลาที่ค่อนข้างนานเพื่อการแลกเปลี่ยนไอออนที่สมบูรณ์ โดยในงานวิจัยของโจเซฟใช้เวลา 2 – 6 วัน จึงไม่นิยมนำมาใช้สังเคราะห์

ต่อมาในปี 2009 กอฟและคณะ [15] ได้ทำการสังเคราะห์เพอรอฟสไกต์แบบชั้นของสารซีเซียมบิสมาทไนโอเบต (CsBiNb₂O₇) โดยการผสมผงซีเซียมคาร์บอเนต (Cs₂CO₃) ที่มากเกินพอ 20% โมล บิสมาทออกไซด์ (Bi₂O₃) และ ไนโอเบียมออกไซด์ (Nb₂O₅) และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยได้รายงานว่า CsBiNb₂O₇ ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างอโทรมบิกที่มีความสมมาตรของผลึกเป็น P2₁am ซึ่งยืนยันมาจากการจำลองรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Rietveld Refinement) และนำมาเปรียบเทียบรูปแบบของรังสีเอกซ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งการคำนวณและการทดลอง CsBiNb₂O₇ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยนิวตรอน (Powder Neutron diffraction) แสดงดังรูปที่

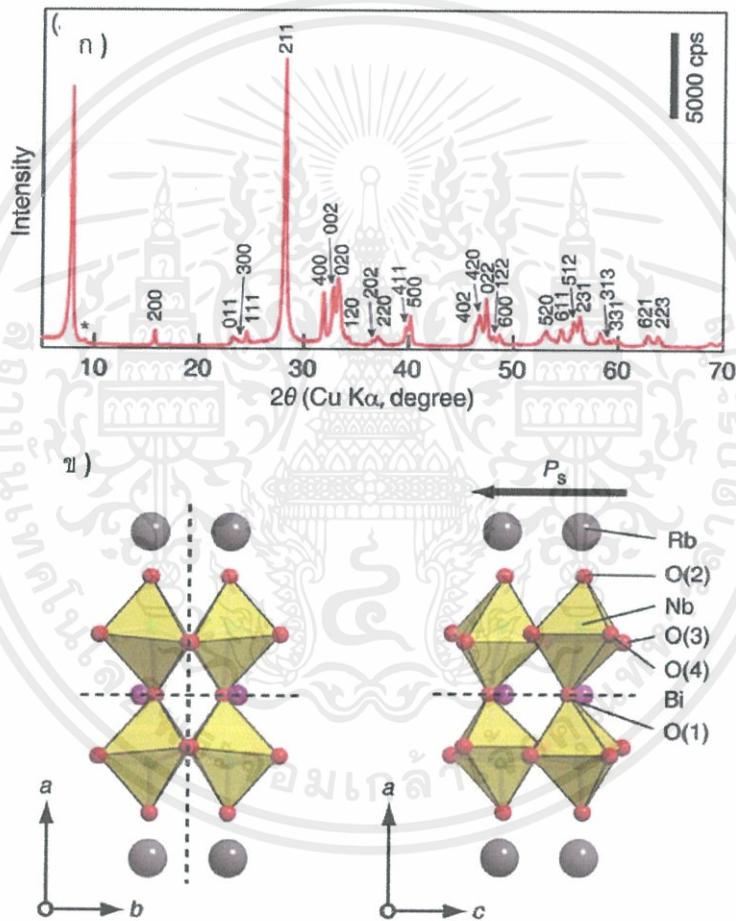
2.26 ถึงแม้ว่าจากโครงสร้างที่ได้จะเป็นเครื่องยืนยันที่น่าเชื่อถือว่า $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ ควรจะมีพฤติกรรมเหมือนวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก แต่ในงานวิจัยนี้ไม่พบสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกเพราะวัสดุ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ มีการนำไฟฟ้า



รูปที่ 2.34 แสดงผลการพลอตของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ ที่มีความสมมาตรของผลึกเป็น $P2_1am$ ที่อุณหภูมิห้อง [22]

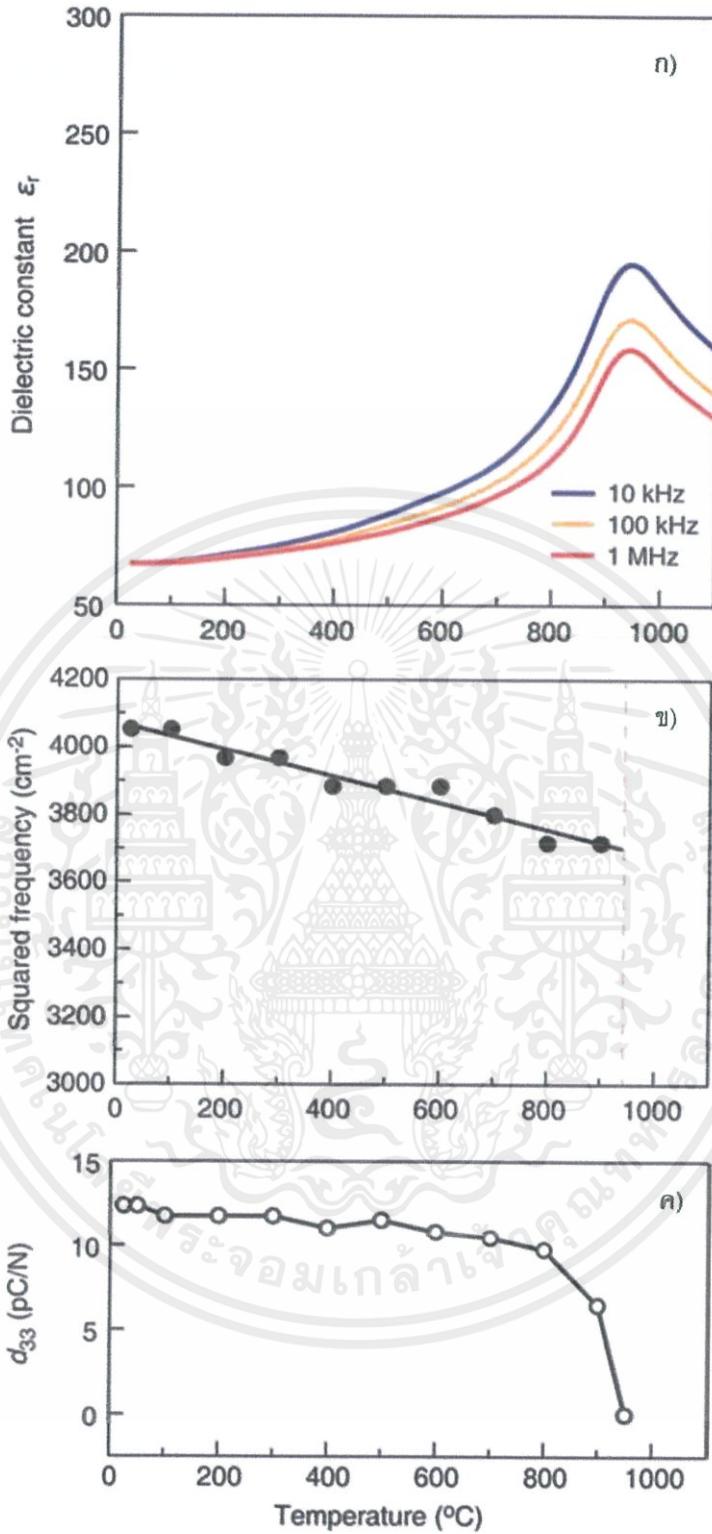
ต่อมาในปีในปี 2012 เบาช์ ลีและคณะ [1] ได้ทำการสังเคราะห์รูปเดียวบิสมัทไนโอเบต ($\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$) จากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ซึ่ง $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ มีโครงสร้างที่เหมือนกับ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ ตั้งงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น โดยในงานวิจัยของเบาช์ ลี ได้รายงานว่า $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบออร์ทอโรมบิก แต่อย่างไรก็ตามจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ที่อุณหภูมิห้องพบว่ามีเฟสแปลกปลอมของบิสมัทไนโอเบต (BiNbO_4) ประมาณ 4% โดยมวล ดังรูป 2.36 บิสมัทไนโอเบตมีสมบัติแอนติเฟอร์โรอิเล็กทริก (Antiferroelectric) ที่อุณหภูมิห้องและเปลี่ยนเป็นมีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียสและพบสมบัติพาราอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ 570 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของ BiNbO_4 ต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ทำให้ไม่เห็นอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.36 อย่างไรก็ตาม พิคไดอิเล็กทริกทั้งสามความถี่

ที่อุณหภูมิเดียวกันได้สนับสนุนพฤติกรรม Relexor type ใน $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ จากกราฟรามานสโครปี รูปที่ 2.36 พบว่าที่คลื่นความถี่เสียงจะเกิดขึ้นอ่อนๆ ไปจนถึงจุดทรานซิชันและจะหายไปที่อุณหภูมิ ประมาณ 945 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.38 ในการวัดค่า $P-E$ รูปที่ 2.37 แสดงถึงสมบัติ เพอโรอิเล็กทริกโพราไรเซชันสลับเปลี่ยนกับโพราไรเซชันที่คงเหลือ ค่าเป็น $10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ซึ่ง สารประกอบนี้แสดงถึงผลของค่าคงที่ทางเพียโซอิเล็กทริก d_{33} เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รูปที่ 2.28 ที่อุณหภูมิห้องค่าคงที่เพียโซอิเล็กทริกมีค่าอยู่ที่ $22 \text{ pC}/\text{N}$ และยังคงมีค่าคงที่เพียโซอิเล็กทริกอยู่จนถึง อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

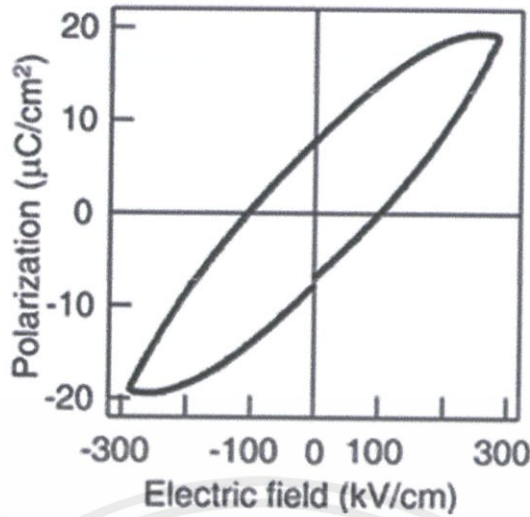


รูปที่ 2.35 ก) แสดงถึงผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ข) โครงสร้างผลึกของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ เฟสกับ $b-a$ และ $c-a$ โดยแกน b - และ a - จะแสดงถึงการสลับไหล และ ระนาบ กระจัดตามลำดับ [23]

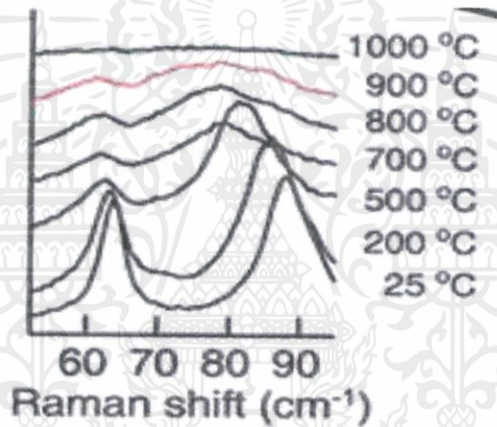
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ก) กราฟแสดงสมบัติไดอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นร่วมกับอุณหภูมิ ข) การสั่นสะเทือนของคลื่น
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ความถี่ต่ำกับอุณหภูมิ ค) ค่าคงที่เพียโซอิเล็กทริกกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น [23]
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



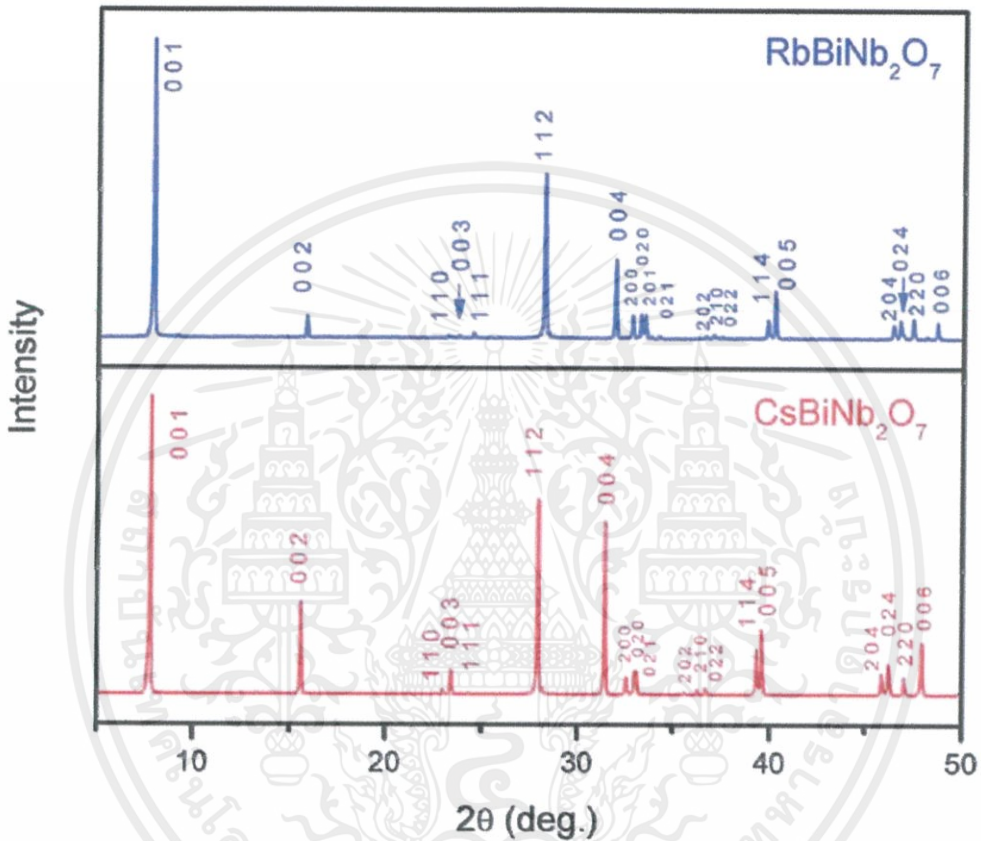
รูปที่ 2.37 P-E hysteresis loop ที่อุณหภูมิห้อง [23]



รูปที่ 2.38 รามานกับอุณหภูมิ T_c [23]

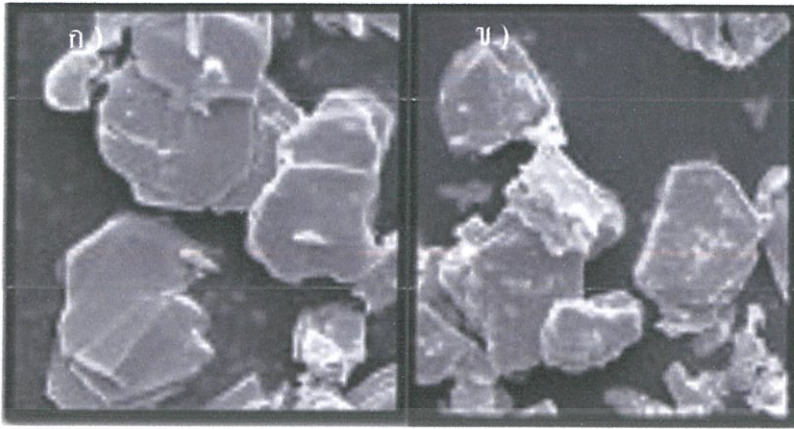
จากนั้นในปี 2014 เซน เซน และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกในโครงสร้างคิออน จากคอปสันของสารในระบบ $ABiNb_2O_7$ โดยที่ $A = Rb$ และ Cs ในงานวิจัยนี้มีการสังเคราะห์เหมือนกับเบาะ ลี แต่ใช้การเผาซินเทอร์แบบสปาร์คพลาสมาซินเทอร์ (SPS sintering) ซึ่งเป็นการเผาโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงลงไปที่ผงตัวอย่าง พบว่า จากรูปที่ 2.39 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $ABiNb_2O_7$ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าทั้งซีเซียมบิสมัทไนโอเบต ($CsBiNb_2O_7$) และรูบิเดียมบิสมัทไนโอเบต ($RbBiNb_2O_7$) มีวิภาคเดียวและมีความบริสุทธิ์เห็นได้จากกราฟการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ทั้งสองสารประกอบจะมีโครงสร้างเป็นอโรทอมบิคและมีกลุ่มผลึกสมมาตร $P2_1am$ ค่าคงที่แลตทิซคือ $a = 5.4964 \text{ \AA}$ $b = 5.4223 \text{ \AA}$ และ $c = 11.3704 \text{ \AA}$ สำหรับ $CsBiNb_2O_7$ $a = 5.1493 \text{ \AA}$ $b = 5.3589 \text{ \AA}$ และ $c = 11.2099 \text{ \AA}$ สำหรับ $RbBiNb_2O_7$ จากรูปที่

2.40 แสดงภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของทั้งสองสารประกอบจะสังเกตเห็นได้ว่าการเกาะตัวของทั้งสองตัวมีลักษณะเป็นแผ่นเหมือนกัน เนื่องจากแผ่นเป็นแผ่นเกรนที่ระนาบ (0 0 l) ค่าตัวแปรการจัดเรียงทิศทางของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ เท่ากับ 0.9 และ 0.7 ตามลำดับ ซึ่งข้อดีคือ ค่าตัวแปรการจัดเรียงทิศทางจะลดลงเมื่อเกิดการผันกลับของโพลาริเซชัน



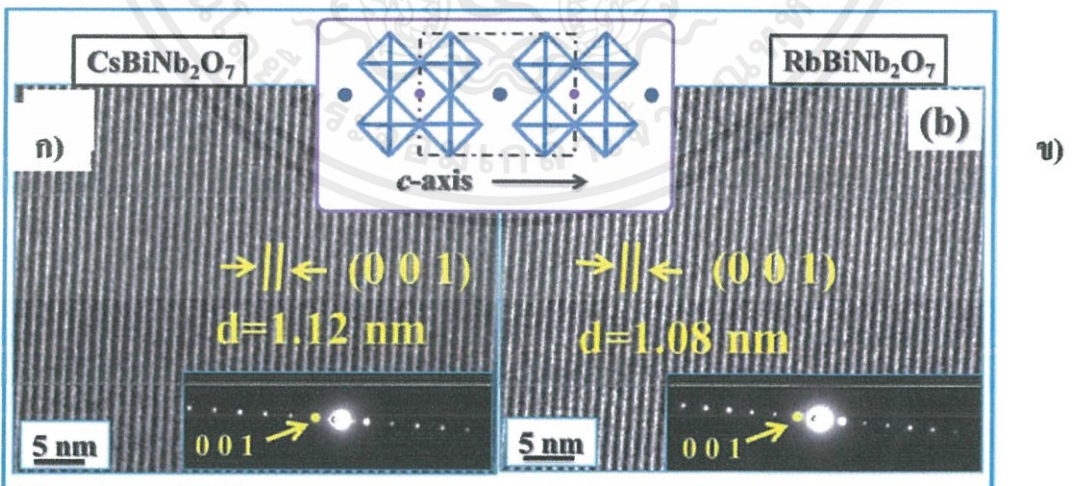
รูปที่ 2.39 แสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของทั้งสองสารประกอบ ABiNb_2O_7 (A=Rb Cs) [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 แสดงถึงรูปการวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของ ก) $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ และ ข) $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ [24]

ในรูปที่ 2.40 แสดงถึงผลวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดระดับอะตอม พบว่าทั้ง $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ (รูป 2.40ก) และ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ (รูป 2.40ข) สามารถวัดค่าได้เป็น 1.12 ± 0.02 nm และ 1.10 ± 0.02 nm รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนจะเห็นได้ดังรูป 2.40 ก) และ ข) เป็นเส้นตรงที่มีการสะท้อนกลับเป็นดัชนีที่ระนาบ (001) มีช่องว่าง D (d-spacing) ของแลตทิซ ระนาบ (001) ซึ่งสัมพันธ์กับความกว้างของ แกน c ที่หน่วยเซลล์ สามารถวัดค่าได้เป็น 1.13 ± 0.02 nm และ 1.10 ± 0.02 nm ของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ตามลำดับ

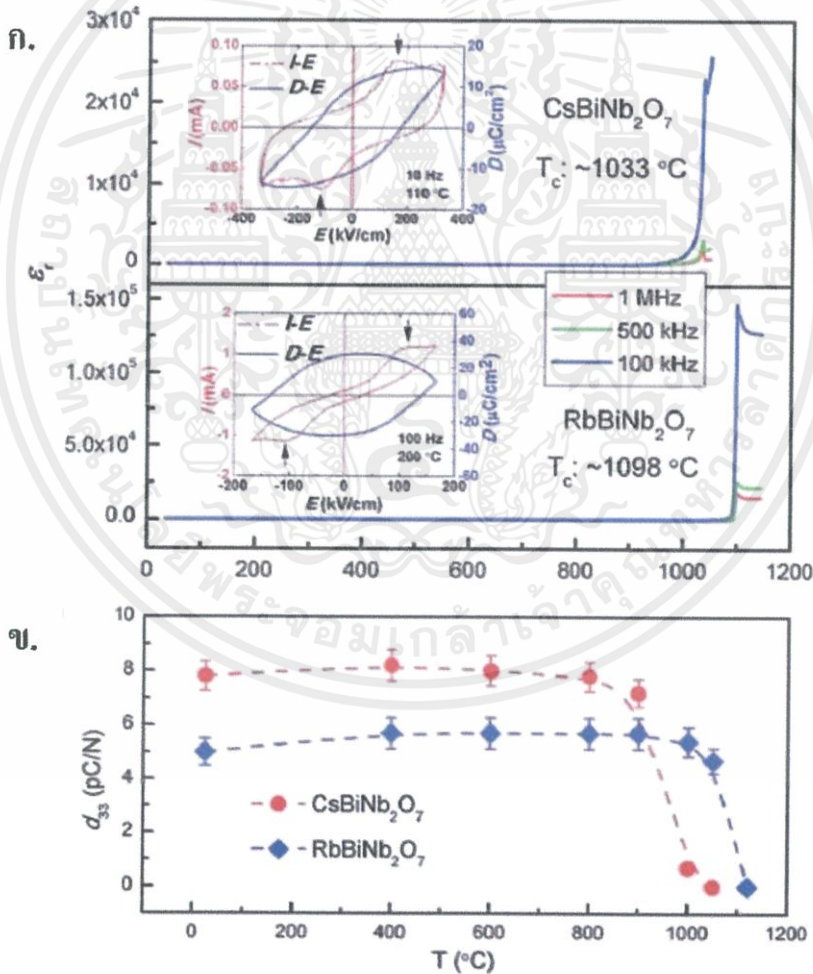


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.41 ผลวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดระดับอะตอมของ ก) $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ ใช้

และ ข) $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ [24]

อุณหภูมิขึ้นกับค่าไดอิเล็กทริกของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ จะแสดงดังรูป 2.41ก โดยอุณหภูมิคูรี (T_c) ของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ และ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ อยู่ที่ 1033 ± 5 และ 1098 ± 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่ามีอุณหภูมิคูรีที่สูงกว่างานวิจัยของ กอฟ และ เบาซ์ ลี จากรูปที่ 2.42 แสดงถึงค่ากระแสไฟฟ้าบังคับที่พลอตเทียบกับฮิสเทอรีซิสลูปของสารประกอบทั้งสองตัว สามารถวัดค่าได้ 110 องศาเซลเซียส ที่ 10 Hz สำหรับ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ และ 200 องศาเซลเซียส ที่ 100 Hz สำหรับ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ และค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริก (d_{33}) ที่อุณหภูมิห้องค่าของ $\text{CsBiNb}_2\text{O}_7$ ที่ 8 ± 0.5 pC/N และ ค่าของ $\text{RbBiNb}_2\text{O}_7$ ที่ 5 ± 0.5 pC/N ดังรูปที่ 2.42ข) สังเกตเห็นว่า ค่า d_{33} จะเสถียรเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการลดชั่วคราวและเริ่มลดลงเมื่อลดชั่วคราวจนอุณหภูมิใกล้เคียง T_c และมีแนวโน้มสูงกว่า T_c



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.42 ก) อุณหภูมิที่ขึ้นกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกภายใน I-E และ D-E ฮิสเทอรีซิสลูป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ข) ผลของอุณหภูมิลดชั่วคราว [24]

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์เซรามิกโดยโครงสร้างของสารในระบบไนโอเบต ($A'A''Nb_2O_7$) และแทนทาลेट ($A'A''Ta_2O_7$) เมื่อทั้งสองระบบมี $A = Ba$ และ K ตามลำดับ $A'' = Ca$ และ Bi ตามลำดับ โดยทำการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state solution) เพื่อทำการศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ผงผลึกให้มีความบริสุทธิ์สูง จากนั้นนำผงผลึกบริสุทธิ์ที่ได้มาเตรียมเป็นเซรามิก เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดย Thermal gravimetric analysis (TGA) และตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดเฟสโดย X-ray diffraction (XRD) การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพโดยการหาความหนาแน่น(\bar{D}) ค่าความสัมพัทธ์ (%TD) และการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของผงผลึกและเซรามิกที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวกับสารเคมีวัสดุอุปกรณ์กระบวนการเตรียมเซรามิก แสดงไว้ตามลำดับต่อไปนี้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$)
ความบริสุทธิ์มากกว่า 99.9 % ผลิตโดย บริษัท Inframmat ประเทศ สหรัฐอเมริกา
2. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)
ความบริสุทธิ์ 99.5 % ผลิตโดย บริษัท AnakaR
3. ไนโอเบียมเพนออกไซด์ (Nb_2O_5)
ความบริสุทธิ์ 99.9 % ผลิตโดย บริษัท Inframmat ประเทศ สหรัฐอเมริกา
4. แทนทาลัมเพนออกไซด์ (Ta_2O_5)
ความบริสุทธิ์ 99.9 % ผลิตโดย บริษัท Inframmat ประเทศ สหรัฐอเมริกา
5. โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต ($KHCO_3$)
ความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5 % ผลิตโดย บริษัท Sig Ma Life Science
6. บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3)
ความบริสุทธิ์มากกว่า 99.9 % ผลิตโดย บริษัท QREC ประเทศ สหรัฐอเมริกา
7. เอทานอล (CH_3CH_2OH)
ผลิตโดย องค์การสุรา กรมสรรพสามิต จังหวัดฉะเชิงเทรา
8. ผงอะลูมินา (Al_2O_3) ผลิตโดย TOA Matrix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม
2. ครอบพลาสติกพร้อมฝาปิด
3. ลูกบด Yttrium stabilized zirconia
4. กระดาษฟรอย (Foil)
5. ปีกเกอร์ ขนาด 600 และ 1000 มิลลิลิตร
6. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสาร ขนาด 5 เซนติเมตร
7. ซ้อนตักสาร
8. เทปพัน
9. ตะแกรง
10. ถ้วยอะลูมินาสำหรับเผาสาร (Alumina crucible)
11. ครอบตักสาร
12. เตาแผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
13. โถดูดความชื้น (Desiccators)
14. เครื่องบดย่อยผสมสาร
15. ตู้อบสาร
16. เตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง
17. เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA) ผลิตโดย Perkin Elmer
18. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ยี่ห้อ Bruker-AXS D8 Advance ผลิตโดย Perkin Elmer
19. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

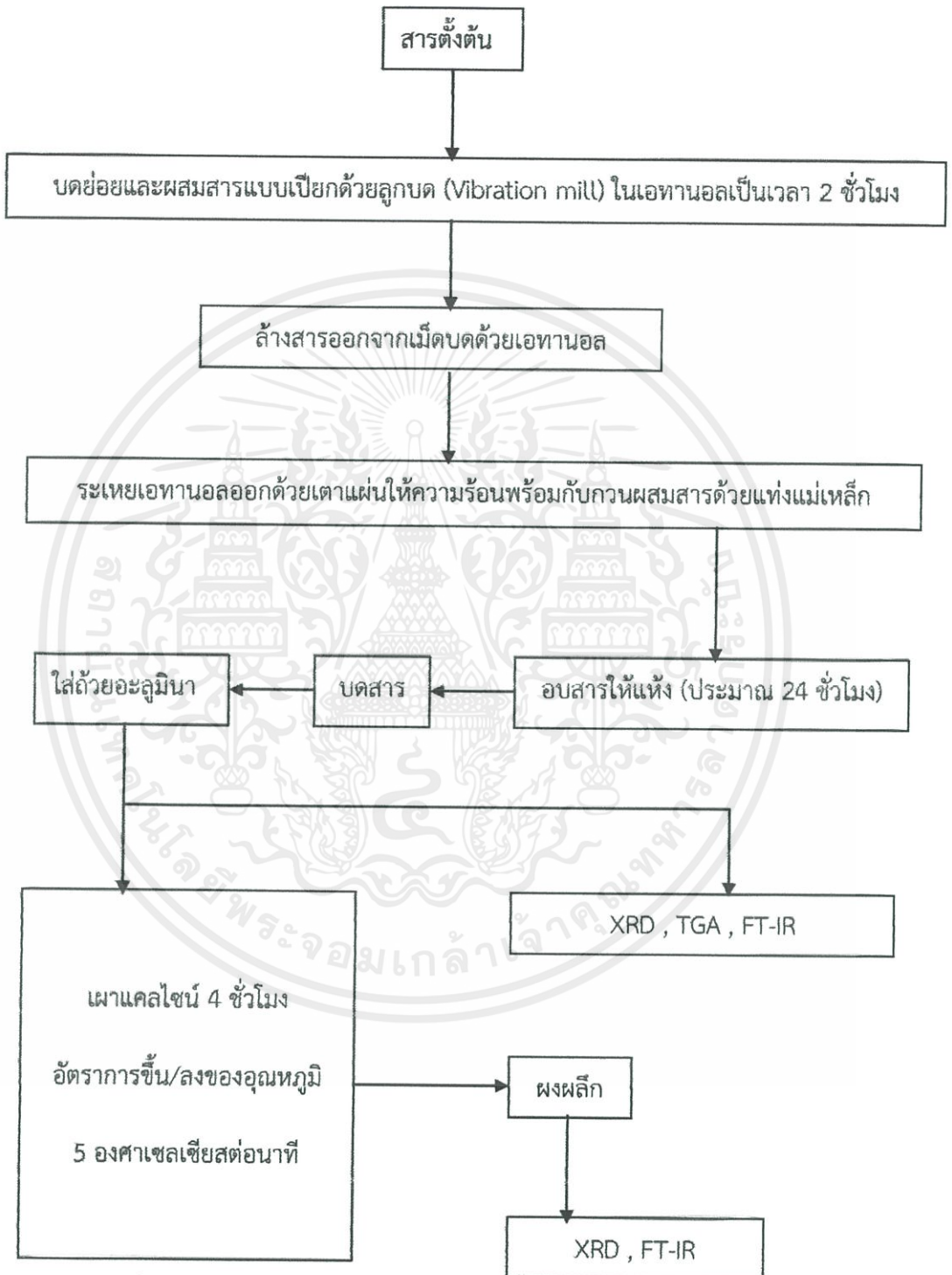
3.3 กระบวนการเตรียมผงผลึก

การเตรียมผงผลึกด้วยเทคนิคปฏิกิริยาสถานะของแข็ง แสดงแผนผัง 3.1 ทำการเตรียมผง

ผลึกโดยเทคนิคปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction) จากสารตั้งต้น ได้แก่

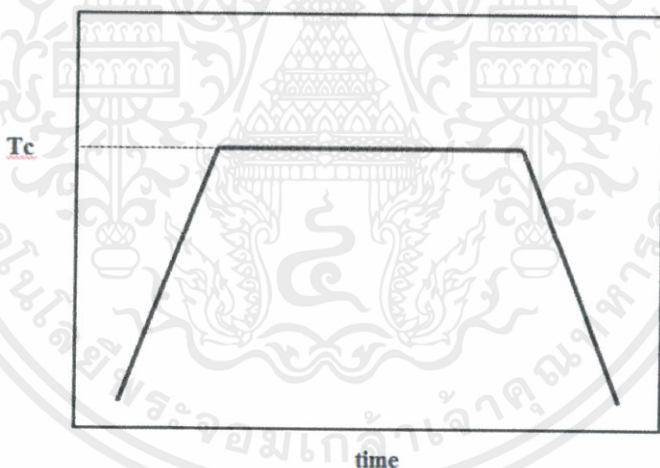


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 3.1** แผนผังกระบวนการเตรียมผงผลึกของวิธีปฏิบัติสถานะของแข็ง โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมผงผลึกเริ่มด้วยซังสารตั้งต้นตามสัดส่วนที่ทำการคำนวณ นำสารตั้งต้นมาใส่ในกระบอกพลาสติกที่ภายในกระบอกบรรจุด้วยลูกบด Yttrium stabilized zirconia ทั้ง 3 ขนาดที่ได้ผ่านการล้างมาแล้ว เติมน้ำตาลลงไปเพื่อช่วยในการหล่อลื่น ปิดด้วยฝารองแล้วใช้เทปพันรอบเกลียวของกระบอก จากนั้นปิดฝาให้สนิท นำไปบดย่อยผสมสารด้วยเครื่องบดย่อยผสมสาร (Vibration mill) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ทำการล้างสารออกจากเม็ดบดโดยล้างใส่ในบีกเกอร์ ใช้เอทานอลในการล้างสารออกจากเม็ดบด (ใช้ปริมาณเอทานอลให้น้อยที่สุด) นำบีกเกอร์ไประเหยเอาเอทานอลออกด้วยเตาแผ่นให้ความร้อน (Hot plate) พร้อมกับปั่นกวนผสมสารด้วยแท่งแม่เหล็ก จากนั้นนำไปอบ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) ให้แห้งสนิท นำสารไปบดให้ละเอียดแล้วใส่ลงในถ้วยอะลูมินาสำหรับใส่สาร เเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยอาศัยแผนผังการแคลไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากนั้นนำผงที่ได้ไปตรวจสอบชนิดของเฟสด้วยเทคนิค XRD TGA ต่อไป



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการเผาแคลไซน์ (T_c คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแคลไซน์) [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กระบวนการเตรียมเซรามิก

ทำการเตรียมเซรามิกโดยการนำผงที่เตรียมได้ครั้งละประมาณ 1.5 กรัม นำมาอัดขึ้นรูป (Pressing) โดยใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเป็นตัวประสาน (Binder) เพื่อให้ผงเกาะกันได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการขึ้นรูปให้ชิ้นงานมีลักษณะกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 13 มิลลิเมตร ทำการอัดในแม่พิมพ์โลหะด้วยเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกด้วยความดัน 3 ตัน เป็นเวลา 1 นาที เมื่อได้ชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปแล้ว นำไปเผาซินเตอร์โดยใช้ถ้วยอะลูมินาแบบสองชั้น (Double crucibles) โดยนำเอาชิ้นงานมาจัดเรียงในถ้วยอะลูมินาขนาดเล็ก จากนั้นทำการกลับชิ้นงานด้วยผง จากนั้นปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปใส่ถ้วยอะลูมินาขนาดใหญ่แล้วกลับทับด้วยผงอะลูมินา โดยบริเวณรอยต่อระหว่างถ้วยกับฝาของถ้วยอะลูมินาขนาดเล็กให้กลับด้วยผงอีกครั้งหนึ่ง เพื่อควบคุมบรรยากาศในการเผาและป้องกันการระเหยของสารออกจากชิ้นงานในระหว่างที่ทำการเผาให้มากที่สุด จากนั้นกลับด้วยผงอะลูมินาให้เต็มถ้วยอะลูมินาขนาดใหญ่ ปิดฝาให้สนิท จากนั้นนำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆต่อไป

ในกระบวนการเผาซินเตอร์ของเซรามิก จะต้องทำการเผาแช่ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ก่อนเพื่อกำจัด PVA ออกไป จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นต่อไปจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการเผาซินเตอร์ โดยทำการเผาแช่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.5 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน

การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนของผงผสมสารตั้งต้นที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์นั้นมีประโยชน์ในการหาช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแคลไซน์ โดยเฉพาะสารตัวอย่างที่ไม่ทราบมาก่อนจะทำให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่สารเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะช่วยในการเลือกช่วงอุณหภูมิของการแคลไซน์ให้เหมาะสม สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนด้วยเครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 วิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA)



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างเครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน

TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน โดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การตกผลึก (crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (Decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นกรณีอื่น ๆ ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในจะเป็นแก๊สเฉื่อยไนโตรเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

ช่วงอุณหภูมิในการวิเคราะห์	50 - 900 องศาเซลเซียส
อัตราการขึ้นของอุณหภูมิ	5 องศาเซลเซียส
ปริมาณของสารตัวอย่าง	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม
บรรยากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์	แก๊สไนโตรเจน (N_2)
อัตราการไหลของแก๊สของไนโตรเจน	20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.6 การตรวจสอบพฤติกรรมเกิดการเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)



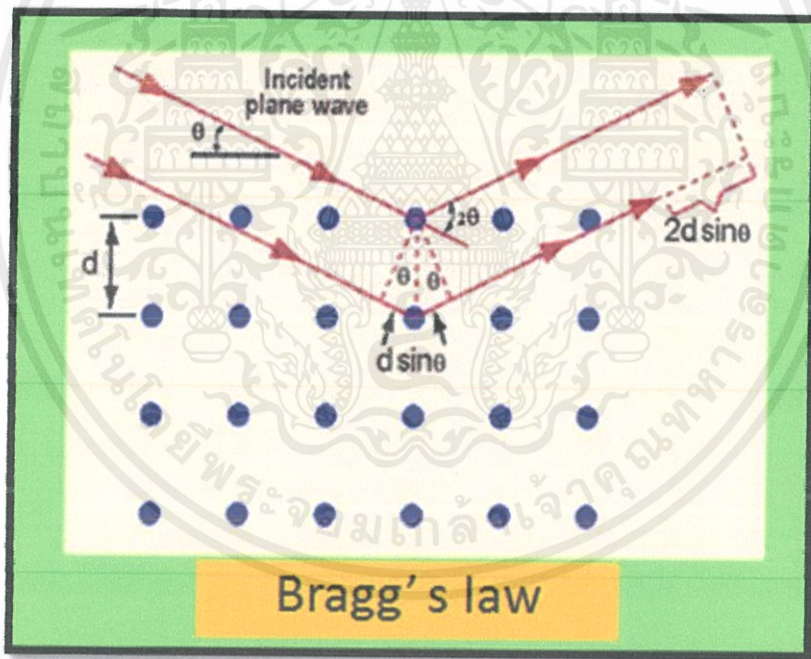
รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกครั้งที่มีการนำไปใช้

X-ray Diffractometer (XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวิวัฒนาการขององค์ประกอบของสารตัวอย่าง

หลักการและวิธีการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลึก

W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดว่าเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่ มุมตกกระทบเซตา รังสีเอกซ์บาง บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อนเซตาเท่ากับมุมตกกระทบ ดังแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ [26]

สมการดังกล่าว เรียกว่า " Bragg 's Law " $\longrightarrow 2d\sin\theta = n$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก $h k l$

θ คือ มุมที่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง n คือ เลขจำนวนเต็มใดๆ ($n = 1, 2, 3, \dots$) อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ มีค่า 1.5405 Å

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

อุณหภูมิในการวิเคราะห์	25 องศาเซลเซียส
Step up	0.02 องศา
Time step	1 sec

ข้อมูลที่ได้จากผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สามารถนำมาใช้หาองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้

3.7 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)



รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

หลักการของฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด เป็นเทคนิคที่ใช้แยกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่าง

ที่มีความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวอย่าง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล

และทำการดูดกลืนรังสี จำนวนแถบของการดูดกลืนทั้งหมดที่ได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสันมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลง เพราะมีแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด

ส่วนประกอบและลำดับการทำงานของเครื่องตรวจวัด



รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบและลำดับการทำงานของเครื่องตรวจวัด[Air Quality Analytical (Gasmeter-USA)2005]

แหล่งกำเนิดรังสีของอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ คือสารเฉื่อยที่ถูกทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิระหว่าง 1,000 – 1,800 องศาเซลเซียส

ตัวแยกรังสีแบบอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ มีหน้าที่แยกรังสีออกทำให้เกิดความต่างของระยะที่แสงเดินทาง (Path difference) ระหว่างลำแสง แล้วทำการรวมสัญญาณการแทรกสอดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความต่างของระยะที่แสงเดินทางโดยเครื่องตรวจวัด

เครื่องตรวจวัดทำหน้าที่ประมวลผลจากสัญญาณการแทรกสอดที่ส่งผ่านมาจากตัวแยกรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

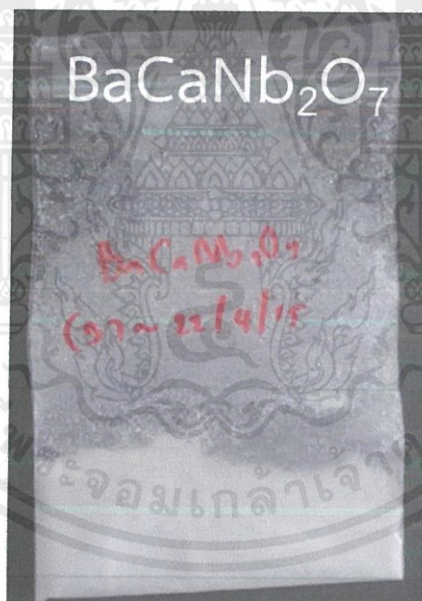
บทที่ 4

ผลวิจัยและอภิปรายผลวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการเตรียมผงผลึกเซรามิกของสารในระบบแบบเรียบแคลเซียมไนโอเบต ระบบแบบเรียบแคลเซียมแทนทาลิต ระบบโพแทสเซียมบิสมาทไนโอเบต และระบบโพแทสเซียมบิสมาทแทนทาลิต โดยสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งเพื่อให้ได้ผงผลึกโดยมีการแสดงผลการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของผงผลึกและสมบัติทางไฟฟ้าของผงผลึกที่เตรียมได้ซึ่งจะอภิปรายผลการทดลองที่ได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$

$\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยมีการผสมระหว่างสารตั้งต้นคือ BaCO_3 CaCO_3 และ Nb_2O_5



รูปที่ 4.1 แสดงผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$

ซึ่งเมื่อได้ผงผลึกที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งแล้วจะนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ

เอกสารต่างกันโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150 และ 1300 องศาเซลเซียส

ไม่ว่าก็ตามลำดับนี้ ดังรูปที่ 4.2 มิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงผลึกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิที่ต่างกันของระบบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$

ซึ่งจากรูปที่ 4.2 เมื่อทำการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิที่ต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 800-1300 องศาเซลเซียส แสดงสมบัติทางกายภาพของ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ มีลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ ผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150 องศาเซลเซียสนั้นมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว แต่เมื่อผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส พบว่ามีสีขาวแต่ลักษณะเป็นก้อนแข็งขึ้น ไม่เป็นผงละเอียด แต่เมื่อทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส อัตราการขึ้นลงอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาที และทำการ hold เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า สารที่นำไปทำการแคลไซน์นั้นเกิดการหลอมเหลวติดครูลิเบิล

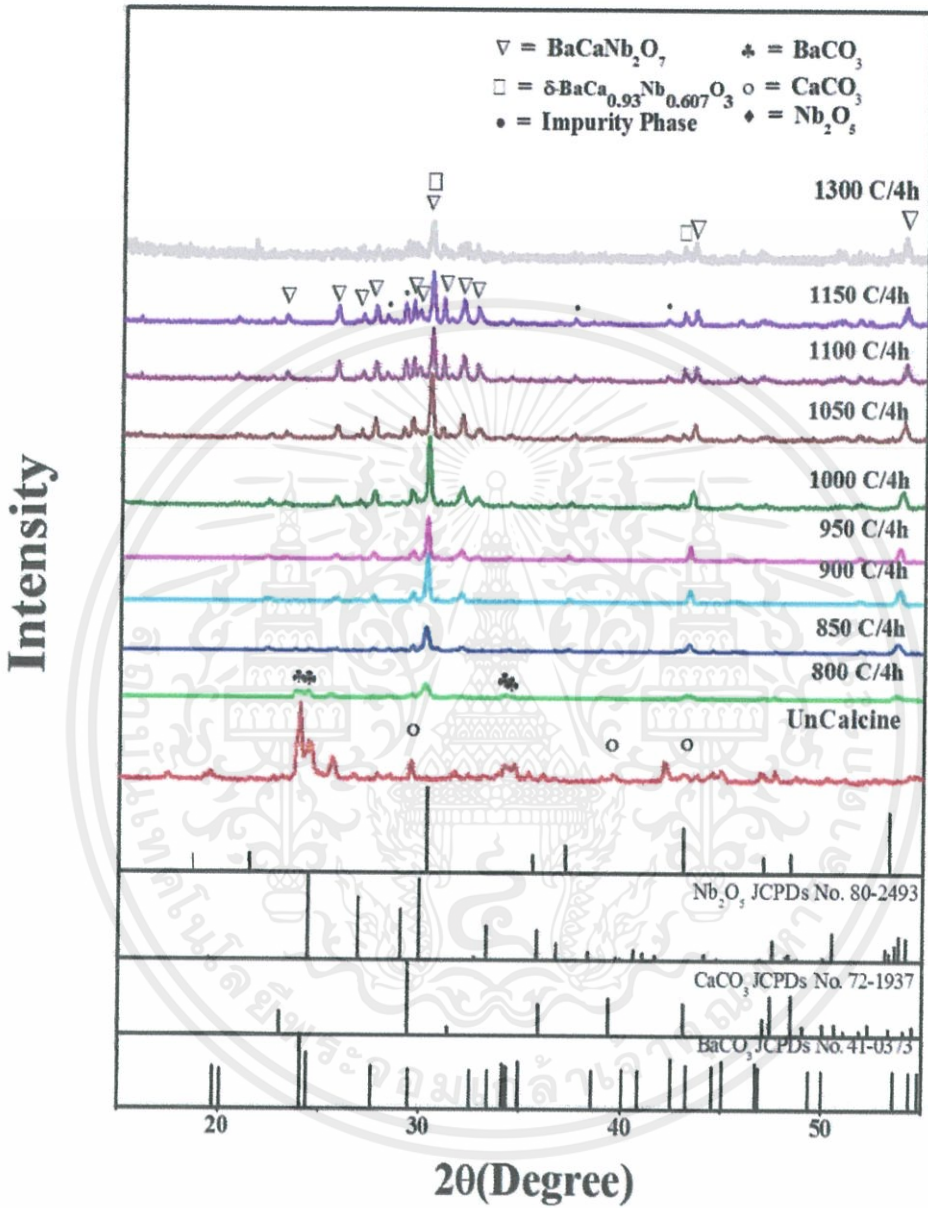
จึงทำให้ทราบว่า การเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียสนั้น ไม่ใช่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการ
แคลไซน์ดังรูปที่ 4.3 อาจเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการเผานั้นสูงเกินไปทำให้เกิดการหลอม



รูปที่ 4.3 แสดงรูปสารที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
(X-ray diffraction ; XRD)



รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ ที่สังเคราะห์จากวิธีปฏิบัติสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1300

องศาเซลเซียส

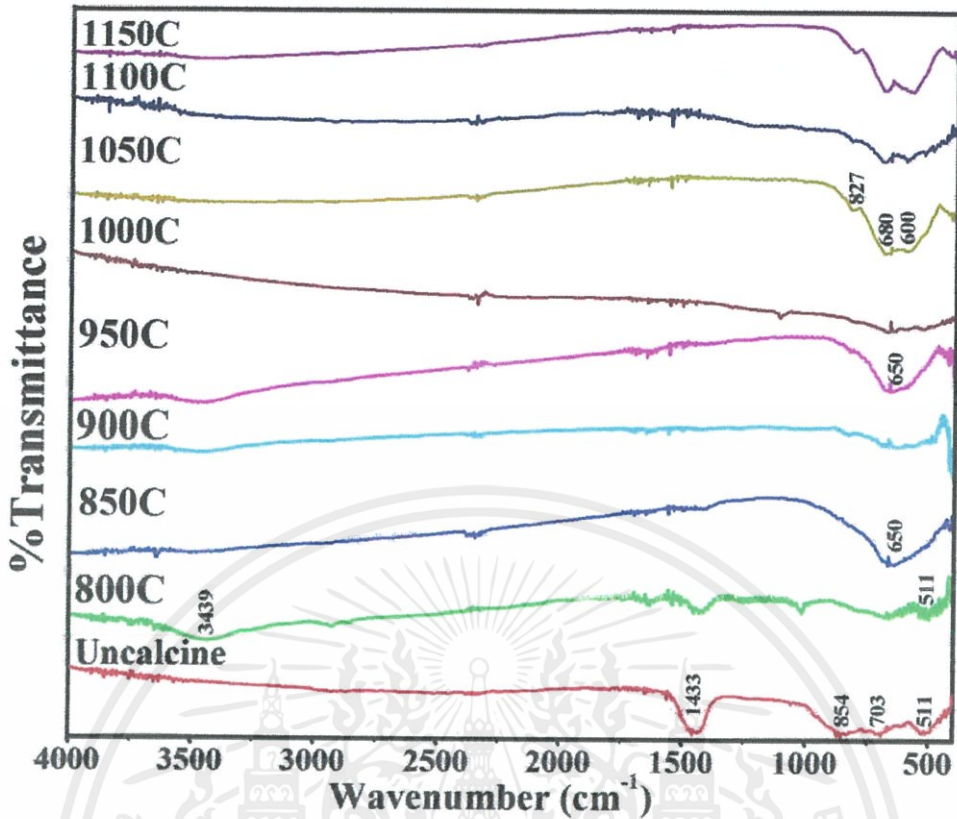
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสังเคราะห์ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ จะต้องใช้สารตั้งต้นทั้งหมด 3 ตัวในการสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ BaCO_3 , CaCO_3 , Nb_2O_5 ดังสมการ $\text{BaCO}_3 + \text{CaCO}_3 + \text{Nb}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ แล้วนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิตั้งแต่ 800 – 1300 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่จะเกิดเฟสบริสุทธิ์ของ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ พบว่าที่ยังไม่ได้แคลไซน์จะพบเฉพาะพิกที่สอดคล้องกับแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3 JCPDs file no. 41-0373, ♣) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 JCPDs file no.1937 ○) และไนโอเบียมเพนออกไซด์ (Nb_2O_5 JCPDs file no. 80.2493, ▽) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ยังคงพบพิกของสารตั้งต้นอยู่ และเริ่มเกิดเฟสของผลิตภัณฑ์ ($\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$, ◆) เกิดขึ้น ซึ่งมีความเข้มของผลิตภัณฑ์มากขึ้นจนถึง 1150 องศาเซลเซียส แต่ยังคงพบพิกของเฟสที่ไม่บริสุทธิ์ (●) และที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส พบพิกของผลิตภัณฑ์ ($\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$, ▽) และเกิดทุติยภูมิเฟส ($\text{Ba}_{0.93}\text{Ca}_{0.07}\text{Nb}_2\text{O}_7$, □)

4.1.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

เมื่อทำการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ ด้วยกระบวนการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จากนั้นนำผงผลึกไปทำการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส และตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ทำโดยนำสารตัวอย่างมาทำการอัดเม็ดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide, KBr) เนื่องจากโพแทสเซียมโบรไมด์เป็นสารเฉื่อยที่ยอมให้คลื่นรังสีอินฟราเรดส่องผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทมิเตอร์ของผงผลึก $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ ที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 800-1150 องศาเซลเซียส โดยเส้นสเปกตรัมของสารที่ยังไม่ผ่านการเผาแคลไซน์นั้น พบพีคการดูดกลืนที่ 511 703 และ 854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ จิลานและคณะ (J.L Yang et al.) [16] พบพีคการดูดกลืนที่ 1433 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ มิลเลอร์ และคณะ (F.A. Miller et al) [16,17] เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 511 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืน 1433 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นของพันธะคาร์บอเนต พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 650 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้น

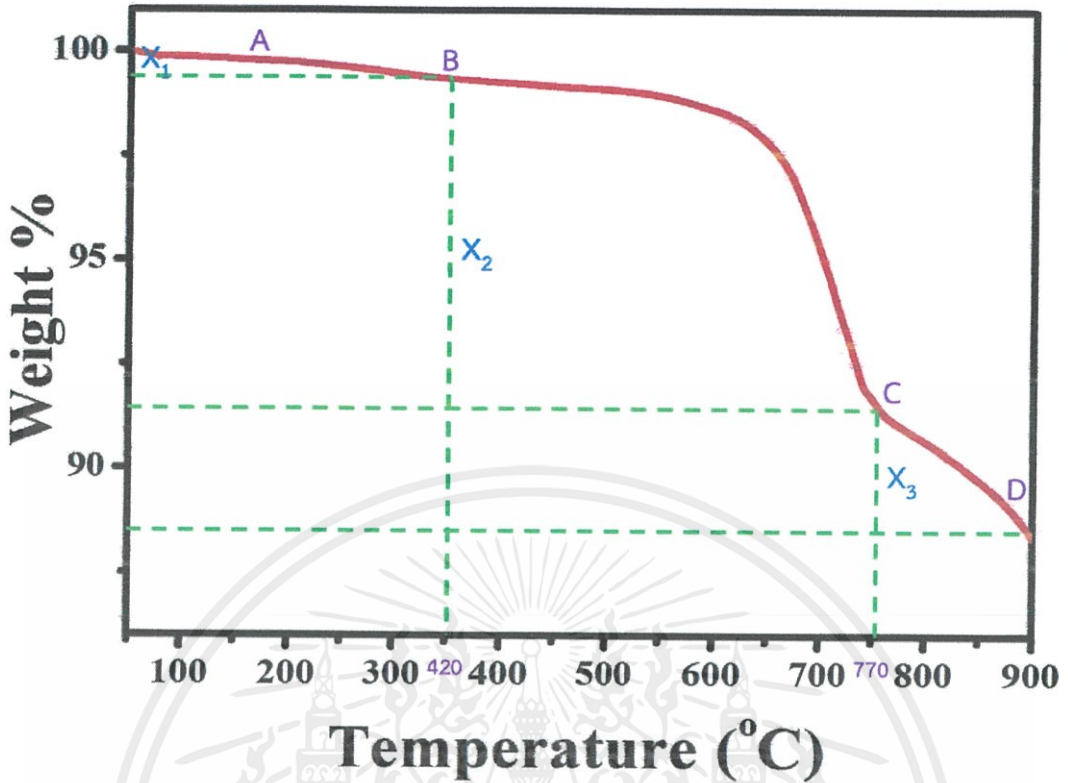
สเปกตรัมที่เผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 650 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 650 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 650 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ $600\ 680$ และ 827 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ $600\ 680$ และ 827 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ และเส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ $600\ 680$ และ 827 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล

4.1.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA

เมื่อสังเคราะห์ผลึกในระบบ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จึงนำไปตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์ความเสถียรของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมไนโอเบต จะพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมไนโอเบต (BaCaNb₂O₇) ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 ถึง 900 องศาเซลเซียส

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมไนโอเบต พบว่า

ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 - 420 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X₁) คือ 100 - 99.4 = 0.6 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เศษขวดพลาสติกในระหว่างการสังเคราะห์เกิดการสลายตัว [18]

ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 400 - 770 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X₂) คือ 99.4 - 91.2 = 8.2 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO₃) เกิดการสลายตัวดังสมการ



ช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 770 - 900 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X₃)

คือ 91.2 - 88 = 3.2 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการสลายตัวดังสมการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$

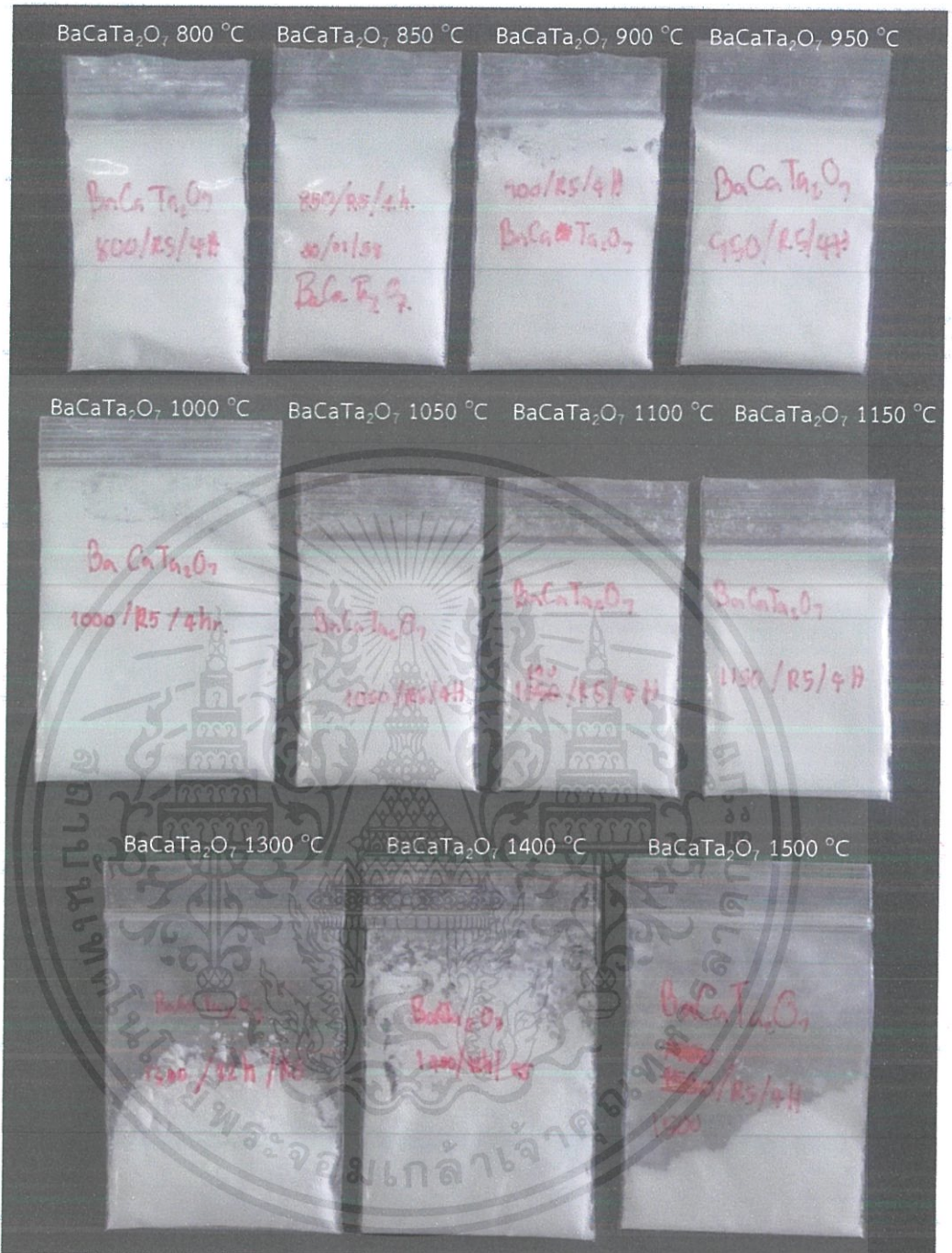
$\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ จะถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยมีการผสมระหว่างสารตั้งต้น BaCO_3 CaCO_3 และ Ta_2O_5



รูปที่ 4.7 แสดงผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$

ซึ่งเมื่อได้ผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งแล้วจะนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างกันโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150 1300 1400 และ 1500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงผลึกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างกันของระบบ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$

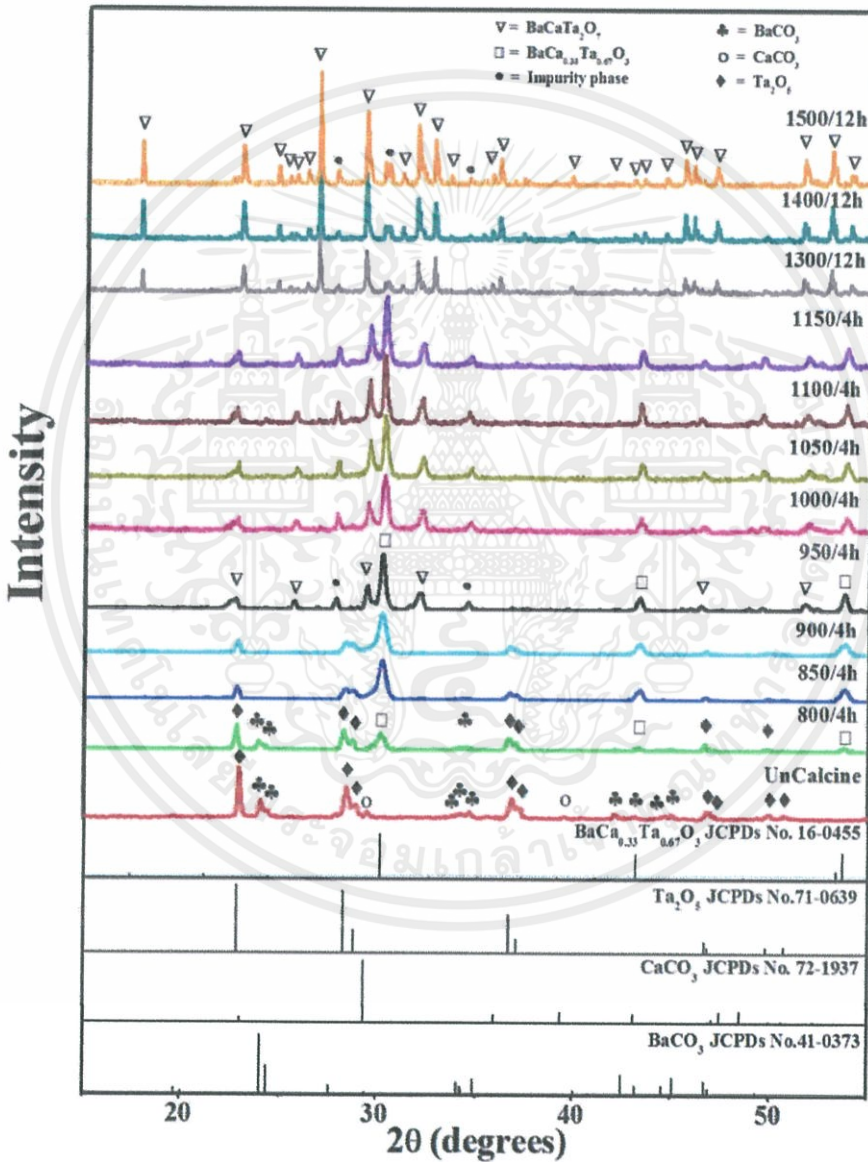
ซึ่งจากรูปที่ 4.8 เมื่อทำการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิที่ต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 800-1500

องศาเซลเซียส แสดงสมบัติทางกายภาพของ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ มีลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา

เปล่า คือ ผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 1150

1300 และ 1400 องศาเซลเซียสนั้น มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว แต่เมื่อผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส พบว่ามีสีขาวแต่ลักษณะเป็นก้อนแข็งขึ้น ไม่เป็นผงละเอียด

4.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction ; XRD)



รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก $BaCaTa_2O_7$ ที่สังเคราะห์จากวิธี

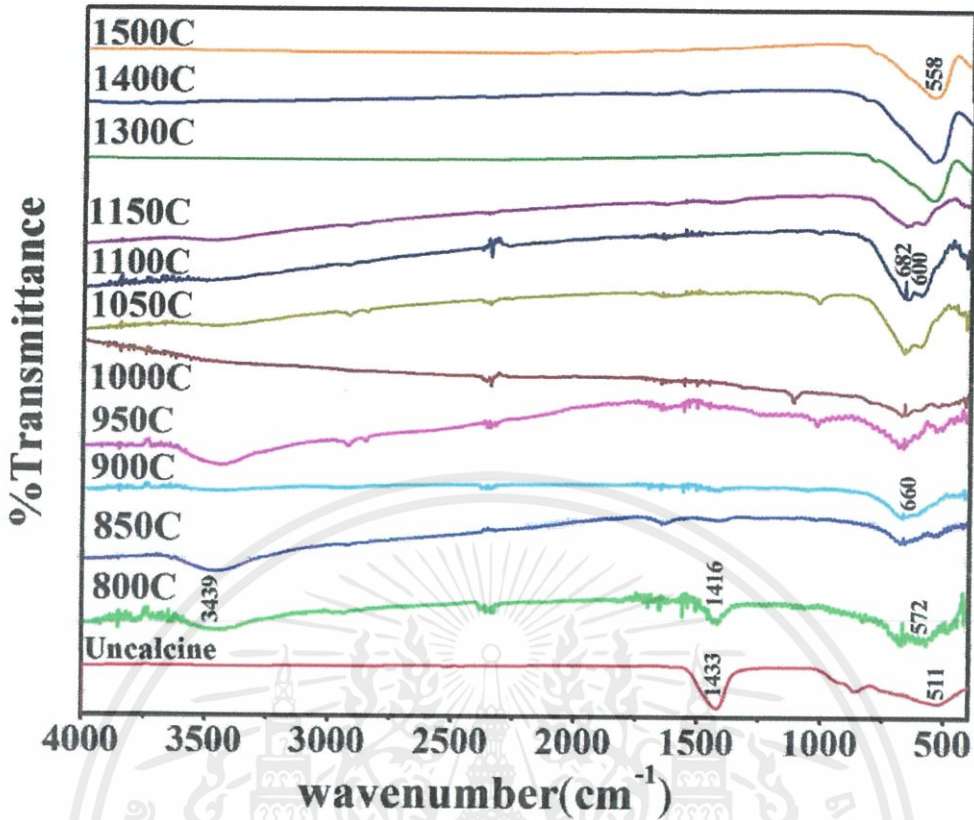
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปฏิบัติงานสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1500 องศาเซลเซียส ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งนี้หากมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสังเคราะห์ $BaCaTa_2O_7$ จะใช้สารตั้งต้นทั้งหมด 3 ตัวในการสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ $BaCO_3$, $CaCO_3$, Ta_2O_5 ดังสมการ $BaCO_3 + CaCO_3 + Ta_2O_5 \rightarrow BaCaTa_2O_7$ แล้วนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิตั้งแต่ 800 – 1500 องศาเซลเซียสเพื่อหาอุณหภูมิที่จะเกิดเฟสบริสุทธิ์ของ $BaCaTa_2O_7$ พบว่ายังไม่ได้ทำการแคลไซน์จะพบเฉพาะพิกที่สอดคล้องกับแทนทาลัมเพนออกไซด์ (Ta_2O_5 JCPDs file no. 71-0639, ◆) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$ JCPDs file no. 41-0373, ♣) และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$ JCPDs file no. 72-1937, ○) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ยังคงพบพิกของสารตั้งต้นอยู่และเกิดหุติยภูมิเฟสขึ้น ($BaCa_{0.33}Ta_{0.67}O_3$ JCPDs file no. 16-0455, ▽) ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส พบพิกของเฟสที่ไม่บริสุทธิ์ (●) พบพิกของแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट ($BaCaTa_2O_7$, □) ซึ่งเป็นเฟสของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและความเข้มของพิกจะมีความเข้มเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียสเกิดความสมบูรณ์ของเฟสผลิตภัณฑ์มากขึ้น และมีความเข้มพิกที่เข้มขึ้นเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส แต่ก็ยังพบพิกของเฟสที่ไม่บริสุทธิ์อยู่

4.2.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

เมื่อทำการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $BaCaTa_2O_7$ ด้วยกระบวนการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จากนั้นนำผงผลึกไปทำการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส และตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ของผงผลึก $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ 800-1150°C

รูปที่ 4.10 แสดงถึงฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ที่ยังไม่ได้ผ่านการแคลไซน์และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิที่ 800-1150 องศาเซลเซียส โดยเส้นสเปกตรัมของสารที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์นั้น พบพีคการดูดกลืนที่ 511 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพีคการดูดกลืนที่ 1433 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) [19] ต่อมาเส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 572 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของ Ta-O พบพีคการดูดกลืนที่ 1416 cm^{-1} เป็นการสั่นของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 511 และ 660 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของ Ta-O พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 660 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O

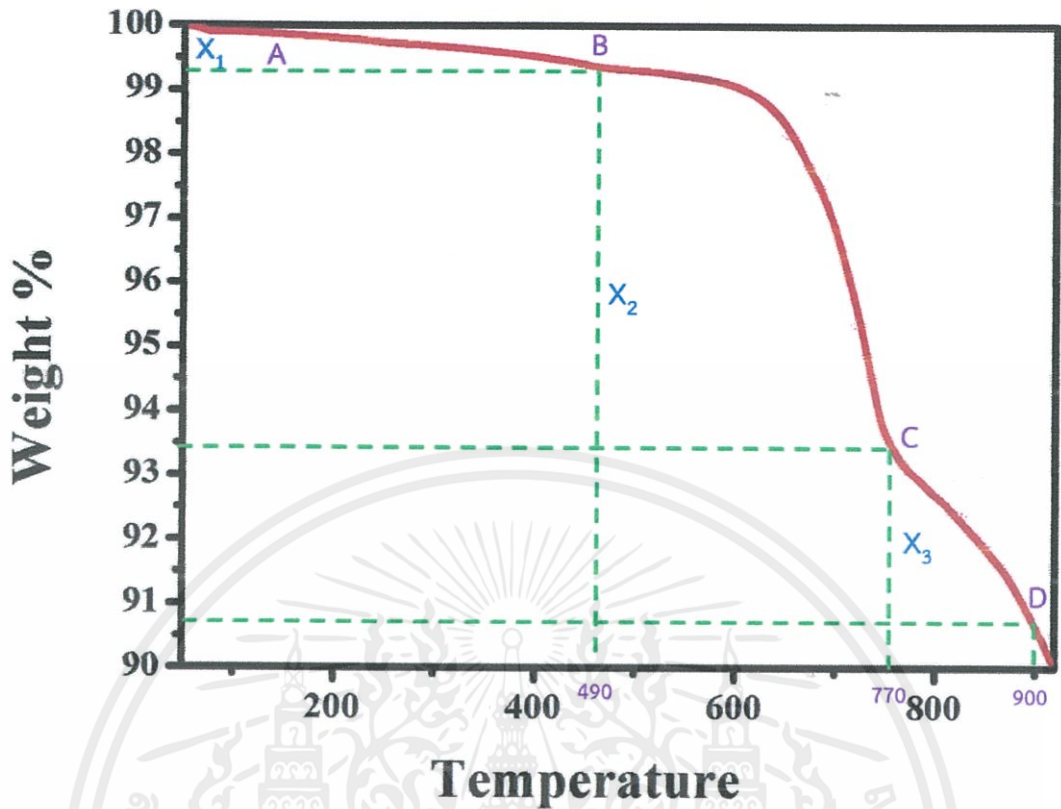
เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 950 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 511 และ 660 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพิคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1000 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 660 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพิคการดูดกลืนที่ 1110 cm^{-1} เป็นการสั่นของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอนเนต เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1050 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 660 และ 682 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพิคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่ง เป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1100 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 600 และ 682 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพิคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่ง เป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1150 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 660 และ 680 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพิคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่ง เป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1300 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 558 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1400 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 558 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O และเส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิจึง 1500 องศาเซลเซียส พบพิคการดูดกลืนที่ 558 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O

4.2.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA

เมื่อสังเคราะห์ผลึกในระบบ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จึงนำไปตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์ความเสถียรของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेटพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट ($\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$) ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 ถึง 900 องศาเซลเซียส

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट พบว่า ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 – 490 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ $100 - 99.4 = 0.6$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เศษขดพลาสติกในระหว่างการสังเคราะห์เกิดการสลายตัว [20]

ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 490 – 770 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ $99.4 - 93.3 = 6.1$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) เกิดการสลายตัวดังสมการ



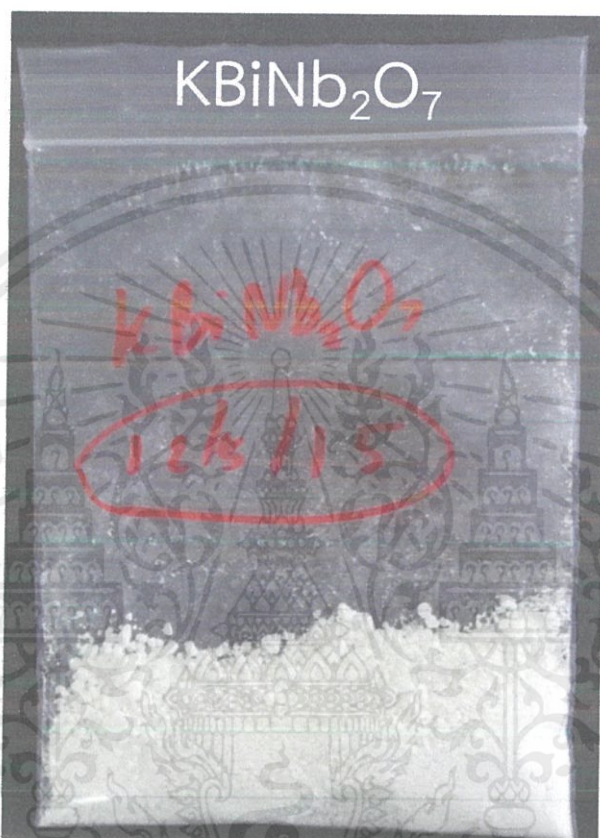
ช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 770 – 900 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3) คือ $99.3 - 90.7 = 8.6$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการสลายตัวดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและเพื่อเผยแพร่ความรู้ไปยังผู้เกี่ยวข้องในวงกว้าง โดยไม่หวังกำไรและไม่มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จึงขอรบกวนให้แจ้งเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ KBiNb_2O_7

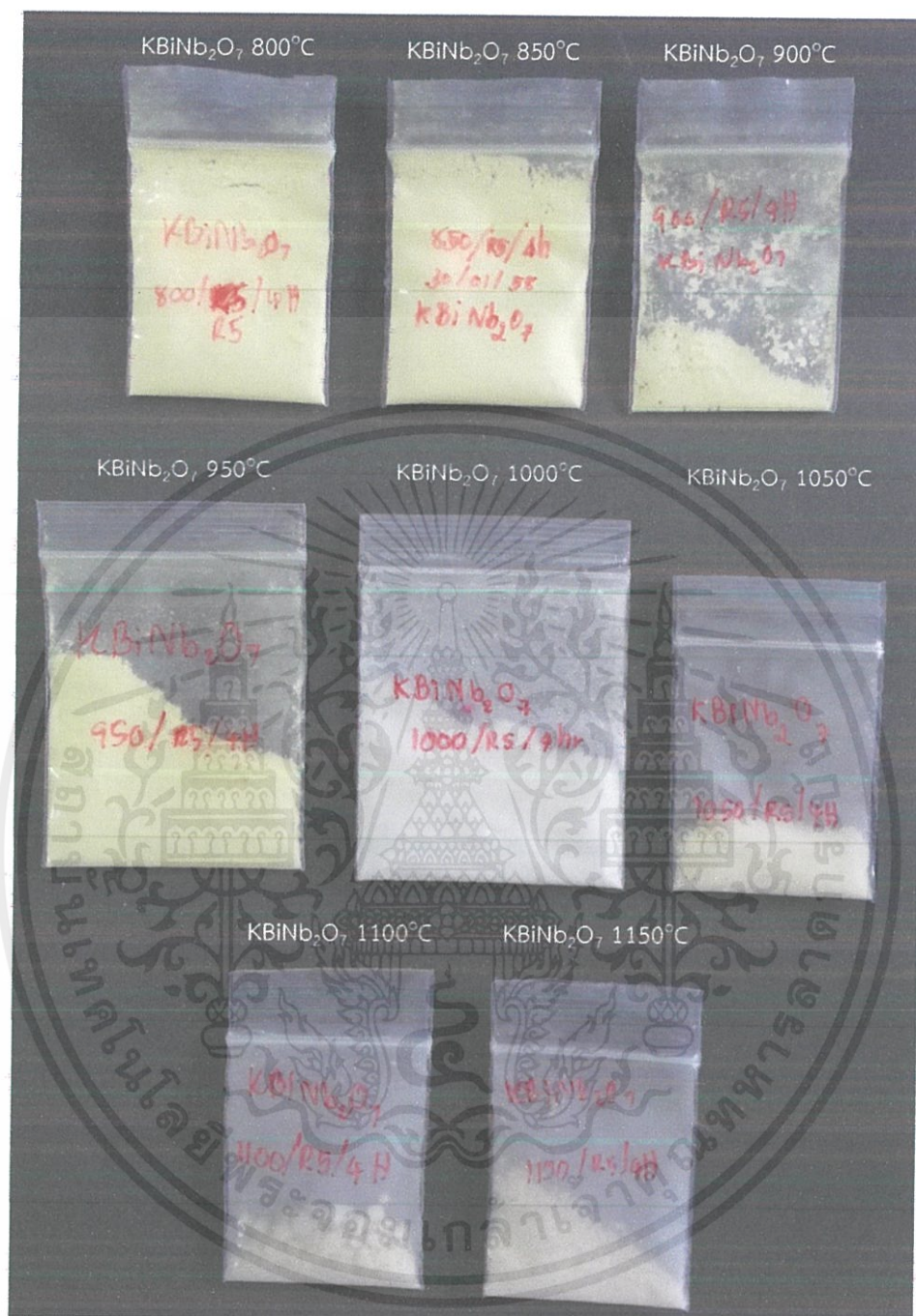
โพแทสเซียมบิสมัทไนโอเบตจะถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยมีการผสมระหว่างสารตั้งต้น KHCO_3 , Bi_2O_3 และ Nb_2O_5



รูปที่ 4.12 แสดงผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ KBiNb_2O_7

ซึ่งเมื่อได้ผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งแล้วจะนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างกันโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 และ 1150 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

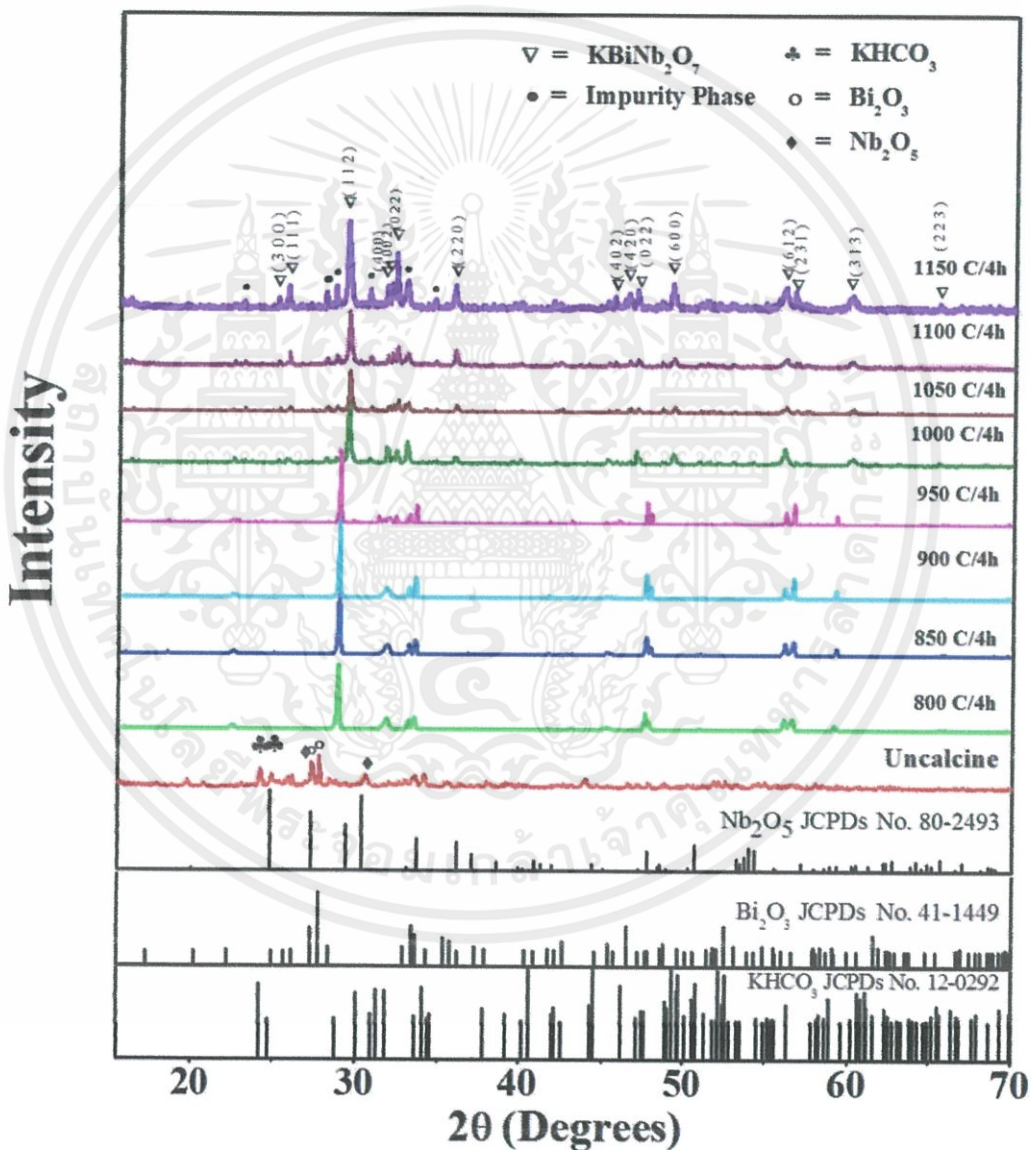


รูปที่ 4.13 แสดงผลึกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างกันของระบบ KBiNb_2O_7

ซึ่งจากรูปที่ 4.13 เมื่อทำการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิที่ต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 800-1500 องศาเซลเซียส แสดงสมบัติทางกายภาพของ KBiNb_2O_7 มีลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ก็คงห้ามมิให้ดูเปล่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ คือ ผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 และ 1050 องศาเซลเซียส

นั้นมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลือง แต่เมื่อผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส พบว่ามีสีเหลืองแต่ลักษณะเป็นก้อนแข็งขึ้น ไม่เป็นผงละเอียด

4.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction ; XRD)



รูปที่ 4.14 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก KBiNb_2O_7 ที่สังเคราะห์จากวิธีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปฏิบัติงานของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์ และผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส

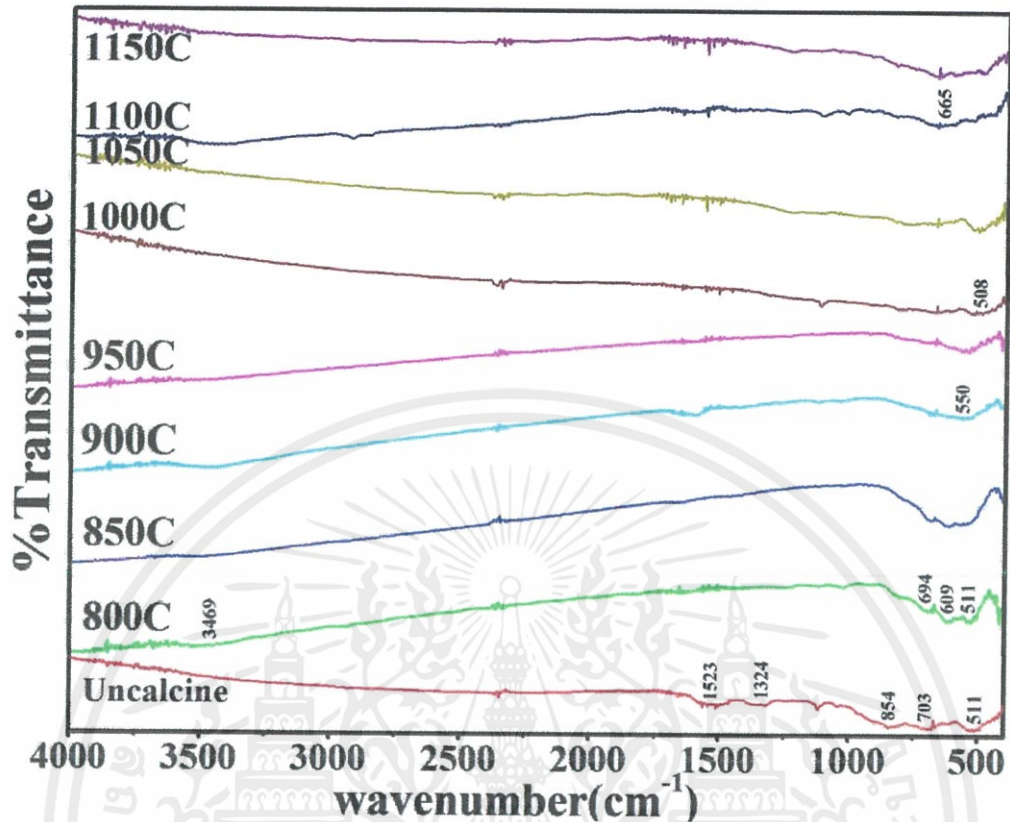
ในการสังเคราะห์ KBiNb_2O_7 จะใช้สารตั้งต้นทั้งหมด 3 ตัวในการสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ KHCO_3 , Bi_2O_3 , Nb_2O_5 ดังสมการ $\text{KHCO}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Nb}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{KBiNb}_2\text{O}_7$ แล้วนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิ ตั้งแต่ 800 – 1500 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่จะเกิดเฟสบริสุทธิ์ของ KBiNb_2O_7 พบว่าที่ยังไม่ได้แคลไซน์จะพบเฉพาะพีคที่สอดคล้องกับโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3 JCPDs file no.12-0292 , \clubsuit) บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3 JCPDs file no. 41-1449 , \circ) ไนโอเบียมเพนออกไซด์ (Nb_2O_5 JCPDs file no. 80-2493 , \blacklozenge) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดพีคของผลิตภัณฑ์ (KBiNb_2O_7 , ∇) ซึ่งมีความเข้มพีคมากขึ้นเรื่อยๆจนถึง 1150 องศาเซลเซียส โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของเบาช์ ลี และคณะ ซึ่งตรงกับรูปที่ 2.27ก

สามารถสรุปได้ว่า ในการสังเคราะห์สารประกอบประเภท KBiNb_2O_7 ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียสมีการฟอร์มเฟสโครงสร้างดีออน จากคือป็นมากที่สุด

4.3.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ (FT-IR)

เมื่อทำการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ KBiNb_2O_7 ด้วยกระบวนการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จากนั้นนำผงผลึกไปทำการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส และตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ของ ผงผลึก KBiNb_2O_7 ที่ไม่ผ่านการแคลไซน์และที่เผาแคลไซน์ในช่วงอุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.15 แสดงฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร KBiNb_2O_7 ที่ยังไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 800-1150 องศาเซลเซียส โดยเส้นสเปกตรัมของสารที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์นั้น พบพีคการดูดกลืนที่ 511 703 และ 854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล [16] พบพีคการดูดกลืนที่ 1324 และ 1523 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของ โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3) [17] ต่อมาเส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 511 609 และ 694 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ 3469 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 511 609 และ 694 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 550 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ 3469 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของ

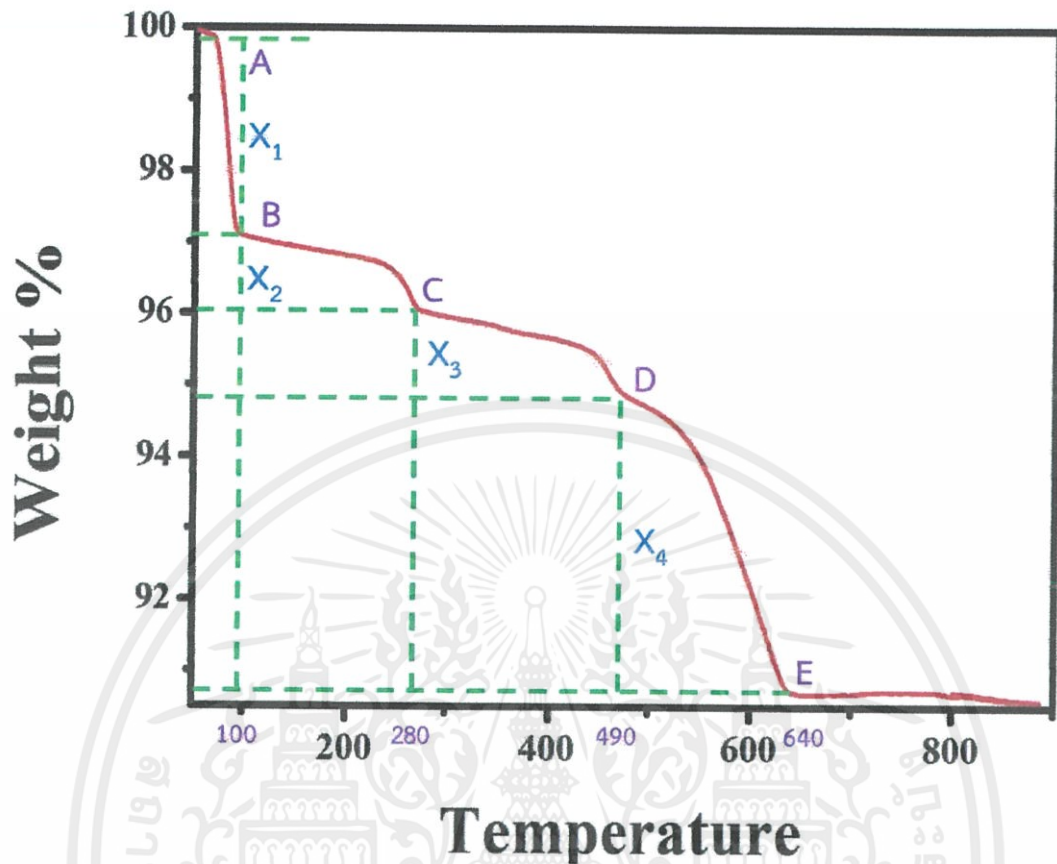
น้ำ เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 550 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 508 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 508 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล เส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 665 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ 3469 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ และเส้นสเปกตรัมที่เฝ้าแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 665 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล

4.3.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA

เมื่อสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ KBiNb_2O_7 ด้วยวิธีปฏิบัติกิจวิธานของแข็ง จึงนำไปตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์ความเสถียรของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบโพแทสเซียมบิสมาทไนโอเบตพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบโพแทสเซียมบิสมัทไนโอเบต (KBiNb_2O_7) ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 ถึง 900 องศาเซลเซียส

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट พบว่า ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 – 100 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ $100 - 97.1 = 2.9$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่น้ำเกิดการสลายตัว

ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 100 - 280 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ $97.1 - 96 = 1.1$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3) เกิดการสลายตัวดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

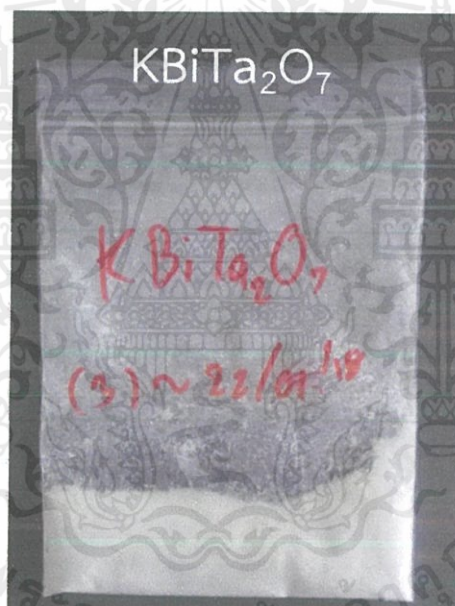
ช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 280 - 490 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3)

คือ $96 - 94.8 = 1.2$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เศษขวดพลาสติกในระหว่างการสังเคราะห์เกิดการสลายตัว [18]

ช่วง D ถึง E อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 490 - 640 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_d) คือ $94.8 - 90.7 = 4.1$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เกิดการสลายตัว

4.4 ความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ $KBiTa_2O_7$

โพแทสเซียมบิสมาทแทนหาเลตจะถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งโดยมีการผสมระหว่างสารตั้งต้น $KHCO_3$, Bi_2O_3 และ Ta_2O_5



รูปที่ 4.17 แสดงผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งของระบบ $KBiTa_2O_7$

ซึ่งเมื่อได้ผงผลึกที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาสถานะของแข็งแล้วจะนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างกันโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 และ 1150 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงผงผลึกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิต่างกันของระบบ KBiTa_2O_7

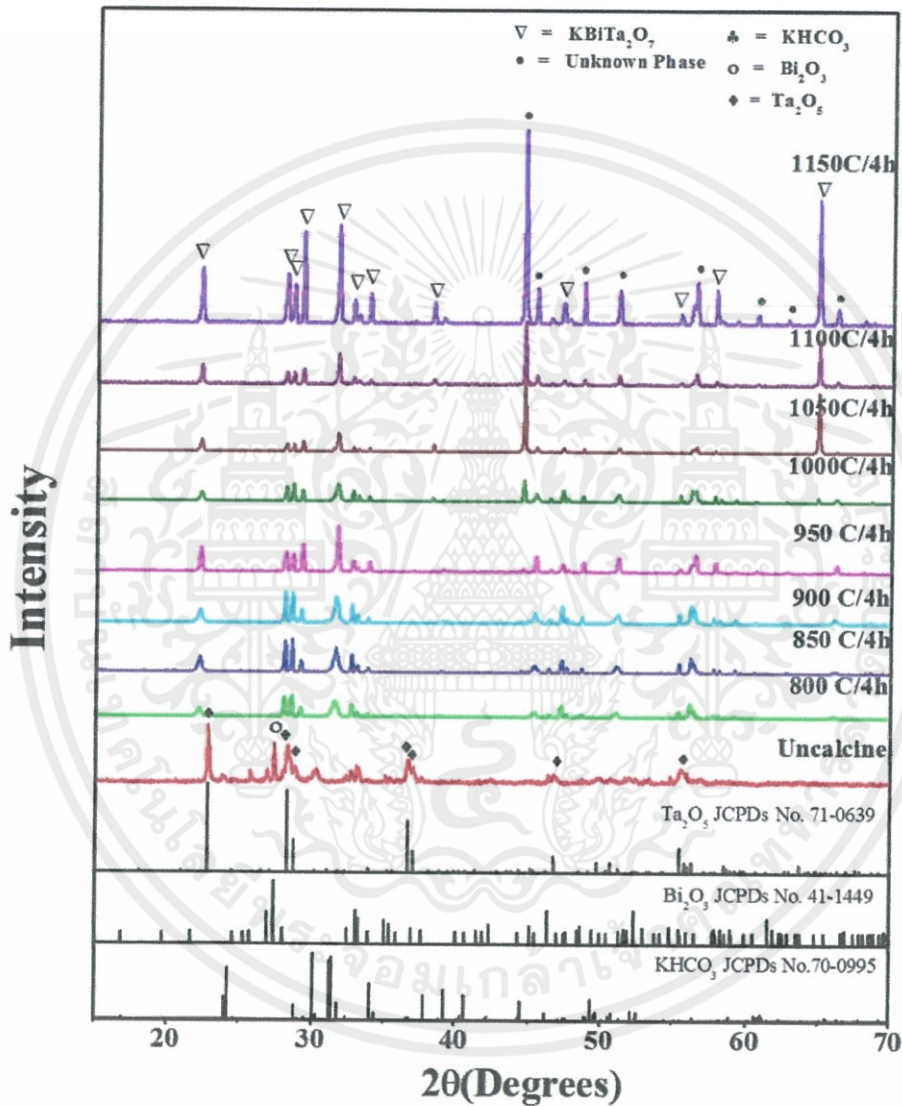
ซึ่งจากรูปที่ 4.18 เมื่อทำการเผาแคลไซน์ในอุณหภูมิที่ต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 800-1500

องศาเซลเซียส แสดงสมบัติทางกายภาพของ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ มีลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ ผงผลึกที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 850 900 950 1000 1050 1100 และ 1150 องศาเซลเซียสนั้น มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลือง แต่เมื่อผ่านการเผา

แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส พบว่ามีสีเหลืองแต่ลักษณะเป็นก้อนแข็งขึ้น ไม่เป็นผงละเอียด

4.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

(X-ray diffraction ; XRD)



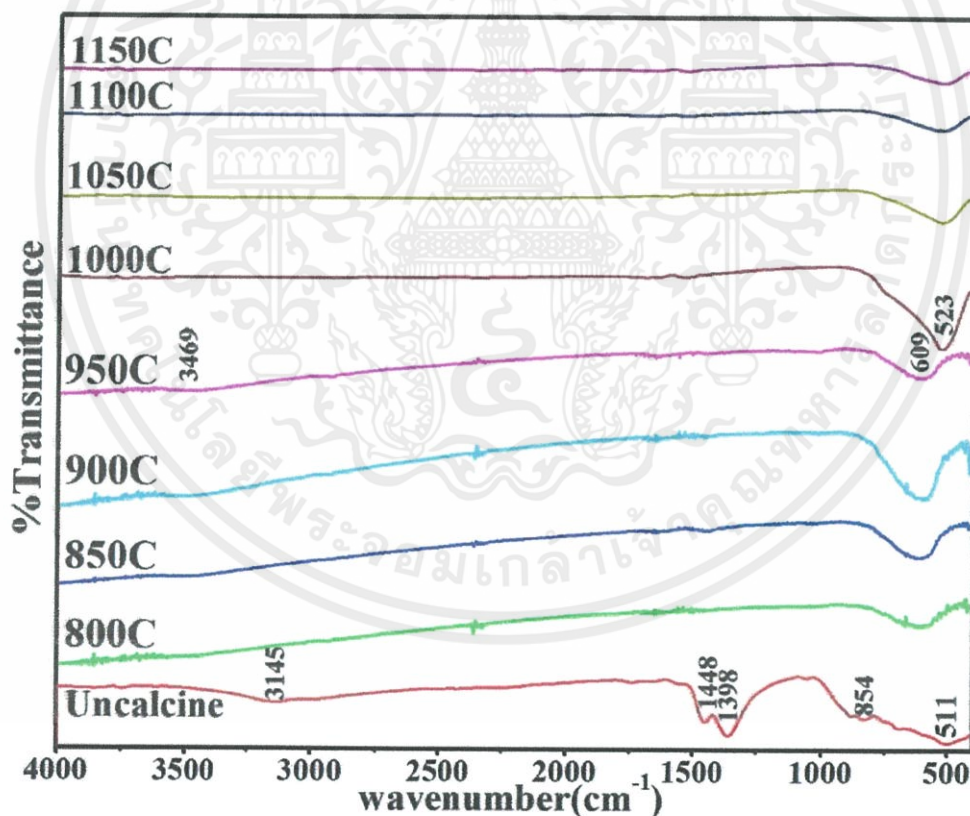
รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึก KBiTa_2O_7 ที่สังเคราะห์จากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่ไม่ผ่านการเผาแคลไซน์และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในการสังเคราะห์ KBiTa_2O_7 จะใช้สารตั้งต้นทั้งหมด 3 ตัวในการสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ KHCO_3 ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้ Bi_2O_3 Ta_2O_5 ดังสมการ $\text{KHCO}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Ta}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{KBiTa}_2\text{O}_7$ แล้วนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิ ตั้งแต่ 800 – 1500 องศาเซลเซียสเพื่อหาอุณหภูมิที่จะเกิดเฟสบริสุทธิ์ของ KBiTa_2O_7 เมื่อนำไปเผา

แคลไซต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบเฉพาะพีคของที่สอดคล้องกับโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3 JCPDs file no. 70-0995, ♣) บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3 JCPDs file no. 41-1449, ○) แทนทาลัมเพนออกไซด์ (Ta_2O_5 JCPDs file no.71-0639, ◆) ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดพีคของผลิตภัณฑ์โพแทสเซียมบิสมัทแทนทาลेट (KBiTa_2O_7 , ▽) เกิดขึ้น และความเข้มพีคของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึง 1150 องศาเซลเซียส และยังพบว่าไม่มีพีคไม่สามารถระบุได้

4.4.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ (FT-IR)

เมื่อทำการสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ KBiTa_2O_7 ด้วยกระบวนการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จากนั้นนำผงผลึกไปทำการแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 800-1150 องศาเซลเซียส และตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์



รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ของผง

ผลึก KBiTa_2O_7 ที่ไม่ผ่านการแคลไซต์และที่เผาแคลไซต์ในช่วงอุณหภูมิ 800-1150°C

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

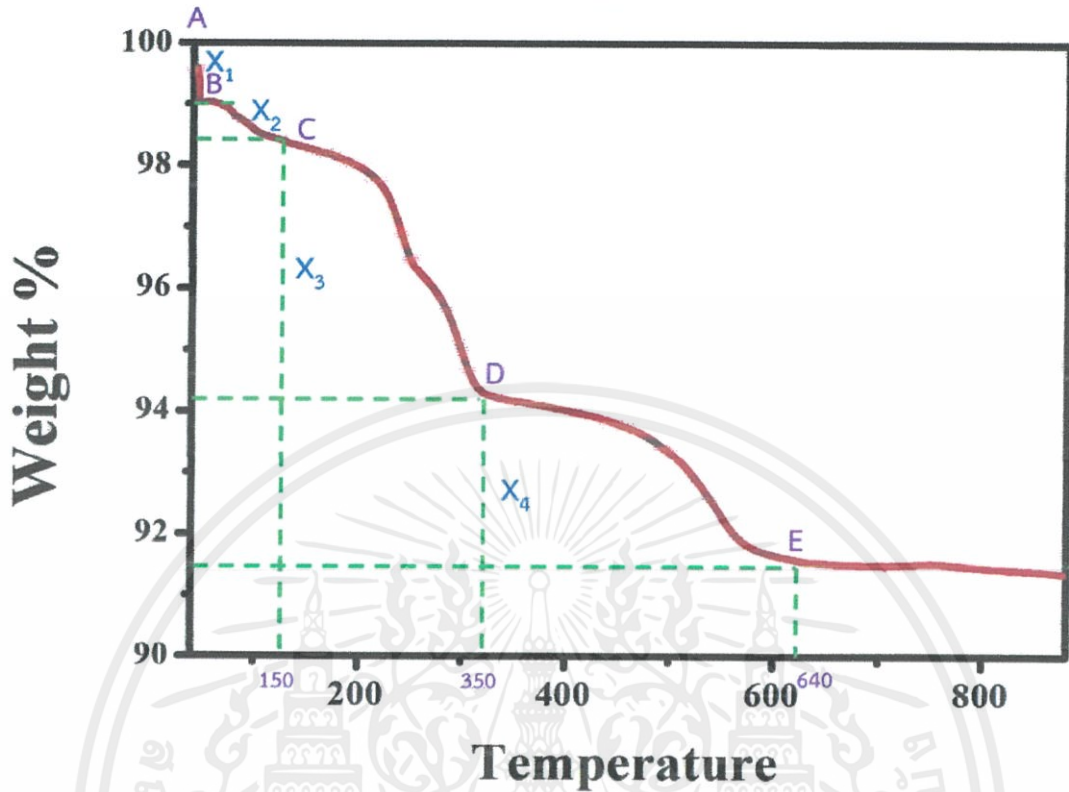
รูปที่ 4.20 แสดงฟูเรียรทรานฟอร์มสเปกตรัมของสาร KBiTa_2O_7 ที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์ และเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 800-1150 องศาเซลเซียส โดยเส้นสเปกตรัมที่ยังไม่ผ่านการแคลไซน์ พบพีคการดูดกลืนที่ 511 และ 854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพีคการดูดกลืนที่ 1398 และ 1438 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3) พบพีคการดูดกลืนที่ 3145 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่ ต่อมาเส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 609 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 609 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 609 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพีคการดูดกลืนที่ 3469 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 609 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O พบพีคการดูดกลืนที่ 3469 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 523 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 523 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O เส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 523 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O และเส้นสเปกตรัมที่เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส พบพีคการดูดกลืนที่ 523 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O

4.4.3 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA

เมื่อสังเคราะห์ผงผลึกในระบบ KBiTa_2O_7 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จึงนำไปตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนโดยเทคนิค TGA ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์ความเสถียรของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบโพแทสเซียมบิสมีทแทนทาเลตพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของสารในระบบโพแทสเซียมบิสมัทแทนทาลेट (KBiTa_2O_7) ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 ถึง 900 องศาเซลเซียส

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบโพแทสเซียมบิสมัทแทนทาลेटพบว่า

ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 – 52 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ $99.8 - 99 = 0.8$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่น้ำเกิดการสลายตัว

ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 52 - 130 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ $99 - 98.3 = 0.7$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3) เกิดการสลายตัวดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 130 – 350 องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3)

คือ $98.3 - 94.1 = 4.2$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เศษขวดพลาสติกในระหว่างการสังเคราะห์เกิดการสลายตัว [18]

ช่วง D ถึง E อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ $350 - 640$ องศาเซลเซียส โดยมีน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_d) คือ $94.1 - 91.6 = 2.5$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เกิดการสลายตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

จากการการศึกษาการสังเคราะห์ผงผลึกทั้ง 6 ระบบ คือ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ $\text{BaCaTa}_2\text{O}_7$ KBiNb_2O_7 KBiTa_2O_7 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ระบบแบเรียมแคลเซียมไนโอเบต ($\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$)

1. จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า

ในการสังเคราะห์ $\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$ นำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิตั้งแต่ 800– 1300 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่จะเกิดเฟสบริสุทธิ์ พบว่าที่ยังไม่ได้แคลไซน์จะพบเฉพาะฟีกที่สอดคล้องกับแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3 JCPDs file no. 41-0373 , \clubsuit) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 JCPDs file no.1937 , \circ) และไนโอเบียมเพนออกไซด์ (Nb_2O_5 JCPDs file no. 80.2493 , \blacklozenge) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ยังคงพบฟีกของสารตั้งต้นอยู่ และเริ่มเกิดเฟสของผลิตภัณฑ์ ($\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$, ∇) เกิดขึ้น ซึ่งมีความเข้มของผลิตภัณฑ์มากขึ้นจนถึง 1150 องศาเซลเซียส แต่ยังคงพบฟีกของเฟสที่ไม่บริสุทธิ์ (\bullet) และที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส พบฟีกของผลิตภัณฑ์ ($\text{BaCaNb}_2\text{O}_7$, ∇) และเกิดหตุยภูมิเฟส ($\$-\text{BaCa}_{0.93}\text{Nb}_{0.607}\text{O}_3$, \square)

2. จากผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์พบว่า

ฟีกการดูดกลืนที่ 511 600 650 680 703 827 และ 854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล ฟีกการดูดกลืนที่ 1433 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และฟีกการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากผลการตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA) พบว่า

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบนี้ พบว่า ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 - 420 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ $100 - 99.4 = 0.6$ เป็นช่วงอุณหภูมิที่เศษขวดพลาสติกเกิดการสลายตัว ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 400 - 770 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ $99.4 - 91.2 = 8.2$ เป็นช่วงการสลายตัวของแบเรียมคาร์บอเนต และช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 770 - 900 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3) คือ $91.2 - 88 = 3.2$ เป็นช่วงการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต

5.1.2 ระบบแบเรียมแคลเซียมแทนทาลेट ($BaCaTa_2O_7$)

1. จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า

ในการสังเคราะห์ $BaCaTa_2O_7$ จะนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิตั้งแต่ 800–1500 องศาเซลเซียสพบว่ยังไม่ได้ทำการแคลไซน์จะพบเฉพาะฟีกที่สอดคล้องกับแทนทาลัมเพนออกไซด์ (Ta_2O_5 JCPDs file no. 71-0639, \blacklozenge) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$ JCPDs file no. 41-0373, \clubsuit) และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$ JCPDs file no. 72-1937, \circ) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ส่วนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ยังคงพบฟีกของสารตั้งต้นอยู่และเกิดหุติยภูมิเฟสขึ้น ($BaCa_{0.33}Ta_{0.67}O_3$ JCPDs file no. 16-0455, \square) ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสจะพบฟีกของเฟสที่ไม่บริสุทธิ์ (\bullet) และพบฟีกของ $BaCaTa_2O_7$ (∇) ซึ่งเป็นเฟสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความเข้มของฟีกมีความเข้มเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียสเกิดความสมบูรณ์ของเฟสผลิตภัณฑ์มากขึ้น และมีความเข้มฟีกที่เข้มขึ้นเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส แต่ก็ยังพบฟีกของเฟสที่ไม่บริสุทธิ์อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์พบว่า

พบพีคการดูดกลืนที่ 511 558 572 600 660 682 เป็นการสั่นของ Ta-O พีคการดูดกลืนที่ 1416 และ 1433 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) พบพีคการดูดกลืนที่ 3439 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคที่มีลักษณะกว้าง เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่

3. จากผลการตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA) พบว่า

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบนี้ พบว่า ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 - 490 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ $100 - 99.4 = 0.6$ เป็นช่วงอุณหภูมิที่เศษขวดพลาสติกเกิดการสลายตัว ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 490 - 770 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ $99.4 - 93.3 = 6.1$ เป็นช่วงการสลายตัวของแบเรียมคาร์บอเนต และช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 770 - 900 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3) คือ $93.3 - 90.7 = 8.6$ เป็นช่วงการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต

5.1.3 โพลแทสเซียมบิสมีทไนโอเบต (KBiNb_2O_7)

1. จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า

ในการสังเคราะห์ KBiNb_2O_7 จะนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิตั้งแต่ 800 - 1500 องศาเซลเซียส พบว่าที่ยังไม่ได้แคลไซน์จะพบเฉพาะพิกที่สอดคล้องกับโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3 JCPDs file no.12-0292 , ♣) บิสมีทออกไซด์ (Bi_2O_3 JCPDs file no. 41-1449 , ○) ไนโอเบียมเพนออกไซด์ (Nb_2O_5 JCPDs file no. 80-2493 , ◆) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดพิกของผลิตภัณฑ์ (KBiNb_2O_7 , ▽) ซึ่งมีความเข้มพิกมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 1150 องศาเซลเซียส โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของเบาช์ ลี และคณะ ซึ่งตรงกับรูปที่ 2.27ก

สามารถสรุปได้ว่า ในการสังเคราะห์สารประกอบประเภท KBiNb_2O_7 ที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส มีการเกิดเฟสโครงสร้างคืออน จากคือปสันมากที่สุด

2. จากผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ พบว่า

พบพีคการดูดกลืนที่ $508\ 511\ 550\ 609\ 665\ 694\ 703\ 854\ \text{cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของ Nb-O ออกตะฮีดรอล พบพีคการดูดกลืนที่ $1324\ 1523\ \text{cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดยมาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของ โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3) พบพีคการดูดกลืนที่ $3469\ \text{cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่





3. จากผลการตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA) พบว่า

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบนี้ พบว่า ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 - 100 องศาเซลเซียส น้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ $100 - 97.1 = 2.9$ เป็นช่วงที่น้ำสลายตัวจากโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 100 - 280 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ $97.1 - 96 = 1.1$ เป็นช่วงการสลายตัวของโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต ช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 280 - 490 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3) คือ $96 - 94.8 = 1.2$ เป็นช่วงการสลายตัวของเศษพลาสติก และช่วง D ถึง E อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 490 - 640 องศาเซลเซียส น้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_4) คือ $94.8 - 90.7 = 4.1$ เป็นช่วงการสลายตัวของโพแทสเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 โพลแทสเซียมบิสมัทแทนทาเลด (KBiTa_2O_7)

1. จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า

ในการสังเคราะห์ จะนำไปเผาแคลไซน์อุณหภูมิตั้งแต่ 800 – 1500 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบเฉพาะฟีกของที่สอดคล้องกับโพลแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3 JCPDs file no. 70-0995 , ) บิสมัทออกไซด์ (Bi_2O_3 JCPDs file no. 41-1449, ) แทนทาลัมเพนออกไซด์ (Ta_2O_5 JCPDs file no.71-0639 , ) ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดฟีกของผลิตภัณฑ์โพลแทสเซียมบิสมัทแทนทาเลด (KBiTa_2O_7 , ) เกิดขึ้นและความเข้มฟีกของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึง 1150 องศาเซลเซียส และยังพบว่าไม่มีฟีกไม่สามารถระบุได้

2. จากผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารโดยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์พบว่า

ฟีกการดูดกลืนที่ 511 523 609 854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ Ta-O ฟีกการดูดกลืนที่ 1398 และ 1448 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ C=O ของสารตั้งต้นที่คาดว่ามาจากพันธะคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) โดย มาจากสารตั้งต้นในโมเลกุลไอออนของโพลแทสเซียมไบคาร์บอเนต (KHCO_3) พบฟีกการดูดกลืนที่ 3145 และ 3469 cm^{-1} เป็นการสั่นของ O-H ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำที่เกิดจากความชื้นที่หลงเหลืออยู่

3. จากผลการตรวจสอบการสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (TGA) พบว่า

การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของสารในระบบนี้ พบว่า ช่วง A ถึง B อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 50 – 52 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_1) คือ 99.8 – 99 = 0.8 เป็นช่วงที่น้ำสลายตัวจากโพลแทสเซียมไบคาร์บอเนต ช่วง B ถึง C อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 52 - 130 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_2) คือ 99 – 98.3 = 0.7 เป็นช่วงการสลายตัวของโพลแทสเซียมไบคาร์บอเนต ช่วง C ถึง D อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_i) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (T_f) คือ 130 - 350 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_3) คือ 98.3 – 94.1 = 4.2 เป็นช่วงการสลายตัวของเศษพลาสติก และช่วง D ถึง E อุณหภูมิเริ่มต้นที่มีการ

เปลี่ยนแปลงน้ำหนักร (T_r) จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักร (T_f) คือ 350 – 640 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักรของสารที่เปลี่ยนแปลงไป (X_d) คือ 94.1 – 91.6 = 2.5 เป็นช่วงการสลายตัวของโพแทสเซียมคาร์บอเนต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง BaCaNb₂O₇ และ BaCaTa₂O₇ ยังคงพบทุติยภูมิเฟส ดังนั้นควรจะเพิ่มอุณหภูมิในการเผาแคลไซน์และระยะเวลาในการเผา และนำไปขึ้นรูปทางเซรามิกเพื่อวัดสมบัติทางไฟฟ้าต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B.W Li, M. Osada, T.C. Ozawa, and T. Sasaki “RbBiNb2O7: A New Lead-Free High-Tc Ferroelectric” chemistry of materials (2012)24,3111-3113
- [2] ที่มา (<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%98%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B8>)
- [3] ที่มา (http://www.kme10.com/job/atom_tarang/tarangtat.html)
- [4] ที่มา (http://www.thaiceramicsociety.com/ab_cer.php)
- [5] R. Guo et al, “Morphotropic phase boundary perovskites, high strain piezoelectrics, and dielectric ceramics”, 2003
- [6] ที่มา (<http://www.princeton.edu/~cavalab/tutorials/public/structures/perovskites.html>)
- [7] M. Dion, M. Ganne, and M. Tournoux, “Structure cristalline de la perovskite feuilletée ferroélastique CsCa2Nb3O10”, Chimie Minerale 21, pp 92,1984.
- [8] M.Dion, M. Ganne, and M. Tournoux. “Nouvelle familles de phases MIMII2Nb3O10 a feuillets “perosvkite””, Mat. Res. Bull. 16, 1429 (1981)
- [9] A.J.Jacobson,J.W.Johnson,and J.T. Lewandowski. “Interlayer chemistry between thick transition metal oxide layer: Synthesis and intercalation reaction of K[Ca2Nan-3NbnO3n+1](3<n<7)”, Inorg.Chem.24,3727(1985)
- [10] Nicole A. Benedek “Origin of Ferroelectricity in a Family of Polar Oxides: TheDion-Jacobson Phases”, Inorganic Chemistry(2014), 3769–3777
- [11] Hwang, Jennie S “Lead-free implementation and production : a manufacturing guide”, c2005, 473p
- [12] K. TODA et al., “STRUCTURAL CHEMISTRY OF NEW ION-EXCHANGEABLE TANTALATES WITH LAYERED PEROVSKITE STRUCTURE:NEW DION-JACOBSON PHASE MCa2Ta3O10 (M = ALKALI METAL) AND RUDDLESDEN-POPPER PHASE Na2Ca2Ta3O10”, Materials Research Bulletin, Vol. 34, No. 6, pp. 971–982, (1999)
- [13] V. Thangadurai, P.S. Beurmann, and W. Weppner “Synthesis, Structure, and Electrical Conductivity of A'[A2B3O10](A' = Rb, Cs; A = Sr, Ba; B = Nb, Ta): New Members of Dion+Jacobson-Type Layered Perovskites” Solid State Chemistry 158, 279}289 (2001)

- [14] E.A. Josepha, S. Farooq C.M. Mitchell and J.B. Wiley, "Synthesis and thermal stability studies of a series of metastable Dion-Jacson double-layered neodymium-niobate perovskites", Solid state chemistry 216, 85-90, 2014
- [15] R.J. Goff, D. Keeble, P.A. Thomas, C. Ritter, F.D. Morrison, and P. Lightfoot "Leakage and Proton Conductivity in Predicted Ferroelectric CsBiNb₂O₇" Chem Mater, 2009, 21, 1296-1302
- [16] Ji-lan YANG, Hai-yan CHEN, Zhuo WANG "Synthesis of sodium-potassium niobate (K, Na)NbO₃ lead-free piezoelectric powders using solvothermal and hydrothermal processing" 249-253
- [17] Foil A. Miller and Chaeles H. Wilkins "Infrared spectra and characteristic frequencies of inorganic ions" Department of research in chemical physics, Mellon Institute, Pittsburgh 13, Pa.
- [18] W.J. Sichina, Marketing Manager, Characterization of Polymers Using TGA
- [19] Foil A. Miller and Chaeles H. Wilkins "Infrared spectra and characteristic frequencies of inorganic ions" Department of research in chemical physics, Mellon Institute, Pittsburgh 13, Pa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงรูปภาพ

- [1] ที่มา (<http://www.vcharkarn.com/userfiles/213156/1%20%2843%29%283%29.jpg>)
- [2] ที่มา (http://www.kme10.com/job/atom_tarang/a3.jpg)
- [3] ที่มา (<https://chemistryteachbypim.files.wordpress.com/2012/03/4-1.jpg>)
- [4] ที่มา (http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/electrochemistry/web/5fuel_kind4.htm)
- [5] ที่มา (<http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/fuelcell/Sofc2.jpg>)
- [6] ที่มา (<http://www.loeitech.ac.th/~auto/2553/commonrail/fuelsystem.htm>)
- [7] ที่มา (http://image.dieselpowermag.com/f/tech/general/9382293+w799+h499+cr1+ar0/0703dp_14_z%2Bbosch_diesel_injection_system%2Blatest_piez_o_injectors.jpg)
- [8] ที่มา (<http://cdn.comsol.com/wordpress/2014/02/Perovskite-unit-cell.png>)
- [9] ที่มา (<http://www.princeton.edu/~cavalab/tutorials/public/structures/perovskites.html>)
- [10] F.Lichtenberg, A. Herrnberger, K. Wiedenmann “**Synthesis, Structural, Magnetic and transport properties of layered perovskite-related titanates, niobates and tantalates of the type $A_nB_nO_{3n+2}$, $A'A_k-1B_kO_{3k+1}$ and $A_mB_m-1O_{3m}$** ” Solid state chemistry 36 (2008) 253-387
- [11] Nicole A. Benedek “**Origin of Ferroelectricity in a Family of Polar Oxides: The Dion-Jacobson Phases**” Inorganic Chemistry(2014), 3769–3777
- [12] ที่มา (<http://www.mvt.co.th/UserFiles/Image/What%20News/RoHS.jpg>)
- [13] ที่มา (<http://pubs.rsc.org/services/images/RSCpubs.ePlatform.Service.FreeContent.ImageService.svc/ImageService/Articleimage/2000/JM/a909130k/a909130k-f9.gif>)
- [14] ที่มา (<http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?w=&h=&cache=cache&media=sintering.png>)
- [15] ที่มา (<http://ofaceramics.com/wp-content/uploads/2011/09/Pressing2.jpg>)
- [16] ที่มา (http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polyer_Chemistry/image_files/chaper5/006.gif)
- [17] ที่มา(<http://www.mfu.ac.th/center/stic/images/picture/analytical%20inst/Bragg.jpg>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

- [18] ที่มา (<http://tint.or.th/nkc/nkc54/picture-01/nkc54-045a.gif>)
- [19] A.J. Jacobson, J.W. Johnson, and J.T. Lewandowski. "Interlayer chemistry between thick transition metal oxide layer: Synthesis and intercalation reaction of $K[Ca_2Na_{n-3}Nb_nO_{3n+1}](3 < n < 7)$ " *Inorg.Chem.*24,3727(1985)
- [20] K. TODA et al., "STRUCTURAL CHEMISTRY OF NEW ION-EXCHANGEABLE TANTALATES WITH LAYERED PEROVSKITE STRUCTURE:NEW DION-JACOBSON PHASE $MCa_2Ta_3O_{10}$ (M = ALKALI METAL) AND RUDDLESDEN-POPPER PHASE $Na_2Ca_2Ta_3O_{10}$ " *Materials Research Bulletin*, Vol. 34, No. 6, pp. 971-982, (1999)
- [21] T. Siwakumar and J. Gopalakrishnan "Transformation of Dion-Jacobson phase to Aurivillius phase : Synthesis of $(PbBiO_2)MnNb_2O_7$ (M=La and Bi)" *Materials Research Bulletin*,(2005) 39-45
- [22] R.J. Goff, D. Keeble, P.A. Thomas, C. Ritter, F.D. Morrison, and P. Lightfoot "Leakage and Proton Conductivity in Predicted Ferroelectric $CsBiNb_2O_7$ " *Chem Mater*,2009,21,1296-1302
- [23] B.W Li, M. Osada, T.C. Ozawa, and T. Sasaki "RbBiNb₂O₇: A New Lead-Free High-Tc Ferroelectric" *chemistry of materials*(2012)24,3111-3113
- [24] C. Chen, H. Ning, S. Lepadatu, M. Cain, H. Yan and M.J. Reece "Ferroelectricity in Dion-Jacobson $ABiNb_2O_7$ (A=Rb , Cs) Compounds" *Materials of Chemistry C* (2015), 19-22
- [25] ที่มา (<http://orgchem.colorado.edu/Spectroscopy/irtutor/aminesir.html>)
- [26] ที่มา (<http://www.nuance.northwestern.edu/KeckII/Instruments/FTIR/index.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

$$\% \text{ mass lost} = \frac{CO_2 \times 100}{BaCO_3}$$

$$\% \text{ mass lost} = \frac{CO_2 \times 100}{CaCO_3}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้