

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปกระดูกเทียมจากไฮดรอกซีอะปาไทต์ด้วยกระบวนการขึ้นรูปจากแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปและ เฝ้านึกโดยลักษณะชิ้นงานทดสอบจะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $8 \times 6$  ตารางมิลลิเมตร ยาว 45 มิลลิเมตร โดยปัจจัยการขึ้นรูปที่ศึกษาคือ 1) อัตราส่วนผสมของตัวประสานต่อไฮดรอกซีอะปาไทต์ 2) ความดันในการอัด และ 3) ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป โดยทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดขึ้นรูป (Press Forming) โดยเครื่องไฮดรอลิกเพลสอัดขึ้นรูป และใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design : CCD) เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปกระดูกเทียมจากไฮดรอกซีอะปาไทต์ โดยกำหนดผลตอบในด้านค่าการกดอัดของชิ้นงาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ค่าการตัดโค้งของชิ้นงาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และ ค่าความหนาแน่นโดยรวมของชิ้นงาน(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ความหนาแน่นปรากฏของชิ้นงาน(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ความหนาแน่นจริงของชิ้นงาน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ซึ่งหลังจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology : RSM) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลและการหาปัจจัยที่เหมาะสมพบว่าที่ อัตราส่วนผสมของตัวประสานต่อไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่ 2.8 เปอร์เซ็นต์ตามน้ำหนัก หรือ 0.56 กรัม ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 265 ปอนด์ต่อตารางนิ้วและ ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 26 วินาที เป็นเงื่อนไขการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคือ ค่าแรงกดอัด 73.26 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและค่าการตัดโค้ง 43.46 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าที่ไม่แตกต่างจากค่าที่ได้จากสมการทำนายอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% คุณสมบัติทางกายภาพ ณ จุดนี้ จะได้ค่าความหนาแน่นโดยรวม ความหนาแน่นปรากฏ และ ความหนาแน่นจริง เท่ากับ 1.68, 2.30 และ 2.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 5.1 ซึ่งทั้งคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกระดูกมนุษย์ในส่วนที่ไม่รับแรงมากนักเช่นกระดูกสันคอ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นศักยภาพในการพัฒนาชีววัสดุได้ภายในประเทศ โดยมีคุณภาพที่สอดคล้องกับมาตรฐานในระดับหนึ่ง และควรดำเนินการศึกษาต่อยอดเพื่อพัฒนาชิ้นส่วนทางการแพทย์ให้มีคุณภาพสูงขึ้น ทั้งนี้ผลลัพธ์ของงานวิจัยจะช่วยผลักดันในการผลิตวัสดุทดแทนกระดูกซึ่งในปัจจุบันจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศด้วยราคาที่สูง มาเป็นการผลิตขึ้นเอง

ภายในประเทศด้วยต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงและสามารถนำวัสดุพื้นถิ่น เช่น เปลือกหอยมาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปเป็นวัสดุปลูกถ่ายทดแทนกระดูกโดยผ่านขั้นตอนการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมซึ่งจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพทดแทนการนำเข้าวัสดุดังกล่าวจากต่างประเทศ

**ตาราง 5.1** ค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปได้ค่าผลลัพธ์ของชิ้นงานจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพ

อัตราส่วนผสมของตัวประสาน PVA (กรัม)		ความดันที่ใช้ในการอัด (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)		เวลาที่ใช้ในการอัด (วินาที)
0.56		256		26
Compression (kg/cm <sup>2</sup> )	Bending (kg/cm <sup>2</sup> )	BD (g/cm <sup>3</sup> )	AD (g/cm <sup>3</sup> )	TD (g/cm <sup>3</sup> )
73.26	43.46	1.68	2.30	2.63

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการวิจัยด้านค่าการกดอัดของชิ้นงาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ค่าการดัดโค้งของชิ้นงาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และ ค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และมุ่งเฉพาะการนำไปใช้กับการอัดขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบอัตโนมัติ โดยใช้อัตราส่วนผสมของตัวประสาน PVA กับไฮดรอกซีอะปาไทต์ และทำการเผาผนึกชิ้นงาน

### 5.2.1 ด้านวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปกระดูกเทียมจากผงไฮดรอกซีอะปาไทต์

อัตราส่วนผสมระหว่างตัวประสาน PVA กับไฮดรอกซีอะปาไทต์ มีความจำเป็นต้องมีความละเอียดรอบคอบในการผสมตลอดการทดลอง เนื่องจากขั้นตอนการผสมตัวประสาน PVA กับไฮดรอกซีอะปาไทต์ ให้ได้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ดังนั้นผู้ผสมต้องปฏิบัติตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ในวิธีการเตรียมก่อนผงแคลนูลก่อนทำการกดอัดขึ้นรูป เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดรูปทรงตามที่ต้องการ

### 5.2.2 ด้านการขึ้นรูปแม่พิมพ์และการขึ้นรูปกระดูกเทียมจากไฮดรอกซีอะปาไทต์

1. การขึ้นรูปแม่พิมพ์ที่จะนำมาใช้ในการอัดขึ้นรูป มีความจำเป็นต้องทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรแบบอัตโนมัติที่มีความแม่นยำสูง เพราะจะทำให้ชิ้นงานได้ที่จากการอัดขึ้นรูปมีคุณภาพใกล้เคียงกับความต้องการของงานวิจัยมากที่สุด ซึ่งความแม่นยำในการขึ้นรูปแม่พิมพ์อาจมีผลต่อ

ขนาดชิ้นงานและค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน แม่พิมพ์ที่มีผิวหยาบอาจส่งผลกระทบต่อให้ชิ้นงานมีผิวงานที่หยาบไปตามลักษณะผิวหน้าของแม่พิมพ์ได้และอาจส่งผลกระทบต่อปริมาตรของรูปพรรณซึ่งมีส่วนสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน

2. เครื่องอัดขึ้นรูปแบบอัตโนมัติ เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป เครื่องอัดขึ้นรูปแต่ละยี่ห้อจะมีคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป อีกทั้งยังมีการปรับตั้งค่าที่ต่างกันของเครื่องอัดขึ้นรูปแต่ละประเภท ดังนั้นควรระมัดระวังในการนำไปใช้ให้เหมาะสมกับการอัดขึ้นรูปของชิ้นงานและแม่พิมพ์

3. ก่อนทำการอัดขึ้นรูปควรทำด้วยสารหล่อลื่นที่ตรงบริเวณที่ทำการกดอัดเพื่อที่จะให้ชิ้นงานไม่ติดกับแม่พิมพ์ ลดการเสียดสี และการสึกหรอของแม่พิมพ์ และเพิ่มอายุการใช้งานให้กับแม่พิมพ์ หลังจากถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้วควรทำความสะอาด ใช้แปรงขัดเศษผง และเช็ดด้วยผ้าทำความสะอาดทุกครั้งเพื่อไม่ให้เกิดสนิม

5.2.3 การทดสอบกระดูกเนื่องจากการรับแรงของกระดูกมีหลายลักษณะนอกเหนือจากแรงของการกดอัดและแรงการตัดโค้ง เช่น การกระแทก ความแข็ง การเคลื่อนไหว การแอ่นตัว การดึง และความกระด้างของกระดูก (Osteosclerosis) เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 5.2 (Prabakarun et al., 2005) ดังนั้นในการพัฒนาปรับปรุงงานวิจัยครั้งต่อไปควรที่จะเพิ่มการทดสอบเหล่านี้เพิ่มขึ้นเพราะค่าความน่าเชื่อถือของการทดลองการขึ้นรูปกระดูกเทียมเพิ่มมากขึ้น จากงานวิจัยที่ได้ศึกษานี้ยังขาดการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง จึงเห็นว่าน่าจะมีทดสอบหรือทดลองนำไปใช้กับสัตว์ทดลอง เช่น หนู กระต่าย เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ว่าสามารถนำไปประยุกต์ได้ดีมากน้อยเท่าไร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพเต็มรูปแบบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ตาราง 5.2 การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงของกระดูกด้วยการทดสอบแบบต่างๆ

Test direction related to bone axis	Parallel	Normal
Tensile strength (MPa)	124 - 174	49
Shear strength (MPa)	54	
Impact strength (MPa)	24	
Young's modulus (GPa)	17.0 -18.9	11.5
Work of fracture (J/m <sup>2</sup> )	6000	
Ultimate tensile strain	0.014 - 0.031	0.007
Yield tensile strain	0.004	0.007



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved