

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	4
2.1 แก้ว (Glasses)	4
2.1.1 คำนิยามของแก้ว (Definitions of glasses)	4
2.1.2 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของการทำให้เกิดแก้ว (Kinetic theories of glass formation)	8
2.2 กระจกเทียมสังเคราะห์ (Synthetic Bone Substitute Materials)	14
2.2.1 คุณสมบัติและประเภทของกระจกเทียมสังเคราะห์	14
2.2.2 เซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต	15
2.3 รูพรุน (pore)	17
2.3.1 กระบวนการสร้างกระดูกในรูพรุน	17
2.3.2 กระบวนการสร้างรูพรุน (Preparation methods)	18
2.4 การบูร (Camphor)	21
2.5 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	23

บทที่ 3	วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	30
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2	อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3	วิธีการทดลอง	33
3.3.1	การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง	33
3.3.1.1	การเตรียมแก้วระบบฟอสฟอรัสแคลเซียมโซเดียมออกไซด์ (P_2O_5 -CaO-Na ₂ O glass system)	33
3.3.1.2	การเตรียมแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน	37
3.3.2	วิธีการวัด และการตรวจวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของสารตัวอย่าง	41
3.3.2.1	การวิเคราะห์ทางความร้อน	41
3.3.2.2	การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	42
3.3.2.3	การหาค่าความหนาแน่นและความพรุน	44
3.3.2.4	การหาค่าการหดตัวหลังเผา	45
3.3.2.5	การศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM)	46
3.3.2.6	การศึกษาสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแบบเอนกประสงค์	48
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	50
4.1	ผลการศึกษาการเตรียมแก้ว ในระบบ P_2O_5 -CaO-Na ₂ O	50
4.1.1	ลักษณะทางกายภาพ	51
4.1.2	ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA	51
4.1.3	ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ	52
4.1.4	ผลการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRD	53
4.2	ผลการศึกษาการเตรียมแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน	54
4.2.1	ลักษณะทางกายภาพ	54
4.2.2	การศึกษาเฟสองค์ประกอบของแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีรูพรุนด้วยเทคนิค XRD	57
4.2.3	ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ	68
4.2.4	ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเฟสองค์ประกอบเม็ดสารเซรามิก แคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน ด้วยเทคนิค SEM	79

ญ

4.2.5 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของรูพรุนเม็ดสารแก้วเซรามิก แคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุนด้วยเทคนิค SEM	81
4.2.6 ผลการศึกษสมบัติเชิงกลเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต	90
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการทดลอง	94
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
เอกสารอ้างอิง	99
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก ค่าความหนาแน่นของแก้วระบบ ฟอสฟอรัสแคลเซียมโซเดียมออกไซด์ (P_2O_5 -CaO- Na_2O)	104
ภาคผนวก ข ค่าการหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage)	105
ภาคผนวก ค ค่าความหนาแน่น (Density)	106
ภาคผนวก ง ค่าความพรุนที่ปรากฏ (Apparent porosity)	107
ภาคผนวก จ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (Pore size)	108
ภาคผนวก ฉ สมบัติเชิงกลแรงกด (Compressive stress)	109
ภาคผนวก ช ผลงานทางวิชาการที่เผยแพร่	110
ประวัติผู้เขียน	117

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของการบูร	22
2.2 แสดงอัตราส่วน อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของแก้ว (T_g) และ อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) ของแก้วในอัตราส่วนต่างๆ	24
2.3 แสดงอัตราการละลายของแก้วในน้ำกลั่นและ SBF ภาวะความเป็นพิษ และ pH ของ α -MEM หลังจากทดสอบความเป็นพิษ	25
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	32
3.3 แสดงเงื่อนไขของเม็ดสารตัวอย่าง ซึ่งประกอบไปด้วย อัตราส่วนร้อยละ โดยน้ำหนักระหว่างผงแก้วฟอสฟอรัสแคลเซียมโซเดียมออกไซด์ กับผงการบูร และ อุณหภูมิเผาผนึก (sintering temperature)	38

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 สมบัติเชิงกลของเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต	2
2.1 ภาพการเปรียบเทียบ โครงสร้างผลึก (crystal structures) ของทรายและแก้วแบบสองมิติ	4
2.2 ภาพการเรียงตัวของอะตอมของผลึกและการเรียงตัวของอะตอมของแก้ว หลังจากการทำให้เย็นตัวลงแบบช้า (slow cool) และแบบเร็ว (fast cool) จากของเหลวเมื่อได้รับความร้อน	5
2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อเอนทัลปีของการหลอมเหลวในการเกิดแก้ว	6
2.4 แผนภาพแสดงชนิดของการเกิดนิวเคลียสผลึก (nucleation)	9
2.5 กราฟระหว่างพลังงานอิสระที่เปลี่ยนไปในการเกิดนิวเคลียสผลึก (ΔG) กับ ขนาดของนิวเคลียส (r)	10
2.6 อัตราการเกิดนิวเคลียสและการเติบโตของผลึกเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของ ของเหลวที่มีความหนืดสูง (viscous liquid)	13
2.7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงรูพรุนที่เกิดจากการละลายออกของเกลือและ PVA	19
2.8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงรูพรุนของ Endobon [®]	20
2.9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงรูพรุนที่เกิดจากวิธี polymeric sponge	21
2.10 ลักษณะของต้นการบูรหรืออบเชยจีน และลักษณะของผงการบูร	21
2.11 แสดงโครงสร้างของแก้วฟอสเฟต (phosphate glass structure) เมื่อ (a) คือ chain structure และ (b) คือ การสร้าง cross-link ด้วยไอออน Ca^{2+}	24
2.12 แสดงการการลดลงของน้ำหนัก (weight loss) เมื่อแช่อยู่ในน้ำกลั่น (distilled water) และ SBF ที่อุณหภูมิ 37 ^o	25

2.13	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสงแสดงการเจริญเติบโตของ human pulp cell หลังการทดสอบภาวะความเป็นพิษเมื่อ (a) ตัวควบคุม (b) 10C50P (c) 20C50P และ (d) 0C50P	26
2.14	แสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของแก้ว (T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และ จุดหลอมเหลว (T_m) ของแก้วระบบ P_2O_5 -CaO- Na_2O ที่มีอัตราส่วน P_2O_5 ร้อยละ 45 โดยโมล	27
3.1	อัตราส่วนของแก้วระบบ P_2O_5 -CaO- Na_2O ที่แสดงด้วย Ternary phase diagram	34
3.2	แผนผังแสดงเงื่อนไขของอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมแก้ว P_2O_5 -CaO- Na_2O	34
3.3	ถ้วยหลอมอะลูมินา (Al_2O_3 crucible)	35
3.4	แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel plate) สำหรับกดทับน้ำแก้ว	35
3.5	เตาเผาไฟฟ้า (furnace) สำหรับหลอมแก้ว	35
3.6	แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมแก้วระบบ P_2O_5 -CaO- Na_2O	36
3.7	แผนผังแสดงเงื่อนไขของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผนึกแก้วที่ผ่านการหลอมด้วยถ้วยหลอมอะลูมินา	37
3.8	เครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮดรอลิก	39
3.9	เตาเผาไฟฟ้าสำหรับเผาผนึก	39
3.10	แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต	40
3.11	เครื่อง High Temperature DTA Cell Adaptor	42
3.12	เครื่อง X-ray diffractometer	43
3.13	เครื่องชั่งระบบดิจิทัล สำหรับวัดค่าความหนาแน่น	45
3.14	เครื่อง sputtering รุ่น JFC-1100E	47
3.15	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิด Low vacuum (JEOL JSM 5910LV)	47
3.16	เครื่องมือทดสอบแบบเอนกประสงค์ [Universal testing machine (Instron Model 55R4502)]	49
3.17	การติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องมือทดสอบแบบเอนกประสงค์	49
4.1	ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานแก้วที่ผ่านการหลอม	51
4.2	แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA ของแก้วสูตร ($45P_2O_5$ - $32CaO$ - $23Na_2O$) ($45P_2O_5$ - $36CaO$ - $29Na_2O$) และ ($45P_2O_5$ - $40CaO$ - $15Na_2O$)	52

4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และ อุณหภูมิการแปลงเฟส ของแก้ว ระบบ P_2O_5 -CaO-Na ₂ O ที่ปริมาณ CaO ต่างกัน	53
4.4	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของแก้วระบบ P_2O_5 -CaO-Na ₂ O ที่ผ่านการหลอม	54
4.5	เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่ผสมการบурในอัตราส่วน 10:0 และผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 500-650°C	55
4.6	เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่ผสมการบурในอัตราส่วน 7:3 และผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 500-650°C	56
4.7	เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่ผสมการบурในอัตราส่วน 55 และผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 500-650°C	56
4.8	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -32CaO-23Na ₂ O อัตราส่วน 10:0	59
4.9	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -32CaO-23Na ₂ O อัตราส่วน 7:3	60
4.10	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -32CaO-23Na ₂ O อัตราส่วน 5:5	61
4.11	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -36CaO-19Na ₂ O อัตราส่วน 10:0	62
4.12	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -36CaO-19Na ₂ O อัตราส่วน 7:3	63
4.13	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -36CaO-19Na ₂ O อัตราส่วน 5:5	64
4.14	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -40CaO-15Na ₂ O อัตราส่วน 10:0	65
4.15	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -40CaO-15Na ₂ O อัตราส่วน 7:3	66
4.16	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่มาจากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -40CaO-15Na ₂ O อัตราส่วน 5:5	67
4.17	ความหนาแน่น (Density) และการหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของ เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต จากแก้วสูตร $45P_2O_5$ -32CaO-23Na ₂ O ที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 500-650°C	69

- 4.18 ความหนาแน่น (Density) และการหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของ
 เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต จากแก้วสูตร $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}36\text{CaO}\text{-}19\text{Na}_2\text{O}$
 ที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ $500\text{-}650^\circ\text{C}$ 69
- 4.19 ความหนาแน่น (Density) และการหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของ
 เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต จากแก้วสูตร $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}40\text{CaO}\text{-}15\text{Na}_2\text{O}$
 ที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ $500\text{-}650^\circ\text{C}$ 70
- 4.20 การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต
 ที่มีรูพรุน ที่อัตราส่วน 10:0 ของแก้วระบบ $\text{P}_2\text{O}_5\text{-CaO}\text{-Na}_2\text{O}$ 70
- 4.21 ความหนาแน่น (Density) และความพรุนที่ปรากฏ (apparent porosity) ของ
 เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน จากแก้วสูตร
 $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}32\text{CaO}\text{-}23\text{Na}_2\text{O}$ 71
- 4.22 ความหนาแน่น (Density) และความพรุนที่ปรากฏ (apparent porosity) ของ
 เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน จากแก้วสูตร
 $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}36\text{CaO}\text{-}19\text{Na}_2\text{O}$ 72
- 4.23 ความหนาแน่น (Density) และความพรุนที่ปรากฏ (apparent porosity) ของ
 เม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน จากแก้วสูตร
 $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}40\text{CaO}\text{-}19\text{Na}_2\text{O}$ 72
- 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ความหนาแน่นกับการหดตัว และ
 (ข) ความหนาแน่นกับความพรุนที่ปรากฏ ของเม็ดสารแก้วเซรามิก
 จาก แก้วสูตร $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}32\text{CaO}\text{-}23\text{Na}_2\text{O}$ 74
- 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ความหนาแน่นกับการหดตัว และ
 (ข) ความหนาแน่นกับความพรุนที่ปรากฏ ของเม็ดสารแก้วเซรามิก
 จาก แก้วสูตร $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}36\text{CaO}\text{-}19\text{Na}_2\text{O}$ 75
- 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ความหนาแน่นกับการหดตัว และ
 (ข) ความหนาแน่นกับความพรุนที่ปรากฏ ของเม็ดสารแก้วเซรามิก
 จาก แก้วสูตร $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}40\text{CaO}\text{-}15\text{Na}_2\text{O}$ 76
- 4.25 ช่องว่างที่สามารถมองเห็น ได้ชัดอยู่ภายใต้พื้นผิว (visible bubbles underneath)
 ของเม็ดสารที่มาจากแก้วสูตร (ก) $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}32\text{CaO}\text{-}23\text{Na}_2\text{O}$
 (ข) $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}32\text{CaO}\text{-}23\text{Na}_2\text{O}$ และ (ค) $45\text{P}_2\text{O}_5\text{-}32\text{CaO}\text{-}23\text{Na}_2\text{O}$
 ที่อุณหภูมิเผาผนึก 650°C อัตราส่วน 10:0 78

4.26	แสดงร้อยละความพรุนที่ปรากฏของเม็ดสารเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 650 °C ที่มาจากแก้วสูตรที่มี CaO ต่างกัน ในอัตราส่วน 10:0	79
4.27	การวิเคราะห์ EDS บนพื้นผิวรอยหัก (fracture surface) ชิ้นงานแก้วเซรามิก แคลเซียมฟอสเฟตที่มีรูพรุน A3-650 เมื่อ (1) คือ แคลเซียมฟอสเฟต และ (2) คือ โซเดียมฟอสเฟต	80
4.28	แสดงลักษณะของรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ของเม็ดสารแก้วเซรามิก ในอัตราส่วน 7:3 เผาที่อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -32CaO-23Na ₂ O	82
4.29	แสดงลักษณะของรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ของเม็ดสารแก้วเซรามิก ในอัตราส่วน 7:3 เผาที่อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -36CaO-19Na ₂ O	83
4.30	แสดงลักษณะของรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ของเม็ดสารแก้วเซรามิก ในอัตราส่วน 7:3 เผาที่อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -40CaO-15Na ₂ O	84
4.31	แสดงลักษณะของรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ของเม็ดสารแก้วเซรามิก ในอัตราส่วน 5:5 เผาที่อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -32CaO-23Na ₂ O	85
4.32	แสดงลักษณะของรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ของเม็ดสารแก้วเซรามิก ในอัตราส่วน 5:5 เผาที่อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -36CaO-19Na ₂ O	86
4.33	แสดงลักษณะของรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ของเม็ดสารแก้วเซรามิก ในอัตราส่วน 5:5 เผาที่อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -40CaO-15Na ₂ O	87
4.34	การเปรียบเทียบระหว่างขนาดของรูพรุน (pore size) กับ การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาผนึกที่ อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -32CaO-23Na ₂ O	88
4.35	การเปรียบเทียบระหว่างขนาดของรูพรุน (pore size) กับ การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาผนึกที่ อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -36CaO-19Na ₂ O	88
4.36	การเปรียบเทียบระหว่างขนาดของรูพรุน (pore size) กับ การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาผนึกที่ อุณหภูมิ 500-650 °C จาก แก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -40CaO-15Na ₂ O	89
4.37	Compressive stress ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาผนึก ที่อุณหภูมิ 500-650 °C จากแก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -32CaO-23Na ₂ O	91
4.38	Compressive stress ของเม็ดสารแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาผนึก ที่อุณหภูมิ 500-650 °C จากแก้วสูตร 45P ₂ O ₅ -36CaO-19Na ₂ O	91

- 4.39 Compressive stress ของเม็ดยาแก้วเซรามิกแคลเซียมฟอสเฟต ที่เผาพูนิก
ที่อุณหภูมิ 500-650°C จากแก้วสูตร $4\text{P}_2\text{O}_5\text{-}40\text{CaO-}15\text{Na}_2\text{O}$ 92
- 4.40 แสดงลักษณะแบบวัสดุผสมของเม็ดยาแก้วเซรามิก A2-600 (ก) เทียบกับ
โครงสร้างที่ไม่เกิดลักษณะแบบวัสดุผสมของเม็ดยาเซรามิก C2-600 (ข) 93

อักษรย่อและสัญลักษณ์

P_2O_5	Phosphorus tetra oxide
CaO	Calcium Oxide
Na_2O	Sodium Oxide
P_2O_5 -CaO- Na_2O	Phosphorus Calcium Sodium Oxide
DTA	Differential Thermal Analysis
XRD	X-ray Diffraction technique
SEM	Scanning Electron Microscopy
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectrophotometry
UTM	Universal Testing Machine
T_x	Crystallization temperature
T_m	Melting temperature
T_g	Glass transition temperature