

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองกระดูกวัวที่สังเคราะห์ได้เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระดูกสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้น เพื่อประยุกต์ใช้ทดแทนกระดูกทางการแพทย์ โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล และความพรุนของกระดูกเทียม ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาคืออัตราส่วนผสมระหว่างไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และพอลิเมทิลเมทาไครเลต, เวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ด้วยวิธีการเทหล่อขึ้นรูป โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ด้วยโปรแกรม Minitab จากผลการวิจัยในขั้นตอนแรกใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระดูกเทียมจากไฮดรอกซีอะพาไทต์-คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสพอลิเมทิลเมทาไครเลต ด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือ 15% 5% และ 80% ตามลำดับ ในขั้นตอนที่สองใช้เทคนิคการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) เพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปกระดูกเทียมจากส่วนผสมที่ได้ในขั้นตอนแรก ซึ่งหลังจากการหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology : RSM) พบว่าเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานคือ 20 นาที และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเงื่อนไขการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคือ ค่าการดึงของชิ้นงาน และค่าการกดอัดของชิ้นงาน มีค่าเท่ากับ 33.82 MPa และ 81.48 MPa โดยมีค่าความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 1.00000 ซึ่งจากการทดลองยืนยันผลของค่าการดึง และค่าการกดอัดของชิ้นงานที่ได้คือ 33.33 MPa และ 81.02 MPa ตามลำดับ จากการทดลองยืนยันผลกับค่าเป้าหมายที่ได้จากสมการทำนาย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความพรุนปรากฏที่ได้อยู่ในช่วง 4–6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกระดูกเทียมจากวัสดุที่ได้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับกระดูกมนุษย์ชนิดเนื้อแน่น แสดงดังตารางที่ 5.1 และสามารถเข้ากันได้ดีกับร่างกาย เนื่องจากมีไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นส่วนประกอบ และมีกรรมวิธีในการผลิตที่ง่าย ต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง

เนื่องจากผลิตขึ้นเองและใช้วัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศ อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูกชนิดเนื้อแน่นในร่างกายมนุษย์ได้ต่อไป

จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาคำนวณด้วยเทคนิคพีชชีหลายพื้นผิวผลตอบ เพื่อหาความพึงพอใจโดยรวมด้วยเทคนิคพีชชีหลายพื้นผิวผลตอบ ด้วยโปรแกรม Matlab พบว่าเวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ทำให้ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบค่าการดึง และค่าการกดอัดของชิ้นงานเท่ากับ 1.0000 คือนาทีที่ 20 และที่อุณหภูมิ 99.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ด้วยโปรแกรม Minitab

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพีชชีหลายพื้นผิวผลตอบสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ให้ค่าการดึง และค่าการกดอัดของชิ้นงานมีค่าที่สูงที่สุด คือ 34.17 และ 90.47 เมกะปาสคาลตามลำดับ และค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบค่าการดึง และค่าการกดอัดของชิ้นงานเท่ากับ 1.0000 โดยพบว่าการขึ้นรูปชิ้นงานจะต้องใช้เวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 115.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของกระดูกมนุษย์ชนิดเนื้อแน่นกับชิ้นงานขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง

การทดสอบ	มาตรฐานกระดูกเนื้อแน่น	ชิ้นงานขึ้นรูป
ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Strength) MPa	20 - 50	33.33
ค่าความแข็งแรงต่อแรงกดอัด (Compressive Strength) MPa	88.3 - 163.8	81.02
ค่าความพรุน (Porosity) เปอร์เซ็นต์	5 - 10	4 - 6

## 5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.2.1 ในขั้นตอนการเตรียมไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว หลังจากการต้มกระดูกวัวและอบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นออก ควรนำกระดูกที่เตรียมเสร็จแล้วมาเผาทันที ไม่ควรทิ้งไว้นาน เพราะจะทำให้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้มีสีออกเหลืองไม่ค่อยขาว

5.2.2 เนื่องจากมีข้อจำกัดในการกำหนดระดับปัจจัย จากการวิจัยในขั้นตอนที่สองผู้วิจัยกำหนดระดับปัจจัยของอุณหภูมิในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 70 - 100 องศาเซลเซียส มีข้อจำกัดของสภาวะแวดล้อมและอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิแก่น้ำได้สูงสุดที่ 100 องศา

เซลเซียส เท่านั้น ซึ่งหากให้อุณหภูมิที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส อาจทำให้คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานมีค่าที่สูงขึ้น อาจใช้หม้อความดันที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส หรือเปลี่ยนตัวกลางในการให้ความร้อนแทนน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์อยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส อาจใช้ตัวกลางที่เป็นสารละลายแทนการใช้น้ำบริสุทธิ์ที่มีจุดเดือดสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เช่น น้ำเกลือ น้ำเชื่อม

5.2.3 ก่อนทำการเทหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน ควรทาด้วยสารหล่อลื่นที่แม่พิมพ์ในด้านที่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน เพื่อช่วยให้ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น หลังจากถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้วควรทำความสะอาด และเช็ดด้วยผ้าทำความสะอาดทุกครั้งเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้กับแม่พิมพ์

### 5.3 การนำผลวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์

จากผลการวิจัยทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของกระดูกเทียมจากไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว คาร์บอนซีเมติกเซลลูโลส และพอลิเมทิลเมทาไครเลต และค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ เพื่อผลิตเป็นวัสดุทดแทนกระดูกชนิดเนื้อแน่นได้จริง นอกจากนี้ผลจากงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยและพัฒนาวัสดุทดแทนกระดูกชนิดอื่นต่อไป