การพัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341
เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

Effectiveness of the e-Learning Courseware Media of BMI 341

on Ceramics Used as Biomedical Materials

โดย

อารยา มุ่งชำนาญกิจ

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

ศูนย์สนับสนุนและพัฒนาการเรียนการสอน

มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปีการศึกษา 2551

การพัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341
เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

Effectiveness of the e-Learning Courseware Media of BMI 341

on Ceramics Used as Biomedical Materials

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อารยา มุ่งชำนาญกิจ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) เพื่อสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกส์ที่ใช้ในทางการแพทย์ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อวิชาวัสดุชีวการแพทย์ 3) ส่งเสริมการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเอง นักศึกษามีอิสระในการเรียน สามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา การบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 27 คน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย สื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์เรื่องหลักการสร้างภาพสำหรับเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน ค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อสื่อการเรียนอิเล็กทรอนิกส์ เรื่องหลักการการสร้างภาพสำหรับเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ อยู่ในเกณฑ์ระดับมีความพึงพอใจมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.226

คำสำคัญ : สื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุชีวการแพทย์

Abstract

The purposes of this study were 1) To of Effectiveness of the e-Learning Courseware Media of BMI 341 on Ceramics Used as Biomedical Materials. 2) To evaluate the efficiency of on Ceramics Used as Biomedical Materials. 3) The encourage develop and study with oneself, student can anywhere anytime. The purposive sampling group was 27 students form the college of science. The instruments of this study were the e-Learning Courseware Media of on Principle of Imaging for Computed Tomography and the questionnaire of the student's satisfactions. The means of the student's satisfactions was 4.78 considered to be good level.

Keywords : e-Learning Courseware Media, Biomedical Materials

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีอิทธิพลต่อนักศึกษาอย่างมาก ได้แก่ การสื่อสารผ่านอินเตอร์เน็ต หรือแม้กระทั่งการสร้างเว็บไซต์ของตนเอง หากนำสิ่งเหล่านี้มาประยุกต์กับการสอนในปัจจุบันได้ย่อมจะทำให้นักศึกษาสนใจในบทเรียนมากยิ่งขึ้น เทคโนโลยีที่ได้รับการสนใจนั้นคือการเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (E-Learning) ซึ่งจะนำเสนอบทเรียนในรูปแบบของการผสมผสานระหว่างเสียงและภาพเคลื่อนไหวทำให้บทเรียนมีความน่าสนใจ และง่ายต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งนอกจากมีผลต่อการกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจในการเรียนแล้ว ยังสามารถอำนวยความสะดวกต่อการดำเนินการสอนได้ อีกทั้งยังมีความสามารถในการประเมินศักยภาพของผู้เรียนว่ามีความเข้าใจเนื้อหามากหรือน้อยเพียงใด การเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นการเรียนรู้สมบูรณ์แบบที่สอดคล้องต่อความต้องการเรียนรู้ในปัจจุบัน

วิชาวัสดุชีวการแพทย์เป็นวิชาที่นักศึกษาทุกคนมองว่าเข้าใจยาก และต้องใช้ระยะเวลาในการทำความเข้าใจ โดยพื้นฐานความรู้ของนักศึกษาแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ซึ่งใช้เวลาในการศึกษาในห้องเรียนเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงการสอนรายวิชา BMI 341 วัสดุชีวการแพทย์ จึงควรจัดทำสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้นอกเวลาเรียน และพัฒนานักศึกษาให้มีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชานี้มากยิ่งขึ้น

2. ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง เซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

3. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อวิชาวัสดุชีวการแพทย์
3. ส่งเสริมการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเอง นักศึกษามีอิสระในการเรียน สามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา (anywhere anytime) การบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอน โดยการใช้สื่อมัลติมีเดีย (Multimedia) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สนับสนุนการเรียนการสอนของอาจารย์และนักศึกษา
2. ผู้เรียนสามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา ฝึกวินัยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง สนับสนุนการจัดการศึกษาที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (Student Centered Approach) เพื่อส่งเสริมผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้แบบใฝ่รู้ (Active Learning) เสริมทักษะในส่วนที่ขาดเพื่อปรับพื้นฐานการเรียนรู้ ฝึกประสบการณ์และการประยุกต์ใช้เพิ่มเติม
3. เกิดเครือข่ายของความรู้ คลังความรู้ที่ถูกสร้างและจัดเก็บบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนี้สามารถแลกเปลี่ยนความรู้กันและกันได้

5. สมมติฐานการวิจัย

พัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง เซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

6. คำนิยามศัพท์

สื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง สื่อที่ทำเป็นการ์ตูนเอนิเมชั่น เป็นภาพเคลื่อนไหว และมีเสียงบรรยายเนื้อเรื่อง โดยใช้โปรแกรม Flash รุ่น CS6 และ Dreamweaver รุ่น CS6

7. ข้อจำกัดของงานวิจัย

7.1 งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่ลงทะเบียนเรียน รายวิชา BMI 341 วัสดุชีวการแพทย์ จำนวน 40 คน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อวิชาวัสดุชีวการแพทย์ส่งเสริมการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเอง นักศึกษามีอิสระในการเรียน สามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา (Anywhere Anytime) การบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียน ดังนั้นการทบทวนวรรณกรรมจะเกี่ยวข้องกับเนื้อหาข้างต้น

1. แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 วัสดุเซรามิก (Ceramic)

1.1.1 คำนิยาม

เซรามิกเป็นวัสดุอนินทรีย์ (inorganic) ที่ประกอบด้วยธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะ โดยเกิดพันธะไอออนิกหรือโคเวเลนต์ร่วมกัน องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเซรามิกจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิด บางชนิดจะมีองค์ประกอบเป็นสารประกอบอย่างง่าย ๆ แต่บางชนิดจะประกอบด้วยเฟสต่าง ๆ ที่ซับซ้อนโดยเกิดพันธะระหว่างกัน

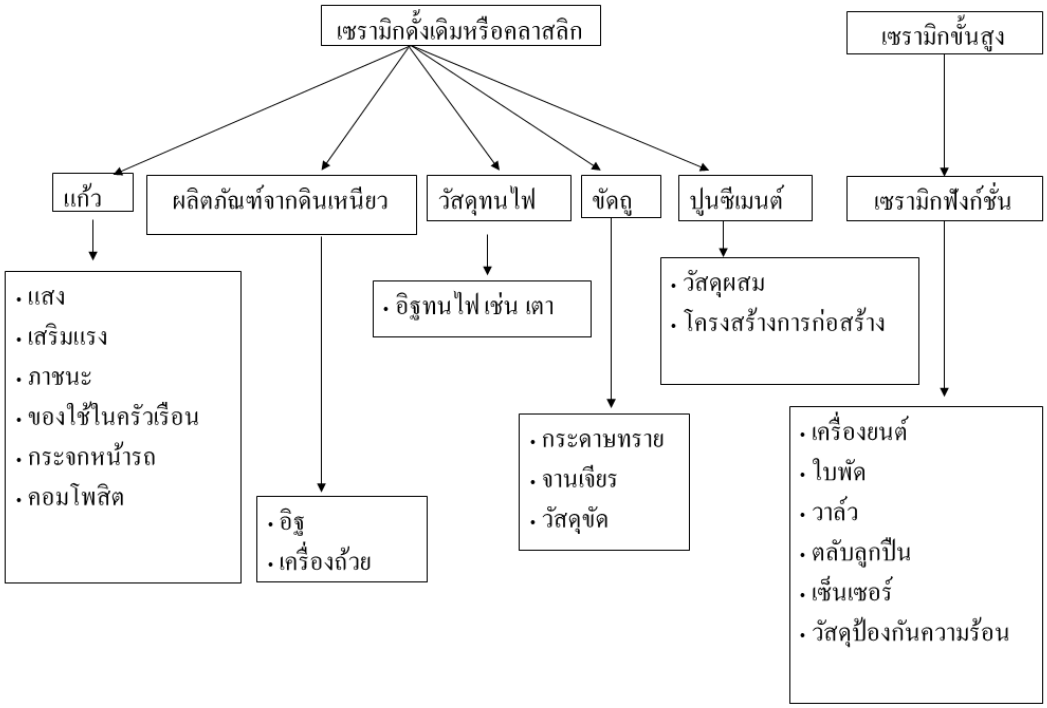
1.1.2 สมบัติของเซรามิก

สมบัติของเซรามิกจะแตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจากความแตกต่างของพันธะในโครงสร้าง โดยทั่วไปเซรามิกมักจะมีสมบัติที่แข็งและเปราะ มีความแข็งแรงน้อยมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าและความร้อนที่ดีเพราะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนได้ นอกจากนี้วัสดุเซรามิกยังมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและสภาวะแวดล้อมได้ดีเนื่องจากมีพันธะทางเคมีที่แข็งแรง จากสมบัติเหล่านี้ทำให้วัสดุเซรามิกเป็นวัสดุที่ขาดไม่ได้สำหรับงานออกแบบทางวิศวกรรมต่าง ๆ ตัวอย่างของสารประกอบเซรามิกบางประเภทแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของสารประกอบเซรามิกบางประเภท

สารประกอบเซรามิก	ความแตกต่างของค่า electronegativity	% ionic character	จุดหลอมเหลว (^{0}C)
Hafnium carbide, HfC	1.30-2.55	32.34	4150
Titanium carbide, TiC	1.54-2.55	22.51	3120
Tungsten carbide, WC	2.36-2.55	0.90	2850
Magnesium oxide, MgO	1.31-3.44	67.83	2789
Silicon carbide, SiC	1.90-2.55	10.02	2500
Boron carbide, B_4C	2.04-2.55	6.30	2450
Aluminium oxide, Al_2O_3	1.61-3.44	56.71	2050
Silicon dioxide, SiO_2	1.90-3.44	44.73	1715
Silicon nitride, Si_3N_4	1.90-3.04	27.74	1900
Titanium dioxide, TiO_2	1.54-3.44	59.44	1605

1.1.3 การจำแนกของวัสดุเซรามิก



1.1.4 ประเภทของเซรามิก

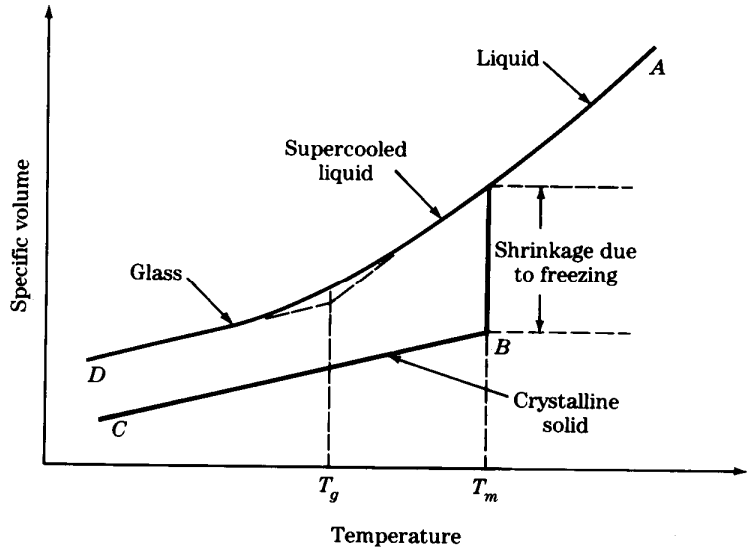
เซรามิกสามารถแบ่งประเภทตามการใช้งานได้เป็นหกประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ แก้ว ผลิตภัณฑ์ดิน วัสดุขัดถู (abrasive) ซีเมนต์ (cement) วัสดุทนไฟ (refractory) และเซรามิกขั้นสูง (advanced ceramics)

1.1.4.1 แก้ว (Glass)

แก้วคือวัสดุเซรามิกที่โครงสร้างไม่เป็นระเบียบ ทำให้แก้วเป็นวัสดุอสัณฐาน แก้วมีลักษณะพิเศษคือโปร่งใส มีความแข็งแรงเพียงพอและทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดี รายละเอียดเกี่ยวกับแก้วจะกล่าวในหัวข้อที่ 1

1. แก้ว

แก้วคือวัสดุเซรามิกที่ถูกทำขึ้นจากสารอนินทรีย์ที่อุณหภูมิสูง แต่มีความแตกต่างจากเซรา-มิก ประเภทอื่นตรงที่เมื่อองค์ประกอบถูกหลอมเหลวโดยการให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวลงแล้ว แก้วจะ แข็งตัวโดยไม่เกิดโครงสร้างผลึก นั้นคือโมเลกุลของแก้วจะไม่มีการเรียงตัวเป็นระเบียบ ทำให้แก้วเป็นวัสดุอสัณฐาน ลักษณะทั่วไปของแก้วคือ โปร่งใส แข็งที่อุณหภูมิห้อง มีความแข็งแรงพอควรและทนทานต่อการ กัดกร่อนในสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดี



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะของแก้วเมื่ออุณหภูมิลดลงเทียบกับของแข็งผลึก (http://www.coe.or.th/_coe/_exam/coeMain.php?aMenu=502&agMaj=6&aSubid=33 สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2555)

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะของแก้วเมื่ออุณหภูมิลดลงจะแตกต่างจากของแข็งผลึก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เริ่มต้นที่ตำแหน่ง A จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูง แก้วมีสถานะเป็นของเหลว และเมื่อลดอุณหภูมิ ลงแก้วจะมีปริมาตรจำเพาะลดลงจนเมื่อถึงอุณหภูมิหลอมเหลว (meltingtemperature,T_m) แก้วจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของเหลวเย็นยิ่งยวด (supercooled liquid) จากนั้นเมื่อ อุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิสภาพแก้ว (glass transition Temperature, T_g) แล้วจะเกิดเป็นแก้วใน สถานะของแข็งในที่สุด (ตำแหน่ง D)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะของของแข็งผลึกเมื่ออุณหภูมิลดลง เริ่มต้นให้พิจารณาที่ตำแหน่ง A จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูง ของแข็งผลึกจะมีสถานะเป็นของเหลวเช่นกัน แต่เมื่อลดอุณหภูมิลง จนเมื่อถึงอุณหภูมิหลอมเหลว ของเหลวนี้จะมีการหดตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะอย่างรวดเร็ว (จาก A ลงมายัง B) และเกิดเป็นของแข็ง จากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิลงปริมาตรจำเพาะของของแข็งจะค่อยๆลดลงตามเส้น BC

2. องค์ประกอบของแก้ว

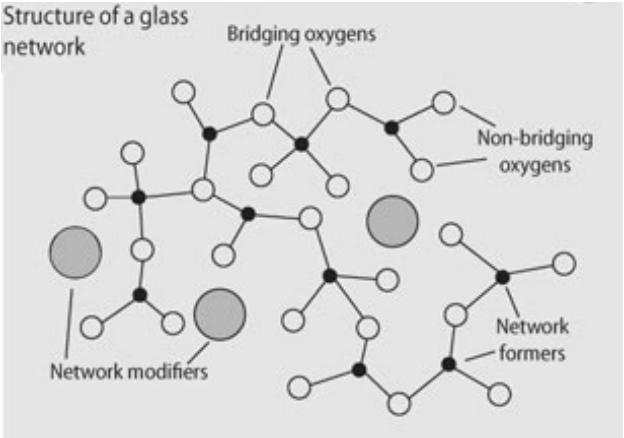
แก้วประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสามชนิดดังนี้

1) Glass-forming oxide

Glass-forming oxid หรือ Network Former คือออกไซด์ที่ทำให้เกิดโครงสร้างแก้วโดยทั่วไป แล้วคือซิลิกา (SiO_2) ซึ่งมีหน่วยย่อยพื้นฐานเป็นซิลิเกต (SiO_4^{4-}) นอกจากซิลิกาแล้ว ยังมีออกไซด์ตัวอื่นอีกเช่น โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) ในโครงสร้างของแก้ว Borosilicate และ Aluminosilicate เป็นต้น

2) Glass-modifying oxide

Glass-modifying oxide หรือ Network Modifier คือสารที่เติมลงไปในแก้วเพื่อทำลายโครงสร้างโครงข่ายของแก้วบางส่วน จะทำให้ความหนืดของแก้วลดลง และนำไปขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้เช่น Na_2O, K_2O, CaO และ MgO เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของแก้วที่ประกอบด้วย network former และ network modifier (http://www.rsc.org/Education/EiC/issues/2006Nov/GlassBones.asp สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2552)

จากรูปที่ 2.2 เมื่อเติม Glass-modifying oxide ลงไป ออกซิเจนจะเข้าสู่โครงสร้าง ณ บริเวณจุดเชื่อมระหว่างเตตระฮีดรอนของ SiO_4 และทำลายโครงสร้าง ส่วนพวกประจุบวก (เช่น Na^+ หรือ Ca^{2+}) จะเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างในโครงสร้างและเกิดพันธะไอออนิก ประจุเหล่านี้จะส่งเสริมให้แก้วเกิดผลึกภายในโครงสร้างได้

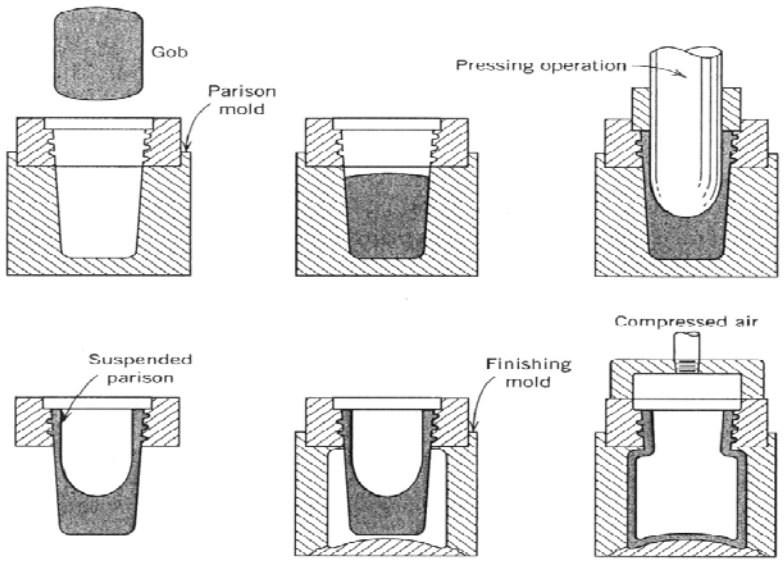
3) Intermediate Oxide

Intermediate Oxide คือออกไซด์ที่ไม่สามารถเกิดโครงสร้างโครงข่ายของแก้วด้วยตัวเอง แต่สามารถเข้าไปร่วมกับโครงสร้างโครงข่ายที่มีอยู่ได้ ยกตัวอย่างเช่น Al_2O_3 จะเข้าไปอยู่ในรูปของ AlO_4 Tetrahedra แทนกลุ่มของ SiO_4 บางกลุ่ม และเกิดเป็นแก้วประเภท Aluminosilicate ซึ่งมีสมบัติทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี เป็นต้น

3. วิธีการขึ้นรูปแก้ว

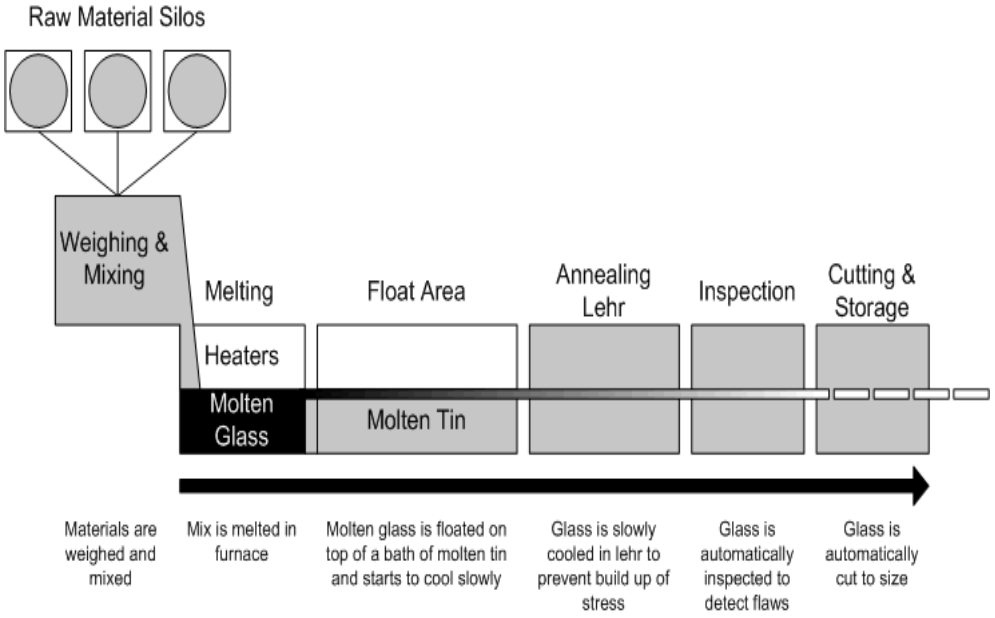
แก้วสามารถขึ้นรูปได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ การอัด การเป่า (Blowing) การดึง (drawing) และการขึ้นรูปเส้นใย ชิ้นงานแก้วที่ได้จากวิธีการอัดมักมีความหนาค่อนข้างมาก ยกตัวอย่างเช่น จาน ส่วนการเป่าและการดึงมักใช้ในการขึ้น รูปแก้วเพื่อความสวยงาม

ขวดหรือแก้วน้ำ สามารถผลิตได้จากวิธี Press-and-Blow ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เริ่มต้นจากใส่ Gob จะแก้วลงในแม่แบบ จากนั้น ใช้แรงกดเพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานชั่วคราว หรือที่เรียกว่า Parison จากนั้น จึงนำ Parison นั้น ไปใส่ในแม่แบบ แล้วเป่าลมเพื่อให้เกิดเป็นรูปทรงที่ต้องการ



รูปที่ 2.3 การผลิตแก้วด้วยวิธีการ Press-and-Blow (Callister, 2003 หน้า 438)

กระจกแผ่นสามารถผลิตได้ด้วยวิธี Float Process ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เริ่มต้นจากนำวัตถุดิบไปหลอมเหลว น้ำ แก้วจะไหลออกจากเตาหลอมและลอยตัวบนผิวของดีบุกเหลว จากนั้น ค่อยๆเย็นตัวลง หลังจากกระจกแข็งตัวแล้วจะนำไปผ่านขั้นตอน Annealing เพื่อกำจัดความเค้นที่หลงเหลืออยู่

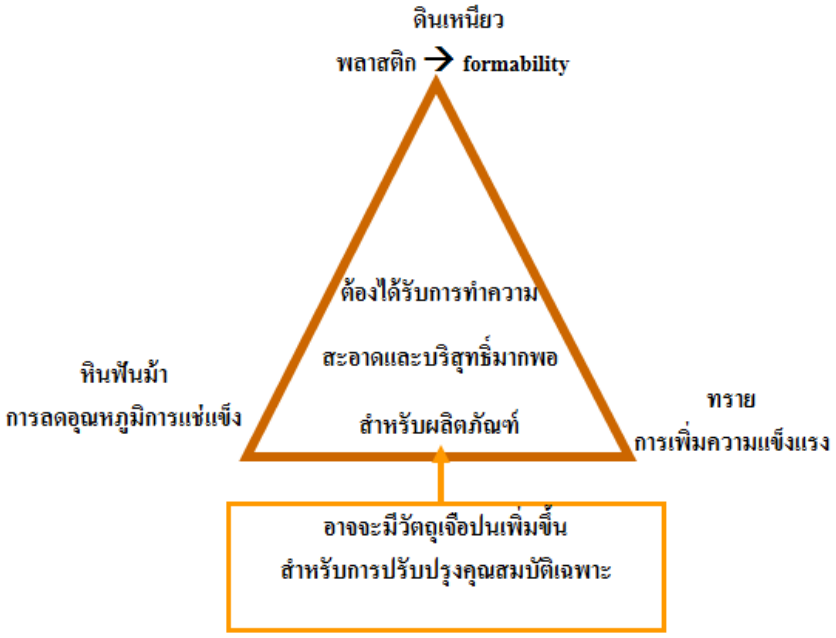


รูปที่ 2.4 กระบวนการ Float Process สำหรับผลิตกระจกแผ่น
(http://www.tangram.co.uk/TI-Glazing-Float%20Glass.html สืบค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2550)

1.1.4.2 ผลิตภัณฑ์ดิน

ผลิตภัณฑ์ดินมีองค์ประกอบหลักคืออะลูมินากับซิลิกา สามารถแยกออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์โครงสร้าง (Structural Product) ยกตัวอย่างเช่น อิฐ กระเบื้อง ท่อน้ำทิ้ง และไวต์แวร์ (Whiteware) ซึ่งเรียกชื่อตามสีของผลิตภัณฑ์หลังการเผาที่จะมีสีขาวหรือนวล ยกตัวอย่างเช่น ถ้วย ชาม สุขภัณฑ์ เป็นต้น

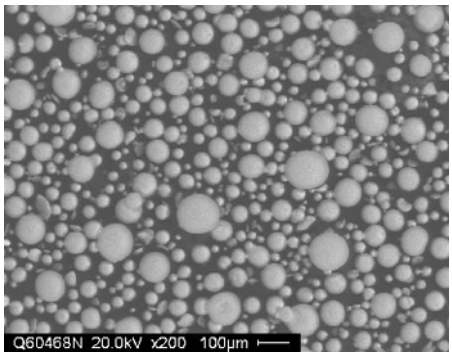
1. วัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ดินเหนียว



รูปที่ 2.5 วัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ดินเหนียว

2. การเตรียมวัสดุ

ส่วนใหญ่แล้ว การเตรียมวัสดุมักเริ่มจากการเตรียมอนุภาคให้เป็นเม็ดกลมหรือกรานูล (Granule) หรือรวมเป็นกลุ่ม (Aggromerate) ในทางอุตสาหกรรมมักเตรียมกรานูลโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) โดยเริ่มต้นจากการเตรียมให้วัตถุดิบอยู่ในรูปของเหลว (Slurry) จากนั้นนำไปผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย Slurry จะถูกฉีดเป็นฝอย และเมื่อปะทะกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำให้เกิดเป็นกรานูล ตัวอย่างสารที่นิยมเตรียมเป็นกรานูลได้แก่ สารประกอบอะลูมินาคาร์ไบด์ ไนไตรด์ ไททาเนต และ เนื้อพอร์ซเลน เป็นต้น รูปที่ 2.6 แสดงกรานูลของอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เตรียมด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 2.6 กรานูลของอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เตรียมด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
(http://www.tokuyama-a.com/aluminum_nitride.php สืบค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2552)

3. การขึ้นรูป

หลังจากที่เตรียมอนุภาควัสดุแล้วขั้นตอนต่อไปคือการขึ้นรูป ซึ่งการขึ้นรูปสามารถทำได้ทั้งในสภาวะที่ แห้ง เหนียว หรือของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถทำได้ทั้งที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูง กระบวนการขึ้นรูปมีหลายประเภทด้วยกัน ทั้งการอัด (pressing) การหล่อแบบ (casting) และกระบวนการอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถเติมสารตัวเติม (additive) เพื่อช่วยให้ขึ้นรูปได้ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ผสม binder ลงในวัสดุผงเพื่อช่วยการยึดเกาะในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัด หรือ ผสม Deflocculant ลงในน้ำสลิป (slip) เพื่อช่วยในการกระจายอนุภาคในน้ำสลิป สารตัวเติมประเภทต่างๆ พร้อมทั้งหน้าที่ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 หน้าที่ของสารตัวเติมประเภทต่างๆ

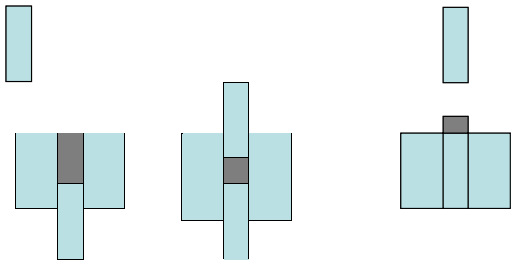
ชนิดสารตัวเติม	หน้าที่
Deflocculant	กระจายตัวของอนุภาค
Coagulant	ช่วยสร้างตะกอน หรือช่วยให้เกิดการจับตัว
Binder/flocculant	เพิ่มแข็งแรง, แรงยึดติด
Plasticizer	เปลี่ยนคุณสมบัติความหนืดของสารยึดเกาะลด T_g
Lubricant	ช่วยหล่อลื่น
Wetting agent	ช่วยให้ชุ่มชื้น
Antifoam	กำจัดฟอง
Antistatic agent	ลดสารสะสมของประจุไฟฟ้า

4. การอัด

วัตถุดิบในรูปของกรานูลหรือผง (powder) สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัด (Pressing) ทั้งในสภาวะแห้งหรือเหนียว กระบวนการอัดมีด้วยกันหลายประเภท ดังนี้

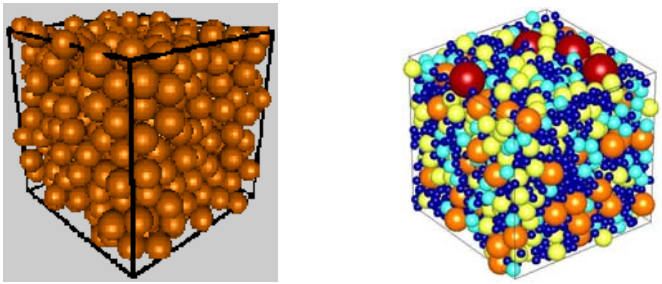
(1) การอัดแกนเดียว (Uniaxial Pressing)

การอัดแกนเดียวเป็นกระบวนการอัดแบบง่ายที่สุด เริ่มต้นจากนำวัตถุดิบใส่ลงในแม่แบบ จากนั้นให้แรงอัดในแนวเดียวเพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่น ขั้นตอนสุดท้ายคือการถอดชิ้นงาน ออกจากแม่แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปแบบอัดแกนเดียว (1) ใส่วัตถุดิบลง แม่แบบ (2) ให้แรงอัด (3) กดเพื่อถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบ
(http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/xtaldraw/crystal/silicate.htm สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2553)

สิ่งสำคัญที่จะช่วยทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการอัดมีความหนาแน่นสูงคือ ขนาดของวัตถุดิบ ถ้าเริ่มต้นจากกรานูลหรือผงที่มีขนาดเท่ากัน จะทำให้มีช่องว่างในชิ้นงานมาก ส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนสูงหรือมีค่าความหนาแน่นน้อย (ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ก)) เพื่อให้ความหนาแน่น ของชิ้นงานเพิ่มขึ้น จึงควรผสมผงวัสดุที่มีขนาดต่างกันเข้าด้วยกัน เพื่อให้ผงขนาดเล็กเข้าไปอยู่ในตำแหน่งที่ว่าง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าถ้าผสมผงวัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1:7:38:316 ด้วยอัตราส่วนเชิงปริมาตรเท่ากับ 6.1:10.2:23.0:60.7 เปอร์เซ็นต์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ข)) ชิ้นงานที่ได้จะมีความหนาแน่นสูงถึง 95.1 เปอร์เซ็นต์ของค่าทางทฤษฎี



(ก) (ข)

รูปที่ 2.8 การอัดตัวของผงวัสดุที่มี (ก) ขนาดเท่ากัน (ข) ขนาดต่างกันสี ขนาด ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น

(ที่มา R.K. McGeary (1961). Mechanical packing of spherical particles. J.Am.Cer.Soc. 44(10): 513)

(2) การอัดแบบร้อน

การอัดแบบร้อน (Hot Pressing) มีกระบวนการคล้ายกับการอัดแกนเดียว แต่ที่ต่างกันคือมีการให้ความร้อนระหว่างการอัดด้วย เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับชิ้นงาน

(3) การอัดด้วยความดันเท่ากันทุกทิศทาง

การอัดด้วยความดันเท่ากันทุกทิศทาง (Isostatic Pressing) คือกระบวนการอัดที่ให้ความดันเท่ากันในทุกทิศทางผ่านตัวกลางเช่นน้ำมันเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับชิ้นงาน ชิ้นงานที่นำมาอัดด้วยกระบวนการนี้จะต้องผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นๆมาก่อน แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องเพื่อเพิ่มความหนาแน่น กระบวนการนี้สามารถทำได้ทั้งที่อุณหภูมิห้อง (Cold Isostatic Pressing) หรือที่อุณหภูมิสูง (Hot Isotatic Pressing)

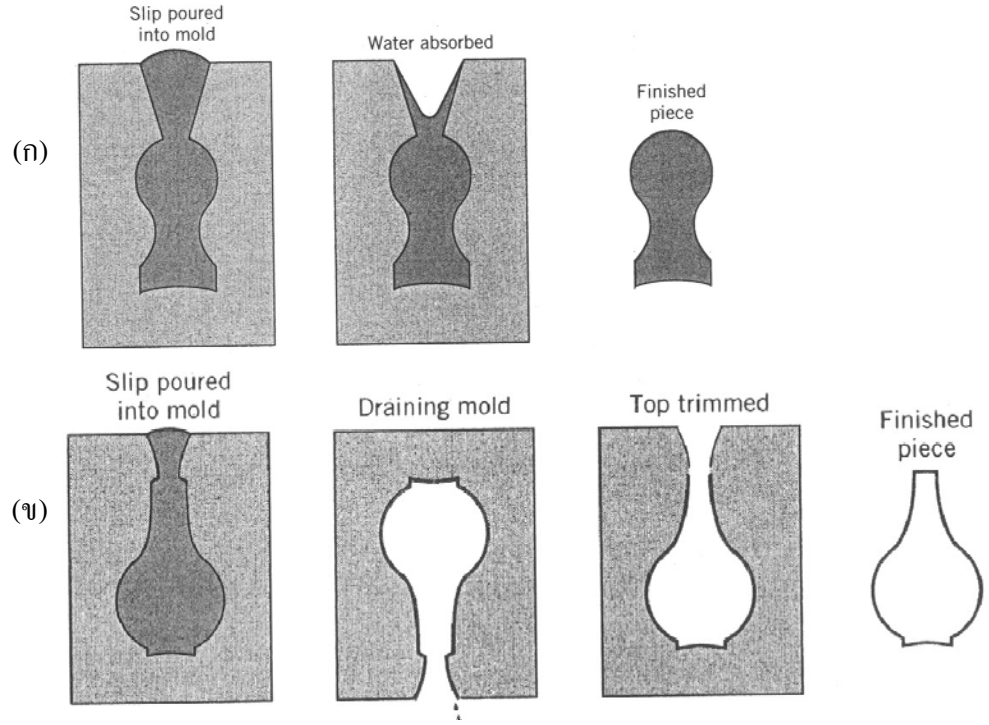
5. การหล่อแบบ

(1) การหล่อแบบน้ำสลิป (Slip Casting)

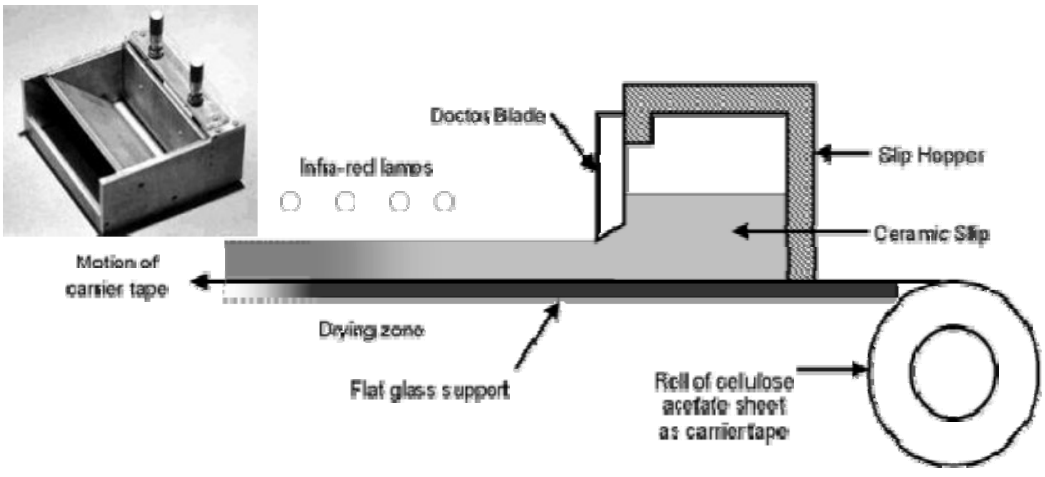
กระบวนการหล่อแบบน้ำสลิปเริ่มจากการเตรียมน้ำสลิปสำหรับเทแบบ ซึ่งการหล่อแบบสามารถทำได้ทั้งแบบตัน (solid) คือเทแบบแล้วทิ้งให้แข็งทั้งชิ้นงาน (ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ก)) หรือแบบเททิ้ง (drain) เทแบบแล้วรอให้น้ำสลิปแห้งจนได้ความหนาที่ต้องการ จากนั้นจึงเทน้ำสลิปส่วนที่เกินออก วิธีนี้จะได้ชิ้นงานแบบกลวง (ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข)) หลังจากได้ชิ้นงานแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือรอให้แห้งแล้วจึงแกะออกจากแบบ ตกแต่ง หรือชุบเคลือบ ก่อนนำไปผ่านขั้นตอนสุดท้ายคือการเผา การหล่อแบบน้ำสลิปเหมาะกับการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน หรือชิ้นงานแบบกลวง โดยมีข้อควรระวังคือ เนื่องจากน้ำสลิปมีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่มาก ดังนั้นจะมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง

(2) การหล่อแผ่นบาง (Tape Casting)

กระบวนการหล่อแผ่นบางเริ่มจากการเตรียมน้ำสลิปเช่นเดียวกัน จากนั้นเทน้ำสลิปลงในหัวหล่อซึ่งประกอบด้วยช่องบรรจุน้ำสลิป และด้านลางจะมีช่องเปิดและมีมีดปาด เพื่อปาดผิวชิ้นงานให้เรียบ ทำการเลื่อนหัวหล่อ น้ำสลิปจะไหลออกทางช่องเปิด และถูกปาดให้เรียบด้วยมีดปาด ซึ่งสามารถปรับระดับความสูงเพื่อควบคุมความหนาของแผ่นชิ้นงานได้ (รูปที่ 2.10) กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการเตรียมชิ้นงานที่เป็นแผ่นบาง ยกตัวอย่าง เช่น แผ่นรอง (Substrate) สาหรับวงจรไฟฟ้า เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Cell) อุปกรณ์เซ็นเซอร์ไฟฟ้า (Electrical Sensor) และอิเล็กโทรไลต์ของแข็ง (Solid Electrolyte) สำหรับอุปกรณ์ แบตเตอรี่ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 กระบวนการหล่อแบบน้ำสลิป (ก) แบบต้น (ข) แบบเททิ้ง (Callister, 2003 หน้า 441)

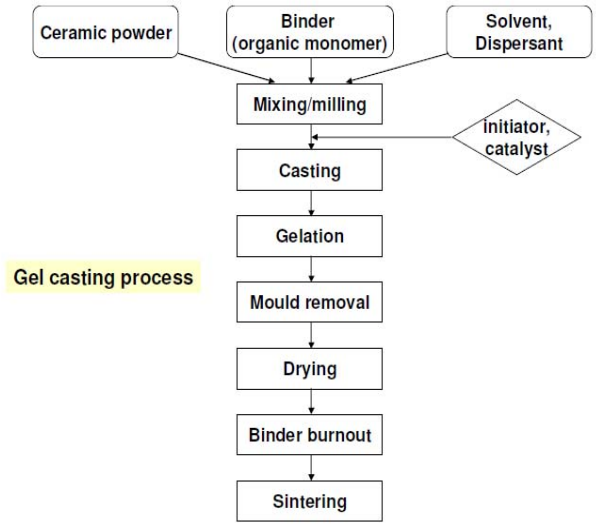


รูปที่ 2.10 กระบวนการหล่อแผ่นบาง

(http://www.cranfield.ac.uk/sims/materials/processing/tcintro.htm สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2550)

(3) การหล่อแบบเจล (Gel Casting)

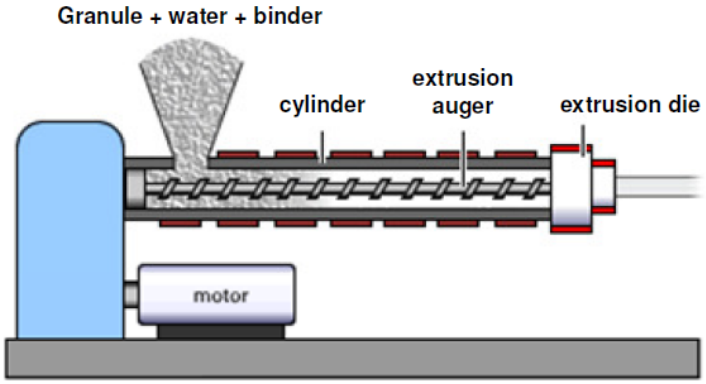
กระบวนการนี้ ใช้ประโยชน์ของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของโมโนเมอร์เริ่มต้นจากผสมผงเซรามิกกับตัวเชื่อมประสาน (binder) เป็นโมโนเมอร์ลงในตัวทำละลาย จากนั้นผสมให้เข้ากันและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (initiator) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ลงไปเพื่อให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน นำเจลที่ได้ไปเทแบบจากนั้นทิ้งให้แข็งตัวแล้วจึงเกาะออกจากแบบ ขั้นตอนสุดท้ายคือการอบแห้งและเผาเพื่อไล่ตัวเชื่อมประสานออก จะได้เป็นชิ้นงานเซรามิกที่ต้องการ กระบวนการนี้สามารถประยุกต์ใช้กับการเตรียมคอมโพสิตได้เช่นกัน โดยตัดขั้นตอน การเผาออกเพื่อให้วัสดุที่ได้เป็นคอมโพสิตของวัสดุผงเซรามิกและพอลิเมอร์ที่ต้องการ ขั้นตอนการหล่อแบบเจลแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กระบวนการหล่อแบบเจล

6. การอัดรีด

การอัดรีด (Extrusion) (รูปที่ 2.12) เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการอัดวัตถุดิบที่มีลักษณะเหนียวเป็น paste ผ่านแม่พิมพ์เพื่อให้ได้รูปร่างที่ต้องการเช่นเป็นทรงกระบอกหรือสี่เหลี่ยม จากนั้นจึงตัดที่ตำแหน่งความยาวที่ต้องการก่อนนำไปเผาต่อไป กระบวนการอัดรีดนิยมใช้ในการผลิตอิฐ ทนไฟ ท่อระบายน้ำ กระเบื้อง ฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.12 กระบวนการอัดรีด

(http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u65-1.htm สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2554)

7. กระบวนการขึ้นรูปแบบอื่นๆ

นอกจากทั้งสามกระบวนการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เซรามิกยังสามารถขึ้นรูปได้อีกหลายวิธีด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น การขึ้นรูปด้วยเครื่องจิก (Jiggering) การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน (Wheel Throwing) และการขึ้นรูปด้วยวิธีฉีดแม่แบบ (Injection Molding) ซึ่งเกินขอบเขตของเนื้อหาจึงขอไม่กล่าว รายละเอียดไว้ในที่นี้

8. กรรมวิธีทางความร้อน

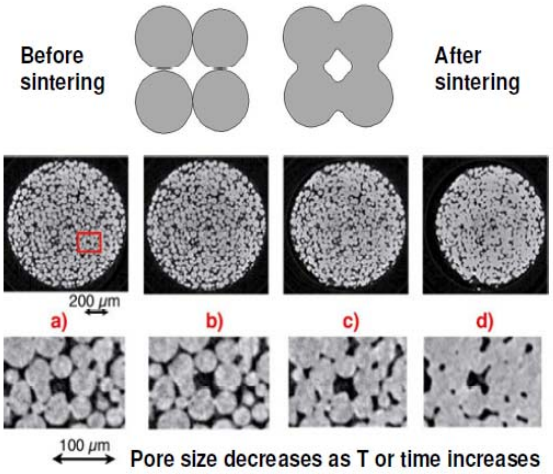
หลังจากที่ขึ้นรูปชิ้นงานและตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำชิ้นงานมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) อันได้แก่การอบแห้งและการเผา

1) การอบแห้ง

ในการอบแห้งเพื่อไล่น้ำออกจากชิ้นงานควรทำอย่างช้าๆ และให้ชิ้นงานค่อยๆ แห้งอย่างสม่ำเสมอทั้งชิ้นเพื่อป้องกันการแตกหักหรือบิดเบี้ยว โดยสามารถทำได้โดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรือใส่เตาอบที่อุณหภูมิต่ำ ในกรณีที่มีการเติมสารตัวเติมลงในระบบอาจเพิ่มขั้นตอนการเผาเพื่อกำจัดสารตัวเติมเหล่านั้นออกไปที่อุณหภูมิประมาณ 200-500 องศาเซลเซียส

2) การเผาซินเทอร์

การเผาซินเทอร์ (Sintering) คือการทำให้อนุภาคของวัสดุเกิดพันธะซึ่งกันและกันโดยการแพร่ของของแข็งที่อุณหภูมิสูง (แต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว) เนื้อวัสดุที่ได้จะมีรูพรุนลดลงและความหนาแน่นมากขึ้น กระบวนการนี้มักใช้กับสารเซรามิกพวกอลูมินาแบริลเลียม เฟอไรต์และไททาเนต รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของอนุภาคก่อนและหลังการเผาซินเทอร์ เห็นได้ว่าขนาดของรูพรุนในโครงสร้างจะค่อยๆ ลดลงเมื่ออุณหภูมิซินเทอร์สูงขึ้น



รูปที่ 2.13 ลักษณะของอนุภาคก่อนและหลังกระบวนการเผาซินเทอร์

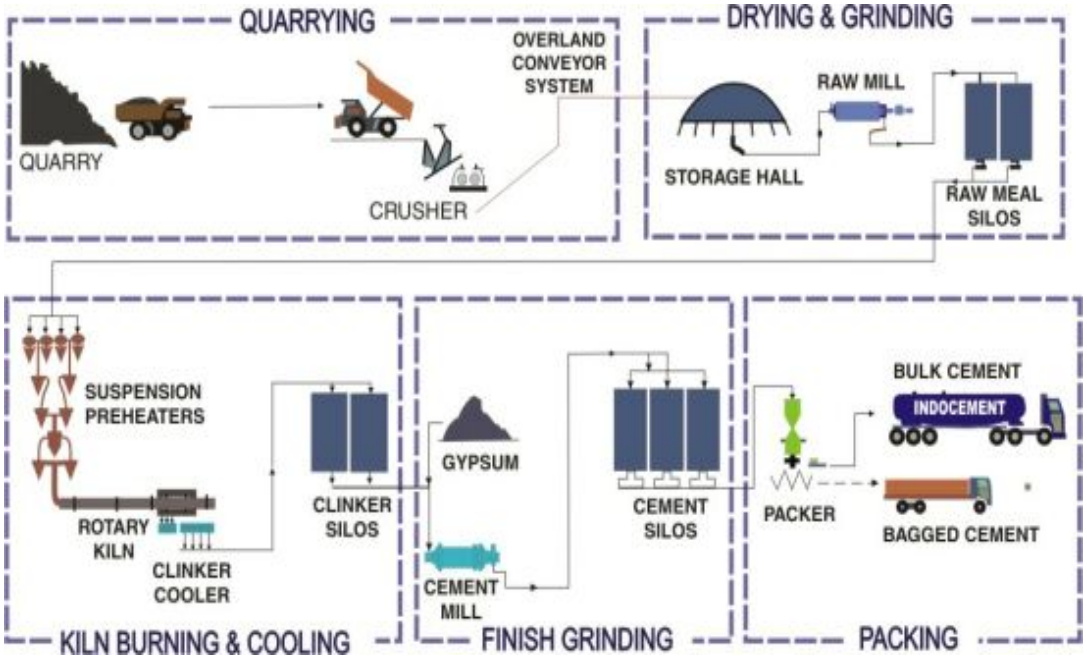
(http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Publications/Highlights/2002/Materials/MAT3 สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2552)

1.1.4.3 วัสดุขัดถู

วัสดุขัดถูคือวัสดุที่มีความแข็งสูง ใช้สำหรับขัดผิวของชิ้นงาน ทั้งการขัดเรียบและขัดมัน ยกตัวอย่างเช่น ทำเป็นกระดาษทราย ผ้าทราย หินเจียระไนสำหรับขัด หรือวงล้อขัดหยาบ (grinding wheel) วงล้อขัดมัน (polishing wheel) เป็นต้น วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุขัดถูได้แก่ เพชร ซิลิกอนคาร์ไบด์ อะลูมิเนียมคาร์ไบด์ ทังสเตนคาร์ไบด์ และโบรอนไนไตรด์ หรือที่มีชื่อทางการค้าว่า Borazon เป็นต้น

1.1.4.4 ซีเมนต์

ซีเมนต์หรือที่นิยมเรียกกันว่าปูนซีเมนต์ คือผงที่ได้จากการเผาดินกับหินปูน เมื่อผสมกับน้ำ จะได้ลักษณะคล้ายดินเปียก และเมื่อทิ้งไว้จะแข็งตัว ซีเมนต์เป็นวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีต ปูนฉาบ หรือปูนก่อ เป็นต้น กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การบวนการผลิตปูนซีเมนต์

(http://kanchanapisek.or.th/kp6/New/sub/book/book.php?book=24&chap=6&page=t24-6-infodetail03.html สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2554)

1.1.4.5 วัสดุทนไฟ

วัสดุทนไฟคือวัสดุที่สามารถทนไฟหรืออุณหภูมิสูงได้ดี ที่นิยมใช้ได้แก่ดินทนไฟ (Fireclay) อะลูมินาซิลิกา แมกนีเซียมออกไซด์ และปูนขาว เป็นต้น สมบัติของวัสดุทนไฟคือมีจุดหลอมเหลวสูง นอกจากนี้ยังมีความหนาแน่นสูง และมีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูง ยกตัวอย่างการใช้งานเช่น ทำเป็นครูซิเบิล (crucible) เป็นส่วนประกอบของเตาเผา อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความร้อน และกระบวนการผลิตพลังงาน เป็นต้น

1.1.4.6 เซรามิกขั้นสูง

1. ตัวเซนเซอร
2. ระบบป้องกันความร้อน
3. วัสดุเซรามิกที่ใช้ในทางการแพทย์
4. วัสดุแม่เหล็ก
5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.1.4.7 เซรามิกที่นำมาใช้ในทางการแพทย์

1. Nano Zincoxide

หากกล่าวถึงซิงค์ (Zinc) หรือสังกะสี หลายคนคงคิดถึงโลหะชนิดหนึ่งที่นำมาทำเป็นหลังคาบ้าน จาน ชาม รวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไม้สอยต่างๆ แต่น้อยคนนักที่จะรู้ว่าแท้จริงแล้วสังกะสีมีความเกี่ยวข้องใกล้ชิดกับมนุษย์มากกว่านั้น สังกะสีนอกจากจะเป็นโลหะชนิดหนึ่งแล้ว สังกะสีที่อยู่ในรูปออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นยา และยังเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย สังกะสีเป็นหนึ่งในสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายมนุษย์ คือ เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกายมนุษย์ช่วยในการเจริญเติบโต และระบบต่างๆของมนุษย์ ส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

ซิงค์ออกไซด์นาโน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10 – 9 เมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี สามารถป้องกับรังสี UV-A และ UV-B ต้านทานแบคทีเรีย (Anti-bacteria)ระงับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้

1.1) การผลิตซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์โดยทั่วไปจะใช้เป็นสี เรียกว่า ซิงค์ ไวท์ (Zinc White) ซึ่งโดยปกติในธรรมชาติ ธาตุสังกะสี มักพบในรูปของ สินแร่ ที่มีธาตุอื่นๆอยู่ร่วมด้วย Smithsonite คือ ซิงค์คาร์บอเนต หรือ สินแร่ Sphalerite

การผลิตซิงค์ออกไซด์ จาก ซิงค์คาร์บอเนต

$$ZnCO_3 + \text{ความร้อน} \longrightarrow ZnO + CO_2$$

การผลิตซิงค์ออกไซด์ จาก ซิงค์ซัลไฟด์

$$2\,ZnS + 3O_2 + \text{ความร้อน} \longrightarrow 2\,ZnO + CO$$

1.2 บทบาทของซิงค์ออกไซด์นาโน

1. ด้านเภสัชกรรม

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่สามารถเติมในอาหารได้โดยมีความปลอดภัยสูง สามารถใช้ได้ทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ โดยปกติร่างกายผู้ใหญ่ต้องการสังกะสีวันละ 15 มิลลิกรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 25 มิลลิกรัม ในสตรีที่ให้นมบุตร เป็นยาสมานแผล ลดการอักเสบ และยับยั้งแบคทีเรียได้ดี โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้จะอยู่ประมาณ 10 ถึง 20 นาโนเมตร

2. ด้านเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์กันแดด

นาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันรังสี UVA และ UVB เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กันแดด

อนุภาคปกติของซิงค์ออกไซด์จะมีสีขาวเมื่อนำมาทาลงบนผิว เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของครีมหรือโลชั่นกันแดดจะให้สัมผัสนุ่มลื่น จึงเหมาะที่จะนำมาผสมเป็นสารกันแดดในเครื่องสำอาง

3. อุตสาหกรรมอาหารสัตว์และยา

อาหารสัตว์ที่มีนาโนซิงค์ออกไซด์จะให้ผลดีกว่าการเติมไมโครซิงค์ออกไซด์ โดยจะทำให้อัตราการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงกว่า ทำให้ลดปริมาณการเติมซิงค์ออกไซด์ในอาหารได้

4. อุตสาหกรรมการผลิตยาง

นาโนซิงค์ออกไซด์ถูกใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว ช่วยในการยืดอายุการใช้งานของยางและใช้ในการผลิตยางที่สามารถป้องกันรอยขูดขีด

5. อุตสาหกรรมเซรามิกอุตสาหกรรมเซรามิก

ปกติในอุตสาหกรรมเซรามิกจะใช้ซิงค์ออกไซด์ในการให้สีขาว จากการใช้นาโนซิงค์ออก-ไซด์ พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิการเผาเซรามิกให้เหลือเพียง 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยหลังการเผาพบว่าผิวของเซรามิกที่ได้มีความมันวาวราวกับกระจก

6. อุตสาหกรรมสิ่งทอและอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ

ผลิตสิ่งทอป้องกันแบคทีเรียและเชื้อราการกำจัดกลิ่นของเสื้อผ้า เสื้อผ้าทำความสะอาดตัวเอง ผลิตเส้นใยและสิ่งทอที่สามารถป้องกันรังสี UV ได้

7. อุตสาหกรรมสี

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารป้องกันไฟฟ้าสถิตตัวใหม่ ซึ่งมีความสามารถเป็นสารกึ่งตัวนำ การเติมนาโนซิงค์ออกไซด์ในเรซินจะสามารถนำมาใช้ป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ ทั้งยังสามารถผลิตสีป้องกันรังสี UV สีที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้

8. ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องทางการแพทย์

เสื้อกาวน์ต้านเชื้อโรค (Anti-Bacterial Medical Gowns)

เสื้อกาวน์นี้ผลิตจากผ้าฝ้ายนำมาผ่านกรรมวิธีชุบเคลือบด้วยอนุภาคของสารนาโนซิงค์ออก-ไซด์ (Nano Zinc Oxide) ให้มีคุณสมบัติต้านทานเชื้อโรค ได้แก่ เชื้อราและเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด เช่น เชื้อ E. Coli มีต้นทุนการผลิตไม่สูงมาก และเป็นการช่วยลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานให้แก่บุคลากรด้านการแพทย์

2. ลูกตาเทียมจากเซรามิก (ไฮดรอกซีแอปาไทต์)

2.1 การเตรียมสารไฮดรอกซีแอปาไทต์

สามารถเตรียมได้จาก 3 แหล่ง คือ

1. จากสารเคมี เช่น แคลเซียมไนเตรตและแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น

2. จากปะการัง โดยนำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นสารไฮดรอกซีแอปาไทต์ แต่ปะการังมีปริมาณน้อยและเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจึงไม่นิยมนำมาใช้

3. จากกระดูกสัตว์ เช่น โค กระบือ ช้าง ปลา สุกร รวมทั้งจากมนุษย์ โดยมากนิยมใช้กระดูกโคและกระบือมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณมากและเป็นสัตว์ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์อยู่แล้ว ทั้งการใช้แรงงานและการบริโภค รูปแบบการนำสารไฮดรอกซีแอปาไทต์ไปใช้ทดแทนกระดูกในต่างประเทศ โดยทั่วไปการนำสารไฮดรอกซีแอปาไทต์ไปใช้งานแบ่งได้ 3 ลักษณะคือ

3.1 แบบผง สำหรับใช้เพื่อเคลือบลงบนโลหะ ที่เป็นส่วนประกอบหลักของข้อสะโพกเทียม หรือรากฟันเทียม หรือนำไป ผสมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น โพลิเมอร์ เพื่อใช้ทำกระดูกหูเทียม ซึ่งช่วยผู้ป่วยที่สูญเสียการได้ยินให้สามารถได้ยินเสียงดีขึ้น

3.2 แบบเป็นชิ้นเนื้อแน่น มีการนำไปใช้เป็นกระดูกเสริมช่องว่างทางด้านศัลยกรรมกระดูกและใบหน้า

3.3 แบบเป็นรูพรุน ใช้งานเป็นวัสดุทดแทนกระดูก เป็นตัวเติมทางด้านศัลยกรรมกระดูกและใบหน้า

โดยทั่วไปลักษณะการนำวัสดุทางการแพทย์ไปใช้งานนั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1) วัสดุการแพทย์ที่ใส่เข้าไปในร่างกายจะทำหน้าที่ทดแทนอวัยวะนั้น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ เนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย

2) วัสดุการแพทย์ที่ใส่เข้าไปในร่างกายจะต้องมีส่วนร่วมหรือมีหน้าที่สัมพันธ์ กับอวัยวะหรือส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ในร่างกาย แต่ต้องไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อในร่างกายซึ่งคุณสมบัติเฉพาะของสารไฮดรอกซีแอปาไทต์นี้ สามารถนำไปใช้ในร่างกาย เพื่อทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่าง วัสดุหรืออุปกรณ์การแพทย์กับเซลล์กระดูกคนไข้ได้ดี

2.2 สารไฮดรอกซีแอปาไทต์แบบผง

สามารถใช้เคลือบลงบนข้อสะโพกเทียมในส่วนที่เป็นแกนโลหะ เพื่อให้โลหะทนทานต่อการกัดกร่อนจากของเหลวภายในร่างกายที่โดยปกติจะมีสภาพเป็นกรดอ่อน ๆ อยู่แล้ว และหากเกิดการเจ็บป่วย สภาพภายในร่างกายก็จะมีความเป็นกรดยิ่งขึ้น ดังนั้น การใช้สารไฮดรอกซีแอปาไทต์เคลือบบนผิวข้อสะโพกเทียมจะทำให้ อุปกรณ์มีความทนทานมากยิ่งขึ้น และยังช่วยสร้างพันธะระหว่างข้อสะโพกเทียมกับกระดูกของผู้ป่วยด้วย

2.3 สารไฮดรอกซีแอปาไทต์แบบชิ้นเนื้อแน่น

จะมีสมบัติทางกลดีกว่าแบบรูพรุน จึงสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า การนำไปใช้งานในต่างประเทศ มักนำไปทดแทนในส่วนกระดูกสันหลังของผู้ป่วย สารไฮดรอกซีแอปาไทต์ก็จะเป็นตัวเร่ง ให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อให้มาเกาะ และทำให้ระบบในร่างกายทำงานได้ดีขึ้น

2.4 สารไฮดรอกซีแอปาไทต์แบบรูพรุน

จากการสำรวจความต้องการจากแพทย์พบว่า สารไฮดรอกซีแอปาไทต์แบบรูพรุนเป็นที่ต้องการมากที่สุดในขณะนี้ เพื่อใช้เป็นตัวเติมแทนกระดูกของผู้ป่วย สำหรับบริเวณต่างๆ ของร่างกายที่มีการสูญเสียกระดูกไม่ว่าจะเนื่องมาจาก โรคมะเร็ง การติดเชื้อ หรือ

อุบัติเหตุก็ตาม โดยอาศัยความเป็นรูพรุนทำให้เซลล์และเลือดนำพาแร่ธาตุต่างๆเข้าไปได้อย่างทั่วถึงช่วยทำให้ เกิดการสร้างกระดูกเชื่อมต่อได้ดีนอกจากนี้ในการวิจัยสามารถสังเคราะห์สารไฮดรอกซีแอปาไทต์และสารในเครือแคลเซียมฟอสเฟตอื่นๆ โดยใช้สาร ตั้งต้นที่เป็นผลิตผลจากอุตสาหกรรมกระดูกสัตว์ได้

จากที่บุคลากรกระทรวงกลาโหม ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทหาร กลาโหม (สวพ.กห.) ทำการวิจัยและศึกษาคุณสมบัติของกระดูกวัวนอกจากช่วยด้านความสวยงามให้แก่ผู้สูญเสียนัยน์ตาแล้ว ยังช่วยป้องกันการหดตัวของเนื้อเยื่อรอบเบ้าตาด้วย ซึ่งลูกตาเทียมในปัจจุบันทำมาจากลูกแก้ว และมักหลุดเลื่อนจากเบ้าตาได้ง่าย เนื่องจากเบ้าตาเกิดการหดตัว ส่งผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อนตามมา ส่วนลูกตาเทียมที่ทำจากกระดูกวัวมีรูพรุน และมีคุณสมบัติเกาะกับเนื้อเยื่อได้ดี ไม่หลุดเลื่อน โดยใช้ส่วนของกระดูกข้อต่อบริเวณสะโพกมาเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1200 องศาเซลเซียส จะทำให้กระดูกวัวที่เผาแล้วมีสีขาว น้ำหนักเบา มีรูพรุน และ สารไฮดรอกซีแอปาไทต์ ในกระดูกวัวยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะ จากนั้นนำมาเจียรให้เป็นลูกกลมๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 20 มิลลิเมตร เพื่อนำมาใส่เป็นลูกตาเทียมชนิดฝังใส่ในโพรงตา ต้นทุนของลูกตาเทียมจากกระดูกวัวอยู่ที่ลูกละ 1,000 บาท ถูกกว่าลูกตาเทียมจากปะการัง 30 เท่า อีกทั้งแพทย์สามารถตกแต่งตาดำให้มีความสวยงาม สมจริงได้อีกด้วย

2.5 ผลที่นำมาใช้

1) ป้องกันการหดตัวของเนื้อเยื่อรอบเบ้าตา
2) สามารถเคลื่อนไหวได้
3) ไม่หลุดเลื่อนออกจากเบ้าตา
4) ไม่ก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อน

2.6 สรุป

ลูกตาเทียมที่ผลิตจากไฮดรอกซีแอปาไทต์จากกระดูกวัวมีต้นทุนในการผลิตถูกกว่าลูกตาเทียมจากปะการังถึง 30 เท่าซึ่งเป็นไฮดรอกซีแอปาไทต์เหมือนกันและเป็นวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อน สามารถเคลื่อนไหวได้ และป้องกันการหดตัวของเนื้อเยื่อรอบเบ้าตาอีกทั้งยังไม่หลุดออกจากเบ้าตาเหมือนกับลูกตาเทียมที่ทำจากลูกแก้ว

3. การครอบฟันจากกลาสเซรามิก

เมื่อพูดถึงเซรามิก เรามักนึกถึงถ้วยชาม หรือเครื่องสุขภัณฑ์ต่างๆ ที่พบเห็นอยู่ในชีวิตประจำวัน แต่เซรามิกก็มีการนำมาใช้งานทางการแพทย์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะมีจุดเด่นคือ มีความแข็งสูง ทนทานต่อการสึกหรอได้ดี และมีความเฉื่อยทางชีวภาพ เซรามิกเริ่มมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในทางการแพทย์ โดยนำมาใช้ในงานด้านศัลยกรรม ซึ่งนำเอาวัสดุ Bioceramic มาใช้ในการซ่อมแซมและแทนที่อวัยวะในร่างกายที่มีการสึกหรอหรือเจ็บป่วย เช่น ตะโพก เข่า ไหล่ ศอก นิ้ว ข้อต่อต่างๆและนำมาใช้ทำเป็นลิ้นหัวใจเทียม เพื่อใช้กับผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจด้วย

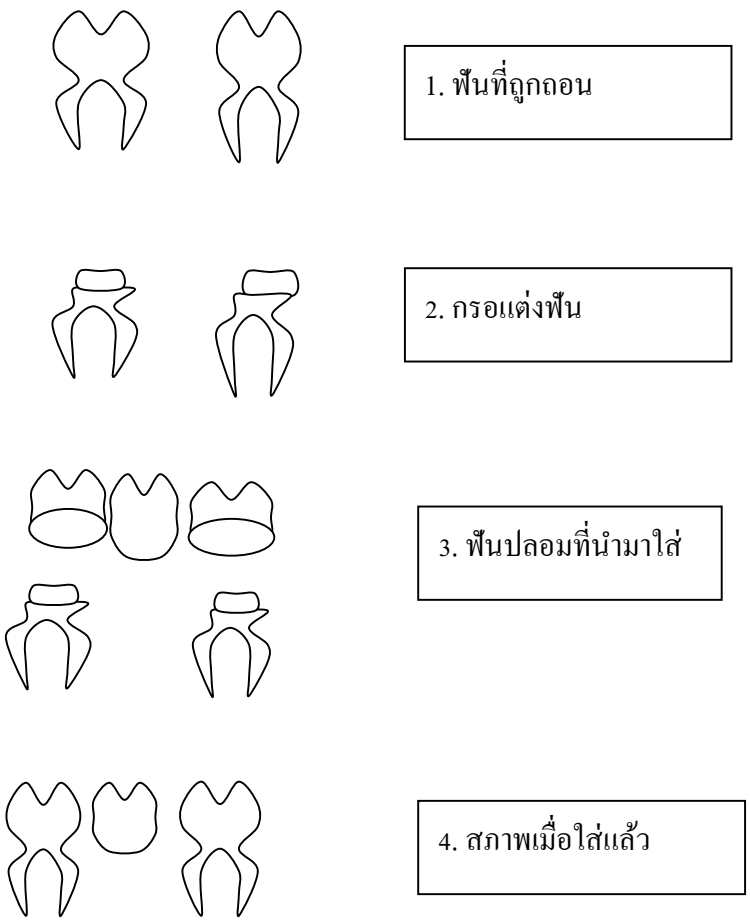
ในงานด้านทันตกรรม มีการนำเซรามิกมาใช้ทำเป็นตัวฟันปลอมและที่ค้ำฟัน นอกจากนี้ก็นำมาบรรจุสารเคลือบฟันและสารที่มีอนุภาคเหมือนแก้ว ซึ่งทำให้ฟันขาว และฟันที่ทำจากเซรามิกนี้ยังมองดูแล้วสวยงามเหมือนกับฟันธรรมชาติด้วย นอกจากนี้ก็มีการนำเซรามิกมาเคลือบบนโลหะก่อนที่จะใส่เข้าไปแทนที่อวัยวะในร่างกาย เนื่องจากเซรามิกสามารถกระตุ้นให้มีการสร้างเนื้อเยื่อและไม่มีการต่อต้านจากระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และเรายังนำเซรามิกมาทำเป็น Glass microspheres ซึ่งมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผม เพื่อเป็นท่อนำส่งรังสีเพื่อใช้รักษาอวัยวะภายในที่เป็นโรค เช่น เนื้องอกหรือโรคมะเร็ง เนื่องจากเซรามิกจะมีความทนทานและเสถียร และไม่สึกกร่อนเนื่องจากการทำปฏิกิริยากับของเหลวในร่างกาย เซรามิกยังนำมาใช้ในงานด้านศัลยกรรม โดยนำมาหุ้มกรรไกร เพื่อให้ผิวแข็งและมีความลื่นไถล ซึ่งจะมีผลทำให้บริเวณบาดแผลที่ทำการผ่าตัดมีรอยที่เกิดจากการผ่าตัดน้อย ไม่เป็นรอยถลอก และมีผลดีในการใช้งานเนื่องจากไม่เกิดสนิม

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการใช้งานของเซรามิกทางการแพทย์

งาน/อวัยวะที่ใช้	**ประเภท/ชนิดของเซรามิก**
หูและส่วนของหู	ไฮดรอกซีแอปาไทต์
ตา	ไฮดรอกซีแอปาไทต์ แก้ว
ทันตกรรม	พอร์ซแลน ไฮดรอกซีแอปาไทต์
ใบหน้า	ไฮดรอกซีแอปาไทต์
หัวใจและส่วนของหัวใจ	คาร์บอน
ข้อต่อ	ไฮดรอกซีแอปาไทต์ อะลูมินา เซอร์โคเนีย

3.1 วิธีการทำครอบฟันจากกลาสเซรามิก

แพทย์จะทำการกรอฟันแต่งให้มีขนาดเล็กลงก่อนจากนั้นจะทำแบบพิมพ์ของฟันและนำไปหล่อขึ้นรูปด้วยวัสดุกลาสเซรามิก สุดท้ายครอบฟันที่มีขนาดพอดีกับฟันที่แต่งไว้ จะถูกนำมายึดติดด้วยซีเมนต์สำหรับยึดครอบฟัน



รูปที่ 2.15 วิธีการทำครอบฟันจากกลาสเซรามิก
(http://www.japandentaltek.com สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

3.2 ชนิดของฟันปลอม

ฟันปลอมมี 2 ชนิด คือชนิดถอดได้และชนิดติดแน่น ฟันปลอมชนิดถอดได้จะมีทั้งแบบชั่วคราวที่ ส่วนมากนิยมทำกับฟันหน้าเท่านั้นทำขึ้นเพื่อความสวยงามหลังจากการถอนฟันและรอให้แผลหายเป็นปกติ เมื่อฟันปลอมแบบนี้จะใช้ได้สักระยะเท่านั้นเมื่อแผลจากการถอนฟันหายดีและจะต้องทำฟันปลอมชุดใหม่ ส่วนชนิดถอดได้แบบถาวรมักจะทำกับฟันกรามเล็กและฟันกรามใหญ่หลังจากแผลจากการถอดฟันหายเป็นปกติดี ฟันปลอมชนิดที่ติดแน่นถอดไม่ได้จะมีหลายแบบด้วยกันโดยอาจจะเป็นการครอบฟันในกรณีที่มีฟันผุมากจนการรักษาด้วยวิธีการอุดฟันได้ตามปกติ ส่วนการทำฟันปลอมแบบสะพานฟันก็เป็นการครอบฟันแบบหนึ่งที่มีฟันเป็นหลักยึดหัวท้ายฟันปลอมชนิดติดแน่นจะยึดกับตัวฟันโดยสารยึดติดที่เรียกว่าซีเมนต์

3.3 การครอบฟัน

การครอบฟันคือ การการใส่ฟันปลอมอีกแบบหนึ่งโดยจัดอยู่ในชนิดที่ชิดติดแน่น เป็นการการบูรณะซ่อมแซมฟันที่ได้รับความเสียหาย และนอกจากนี้ยังช่วยในการปกป้องและเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับฟันธรรมชาติ ให้สามารถทำหน้าที่และมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีดังเดิม

ครอบฟันมักทำในกรณีดังต่อไปนี้

1. ฟันที่มีเนื้อฟันเหลืออยู่น้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุจาก ฟันผุลุกลามไปมาก หรือเนื่องจากอุบัติเหตุ

2. ฟันสึกกร่อนไปมาก เนื่องจากโดนกรดกัดกร่อน การบดเคี้ยวที่รุนแรง การแปรงฟันที่ ผิดวิธี หรือลักษณะนิสัยบางอย่าง เช่น นอนกัดฟัน หรือ การขอบกัดฟันเล่น

3. ความผิดปกติของเคลือบฟัน ซึ่งอาจเป็นมาตั้งแต่เกิด หรือ เกิดจากการได้รับสารอาหารหรือยาบางชนิด เช่น ได้รับฟลูออไรด์ มากเกินไป หรือรับยา เตตร้าซัยคลิน ในช่วงวัยเด็กซึ่งเป็นวัยที่กำลังสร้างผิวเคลือบฟันของฟันแท้

4. การแก้ไขรูปร่าง, ขนาด หรือ แนวการเรียงตัวของฟัน กรณีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฟันเพียงเล็กน้อย สามารถใช้วิธีทำครอบฟันได้ เช่น ต้องการให้ฟันมีขนาดใหญ่ขึ้น-เล็กลง หรือกรณีที่มีช่องห่างค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้ต้องพิจารณาดูความเหมาะสมด้วย เพราะการจัดฟันอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง

5. ฟันที่ได้รับการรักษารากฟัน โดยปกติหลังรักษารากฟันแล้ว เนื้อฟันจะเปราะ สีฟันจะคล้ำขึ้นในบริเวณฟันหน้า ถ้าฟันมีสีคล้ำมาก ๆ และเนื้อฟันเหลือน้อย การทำครอบฟันจะช่วยในเรื่องความสวยงาม และความแข็งแรง

3.4 ประโยชน์ของครอบฟัน

1. ช่วยปกป้องฟันที่อ่อนแอ เนื่องจากแตก หัก บิ่น มีการผุมาก หรือได้รับการรักษารากฟัน และช่วยให้มีความแข็งแรงดังเดิม
2. ช่วยป้องกันฟันที่ได้รับการครอบจากการเกิดฟันผุ
3. ช่วยปกปิดฟันซี่เดิมที่ไม่สวยงาม ด้วยครอบฟันที่มีรูปร่าง และสีที่สวยตามที่ต้องการ
4. ช่วยให้สามารถรักษาตำแหน่งฟัน และประสิทธิภาพการทำงานให้เหมือนดังเดิม
5. ช่วยบูรณะฟันที่มีรูผุใหญ่ หรือมีวัสดุอุดเดิมที่ใหญ่เกินไปได้
6. เป็นองค์ประกอบในการทำ สะพานฟัน
7. ช่วยบูรณะและการคงสภาพการสบฟันของผู้ป่วยตามธรรมชาติ
8. เป็นองค์ประกอบในการปลูกรากฟันเทียมไททาเนียม
9. ช่วยให้มีรอยยิ้มที่สวยงาม

3.5 วัสดุที่ใช้ในการทำครอบฟัน

3.5.1 ครอบฟันโลหะล้วน

3.5.2 ครอบฟันโลหะเคลือบด้วยเซรามิก เป็นการผสมผสานระหว่างเซรามิกและโลหะ โดยการใช้โลหะเป็นแกนด้านใน แล้วเคลือบด้านนอกด้วยเซรามิก

3.5.3 ครอบฟันเซรามิกล้วน ครอบฟันเซรามิกล้วนทำด้วยกลาสเซรามิก

รูปที่ 2.16 การครอบฟันโลหะล้วน
(http://www.japandentaltek.com สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

ในอดีต ครอบฟันจะทำจากโลหะจำพวกทองคำหรือสเตนเลส ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาตามมา คือเหงือกดำ แต่เมื่อเทคโนโลยีและวัสดุศาสตร์ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ประกอบกับที่คนเราเริ่มหันมาให้ความสำคัญกับบุคลิกภาพและรูปลักษณ์ภายนอกมากขึ้น ในกรณีนี้ คือ รอยยิ้ม ที่เป็นสาเหตุให้ครอบ

ฟันแบบโลหะล้วนเริ่มเสื่อมความนิยมลงไป ต่อมาภายหลัง พอร์ซเลนเสริมโลหะก็กลายมาเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายกว่าสองทศวรรษ โดยการใช้พอร์ซเลนวีเนียร์ หรือ การเคลือบผิวหน้าฟันด้วยวัสดุพอร์ซเลน นั้น ในขณะที่การทำพอร์ซเลนวีเนียร์จะเป็นการเคลือบแค่ผิวหน้าของฟัน (ด้านที่ติดกับริมฝีปากและกระพุ้งแก้ม) เท่านั้น

ปัจจุบันมามีการคิดค้นและใช้ ครอบฟันแบบกลาสเซรามิกขึ้นมาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่แพ้โลหะ และต้องการความสวยงามเพราะผิวของเซรามิกจะมีสีเหมือนกับสีของผิวฟัน โดยครอบฟันแบบเซรามิกล้วนจะครอบคลุมพื้นผิวด้านนอกทั้งหมดของฟันซี่นั้น

3.6 ผลการใช้งานครอบฟันที่ทำจากวัสดุต่างๆ

1. ที่ครอบฟันจากโลหะล้วน ครอบฟันโลหะจะทำด้วยโลหะผสมชนิดเดียวทั้งชิ้น จึงมีความแข็งแรงไม่มีการแตกหัก แต่มีข้อเสียในเรื่องความสวยงาม เช่นเกิดลักษณะขอบเหงือกดำของฟันที่ได้รับการครอบ

2. ครอบฟันโลหะเคลือบด้วยเซรามิกหรือพอร์ซเลนวีเนียร์เป็นการครอบฟันโลหะเคลือบด้วยเซรามิกครอบฟันโลหะเคลือบด้วยซรามิก เป็นการผสมผสานระหว่างเซรามิกและโลหะ โดยการใช้โลหะเป็นแกนด้านใน แล้วเคลือบด้านนอกด้วยเซรามิก จะให้ความแข็งแรงเหมือนโลหะ และได้ความสวยงามจากเซรามิก แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการแตกกะเทาะของเซรามิกได้ ในผู้ป่วยที่มีเหงือกบางโดยเฉพาะฟันหน้าอาจทำให้เห็นขอบเหงือกดำจากเงาสะท้อนของแกนโลหะด้านในได้

3.ครอบฟันเซรามิกล้วน ครอบฟันเซรามิกล้วนทำด้วยกลาสเซรามิก ไม่มีส่วนของโลหะ สีคล้ายกับฟันธรรมชาติสามารถเข้ากับร่างกายได้ดี แต่ต้องกรอฟันในปริมาณที่มากขึ้น

รูปที่ 2.17 การครอบฟันเซรามิกล้วน

(http://thaicosmeticdental.com/dental_crown.php สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

3.7 เปรียบเทียบครอบฟันแบบพอร์ซเลนกับครอบฟันแบบกลาสเซรามิก

เมื่อเปรียบเทียบกับแบบพอร์ซเลนเสริมโลหะ ครอบฟันแบบกลาสเซรามิกล้วนจะมีความสวยงามมากว่า เพราะ เมื่อเวลาผ่านไป เนื้อพอร์ซเลนบางลง ครอบฟันแบบที่มีโลหะผสมอาจทำให้เหงือกปรากฏสีเข้มคล้ำขึ้นได้ หรืออาจจนถึงขนาดทำให้เกิดรอยคล้ำสีดำตรงรอยต่อระหว่างครอบฟันกับเหงือก แต่ครอบฟันแบบเซรามิกล้วนต้องกรอเนื้อฟันออกในปริมาณที่มากกว่า เพราะชิ้นส่วนพอร์ซเลนนั้นครอบคลุมพื้นที่ฟันที่น้อยกว่านั่นเอง โดยแสดงได้เป็นตารางเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติการครอบฟันจากวัสดุชนิดต่างๆ

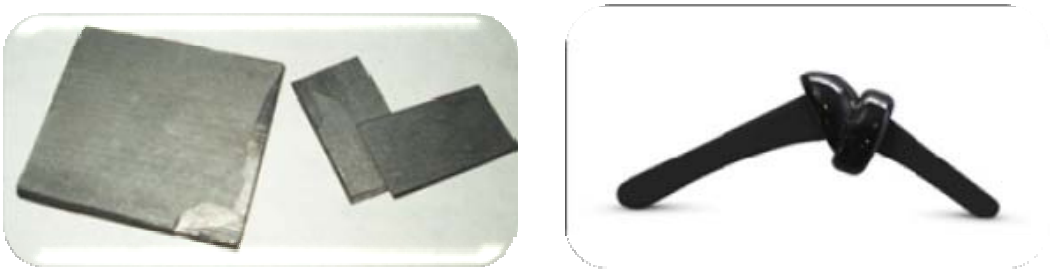
ชนิดครอบฟัน	ความสวยงาม	ปริมาณ การกรอฟัน	ความแข็งแรง	การใช้งาน (บดเคี้ยว)	สุขภาพเหงือก	หมายเหตุ
ครอบฟันโลหะ	น้อย	น้อย	ดีมาก	สมบูรณ์แบบ	เกิดปัญหาเหงือก คล้ำ	ถ้าใช้โลหะทองเหงือกจะมีสุขภาพดีแต่มีราคาแพงและนิยมทำในฟันกรามมากกว่าฟันหน้า
ครอบฟันพอร์ซเลนเสริมโลหะ	มาก	ปานกลาง	ให้ความแข็งแรงเหมือนโลหะ และได้ความสวยงามจากเซรามิก	สมบูรณ์แบบ	เกิดปัญหาเหงือกคล้ำในบางกรณี	เมื่อเวลาผ่านไปทำให้พอร์ซเลนที่เคลือบผิวโลหะอาจเกิดการแตกกะเทาะได้หลุดออกทำให้เห็นผิวโลหะ
ครอบกลาสเซรามิก	สมบูรณ์แบบ	ปานกลาง	ดีมาก	สมบูรณ์แบบ	สมบูรณ์แบบ	

3.8 สรุปผล

ครอบฟันที่ทำจากโลหะล้วนไม่ใช่ทางเลือกที่ดีนักสำหรับฟันที่สามารถเห็นได้ชัดเจนอย่างฟันหน้า เพราะสีแบบโลหะนั่นเอง อย่างไรก็ดี สำหรับฟันกรามหรือฟันซี่ใน ครอบฟันแบบโลหะล้วนก็ถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เพราะมีความแข็งแรงทนทานสูง ส่วนครอบฟันแบบพอร์ซเลนเสริมโลหะ พอร์ซเลนวีเนียร์จะเป็นการเคลือบแค่ผิวหน้าของฟัน (ด้านที่ติดกับริมฝีปากและกระพุ้งแก้ม) เท่านั้น จะมีความสวยงามกว่าแบบโลหะล้วน แต่มีความทนทานน้อยกว่า และอาจทำให้ขอบเหงือกคล้ำเนื่องจากการตกของสีโลหะได้เมื่อเวลาผ่านไป เปรียบเทียบกันกับครอบฟันสองประเภทที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ครอบฟันชนิดกลาสเซรามิก ซึ่งเป็นครอบฟันสมัยใหม่ที่ไม่ต้องใช้โลหะอีกต่อไป เพื่อขจัดปัญหาการมีขอบเหงือกดำจากออกไซด์ของโลหะใต้ครอบฟัน นอกจากนี้ ครอบฟันชนิดกลาสเซรามิกยังมีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติเป็นอย่างมาก ทั้งในเรื่องของสีตลอดจนรูปร่าง และความใสของครอบฟันนอกจากนี้เซรามิกยังเป็นวัสดุที่เข้ากันได้กับเหงือกเป็นอย่างดี จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาเหงือกดำ หรือเหงือกอักเสบภายหลังการใช้ไปเป็นระยะเวลานาน หรือมีการต่อต้านจากเนื้อเยื่อโดยรอบครอบฟันต่างกันครอบฟันชนิดผสมโลหะด้านในแบบดั้งเดิมในแง่ของความสวยงาม แลดูเป็นธรรมชาติ ซึ่งเหมาะสมกับการทำฟันหน้าที่สุด เหตุผลหลักๆ ก็เพราะครอบฟันแบบนี้ ไม่มีส่วนผสมของโลหะ เมื่อเวลาผ่านไป จึงไม่มีปัญหาเรื่องเหงือกคล้ำให้ต้องกังวล และสามารถนำมาใช้กับฟันกราม เนื่องจากวัสดุกลาสเซรามิกนั้นมีการพัฒนาให้มีความแข็งแรงไม่เปราะง่ายเหมือนเซรามิกชนิดอื่นๆ

4. ไพโรคาร์บอน (Pyrocarbon)

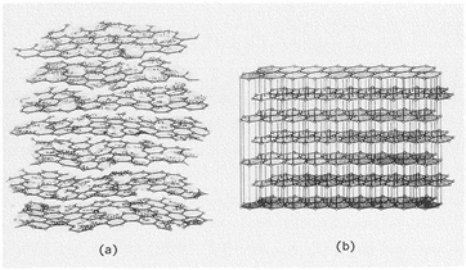
ไพโรคาร์บอน เป็นวัสดุชนิดเซรามิกที่มีโครงสร้างคล้ายกับแกรไฟต์ แต่โครงสร้างผลึกของไพโรคาร์บอนมีโครงสร้างแลตทิซที่ผิดรูปต่างจากโครงสร้างของแกรไฟต์ โครงสร้างดังกล่าวทำให้ไพโรคาร์บอนมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทางหรือที่เรียกว่า ไอโซทรอปิก (Isotropic) ซึ่งเป็นสมบัติที่จำเป็นต่อการเคลือบตัวอย่างที่มีรูปร่างซับซ้อน เดิมทีเดียวไพโรคาร์บอนถูกนำมาใช้เคลือบอนุภาคเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ต่อมาในยุค 60 (ค.ศ.1960-1969) มีการนำไพโรคาร์บอนมาใช้ทำวาล์วเปิด-ปิดลิ้นหัวใจเทียมแทนพลาสติกและโลหะที่เคยใช้เนื่องจากมันมีสมบัติเข้ากันได้ดีกับเลือดไม่ทำให้เลือดจับตัวเป็นลิ่ม ซึ่งต่างจากวาล์วลิ้นหัวใจที่ทำจากวัสดุสองชนิดหลังที่ทำให้เลือดจับตัวเป็นลิ่มและยังมีอายุการใช้งานที่สั้นอีกด้วย รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของไพโรคาร์บอน



รูปที่ 2.18 ไพโรคาร์บอน

(http://www.integralife.com/index.aspx?redir=detailproduct&Product=722&ProductName=Pyro Carbon%20MCP%20Total%20Joint&ProductLineName=Hand+%26+Wrist+&ProductLineID=73&PA=Upper%20Extremity สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

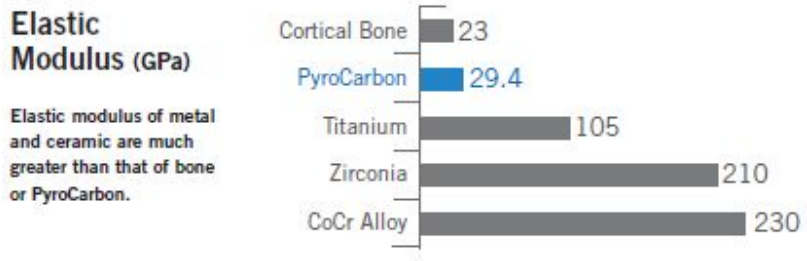
คาร์บอนไพโรไลติก (ไพโรคาร์บอน) เป็นยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับใช้ในการศัลยกรรมกระดูกเนื่องจากความเข้ากันได้ของวัสดุกับร่างกาย (Biocompatibility) ที่ดีเยี่ยม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำมากและความต้านทานสูงต่อการสวมใส่ นอกจากนี้ยังมีโมดูลัสความยืดยุ่นทางชีวภาพ (Bioelastic) ค่อนข้างคล้ายกับกระดูกทำให้เป็นวัสดุที่เหมาะสำหรับปลูกถ่ายกระดูก



รูปที่ 2.19 a. แสดงถึงโครงสร้างของผลึกที่ไม่มีระเบียบของไพโรคาร์บอน
b. แสดงถึงโครงสร้างของผลึกของแกรไฟต์ที่มีการยึดกันระหว่างแต่ละชั้น

(http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1573&Itemid=178 สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

ปัจจุบันไพโรคาร์บอนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการแพทย์ด้านออร์โธปิดิกส์ เนื่องจากมันมีสมบัติพิเศษหลายอย่างทั้งด้านความทนต่อการสึกหรอและความล้า ความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อร่างกายหรือที่เรียกว่าความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ (Biocompatibility) มีความแข็งแรงที่สูงมาก มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (Friction Coefficient) ที่ต่ำมาก โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับกระดูก ทั้งยังทำให้วัสดุปลูกฝังมีความเสถียรได้โดยไม่ต้องใช้ซีเมนต์กระดูกเป็นตัวช่วยประสาน นอกจากนี้ไพโรคาร์บอนยังมีค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับกระดูกส่วนผิวนอกที่เรียกว่า กระดูกแข็ง (Cortical Bone) ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการช่วยลดโอกาสการเกิดการบดบังความเค้น (Stress Shielding) รูปที่ 2.20 แสดงค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุปลูกฝังชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.20 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุปลูกฝังชนิดต่างๆ

(http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1573&Itemid=178 สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

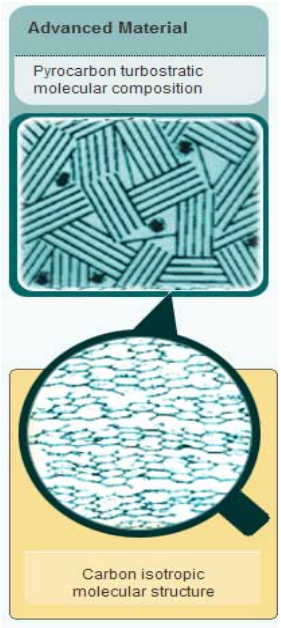
โดยทั่วไปวัสดุปลูกฝังจะมีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นต่างกับกระดูกมาก ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของกระดูกจะอยู่ที่ประมาณ 10 – 30 GPa ส่วนค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุปลูกฝังที่ใช้ทั่วไปอย่างไทเทเนียมจะอยู่ที่ 105 GPa เมื่อวัสดุปลูกฝังมีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นมากกว่า มันก็จะรับน้ำหนักหรือแรงเค้นแทนกระดูกรอบๆบริเวณใกล้กับวัสดุปลูกฝังเทียม ทำให้เนื้อกระดูกไม่เจริญเติบโตและอาจเกิดการสลายตัวจนส่งผลให้วัสดุที่ปลูกฝังหลวมคลอนและใช้การไม่ได้จนในที่สุดผู้ป่วยก็จำเป็นต้องผ่าตัดเพื่อแก้ไข ลักษณะที่เกิดขึ้นเช่นนี้เรียกว่า การบดบังความเค้น (Stress Shielding) อย่างไรก็ตาม ผู้ป่วยที่ปลูกฝังวัสดุประเภทนี้ แพทย์มักจะแนะนำให้ทำกายภาพบำบัดเพื่อบริหารกระดูก

4.1 ประวัติของไพโรคาร์บอน

ไพโรคาร์บอนถูกนำเข้าสู่โลกการแพทย์โดย Dr. Bokros เขาค้นพบศักยภาพสำหรับใช้ในทางการแพทย์ผ่านสิ่งที่ถูกเรียกว่า " บทเรียนใน Serendipity. " ในปี 1966 Bokros ได้อ่านบทความโดย Dr. Vincent Gott ผู้ที่ได้รับการทดสอบสีคาร์บอนที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวที่รองรับเลือดสำหรับ Bokros ได้เชิญ Gott มาทำการวิจัยร่วมกัน

ในทศวรรษที่ 1960 ลิ้นหัวใจเทียมที่สร้างขึ้นจากพลาสติกและโลหะ เกิดความล้มเหลวในระยะสั้นเนื่องจากส่งผลให้เกิดการแข็งตัวของเลือด Gott ได้ค้นหาวัสดุที่จะกระตุ้นเลือดไม่ให้อุดตันและมีความทนทาน ทำให้เขาได้พบ ไพโรคาร์บอน จาก GA แต่วัสดุที่ใช้ในการเริ่มต้นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์มีความเข้ากันได้ดีของเลือดจริง แต่ไม่ทนทาน GA ริเริ่มโครงการพัฒนานำโดย Bokros เพื่อเพิ่มความทนทานของวัสดุ จนกระทั่งความพยายามนี้ประสบความสำเร็จ

หลังจาก 30 ปีไพโรคาร์บอนยังคงเป็นวัสดุที่สำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับลิ้นหัวใจเทียม ซึ่งเป็นที่นิยมและถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะคุณภาพของการออกแบบวาล์วสำหรับกั้นห้องหัวใจที่แตกต่างกัน ในช่วงปี 1980 และ 1990 Pyrocarbon Isotropic หรือที่รู้จักกันสำหรับ Biocompatibility นำไปสู่การพัฒนาของการปลูกถ่ายกระดูก



รูปที่ 2.21 โครงสร้างไพโรคาร์บอน

(http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1573&Itemid=178 สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

4.2 การผลิตไพโรคาร์บอน

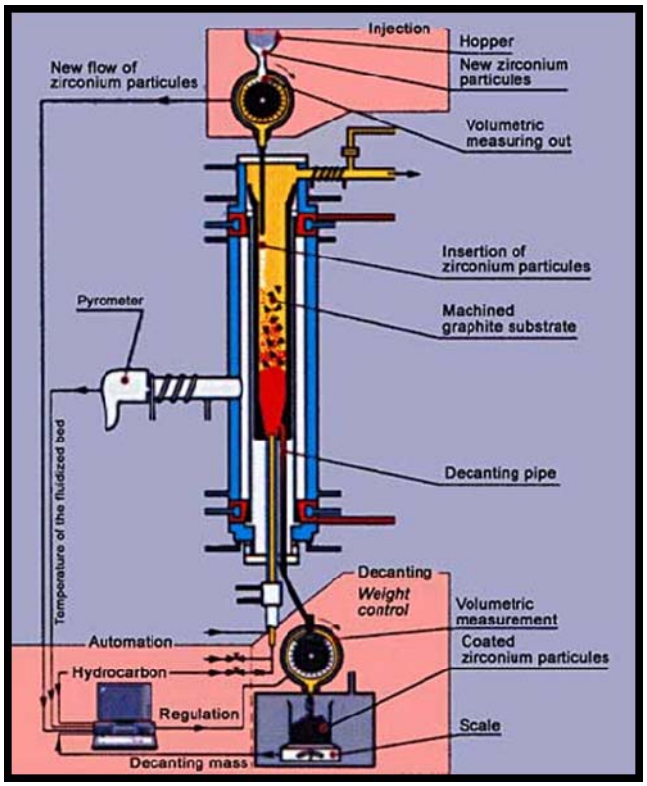
ไพโรคาร์บอนจะฝังไปยังพื้นผิวที่เหมาะสมโดยการสลายตัวทางความร้อนของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงโดยใช้กระบวนการที่เรียกว่าการตกตะกอนสะสมไอสารเคมี ซีวีดี (CVD) เป็นกระบวนการที่หลากหลายมากใช้ในการผลิตสารเคลือบผงเส้นใยและชิ้นส่วนเสาหิน ด้วยซีวีดีก็เป็นไปได้ในการผลิตเกือบทุกองค์ประกอบโลหะหรือที่ไม่ใช่โลหะ ได้แก่ คาร์บอนและซิลิกอนเป็นสารเช่นคาร์ไบด์, ไนไตรด์, โบไรด์, ออกไซด์, และอื่น ๆ มากมาย ประโยชน์ที่สำคัญของกระบวนการ CVD ตั้งอยู่ในความจริงที่ว่าสารตั้งต้นที่ใช้เป็นแก๊สจึงใช้ประโยชน์จากคุณลักษณะต่างๆของก๊าซ ผลก็คือกระบวนการซีวีดีไม่ได้เป็นกระบวนการที่มองเห็นจากสายตาเป็นส่วนใหญ่ เช่น กระบวนการชุบ / เคลือบอื่น ๆ นอกจากความสามารถในการแทรกซึมพื้นผิวที่มีรูพรุน, CVD มีข้อดีกว่ากระบวนการสะสมอื่น ๆ รวมถึง

- มีความบริสุทธิ์สูง ปกติ 99.99-99.999%
- ความหนาแน่นสูง เกือบ 100% จากทฤษฎี
- การก่อตัวของวัสดุต่ำกว่าจุดหลอมละลาย
- การเคลือบฝากโดย CVD ทำให้ได้รูปร่างสุทธิและแนบสนิท
- ความประหยัดในการผลิตเนื่องจากหลายส่วนสามารถเคลือบได้ในเวลาเดียวกัน

รูปที่ 2.22 และ 2.23 แสดง Chamber CVD และแผนภาพของ CVD ตามลำดับ

รูปที่ 2.22 Chamber CVD

(http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task =view&id=1573&Itemid=178 สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)



รูปที่ 2.23 แผนภาพ CVD

(http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1573&Itemid=178 สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

กราไฟท์มีคุณสมบัติที่เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการเคลือบไพโรคาร์บอน เด่นที่สุดคือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่หลีกเลี่ยงการลดลงของพื้นผิวเคลือบมัน เพื่อที่จะปรากฏให้มองเห็นบน รังสีเอกซ์ , กราไฟท์จะแช่ในทังสเตน การซึมผ่านนี้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของสารตั้งต้นเพื่อให้การปลูกถ่ายกระดูกที่สมบรูณ์ กระบวนการทำให้ไพโรคาร์บอนเคลือบพื้นผิว กราไฟท์จะนำเข้าไปในห้องที่มีอุณหภูมิระหว่าง 1,200 และ 1,500 องศาเซลเซียส ก๊าซไฮโดรคาร์บอน โพรเพนมักจะถูกนำเข้าไปในห้อง

4.3 ลักษณะของไพโรคาร์บอน

1) พื้นผิวเป็นของแข็ง- ไม่ใช่เส้นใยคาร์บอน
2) มีความเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมี
3) มีความทนทานต่อการเกิดสนิทสูง
4) มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานต่ำมาก
5) ไพโรคาร์บอนมีความยืดหยุ่นที่คล้ายกับกระดูกเยื่อหุ้มสมองซึ่งจะช่วยลดความเครียดและช่วยเพิ่มความเครียด
6) การป้องกันการตรึงผิวทางชีวภาพ

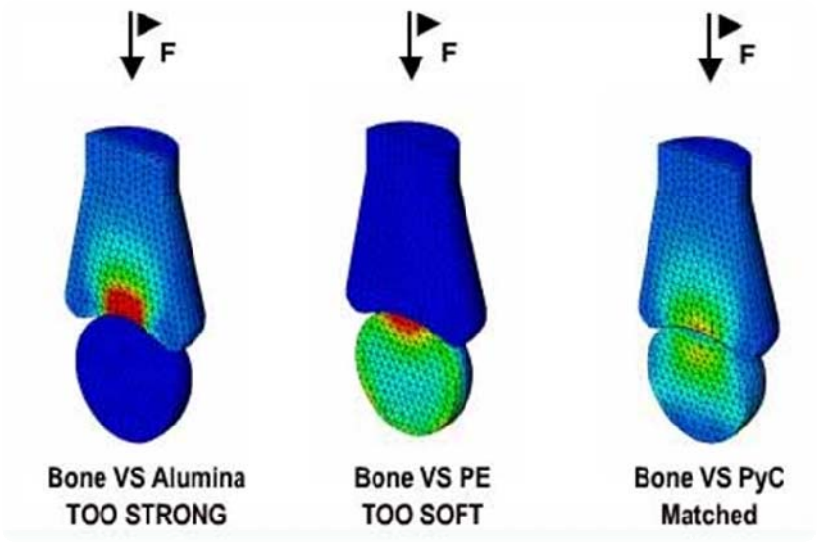
กระบวนการผลิตไพโรคาร์บอนสามารถสรุปได้ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสงกะบวนการผลิตไพโรคาร์บอน (http://www.mtec.or.th สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

กระบวนการผลิตไพโรคาร์บอน		
1	วัตถุดิบ – แท่งกราไฟท์สารตั้งต้น	
2	การใช้เครื่องจักรของพื้นผิวกราไฟท์	
3	Pyrocarbon ฝากบนพื้นผิวกราไฟท์ (เทคนิค CVD)	
4	การตรวจสอบ	
5	ศัลยกรรมกระดูกและข้อเทียม	

ตารางที่ 2.5 ความยืดหยุ่นทางชีวะ (Bioelasticity)

Biocompatibility and Bioelasticity Facts							
	Silicone	Polyethylene	Bone	Pyrocabon	Titanium (TA6V)	Cobalt Chrome (CrCo)	Ceremic (Alumina)
Elastic modulus (GPa)	0.0004	1	15-20	20-25	110	200-240	407
Density (g.cm-3)	1.1	0.0-1.1	2.0	1.7-2.0	4.5	8.3-9.2	3.5



รูปที่ 2.24 Ideal Bioelasticty

(http://www.pyrocarbon.com/index.php สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

4.4 ไพโรคาร์บอนในการดูแลสุขภาพ

คาร์บอนมีโครงสร้างอยู่ในรูปโครงร่างผลึกทำให้มีคุณสมบัติเรื่องความทนทานดีเยี่ยม ด้วยเหตุนี้คาร์บอนเป็นวัสดุที่ต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนเลือดและถูกนำมาประยุกต์อย่างหลากหลาย เช่น ลิ้นหัวใจเทียมและขั้วไฟฟ้าเครื่องกระตุ้นหัวใจ

นอกจากนี้การปลูกถ่ายไพโรคาร์บอนบริสุทธิ์ มีข้อดีมากกว่าการปลูกถ่ายพลาสติกและโลหะ ไพโรคาร์บอนมีความยืดหยุ่น ที่คล้ายกับกระดูกเยื่อหุ้มสมองซึ่งจะช่วยลดความเครียดและช่วยเพิ่มการป้องกันการตรึงผิวทางชีวภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าไพโรคาร์บอนมีข้อดีที่ความเข้ากันได้ทางชีวภาพในระยะยาว

4.5 ข้อมูลศัลยแพทย์

ถึงแม้ว่าการปลูกถ่าย ไพโรคาร์บอน มีข้อดีหลายอย่างเหนือพอลิเอทิลีน และการปลูกถ่ายโลหะ ไพโรคาร์บอน เป็นวัสดุที่ละเอียดอ่อนและต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการใช้งาน:

1) ในการปลูกถ่ายไม่ควรทำให้ผิวของไพโรคาร์บอนเกิดรอยขีดข่วน
2) ไม่ควรใช้เครื่องมือที่เป็นโลหะในการปลูกถ่ายไพโรคาร์บอน
3) ในการปลูกถ่ายไม่ควรเลื่อยหรือตะไบผิวของไพโรคาร์บอน

4.6 ข้อมูลสำหรับผู้ป่วย

ปัจจัยต่อไปนี้เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกผู้ป่วย

1) สภาพของเนื้อเยื่ออ่อนที่เกี่ยวข้องและเอ็น
2) ระดับกิจกรรมของผู้ป่วย
3) อายุของผู้ป่วย
4) ไม่สามารถทำการปลูกผังไพโรคาร์บอนสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคไขข้ออักเสบชนิดรุนแรงได้
5) สำหรับผู้ป่วยเด็ก เนื่องจากไพโรคาร์บอนผลิตจากวัสดุที่มีความทนทานสูงคาดว่าจะช่วยลดอัตราการแตกหักได้

รูปที่ 2.25 วัสดุที่ผลิตจากไพโรคาร์บอน

(http://www.kipt.kharkov.ua/en/isspmst.html สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

4.6 การใช้งานทางชีวการแพทย์

ปัญหาส่วนใหญ่คือการเกิดการแข็งตัวของเลือดซึ่งส่งผลอันตรายต่อร่างกาย ด้วยวัสดุนี้มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงของการเกิดลิ่มเลือด ช่วยให้เลือดเคลื่อนที่ได้ โดยเส้นเลือด Stents ที่เรียงตัวกันอยู่ โดยที่มี พอลิเมอร์ที่มีเฮปารินเป็นกลุ่มๆ ป้องกันไม่ให้เลือดเกิดการจับตัวเป็นลิ่ม

คาร์บอนไพโรไลติกยังใช้งานในทางการแพทย์อีกมากมาย เช่น การปลูกถ่ายกระดูก และ การเปลี่ยนข้อ เป็นต้น ผลงานการค้นคว้าคาร์บอนไพโรไลติกจะถูกวางสู่ตลาดทางการแพทย์ในปัจจุบันนี้ภายใต้ชื่อ "Pyrocarbon" โดยได้รับการอนุมัติจากสหรัฐ อาหารและยา สำหรับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับมือสำหรับ Metacarpophalangeal ทดแทน (สนับมือ) ทางกลุ่มการค้นคว้ามีการผลิตโดยทั้งสอง บริษัท Tornier (BioProfile) ได้คิดค้นคว้าการศัลยกรรมกระดูกได้สำเร็จ

4.7 การใช้วัสดุสังเคราะห์ไพโรคาร์บอนเพื่อใช้ในศัลยกรรมกระดูกข้อมือ

บริษัท Bioprofile เป็นบริษัทที่เชี่ยวชาญในการออกแบบผลิตข้อเทียมและวัสดุที่ใช้ฝังในกระดูกสำหรับผ่าตัดรักษาโรคข้อเสื่อม โดยใช้วัสดุไพโรคาร์บอนสำหรับผลิตเครื่องมือแพทย์เพื่อใช้ในงานศัลยกรรมกระดูกและข้อ นอกจากนี้ยังใช้วัสดุที่ได้จากการวิจัยทางด้านนิวเคลียร์ซึ่งได้รับการพัฒนาจากคณะกรรมาธิการพลังงานปรมาณู หรือ CEA (French Atomic Energy Commission) อีกด้วย

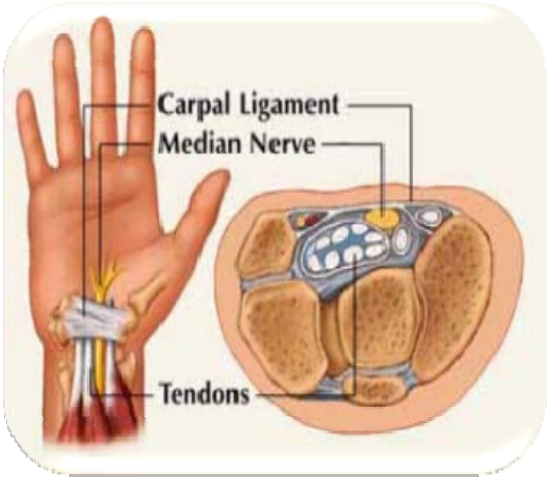
สารไพโรคาร์บอน เหล่านี้จะถูกแปรรูปไปเป็นเซรามิก ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับกระดูก โดยมีสัมประสิทธิ์การเสียดสีที่ต่ำ เนื่องมาจากวัสดุนี้มีความยืดหยุ่นและความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับกระดูก (Elasticity 20-25 Gpa, Density 1.7-2.0) และมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำ ทำให้ไพโรคาร์บอนเป็นวัสดุที่เหมาะมากสำหรับใช้ในบริเวณที่ต้องการการเสียดสีน้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาทดแทนกระดูก scaphoid, กระดูกนิ้วมือ หรือกระดูกบริเวณข้อต่างๆ ในร่างกาย สารไพโรคาร์บอนนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการใช้สารซิลิโคน (Elasticity 0.004 Gpa, Density 1.1) หรือไททาเนียมอัลลอยด์ (Elasticity 110 Gpa Density 4.5)

4.7.1 กระดูกข้อมือ

กระดูกข้อมือ (Carpal bones หรือ Carpus) เป็นกลุ่มของกระดูกชิ้นเล็กๆที่เรียงตัวอยู่ระหว่างกระดูกของส่วนปลายแขนและกระดูกฝ่ามือ (Metacarpal Bones) และเป็นกระดูกที่ประกอบกันเป็นส่วนประกอบหลักของข้อมือ (Wrist)

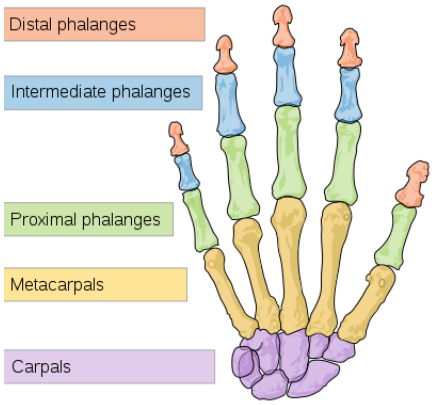
กระดูกส่วนใหญ่ของกลุ่มกระดูกข้อมือจะมีรูปร่างคล้ายลูกเต๋า โดยที่พื้นผิวทางด้านหลังมือ (Dorsal Surface) และฝ่ามือ (Palmar Surface) จะมีลักษณะขรุขระเนื่องจากมีเอ็นและปลอกหุ้มเอ็น (Tendon Sheath) พาดผ่าน ขณะที่พื้นผิวด้านอื่นๆจะค่อนข้างเรียบเพื่อต่อกับกระดูกชิ้นอื่นๆได้อย่างสนิท

สำหรับในมนุษย์ จะมีกระดูกข้อมือจำนวน 8 ชิ้น ซึ่งจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกระดูกข้อมือที่ติดต่อกับกระดูกเรเดียส จะเรียกว่า กระดูกข้อมือแถวแรก (Proximal Row) ซึ่งมีจำนวน 4 ชิ้น ส่วนอีกกลุ่มจะติดต่อกับกระดูกฝ่ามือ จะเรียกว่ากระดูกข้อมือแถวหลัง (Distal Row) ซึ่งมีจำนวน 4 ชิ้นเช่นกัน แสดงรูปที่ 2.26-2.28



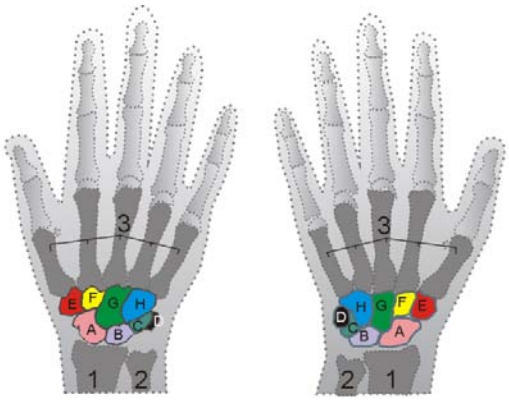
รูปที่ 2.26 กระดูกข้อมือของมนุษย์

(http://www.thaiclinic.com/medbible/carpal_tunnel_syn.html สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)



รูปที่ 2.27 กระดูกมือของมนุษย์

(http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%9D%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)



รูปที่ 2.28 แถวต้น : A=สแคฟฟอยด์ , B=ลูเนท , C=ไตรกีตรัล , D=พิสิฟอร์ม
แถวปลาย : E=ทราพีเซียม , F=ทราพีซอยด์ , G=แคปปิเตต , H=ฮาเมต

(http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/modules/mylinks/viewcat.php?cid=6&min=260&orderby=titleA&show=10 สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

4.7.2 กระดูกข้อมือหัก

ตำแหน่งกระดูกหักที่ข้อมือพบบ่อย คือ บริเวณ Carpal Navicular Bone(รูปที่ 2.29) มักพบในคนหนุ่มสาวที่กล้ามเนื้อแขนแข็งแรง มีสาเหตุมาจากการหกล้มแล้วเอามือยันพื้น ซึ่งจะทำให้เกิดอาหากบวม ปวด และกดเจ็บบริเวณข้อมือ แต่สำหรับผู้ที่ข้อมือถูกใช้งานบ่อยๆหรือผู้ที่อยู่ในวัยชราอาจมีข้อที่เสื่อมลงเนื่องจากเวลาผ่านไปในแต่ละวันการใช้งานข้อมือที่ไม่เคยได้รับการดูแลอาจมีอาการเจ็บปวด หรือเคล็ดเป็นธรรมดา หรือผู้ที่เกิดอุบัติเหตุถึงขั้นต้องผ่าตัดข้อมือก็ตาม ในการผ่าตัดเราต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้ของวัสดุและร่างกายของเราเพื่อไม่ให้เกิดอันตราย นอกจากนี้ต้องสะอาด ปลอดเชื้อ ไม่เกิดปฏิกิริยาต่อต้านของร่างกาย และหากแพทย์มีฝีมือก็จะไม่ทำให้เกิดแผลเป็นในการผ่าตัด

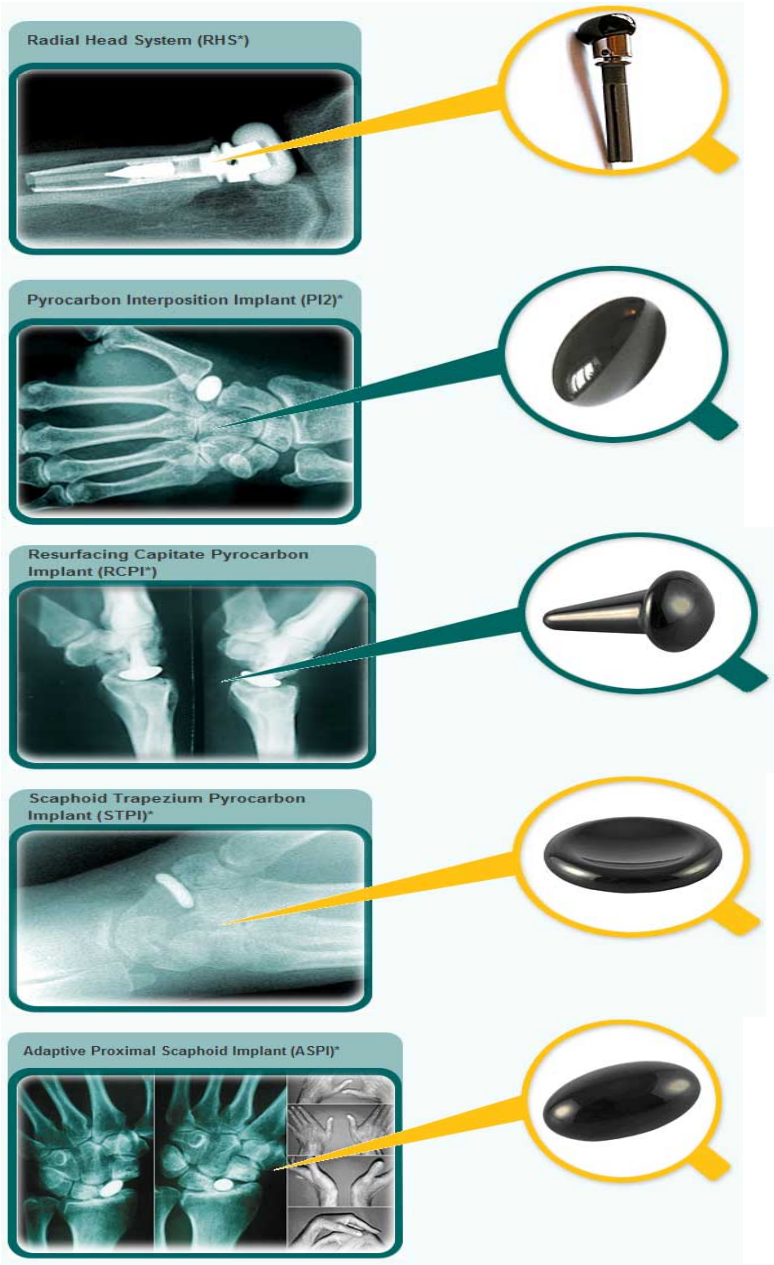
รูปที่ 2.29 กระดูกข้อมือหัก
(pload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Colles_fracture.JPG สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

4.7.3 การติดเชื้อในการผ่าตัด

หากวัสดุที่เรานำมาใส่ให้ผู้ป่วยทำปฏิกิริยาต่อต้านกับตัวผู้ป่วย เช่น มีน้ำเหลืองซึมออกมาในบริเวณตำแหน่งที่ใส่วัสดุเข้าไป มีการอักเสบของผิวหนังชั้นนอก มีการอักเสบของผิวหนังส่วนลึกและมีกระดูกอักเสบติดเชื้อเป็นหนอง เป็นต้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดการติดเชื้อดังกล่าวอาจเกิดมาจาก

ตำแหน่งที่ใส่ ความชำนาญของแพทย์ ขนาดของวัสดุที่ใส่ หากมีขนาดเล็กกว่ามักไม่ค่อยเกิดปัญหาการติดเชื้อ

ตัวอย่างปลูกถ่ายกระดูกไพโรคาร์บอน แสดงได้ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ปลูกถ่ายกระดูก Pyrocarbon

(http://www.pyrocarbon.com/pyrocarbon-orthopedic-implants.php สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกที่ใช้วัสดุทางการแพทย์ เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อวิชาวัสดุชีวการแพทย์ ส่งเสริมการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเอง นักศึกษามีอิสระในการเรียน สามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา (Anywhere Anytime) การบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียน

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร/กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรีที่ลงทะเบียนเรียน รายวิชา BMI 341วัสดุชีวการแพทย์ จำนวน 40 คน

1.2 ออกแบบสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และประเมินผล

1. วิเคราะห์เนื้อหาออกแบบและสร้างสื่ออิเล็กทรอนิกส์
2. ออกแบบและสร้างแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพ
3. ออกแบบและสร้างแบบทดสอบความพึงพอใจสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์
4. ออกแบบและสร้างแบบทดสอบความพึงพอใจสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์

2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ตัวแปรอิสระ คือ บทเรียน e-Learning ผ่านระบบออนไลน์

2.2 ตัวแปรตาม คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ และความพึงพอใจ

3. เนื้อหาในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

- พื้นฐานทางเซรามิก จำนวน 4 ชั่วโมง
- การประยุกต์เซารามิกที่ใช้ทางการแพทย์ จำนวน 2 ชั่วโมง

Software ที่ใช้ในการพัฒนา

Courseware Authoring Tools

- CourseLab
- Komposer

Advanced Courseware Authoring Tools

- Flash

Script Language

- Java Script

Media Editor Tools

- Adobe Photoshop or GIMP
- Audacity or Power Sound Editor Free
- Inkscape

Other

- MS office

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีดังนี้

4.1 แบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ ที่ใช้ในการทดสอบระหว่างเรียน และหลังเรียน

4.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจในการเรียนของนักศึกษาที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และสถานที่ที่ทำการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ บทเรียนสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

สถานที่ที่ทำการทดลอง คือ ห้องเรียน 4-618 อาคารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยารังสิต

5. วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์

1.1 วิเคราะห์ผู้เรียน ซึ่งจากประสบการณ์สอนวิชานี้ที่ผ่านมา พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่สามารถนำทฤษฎีที่เรียนไปประยุกต์ใช้กับโจทย์แบบฝึกหัดได้ กล่าวคือ ถ้าโจทย์แบบฝึกหัดที่แตกต่างไปจากตัวอย่างที่สอน นักศึกษาจะทำไม่ได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยคิดว่าเป็นเพราะนักศึกษาเรียนด้วยความจำ ต้องเห็นตัวอย่าง และทำตามตัวอย่าง

จึงจะทำได้ ดังนั้นสื่อการสอนในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงออกแบบเนื้อหาให้เป็นกรณีศึกษา โดยสร้างเนื้อเรื่องเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ เพิ่มตัวอย่าง และภาพภาพประกอบ เพื่อทำให้นักศึกษามีความเข้าในเนื้อหามากยิ่งขึ้น

1.2 ศึกษาขอบเขตเนื้อหา e-Learning รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

2. ขั้นตอนการออกแบบ นำข้อมูลในการวิเคราะห์ มาทำการออกแบบบทเรียนสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์

2.1 ทำการเขียนเค้าโครงเรื่อง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา เรื่องจากหลักการสร้างภาพสำหรับเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ แล้วทำการสอดแทรกตัวอย่าง และภาพภาพประกอบ เพื่อทำให้นักศึกษามีความเข้าในเนื้อหามากยิ่งขึ้น

2.2 ทำการเขียน Storyboard ในขั้นนี้ผู้วิจัยดำเนินการเขียน Storyboard ของแต่ละหัวข้อ รวม 7 หัวข้อ และตรวจสอบความถูกต้อง

3. ขั้นตอนการพัฒนา

3.1 ทำการพัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ ตามการเขียน Storyboard ที่ได้วางแผนไว้

3.2 นำบทเรียนสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ของมหาวิทยาลัยรังสิต ในระบบการเรียนการสอนออนไลน์ e-Learning รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยเรื่องประสิทธิผลการพัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ หาประสิทธิภาพของสื่อวิชาวัสดุชีวการแพทย์ และส่งเสริมการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเองสำหรับนักศึกษา เพื่อให้มีอิสระในการเรียน สามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา การบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการหาค่าเฉลี่ย โดยมีผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการศึกษาความพึงพอใจในประสิทธิภาพของบทเรียน

จากการนำบทเรียน e-Learning รายวิชา BMI 341 วัสดุชีวการแพทย์ โดยนำไปทดลองใช้กลับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ จำนวน 27 คน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต และหลังเรียนจบแล้วมีการทำแบบทดสอบแบบสอบถามความพึงพอใจ เพื่อใช้คะแนนที่ได้ไปเป็นข้อมูล ในการหาพัฒนาการพัฒนาประสิทธิภาพของสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบสมมติฐาน

จากสมมติฐานการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า พัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ อิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ โดยผู้วิจัยสามารถดำเนินงานตามการตั้งสมมติฐานได้เป็นอย่างดี

2. ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์

จากการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีสื่อการสอนใน 7 ด้าน คือ

1) ด้านอักษร

2) ด้านภาพ

3) ด้านสีสัน

4) ด้านสัญรูป (ICON) และปุ่ม (button)

5) ด้านเบราว์เซอร์ (BRowser)

6) ด้านการเชื่อมโยง

7) ด้านการนำเสนอเนื้อหา ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความพึงพอใจของเรียนที่มีเรียนที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์จำนวนร้อยละ

รายการประเมิน	5	4	3	2	1
	มากที่สุด จำนวนร้อยละ	มาก จำนวนร้อยละ	ปานกลาง จำนวนร้อยละ	น้อย	น้อยที่สุด
1. ด้านตัวอักษร					
ชนิดของตัวอักษรชัดเจน อ่านง่าย	10 37.04	15 55.56	2 7.41	0	0
ชนิดของตัวอักษรเหมาะสมกับเนื้อหา	12 44.44	13 48.15	2 7.41	0	0
สีของตัวอักษรเหมาะสมกับสีพื้นหลัง	11 40.74	15 55.56	1 3.70	0	0
2. ด้านภาพ					
ภาพเหมาะสมกับเนื้อหา	13 48.15	14 51.85	0	0	0
ขนาดของภาพมีความเหมาะสม	13 48.15	13 48.15	1 3.70	0	0
ภาพทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น	10 37.4	14 51.85	1 3.70	1 3.70	0
ภาพที่ใช้ให้รู้สึกเหมือนได้อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นจริง	9 33.33	15 55.56	1 3.70	2 7.41	0
3. ด้านสี					
ความสวยงาน สบายตา	14 51.85	9 33.33	4 14.81	0	0
ความแตกต่างของสีพื้นหน้าและหลัง	14 51.85	11 40.74	1 3.70	1 3.70	0

ตารางที่ 4.1 ความพึงพอใจของเรียนที่มีเรียนที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์จำนวนร้อยละค่าเฉลี่ย (ต่อ)

รายการประเมิน	5 มากที่สุด จำนวนร้อยละ	4 มาก จำนวนร้อยละ	3 ปานกลาง จำนวนร้อยละ	2 น้อย	1 น้อยที่สุด
6. ด้านการเชื่อมโยง					
ความถูกต้องของการเชื่อมโยง	11 40.74	14 51.85	2 7.41	0	0
การเชื่อมดยงไปสู่เนื้อหาที่สัมพันธ์กัน	10 37.04	14 51.85	3 11.11	0	0
รูปแบบของการเชื่อมโยง	10 37.04	12 44.44	5 18.52	0	0
ความเหมาะสมของจำนวนการเชื่อมโยง	11 40.74	13 48.15	3 11.11	0	0
สามารถกลับมายังหน้าแรกของบทเรียนได้ตลอดเวลา	11 40.74	12 44.44	4 14.81	0	0
7. ด้านการนำเสนอเนื้อหา					
ความถูกต้องและความชัดเจน	13 48.15	13 48.15	1 3.70	0	0
ครอบคลุมประเด็นสำคัญ	12 44.44	14 51.85	1 3.70	0	0
การใช้ภาษาอ่านเข้าใจง่าย	12 44.44	13 48.15	2 7.41	0	0
ปริมาณข้อความที่นำเสนอต่อหน้าจอ	11 40.74	13 48.15	3 11.11	0	0
ความเหมาะสมของตำแหน่งในการนำเสนอเนื้อหา	10 37/04	14 51.85	3 11.11	0	0

ตารางที่ 4.2 แสดงระดับความพึงพอใจของผู้เรียนในด้านต่างๆเป็นค่าเฉลี่ย

รายการประเมิน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ด้านตัวอักษร			
ชนิดของตัวอักษรชัดเจน อ่านง่าย	27	4.296	0.50
ชนิดของตัวอักษรเหมาะสมกับเนื้อหา	27	4.370	0.48
สีของตัวอักษรเหมาะสมกับสีพื้นหลัง	27	4.370	0.53
		4.345	
2. ด้านภาพ			
ภาพเหมาะสมกับเนื้อหา	27	4.481	0.55
ขนาดของภาพมีความเหมาะสม	27	4.444	0.51
ภาพทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น	27	4.037	0.47
ภาพที่ใช้ให้รู้สึกเหมือนได้อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นจริง	27	4.000	0.48
		4.240	
3. ด้านสี			
ความสวยงาน สบายตา	27	4.370	0.45
ความแตกต่างของสีพื้นหน้าและหลัง	27	4.333	0.49
		4.351	

ตารางที่ 4.2 แสดงระดับความพึงพอใจของผู้เรียนในด้านต่างๆเป็นค่าเฉลี่ย (ต่อ)

รายการประเมิน	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4. ด้านสัญรูป และปุ่ม			
การสื่อความหมายมีความชัดเจน	27	4.000	0.39
มีขนาดเหมาะสมกับบทเรียน	27	4.000	0.39
ตำแหน่งการจัดวางมีความเหมาะสม	27	3.926	0.46
		3.975	
5. ด้านเบราว์เซอร์			
การแสดงผลภาษาไทย-อังกฤษไม่ผิด	27	4.074	0.41
การเชื่อมโยง และโปรแกรมต่างๆ	27	4.037	0.43
		4.055	
6. ด้านการเชื่อมโยง			
ความถูกต้องของการเชื่อมโยง	27	4.333	0.49
การเชื่อมดยงไปสู่เนื้อหาที่สัมพันธ์กัน	27	4.259	0.47
รูปแบบของการเชื่อมโยง	27	4.185	0.41
ความเหมาะสมของจำนวนการเชื่อมโยง	27	4.296	0.46
สามารถกลับมายังหน้าแรกของบทเรียนได้ตลอดเวลา	27	4.259	0.43
		4.266	
7. ด้านการนำเสนอเนื้อหา			
ความถูกต้องและความชัดเจน	27	4.444	0.51
ครอบคลุมประเด็นสำคัญ	27	4.407	0.52
การใช้ภาษาอ่านเข้าใจง่าย	27	4.370	0.48
ปริมาณข้อความที่นำเสนอต่อหน้าจอ	27	4.296	0.46
ความเหมาะสมของตำแหน่งในการนำเสนอเนื้อหา	27	4.259	0.47
		4.355	

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ข้างต้น เป็นผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ พบว่าผลการประเมินในทุกวันข้ออยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 4.00 ขึ้นไป และโดยภาพรวมทุกหัวข้อ อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ซึ่งใน แต่ละหัวข้อสามารถแปลผลได้ ตารางที่ 4. 3

ตารางที่ 4.3 แสดงการแปลผลระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการสสอนอิเล็กทรอนิกส์

หัวข้อ	ค่าเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านตัวอักษร	**4.345**	พึงพอใจมากที่สุด
2. ด้านภาพ	**4.240**	พึงพอใจมากที่สุด
3. ด้านสี	**4.351**	พึงพอใจมากที่สุด
4. ด้านสัญรูป และปุ่ม	**3.975**	พึงพอใจมาก
5. ด้านเบราว์เซอร์	**4.055**	พึงพอใจมากที่สุด
6. ด้านการเชื่อมโยง	**4.266**	พึงพอใจมากที่สุด
7. ด้านการนำเสนอเนื้อหา	**4.355**	พึงพอใจมากที่สุด
โดยภาพรวม	**4.226**	พึงพอใจมากที่สุด

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

1. บทสรุป

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 341 เรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ หาประสิทธิภาพของสื่อวิชาวัสดุชีวการแพทย์ และส่งเสริมการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเอง นักศึกษามีอิสระในการเรียน สามารถเรียนได้ทุกที่ทุกเวลา การบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียน จากวัถตุประสงค์ของงานวิจัยสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี สามารถสร้างสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์วิชาวัสดุชีวการแพทย์ในหัวข้อเซรามิกที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ได้ โดยที่นักศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นการพัฒนาและเรียนรู้ด้วยตนเองสำหรับนักศึกษาเพื่อให้มีอิสระในการเรียน โดยสามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา สามารถบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้แต่ละเนื้อหาตามศักยภาพและความพร้อมของผู้เรียนได้

2. ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อทำการเปรียบเทียบความรู้ของนักศึกษาระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียนว่ามีการพัฒนาหรือไม่
2. ควรมีแบบทดสอบแบบอัตนัยและแบบปรนัย เพื่อให้นักศึกษาได้ทำแบบทดสอบในเชิงวิเคราะห์ โดยเป็นการเปิดโอกาสให้นักศึกษาแสดงความรู้หรือความคิดเห็นส่วนตัวได้ การสอบแบบที่ให้นักศึกษาบรรยายแสดงความรู้หรือแสดงความคิดเห็นของตนเอง

3. การนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอน โดยการใช้สื่อมัลติมีเดีย อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ในรูปแบบของบทเรียน e-Learning สนับสนุนการเรียนการสอนของอาจารย์และนักศึกษา โดยที่ผู้เรียนสามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา ฝึกวินัยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง สนับสนุนการจัดการศึกษาที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อส่งเสริมผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้แบบใฝ่รู้ เสริมทักษะในส่วนที่ขาดเพื่อปรับพื้นฐานการเรียนรู้ ฝึกประสบการณ์และการประยุกต์ใช้เพิ่มเติม และเกิดเครือข่ายของความรู้ คลังความรู้ที่ถูกสร้างและจัดเก็บบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนี้สามารถแลกเปลี่ยนความรู้กันและกันได้

อ้างอิง

1. R.K. McGeary (1961). Mechanical packing of spherical particles. J.Am.Cer.Soc. 44(10): 513
2. การหล่อ (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.cranfield.ac.uk/sims/materials /processing/tcintro.htm [15 ตุลาคม 2550]
3. กระบวนการ Float Process (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.tangram.co.uk/TI-Glazing-Float%20Glass.html [22 ธันวาคม 2550]
4. อลูมิเนียมไนไตรด์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.tokuyama-a.com/aluminum_nitride.php [26 สิงหาคม 2552]
5. การอัด (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.ccp14.ac.uk/ccp/web-mirrors/xtaldraw/crystal/silicate.htm [2 มีนาคม 2553]
6. การเผาซินเทอร์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.esrf.eu/UsersAndScience/ Publications/ Highlights /2002/MaterialsMAT3 [11 กันยายน 2552]
7. การรีดอัด(ออนไลน์) สืบค้นจาก (http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ ceramic/u65-1.htm [15 มกราคม 2554]
8. แก้ว (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.coe.or.th/_coe/_exam/ coeMain.php?aMenu=502&agMaj=6&aSubid=33 [10 ตุลาคม 2555]
9. ไพโรคาร์บอน (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.kipt.kharkov.ua/en/isspmst.html [16 กันยายน 2555]

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งาน

สื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชา BMI 456 ในหัวข้อเรื่อง หลักการสร้างภาพสำหรับเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์

1. เมนูการใช้งาน

เมนูการใช้งานของระบบในนี้ประกอบด้วย (เมนูการใช้งานด้านบน)

1. หน้าแรก	เชื่อมโยงมายังหน้าหลักของระบบ
2. เซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับเซรามิก
3. ประเภทเซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับประเภทเซรามิก
4. เซรามิกทางการแพทย์	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับเซรามิกทางการแพทย์
5. ลูกตาเทียม	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับส่วนประกอบลูกตาเทียม
6. ไพโรคาร์บอน	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับไพโรคาร์บอน
7. ครอบฟันจากวัสดุเซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับครอบฟันจากวัสดุเซรามิก

เมนูการใช้งานของระบบในนี้ประกอบด้วย (เมนูการใช้งานด้านซ้ายมือ)

1. คำนิยาม	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับคำนิยาม
2. สมบัติของเซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับสมบัติของเซรามิก
3. การจำแนกของวัสดุเซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับการจำแนกของวัสดุเซรามิก
4. ประเภทของเซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับประเภทของเซรามิก
5. เซรามิกขั้นสูง	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับเซรามิกขั้นสูง
6. วัสดุทางการแพทย์ที่ทำจากเซรามิก	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับวัสดุทางการแพทย์ที่ทำจากเซรามิก
7. เซรามิกที่นำมาใช้ในทางการแพทย์	เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับเซรามิกที่

นำมาใช้ในทางการแพทย์

8. ลูกตาเทียมไฮดรอกซีแอปาไทต์ เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับลูกตาเทียมไฮดรอกซีแอปาไทต์

9. ไพโรคาร์บอน เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับไพโรคาร์บอ

10. ครอบฟันจากวัสดุเซรามิก เชื่อมโยงมายังหน้าเพจของเนื้อหาเกี่ยวกับรอบฟันจากวัสดุเซรามิก

รูปที่ 1 เมนูการใช้งาน

รูปที่ 2 ปุ่มเมนูการใช้งาน

2. หน้าเพจของเว็บไซต์

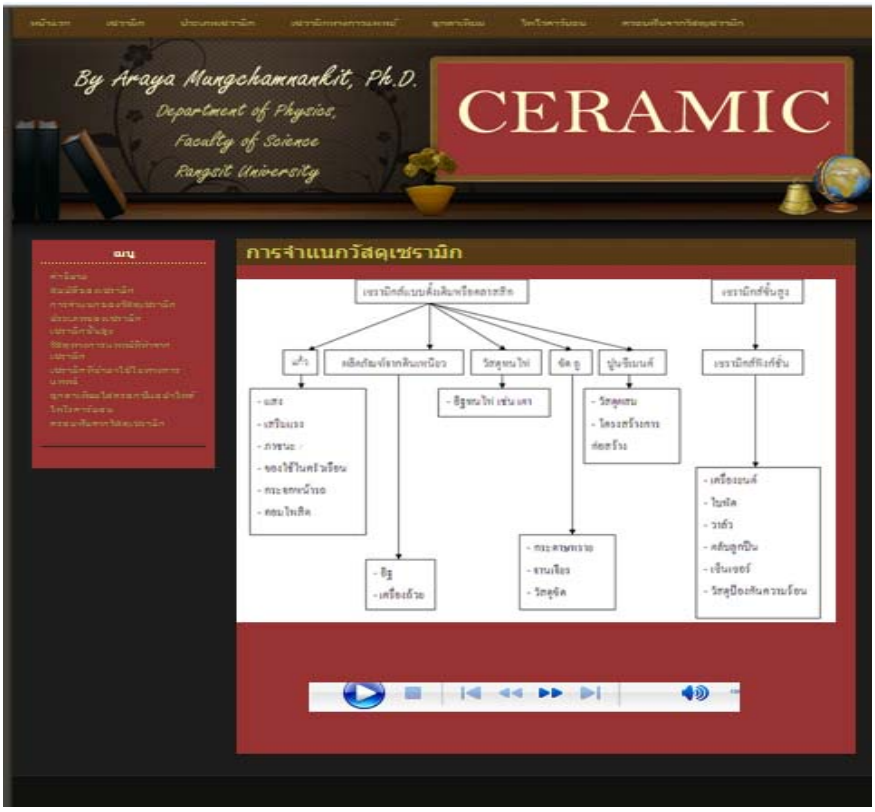
2.1 หน้าเพจหน้าหลัก

รูปที่ 3 หน้าเพจหน้าหลัก

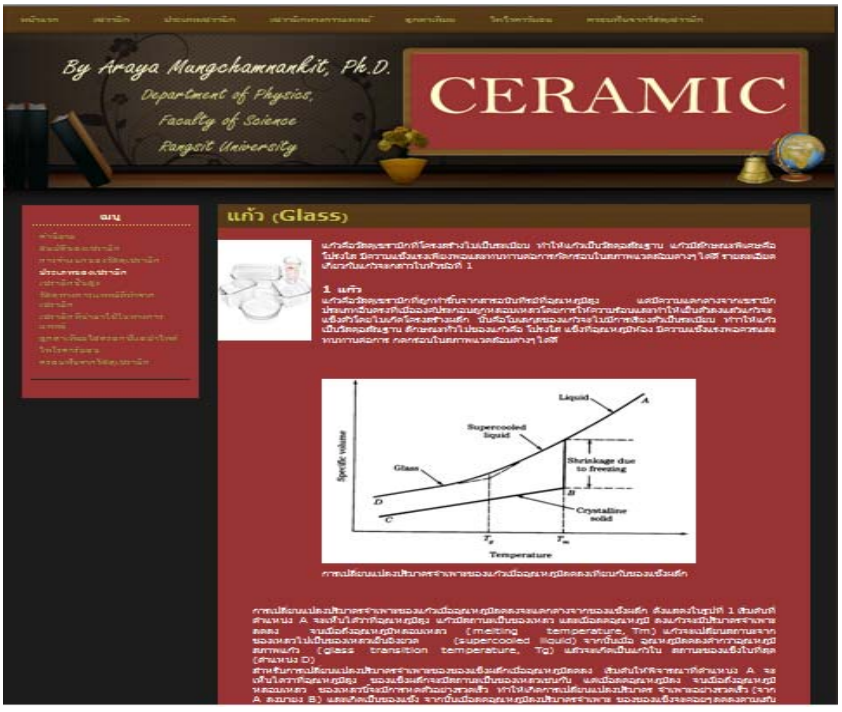
2.2 หน้าเพจหน้าต่างๆของเว็บไซต์

รูปที่ 4 หน้าเพจของคำนิยาม

รูปที่ 5 หน้าเพจของสมบัติของเซรามิก



รูปที่ 6 หน้าเพจของการจำแนกของวัสดุเซรามิก

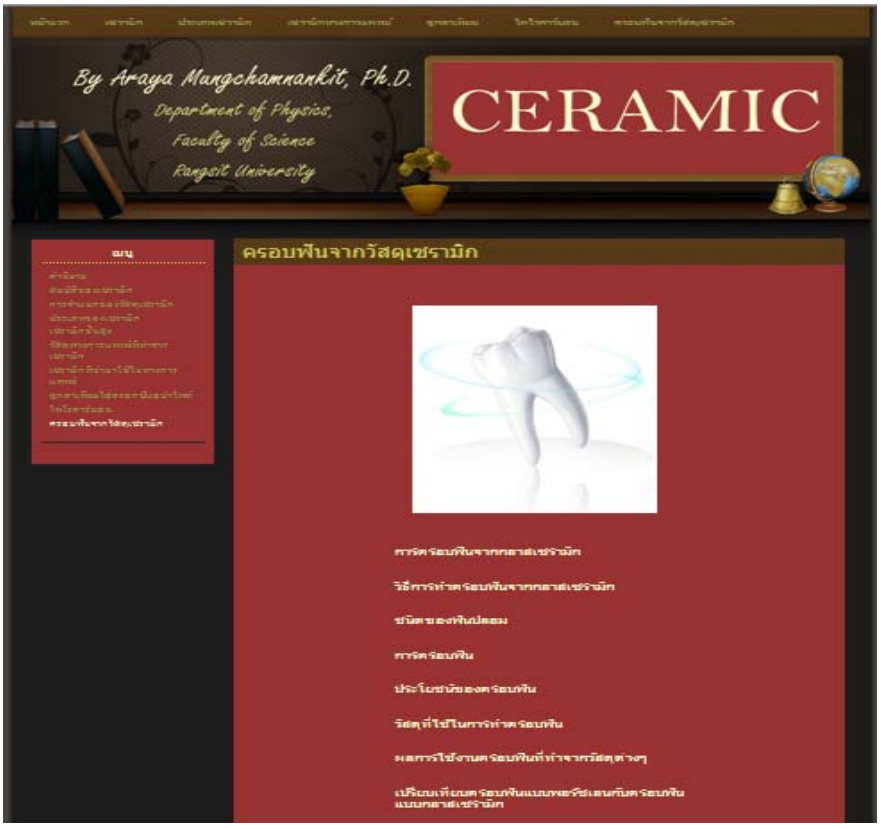


รูปที่ 7 หน้าเพจของประเภทของเซรามิก

รูปที่ 8 หน้าเพจของเซรามิกขั้นสูง

รูปที่ 9 หน้าเพจของลูกตาเทียมไฮดรอกซีแอปาไทต์

รูปที่ 10 หน้าเพจของไพโรคาร์บอน



รูปที่ 11 หน้าเพจของครอบฟันจากวัสดุเซรามิก

แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อ e- Learning

หัวข้อเรื่อง เซรามิกส์ที่ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์

คำชี้แจง ทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องที่ตรงกับระดับความพึงพอใจของท่านในแต่ละหัวข้อ มีความหมายดังนี้

5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด
4 หมายถึง พึงพอใจมาก
3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
2 หมายถึง พึงพอใจน้อย
1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
ด้านตัวอักษร					
ชนิดของตัวอักษรชัดเจนอ่านง่าย					
ชนิดของตัวอักษรเหมาะสมกับเนื้อหา					
สีของตัวอักษรเหมาะสมกับสีพื้นหลัง					
ด้านภาพ					
ภาพเหมาะสมกับเนื้อหา					
ขนาดของภาพมีความเหมาะสม					
ภาพทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น					
ภาพที่ใช้ให้รู้สึกเหมือนได้อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นจริง					
ด้านสี					
ความสวยงาม ความสบายตา					
ความแตกต่างของสีพื้นหน้าและหลัง					
ด้านสัญรูป และปุ่ม					
การสื่อความหมายมีความชัดเจน					
มีขนาดเหมาะสมกับบทเรียน					
ตำแหน่งการจัดวางมีความเหมาะสม					
ด้านเบราว์เซอร์					
การแสดงผลภาษาไทย-อังกฤษไม่ผิด					
การเชื่อมโยงและโปรแกรมต่างๆ					

<u>ด้านการเชื่อมโยง</u>					
ความถูกต้องของการเชื่อมโยง					
การเชื่อมโยงไปสู่เนื้อหาที่สัมพันธ์กัน					
รูปแบบของการเชื่อมโยง					
ความเหมาะสมของจำนวนการเชื่อมโยง					
สามารถกลับมายังหน้าแรกของบทเรียนได้ตลอดเวลา					
<u>ด้านการนำเสนอเนื้อหา</u>					
ความถูกต้องและชัดเจน					
ครอบคลุมประเด็นสำคัญ					
การใช้ภาษาอ่านเข้าใจง่าย					
ปริมาณข้อความที่นำเสนอต่อหน้าจอ					
ความเหมาะสมของตำแหน่งในการเสนอเนื้อหา					

ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....