การผลิตแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสำหรับประยุกต์ใช้ทางทันตกรรม

The Fabrication of lithium disilicate glass ceramic for dental Application

นางสาว วรรณรดา สุวรรณกาญจน์

นาย อานนท์ นุชอนงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2561

การผลิตแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสำหรับประยุกต์ใช้ทางทันตกรรม

The Fabrication of lithium disilicate glass ceramic for dental Application

นางสาว วรรณรดา สุวรรณกาญจน์

นาย อานนท์ นุชอนงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์	การผลิตแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสำหรับประยุกต์ใช้ทางทันตกรรม
ชื่อ นามสกุล	นางสาว วรรณรดา สุวรรณกาญจน์
	นาย อานนท์ นุชอนงค์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลวรรณ ลีนะกุล (วท.ด.)

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล, ปร.ด.)

..... กรรมการ
(อาจารย์จิระศักดิ์ ธาระจักร์, ปร.ด.)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลวรรณ ลีนะกุล, วท.ด.)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
วันที่ 8 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ชื่อปริญญานิพนธ์ การผลิตแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสำหรับประยุกต์ใช้ทางทันตกรรม
ชื่อ นามสกุล นางสาว วรรณรดา สุวรรณกาญจน์
นาย อานนท์ นุชอนงค์
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลวรรณ ลีนะกุล (วท.ด.)
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของลิเทียมไดซิลิเกตให้เหมาะกับทันตกรรม และสามารถการประยุกต์ใช้ลิเทียมไดซิลิเกตในทางทันตกรรม ที่สำคัญเพื่อทดแทนวัสดุทางทันตกรรมที่ใช้ปัจจุบันที่มีราคาแพง โดยจะทำการสังเคราะห์แก้วเซรามิกชนิดลิเทียมได้ซิลิเกตได้จากการหลอม SiO_2-Li_2O-Al_2O_3-K_2O -P_2O_5 จากนั้นจะทำการปลูกผลึกที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดผลึกและตกผลึกภายในเนื้อแก้วที่ต่างกัน และทำการศึกษาด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค (DTA) การตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิค (XRD) และสมบัติที่เกี่ยวข้องนั้นๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ คือ ค่าความหนาแน่น สมบัติทางกล คือ ค่าความแข็ง ซึ่งเป็นการศึกษาผลเพื่อนำไปวิเคราะห์ชิ้นงาน จนพบว่า LD1 ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่พบเฟสของลิเทียมไดซิลิเกต ช่วงนี้ยังเป็นช่วงที่ชิ้นงานมีความแข็งมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของลิเทียมไดซิลิเกต

คำสำคัญ : ลิเทียมไดซิลิเกต วัสดุทางทันตกรรม

Project title The Fabrication of lithium disilicate glass ceramic for dental Application

Author Miss Wanrada Suwannakran
Mr. Anon Noochanong

Degree Bachelor of Science
Major program Industrial Materials Science
Faculty of Science and Technology
Academic Year 2018

ABSTRACT

The purpose of this project is analyze to the transparency and mechanical properties of lithium disilicate for dental application. Lithium disilicate glass-ceramic were synthesised by using melting technique in SiO_2-Li_2O-Al_2O_3-K_2O-P_2O_5 glass system and heated treatment samples at the crystallization temperature of that glass. The Differential thermal analysis: DTA, X-ray diffraction: XRD were used analysis on thermal properties phase formation. Moreoven density, Hardness were determined to evaluate the properties at physical and Mechanical respective by the X-ray diffraction showed that the glass-ceramic sample demonstrated the phase of Li_2SiO_3, $Li_2Si_2O_5$ and SiO_2 . The optimum of glass-ceramic. Sample were on faired with the sample heated 650°c first step and heated at 800°c for second step. That show the highest hardness valve at 755 HV

Keywords : Lithium disilicate, Dental materials

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอนุเคราะห์และการเอื้อเฟื้อจากคณาจารย์ บุคลากรหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือทั้งคำเสนอแนะแนวทางตลอดจนข้อพร่องต่างๆจนทำให้โครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณผศ. ดร. วิไลวรรณ ลีนะกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและนางสาว วนิดา นนทธิ ผู้ดูแลรับผิดชอบ ขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่มอบทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒ ขอบคุณคณะกรรมการที่มาสอบและให้ความรู้ข้อเสนอในงานวิจัยนี้ด้วย

ขอบคุณ ดร. สุขุม อิสเสงี่ยม และบุคลากรในห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์และฟิสิกส์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งให้คำปรึกษาและให้ความเมตตาแก่ผู้ทำโครงการนี้ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆในการทำโครงงานนี้สอนวิธีใช้เครื่องให้เชียวชาญและสามารถนำไปใช้ได้จริงเป็นอย่างดีจนกระทั่งโครงงานเสร็จสิ้นด้วยดี

ขอขอบพระคุณผศ. ดร. กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล ซึ่งเป็นประธานกรรมการ ดร. จิระศักดิ์ ธาระจักร์ ซึ่งเป็นกรรมการ และผศ.ดร. วิไลวรรณ ลีนะกุล ซึ่งเป็นกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาจนทำให้โครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

อนึ่งผู้วิจัยหวังว่าโครงงานฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอขอบคุณบิดามารดาและผู้มีพระคุณนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียวและพร้อมที่จะรับคำแนะนำของทุกท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายของแก้ว	5
2.2 ประเภทของแก้ว	6
2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว	9
2.4 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของการเกิดแก้ว	11
2.5 กลาสเซรามิก	13
2.6 วัสดุทางการแพทย์	16
2.7 การทดสอบความแข็ง	17
2.8 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	19
3. วิธีดำเนินการ	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 วิธีการดำเนินงาน	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential thermal analysis	23
3.5 การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction)	24
3.6 การทดสอบความแข็ง (Hardness test)	25
3.7 การทดสอบความหนาแน่น (Density test)	26
4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล	
4.1 ผลการศึกษาการเตรียมแก้ว	27
4.2 ผลการศึกษาการเตรียมแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต	28
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค	35
5.2 ผลจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล	36
5.3 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก ก	39
ประวัติการศึกษา	43

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงภาพเปรียบเทียบโครงสร้างที่เป็นผลึกไม่เป็นผลึก	6
2.2	แผนภาพแสดงชนิดของการเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation)	12
2.3	แสดง ของ IPS Empress2	17
2.4	แสดงหลักการของการทดสอบความแข็งแบบวิก	18
2.5	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ของ Pei Zhang	19
3.1	แสดงภาพเครื่องมือใช้ความร้อน	21
3.2	แสดงภาพขั้นตอนการเตรียมแก้วเซรามิก	22
3.3	แสดงภาพ แม่พิมพ์ (Mold) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร	23
3.4	แสดงเครื่อง Differential thermal analysis (DTA)	23
3.5	แสดง เครื่อง X-ray diffraction	25
3.6	แสดงการทดสอบด้วยเครื่อง Hardness test	25
3.7	แสดงเครื่องทดสอบค่าความหนาแน่น (Density test)	26
4.1	แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานแก้ว ทั้ง 6 สูตร	27
4.2	ลักษณะทางกายภาพของชื่นงานแก้วเซรามิกที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยเงื่อนไข	29
4.3	รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 1	30
4.4	รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 2	31
4.5	รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 3	32
4.6	รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 5	32
4.7	เปรียบเทียบผลของค่าความแข็งกับค่าความหนาแน่น	34
5.1	แสดงภาพของชิ้นงานที่ไม่ตรงกับปัจจัย	36
5.2	แสดงรูปชิ้นงานที่ 1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสกับ 800 องศาเซลเซียส	37

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2	แสดงปริมาณของสารเคมีของการเตรียมแก้ว	22
4.1	ผลการวิเคราะห์ ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวัสดุทางทันตกรรมได้ถูกพัฒนาและศึกษามาอย่างต่อเนื่อง โดยจากอดีตมักจะเป็นฟันเทียมชนิดโลหะ แม้จะมีความแข็งแรงแต่ข้อเสียคือ ไม่สวยงาม ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทำการพัฒนาวัสดุทางทันตกรรมให้มีความหลากหลายมากขึ้นจนค้นพบว่า เซรามิกสามารถนำมาทำเป็นฟันเทียมได้ แต่อย่างไรก็ตามในเริ่มแรกชิ้นงานที่ได้ยังมีความแข็งแรงต่ำและยังไม่สวยงาม ทึบแสง จนเมื่อไม่กี่ปีมานี้จึงได้มีการค้นและพัฒนาวัสดุชนิดครอบเซรามิกทั้งชิ้นฟัน ซึ่งชิ้นงานที่ได้มีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ ความสวยงามใกล้เคียงฟันจริง

โดยทางผู้วิจัยได้เลือกวัตถุดิบหลัก คือ แก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งเป็นวัสดุทางทันตกรรมที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย อันเป็นผลเนื่องมากจาก สมบัติเชิงกลที่ดี มีความใสใกล้เคียงกับฟันมาก อย่างไรก็ตามข้อเสียของวัสดุประเภทนี้คือมีราคาสูงทำให้ผู้ป่วยส่วนใหญ่จึงมักประสบปัญหาในการรักษา ซึ่งลิเทียมไดซิลิเกต เป็นแก้วที่มีคุณสมบัติโปร่งแสง เมื่อทำการปลูกผลึกตัวผลึกจะมีความแข็งแรงเพิ่มสูง และไม่ทำให้สีของแก้วเกิดการทึบหรือไม่โปร่งใส จึงตรงกับคุณสมบัติของฟันเทียมที่ต้องการ

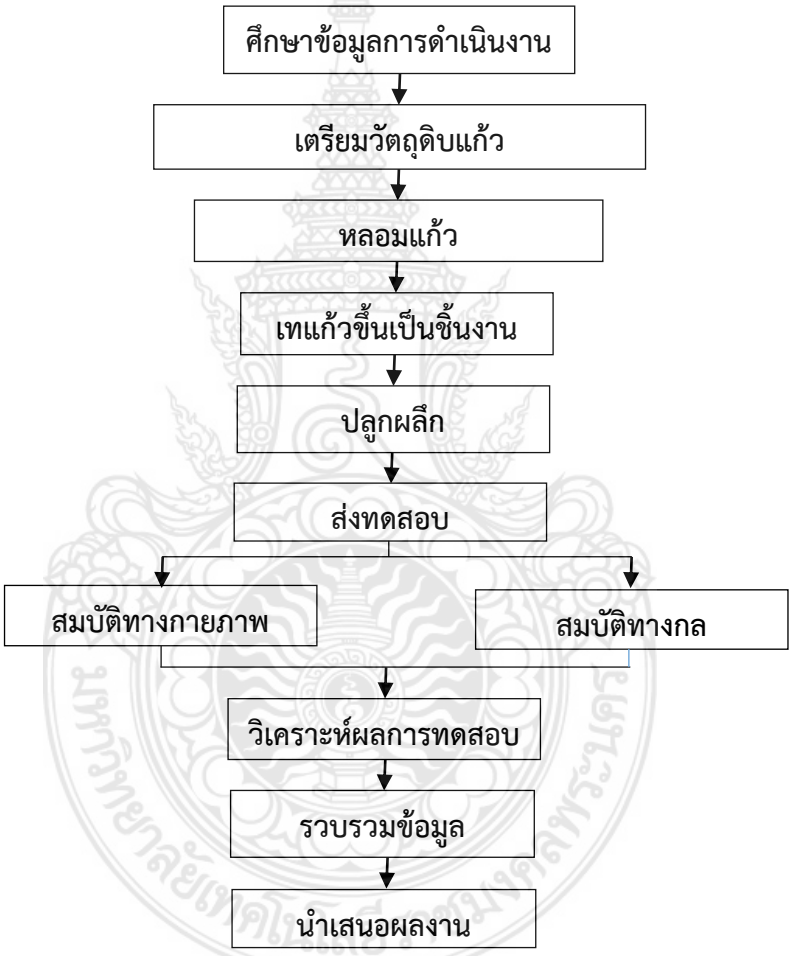
ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสังเคราะห์แก้วชนิดลิเทียมไดซิลิเกต โดยใช้วิธีการหลอมแบบดั้งเดิมแล้วหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด โดยทำการศึกษาโครงสร้างของแก้วเซรามิกทีมีการปลูกผลึกด้วยกระบวนการ ที่แตกต่างกันนั่นคือ การปลูกผลึกหนึ่งและสองขั้นตอน โดยมีจุดเด่นที่เป็นแก้วเซรามิกทางทันตกรรมที่สามารถผลิตได้เองในประเทศ ด้วยขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้ามาจากต่างประเทศ และยังเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้กับผู้ป่วยที่มีรายได้น้อย

1.2วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการสังเคราะห์ต้นแบบชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ
2. เพื่อศึกษาเงื่อนที่ดีที่สุดในการเตรียมต้นแบบชิ้นงานแก้วลิเทียมไดซิลิเกต สำหรับใช้ประยุกต์ในทางทันตกรรม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการดำเนินงานครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้นำแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต มาทำการศึกษาและหลอมโดยวิธีการแบบดั้งเดิม จากนั้นทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผลึกโดยใช้การวิเคราะห์ทางความร้อน แก้วเซรามิกที่ได้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติอื่นที่เหมาะสมได้แก่ XRD, SEM, Hardness, DSC และ Dilatomic และ เพื่อให้ได้แก้วเซรามิกที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด สำหรับใช้เป็นวัสดุต้นแบบในการประยุกต์ในทางทันตกรรมได้



1.4 ประโยชนที่คาดวาจะไดรับ

1.4.1 ได้แก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้เองภายในประเทศ

1.4.2 ส่งเสริมให้เกิดการวิจัยและพัฒนาวัสดุทางทันตกรรมเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการนำวัสดุทางทันตกรรมไปใช้ให้มีความรู้ ความเข้าใจ อย่างถ่องแท้

1.4.3 ส่งเสริมให้มีการพัฒนาและต่อยอดในด้านวัสดุทางทันตกรรม

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน			
	พ.ย. 61	ธ.ค. 61	ม.ค. 61	ก.พ. 62
1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเพื่อเลือกระบบแก้วที่เหมาะสม	■			
2. จัดเตรียมหรือจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์สารเคมีที่จำเป็น	■			
3. ทำเตรียมวัตถุดิบแก้วลิเทียมไดซิลิเกตตามสูตร		■		
4. ทำการเตรียมแก้ว ด้วยกระบวนการวิธีการหลอมแก้วที่เหมาะสมในการปลูกผลึก		■		
5. ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยกระบวนการการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential thermal analysis (DTA)			■	
6. ศึกษาเฟสและองค์ประกอบของเฟสแก้วเซรามิกที่เตรียมได้ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนแบบรังสีเอ็กซ์ (XRD)			■	
7. ทำการศึกษาสมบัติต่างๆของแก้วเซรามิกที่เตรียม			■	
8. การวิเคราะห์ชนิด ขนาด และรูปร่างจากโครงสร้างจุลภาค				■
9. ทำการอภิปรายผล และทำการสรุปถึงปัญหาที่เกิดขึ้น				■

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แก้วเซรามิกเป็นวัสดุเซรามิกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแก้วมีสมบัติเฉพาะตัวในเรื่องของความโปร่งใส ความแข็งแกร่ง และความมันแววาว ซึ่งเป็นสมบัติที่วัสดุอื่นทดแทนไม่ได้ อีกทั้งในปัจจุบันมนุษย์สามารถสร้างสรรค์และ ผลิตแก้วได้อย่างหลากหลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นแท่งแก้วทึบตัน แผ่นแก้วที่บางเฉียบหรือเส้นใยแก้วที่ละเอียดอ่อน ดังนั้นการได้ศึกษาถึงวิวัฒนาการของแก้ว สมบัติและประเภทของแก้ว รวมถึงขั้นตอนการผลิตแก้วลักษณะต่าง ๆ ที่จะช่วยให้เกิดความเข้าใจในวัสดุประเภทนี้มากขึ้น อันจะนำมาซึ่งการเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมในชีวิตประจำวัน รวมทั้งเพื่อการปรับปรุง พัฒนา และสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์แก้วต่อไป

2.1 ความหมายของแก้ว [1]

แก้วเป็นวัสดุอสัณฐานที่ไม่มีผลึกและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหลอมอนินทรีย์สารอันได้แก่ซิลิกา (silica) กับสารโลหะ ออกไซด์แล้วทำให้เย็นตัวจนกระทั่งแข็งโดยไม่มีการตกผลึก (crystallization) ส่วนประกอบทาง เคมีของแก้วประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO_2) โบรอนออกไซด์ (boron oxide, B_2O_3) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, $CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต(magnesium carbonate ,$MgCO_3$) มีลักษณะโปร่งแสงและมีความเปราะ หากพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพแล้ว แก้วจะหมายถึงวัสดุที่มีความแข็ง (hard) โปร่งใส (transparent) เปราะ (brittle) มีความแววววาว (relative) มีจุดหลอมละลายสูง (high softening point) ไม่ละลายในน้ำและในสารละลายใด ๆ (insoluble in water and organic solvents) อีกทั้งไม่ติดไฟ (non inflammable) ซึ่งแก้วมีสมบัติดังนี้

1. แก้วมีโครงสร้างทางเคมีไม่แน่นอน แต่แก้วจะมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกัน
2. มีความแข็งแต่เปราะทำให้แตกหักง่าย
3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องไม่ดี แต่ที่อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
4. มีลักษณะโปร่งใส (transparency)
5. สามารถทำให้หลอมละลายได้ด้วยความร้อน
6. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนไปทั้งลักษณะทางกายภาพ และสมบัติ ทางเคมี

7. มีช่วงการหลอมละลายกว้าง

8. สมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะสามารถสังเกตเห็นได้ แก้วเป็นวัสดุที่ทำจากทรายแก้วเป็นส่วนประกอบหลัก

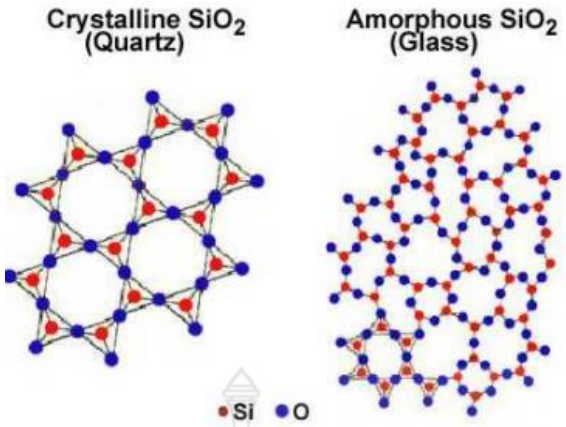
นอกจากนั้นเป็นโลหะออกไซด์ ต่าง ๆ เช่น เหล็กออกไซด์ (ferric oxide) ฟอสเฟอร์ริกออกไซด์ (phospheric oxide) เป็นต้น โดยที่แก้วมีส่วนประกอบทางเคมีไม่แน่นอน แต่ส่วนผสมจะต้องอยู่ในขอบเขตจำกัด หากส่วนผสมคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้จะทำให้แก้วไม่หลอมละลายในอุณหภูมิที่กำหนดหรือเกิด ความยุ่งยากอื่น ๆ ขึ้น เช่น เกิดตำหนิ สมบัติผิดไปจากความต้องการ เป็นต้น บรรดาแก้วหลากหลายชนิดที่มนุษย์ผลิตขึ้นสามารถผลิตแก้วให้เบาเหมือนไม้คอร์ก (cork) หรือแก้วมีน้ำหนักมากเหมือนโลหะพวกเหล็ก (iron) แก้วที่มีความแข็งเหมือนเหล็กกล้า (steel) แก้วที่มีความเปราะเหมือนเปลือกไข่ ให้อ่อนนุ่มเหมือนปุยฝ้าย หรือให้แข็งเหมือนเพชร พลอย ทั้งนี้เนื่องจากแก้วสามารถควบคุมส่วนผสมและวิธีการผลิตให้มีสมบัติตามต้องการได้จึง มีการน าแก้วไปใช้ในงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านวิทยาศาสตร์ ใช้ในด้านอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม โทรคมนาคม งานวิศวกรรม เป็นของใช้ภายในบ้านเรือนและชีวิตประจำวัน หรือแม้กระทั่งเครื่องประดับขนาดเล็ก

2.1.1 วัสดุอสัณฐาน [2]

วัสดุอสัณฐาน หมายถึง วัสดุที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน หรือมีโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Solid)" ซึ่งถ้าเรามาพิจารณาจากความหมาย ก็จะพบว่าวัสดุอสัณฐาน มีความหมายกว้างขึ้น ครอบคลุมไปถึงวัสดุที่ไม่จำเป็นต้องผลิตด้วยการหลอม หรือวัสดุที่อาจจะไม่ใช่สารอนินทรีย์ก็ได้ เช่น พวกพอลิเมอร์ต่างๆ ก็มีคุณสมบัติของอสัณฐานเหมือนกัน

2.1.2 โครงสร้างของแก้ว [8]

รูปทั้งสองรูปนี้ เป็นโมเดลของโครงสร้างผลึกของ SiO_2 เทียบกับโครงสร้างอสัณฐานของมัน จากโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบของ อสัณฐานนี่เอง ที่ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมของมันมีมากกว่าผลึก ทำให้แสงสามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือแม้ว่าจะมีการหักเหบ้างแต่ก็น้อยกว่าการหักเหที่เกิดขึ้นในผลึก ดัง**รูปที่ 2.1**



รูปที่ 2.1 แสดงภาพเปรียบเทียบโครงสร้างที่เป็นผลึกไม่เป็นผลึก [8]

2.2 ประเภทของแก้ว

แก้วจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.2.1 แก้วที่เกิดโดยธรรมชาติ (god made glass) แก้วที่เกิดโดยธรรมชาติเรียกว่าออบซิเดียนเกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของสาร หลอมเหลวที่พ่นออกมาจากปล่องภูเขาไฟ (magma) มีสีเทาหรือสีม่วงดำ ต่อมาในยุคหินที่ มนุษย์เริ่มรู้จักใช้ความร้อนจากไฟในการหุงต้ม กรวดและทรายบริเวณเชิงตะกอนขอ+งเตาไฟที่ หุงต้มเมื่อได้รับความร้อนสูงจะเกิดการหลอมละลายบริเวณผิวจนกระทั่งมีลักษณะคล้ายลูกปัด แก้วก้อนกลม ๆ (glass bead) โดยแก้วธรรมชาติที่เกิดจากการหลอมตัวของทรายหรือทราย แก้วซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือซิลิกอนไดออกไซด์ นอกจากนี้แก้วที่เกิดโดยธรรมชาติยังเกิด จากการหลอมตัวของซิลิกอนไดออกไซด์ที่อยู่ในลักษณะของหินหรือแร่ เช่น หินเขี้ยวหนุมาน (quartz) ซึ่งมีจุดหลอมสูงมากกว่าทราย ที่หากเกิดการหลอมละลายแล้วจะเรียกว่าซิลิกาหลอม (fused silica)

2.2.2 แก้วที่มนุษย์สร้างขึ้น (man made glass) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามองค์ประกอบทางเคมีและ ตามลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

ประเภทของแก้วที่แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี แบ่งได้เป็น 7 ชนิด ดังนี้คือ

- แก้วซิลิกาหลอมเหลว (silica glass หรือ fused silica หรือ vitreous silica) หรือแก้วควอตซ์ (quartz) ได้จากการหลอมเศษแก้ว ทรายแก้วหรือพวกหินควอตซ์โดย ไม่เติมสารประกอบอื่น จึงต้องทำการหลอมที่อุณหภูมิสูงถึง 1,710 องศาเซลเซียส ขณะหลอม จะได้น้ำแก้วที่มีความหนืดสูงจึงเกิดฟองอากาศมาก แข็งตัวเร็ว ทำให้ขึ้นรูปยาก จึงนิยมหลอม 10 ในสุญญากาศ สมบัติของซิลิกาหลอมคือมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ ทนต่อ สารเคมีและทนความ

ร้อนได้ดี ยอมให้รังสีอัลตราไวโอเลตส่งผ่านได้ดี (โปร่งใส) จึงนิยมใช้ทำ เครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการ (laboratory) ใช้งานทางด้านไฟฟ้าและใช้งานเกี่ยวกับด้านแสง แต่ แก้วชนิดนี้จะมีราคาแพง

- แก้วซิลิกาหลอมเหลวร้อยละ 96 (96% silica glass) มีสมบัติเกือบจะ เหมือนแก้วประเภทซิลิกาหลอม แต่มีจุดหลอมต่ำกว่า มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับ ความร้อนสูงกว่า เพราะมีสารช่วยหลอมละลาย (fluxing oxide) และสารอื่นอีกประมาณร้อยละ 4 เพื่อลดจุดหลอมละลายให้ต่ำลงและสะดวกในการขึ้นรูป แก้วชนิดนี้อาจเรียกว่าไวคอร์ (vycor) นิยมใช้ทำเครื่องใช้ในห้องทดลองพวกหลอดแก้ว (tubes) หรือถ้วยแก้ว (rod)

- แก้วโซดาไลม์ (soda lime glass) เป็นแก้วชนิดที่ใช้มากที่สุด แก้วชนิด นี้ถูกให้ความหมายไว้ว่าเป็นแก้วที่ทำมาจากไลม์(lime) โซดา (soda) และทรายเป็นส่วนผสม หลักโดยใช้โซดาหรือโพแทส (potash) ผสมเป็นสารช่วยหลอมละลายเพื่อลดจุดหลอมให้ต่ำลง ลดความหนืดให้สะดวกในการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังมีไลม์ (calcium oxide, CaO) แมกนีเซียม ออกไซด์ (magnesium oxide, MgO) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide, Al_2O_3) ปน อยู่เล็กน้อย เพื่อให้แก้วมีความคงทนต่อสารเคมี(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2527, หน้า 1) แก้ว ชนิดโซดาไลม์นี้ถ้าขึ้นรูปให้บางจะไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยกะทันหันได้ (thermal shock) นิยมใช้ทำขวด กระจกหน้าต่าง กระจกแผ่น ถ้วยแก้ว แก้วกันกระสุน (bullet proof glass) แก้วกระจกรถยนต์ เป็นต้น

- แก้วเลดซิลิเกต (lead alkali silicate glass) แก้วชนิดนี้ได้จากการแทน แคลเซียมออกไซด์ด้วยตะกั่ว (lead oxide, PbO) ตามปกติแคลเซียมออกไซด์จะใช้ได้ไม่เกิน ร้อยละ 15 แต่ถ้าใช้ตะกั่วแทน สามารถใช้ได้ถึงร้อยละ 80 บางครั้งใส่ตะกั่วถึงร้อยละ 92 แก้ว จึงมีน้ำหนักมาก โดยตะกั่วทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายทำให้มีจุดหลอมต่ำกว่าแก้วโซดา ไลม์ และตะกั่วช่วยให้แก้วมีความแวววาวสุกใสสวยงาม แต่ความหนาแน่น การหักเหของแสง ความมันเงาและราคาสูงกว่า จึงนิยมใช้ทำหลอดแก้วเพื่อการให้แสงสว่าง และยังนิยมนำไป ทำ ผลิตภัณฑ์ประเภทงานศิลปะ (art ware) และแก้วเจียระไน รวมทั้งนิยมนำไปใช้ผลิต 11 อุปกรณ์วิทยุ เรดาร์ (radar) และเครื่องหลอดโทรทัศน์ หลอดวิทยุต่าง ๆ เป็นต้น เนื่องจากมี ความต้านทานทางไฟฟ้าดี

- แก้วโบโรซิลิเกต (borosilicate glass) แก้วชนิดนี้มีความหมายที่กล่าว ไว้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2527, หน้า 1) ว่าแก้วโบโรซิลิเกตเป็น แก้วที่มีโบรอนไตรออกไซด์ (borontrioxide, B_2O_3) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หรือ นิยมเรียกว่าแก้วไพเรก (pyrex) ได้แก่แก้วทนไฟ แก้วชนิดนี้ใช้โบรอนออกไซด์เป็นตัวช่วยหลอม ละลาย โดยโบรอนจะลดความหนืดของแก้วลงแต่ทำได้น้อยกว่าโซดา การขึ้นรูปค่อนข้าง ล าบากแต่ทนต่อการ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหันได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ นิยมใช้ทำภาชนะหุงต้ม (cooking ware) ชนิดที่สัมผัสความร้อนโดยตรง ใช้ทำภาชนะที่ใช้ในห้องทดลอง และทำเลนส์ของกล้องดูดาว

- แก้วอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate glass) ได้แก่แก้วที่มี อะลูมิเนียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 20 มีแคลเซียมและแมกนีเซียมปริมาณน้อย ทำให้การหลอมยากและการขยายตัวต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจึงเหมาะที่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทที่ต้อง สัมผัสกับอุณหภูมิสูง (high temperature ware) เช่นภาชนะหุงต้ม

- แก้วสี (color glass) ได้แก่แก้วที่มีสีในเนื้อแก้ว ทำได้โดยผสมสารให้สี ที่เป็นออกไซด์ของโลหะลงไปประมาณร้อยละ 1 – 4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีที่ต้องการ

ประเภทของแก้วที่แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

- แก้วที่ใช้ในวงการวิทยาศาสตร์ ได้แก่ หลอดแก้วทดลองต่าง ๆ (tubes) ปริซึม (prism) และบีกเกอร์ (beaker) เป็นต้น

- แก้วที่ใช้ในการให้แสงสว่าง ใช้ทำหลอดไฟที่ให้แสงสว่าง เช่น หลอด ฟลูออเรสเซนท์ (fluorescent) แก้วประเภทนี้ยังใช้ทำเลนส์ของแว่นตา แว่นขยาย กล้องถ่ายรูป กล้องจุลทรรศน์ กล้องส่องทางไกล เป็นต้น

- แก้วที่ใช้ในวงการก่อสร้าง เช่น แก้วบุเพดาน (เนื่องจากสมบัติด้านการ เป็นฉนวนกันความร้อน) เส้นใยแก้ว (fiber glass) เสื้อกันความร้อนและเสื้อกันไฟ

- แก้วสะเทิน (neutral glass) หมายถึงแก้วที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือ 12 ด่าง แก้วพวกนี้ได้แก่ ขวดใส่ยา ขวดใส่น้ำเกลือ เป็นต้น

- แก้วกระจกรถยนต์(safety glass) หรือเรียกทั่วไปว่าแก้วนิรภัย มีสมบัติ เด่นของแก้วชนิดนี้คือเมื่อแตกจะไม่มีลักษณะแหลมคม (angular fragment) ทั้งนี้เพราะขณะ ขึ้นรูป ใช้ลมเป่าให้ผิวด้านนอกของแผ่นแก้วเย็นและหดตัวอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการกระทบที่ผิว จึงเกิดการแตกร้าวเป็นฝอย แก้วที่นำมาทำกระจกรถยนต์นี้เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์

- แก้วกันกระสุน (bullet proof glass) เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ ที่ภายหลัง การขึ้นรูปให้เป็นแผ่นบาง ๆ (sheet) หลาย ๆ แผ่น แล้วใช้แผ่นพลาสติก (laminate) แทรกใส่ ระหว่างชั้นหรือแผ่นแก้วและประกบกันจนกระทั่งได้ความหนาตามความต้องการ แก้วชนิดนี้จะ มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจนสามารถกันกระสุนปืนทะลุผ่านได้ โดยกรณีที่ถูกยิง กระสุนปืนจะ แฉลบไม่สามารถทะลุกระจกเข้าไปได้และหากส่วนที่เป็นแก้วหรือกระจกแตก จะมีลักษณะร้าว เป็นแผ่นไม่หลุดแตกกระจายเพราะมีแผ่นพลาสติกเชื่อมยึดเศษแก้วอยู่

- ใยแก้ว ทำได้โดยการดึงแก้วเป็นเส้นใยแล้วนำมาอัดขึ้นรูป ใยแก้วจะมี ความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าแต่มีความเบาและอ่อนนุ่มเหมือนขนสัตว์ อีกทั้งสามารถที่จะ โค้ง งอได้ สามารถดึงให้เป็นเส้นเล็กได้ถึง 1/300 ของความหนาของเส้นผม ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ สมบัติของใยแก้วคือเก็บเสียงและกันความร้อนได้ดี นอกจากนั้นยังนิยมนำแผ่นใยแก้วไปต่อ เป็นโครงเรือได้เพราะมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง

- แก้วในงานอิเลคทรอนิกส์และงานด้านการโทรคมนาคม แก้วประเภท นี้ได้แก่ หลอดโทรทัศน์ หลอดสุญญากาศ เป็นต้น

- แก้วในวงการอวกาศ เช่น แก้วที่ใช้ทำหน้าต่างจรวด เครื่องบิน เป็นต้น แก้วประกอบด้วยซิลิเกตที่ไม่เป็นผลึก (non crystalline silicates) กับออกไซด์ของธาตุ ต่าง ๆ เช่น แคลเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และโบรอนออกไซด์ เป็นต้น โดยออกไซด์ของธาตุเหล่านี้มีผลทำให้แก้วแสดงสมบัติแตกต่าง กันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของออกไซด์ ดังแสดงองค์ประกอบและคุณลักษณะของแก้ว ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว

ในการผลิตแก้ว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้วสามารถจำแนกได้เป็น 6 กลุ่มตามสมบัติของวัตถุดิบที่มีผลทำให้แก้วเกิดสมบัติต่าง ๆ กันดังนี้คือ [3]

1) ตัวทำให้เกิดเนื้อแก้ว (glass former materials) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้วเพื่อทำให้เกิดเนื้อแก้วหรือความเป็นแก้วได้แก่ทรายแก้ว โดยทรายแก้วจะต้องมีปริมาณของเหล็กต่ำและสารประกอบอื่นเจือปนอยู่เล็กน้อย มิฉะนั้นจะ ได้เนื้อแก้วที่ไม่ใส มีสีอยู่ในเนื้อแก้วและยากต่อการหลอมละลาย ในประเทศไทยมีทรายแก้ว 15 ปริมาณมากและคุณภาพดีที่ใช้มาก 2 แหล่งคือทรายแก้วจากจังหวัดระยองและทรายแก้วจาก จังหวัดสงขลา โดยทั่วไปควรมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 95 ขนาดของเม็ด ทรายแก้วควรใกล้เคียงกันไม่ใหญ่กว่า 20 เมตร (0.84 มิลลิเมตร) และไม่ควรเล็กกว่า 100 – 200 เมตร

2) ตัวช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมแก้ว (fluxing agent) วัตถุดิบที่ใช้ในอัตราส่วนผสมของแก้วที่มีสมบัติเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมที่ นิยมใช้ได้แก่โซดาแอซ (soda ash หรือ sodium carbonate, Na_2CO_3) สารนี้เมื่อนำไปผสมกับ ทรายแก้วในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 – 16 จะช่วยลดอุณหภูมิการหลอมลงมาได้ 700 – 800 องศาเซลเซียสช่วยทำให้ทรายแก้วหลอมตัวง่ายขึ้น เมื่อผสมโซดาแอซกับทรายแก้ว (SiO_2) จะ ได้แก้วชนิดโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate, Na_2SiO_3) หรือที่เรียกว่าน้ำแก้ว (water glass) มี สมบัติละลายน้ำได้ง่าย จึงใส่หินปูน ($CaCO_3$) ลงไปในอัตรา

ส่วนผสมเพื่อช่วยให้ไม่ละลายน้ำ เมื่ออัตราส่วนผสมทั้งหมดหลอมตัวรวมกันเกิดเป็นแก้วแล้วจะเรียกว่าแก้วโซดาไลม์

นอกจากโซดาแอซ ทรายแก้ว และหินปูนแล้ว ยังอาจใส่อัลคะไลเอิร์ธ (alkalis earth) อื่น ๆ ได้อีก เช่นแมกนีเซียมและแบเรียม (barium) เป็นต้น ตัวลดอุณหภูมิอื่นที่นิยมใช้ได้แก่ หินฟันม้า (feldspar) ตะกั่วออกไซด์และบอร์ริกออกไซด์ที่ใช้ในรูปของสารบอร์แรกซ์ (borax, $Na_2B_4O_7H_2O$) ที่นิยมใช้ทำแก้วโบโรซิลิเกต อย่างไรก็ดีการถือหลักเกณฑ์โดยทั่วไปว่าแก้ว ประเภทใดที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีสมบัติในการลดอุณหภูมิปริมาณมากจะใช้อุณหภูมิใน การหลอมต่ำ ราคาถูก แต่ถ้าใส่วัตถุดิบเพื่อการลดอุณหภูมิปริมาณน้อยจะได้เนื้อแก้วคุณภาพ ดีราคาแพงขึ้นหากแต่การหลอมละลายของเนื้อแก้วจะต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากวัตถุดิบ ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิที่กล่าวข้างต้นแล้ว เศษแก้ว (cullet) ก็เป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นตัวลด อุณหภูมิเช่นเดียวกันและนิยมใช้มาก ซึ่งจะใช้ประมาณร้อยละ 10 – 75 ในอัตราส่วนผสมของ วัตถุดิบ นอกจากนี้ยังมีหินโดโลไมท์ (dolomite) ที่ให้แคลเซียมและแมกนีเซียมอีกด้วย

3) ตัวฟอกสี (decolorizing agent) วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้เพื่อฟอกสีของแก้วได้แก่ซีลีเนียม (selenium) และโคบอลท์ (cobalt) นิยมใช้ในปริมาณน้อยเพราะเป็นสารที่มีราคาแพง โดยใช้สำหรับฟอกสีเขียวที่เกิด จากออกไซด์ของเหล็ก แต่หากมีปริมาณเหล็กออกไซด์เกินกว่าร้อยละ 0.06 แม้ตัวฟอกสีก็ไม่ สามารถกำจัดสีได้ ฉะนั้นจะต้องควบคุมปริมาณของตัวที่ทำให้เกิดสีควบคู่กันด้วย การใช้ซีลีเนียมมีข้อเสียบางประการคือหากใช้ปริมาณมากเกินจะทำให้ความสดใสของเนื้อแก้วลดลง 18 อีกประการหนึ่งคือถ้าใช้ตัวไล่ฟอง (อาร์ซินิกออกไซด์, arsenic oxide, As_2O_3) มากจะมีผลต่อ สมบัติในการฟอกสีของซีลีเนียม

4) ตัวไล่ฟอง (oxidizing agent) วัตถุดิบที่มีสมบัติช่วยในการไล่ฟองอากาศในเนื้อแก้วที่หลอมเป็นน้ำแก้วแล้วได้แก่ อาร์ซินิกออกไซด์ และโซเดียมไนเตรท (sodium nitrate, $NaNO_3$) การหลอมแก้วแต่ละครั้งจะ เกิดฟองแก๊สขึ้นมาก เนื่องจากสารพวกคาร์บอเนต (carbonate) ในวัตถุดิบที่ทำปฏิกิริยา ในขณะการหลอมเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide, CO_2) ซึ่งเป็นตัวทำให้ เกิดฟองในเนื้อแก้ว ฟองนี้จะสามารถกำจัดได้โดยการเติมสารพวกอาร์ซินิกออกไซด์หรือโซเดียมไนเตรท

5) ตัวช่วยทำให้เกิดสีและทึบแสง (coloring and opacifiying agent) วัตถุดิบที่ใช้เพื่อให้เกิดสีและทึบแสงนี้จะใช้ในการทำแก้วสีและแก้วทึบแสง

6) ตัวควบคุมความหนืดหรือควบคุมการไหลตัวของแก้ว (viscosity fluidity) วัตถุดิบที่นิยมใช้เพื่อควบคุมการไหลตัวของน้ำแก้วได้แก่อะลูมินาและหินฟันม้าทั้งชนิด โซดา (soda feldspar) และชนิดโพแทส (potash feldspar) ที่มีสมบัติช่วยลดอุณหภูมิการหลอม

2.4 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของการเกิดแก้ว (Kinetic theories of glass formation) [4]

ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของการทำให้เกิดแก้ว ตระหนักว่าวัสดุทุกชนิดสามารถทำให้เกิดแก้วได้ถ้าสามารถทำให้เย็นตัวได้อย่างรวดเร็วพอที่จะหลีกเลี่ยงการตกผลึก ดังนั้น ทฤษฎีนี้จึงให้ความสำคัญกับกลไกในการตกผลึกของสาร ซึ่งเป็นการรวมกระบวนการที่สำคัญสองกระบวนการเข้าด้วยกันคือ

1) การเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation)
2) การเติบโตของผลึก (crystal growth)

2.4.1 การเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation)

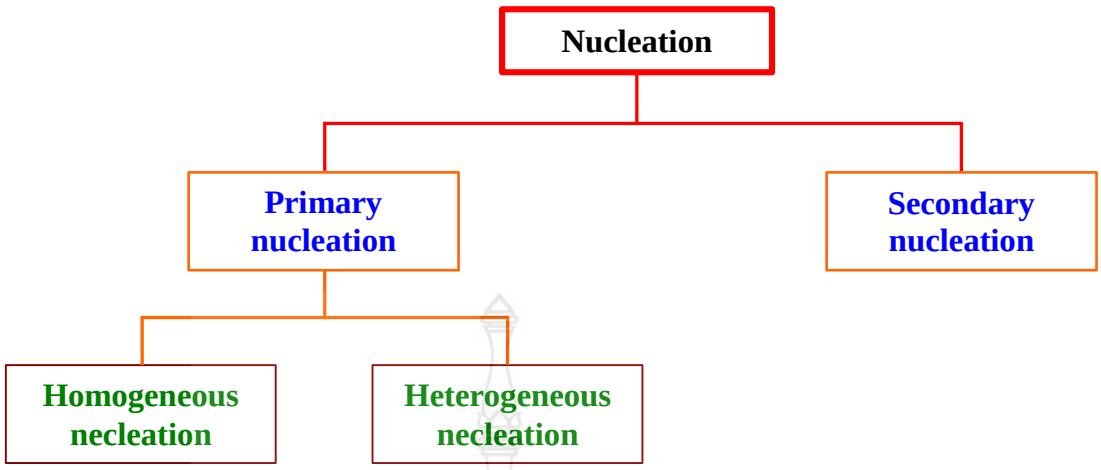
การเกิดนิวเคลียสผลึกแบ่งออกเป็นสองชนิดหลักคือ

1. การเกิดนิวเคลียสผลึกปฐมภูมิ (primary nucleation) คือ กรณีของการเกิดนิวเคลียสผลึกทุกกรณีในระบบที่ไม่ประกอบไปด้วยสสารที่เป็นผลึก ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิดย่อย คือ

ก. การเกิดนิวเคลียสผลึกแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous nucleation) การเกิดนิวเคลียสผลึกโดยไม่อาศัยสิ่งที่มีอยู่ก่อนที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำแก้วหลอม

ข. การเกิดนิวเคลียสผลึกแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous nucleation) นิวเคลียสผลึกเกิดจากสิ่งที่มีอยู่ก่อนที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำแก้วหลอม อาทิ ผนังเตา (furnace wall) สิ่งแปลกปลอมที่ไม่ละลาย (insoluble inclusions) หรือแม้กระทั้งพื้นผิวอิสระ (free surface)

2. การเกิดนิวเคลียสผลึกทุติยภูมิ (secondary nucleation) คือ การที่มีผลึกปรากฏอยู่ในระบบที่อิ่มตัวยิ่งยวดเพื่อสร้างนิวเคลียสทุติยภูมิต่อไป แผนภาพแสดงชนิดของการเกิดนิวเคลียสได้แสดงไว้ ดัง**รูปที่ 2.2**



รูป 2.2 แผนภาพแสดงชนิดของการเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation) [3]

ในการศึกษาเรื่องการเกิดนิวเคลียสผลึก คำว่านิวเคลียสในที่นี้คือนิวเคลียสของผลึก (crystal nucleus) ซึ่งแตกต่างไปจากนิวเคลียสของอะตอม (atomic nucleus) โดยการเกิดนิวเคลียสผลึกนั้นจะถูกต่อต้านด้วยเครื่องขวางกั้นสองชนิด คือ

1.เครื่องขวางกั้นอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic barrier) ซึ่งเกี่ยวข้องกับพลังงานอิสระ (free energy) ที่เปลี่ยนไปในระบบเมื่อมีการเกิดนิวเคลียสขึ้น

2.เครื่องขวางกั้นจลนพลศาสตร์ (kinetic barrier) เกิดขึ้นเนื่องจากความต้องการในการเคลื่อนที่ของมวลหรือการจัดเรียงตัวใหม่ในช่องว่าง เพื่อให้การเติบโตของอนุภาคที่เป็นระเบียบ (หรือผลึก) เกิดขึ้นได้ จากของเหลวที่ไม่เป็นระเบียบ

ดังนั้นระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงของพลังงานสองชนิดคือ

- พลังงานอิสระ (free energy)
- พลังงานพื้นผิว (surface energy)

2.4.2 การเติบโตของผลึก (crystal growth)

เมื่อนิวเคลียสเสถียรเกิดขึ้นในระบบอิ่มตัวยิ่งยวด (a supersaturated system) หรือระบบเย็นตัวยิ่งยวด (a supercooled system) นิวเคลียสเสถียรเหล่านั้นจะเริ่มเติบโตเป็นผลึกในขนาดที่มองเห็นได้

ได้มีการเสนอความคิดเกี่ยวกับกลไกของการเติบโตของผลึก (crystal growth mechanisms) หลายกลไกดังจะยกตัวอย่างต่อไปนี้

1) ทฤษฎีพลังงานพื้นผิว (Surface energy theories) มีพื้นฐานมาจากสมมุติฐานที่ว่า “ผลึกจะเติบโตในรูปร่างที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำที่สุด”
2) ทฤษฎีชั้นดูดซับ (Adsorption layer theories) แนวคิดหลักของกลไกการเติบโตของผลึกขึ้นอยู่กับ “การเกิดขึ้นของชั้นดูดซับของอะตอมที่ของตัวละลาย (solute) หรือโมเลกุลบนหน้าสัมผัสของผลึก (a crystal face)”
3) ทฤษฎีจลน์ (Kinematic theories) เกี่ยวข้องกับกระบวนการ 2 กระบวนการในชั้นของผลึกที่เติบโต คือ
    - การให้กำเนิดขั้น (steps) จากแหล่งกำเนิดงบนหน้าสัมผัสของผลึก
    - มีการเคลื่อนที่ของชั้นผ่านหน้าสัมผัสของผลึก
4) ทฤษฎีปฏิกิริยาการแพร่ (Diffusion reaction theories) ได้มีการสันนิษฐานในเรื่องของการเติบโตของผลึกว่าเกิดจากการที่ “สสารที่ตกสะสมอย่างต่อเนื่องบนหน้าสัมผัสผลึกด้วยอัตราเร็วที่แปรผันตามกับความเข้มข้นระหว่างจุดที่เกิดการตกสะสมกับเนื้อของสารละลาย (bulk of the solution)”.

2.5 กลาสเซรามิก (Glass Ceramic)

กลาสเซรามิกมีพัฒนาขึ้นโดยบริษัท คอร์นนิงกลาสในสหรัฐอเมริกา กลาสเซรามิกเป็นผลิตของแข็ง เตรียมจากการควบคุมกระบวนการเกิดผลึกของแก้ว ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้หลายด้าน เช่น ด้านวิศวกรรม เครื่องกล นำไปผลิตท่อวาล์วและซีล ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า นำไปผลิตฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงและตัวเก็บประจุ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนยานอวกาศและนำไปใช้ในด้านการแพทย์โดยนำไปซ่อมกระดูกและฟันได้รับความเสียหาย ทางด้านทันตกรรมมีความสนใจการเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต

2.5.1 การผลิตกลาสเซรามิก

วัสดุกลาสเซรามิกสามารถเตรียมโดยกระบวนการควบคุมการตกผลึก (controlled crystallization ในแก้วที่มีองค์ประกอบทางเคมีแบบเฉพาะ] โดยวัสดุนี้จะแสดงคุณสมบัติหลากหลายที่ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะของส่วนที่เป็นแก้ว (glass) และส่วนที่เป็นเซรามิกพหุผลึก polycrystalline ceramic) อยู่ในตัวของวัสดุชิ้นเดียวกันโครงสร้างจุลภาคมีความเป็นผลึกบางส่วนและเป็นแก้วบางส่วนซึ่งทำให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากแก้วโดยทั่วไปที่เป็นวัสดุที่มีความใสแข็งเปราะและเป็นวัสดุอสัณฐานที่ปราศจากความเป็นผลึกและแตกต่างจากเซรามิกที่มีความแข็งเปราะและมีโครงสร้างทางผลึก

การผลิตกลาสเซรามิกนั้นโดยทั่วไปใช้วิธีการหลอมและขึ้นรูปเช่นเดียวกับการทำแก้วทั่วๆไปแต่ต้องเพิ่มกระบวนการทางความร้อนแบบควบคุมได้ (controlled heat treatment เพื่อให้เกิดผลึกเฉพาะที่มีขนาดเล็กละเอียดมีการกระจายตัวและมีขนาดสม่ำเสมอโดยทั่วไปต้องมีปริมาณผลึกมากกว่า 50% โดยปริมาตร ซึ่งเฟสของผลึกเซรามิกโครงสร้างผลึกการจัดเรียงตัวของผลึกขนาดของผลึกเฟสแก้วที่เหลือค้างอยู่หลังผ่านกระบวนการทางความร้อนจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของกลาสเซรามิก จากสิ่งที่กล่าวมานี้ทำให้กลาสเซรามิกส์มีสมบัติหลากหลายในการนำไปประยุกต์ใช้งานเฉพาะทางเช่นสมบัติทางไฟฟ้าสมบัติเชิงกลสมบัติทางความร้อนสมบัติทางแสงและสมบัติทางชีวภาพเป็นต้น

2.5.2 ลักษณะเด่นของวัสดุกลาสเซรามิก [5]

คือมีขนาดของผลึกเซรามิกที่เล็กละเอียดตั้งแต่ช่วงระดับนาโนเมตรไปจนถึงไมโครเมตรกระจายตัวอยู่ในเมทริกหลักที่เป็นแก้วเป็นวัสดุที่ปราศจากรูพรุนซึ่งทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีเช่นทนต่อแรงกระแทกและกดแรงอัดนอกจากนี้ยังมีสมบัติเด่นอื่นๆอีกเช่นทนต่อการกร่อนทางเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีในสภาวะความต่างศักย์สูงมีการขยายตัวทางความร้อนที่ต่ำมีความสามารถในการนำความร้อนที่ดีหรือในบางประเภทมีการตอบสนองต่อกระบวนการทางชีวภาพกระบวนการผลิตและขึ้นรูปไม่ซับซ้อนสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายลักษณะโดยใช้เทคโนโลยีแก้วเช่นการเป่าการเทลงแม่พิมพ์การรีดการดึงการกดอัดและการปั่นเป็นเส้นเป็นต้นซึ่งเป็นกระบวนการอุตสาหกรรมที่รวดเร็วและต่อเนื่องตามการพัฒนาเทคโนโลยีการขึ้นรูปแก้วที่ทันสมัยในปัจจุบันสำหรับในประเทศที่พัฒนาแล้วเช่นประเทศญี่ปุ่นสหรัฐอเมริกาและกลุ่มสหภาพยุโรปมีการนำวัสดุกลาสเซรามิกมาประยุกต์ใช้ในงานหลากหลายด้านเช่นภาชนะทนความร้อน, แผ่นรองให้ความร้อนของเตาหุงต้ม, วัสดุทางการแพทย์เช่นฟันเทียมกระดูกเทียมการนำมาใช้ในวงจรไฟฟ้าตัวเก็บประจุเซนเซอร์และแผ่นรองวงจรไฟฟ้าเป็นต้น

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลาสเซรามิกกลาสเซรามิกทางการค้าที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเช่นCeran® และEurokera®ใช้เป็นแผ่นรองให้ความร้อนของเตาหุงต้มในครัวเรือนสมัยใหม่คุณสมบัติเด่นคือป้องกันการขีดข่วนมีผิวที่เรียบปราศจากรูพรุนทำความสะอาดพื้นผิวง่ายทำให้ผิวที่ปรากฏมีลักษณะใหม่อยู่ตลอดเวลาการขยายตัวทางความร้อนต่ำมีความคงทนและทนทานต่ออุณหภูมิที่สูงมีความเสถียรเชิงกลที่สูงและวัสดุได้รับการควบคุมการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดที่ดีนอกจากนี้ยังไม่ก่อให้เกิดไฟไหม้เนื่องจากไม่มีเปลวไฟเกิดขึ้นระหว่างการใช้งานในส่วนของสีสันก็มีการพัฒนาเพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้าภาชนะเครื่องครัว Procerarm8, Corningware และPyrex® มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันเช่นเมื่อนำภาชนะ

ดังกล่าวที่มีความเย็นจัดเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะที่ร้อนจัดทันที่ภาชนะที่ทำจากกลาสเซรามิกนี้จะไม่แตกเหมือนภาชนะแก้วหรือเซรามิกอื่นๆที่เห็นโดยทั่วไป

2.5.3 การจำแนกเซรามิก

เซรามิกล้วนแยกตามองค์ประกอบเซรามิกการจำแนกเซรามิกล้วนสามารถจำแนกได้หลายแบบเช่นจำแนกตามองค์ประกอบของเซรามิกกระบวนการผลิตขึ้นรูปชิ้นงานและการใช้งานในคลินิก" ในการซ่อมแซมเซรามิกล้วนที่แตกทันตแพทย์ควรมีความเข้าใจในองค์ประกอบของเซรามิกที่ใช้เป็นส่วนแกน (ceramic core) และเซรามิกวีเนียร์ ceramic veneer) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. เซรามิกที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (silica based ceramic) ได้แก่

1) เซรามิกชนิดเฟลสปาทิก (feldspathic ceramic) มีความแข็งแรงต่ำเปราะแตกหักง่ายมีความโปร่งแสงนิยมนำมาใช้ในบริเวณที่ต้องการความสวยงามเช่นใช้เป็นเซรามิกวีเนียร์เพื่อปิดทับส่วนแกนของครอบฟันซึ่งมีลักษณะทึบแสง

2) กลาสเซรามิกชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยลูไซต์ (leucite reinforced glass ceramic) มีการเติมผลึกลูไซต์ในแก้วเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกสามารถใช้ทำอินเลย์ (inlay) ออนเลย์ (onlay) และครอบฟันหน้าเซรามิกกลุ่มนี้ได้แก่ไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS Empress: Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

3) กลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disili cate based ceramic) มีองค์ประกอบของผลึกลิเทียมไดซิลิเกตทำให้เซรามิกมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถใช้ทำครอบฟันหลังหรือสะพานฟันหน้าได้ ซึ่งกลาสเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งเป็นวัสดุทางทันตกรรมที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย อันเป็นผลเนื่องมากจาก สมบัติเชิงกลที่ดี มีความใสใกล้เคียงกับฟันมาก อย่างไรก็ตามข้อเสียของวัสดุประเภทนี้คือมีราคาสูงทำให้ผู้ป่วยส่วนใหญ่จึงมักประสบปัญหาในการรักษา ซึ่งลิเทียมไดซิลิเกต เป็นแก้วที่มีคุณสมบัติโปร่งแสง เมื่อทำการปลูกผลึกตัวผลึกจะมีความแข็งแรงเพิ่มสูงและไม่ทำให้สีของแก้วเกิดการทึบหรือไม่โปร่งใส จึงตรงกับคุณสมบัติของฟันเทียมที่ต้องการ เซรามิกกลุ่มนี้ได้แก่

- ไอพีเอสเอ็มเพรสทู (IPS EmpressII: Ivoclar Vivadent Schaan,Liechtenstein)
- ไอพีเอสอีแม็ค (IPSmax; Press,CAD orZirCAD: Ivoclar Vivadent,Schaan, Liechtenstein)

2. เซรามิกที่มีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน alu-mina based ceramic) ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะอะลูมิเนียม (AI, 0,) ที่อยู่รวมกันเป็นผลึกหนาแน่นมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยใช้ทำครอบฟันและสะพานฟัน) ได้แก่ อินซีแรมอะลูมินาและอินซีแรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram Alumina, Zirconia: VITA, Zahnfabrik, Germany), โพรเซรา (Procera: Nobel Biocare AB, Goteborg, Sweden)

3. เซรามิกที่มีเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน (zir-conia based ceramic) มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยเนื่องจากเซอร์โคเนียมีผลึกที่เสถียรมากมีความแข็งแรงสูงจึงสามารถนำมาใช้ทำสะพานฟันหลัง 19, 17 ได้แก่ เซอร์คอน (Cercon Dentsply Ceramo, York, Pennsylvania, U. S. A.) ลาวา (Lava: 3M ESPE, St. Paul, Minnesota, U. S. A.) ไอพีเอสอีแมกซ์เซอร์แคด (IPS e. max ZirCAD; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) เซรามิกที่มีอะลูมินาหรือเซอร์โคเนียเป็นองค์ประกอบพื้นฐานมีการอัดแน่นของผลึกออกไซด์เซรามิกจึงมีความแข็งแรงมากและมีความทึบแสงจึงมักใช้เซรามิกกลุ่มนี้เป็นส่วนแกนกลางและถูกปิดทับด้วยวีเนียร์เฟลสปาทิกเพื่อความ 2560 สวยงาม [3]

2.6 วัสดุทางการแพทย์ [6]

ในส่วนของวัสดุทางการแพทย์กลาสเซรามิกก็ถูกนำมาประยุต์ใช้ในหลายๆด้านซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษเช่นสามารถเข้ากับร่างกายสิ่งมีชีวิตได้ (biocompatible) นอกจากนั้นแล้วบางชนิดยังแสดงสมบัติเฉื่อยทางชีวภาพ (biolinert และไม่ย่อยสลายหรือทำปฏิกิริยากับสภาวะในร่างกายแต่บางตัวมีการตอบสนองทางชีวภาพ (bioactive) ที่ดีหรือบางประเภทสามาถทำปฏิกิริยากับของเหลวในร่างกายและสลายตัว (bioresorbable ได้เมื่อเวลาผ่านไปอย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัสดุก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้งาน ใช้สำหรับวัสดุเติมแต่งส่วนที่สึกหลอในร่างกายแกนกระดูกและกระดูกเทียมโดยที่กลาสเซรามิกมีเฟส apatite Cas (P0, AF) มีองค์ประกอบทางเคมีคือ 56-65% SiO_2 , 1.8-5.3% Li_20, 9-17.5% K0, 0-8% Al_20_3 9 -16% ZnO_2 3.5-10. 5% CaO, 2-6% P_20_5 1% F สำหรับ IPS Empress2 ดังแสดงใน**รูปที่ 2.4** ใช้ทำเป็นวัสดุทดแทนทางทันตกรรมเช่นฟันเทียมโดยที่กลาสเซรามิกนี้มีเฟสหลักคือ leucite (KASI, 04) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือ 48-66% SiO_2 , 5-20% Al_20_3 15% KO

รูปที่ 2.3 แสดง ของ IPS Empress2 [4]

คุณลักษณะเด่นของ IPS Empress2®คือเข้ากับสภาวะในช่องปากได้ไม่สลายตัวเองมีความโปร่งแสงที่ใกล้เคียงกับฟันจริงตามธรรมชาติปราศจากรูพรุนมีความแข็งแกร่งที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติเพื่อลดปัญหาการสึกเมื่อเกิดการสบฟันมีความสามารถในการต้านทานการขีดข่วนที่สูงเหมือนฟันตามธรมชาติทนทานต่อแรงกดอัดและไม่เปราะเหมือนฟันเทียมที่ทำจากเซรามิกแบคทีเรียยึดติดยากวัสดุมีความง่ายต่อการกรอตกแต่งทันตแพทย์สามารถใช้เครื่องมือกรอฟันธรรมดาที่มีอยู่การตกแต่งขึ้นรูปและสามารถปรับแต่งสีให้มีความใกล้เคียงกับธรรมชาติได้โดยใช้ออกไซด์ของโลหะต่างๆช่วยนอกจากนี้กลาสเซรามิกยังมีการพัฒนาใช้ทำเป็นชิ้นวัสดุชนิดการอุดฟันแทนอมัลกัมเนื่องจากตระหนักถึงพิษภัยของปรอทที่สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมนอกจากนี้การครอบฟันก็สามารถใช้เครื่องขึ้นรูปควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ CAD / CAM โดยที่รูปร่างของเนื้อฟันส่วนที่ผุจะใช้ภาพถ่ายรังสีเป็นตัวกำหนดรูปร่างกลาสเซรามิกในกลุ่มที่ให้สมบัติเชิงกลที่โดดเด่นคือ machinable glass-ceramics ถูกนำมาใช้งานอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีสามารถที่จะทำการเจาะตัดแต่งไสและขัดได้โดยไม่แตกหักแบบเปราะดังเช่นแก้วหรือเซรามิก

2.7 การทดสอบความแข็ง [7]

ความแข็ง คือ คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านทานหรือทนต่อการเสียรูปแบบพลาสติกโดยปกติเกิดจากการทำให้เป็นรอยจากการกดอย่างไรก็ตามความแข็งอาจรวมถึงความต้านทานต่อการดัดการปิดการขัดและการตัด

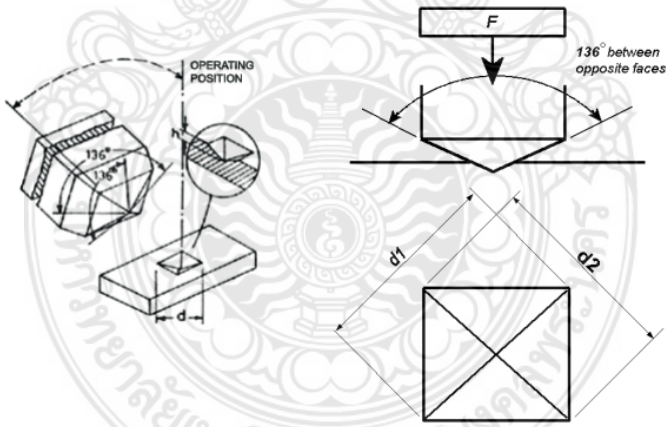
การวัดความแข็งความแข็งไม่ใช่คุณสมบัติเนื้อแท้ของวัสดุที่กำหนดได้ด้วยคำจำกัดความที่แน่นอนบนหน่วยพื้นฐานของมวลความยาวและเวลาค่า

คุณสมบัติความแข็ง คือ ผลของกระบวนการวัดที่กำหนดความแข็งของวัสดุได้ถูกประเมินมาอย่างยาวนานโดยความต้านทานต่อการขีดและการตัดตัวอย่างเช่นวัสดุ 8 ขีดวัสดุ C เป็นรอยแต่ไม่สามารถปิดวัสดุ A เป็นรอยในทางกลับกันวัสดุ A ขีดวัสดุ B เป็นรอยเล็กน้อยและขีดวัสดุ C เป็นรอยมาก

การทดสอบความแข็งโดยการเปรียบเทียบมีข้อจำกัดในการใช้งานและไม่สามารถให้ข้อมูลตัวเลขที่แม่นยำหรือกำหนดสเกลเฉพาะสำหรับวัสดุและโลหะสมัยใหม่วิธีโดยปกติเพื่อหาค่าความแข็งคือการวัดจากความลึกหรือพื้นที่ของรอยกัดที่เหลือทิ้งไว้จากหัวกดที่มีรูปร่างภาระ (load) และเวลาที่เจาะจงวิธีมาตรฐานหลัก 3 มาตรฐานสำหรับการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและขนาดของรอยกดคือร็อคเวลล์บริเนลล์และวิกเกอร์แต่ละวิธีของมาตรฐานได้ถูกแบ่งเป็นสเกลกำหนดโดยภาระที่ใช้และลักษณะของหัวกดด้วยเหตุผลของการใช้งานและการสอบเทียบ

- แบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

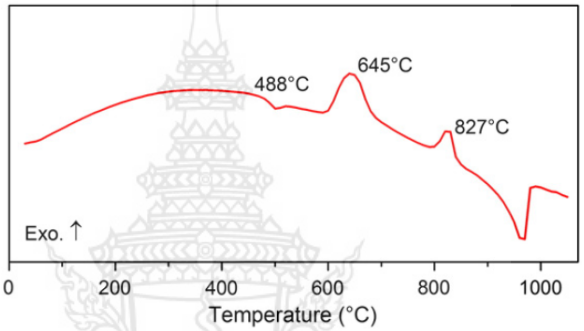
วิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ประกอบด้วยการกดวัสดุทดสอบด้วยหัวเพชรรูปปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม และมุม 136 องศาระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม ภายใต้ 1-200 กิโลกรัมแรง เป็นระยะเวลา 10-15 วินาที เส้นทแยงที่หลงเหลือบนผิวหน้าของวัสดุภายหลังจากนำภาระออก จะถูกวัดโดยกล้องจุลทรรศน์และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยก พื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะถูกคำนวณ ค่าความแข็งคำนวณจากผลหารภาระต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกด ดัง**รูปที่ 2.5**



รูปที่ 2.4 แสดงหลักการของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ [6]

2.8 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในปี 2014 Zhang และคณะผู้วิจัย ได้มีการศึกษาอิทธิพลทางความร้อนต่อโครงสร้างทางจุลภาค และ สมบัติของลิเทียมไดซิลิเกต พบว่า การให้อุณหภูมิการเกิดผลึกที่ 650 องศาเซลเซียส ทำให้แก้วมีสมบัติที่ดี โดยการเพิ่มเวลาการหลอมเหลว ซึ่งไม่ทำให้การแก้วเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟส แต่มีการเพิ่มปริมาณของผลึกที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งเมื่อลดขนาดของแก้วลิเทียมไดซิลิเกตทำให้มีความโปร่งแสงเพิ่มมากขึ้น และการรักษาอุณหภูมิเป็นเวลา 48 ชั่วโมงในระยะแรกพบว่าเป็นช่วงที่สมบูรณ์ที่สุด มีค่าแรงดัดอยู่ที่ 581±25 MPa [9]



รูปที่ 2.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ของ Pei Zhang

ในปี 2000 Sascha และคณะผู้วิจัยได้มีการศึกษาผลของฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ ที่มีต่อการเกิดผลึกและลักษณะโครงสร้างจุลภาคของกลาสเซรามิก SiO_2-Li_2O-K_2O-ZnO-P_2O_5 ในระบบพบ ว่ากลาสเซรามิกมีลิเทียมเทียมไดซิลิเกตเป็นเฟสหลักส่วนลิเทียมเมทาซิลิเกต ลิเทียมออโธฟอสเฟตและคริสโตบาไลท์ เป็นเฟสรองกลาสเซรามิกที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ 1.0-2.5% ผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต มีลักษณะเป็นแท่ง [10]

ในปี 2015 Zhao และคณะผู้วิจัยได้มีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการเผาผลึกที่อยู่ใกล้กับจุดหลอมเหลวของโครงสร้างผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งความโปร่งแสง ชิ้นงานที่ได้จากผงแก้ว มีความแข็งแรงและความโปร่งสูงมาก การหลอมเหลวของผลึกและการตกผลึกของของเหลวที่หลอมละลายเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิการเผา การเพิ่มขนาดอนุภาคของผงแก้วทำให้เกิดความหนาแน่นสัมพัทธ์ความยืดหยุ่นและความโปร่งแสง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น ใกล้เคียงกันทำให้มีการเพิ่มขึ้นจนผลึกมากเกิดขึ้นลดลงจากการหลอมละลายและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเนื่องจากผลึกเหลวของของเหลวที่หลอมละลาย [11]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่นำมาทำเป็นวัสดุทางทันตกรรมโดยเริ่มจากการเตรียมผงโซเดียม ลิเทียม และซิลิเกต จากนั้นนำมาทำการหลอมด้วยด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ในบทนี้จะกล่าวถึง วัตถุดิบตั้งต้น สารเคมี อุปกรณ์ ขั้นตอนในการทำงานวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อที่จะทำการปรับปรุงสีของแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตให้มีสีที่คล้ายกับฟันของมนุษย์และมีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น อีกทั้งยังได้อธิบายขั้นตอนการตรวจสอบ การวิเคราะห์ผงและเซรามิกที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคต่าง ๆ อาทิเช่น การวิเคราะห์ด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction analysis) การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (dilatomic softening point) การวิเคราะห์ความแข็ง (hardness testing) และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมวลและพลังงานทางความร้อน (DSC) โดยการทดลองงานวิจัยนี้จะหาวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมและช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุด มาเป็นตัวช่วยในงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลองได้แสดงใน**ตารางที่ 3.1** ซึ่งประกอบด้วยชื่อสารเคมี สูตรทางเคมี มวลโมเลกุล

ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	**สูตรทางเคมี**	**มวลโมเลกุล (g/mol)**
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO_2	60.08
อะลูมิเนียมออกไซด์	Al_2O_3	101.96
เซอร์คอนเนียมไดออกไซด์	ZrO_2	123.218
โพแทสเซียมคาร์บอเนต	K_2CO_2	138.205
แอมโมเนียมฟอสเฟต	$(NH_4)HPO_4$	114.0178
ลิเทียมคาร์บอเนต	Li_2CO_3	73.891
ซีเรียมออกไซด์	CeO_2	172.115

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เตาเผาไฟฟ้า (Furnace) สำหรับหลอมแก้ว

3.2.2 เตาเผาไฟฟ้า (Furnace) สำหรับปลูกผลึก ผลิตโดยบริษัท SYBRON

3.2.3 แม่พิมพ์ (Mold) ขนาดเส้นผ่าสูตรกลาง 1 เซนติเมตร

3.2.4 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)

3.2.5 บิกเกอร์ขนาดต่างๆ

3.2.6 ถ้วยอะลูมิน่า (Alumina Crucible)

3.2.7 โกร่งบดสาร (Mortar)

3.2.8 ช้อนตักสารเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)

3.2.9 ปากคีบ (Forceps)

3.2.10 เตาแผ่นความร้อน (Hot plate) สำหรับรองชิ้นงาน

3.2.11 เครื่องชั่งระบบดิจิตอล (ความละเอียด 0.0001 กรัม)

3.2.12 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากความร้อน

3.2.13 เครื่องขัด รุ่น Mataserv 250 ผลิตโดย BUEHLER

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.1 แสดงภาพเครื่องมือใช้ความร้อน (ก) เตาเผาไฟฟ้า สำหรับหลอมแก้ว (ข) เตาเผาไฟฟ้าสำหรับปลูกผลึก (ค) เตาแผ่นความร้อน

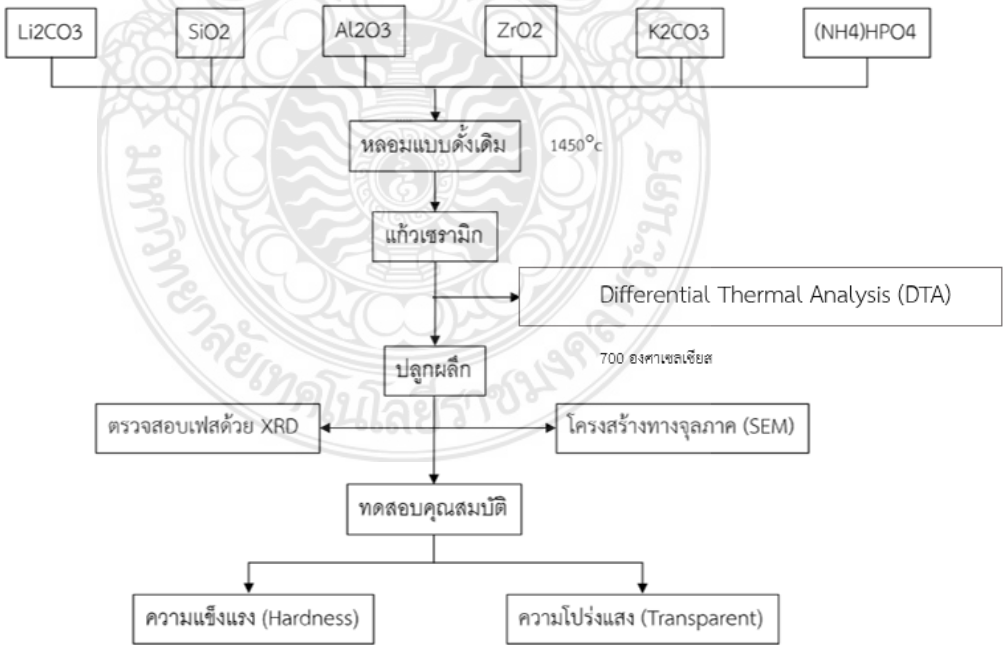
3.3 วิธีการดำเนินงาน

ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนที่ 1 จะเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงานแก้วเซรามิกจากสารเคมี ทั้งหมด 6 สูตร ดัง**ตารางที่ 3.2**

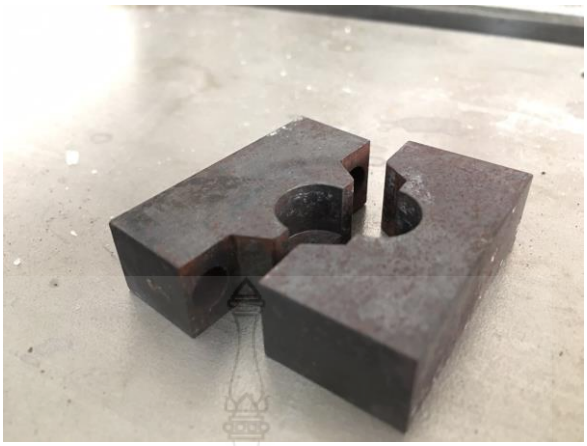
ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของสารเคมีของการเตรียมแก้ว

	SiO_2	Al_2O_3	ZrO_2	K_2CO_3	$(NH_4)HPO_4$	Li_2CO_3	CeO_2	Ref.
LD1	66.4	2.2	-	2	2	26.6	-	P. Zhang [2014]
LD2	65.0	2.2	2.0	2.3	1.0	27.5	-	P. Zhang [2014]
LD3	68.0	3	2.5	2.5	1.2	26.7	-	P. Zhang [2014]
LD4	65.5	2.0	2.0	1.8	1.2	27.5	0.5	T. Zhao [2015]
LD5	67.7		14	1.89	0.72	28.3	-	R.S. Soares[2015]
LD6	67.7	1	-	-	3	28.3	-	Y. Bai [2016]

ในส่วนขั้นตอนที่ 2 จะกล่าวถึงกระบวนการการตรวจสอบ วิเคราะห์ผลของชิ้นงาน เช่น การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค (DTA) การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การศึกษาความแข็ง (Hardness) และความโปร่งแสง ดัง**รูปที่ 3.2**



รูปที่ 3.2 แสดงภาพขั้นตอนการเตรียมแก้วเซรามิก



รูปที่ 3.3 แสดงภาพ แม่พิมพ์ (Mold) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร

3.4 การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential thermal analysis (DTA)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในรายละเอียดของพฤติกรรมทางความร้อนของสารประกอบลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งมีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์หาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูกผลึกของลิเทียมไดซิลิเกต อีกทั้งยังเป็นการหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผนึกชิ้นงานที่มีความหนาแน่นดีที่สุด ซึ่งเทคนิคในการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal analysis) ที่ใช้คือ เทคนิค Differential thermal analysis (DTA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการใช้ตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง โดยใช้เงื่อนไขในการทดสอบอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 1400 °C

รูปที่ 3.4 แสดงเครื่อง Differential thermal analysis (DTA)

3.5 การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction)

เทคนิคนี้เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction technique) เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบบนผิววัสดุซึ่งมีโครงสร้างเป็นผลึก และมีการจัดเรียงตัวของอะตอมอย่าง เป็นระเบียบ ซึ่งมีลักษณะเป็นระนาบ (hkl) จะทำให้เกิดการกระเจิง (Scattering) ของรังสีเอ็กซ์ โดยที่มุมการ เลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ออกจากผลึกจะเป็นลักษณะเฉพาะตามชุดระนาบนั้น ๆ และสามารถที่จะเกิดการ แทรกสอดแบบเสริมกันได้เมื่อเป็นรังสีเลี้ยวเบน ก็สามารถตรวจสอบได้ว่ารังสีที่ตรวจจับนั้นมาจากระนาบใด และมีปริมาณเท่าใด โดยดูจากค่ามุมและความเข้มและรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ปรากฏ ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมี รูปแบบการเลี้ยวเบนที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างกันตามโครงสร้าง สำหรับการตรวจสอบนั้นจะมีขั้นตอนในการเตรียมสารตัวอย่างดังต่อไปนี้คือ

1. นำผงและชิ้นงานที่เตรียมได้มาบรรจุใสในแผ่นบรรจุชิ้นงาน (sample holder จากนั้นนำไปวางที่บริเวณช่องสำหรับวางชิ้นงานในเครื่อง X-ray diffraction ในกรณีที่สารตัวอย่างเป็นผงให้นำมาบดให้ละเอียดแล้วบรรจุลงในแผ่นบรรจุสารตัวอย่างก่อนจากนั้นเกลี่ยผงตัวอย่างให้เรียบโดยใช้กระจกสไลด์

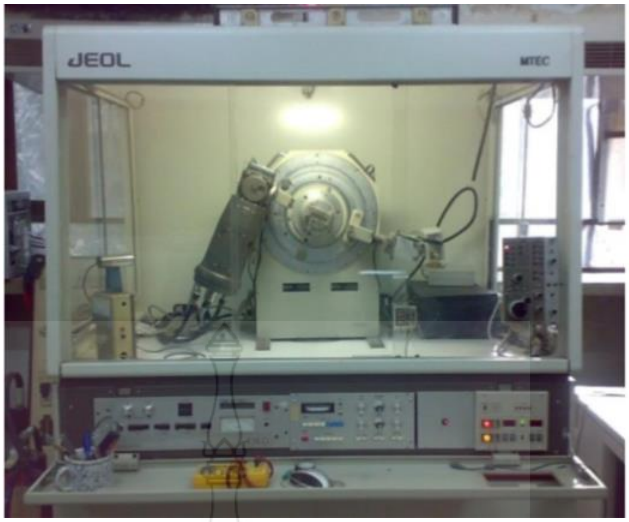
2. เริ่มทำการทดสอบโดยให้มุมเริ่มต้นที่ 20 เท่ากับองศาและมุมสุดท้าย 28 เท่ากับ 60 องศา

3. ผลที่แสดงออกมาจะอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับมุม 28 จากนั้นนำผลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในแฟ้ม JCPDs เพื่อตรวจสอบเฟสองค์ประกอบและความบริสุทธิ์ของชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดขึ้น โดยนำค่ามุม 28 ที่ได้มาหาค่าd-spacing จากกฎของแบรกดัง**สมการที่ 3. 1**

$$d = \frac{\lambda}{2d \sin\theta} \qquad (3.1)$$

โดยที่ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing)

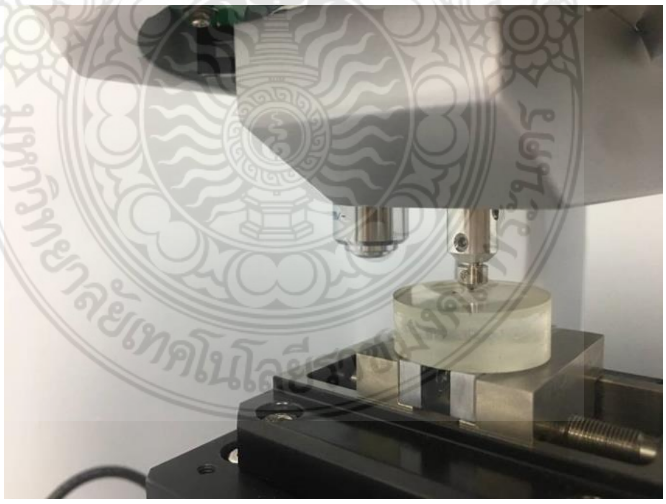
λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ในกรณีนี้ (λ=1.54439°)



รูปที่ 3.5 แสดง เครื่อง X-ray diffraction

3.6 การทดสอบความแข็ง (hardness test)

วิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ประกอบด้วยการกดวัสดุทดสอบด้วยหัวเพชรรูปปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม และมุม 136 องศาระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม ภายใต้ 100-200 กิโลกรัมแรง เป็นระยะเวลา 15 วินาที เส้นทแยงที่หลงเหลือบนผิวหน้าของวัสดุภายหลังจากนำภาระออก จะถูกวัดโดยกล้องจุลทรรศน์และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยง พื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะถูกคำนวณ ค่าความแข็งคำนวณจากผลหารภาระต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกด



รูปที่ 3.6 แสดงการทดสอบด้วยเครื่อง Hardness test

3.7 การทดสอบความหนาแน่น (Density test)

วิธีการทดสอบความหนาแน่นของชิ้นงานโดยการนำชิ้นงานวัดค่าความหนาแน่นในน้ำ ซึ่งน้ำมีความหนาแน่น 0.99 g/cm^3 โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งโดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักของแก้วในอากาศกับที่ชั่งในน้ำ โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. นำแก้วตัวอย่างที่ได้มาชั่งน้ำหนักในอากาศด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งโดยค่าที่ได้จะเป็นน้ำหนักของแก้วในอากาศ

2. นำแก้วตัวอย่างที่ได้ลงในน้ำเพื่อชั่งน้ำหนักแขวนลอยของแก้วโดยค่าที่ได้จะเป็นน้ำหนักของแก้วในน้ำ

3. นำค่าที่วัดได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างโดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3. 2

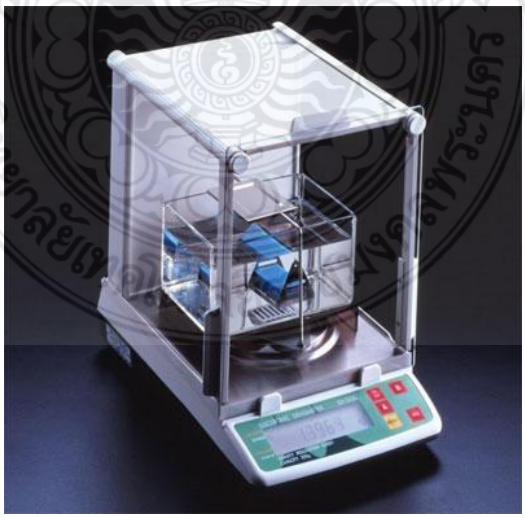
$$\rho = \frac{W_{Air}}{W_{Air} - W_{Water}} \times \rho_{Water} \tag{3.2}$$

เมื่อ W_{Air} คือ น้ำหนักของแก้วตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (g)

W_{Water} คือ น้ำหนักของแก้วตัวอย่างที่ชั่งในน้ำ (g)

ρ คือ ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง (g/cm^3)

ρ_{Water} คือ ความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.0000 g/cm^3



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องทดสอบค่าความหนาแน่น (Density test)

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

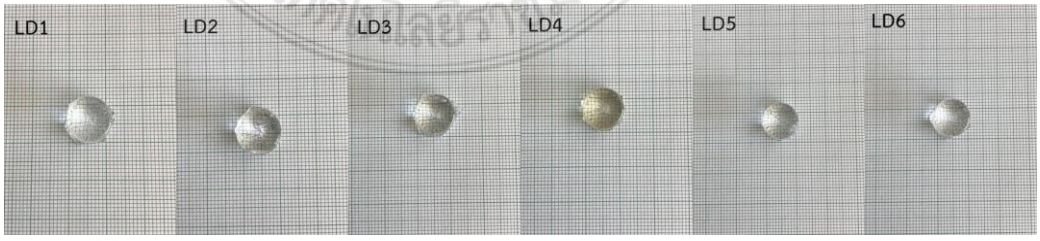
ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองจากการศึกษาแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate) ที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งในงานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการเตรียมแบบแก้วเซรามิกรวมถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องตลอดจนศึกษาถึงสมบัติในด้านต่างๆของแก้วเซรามิกดังกล่าวเช่นสมบัติทางกายภาพโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางความร้อน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาต่อในด้านการเตรียมแบบเซรามิกตลอดจนการวิเคราะห์สมบัติต่างๆอีกด้วยโดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาการเตรียมแก้ว

ในการเตรียมชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate) นั้นจะต้องเริ่มจากการเตรียมชิ้นงานแก้ว ก่อนโดยเริ่มจากการหลอมตามสูตร ทั้ง 6 สูตร โดยทำการหลอมที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงจากนั้นทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (quenched) ลงบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมแล้วนำแก้วที่ได้ไปบดเป็นผงเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตต่อไป

4.1.1 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

จากการเตรียมชิ้นด้วยวิธีการหลอมแก้วนั้นพบว่าลักษณะของชิ้นงานแก้วที่เตรียมได้ทั้ง 6 สูตรมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยชิ้นงานที่ชิ้นงานแก้วสูตร LD1 LD2 LD3 LD5 LD6 มีลักษณะโปร่งใสขาว ส่วนสูตร LD4 ที่มีการเติมสารซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ทำให้ชิ้นงานแก้วมีลักษณะโปร่งใส และมีสีเหลืองอ่อนๆ ซึ่งเป็นสีของซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ดังแสดงใน**รูปที่ 4.1** ซึ่งทำให้สีของแก้วที่ได้แตกต่างไปตามสูตรของแก้วทั้ง 6 สูตร



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานแก้ว ทั้ง 6 สูตร

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA

จากการตรวจสอบผงแก้วที่เตรียมได้โดยใช้การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA โดยมีเงื่อนไขของอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 องศาเซลเซียส) ไปจนถึงอุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการขึ้นของอุณหภูมิคือ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้ผงอลูมินา เมื่ออุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานของผงแก้ว โดยมีทั้งกระบวนการดูด (endothermic) และคายพลังงาน (exothermic) เกิดขึ้นดังนี้ **ตารางที่ 4.1**

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA

ชื่อชิ้นงาน	Tg (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	Tm (°C)
LD 1	460	640	850	1020
LD 2	540	682	848	1017
LD 3	465	535	905	1045
LD 4	512	592	932	1012
LD 5	551	651	901	1061
LD 6	472	682	982	1012

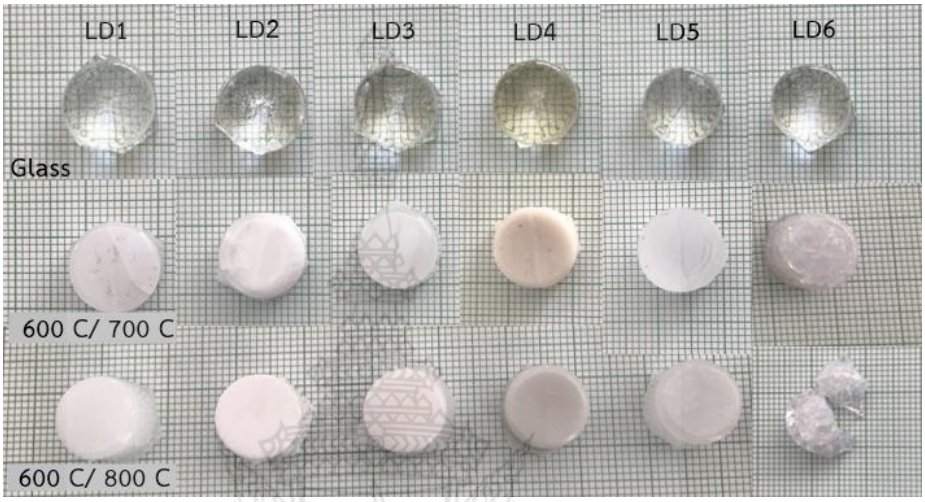
4.2 ผลการศึกษาการเตรียมแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate)

ในการเตรียมชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต (Lithium disilicate) นั้นจะอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางความร้อน (DTA) มาใช้ในการพิจารณาเงื่อนไขของอุณหภูมิที่ใช้ในการปลูกผลึกด้วยวิธีการทางความร้อนซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการตกผลึกแก้วเซรามิกที่ คือ 650 700 และ 750 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทำการปลูกผลึกลงในแก้วด้วยวิธีการทางความร้อน heat treatment ตามเงื่อนไขของอุณหภูมิที่เหมาะสมคืออุณหภูมิก่อนการตกผลึกอุณหภูมิตกผลึกและอุณหภูมิหลังภารตกผลึกตามลำดับเป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยมีอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิคือ 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีแล้วนำแก้วเซรามิกที่เตรียมได้มาทำการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค XRD และสมบัติทางกายภาพโครงสร้างทางจุลภาค

4.2.1 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

จากการเตรียมชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ทั้ง 6 สูตร ซึ่งผ่านการปลูกผลึกที่อุณหภูมิมีก่อนการตกผลึกอุณหภูมิตกผลึกและอุณหภูมิหลังการตกผลึกตามลำดับเป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยมีอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิคือ 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีพบว่า

ลักษณะของชิ้นงานแก้วเซรามิกที่เตรียมได้จะมีลักษณะที่บแสงและมีสีที่แตกต่างกันดังแสดง **รูปที่ 4.2** ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดผลึกขึ้นภายในแก้วและสีที่แตกต่างกันของชิ้นงานแก้วเซรามิกเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับบรรยากาศภายนอกในขั้นตอนการปลูกผลึกซึ่งทำให้สีของแก้วเซรามิกที่ได้แตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยเงื่อนไขต่างๆ

4.2.2 ผลการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRD

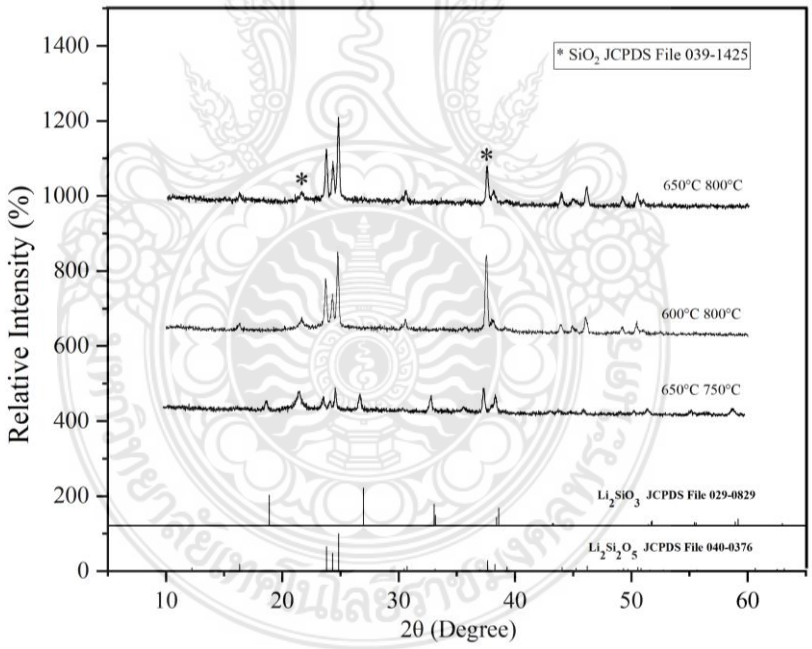
จากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบของแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตทั้ง 6 สูตรด้วยเทคนิค XRD พบว่ามีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังแสดงใน**รูป 4.3 4.4 4.5 และ 4.6** ตามลำดับ

ซึ่งแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลเกตถูกปลูกผลึกที่อุณหภูมิต่างกันคืออุณหภูมิก่อนการตกผลึกอุณหภูมิตกผลึกและอุณหภูมิหลังการตกผลึกตามลำดับเป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยมีอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิคือ 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีซึ่งจะเห็นได้ว่า

- แก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 1 ที่ผ่านการปลูกผลึกที่อุณหภูมิก่อนการตกผลึกอุณหภูมิตกผลึกและอุณหภูมิหลังการตกผลึก 2 ช่วงอุณหภูมิ คือที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1

ชั่วโมง และ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังแสดงใน**รูปที่ 4.3**

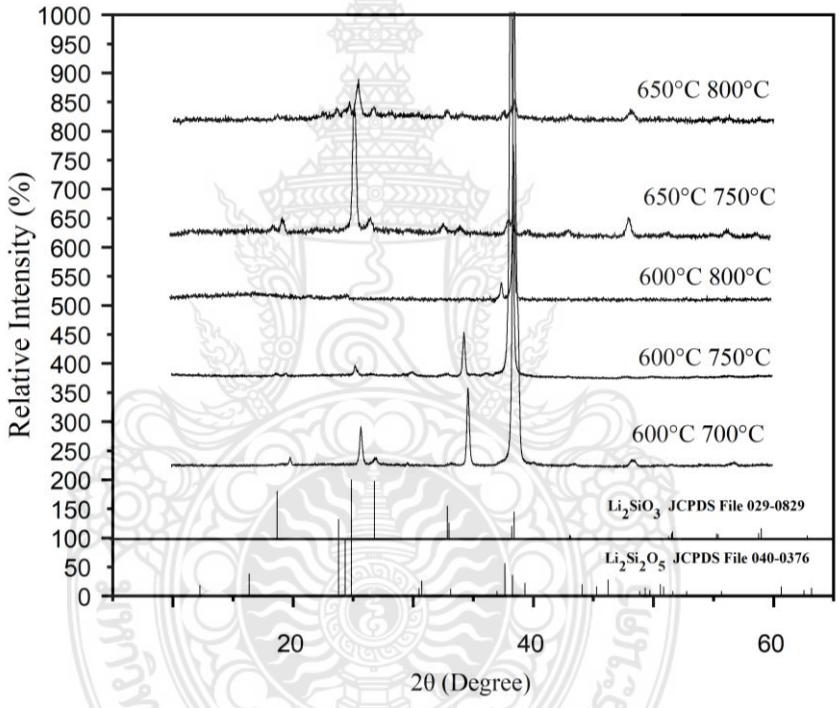
พบว่าแก้วเซรามิกที่ผ่านการปลูกผลึกที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นพีคที่ไม่ใช้เฟสเดียวโดยมีทั้งหมด 2 เฟสคือ ลิเทียมเมทะซิลิเกต ซึ่งตรงกับข้อมูล JCPDS หมายเลข 029-0829 และลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งตรงกับข้อมูล JCPDS หมายเลข 040-0376 ตามลำดับซึ่งแก้วเซรามิกที่ผ่านการปลูกผลึกที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 800 องศาเซลเซียส ส่วนส่วน อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส 800 องศาเซลเซียส และ 650 องศาเซลเซียส 750 องศาเซลเซียสเมื่อพิจารณาเฟสที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ร่วมกับผลจากการวิเคราะห์ด้วย DTA จะพบว่ามีสอดคล้องกันเพราะพบการเกิดเฟสขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 630 องศาเซลเซียสและเกิดอีกเฟสหนึ่งขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 850 องศาเซลเซียนจากการวิเคราะห์ด้วย DTA



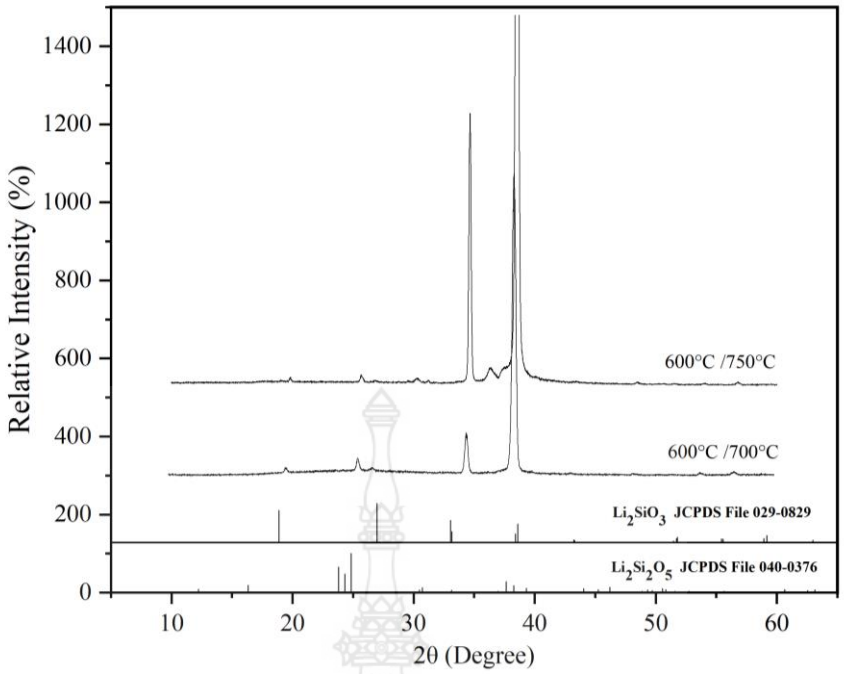
รูปที่ 4.3 รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ้งชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 1 ที่ผ่านการ Heat treatment ที่อุณหภูมิต่างๆ

- แก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 2 3 และ 5 ที่ผ่านการปลูกผลึกที่อุณหภูมิก่อนการตกผลึกอุณหภูมิตกผลึกและอุณหภูมิหลังการตกผลึก 2 ช่วงอุณหภูมิ มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูป 4.5 และ 4.6

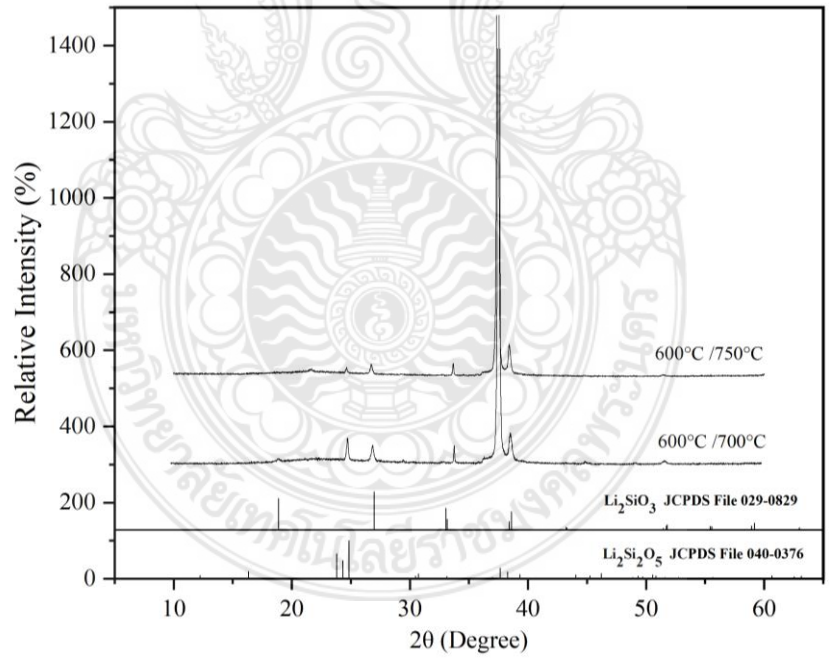
  พบว่าแก้วเซรามิกที่ผ่านการปลูกผลึก มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นพีคที่ไม่ใช้เฟสลิเทียมเมทะซิลิเกต ที่ข้อมูล JCPDS หมายเลข 029-0829 และลิเทียมไดซิลิเกตที่ข้อมูล JCPDS หมายเลข 040-0376 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ้งชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 2 ที่ผ่านการ Heat treatment ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.5 รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ้งชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 3 ที่ผ่านการ Heat treatment ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.6 รูปแบบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ้งชิ้นงานแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตสูตร 5 ที่ผ่านการ Heat treatment ที่อุณหภูมิต่างๆ

4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

- การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การกดวัสดุชิ้นงานสูตรที่ 1 ทดสอบด้วยหัวเพชรรูปปิระมิดฐานสี่เหลี่ยมและมุม 136 องศาระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม ภายใต้ 100-200 กิโลกรัมแรง เป็นระยะเวลา 15 วินาที เส้นทแยงที่หลงเหลือบนผิวหน้าของวัสดุภายหลังจากนำภาระออก จะถูกวัดโดยกล้องจุลทรรศน์และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยง พื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะถูกคำนวณ ค่าความแข็งคำนวณจากผลหารภาระต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกด

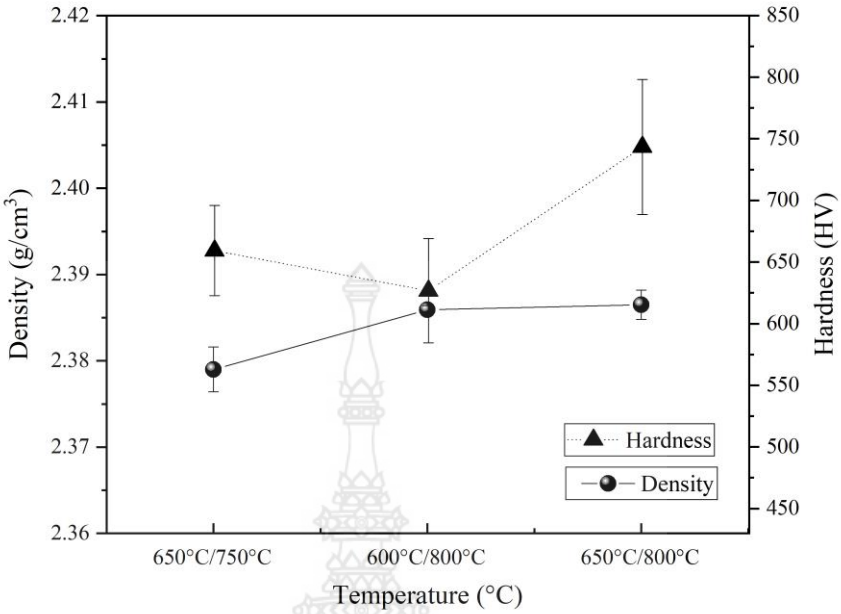
จากการทดสอบความแข็ง ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 600 องศาสเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 650 องศาสเซลเซียส กับ 750 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 650 องศาสเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 650 HV 620 HV และ 655 HV ตามลำดับ

- ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density test)

จากการทดสอบโดยการนำชิ้นงานวัดค่าความหนาแน่นในน้ำ ซึ่งน้ำมีความหนาแน่น 0.99 g/cm^3 โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งโดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักของแก้วในอากาศกับที่ชั่งในน้ำ

จากการทดสอบความหนาแน่น ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 600 องศาสเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 650 องศาสเซลเซียส กับ 750 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ 650 องศาสเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.382 g/cm^3 2.387 g/cm^3 และ 2.425 g/cm^3 ตามลำดับ

เมื่อทำการทดสอบค่าความหนาแน่นและค่าความแข็ง จากผลการทดลองพบว่า แก้วสูตรที่ 1 (LD1) ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส มีการแปรผันตรงกันทั้งความแข็งและความหนาแน่น ทำให้ค่าความหนาแน่นของแก้วมีค่าอยู่ในช่วง 2.375-2.378 g/cm3 และค่าความแข็งอยู่ในช่วง 675-800 HV ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มในความแข็งและความหนาแน่นมากที่สุด



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบผลของค่าความแข็งกับค่าความหนาแน่น

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์แก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ที่มาประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรม ในระบบการหลอมแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียลโดยจะเริ่มจากการคำนวนชั้งสารและทำการหลอม 1450 องศาเซลเซียส .เป็นเวลา 4 ชั้วโมง เมื่อได้ชิ้นงานแก้ว จะนำไปวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการปลูกผลึกแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต และวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRD ต่อไป ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

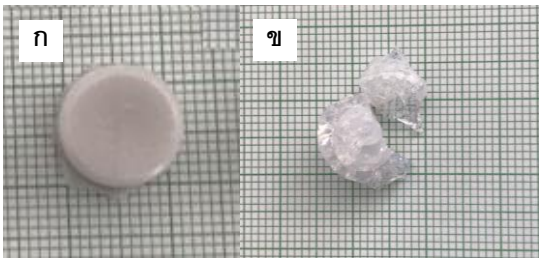
5.1 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

5.1.1 ผลจากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA

ผลจากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA เพื่อหาตามเงื่อนไขของอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิก่อนการตกผลึก อุณหภูมิตกผลึก และอุณหภูมิหลังการตกผลึก ตามลำดับพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการตกผลึกของแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต คือ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาเซลเซียส ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการเลือกช่วงอุณหภูมิทั้งหมด 5 ช่วงอุณหภูมิ ได้แก่ 600 องศาเซลเซียส กับ 700 องศาเซลเซียส 600 องศาเซลเซียส กับ 750 องศาเซลเซียส 600 องศาเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส 650 องศาเซลเซียส

จากนั้นนำแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตที่ผ่านการปลูกผลึกมาทำการตรวจสอบองค์ประกอบเฟสที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค (XRD) สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลตามลำดับ ซึ่ง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากกการปลูกผลึกที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาเซลเซียส ชิ้นงาน สูตรที่ 4 (LD4) มีคุณสมบัติไม่ตรงกับฟันธรรมชาติ คือ มีสีเข้ม ขุน และมีสีเหลือง ส่วนสูตรที่ 6 (LD6) ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวไม่เป็นรูปร่าง ทำให้ 2 สูตรนี้ไม่ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการดังรูปที่5.1



รูปที่ 5.1 แสดงภาพของชิ้นงานที่ไม่ตรงกับปัจจัย (ก) LD4 (ข) LD6

5.1.2 ผลจากการตรวดสอบเฟสองค์ประกอบ (XRD)

ผลจากการตรวดสอบเฟสองค์ประกอบ (XRD) ของแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งจากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า ชิ้นงานที่ 1 (LD1) มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นพีคที่ไม่ใช้เฟสเดียว ซึ่งประกอบด้วยพีคหลังและพีครอง โดยที่พีครองสอดคล้องกับเฟสของลิเทียมเมททะซิลิเกต ซึ่งตรงกับข้อมูล JCPDS หมายเลข 029-0829 ส่วนพีคหลักเป็นพีคที่ได้จากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้พีครองกลายเป็นพีคหลักซึ่งสอดคล้องกับเฟสของลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งตรงกับข้อมูล JCPDS หมายเลข 040-0376 ซึ่งเป็นเฟสที่เราต้องการ ตามลำดับ ส่วนสูตรที่เหลือ ได้แก่ LD 2 LD 3 และ LD 5 มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นพีคที่ไม่ใช้เฟสของลิเทียมไดซิลิเกต และลิเทียมเมททะลิซิเกต ศึกษาต้องศึกษาต่อไปว่า เป็นเฟสของแก้วชนิดใด

5.2 ผลจากการทดสอบสมบัตทางกายภาพและสมบัติทางกล

5.2.1 ผลจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของชิ้นงานสูตรที่ 1 (LD1) คือ ค่าความหนาแน่น (Density) และสมบัติทางกล คือ ค่าความแข็ง พบว่าสมบัติความหนาแน่น ช่วงอุณหภูมิการตกผลึกที่ 650 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาสเซลเซียส คือ 2.425 g/cm^3 มีค่าความหนาแน่นมากกว่าช่วงอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาสเซลเซียส. และ ที่ 650 องศาเซลเซียล กับ 750 องศาสเซลเซียส ตามลำดับ เพราะว่าช่วงการเปลี่ยนเฟสจากลิเทียมเมททะซิลิเกตกลายมาเป็นเฟสของลิเทียมไดซิลิเกต แปลว่าเฟสของลิเทียมไดซิลิเกต มีความหนาแน่นมากกว่าเฟสของ ลิเทียมเมททะซิลเกต

5.2.2 ผลจากการทดสอบสมบัติทางกล

จากการวัดค่าสมบัติทางกล คือ การทดสอบความแข็ง พบว่าค่าความแข็งของแก้วเซรามิกช่วงการตกผลึกที่อุณหภูมิที่ 650 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาสเซลเซียส องศาเซลเซียล มีค่าความแข็งมากที่สุดถึง 755 HV และช่วงเวลาการตกผลึกอุณหภูมิที่600 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาสเซลเซียส. และ ที่ 650 องศาเซลเซียล กับ 750 องศาสเซลเซียส มีความความแข็งน้อยลงมา

ตามลำดับ ก็เพราะว่าช่วงอุณหภูมิที่ที่ 650 องศาเซลเซียล กับ 800 องศาสเซลเซียส พบเฟสของลิเทียมไดซิลเกตเป็นเฟสหลัก ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นผลึกของลิเทียมไดซิลิเกตมีความแข็งแรงมากกว่าผลึกของแก้วเซรามิกชนิดอื่น จากการทดสอบข้อมูลเป็นไปตามที่สอดคล้องกันกับการทดสอบสมบัติทางกายภาพและการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบ

ดังนี้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติตรงกับฟันธรรมชาติ ได้แก่ ชิ้นงานสูตรที่ 1 ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส กับ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากตรงกับปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือ สีคล้ายกับฟันธรรมชาติ และสองก็คือเฟส ซึ่งเฟสของ LD1 นั้นเกิดเฟสของลิเทียมเมททะซิลิเกตขึ้นที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส และมีการเปลี่ยนเฟสจากลิเทียมเมททะซิลิเกต เป็น ลิเทียมไดซิลิเกตที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และชิ้นงานยังมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลที่ดีอีกด้วย โดยตรงวัตถุประสงค์ที่ต้องไว้

1. สามารถผลิตต้นแบบแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้ภายในประเทศ
2. เงื่อนไขที่ดีที่สุด ในการเตรียมแก้วเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกตได้มาจากการปลูกผลึกที่ช่วงอุณหภูมิแรกที่ 650 องศาเซลเซียส และช่วงสองที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสมบัติด้านความหนาแน่นและค่าความแข็ง เท่ากับ 2.425 g/cm^3 และ 755 HV ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเฟสของลิเทียมไดซิลิเกต

รูปที่ 5.2 แสดงรูปชิ้นงานที่ 1 (LD1) ที่ผลึกที่อุณหภูมิ 650 องศาสเซลเซียส 2 ชั่วโมงและ 800 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. จากผล Hardness ที่ไม่น่าเชื่อถือ เพราะชิ้นงานเกิดการแตก เนื่องจากมีการเกิดผลึกที่รวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการเปรียบเทียบเงื่อนไข อุณหภูมิและอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิในการเกิดผลึก

เอกสารอ้างอิง

[1] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เซรามิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2532 . หน้า 2-4

[2] GSAT. (2550). วัสดุอสัณฐาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2562, จากเว็บไซต์ http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/Glassweb/amorphous.html

[3] ศิริพงศ์ ศิริมงคลวัฒนะ. “ความแข็งแรงยึดเฉือนของสารยึดติดสก็อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซล และรีไลย์เอ็กซ์อัลติเมทเรซินซีเมนต์กับเซรามิกชนิดลิเทียมไดซิลิเกต” ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559 หน้า 73-74

[4] Arinzeh T.L, Tran T, Mcalary J, Daculsi G. A comparative study of Biphasic calcium phosphate ceramics for human mesenchymal stem-cell-induced bone formation Biomater 2005; 26: 3631-3638.

[5] วิทยาศาสตร์บริการศูนย์วิจัยและ พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ, “เคลือบสำหรับโลหะ Enamel” กรุงเทพฯ: 2559 หน้า 51-53

[6] สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. “วัสดุศาสตร์” เอกสารประกอบการศึกษาภาควิชา ช่างปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ วิทยาลัยครูพระนคร. กรุงเทพฯ: 2558 หน้า 29-32

[7] วีระชัย ลามอ, “ความแข็ง (Hardness)” กรมวิทยาศาสตร์บริการ กรุงเทพ: 2550 หน้า 1-9

[8] Scientificamerican. (2008). Fact or Fiction Glass Is a (Supercooled) Liquid Retrived Jan 20, 2019, from https://www.scientificamerican.com/article/fact-fiction-glass-liquid/

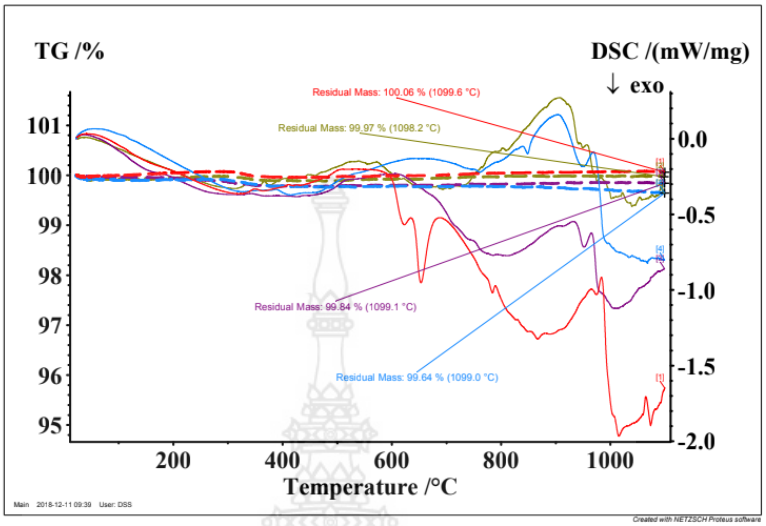
[9] P. Zhang, X. Li, J. Yang, S. C. Xu “Effect of heat treatment on the microstructure and properties of lithium disilicate glass-ceramics” Journal of Non-Crystalline Solids, Feb. 2014.vol 402,pages 101-105.

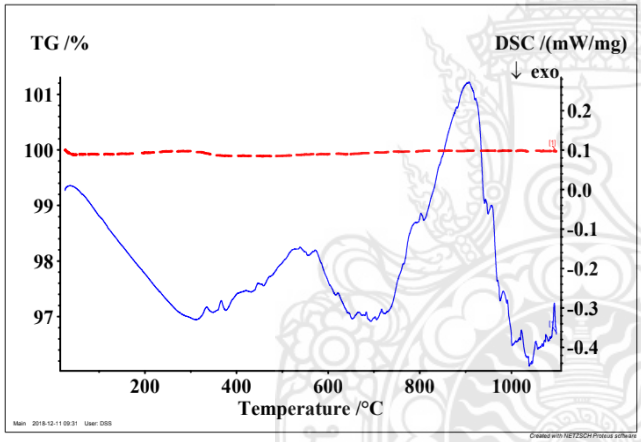
[10] R. S. Soares, R. C .C. Monteiron, M. M. R. A. Lima, R. J. C. Silva “Crystallization of lithiumdisilicate-based multicomponent glasses – effect of silica/lithia ratio” ceramicsInternational Journal, Jan. 2015.vol 41,no.1,pages317-324.

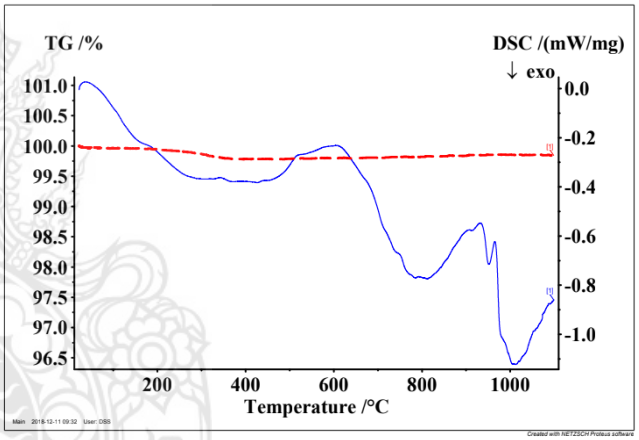
[11] T. Zhao, B. Wang, J. FengYang “Improved densification and properties of pressureless- sintered lithium disilicate glass-ceramics” Materials Science & Engineering A Journal , Aug. 2014. vol 620 , pages 399-406.

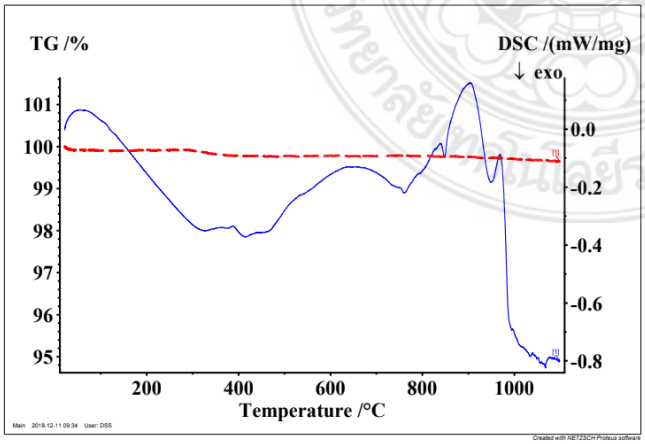
ภาคผนวก ก

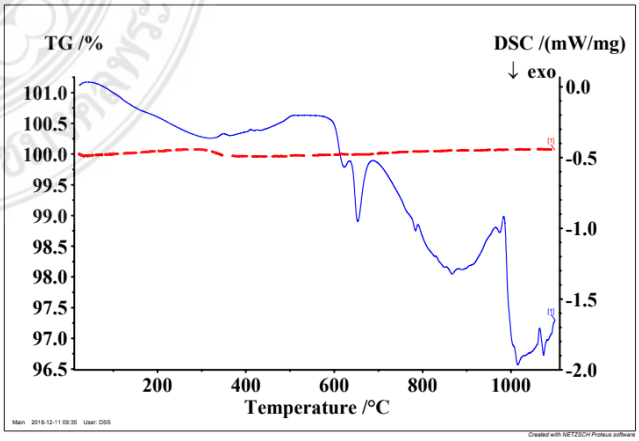
ผลการทดสอบ Differential Scanning Calorimetry (DSC)



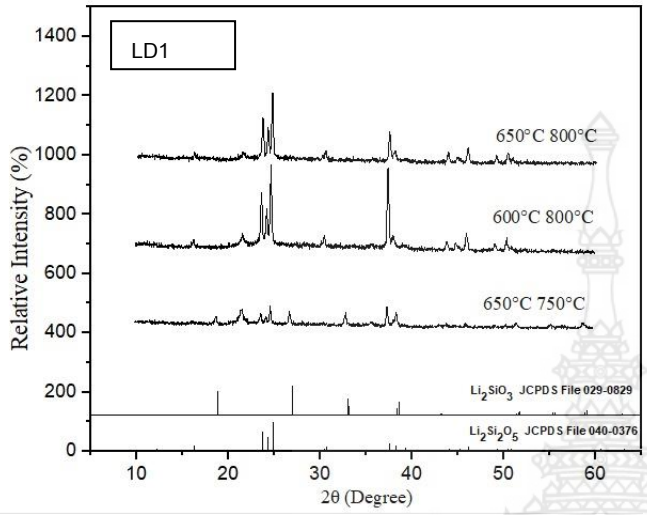


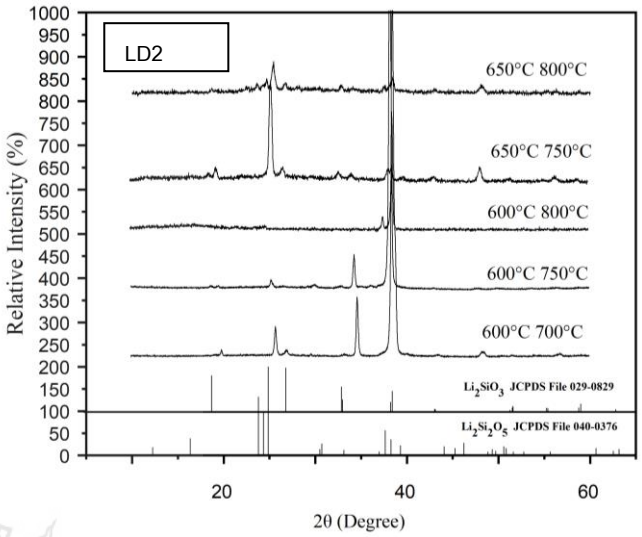


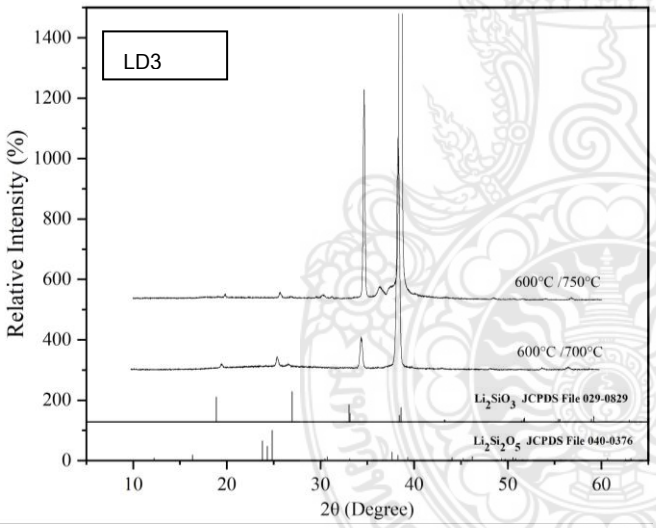


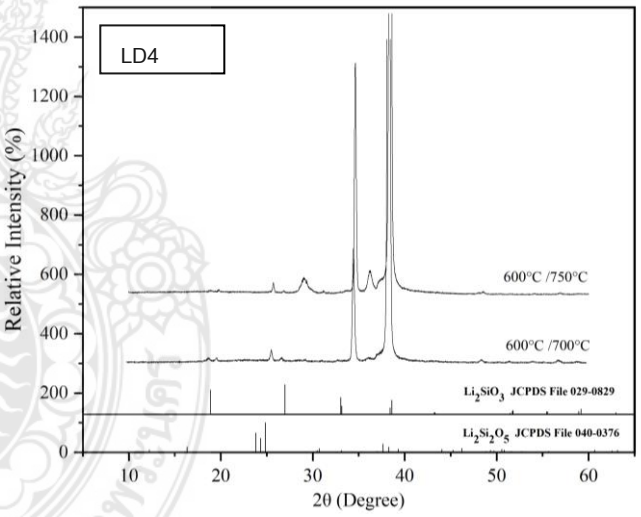


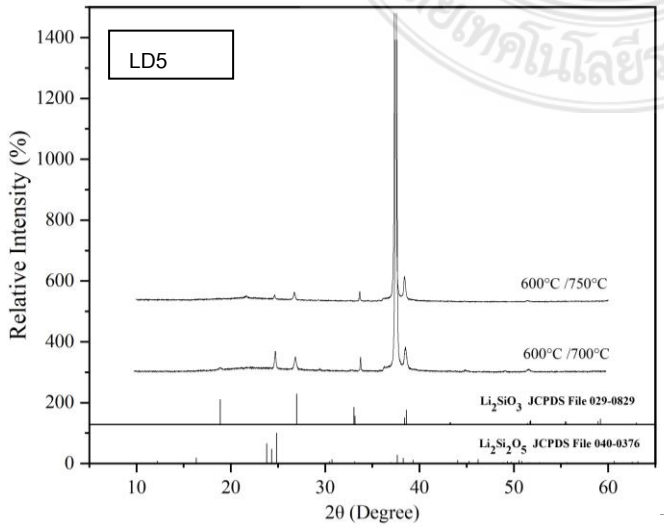
ผลการทดสอบ X-ray Diffractometer (XRD)

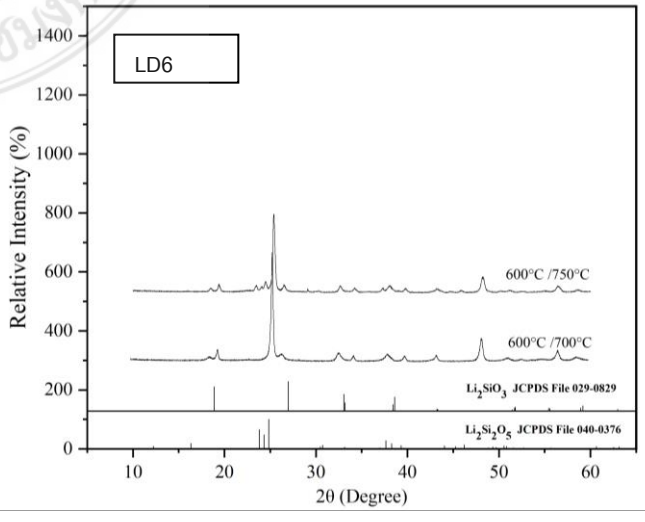




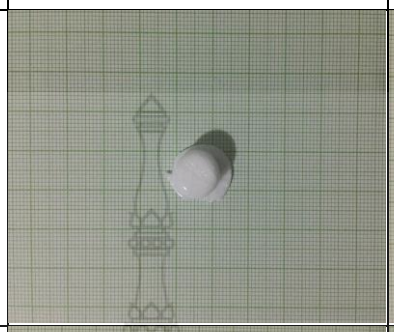
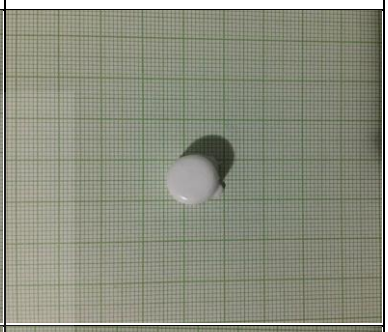
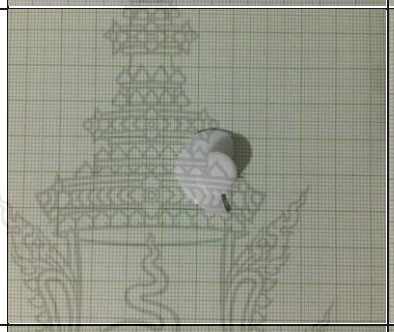
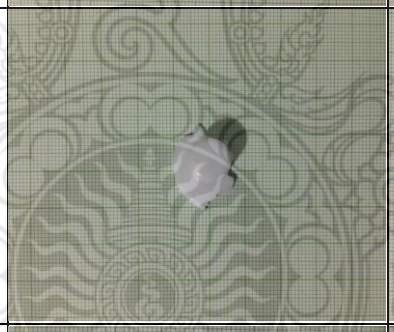
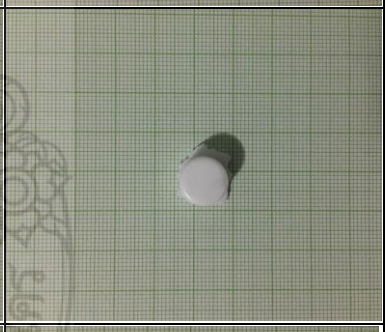
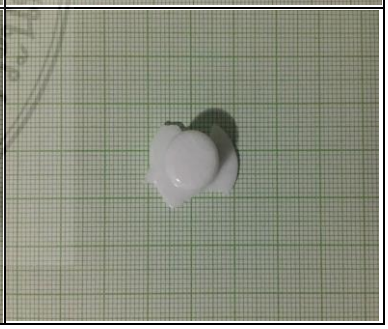








ชิ้นงานแก้วที่ทำการปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน

	LD 1	LD 2
600 °C 750 °C		
600 °C 800 °C		
650 °C 750 °C		
650 °C 800 °C		

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นางสาว วรรณรดา สุวรรณกาญจน์

วัน เดือน ปีเกิด 5 มีนาคม 2540

ภูมิลำเนา อำเภอ แม่ริม จังหวัด เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม	2554
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม	2557

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ 196/7 ซอยวัดราชสิทธิ แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

ทุน/รางวัลที่ได้รับ (ถ้ามี)

- ทุนการเรียนดี 2558 กรมกำลังพลทหารบก
- ทุนการเรียนดีเด่น กรมการสหกร์ออมทรัพท์ กองบัญชาการทหารบก
- ได้รับรางวัลชนะการประกวดสิ่งประดิษฐ์ด้านวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2560
- ได้รับรางวัลชนะเลิศโครงการสหกิจศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2561
- ได้รับรางวัลชมเชยโครงการสหกิจศึกษา ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2561

ชื่อ นามสกุล นาย อานนท์ นุชอนงค์

วัน เดือน ปีเกิด 6 มิถุนายน 2539

ภูมิลำเนา อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า นนทบุรี	2554
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า นนทบุรี	2557

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ 43/134 หมู่4 ตำบลคลองพระอุดม อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

ทุน/รางวัลที่ได้รับ (ถ้ามี)

- ได้รับรางวัลชนะการประกวดสิ่งประดิษฐ์ด้านวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2560
- ได้รับรางวัลชนะเลิศโครงการสหกิจศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2561
- ได้รับรางวัลชมเชยโครงการสหกิจศึกษา ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2561