



ศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบแป้งข้าวเหนียวกับ
ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกสัตว์
STUDY TENSILE STRENGTH OF GLUTINOUS RICE FLOUR-
HYDROXYAPATITE SYNTHESIZED FROM ANIMAL BONE

นายพีรภูมิ วงษ์วิไล รหัส 51362428
นายอดิศร ปานฟัก รหัส 51362503

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... ๗ ๐ ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15944272
เลขเรียกหนังสือ..... ผร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร พวค4/๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบแบ่งขั้วเหนียวกับ
ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกสัตว์

ผู้ดำเนินโครงการ นายพีรุดิ วงษ์วิไล รหัส 51362428
 นายอดิศร ปานพีก รหัส 51362503

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรัตนนคร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	ศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบแบ่งขั้วเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกสัตว์		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายพีรฤติ	วงษ์วิไล	รหัส 51362428
	นายอดิศร	ปานพัก	รหัส 51362503
ที่ปรึกษาโครงการงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวัสดุเชิงประกอบแบ่งขั้วเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยทำการศึกษาวัฏภาคโดยเทคนิค XRD วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาโดยกล้อง SEM พบว่าลักษณะวัฏภาค มีความสอดคล้องกับแฟ้มข้อมูล JCPDS No.74-0565 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR พบหมู่ฟังก์ชัน OH^- stretching CO_3^{2-} , PO_4^{3-} stretching และ PO_4^{3-} bending จากวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาโดยกล้อง SEM พบว่าอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทด์มีลักษณะค่อนข้างกลม พื้นผิวโดยรอบไม่เรียบ เกาะกลุ่มกันอยู่เป็นกลุ่มๆ และการที่ลักษณะผิวไม่เรียบของอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทด์นี้ ทำให้อ่อนแอสามารถแทรกตัวยึดเกาะกับอนุภาคได้มากขึ้น ส่งผลให้ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น จากนั้นทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบแบ่งขั้วเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ในอัตราส่วน 100:0, 85:15 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์ และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของไฮดรอกซีอะพาไทด์ในชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสของยังส์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณไฮดรอกซีอะพาไทด์มากขึ้น และจะลดลงเมื่อมีปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทด์มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมไฮดรอกซีอะพาไทด์ ส่วนการวิเคราะห์พื้นผิวบริเวณรอยแตกหักพบว่าในอัตราส่วนที่ 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการกระจายตัวของไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สม่ำเสมอมากที่สุด ส่งผลให้มีแนวโน้มค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และในอัตราส่วนที่ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าการกระจายตัวของไฮดรอกซีอะพาไทด์ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทด์มีการจับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลให้มีแนวโน้มค่าสมบัติเชิงกลที่ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์ปิ่นนัท บุญพยัคฆ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ และความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดจนแนะนำวิธีการในการแก้ปัญหา และให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา จนสามารถทำงานลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ธนิกันต์ ธงชัย และอาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ ครูช่างประเทือง โมราราย ครูช่างธวัชชัย ชูลบุตร ครูช่างรมกฤต แสงผ่อง และนักสัตวศาสตร์อิสริย์ วัตฤภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำโครงการ รวมไปถึงการแนะนำใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ อย่างถูกวิธี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้ทำโครงการ จนงานลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาคารปฏิบัติการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องกวนสารให้ความร้อนแบบแท่งแม่เหล็ก เตอบ Binder และเครื่องมือต่างๆ ภายในอาคาร

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องสเปกโทรสโกปี กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชัน

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่าย และกำลังใจจนสามารถศึกษา ทำโครงการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ในการทำโครงการนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้ดำเนินโครงการ

นายพีรฤติ วงษ์วิไล

นายอดิศร ปานพิง

เมษายน 2555

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials)	4
2.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	10
2.3 การตรวจสอบที่ใช้ศึกษา.....	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 การดำเนินโครงการ.....	25
3.1 สารเคมี.....	25
3.2 เครื่องมือ.....	25
3.3 วิธีการทดลอง	27
3.4 วิธีการทดสอบ.....	28
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 สรุปผลการทดลอง.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลการตรวจสอบผงไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัว.....	31
4.2 ผลการความแข็งแรงดึง และสัญญาณวิทยาของวัสดุเชิงประกอบแป็งข้าวเหนียวกับ ไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัว	37
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
5.3 ปัญหา และแนวทางการแก้ไข.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก ก.....	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน	3
2.1 สมบัติเชิงกลของไฮดรอกซีอะพาไทต์.....	12
2.2 ช่วงคลื่นของฟังก์ชันกรุปที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด	18
3.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว.....	28
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว	34
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวด้วย เทคนิค FTIR โดยผ่านการเผาแคลไซน์ที่ 800 องศาเซลเซียส.....	35



สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเนื้อพื้น และลักษณะของสารเสริมแรง...6
2.2	สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์เปรียบเทียบกับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ.....7
2.3	โครงสร้างของผลึกอะพาไทต์..... 12
2.4	ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสกับสมบัติเชิงกล 13
2.5	สูตรโครงสร้างของอะไมโลส..... 14
2.6	การจัดตัวในรูปโครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส..... 15
2.7	สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพกติน..... 15
2.8	การทำงานของกล้องจุลทรรศน์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 17
2.9	การทำงานของเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด..... 18
2.10	การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 20
2.11	ลักษณะของชั้นทดสอบ บริเวณที่จับ และบริเวณการยึดออก 21
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง..... 26
4.1	การวิเคราะห์ภูมิภาคผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวเปรียบเทียบกับ แฟ้มข้อมูล JCPDS No. 74-0565 32
4.2	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Spectrometry (FTIR)..... 34
4.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยผ่านการ เผาแคลไซน์ที่ 800 องศาเซลเซียส..... 35
4.4	สัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว 36
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 37
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านรอยละการยึดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบ แบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์..... 38
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังส์ ของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 39
4.8	สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จาก กระดูกวัว ที่กำลังขยาย 3000 เท่า 41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

ในปัจจุบันวัสดุจำพวกโลหะ เซรามิก และพอลิเมอร์ ได้มีการพัฒนาให้มีสมบัติในด้านต่างๆ ที่ดีขึ้น แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องในการนำไปใช้งานบางส่วนเมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวัสดุเหล่านั้นไปเป็นวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials)

วัสดุเชิงประกอบ คือ วัสดุที่มีการรวมกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติที่ดีขึ้น โดยการนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมารวมกัน เช่น มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา เป็นต้น ในปัจจุบันนี้ วัสดุเชิงประกอบเป็นที่นิยมอย่างมาก และมีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งในทางการแพทย์ นิยมนำวัสดุเชิงประกอบไปพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพ โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการทำวัสดุเชิงประกอบ เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพ คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite : HA) มีองค์ประกอบทางเคมี คือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ จัดเป็นสารอนินทรีย์ที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ เช่น กระดูกสัตว์ เปลือกหอย เป็นต้น ข้อเสียของไฮดรอกซีอะพาไทต์ คือ มีความเปราะสูง ขาดความยืดหยุ่น จึงไม่เหมาะกับการนำมาซ่อมแซมกระดูกที่ต้องการรับแรงสูง เพราะฉะนั้น จึงมีการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงดึง โดยใช้พอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง เพื่อให้ได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยผสมกับแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วนต่างๆ ที่ถูกเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยทำการศึกษาวิภาค หนูฟังก์ชัน และลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาวิภาค วิเคราะห์หนูฟังก์ชัน และลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัว

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

วัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 ลักษณะวิทยาการ วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน และลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว

1.4.2 สมบัติความแข็งแรงดึง และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัสดุดิบ

ก. ไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว

ข. ผงแป้งข้าวเหนียว

ค. สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เกรด BF 17 W

ง. เจลลาตินผง

จ. กลีเซอรอล (Glycerol 99%)

1.5.1.2 กระบวนการขึ้นรูปโดยเทคนิคการหล่อแบบ (Slip Casting)

1.5.2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

1.5.2.1 ปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติความแข็งแรงดึง

1.5.2.2 วิทยาการ หมู่ฟังก์ชัน และลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว

1.5.2.3 สมบัติความแข็งแรงดึง และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 วัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) หมายถึง วัสดุที่เกิดจากการรวมตัวของวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไปแล้วจะทำให้สมบัติของวัสดุรวมดีขึ้น สำหรับความหมายเชิงวิศวกรรมของวัสดุเชิงประกอบ หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นจากวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่เกิดขึ้นมีสมบัติร่วมกันของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ (สิวตล, 2541) ดังนั้น การทำนาย หรือ คาดคะเนสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ จึงไม่สามารถทำนายได้จากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบชนิดใดเพียงชนิดเดียว องค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ ได้แก่ วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก และเป็นเฟสต่อเนื่องเรียกว่า เนื้อพื้น (Matrix) และวัสดุส่วนเหลือที่กระจายตัวอยู่ในวัสดุเนื้อหลักนั้นเรียกว่า ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) โดยเนื้อพื้นจะทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนเสริมแรง และทำให้วัสดุเชิงประกอบเป็นรูปร่างขึ้น ส่วนเสริมแรงจะทำหน้าที่เสริมสมบัติให้เนื้อพื้น และทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติตามต้องการ วัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งาน อย่างมาก วัสดุเชิงประกอบจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุโครงสร้าง และรับแรง เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบ มีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีความแข็งแรงสูงแต่น้ำหนักเบา ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบจึงมีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific Strength) สูง และมีค่ามอดูลัสจำเพาะ (Specific Modulus) สูง วัสดุเชิงประกอบมีองค์ประกอบสองส่วน หรือมากกว่าที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดอยู่ด้วยกัน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบจะมีความแตกต่างทั้งทางกายภาพ และทางเคมี โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่

2.1.1 เนื้อพื้น (Matrix) คือ วัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่ง และการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบ และปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น เป็นต้น มักมีความแข็งแรง และมอดูลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เนื้อพื้นเป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous Phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load Transfer Medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือ โครงสร้างที่สามารถให้ความแข็งแรงแก่วัสดุเชิงประกอบ วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะมีความแข็งแรง และมอดูลัสสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญได้แก่ เส้นใย (Fibers) ชนิดต่าง ๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass Fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar Fibers) หรืออนุภาคเซรามิก (Ceramic Particle) เป็นต้น ส่วน-

เสริมแรงจะเป็นส่วนรับแรงหลัก (Principle Load Carrying Members) ของวัสดุเชิงประกอบ เป็นองค์ประกอบที่ไม่มีความต่อเนื่อง (Discontinuous Phase)

การแบ่งชนิดของวัสดุเชิงประกอบสามารถแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรงสามารถแบ่งชนิดของวัสดุเชิงประกอบได้ดังนี้ (สุกาสินี, 2554)

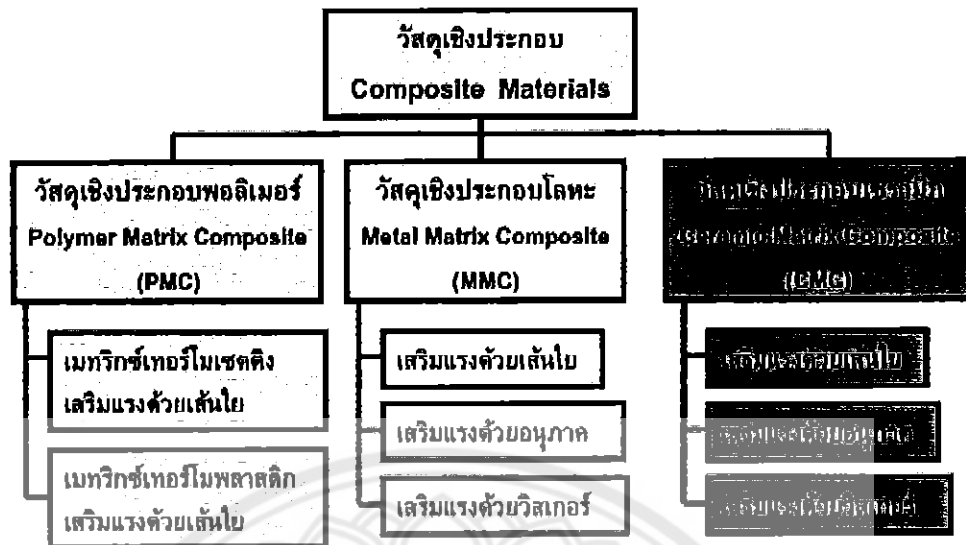
2.1.2.1 วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย (Fibrous Composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short Fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous Fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรง และมอดุลัสสูงทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่น ๆ

2.1.2.2 วัสดุเชิงประกอบแบบแผ่น หรือลามิเนต (Laminate Composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่ประกอบด้วยชั้น หรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันเชื่อมด้วยกาว มีลักษณะเป็นชั้น ๆ คล้ายแซนวิช (Sandwich) หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)

2.1.2.3 วัสดุเชิงประกอบแบบเป็นอนุภาค (Particulate Composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก

2.1.3 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ เนื้อพื้ และส่วนเสริมแรง ดังนั้นถ้าจำแนกวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของวัสดุที่เป็นเนื้อพื้จะสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer Matrix Composite, PMC) วัสดุเชิงประกอบโลหะ (Metal Matrix Composite, MMC) และวัสดุเชิงประกอบเซรามิก (Ceramic Matrix Composite, CMC) โดยการจำแนกแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

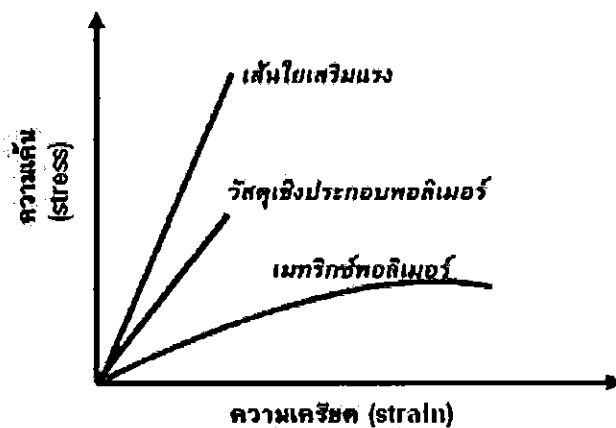


รูปที่ 2.1 การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของเนื้อพื้น และลักษณะของส่วนเสริมแรง

ที่มา : หุตฤภัก (2552)

2.1.3.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์

โดยธรรมชาติ พอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำ เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่สูงนัก มีความหนาแน่นต่ำ และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยทั่วไปเส้นใยเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์มักเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อทำหน้าที่ในการรับ และกระจายแรงกระทำ โดยวัสดุเชิงประกอบจะมีความแข็งแรงสูงสุดตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง การเสริมแรงนี้ทำให้เนื้อพื้นพอลิเมอร์สามารถรับแรงกระทำได้สูงขึ้นโดยไม่เปลี่ยนรูปร่างดังแสดงรูปที่ 2.2 ที่แสดงถึงสมบัติเชิงกลอย่างง่ายของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์เมื่อให้แรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใย



รูปที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์เปรียบเทียบกับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ
ที่มา : ทฤทท์ (2552)

สมบัติเชิงกลนี้จะเป็นสมบัติร่วมที่เกิดจากสมบัติของเนื้อพื้นพอลิเมอร์ และสมบัติของเส้นใยเสริมแรงประกอบกันทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุพอลิเมอร์ เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงทำหน้าที่รับแรงกระทำ แต่สำหรับระยะยืดสูงสุดนั้น วัสดุเชิงประกอบจะมีความสามารถในการยืดสูงสุดได้ไม่เกินระยะยืดสูงสุดของเส้นใยเสริมแรง สำหรับเนื้อพื้นพอลิเมอร์ควรมีความเหนียวทนทานมากพอที่จะห่อหุ้มเส้นใยเสริมแรงไว้ ส่วนเสริมแรงในรูปอนุภาคมีส่วนช่วยเสริมความแข็งแรงได้ไม่ดีเท่ากับรูปเส้นใย เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของส่วนเสริมแรงส่งผลต่อการกระจายแรง วัสดุเชิงประกอบจะมีความแข็งแรงมากขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยทำให้ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific Strength) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้สามารถนำวัสดุเชิงประกอบมาใช้สำหรับงานโครงสร้างบางชนิดที่ต้องรับแรงกระทำที่ไม่สูงมากนักได้ เช่น เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ สำหรับเนื้อพื้นพอลิเมอร์สามารถแบ่งย่อยออกเป็นเนื้อพื้นเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Matrix) และเนื้อพื้นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Matrix) ที่มีความแตกต่างกันในพฤติกรรมเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ โดยเทอร์โมเซตติงเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแห และมีสมบัติแข็งเปราะ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุล หรือการบ่มแล้วจะเกิดการคงรูป และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก (ทฤทท์, 2552) ส่วนเทอร์โมพลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเส้นหรือแบบกึ่ง สามารถหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลว มีสมบัติเหนียว และทนทานต่อสิ่งแวดล้อม (ทฤทท์, 2552) พฤติกรรมเชิงความร้อนนี้จะมีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบสำหรับเนื้อพื้นเทอร์โมเซตติง การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบจะเป็นการผสมส่วนเสริมแรงให้เข้ากับ มอนอเมอร์ในแม่พิมพ์ ก่อนที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยง เป็นโครงสร้างแบบร่างแห และหลังจากที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด วัสดุเชิงประกอบจะเกิดการคงรูปซึ่งจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ได้อีก ในขณะที่การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เนื้อพื้นเป็นเทอร์โมพลาสติกนั้น จะใช้หลักการให้ความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลว และขึ้นรูปก่อนที่จะทำให้เย็นตัวลงเพื่อเกิดการคงรูป โดยถ้าหลังจากคงรูปแล้วได้รับความร้อนอีกครั้ง ส่วนที่เป็นเนื้อพื้นก็จะสามารถหลอมเหลวได้อีกการที่จะเลือกใช้เนื้อพื้นชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติในการประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ

2.1.3.2 วัสดุเชิงประกอบโลหะ

วัสดุเชิงประกอบโลหะได้พัฒนาขึ้นเพื่อ ปรับปรุงความสามารถในการทน ทาน ต่อความล้าของโลหะให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอะลูมิเนียม และไทเทเนียม ที่เป็นเนื้อพื้นโลหะที่ต้องการให้มีสมบัติพิเศษในการใช้งานในอุตสาหกรรมอากาศยาน ส่วนเสริมแรงอาจอยู่ในลักษณะของอนุภาค เส้นใย หรือวิสเกอร์ก็ได้ นอกจากนี้ ส่วนเสริมแรงสำหรับโลหะต้องมีความแข็งแรงสูง และทนความร้อนสูงด้วย เนื่องจากโลหะต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการขึ้นรูป และส่วนเสริมแรงที่ใช้ต้องไม่เกิดการกัดกร่อนกับเนื้อพื้นโลหะ จากข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้ส่วนเสริมแรงอนินทรีย์ และเส้นใยแก้วไม่สามารถใช้เสริมแรงให้กับเนื้อพื้นโลหะได้ ส่วนเสริมแรงที่ใช้จึงต้องเป็นส่วนเสริมแรงเซรามิก หรือส่วนเสริมแรงโลหะ เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ อะลูมินา เส้นใยโบรอน เป็นต้น การเสริมแรงเป็นการทำให้เนื้อพื้นโลหะมีความทนทานต่อความล้าสูงขึ้นมาก และมีอายุการใช้งานนานขึ้น อีกทั้งความหนาแน่นของส่วนเสริมแรงที่น้อยกว่าโลหะทำให้ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบลดลงรวมถึงสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient temperature expansion, CTE) ลดลง เพราะส่วนเสริมแรงเป็นเซรามิก จึงมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำกว่าโลหะ ส่วนกรณีที่ส่วนเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใยยาววัสดุเชิงประกอบที่ได้จะมีความแข็งแรงสูงขึ้นมากอีกด้วย

2.1.3.3 วัสดุเชิงประกอบเซรามิก

เซรามิกเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ไม่นำความร้อนทนทานต่อการกัดกร่อน และอัตราของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนต่ำมาก เซรามิกจึงนำมาใช้ในงานที่ต้องการความทนทานต่ออุณหภูมิสูง และในสภาวะที่มีการกัดกร่อนสูง แต่ข้อเสียของเซรามิก คือ เปราะและแตกหักง่าย เมื่อเกิดรอยแตกแล้วไม่สามารถซ่อมแซมได้โดยง่าย การเสริมแรงให้กับเนื้อพื้นเซรามิกเป็นการปรับปรุงสมบัติให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความเหนียว และทนทานมากขึ้น ส่วนเสริมแรงจะเข้าไปขวางการแพร่ของรอยแตกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน เมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับแรงจะไม่เกิดการเปราะแตกในทันที เนื่องจากรอยแยกจะถูกหน่วงด้วยส่วนเสริมแรงเนื่องจากสมบัติที่เรียกว่า ความเหนียวแบบเทียม (Pseudoductile) สำหรับเนื้อพื้นเซรามิกที่ไม่เสริมแรงจะแสดงสมบัติที่เปราะ และแตกทันทีเมื่อได้รับแรงกระทำจนถึงจุดจุดหนึ่ง ดังนั้นการใส่ ส่วนเสริมแรงเข้าไปจะทำให้วัสดุเชิงประกอบเซรามิกที่ได้มีความเหนียวทนทานมากขึ้น ส่วนเสริมแรงที่ใช้ในการเสริมแรงอาจอยู่ในรูปอนุภาค เส้นใย หรือวิสเกอร์ ได้แก่ อะลูมินา ซิลิกา ซิลิกอนคาร์ไบด์ และคาร์บอน เป็นต้น และสำหรับเนื้อพื้นเซรามิก ได้แก่ ซีเมนต์ คาร์บอน ซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นต้น

โดยในโครงการนี้ เป็นการศึกษาวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยมีแบ่งข้าวเหนียว และมีไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นส่วนเสริมแรง โดยไฮดรอกซีอะพาไทต์มีลักษณะเป็นอนุภาค ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม

2.1.4 วัสดุชีวภาพจำพวกวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุชีวภาพ หมายถึง วัสดุที่สามารถใช้แทนส่วนหนึ่งส่วนใดของเนื้อเยื่อในอวัยวะ ส่วนหนึ่งส่วนใดในร่างกายมนุษย์ที่เสื่อมสภาพโดยไม่เกิดปฏิกิริยาจากร่างกายมนุษย์ วัสดุชีวภาพสามารถผลิตได้จากวัสดุทั่วไปไม่ว่าจะเป็น โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์ วัสดุเชิงประกอบ หรือสารกึ่งตัวนำ (William, 2551) ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีทางการแพทย์มีการพัฒนาก้าวหน้าไปมาก นอกเหนือจากการรักษาโรคต่าง ๆ เพื่อเยียวยา และยืดชีวิตแล้วเทคโนโลยีทางการแพทย์ยังมีบทบาทช่วยสนับสนุนการดำรงชีวิตของเราทุกคนไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะ การสร้างอวัยวะเทียม การปลูกถ่ายเนื้อเยื่อรวมไปถึงอุปกรณ์ และวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้กับร่างกาย เช่น เข็มฉีดยา วัสดุอุดฟัน และท่อขยายหลอดเลือด เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ เพื่อตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ที่ต้องการจะมีชีวิตที่ยืนยาว สามารถดำรงชีวิตได้อย่างเป็นปกติ ดังนั้นการศึกษาให้เข้าใจถึงชนิด ลักษณะ และคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับวิศวกรชีวการแพทย์เพื่อที่จะนำความรู้ที่ได้ไปทำการวิจัย และพัฒนาอุปกรณ์ หรือกระบวนการให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ให้มากที่สุด โดยมีสมบัติที่ต้องการของวัสดุชีวภาพ ดังนี้

2.1.4.1 ความสามารถในการเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) ความสามารถในการเข้ากันได้ของเนื้อเยื่อกระดูก ซึ่งจะทำให้มีการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อกระดูกผสมผสานเข้าไปใน สารทดแทนกระดูกจนเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา หรือเป็นพิษต่อร่างกาย

2.1.4.2 วัสดุค่อนข้างเฉื่อย (Nearly Bioinert) พื้นผิวสัมผัสของวัสดุค่อนข้างเฉื่อยจะไม่เกิดพันธะทางเคมี และทางชีววิทยากับเนื้อเยื่อที่มีชีวิตสมบัติข้อนี้จะทำให้ความสามารถผสมสารอื่นที่จำเป็น คือ ยาปฏิชีวนะเข้ากับสารทดแทนแล้วไม่เกิดปฏิกิริยา เช่น อะลูมินาเคลือบโลหะทางชีวภาพ คาร์บอนผสมพอลิเอทเธอร์คีโตน เป็นต้น

2.1.4.3 วัสดุที่ตอบสนองแบบว่องไวต่อเนื้อเยื่อ (Bioactive) ความสามารถในการตอบสนองแบบว่องไวทางชีวภาพ หรือง่ายต่อการเกิดกระดูกใหม่ มีคุณสมบัติที่เป็นพื้นฐานต่อการเกิดพันธะกับเนื้อเยื่อกำเนิด เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์กับคอลลาเจน ไฮดรอกซีอะพาไทต์กับพอลิเอทเธอริลีน และไฮดรอกซีอะพาไทต์กับไททานเนียม-อะลูมิเนียม-วานาเดียม เป็นต้น

2.1.4.4 การเสื่อมสภาพทางชีวภาพ (Biodegradation) ความสามารถที่ค่อยๆ ถูกสลายด้วยกลไกต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งทำให้สารทดแทนกระดูกที่ใช้ค่อยๆ ถูกกำจัดออกไปจากตำแหน่งที่ใส่หลังจากมีการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อกระดูกเข้าไปแทนที่แล้วจนในที่สุดแล้วสารทดแทนที่ดีควรจะสามารถถูกร่างกายสลาย และกำจัดออกไป เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟตกับ

คอลลาเจน ไตรแคลเซียมฟอสเฟตกับพอลิแลคติกแอซิด และไตรแคลเซียมฟอสเฟตกับพอลิคาร์โป-แลคโตน เป็นต้น (Holliday, 1966)

2.1.4.5 ความสามารถเหนี่ยวนำการสร้างกระดูก (Osteoinductive Capability) คือความสามารถในการเหนี่ยวนำเนื้อเยื่อกระดูกโดยรอบให้มีการเจริญเติบโตเข้าไปในสารทดแทนกระดูกที่ใช้ โดยความสามารถนี้เป็นจุดสำคัญจุดหนึ่งที่เป็นที่ต้องการ

2.1.4.6 ความสามารถทดแทนกระดูก (Function Ability) วัสดุชีวภาพถูกพัฒนาเพื่อแก้ข้อบกพร่องดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีสารทดแทนกระดูกที่ดีในการรับน้ำหนักก็มีคุณสมบัติอื่น ๆ ตี

2.1.5 การประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบเป็นการนำเอาสมบัติที่ดีของวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดมาผนวกกัน ทำให้เกิดเป็นสมบัติที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานตามความต้องการของมนุษย์ พอลิเมอร์มีข้อจำกัดในด้านความแข็งแรง การเสริมแรงเนื้อพื้นพอลิเมอร์ด้วยเส้นใยเสริมแรงจึงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์อย่างมาก โลหะมีข้อจำกัดในด้านความทนทานต่อความล้า การใส่ส่วนเสริมแรงลงไป ในเนื้อพื้นโลหะ ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความทนทานต่อการใช้งานมากขึ้น สำหรับเซรามิกที่สมบัติทั่วไป คือ เปราะ และแตกหักง่ายส่วนเสริมแรงที่ถูกใส่ลงในเนื้อพื้นเซรามิกสามารถลดการแยกตัวที่เกิดขึ้นได้ ทำให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความเหนียวทนทานมากขึ้นการปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุองค์ประกอบ หรือสัดส่วนการผสม ทำให้เกิดสมบัติที่หลากหลาย และสามารถออกแบบให้เป็นไปตามต้องการได้ ปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบนับได้ว่าเป็นวัสดุที่ใช้งานทั่วไป ในทางการแพทย์ก็นิยมนำวัสดุเชิงประกอบมาพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพ เช่น งานด้านทันตกรรม และอวัยวะเทียม ที่ต้องการสมบัติในด้านการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และไม่ทำปฏิกิริยาต่อเนื้อเยื่อในร่างกาย

2.2 หลักการเกี่ยวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ และแป้งข้าวเหนียว

2.2.1 ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite)

ไฮดรอกซีอะพาไทต์ เป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่มีทั้งประจุบวก และประจุลบ บนผิวโมเลกุลเดียวกันมีองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานเป็นแคลเซียมฟอสเฟต ไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์เป็นปริมาณสารสัมพันธ์ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ประกอบด้วย Ca^{2+} , PO_4^{3-} และ OH^- ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ชีวภาพที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตตามแหล่งธรรมชาติทั่วไป และสามารถเตรียมด้วยกระบวนการทางความร้อน ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นวัสดุชีวภาพที่มีความสามารถในการเหนี่ยวนำการสร้างเนื้อเยื่อ (Bioactive Material) นิยมนำมาผลิตข้อกระดูกเทียม รากฟันเทียม เพราะสามารถเร่งการสร้างเซลล์กระดูก และเซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissue) ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุปลูกถ่าย และเนื้อเยื่อประสานกันอย่างรวดเร็วดี ด้วยสมบัติดังกล่าวจึงมีการพัฒนานำไฮดรอกซีอะพาไทต์มาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน โดยเฉพาะการใช้เป็นสารทดแทนกระดูก หรือใช้เป็นสารดูดซับ และแยกอนุภาคที่มีประจุ

2.2.1.1 แหล่งที่มาของไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ได้จาก

การสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์สามารถเตรียมได้จาก 3 แหล่ง คือ

ก. สังเคราะห์จากสารเคมี เช่น แคลเซียมไนเตรต และแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น

ข. สังเคราะห์จากปะการัง โดยนำปะการังมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ แต่ปะการังมีปริมาณน้อย และเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงไม่นิยมนำมาใช้

ค. สังเคราะห์จากกระดูกสัตว์ เช่น วัว กระบือ ช้าง ปลา สุนัข รวมทั้งจากมนุษย์ โดยมากนิยมใช้กระดูกโค และกระดูกหมูมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณมาก และเป็นสัตว์ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์ในด้านการใช้แรงงาน และการบริโภค

2.2.1.2 กระบวนการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์

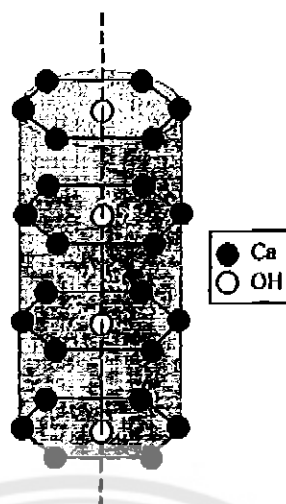
ก. การเตรียมด้วยกระบวนการสกัดโดยใช้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤต (Subcritical-Water) เป็นการเตรียมปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ในหม้อไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) และอบด้วยเตาไมโครเวฟ การสกัดโดยใช้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤต

ข. การเตรียมด้วยกระบวนการทางเบส (Alkalinehydrothermal-Hydrolysis) เป็นการเตรียมปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนด้วยความร้อนโดยการเติมเบสเข้าช่วยเพื่อสกัดสารอินทรีย์ออกจากเนื้อของกระดูกสัตว์

ค. การเตรียมด้วยกระบวนการทางความร้อน (Thermal Decomposition) เป็นการเตรียมปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนด้วยกระบวนการทางความร้อน โดยการต้มด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำเพื่อเป็นการย่อยสลายโปรตีน ไขมัน หรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในเนื้อกระดูกสัตว์

2.2.1.3 โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของไฮดรอกซีอะพาไทต์

ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นเซรามิกชนิดหนึ่งซึ่งมีการตอบสนองแบบวงแหวนทางชีวภาพ และมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับกระดูกมนุษย์ ซึ่งร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก เป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ ร้อยละ 55 โดยน้ำหนักเป็นสารอินทรีย์ และน้ำ ในร่างกายของมนุษย์พบว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นเซรามิกชีวภาพที่มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นแคลเซียมฟอสเฟต ไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์เป็นปริมาณสารสัมพันธ์ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ประกอบด้วย Ca^{2+} , PO_4^{3-} และ OH^- มีสัดส่วนต่อโมลของ Ca:P เป็น 1.67 โครงสร้างแลตทิซของผลึกอะพาไทต์ โดยมี Ca^{2+} บรรจุอยู่ภายในผลึกรูปแท่ง และมี OH^- ล้อมรอบอยู่ด้านข้าง แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 (รังสฤษฏี, 2553)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของผลึกอะพาไทต์
ที่มา : Weiner (1998)

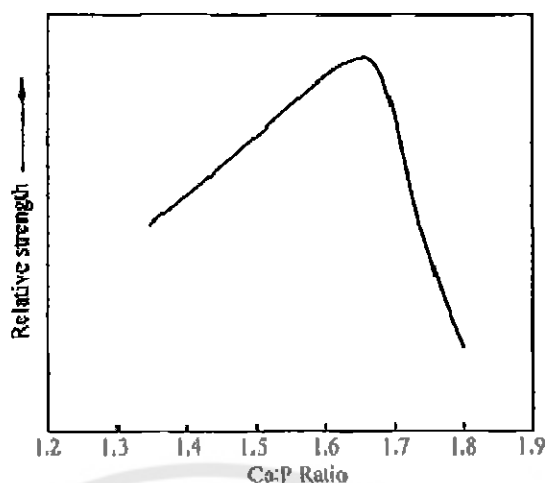
2.2.1.4 สมบัติเชิงกลของไฮดรอกซีอะพาไทต์

ค่าสมบัติเชิงกลขึ้นกับเทคนิคการวัด และสิ่งปนเปื้อนในไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากปัจจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความเกี่ยวข้องกับสมบัติเชิงกลโดยตรง ค่าความทนทานต่อการดัดโค้ง (Bending Strength) ค่าความทนทานต่อการอัด (Compressive Strength) และค่าทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) โดยสมบัติเชิงกลไฮดรอกซีอะพาไทต์แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงกลของไฮดรอกซีอะพาไทต์

สมบัติเชิงกล	ค่า	หน่วย
ค่าความทนทานต่อการดัดโค้ง	38-250	MPa
ค่าความทนทานต่อการกด	120-900	MPa
ค่าทนทานต่อแรงดึง	38-300	MPa

การกระจายตัวของข้อมูลจะเป็นผลมาจากสถิติการกระจายข้อมูลของค่าความแข็ง ผลของการมีความพรุนขนาดเล็กมากๆ ขนาดของเกรน สิ่งแปลกปลอม ฯลฯ ซึ่งเมื่อไฮดรอกซีอะพาไทต์มีอัตราส่วนต่อโมลของ Ca:P เพิ่มขึ้นความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น และจะมีความแข็งแรงที่สุด เมื่อค่าอัตราส่วนต่อโมลของ Ca:P เท่ากับ 1.67 และจะลดลงเมื่ออัตราส่วนต่อ โมลของ Ca:P มากกว่า 1.67 และความแข็งแรงจะลดลงเป็นลักษณะเส้นโค้ง แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสกับสมบัติเชิงกล

ที่มา : นรศิษฎ์ (2547)

2.2.2 แป้งข้าวเหนียว (Glutinous Rice Flour)

แป้งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) มีอยู่ในพืชแทบทุกชนิด มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคส กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ หลักการทั่วไป คือ แยกเม็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย โปรตีน เกลือแร่ จากนั้นทำให้บริสุทธิ์ด้วยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยก และอบให้แห้งในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งแขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น

องค์ประกอบหลักที่สำคัญซึ่งพบในเมล็ดข้าว คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ด และการนำเมล็ดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าว บทบาทที่สำคัญของแป้ง คือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แป้งโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ปนเปื้อนอยู่มักจะเรียกว่า Flour เช่น แป้งข้าวเหนียวที่ยังมีโปรตีนร้อยละ 7-8 แต่เมื่อได้สกัดสิ่งเจือปนซึ่งหมายถึง โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่อื่น ๆ ออกไปจนหมด โดยใช้น้ำเหวี่ยงแยกแป้งออกจากสิ่งแปลกปลอมด้วยการเหวี่ยงความเร็วสูงในตุ๊กกลางต่าง ๆ เหลือแต่แป้งบริสุทธิ์จะเรียกว่า Starch มีสมบัติตามเกณฑ์ตำรับยา (Pharmacopoeia) ตามมาตรฐานข้อบังคับของสำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา กระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย มีลักษณะเป็นผงแห้งสีขาว ปราศจากกลิ่น ไม่มีรส ไม่ละลายน้ำ มีความเป็นกลางของกรดต่าง มีสมบัติเส้นไหลที่ดีเยี่ยม (Wurzburg, 1987) ประเภทของแป้งสามารถแยกได้ตามสมบัติเป็น 2 ประเภท คือ

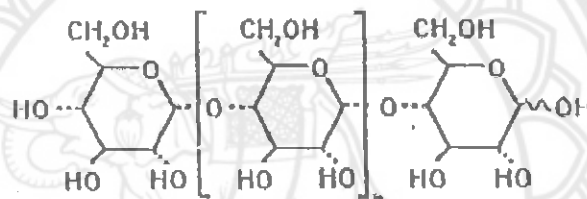
Starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และจากพืชหัวชนิดต่าง ๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (Wet-grinding) ซึ่งจะทำให้แยก Starch ออกมาได้

Flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้มีสมบัติต่างไปจาก Starch แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งประเภท Starch เม็ดแป้ง (Starch-granule) ไม่ละลายในน้ำเย็น รูปร่าง และขนาดของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับแหล่งของพืชที่ให้แป้ง

2.2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวเหนียวเป็นพอลิเมอร์ ธรรมชาติประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

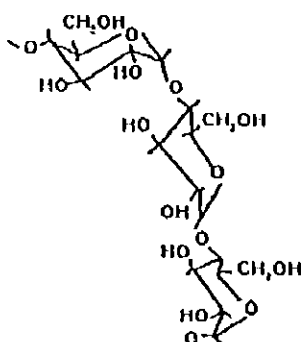
ก. อะไมเลส (Amylase) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง (Linear Polymer) ประกอบด้วยหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose Unit) เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ α -1, 4 (α -1, 4 Glycosidic Linkage) ขนาดโมเลกุลของอะไมเลสจะขึ้นกับแหล่งที่ให้แป้ง และภาวะของกระบวนการที่ใช้แยกแป้ง อะไมเลสประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200-2,000 หน่วย โดยแป้งส่วนใหญ่มีอะไมเลสเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 25 มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างเคมีของอะไมเลส
ที่มา : นรศิษย์ (2547)

นอกจากนี้ อะไมเลสจัดตัวอยู่ในรูปโครงสร้างแบบเกลียว (Helical-Structure) โดยประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส 6 หน่วยย่อยต่อ 1 เกลียว และแต่ละเกลียวจะเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แสดงดังรูปที่ 2.6

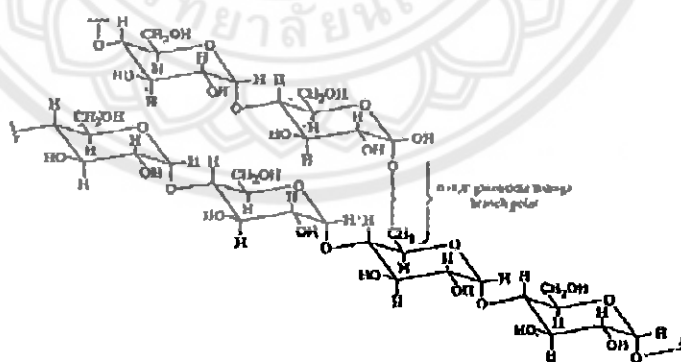
เนื่องจากอะไมเลสมีหมู่ไฮดรอกซิลในปริมาณมาก จึงส่งผลให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโตรฟิลิก (Hydrophilic) สามารถดูดความชื้น และกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของอะไมเลสมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้อะไมเลสจัดเรียงตัวขนานกัน และใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหขึ้น และมีสมบัติไฮโตรฟิลิก ลดลง สารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น



รูปที่ 2.6 การจัดตัวในรูปโครงสร้างเคมีแบบเกลียวของอะไมโลส
ที่มา : นรศิษฎ์ (2547)

ในสารละลายเจือจางจะเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสที่ติดกันเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูง ๆ ผลของความเกะกะ (Steric-Hindrance) ขัดขวางการรวมตัว แต่มีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรง

ข. อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นส่วนของกลูโคสที่ต่อกันเป็นสาย ซึ่งมีกิ่งก้านสาขาแตกแขนงออกไป โครงสร้างที่เป็นสายประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,4 (α -1,4 Glycosidic Linkage) ส่วนรอยต่อระหว่างโซ่หลักกับกิ่งก้านจะต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,6 (α -1,6 Glycosidic Linkage) แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยโครงสร้างในส่วนที่เป็นอะไมโลเพกตินจะคิดเป็นร้อยละ 75



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างเคมีของอะไมโลเพกติน
ที่มา : นรศิษฎ์ (2547)

อะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส และการที่มีโซ่สาขาของโมเลกุลอะไมโลเพกตินทำให้ลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการเรียงตัวของ

สายโซ่ให้ใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน ด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพกติน จึงมีลักษณะใส
ฟิล์มที่ได้จากอะไมโลเพกตินไม่มีความแข็งแรง และไม่สามารถโค้งงอได้เหมือนฟิล์มที่ได้จากอะไมโลส

สายโซ่หลักของอะไมโลเพกติน และอะไมเลสที่อยู่ขนานติดกันมีโอกาสดเกิด
พันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงผลึก (Micellar Crystallites) ซึ่งเป็น
ตัวยัดให้แบ่งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบรฟริงเจนซ์ (Birefringence) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้โดย
การเกิดโพลาไรเซชันครอส (Polarization Cross)

2.2.2.2 สมบัติและการประยุกต์ใช้ของแป้งข้าวเหนียว

แป้งที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Starch) แป้งข้าว
เหนียว มีปริมาณอะไมโลสเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าร้อยละ 20 และเป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการ
ทำให้เป็นเจล (Gelatinized Starch) สามารถผสมพอลิเมอร์สังเคราะห์ในส่วนผสมได้ตั้งแต่ร้อยละ
15-70 ของน้ำหนักแป้ง มองอีกด้านหนึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จากการผสมกันอาจมีแป้งเป็นองค์ประกอบได้
ตั้งแต่ร้อยละ 10-90 ของน้ำหนัก แต่พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ต้องมีปริมาณแป้งเป็น
องค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป โดยที่ปริมาณแป้งยิ่งมาก ยิ่งทำให้พอลิเมอร์สามารถถูกย่อย
สลายได้ทางชีวภาพดีขึ้น และทิ้งสารตกค้าง (Recalcitrant Residues) ในปริมาณน้อยลง พอลิเมอร์
ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบจะมีความสามารถเข้ากันได้กับร่างกายของสิ่งมีชีวิต และสามารถย่อยสลาย
ได้ในร่างกายมนุษย์ และเมื่อนำไปผสมกับสารอนินทรีย์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเติม เช่น ไฮดรอกซีอะพา-
ไทต์ และสร้างขึ้นเป็นวัสดุเชิงประกอบที่นำมาใช้กับร่างกายสิ่งมีชีวิต เพื่อเป็นวัสดุทดแทน หรือเป็น
วัสดุที่เหนียวทำให้เกิดการสร้างกระดูกใหม่ขึ้นมาแทนที่ และยังไม่ทิ้งสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อ
เนื้อเยื่อ โดยการสร้างในรูปแบบของอุปกรณ์การแพทย์ชนิดแผ่นเจลเนื้อแน่น เพื่อนำไปใช้ในการยึด
ตรึงกระดูกบริเวณที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักมาก เช่น กะโหลกศีรษะ กระดูกบริเวณใบหน้า และกระดูก
หู เป็นต้น และเพื่อให้ได้วัสดุที่มีสมบัติเฉพาะ และเหมาะสมในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ
โดยทั่วไปแป้งมักถูกเติมสารเติมแต่ง เช่น สารเสริมสร้างพลาสติก สารช่วยผสม สารเติมเต็ม ส่วน-
เสริมแรง สารก่อผลึก เป็นต้น แป้งจะถูกตัดแปรงโครงสร้าง และผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อให้ได้มีสมบัติที่
ต้องการ และเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และการย่อยสลายทางชีวภาพ เช่น วัสดุทางการแพทย์
สารยึดติด สิ่งทอ ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น การที่สามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์อย่าง
มากมาย เกิดจากสมบัติของแป้งในด้านความชื้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยึดติด และการเกิดเป็น
ฟิล์ม นอกจากนี้ แป้งยังมีราคาถูก สามารถควบคุมคุณภาพได้ และหาได้ง่าย แป้งข้าวเหนียว
สามารถนำไปปรับปรุงสมบัติด้านต่างๆ ได้ โดยผ่านกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทาง
ชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ เพื่อทำการผลิตแป้งที่มีสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการ และสามารถนำไปใช้
ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง

2.3 หลักการที่ใช้ในการตรวจสอบ

2.3.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD)

โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์วัฏภาค (Phase) จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชัน (X-Ray Diffraction : XRD) ซึ่ง XRD นั้นเป็นเทคนิคที่นำไปใช้วิเคราะห์ และระบุองค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของสารที่มีลักษณะเป็นผลึก (Crystalline) และวัสดุที่มีความเป็นผลึกสูงจะให้ลักษณะของพีค (Peak) ที่สูง และแคบ ในขณะที่วัสดุที่มีความเป็นผลึกต่ำ หรือเป็นอสัณฐาน (Amorphous) นั้นจะให้ลักษณะของพีค (Peak) ที่ต่ำ และกว้าง ซึ่งเทคนิค XRD นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งผง (Powders) และผลึกเดี่ยว (Single Crystals)

ในการเตรียมตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ ถ้าเป็นของแข็งตัวอย่างต้องผ่านการบดด้วยโกร่ง (Mortar) หรือลูกบด เพื่อให้เป็นผงละเอียดก่อนจะทำการวิเคราะห์ หลังจากนั้นทำการอัดผงตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ลงในที่ใส่ตัวอย่าง (Sample Holder) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์



รูปที่ 2.8 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์
ที่มา : อ่อนลมี (2552)

2.3.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิคการกระตุ่นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometry: FTIR)

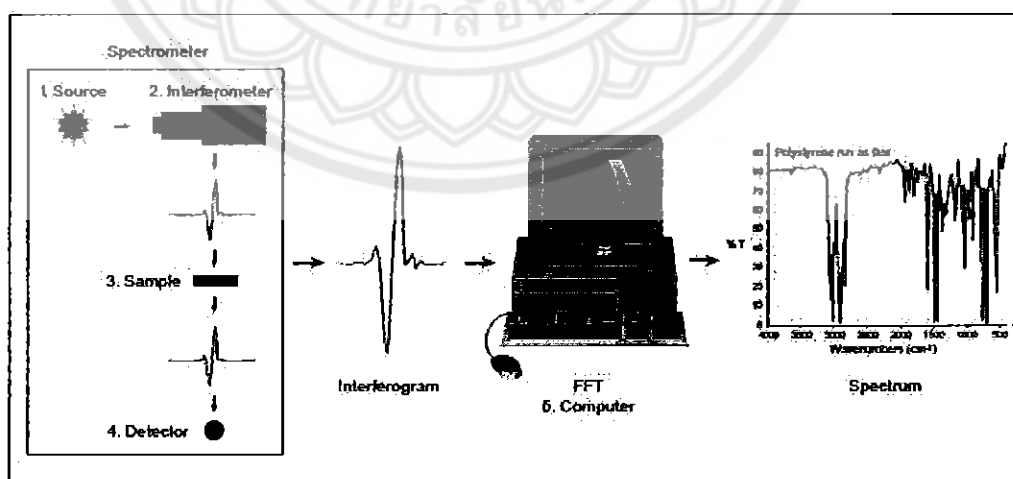
การวิเคราะห์ฟังก์ชันนัลกรุป (Functional Group) ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ คือ เตรียมให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะบางมาก ๆ คือ มีความหนาประมาณ 0.01-0.1 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงผ่านได้ มีวิธีการเตรียมโดยใช้โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ซึ่งเป็นสารพวกอัลคาไลเฮไลด์ โดยใช้สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 2.0 มิลลิกรัม ผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ ประมาณ 100-200 มิลลิกรัม บดให้เข้ากันในโกร่ง จนเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อบดเสร็จแล้วนำไปใส่ในแม่พิมพ์ (Die) แล้วนำ แม่พิมพ์ ไปเข้าเครื่องไฮดรอลิก (Hydraulic Press) โดยใช้แรงดันประมาณ 15 ตัน หลังจากนั้นลดความดัน และปลดเครื่อง

อัดไฮโดรลิกออกจาก แม่พิมพ์ จะได้ตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์มบาง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ต่อไปด้วย เครื่องสเปกโทรสโกปี โดยใช้ช่วงคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$ โดยทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยช่วงแสงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะสะท้อนไปที่ Sample Compartment ผ่าน Sample ซึ่งจะมีการดูดกลืนอินฟราเรด เอาไว้บางส่วนในบาง ความยาวคลื่น ส่วนอินฟราเรดที่ไม่ถูกดูดกลืนจะผ่านเข้าสู่ Detector โดยสัญญาณที่ได้คอมพิวเตอร์ จะทำการแปลงสัญญาณ Interferogram ด้วยสมการ Fourier Transform ผลที่ได้จะเป็นสเปกตรัม การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสาร ที่ความยาวคลื่นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.9

ตารางที่ 2.2 ช่วงคลื่นของฟังก์ชันกรุปที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด

ช่วงคลื่น (cm^{-1})	ฟังก์ชันกรุป
2700-3700	OH ⁻ stretching
1631	OH ⁻ bending
1300-1450	CO ₃ ²⁻
1062	PO ₄ ³⁻ stretching
1031	
1027	
603	
560	PO ₄ ³⁻ bending

ที่มา : Anee T.K. et al. (2003)



รูปที่ 2.9 การทำงานของเทคนิคการกระตุ่นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด

ที่มา : McClelland (2543)

2.3.3 การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นเทคนิคเฉพาะทางที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ศึกษาโครงสร้าง และสมบัติบางประการของสสาร ค่าความชัดลึก (Spatial Resolution) สูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบแสง ทั้งนี้เป็นเพราะ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้สมบัติคลื่นของอิเล็กตรอนซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีอำนาจแยกแยะได้ถึง 0.2 นาโนเมตร และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบๆ ได้ ทำให้ภาพที่ได้มีความชัดลึกสูง นอกจากนี้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDXS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WED) เพื่อให้ข้อมูลในเชิงเคมีอีกด้วย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องที่ใช้ส่องดูวัตถุขนาดเล็กมาก ๆ ให้เห็นใหญ่ขึ้นได้กว่าเดิมถึงสองแสนเท่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นประโยชน์มากในการศึกษาค้นคว้าทางการแพทย์ โลหะวิทยา และวิทยาศาสตร์ อื่นหลายสาขา (บัญชา, 2544)

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถวิเคราะห์ได้ 2 ลักษณะ คือ

2.3.3.1 การดูลักษณะของพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งสามารถดูความแตกต่างของพื้นผิวโดยขึ้นกับลักษณะของ Detector ได้โดยแบ่งเป็น

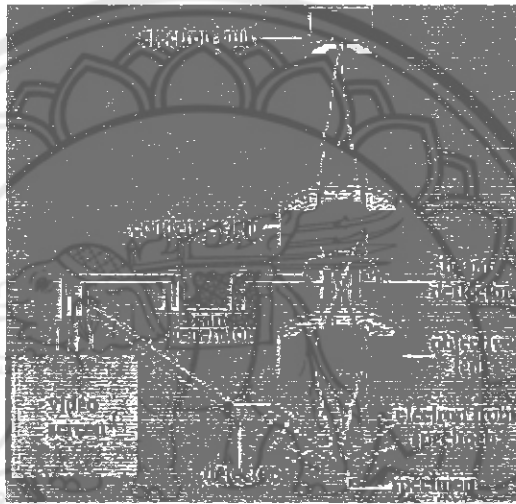
ก. ภาพที่ได้จากสัญญาณ Secondary Electron จะได้ภาพที่เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่มีความสูงต่ำ ขรุขระ ที่เกิดขึ้นจริงบนตัวอย่าง และสามารถวัดขนาดต่าง ๆ บนตัวอย่างนั้นได้

ข. ภาพที่ได้จากสัญญาณ Back Scattered Electron จะได้ภาพที่มีลักษณะที่เป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ แต่ให้ความแตกต่างบนพื้นผิวของวัตถุนั้น ธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่าจะมีเฟสที่สว่าง กว่าธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่า

2.3.1.2 ลักษณะของตัวอย่าง และชนิดกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แบบที่มีต้องการสภาพความเป็นสุญญากาศสูง การเตรียมตัวอย่างที่จะศึกษาต้องแห้ง ไม่มีความชื้น และไม่ปนเปื้อนสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน (น้ำมัน) เพราะเมื่อชิ้นงานอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ความชื้น หรือสารไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ขัดขวางเส้นทางของอิเล็กตรอนทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจนอีกทั้งโมเลกุลเหล่านี้อาจไปเกาะยังส่วนต่างๆ ของกล้อง เช่น ผิวของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป็นเหตุให้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมีอายุการใช้งานสั้นลง หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำแสงอิเล็กตรอนใหญ่ หรือเล็กได้ตาม

ต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำแสงอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำแสงอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำแสงอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกส่งไปเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ แสดงในรูปที่ 2.10

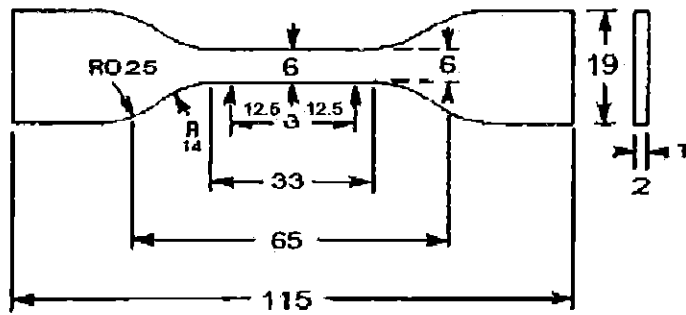
การเคลือบผิวหน้าชิ้นงานด้วยฟิล์มที่นำไฟฟ้าบาง ๆ (ประมาณ 100 อังสตรอม) ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้เคลือบผิว ได้แก่ ทอง ทองผสมแพลทินัม และคาร์บอน การเคลือบด้วยทอง หรือทองผสมแพลทินัมจะให้ได้ภาพที่คมชัดกว่าการเคลือบด้วยคาร์บอน (บัญชา, 2544)



รูปที่ 2.10 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา : จักรพันธ์ (2551)

2.3.4 การทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุ

ความแข็งแรงดึงเป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญอย่างหนึ่งของวัสดุที่มักจะมีการทดสอบกัน ความแข็งแรงดึงของวัสดุแสดงถึงความต้านทานของวัสดุนั้นต่อการยืด (Elongation) หรือการแตกหัก (Breaking) เมื่อมีแรงดึงวัสดุ ในการทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมนำชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์มขนาดเท่าแม่พิมพ์มาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ (Dumbbell) โดยมีขนาด และความหนา ยึดตามมาตรฐาน ASTM D638 Type IV ดังรูปที่ 2.11 นำชิ้นทดสอบไปติดตั้งกับหัวจับของเครื่องทดสอบ โดยปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบถูกยึดเข้ากับหัวจับของเครื่องทดสอบ และใช้แรงดึงหัวจับทั้งสองให้เคลื่อนออกจากกันวัสดุที่ทดสอบมักจะยืด และขาดจากกันตรงบริเวณใจกลางที่แคบของวัสดุ สามารถอ่านค่าแรงดึง และระยะยืดได้จากหน้าปัดบนเครื่อง หรืออ่านจากกราฟของเครื่องบันทึก



รูปที่ 2.11 ลักษณะของชิ้นทดสอบ บริเวณที่จับและบริเวณการยืดออก
ที่มา : ริงสฤษฏี (2553)

คำนวณหาค่าความแข็งแรงดึงได้จาก สมการที่ (2.1)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นแรงดึง มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

P คือ แรงดึงภายนอกที่กระทำต่อวัสดุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร (mm^2)

คำนวณหาค่ามอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) ได้จากสมการที่ (2.2)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.2)$$

เมื่อ E คือ มอดูลัสของยังส์ มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

σ คือ ความเค้นแรงดึง มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

ϵ คือ ความเครียดแรงดึง

ค่ามอดูลัสเป็นสิ่งที่วัดความแข็งแรงดึง (Stiffness) ของวัสดุซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการแปรรูป หรือการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ขณะรับแรง

คำนวณหาร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดได้จาก สมการที่ (2.3)

$$\% \text{Elongation at Break} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

เมื่อ %Elongation at Break คือ ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ΔL คือ ระยะความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการทดสอบ

ค่าความแข็งแรงดึง ($\Delta L = L - L_0$) มีหน่วยเป็น

มิลลิเมตร (mm)

L_0 คือ ระยะความยาวเดิมของวัสดุ หรือค่า Gage Length มี

หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รังสฤษฎ์ (2553) ได้ทำการศึกษาโครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่าง แป้งข้าวเจ้า กับไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยนำกระดูกวัวมาสกัดเอาโปรตีนออกจนหมด ด้วยการต้มในน้ำร้อน และเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดความเร็วสูง จนสามารถเตรียมเป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ขนาดนาโนเมตร จากนั้นนำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นตัวเติมเพื่อเสริมแรงให้กับแป้งข้าวเจ้า ด้วยปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนัก โดยผงที่ได้นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ และองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และเทคนิคการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (EDS) ตามลำดับ พร้อมกับวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากการทดสอบพบว่า การเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จะได้ชิ้นงานที่มีสมบัติความแข็งแรงดึงมากที่สุด

Rukudjarit และคณะ (2007) ได้สังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว โดยนำกระดูกวัวสดที่ได้ตามท้องตลาดมาสกัดเอาโปรตีนออกจนหมด ด้วยการต้มในน้ำร้อน และเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำมาบดย่อยให้ละเอียดมากที่สุด ก่อนนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดความเร็วสูง จนสามารถเตรียมเป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ขนาดนาโนเมตร ผงที่ได้นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ และองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และเทคนิคการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (EDS) ตามลำดับ พร้อมกับวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) พบว่าผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้เป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีความบริสุทธิ์ มีค่า Ca:P เท่ากับ 1.66 และเป็นผลึกที่มีขนาดนาโนเมตรที่ระยะเวลาการบด 2-4 ชั่วโมง

Reis และคณะ (1997) ได้พัฒนาวัสดุที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ที่มีแปงเป็นองค์ประกอบพื้นฐานกับไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นตัวเติมเพื่อเสริมแรงด้วยปริมาณร้อยละ 10, 20, และ 30 โดย

น้ำหนัก ชั้นแรกทำการปรับแต่งสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิค Rotating drum หรือเทคนิคการอัดรีดด้วยสกรู (Twin-screw Extrusion (TSE)) ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดแบบทั่วไป (Conventional-Injection Molding) และเทคนิคการฉีดด้วยแรงเฉือน (Shear-Controlled Orientation In-Injection Molding (Scorim)) ทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติเชิงกลดีมาก จากการทดลองพบว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ร้อยละ 30 เป็นปริมาณการเติมที่ดีที่สุดด้วยเทคนิค TSE และ Scorim เนื่องจากเห็นเส้นใยพอลิเมอร์เกิดขึ้นรอบๆ อนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ และเป็นการพัฒนาการจัดเรียงของเส้นใยพอลิเมอร์และอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ให้มีความแน่นตัวมากขึ้น วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และเทคนิค Raman-Spectroscopy วัสดุผสมมีการย่อยสลายเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการย่อยสลายเฉพาะเฟสพอลิเมอร์

Mano และคณะ (1999) ได้ศึกษาวัสดุผสมโดยการนำแป้งกับพอลิเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ (EVOH) เรียกเป็น SEVA-C นำมาผสมกันระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติเชิงกล การย่อยสลาย และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยมีไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นตัวเติม งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลจากสารตัวเติม และสารเกิดฟอง (Blowing-Agent) ในองค์ประกอบของวัสดุผสมด้วยเทคนิค (Dynamic Mechanical Analysis (DMA)) เพื่อเป็นการศึกษาการยืดหดตัว (Viscoelastic) ของ SEVA-C ในช่วงอุณหภูมิ และความถี่ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีสมบัติการยืดหดตัวมาจากลักษณะเฉพาะของแป้งและเฟสของ EVOH ที่รองรับแรงไว้ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMA พบว่าวัสดุที่มีเนื้อพรุนมาจากสารเกิดฟอง มีความแข็งแรงทางกลเท่ากับวัสดุผสมที่เป็นเนื้อแน่น วัสดุผสมที่ได้จากงานวิจัยมีศักยภาพสูงในการใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูก หรือวัสดุโครงสร้าง (Scaffold) ที่สามารถใช้งานบริเวณที่ต้องการรับน้ำหนักได้

Malafaya และคณะ (2001) ได้ศึกษากระบวนการผลิตแบบใหม่ในการผลิตวัสดุผสมที่มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์กับแป้ง กระบวนการนี้ประกอบด้วย การเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของแป้ง และทำให้แป้งไปห่อหุ้มอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีขนาดแตกต่างกันอยู่ในช่วง 700 - 3000 ไมครอน กระบวนการนี้เป็นการออกแบบวัสดุผสมที่มีสมบัติในการถูกดูดซึมได้ และตอบสนองแบบว่องไวต่อเนื้อเยื่อ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการย่อยสลายในสิ่งแวดล้อมจำลอง (In Vitro) และศึกษาพฤติกรรมตอบสนองต่อเนื้อเยื่อหลังการแช่ในของเหลวที่เลียนแบบภายในร่างกาย (SBF) วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค (Induced Coupled Plasma (ICP)) พบว่าภายในสิ่งแวดล้อมจำลองอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ถูกดูดซึมได้ จึงคาดว่าสามารถใช้งานภายในร่างกายของมนุษย์ได้

Vaz และคณะ (2001) ได้ศึกษาวัสดุผสมแป้ง เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิเมอร์ และไฮดรอกซีอะพาไทต์ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของสารช่วยประสาน (Coupling Agent) ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการช่วยประสานระหว่าง 2 เฟส และทำให้สามารถเติมสารตัวเติมได้ใน

ปริมาณมากขึ้น สารช่วยประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เซอร์โคเนต และไซเลน ประสิทธิภาพเชิงกล ประเมิน โดยการทดสอบความทนต่อแรงดึง และสัณฐานวิทยาของบริเวณเชื่อมต่อ 2 เฟส จากการ ทดลองพบว่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้เซอร์โคเนตเป็นสารช่วย ประสานเซอร์โคเนตช่วยทำให้เกิดการเชื่อมข้ามภายในเฟสของพอลิเมอร์ และช่วยทำให้เกิดพันธะ ไฮโดรเจนระหว่างพอลิเมอร์กับเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ นำมาสู่การยึดเกาะที่ดีมากของพอลิเมอร์ กับอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์

Sousa และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของการผสมแบงก์กับเอทิลีน ไวนิลแอลกอฮอล์โคพอลิ- เมอร์ (SEVA-C) โดยไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นตัวเติมในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งสมบัติทางกายภาพด้วยเทคนิคการอัดรีดแบบสกรูคู่ Twin-Screw- Extrusion (TSE) วัสดุผสมที่ได้นำไปขึ้นรูปเป็นแท่งเพื่อทดสอบแรงดึง โดยมีเทคนิคการขึ้นรูปอยู่ 2 ประเภท คือ การฉีดแบบทั่วไป และการฉีดด้วยแรงเฉือน แท่งทดสอบที่ได้นำไปทดสอบแรงดึง และ วิเคราะห์การยึดหดตัว (Viscoelastic) ของชิ้นทดสอบที่ได้จากแม่พิมพ์ด้วยเทคนิค (Dynamical- Mechanical Analysis (DMA)) ขณะถูกฉีดผ่านไปยังแม่พิมพ์ องค์ประกอบทางแร่ของชิ้นทดสอบ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Wide Angle X-Ray Diffraction (WAXD) และ พื้นผิวบริเวณจุดแตกขาดของชิ้นทดสอบ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค และเครื่องมือทั้งหมดข้างต้น พบว่าเทคนิค SCORIM ช่วยทำให้ วัสดุผสมเกิดความแข็งแรงสูงถึงร้อยละ 12 ของปริมาณในการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับเทคนิคการฉีดแบบทั่วไป ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DMA พบว่าโครงสร้าง ภายในของ SEVA-C มีการสลายตัวเนื่องด้วยความร้อน ขึ้นกับสัดส่วนแบงก์ในพอลิเมอร์ และพบว่ายิ่ง เติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ในส่วนผสมมากขึ้น ทำให้ทิศทางการเรียงตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ใน เฟสของพอลิเมอร์ลดลง อย่างไรก็ตามวัสดุผสมที่ได้มีค่ามอดูลัสสูงถึง 7 จิกกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่าที่ สามารถนำไปใช้งานทดแทนกระดูกเนื้อแน่นได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการงาน

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นที่ 1 การเตรียมไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว โดยสกัดจากวิธีทางความร้อน ซึ่งจะมีการตรวจสอบผลของไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะวัฏภาคโดย XRD และการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน โดย FT-IR และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดย SEM

ขั้นที่ 2 จะเป็นการเตรียมวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว โดยการหล่อแบบ Slip Casting จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโดย SEM และทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว
- 3.1.2 แบ่งข้าวเหนียว ตรา หมี่คู่ดาว
- 3.1.3 เจลาตินผง ตรา Fluka
- 3.1.4 สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เกรด BF 17 W
- 3.1.5 กลีเซอรอล (Glycerol 99%)
- 3.1.6 น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือ

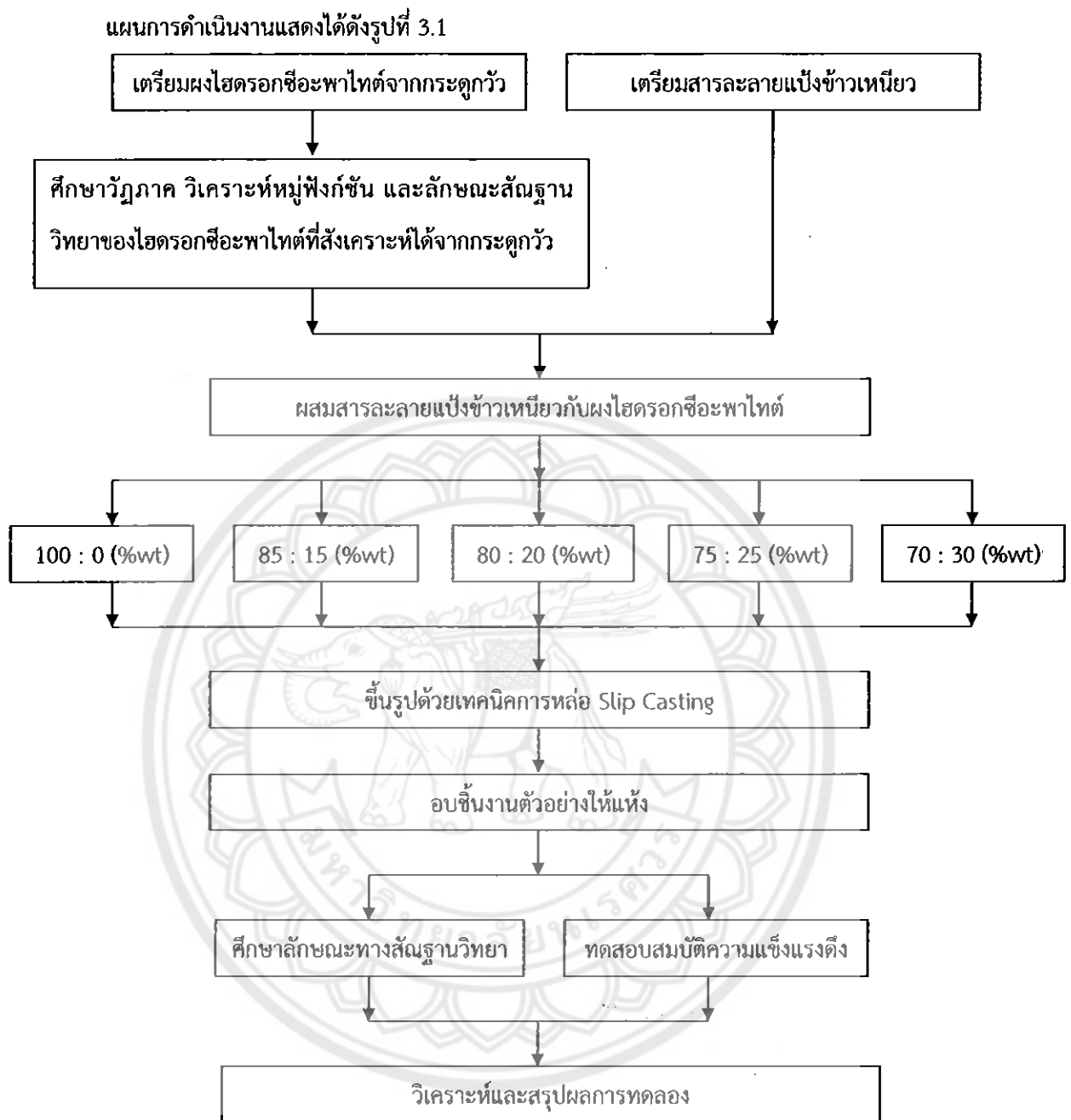
- 3.2.1 เตาเผา (Furnace)
- 3.2.2 ตะแกรงขนาด 270 เมช (Sieve)
- 3.2.3 โกร้งบด (Mortar)
- 3.2.4 เตาอบ (Oven)
- 3.2.5 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD)
- 3.2.6 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Spectrometry : FT-IR)
- 3.2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)
- 3.2.8 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine)

15944272

ร.ร.

พ794๗.

2554



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว

3.3.1.1 นำเอากระดูกวัวไปกำจัดไขมัน และโปรตีนออกให้หมด โดยการต้มในหม้อสแตนเลส ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง และต้องทำการเปลี่ยนน้ำต้มที่ใช้ใหม่ทุกๆ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำกระดูกที่ผ่านการเผาแคลไซน์ จากนั้นนำไปบดด้วยโกร่ง (รังสฤกษ์, 2553)

3.3.1.2 นำผงกระดูกที่ได้ไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 270 เมช นำผงกระดูกที่ผ่านการร่อนแล้ว ไปทำการตรวจสอบเพื่อศึกษาวิฤภาคโดยใช้เทคนิค (XRD) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยใช้เทคนิค (FTIR) และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยใช้กล้อง (SEM)

3.3.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว

3.3.2.1 เตรียมสารละลายแป้งข้าวเหนียวปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งแป้งข้าวเหนียว 3 กรัม ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายแป้งข้าวเหนียว

3.3.2.2 การเตรียมสารละลายตัวเติมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งเจลาติน 1 กรัม ผสมสารละลายพีวีเอ 5 มิลลิลิตร และผสมในสารละลายกลีเซอรอล 3 มิลลิลิตร ละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.3.2.3 นำสารละลายแป้งข้าวเหนียวจาก 3.3.2.1 และสารละลายตัวเติมจาก 3.3.2.2 มาผสม และกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.2.4 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ แป้งข้าวเหนียว 85 กรัม มีไฮดรอกซีอะพาไทต์ 15 กรัม แป้งข้าวเหนียว 5 กรัม มีไฮดรอกซีอะพาไทต์ $15 \times \frac{5}{85} = 0.88$ กรัม

ดังนั้น ซึ่งผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ 0.88 กรัม ค่อยๆ เติมลงในสารละลายแป้งข้าวเหนียวที่ผสมกับสารละลายตัวเติม ปริมาตร 150 กรัม จะได้น้ำสลอร์รี่ที่มีอัตราส่วนของสารละลายกับผงไฮดรอกซีอะพาไทต์

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างสารละลายแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ได้จาก กระดุกว้าว

สารละลายแป้งข้าวเหนียว (%wt)	ไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดุกว้าว (%wt)
100	0
85	15
80	20
75	25
70	30

3.3.2.5 ทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการหล่อแบบ (Slip Casting) โดยการเทใส่แม่พิมพ์ที่เป็นงานเพาะเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปอบให้แห้ง ในเตาอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง หลังจากการอบให้แห้ง นำชิ้นงานตัวอย่างไปตัดให้เป็นรูปดัมเบลล์ โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM D638 type IV

3.3.2.6 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติ ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ค่ามอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus : E) และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ดังสมการที่ 2.1, 2.2, 2.3 ตามลำดับ

3.3.2.7 ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ผสมกับแป้งข้าวเหนียวบริเวณที่ฉีกขาด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การศึกษาลักษณะวัฏภาคโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Technique) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ผงไฮดรอกซีอะพาไทด์ตัวอย่างที่เตรียมได้จากกระดุกว้าว เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของสารที่มีลักษณะเป็นผลึก ของผงไฮดรอกซีอะพาไทด์ โดยการระบุพีคของไฮดรอกซีอะพาไทด์ซึ่งมีสูตรเคมีเป็น $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ โดยนำไปเทียบกับแบบอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 74-0565

3.4.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิคการกระตุ่นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (Fourier Transform Spectrometry : FTIR)

การวิเคราะห์ฟังก์ชันนัลกรุป (Functional Group) ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์เตรียมตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ คือ เตรียมให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะบางมากๆ คือ มีความหนาประมาณ 0.01-0.1 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงผ่านได้ มีวิธีการเตรียมโดยใช้โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ซึ่งเป็นสารพวกอัลคาไลเฮไลด์ โดยใช้สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 2.0 มิลลิกรัม ผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ ประมาณ 100-200 มิลลิกรัม บดให้เข้ากันในโกร่ง จนเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปใส่ในแม่พิมพ์ (Die) แล้วนำ แม่พิมพ์ไปเข้าเครื่องไฮดรอลิก (Hydraulic press) โดยใช้แรงดันประมาณ 15 ตัน หลังจากนั้นลดความดัน และปลดเครื่องอัดไฮดรอลิกออกจาก แม่พิมพ์ จะได้ตัวอย่างที่เป็นแผ่นฟิล์มบาง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ต่อไปด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยใช้ช่วงคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$ โดยนำไปเปรียบเทียบกับช่วงคลื่นมาตรฐาน

3.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

การวิเคราะห์ทำโดยนำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้นำไปตรวจดูโครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยา การเตรียมตัวอย่างที่จะศึกษาต้องแห้ง ไม่มีความชื้น และไม่ปนเปื้อนสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน (น้ำมัน) เพราะเมื่อชิ้นงานอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ความชื้น หรือสารไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ชัดขวางเส้นทางของอิเล็กตรอนทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน อีกทั้งโมเลกุลเหล่านี้อาจไปเกาะยังส่วนต่างๆ ของกล้อง แล้วทำการเคลือบผิวหน้าชิ้นงานด้วยฟิล์มที่นำไฟฟ้าบาง ๆ (ประมาณ 100 อังสตรอม) ซึ่งวัสดุนำมาใช้เคลือบผิวคือทอง โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้างเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่บริเวณพื้นผิวรอยฉีกขาดจากการทดสอบความแข็งแรงดึง

3.4.4 การทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุ

ความทนแรงดึงเป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญอย่างหนึ่งของวัสดุที่มักจะมีการทดสอบกัน ความทนต่อแรงดึงของวัสดุแสดงถึงความต้านทานของวัสดุนั้นต่อการยืด (Elongation) หรือการแตกหัก (Breaking) เมื่อมีแรงดึงวัสดุ ในการทดสอบความทนต่อแรงดึงของวัสดุผสมนำชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 5 ชิ้น ที่เป็นแผ่นฟิล์มขนาดเท่าแม่พิมพ์มาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ โดยมีขนาดและความหนา 2 มิลลิเมตร โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM D638 type IV นำชิ้นทดสอบไปติดตั้งกับหัวจับของเครื่องทดสอบ ปลายทั้งสองของชิ้นทดสอบถูกยึดเข้ากับหัวจับของเครื่องทดสอบ และใช้แรงดึงหัวจับทั้งสองให้เคลื่อนออกจากกัน วัสดุที่ทดสอบมักจะยืด และขาดจากกันตรงบริเวณใจกลาง

ที่แคบของวัสดุ สามารถอ่านค่าแรงดึง และระยะยืดได้จากหน้าปัดบนเครื่อง หรืออ่านจากกราฟของเครื่องบันทึก

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5.1 วิเคราะห์ภูมิภาค หมู่ฟังก์ชัน และสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว

3.5.2 วิเคราะห์สมบัติความแข็งแรงดึง และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.5.3 ปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติความแข็งแรงดึง

3.6 สรุปผลการทดลอง

3.6.1 ลักษณะภูมิภาค หมู่ฟังก์ชัน และสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว

3.6.2 สมบัติความแข็งแรงดึง และสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.6.3 ปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่าง แป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัว ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติความแข็งแรงดึง

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

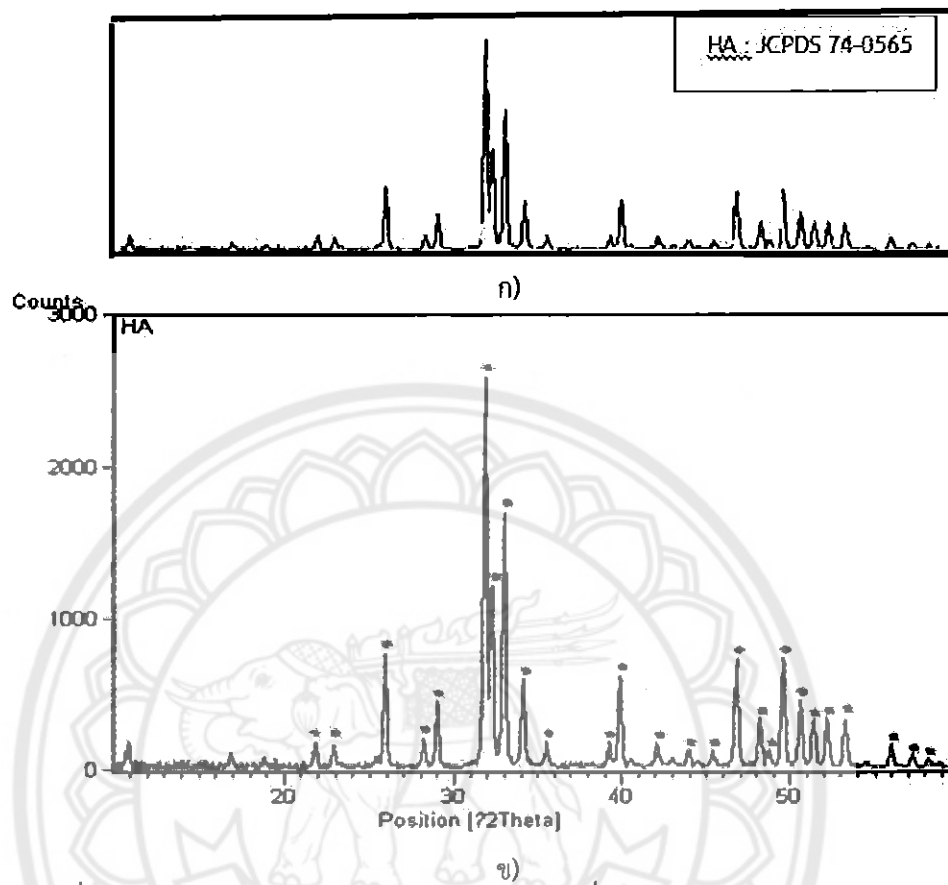
ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเริ่มจากการผลการตรวจสอบผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วัสดุของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD) เทคนิคการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยวิธีการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform-Infrared Spectrometry : FTIR) และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยใช้เทคนิคของเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning-Electron Microscope : SEM) จากนั้นจะนำเสนอผลการทดสอบเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบแปงข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว และผลการวิเคราะห์พื้นผิวรอยขาดของวัสดุเชิงประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron-Microscope : SEM) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD)

จากการวิเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ในงานวิจัยนี้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD) เพื่อใช้วิเคราะห์ และระบุองค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของสารที่มีลักษณะเป็นผลึก (Crystalline) จะแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปจะพบว่า มีแบบอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว จะมีรูปแบบ (XRD Pattern) ตรงกับแฟ้มข้อมูลตาราง JCPDS (Joint Committee On Powder-Diffraction Standard) No.74-0565 ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีสูตรทางเคมีเป็น $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ซึ่งมีหน่วยเซลล์จัดอยู่ในระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonol) จึงสามารถบ่งบอกได้ว่ากระดูกวัวนั้นสามารถสังเคราะห์เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ได้

จากผลการวิเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD) สรุปว่าได้ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวมีโครงสร้างผลึกเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์



รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์วัฏภาคผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวเปรียบเทียบกับแฟ้มข้อมูล JCPDS No. 74-0565

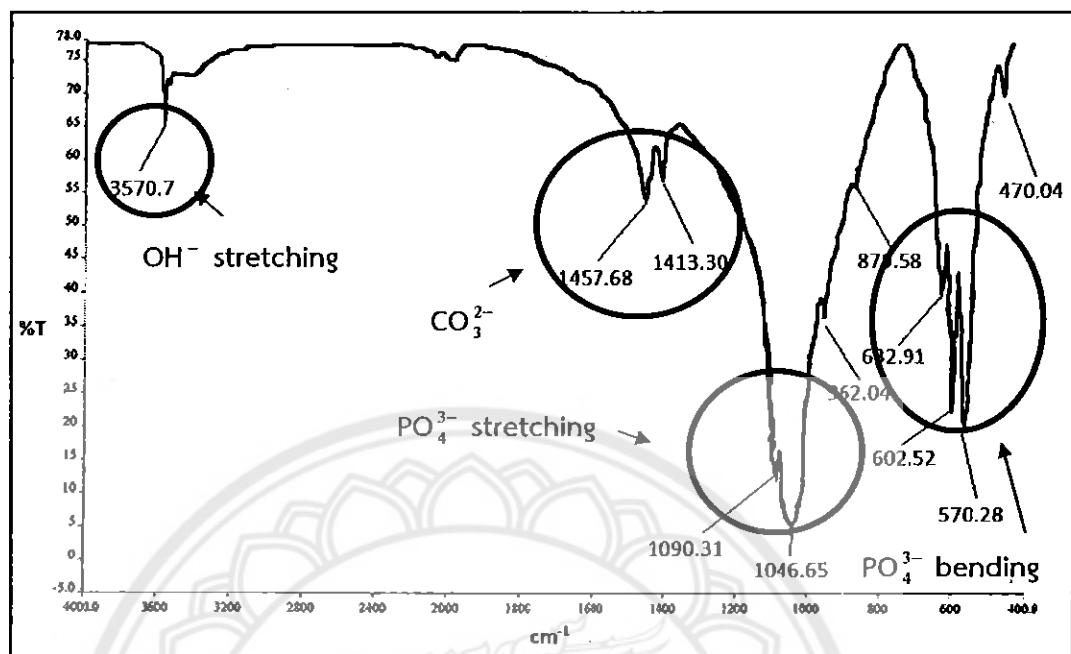
ก) แฟ้มข้อมูล JCPDS No. 74-0565

ข) วัฏภาคผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Spectrometry : FTIR)

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวด้วยเทคนิคการกระตุ้นสารพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด จากการวิเคราะห์ช่วงคลื่นของฟังก์ชันของหมู่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด โดยในช่วงคลื่นที่ $2700-3700\text{ cm}^{-1}$ แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ OH^- stretching ในช่วงคลื่นที่ $1300-1450\text{ cm}^{-1}$ แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ CO_3^{2-} ในช่วงคลื่นที่ 1046.65 cm^{-1} และ 1090.31 cm^{-1} แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ PO_4^{3-} stretching และในช่วงคลื่นของ 632.91 cm^{-1} , 602.52 cm^{-1} และ 570.24 cm^{-1} แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ PO_4^{3-} bending แสดงดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 พบว่ามีช่วงคลื่นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน โดยทำการเปรียบเทียบกับช่วงคลื่นต่างๆ จากงานวิจัยของ Anee และคณะ (Anee T.K. et al., 2003) แสดง ดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.2 จะพบว่าพีค $2700-3700\text{ cm}^{-1}$ แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ OH^- stretching ในช่วงคลื่นที่ $1300-1450\text{ cm}^{-1}$ แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ CO_3^{2-} ในช่วงคลื่นที่ 1031 cm^{-1} และ 1062 cm^{-1} แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ PO_4^{3-} stretching และในช่วงคลื่นของ 1027 cm^{-1} , 6023 cm^{-1} และ 560 cm^{-1} แสดงฟังก์ชันนัลกรุปในหมู่ PO_4^{3-} bending

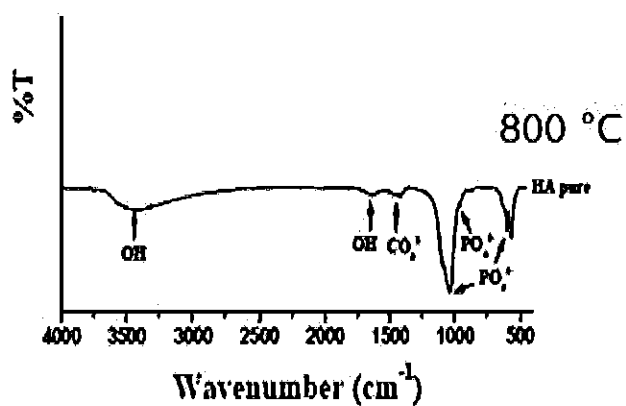
จากผลการวิเคราะห์หมู่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR) สรุปได้ว่าหมู่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวมีหมู่ฟังก์ชันที่มี CO_3^{2-} ซึ่งเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นองค์ประกอบของกระดูกโดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายปะปนอยู่ในไฮดรอกซีอะพาไทต์



รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Spectrometry (FTIR)

ตารางที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว

ช่วงคลื่น (cm ⁻¹)	ฟังก์ชันกรุป
2700-3700	OH ⁻ stretching
1631	OH ⁻ bending
1300-1450	CO ₃ ²⁻
1090.31	PO ₄ ³⁻ stretching
1046.65	
632.91	PO ₄ ³⁻ bending
602.52	
570.24	



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยผ่านการเผาแคลไซน์ที่ 800 องศาเซลเซียส

ที่มา : Anee T.K. et al. (2003)

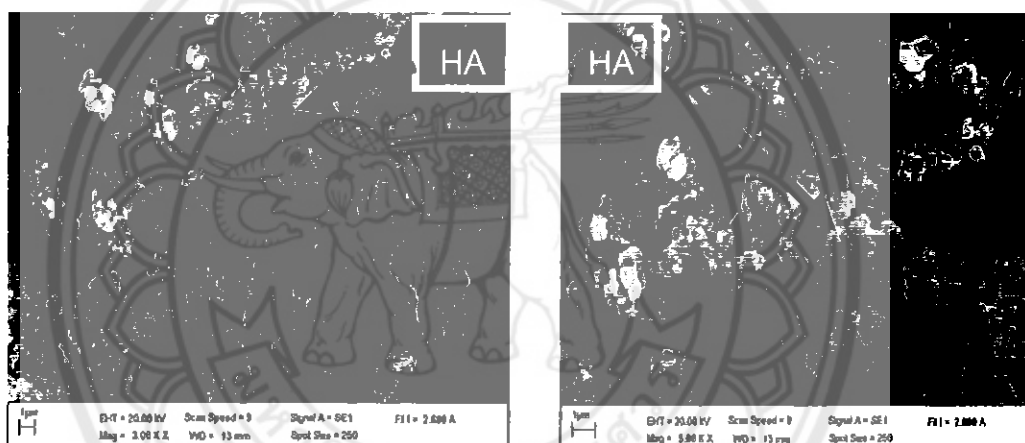
ตารางที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวด้วยเทคนิค FTIR โดยผ่านการเผาแคลไซน์ที่ 800 องศาเซลเซียส

ช่วงคลื่น (cm ⁻¹)	ฟังก์ชันกรุป
2700-3700	OH ⁻ stretching
1631	OH ⁻ bending
1300-1450	CO ₃ ²⁻
1062	PO ₄ ³⁻ stretching
1031	
1027	
603	PO ₄ ³⁻ bending
560	

ที่มา : Anee T.K. et al. (2003)

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัว โดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) จากการทดลองได้นำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้นำไปตรวจดูโครงสร้าง และลักษณะสัณฐานวิทยา แสดงในรูปที่ 4.4 ก) ที่กำลังขยาย 3000 เท่า และ 4.4 ข) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า จากการวิเคราะห์พบว่า อนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์มีลักษณะ ค่อนข้างกลม พื้นผิวโดยรอบไม่เรียบ เกาะกลุ่มกันอยู่เป็นกลุ่มๆ และการที่ลักษณะผิวไม่เรียบของอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์นี้ ทำให้เนื้อแข็งสามารถแทรกตัวยึดเกาะกับอนุภาคได้มากขึ้น ส่งผลให้ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น



ก)

ข)

รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว

ก) กำลังขยาย 3000 เท่า

ข) กำลังขยาย 5000 เท่า

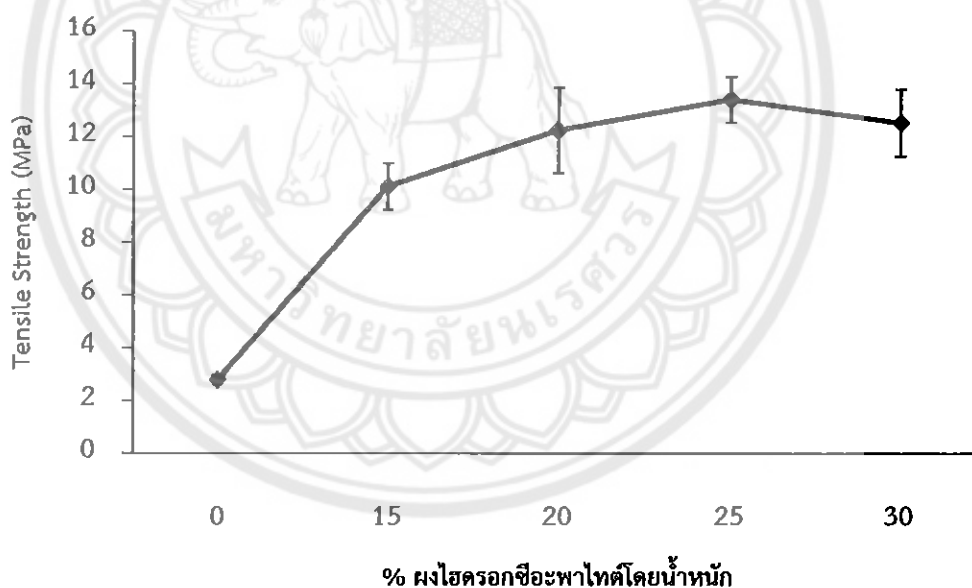
ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผ่านการนำไปวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR จนสามารถยืนยันความเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ถึงความเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ จึงสามารถนำไปทำการขึ้นรูปเป็นวัสดุเชิงประกอบได้ และจากการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM) จะพบว่า การที่ลักษณะผิวไม่เรียบของอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์นี้ ทำให้เนื้อแข็งสามารถแทรกตัวยึดเกาะกับอนุภาคได้มากขึ้น ส่งผลให้ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมต่อการทำเป็นวัสดุเชิงประกอบ

4.2 ผลการศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึง และสัญญาณวิทยาของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว

4.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวในอัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปโดยทำการหล่อขึ้นรูป (Slip Casting) แสดงผลดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวในอัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หลังจากทำการหล่อขึ้นรูป (Slip Casting) จากนั้นนำไปอบในเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นงานไปตัดให้เป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell) จากนั้นจึงไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing-Machine) โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM D-638 Type IV โดยผลการทดลอง แสดงดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)



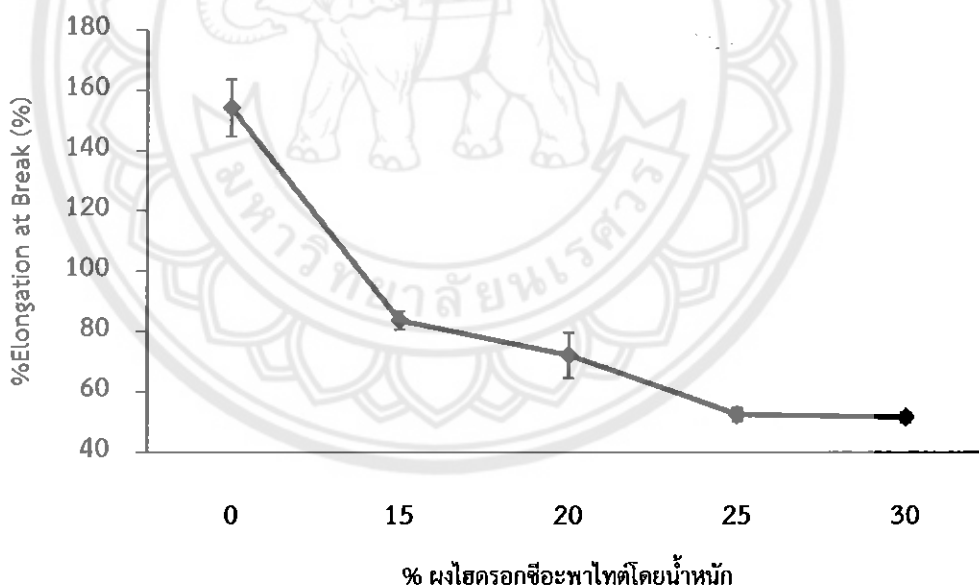
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า สมบัติด้านความ

แข็งแรงตึ้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์ จนถึงการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความแข็งแรงตึ้นจะมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้น จะทำให้ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์มีการกระจายตัวที่ตึ้นกว่า โดยทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงได้เป็นอย่างดี จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงตึ้นมากที่สุด และเมื่อทำการเติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ลงไปมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์เกิดการจับตัวเป็นก้อน เนื่องจากโมเลกุลของไฮดรอกซีอะพาไทต์จะเกิดแรงวัลเตอร์วาล ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่อง เช่น ฟองอากาศ และ รุพรุน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงตึ้นมีค่าลดลง

โดยสังเกตได้จากการวิเคราะห์พื้นผิวรอยขาดของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้นมีการกระจายตัวของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ตึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงตึ้นมีค่ามากที่สุด และที่อัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้นมีการกระจายตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์เกิดการจับตัวเป็นก้อน ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงตึ้นมีค่าลดลง

4.2.1.2 ค่าร้อยละการตึ้นยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ณ จุดขาด

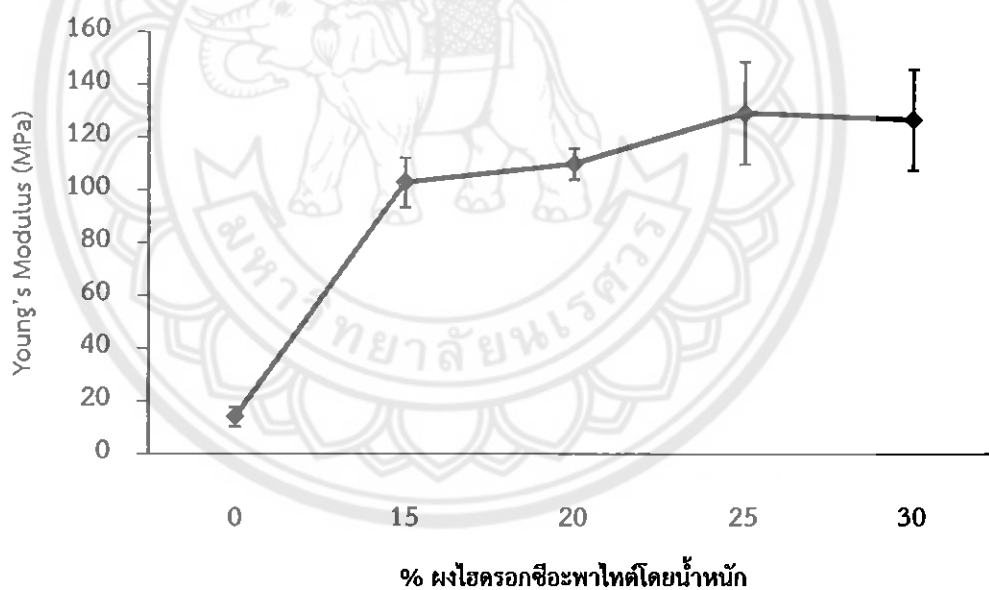


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการตึ้นยืด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากรูปที่ 4.6 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการตึ้นยืด ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ ในอัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าในอัตราส่วนที่ 100:0 เปอร์เซ็นต์

โดยน้ำหนัก ร้อยละการตั้งยัด ณ จุดขาดมีค่ามากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์มากขึ้น เนื่องมาจากผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ ทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นในอัตราส่วนที่ 100:0 ซึ่งมีแต่แป้งข้าวเหนียว และสารเติมแต่งจึงทำให้มีค่าร้อยละการตั้งยัด ณ จุดขาด มากที่สุด และเมื่อเติมปริมาณผงไฮดรอกซีอะพาไทต์มากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ค่าร้อยละการตั้งยัด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง จากการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจาก แป้งข้าวเหนียวเป็นเนื้อพื้น (Matrix) ที่มีความแข็งต่ำ และเมื่อเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ที่มีความแข็งสูงกระจายตัวในชิ้นงานจึงทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น การยึดตัวของชิ้นงานจึงลดลงส่งผลให้ค่าร้อยละการตั้งยัด ณ จุดขาดมีค่าลดลง และที่อัตราส่วนที่ 70:30 มีค่าน้อยที่สุด เนื่องมาจาก ภายในชิ้นงานมีไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่จับตัวเป็นก้อน เกิดการกระจายตัวของส่วนเสริมแรงที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากชิ้นงานเกิดข้อบกพร่อง เมื่อได้รับแรงจากภายนอก ทำให้เกิดการถ่ายโอนแรงได้ไม่เท่ากันทั้งชิ้นงาน จึงทำให้มีค่าร้อยละการตั้งยัด ณ จุดขาดน้อยที่สุด

4.2.1.3 ค่ามอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus)



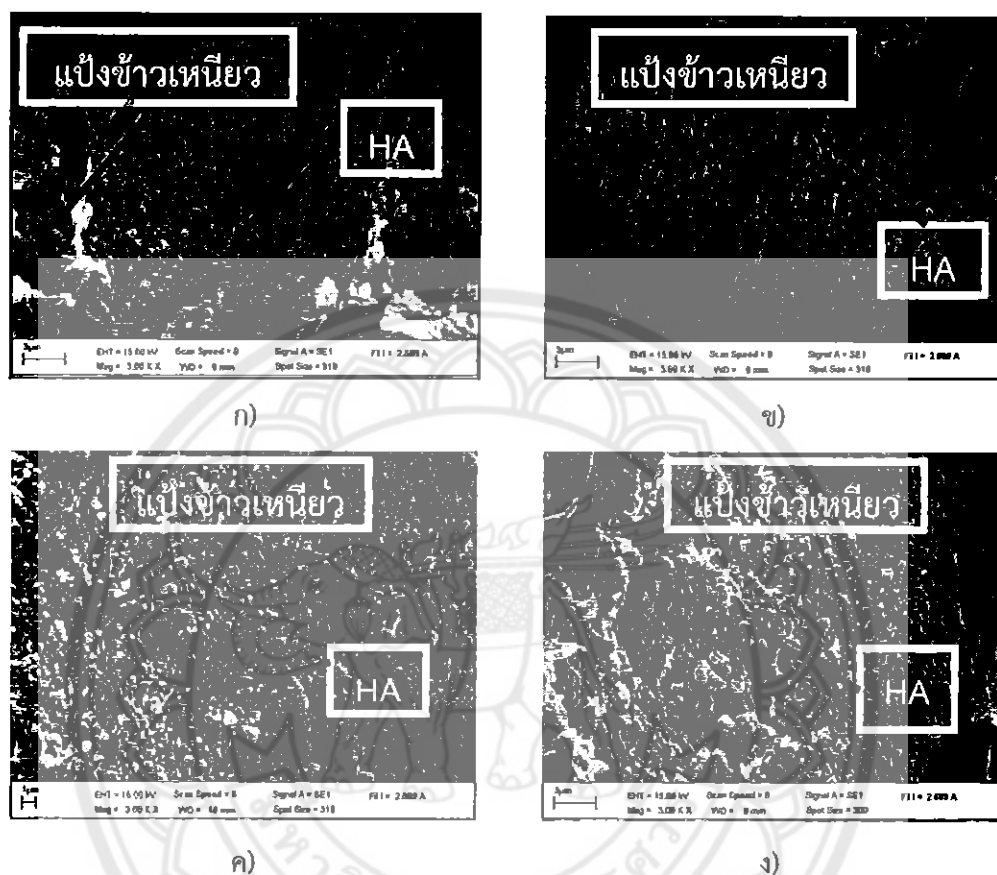
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังส์ ของวัสดุเชิงประกอบแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่ามอดูลัสของยังส์ ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวที่อัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ค่ามอดูลัสของยังส์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่ามอดูลัสสูงกว่า

แปงข้าวเหนียว เมื่อเติมผงไฮดรอกซีอะพาไทด์ลงในแปงข้าวเหนียว จึงทำให้ค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มไฮดรอกซีอะพาไทด์ลงไปมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบจะมีแนวโน้มค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ในการเติมไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้มีการกระจายตัวของไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่สม่ำเสมอ จากรูปที่ 4.8 จะสังเกตได้จากการวิเคราะห์พื้นผิวรอยขาดของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้นมีการกระจายตัวของ ไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ดี ทำให้เนื้อพื้น และส่วนเสริมแรงเข้ากันได้เป็นอย่างดี เกิดการถ่ายโอนแรงในชิ้นงานได้ดี จึงทำให้ค่ามอดูลัสของยังส์มีค่าสูง และในการเติมไฮดรอกซีอะพาไทด์ที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แรงที่พื้นผิวยึดเกาะของอนุภาคกลับมาจับกันเป็นก้อน ทำให้การกระจายตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทด์ในเนื้อพื้นแปงข้าวเหนียวไม่สม่ำเสมอ จึงเกิดข้อบกพร่องขึ้นในชิ้นงานและเมื่อได้รับแรงจากภายนอก จะเกิดการถ่ายโอนแรงได้ไม่เท่ากันทั้งชิ้นงาน ทำให้ค่ามอดูลัสของยังส์ลดลง



4.2.2 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ โดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)



รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบแบ่งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

- ก) ที่อัตราส่วน 85:15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ข) ที่อัตราส่วน 80:20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ค) ที่อัตราส่วน 75:25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ง) ที่อัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron-Microscope : SEM) ของชิ้นงานบริเวณพื้นผิวรอยขาดจากการทดสอบแรงดึง จากรูปที่ 4.8 ก) และรูปที่ 4.8 ข) พบว่ามีอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์กระจายตัวแทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อพื้นของแบ่งข้าวเหนียว แต่ยังกระจายตัวไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน และจะสามารถสังเกตเห็นก้อนสีขาวของไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ ส่วนในรูปที่ 4.8 ค) เป็นชิ้นงานที่เติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะสามารถแยกแยะได้ถึงความแตกต่าง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีเดิม

ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่อัตราส่วนอื่นๆ เพราะจากที่พื้นที่ผิวที่ค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ มีอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่กระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างเนื้อฟันแบ่งขาวเหนียวอย่างสม่ำเสมอ ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์มีการกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้มีโอกาสที่อนุภาคจะเข้าไปแทรกตัวตามบริเวณรอยแตก หรือฟองอากาศได้มากขึ้น ทำให้ชิ้นมีการถ่ายโอนแรงได้ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.8 ง) เห็นได้ว่าผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมลงไปเกิดการจับรวมตัวเป็นก้อน ส่งผลให้การกระจายตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน จึงทำให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่องขึ้นที่ชิ้นงาน เกิดการถ่ายโอนแรงได้ไม่เท่ากันทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่ลดลง



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการเตรียมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกสัตว์ แล้วทำการเติมในส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว ในอัตราส่วน 100:0, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว จากนั้นนำไปทดสอบความแข็งแรงดึง และตรวจสอบโครงสร้างการกระจายตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ในเนื้อชิ้นงาน สามารถนำเสนอข้อสรุป และผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการวิเคราะห์วัฏภาค และหมู่ฟังก์ชันของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว โดยมีแบบอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว จะมีรูปแบบ (XRD Pattern) ตรงกับ ค่ามาตรฐาน จากตาราง JCPDS No. 74-0565 และช่วงคลื่นของฟังก์ชันนัลกรุป ที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด พบว่าช่วงคลื่นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของ Anee และคณะ

5.1.2 จากการวิเคราะห์ลักษณะสัมพันธ์ฐานวิทยาของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์มีลักษณะค่อนข้างกลม ผิวไม่เรียบ ทำให้เนื้อแป้งข้าวเหนียวสามารถเข้าไปแทรกตัวยึดเกาะ กับอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ดียิ่งขึ้น

5.1.3 จากการทดสอบสมบัติเชิงกล วัสดุเชิงประกอบแป้งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1.3.1 สมบัติด้านความแข็งแรงดึง

จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์ จนถึงการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 25 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความแข็งแรงดึงจะมีแนวโน้มลดลง

5.1.3.2 ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด

จากการทดลองพบว่าในอัตราส่วนที่ 100:0 ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดมีค่ามากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์

5.1.3.3 ค่ามอดูลัสของยังส์

จากผลการทดลองพบว่า ค่ามอดูลัสของยังส์นั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ลงไปเนื้อพื้นแป้งข้าวเหนียว และเมื่อเติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ลงไปมากกว่า 25 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่ามอดูลัสของยังส์จะมีแนวโน้มค่าลดลง

5.1.4 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของ วัสดุเชิงประกอบแป็งข้าวเหนียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมได้จากกระดูกวัว ชิ้นงานที่เติมผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการกระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างเนื้อพื้นแป็งข้าวเหนียวอย่างสม่ำเสมอ ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์มีการกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้มีโอกาสที่อนุภาคจะเข้าไปแทรกตัวตามบริเวณรอยแตก ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้นตามไปด้วย และในอัตราส่วนที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมลงไปเกิดการจับรวมตัวเป็นก้อน ส่งผลให้การกระจายตัวของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน จึงทำให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่องขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทดลองการหาสารตัวเติมชนิดอื่นๆ หรือสารช่วยการกระจายตัวมาช่วยในการขึ้นรูป และช่วยให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 การขึ้นรูปชิ้นงานทำได้ยากเนื่องจากมีการหดตัวสูง ควรจะเปลี่ยนแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงานให้ใช้แม่พิมพ์ที่มีการถ่ายเทความร้อนต่ำ

5.3.2 PVA ไม่ละลายบางส่วน จึงควรใช้เวลาในการกวนสาร ให้ละลายนานมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- จักรพันธ์ สุทธิรัตน์. หินอัคนีและหินแปรภายใต้กล้องจุลทรรศน์. : วิทยาศาสตร์ทั่วไป. ศูนย์หนังสือ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- นรศิษฐ์ จันทรกุล. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวดัดแปร และพอลิเอทิลีนชนิด
ความหนาแน่นต่ำ. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- บัญชา ธนบุญสมบัติ และศุภกาญจน์ คำมณี. (2544). จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งประตูลูกโลก
ระดับจุลภาค. (พิมพ์ครั้งที่ 1). ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ
- รังสฤษฏ์ คุณวุฒิ. (2553). โครงสร้าง และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างไฮดรอกซีอะพาไทต์
กับแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญา วศ.บ. สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
เชียงใหม่
- ศิวดล กัญญาคำ. รายวิชา กรรมวิธีการผลิต(Manufacturing process). สาขาการจัดการงาน
วิศวกรรมและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- สุภาลีณี ลิ้มปานภาพ ชีท. Introduction to Material Science ประจำปีภาคปลาย 2554.
คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- หฤทกัศ กীরติเสวี, และฉัตรชัย วีระนิติสกุล. (2552). ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ. วิศวกรรมสาร
มก. ปีที่ 22 ฉบับที่ 70 (พ.ย. 2552-ม.ค. 2553)
- อ่อนลณี กมลอินทร์ และคณะ. ปริมาณวิเคราะห์โดยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (QUANTITATIVE-
ANALYSIS BY X-RAY DIFFRACTION). วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- Anee T.K. et al. M. Ashok, M. Palanichamy, and S. Narayana Kalkura, "A novel
technique to synthesize hydroxyapatite at low temperature". Department
of Anna University, Chennai 600025, India
- Holliday, L. (1966). "Composite materials". New York : Elsevier.
- Malafaya, P.B., Stappers, F. And Reis, R. L. (2001). "Emulsion Crosslinking as a New
Manufacturing Route to Product Hydroxyapatite Particulates in a Network
of Starch". Key Engineering Materials ; 192-195 : 243-246
- Mano, J. F., Vaz, C. M., Mender, S. C., Reis, R. L. and Cunha, A. M. "Dynamic
mechanical propertite of hydroxyapatite – reinforced and porous starch-
based degradable biomaterials". JOURNAL OF MATERIALS SCINCE: MATERIALS
IN MEDICINE; 10 : 857-862

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- McClelland, J-F., R.W., and Bajic,(2002) "Photoacoustic spectroscopy", in Handbook of Vibrational spectroscopy, Vol. 2 (eds J.M. Chalmers and P.R. Griffiths), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp, 1231-1251 .
- Reis, R. L., Cunha. A. M. ., Allan, P. S. and Bevis, M J. (1997). "Structure Development and Contro of Injection-Molded Hydroxyapatite-Reinforced Starch/EVOH Composites". Advance in Polymer Technology ; 16(4) : 263-277
- Rukudjarit, A., Pengpat,K., Rukudjarit, G. and Tunkasiri T. (2007). "Synthesis and characterization of nanocrystalline hydroxyapatite from nature bovine bone". Current Applied Physics.,8 : 272.
- Sousa, R. A., Mano J. F., Reis, R. L., Cunha, A. M. and Bevis, M. J. (2002). "Mechanical Performance of starch Based Bioactive Composite Biomaterials Molded With Preferred Orientation". POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE ; 42(5) : 1032-1045
- Vaz, C. M., Reis, R. L. and Cunha, A. M. (2001). "Use of coupling agents to enhance the interfacial interactions in starch-EVOH/hydroxyapatite composites". Biomaterilas ; 23 : 629-635.
- Weiner, S. and Wagner, H. D. (1998). "The materials bone : structure - mechanical function Relations". Annual Review of Meterials Science, 28 : 271-298.
- William D. Callister, Jr. (ธันวาคม 2551). MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING AN INTRODUCTION สืบค้นเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2554, จาก <http://tinyurl.com/3ggleat>
- Wurzburg. (1987). "PASTING CHARACTERISTICS OF RICE FLOUR-BASED BATTER COMPARED TO WHEAT FLOUR-BASED BATTER". Deparmnt of Grain Science Kansas State University Manhattan. K S 66506



ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์ โดยการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั้นงาน	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
1	2.86	157.56	14.02
2	2.91	165.62	10.23
3	2.95	139.50	20.34
4	2.55	155.22	13.37
5	2.65	153.21	12.67
เฉลี่ย	2.78	154.22	14.12
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.17	9.48	3.75

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์ โดยการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั้นงาน	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
1	9.66	84.76	96.88
2	10.99	86.25	93.82
3	9.71	86.22	118.19
4	11.12	78.82	103.96
5	9.11	82.76	101.95
เฉลี่ย	10.12	83.76	102.96
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.88	3.10	9.41

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์ โดยการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั้นงาน	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
1	10.78	76.84	105.88
2	11.08	79.82	101.77
3	14.9	60.02	115.89
4	12.35	73.22	113.56
5	12.15	71.21	112.64
เฉลี่ย	12.25	72.22	109.94
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.62	7.58	5.89

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์ โดยการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั้นงาน	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
1	13.74	54.98	136.55
2	13.48	49.24	157.82
3	12.04	53.39	110.45
4	14.42	53.33	129.22
5	13.41	51.52	112.46
เฉลี่ย	13.42	52.53	129.30
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.86	2.12	19.39

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์
โดยการเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั้นงาน	Tensile Strength (MPa)	%Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
1	12.21	52.67	93.46
2	14.33	48.65	128.07
3	11.25	52.36	136.44
4	11.65	51.98	140.48
5	13.38	52.41	134.90
เฉลี่ย	12.53	51.61	126.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.27	1.67	19.09

