



## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

##### 6.1.1 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

จากการศึกษาสมบัติของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ เป็นวัสดุสร้างความพรุน สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. ปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ คือ ปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงาน จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุน ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งแรงของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานตามข้อมูลในตารางที่ 6.1

2. เมื่อปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน ตั้งแต่ 0.05-0.20 กรัมต่อผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ 10 กรัม จะส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนอยู่ในช่วง 14-76 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งแรงของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าลดลง

3. เมื่อแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าลดลง แต่ความหนาแน่นบัลค์ ความแข็งแรงของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนสูงสุดแล้วลดลงเมื่อแรงกดขึ้นรูปเพิ่มถึง 4 MPa

4. เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าลดลง ในขณะที่ ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งแรงของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดและโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าเพิ่มขึ้น

5. ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุสร้าง ความพรุน โครงสร้างภายในของชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นแผ่น ประกอบกันเป็นชั้นๆ และมีรูพรุน เกิดขึ้น โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5-30 ไมโครเมตร

6. ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ สามารถขึ้นรูปให้ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนสูงสุดได้ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน ไม่เกิน 0.20 กรัม ต่อผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ 10 กรัม

### 6.1.2 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง

จากการศึกษาสมบัติของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผง แป้ง เป็นวัสดุสร้าง ความพรุน สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. ปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยเทคนิคการใช้ผง แป้ง คือ ปริมาณผงแป้งที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้น งาน จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุน ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็ง ของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงาน ตามข้อมูลในตารางที่ 6.1

2. เมื่อปริมาณผงแป้งที่ผสมในชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณผงแป้งที่ผสมในชิ้นงานตั้งแต่ 1-5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน 17-45 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกด ของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าลดลง

3. เมื่อแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าลดลง แต่ความหนาแน่นบัลค์ ความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนสูงสุดแล้วลดลงเมื่อแรงกดขึ้นรูปเพิ่มถึง 20 MPa

4. เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีค่าลดลง ในขณะที่ ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าเพิ่มขึ้น

5. ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแบ่งเป็นวัสดุสร้าง ความพรุน โครงสร้างภายในของชิ้นงานจะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วยรูพรุนทรงกลมขนาดเล็ก โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5-30 ไมโครเมตร

6. ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแบ่ง สามารถขึ้นรูปให้ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนสูงสุดได้ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับปริมาณผงแบ่งที่เหมาะสมในชิ้นงาน ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ตารางที่ 6.1 สรุปผลกระทบจากปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูปที่มีผลต่อการเกิดรูพรุนของสารไฮดรอกซีอะพาไทต์

ปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูป	ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ		ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแบ่ง	
	ความพรุน	ขนาดรูพรุน	ความพรุน	ขนาดรูพรุน
ปริมาณวัสดุสร้าง ความพรุน (ทั้ง ฟองน้ำ และผงแบ่ง)	เพิ่มขึ้น	-	เพิ่มขึ้น	ใหญ่ขึ้น
แรงกดขึ้นรูป	ลดลง	เล็กลง	ลดลง	เล็กลง
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา	ลดลง	ใหญ่ขึ้น	ลดลง	-

หมายเหตุ

เครื่องหมาย "-" หมายถึง ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติดังกล่าว

### 6.1.3 ผลกระทบของความพรุนต่อสมบัติของชิ้นงาน

จากการศึกษาสมบัติของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ และผงแป้ง เป็นวัสดุสร้างความพรุน สามารถสรุปผลกระทบของความพรุนที่มีต่อสมบัติต่างๆได้ ดังนี้

1. ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบัลค์ ความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานมีค่าลดลง
2. ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยรวมต่ำกว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ทำให้ชิ้นงานที่ใช้ผงแป้งเป็นวัสดุสร้างความพรุนมีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงานที่ใช้ฟองน้ำ โดยพิจารณาได้จาก ค่าความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงาน

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ ทำให้ได้ข้อเสนอนี้ ดังนี้

1. การใช้ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ในการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง ทำให้ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์มีสมบัติทางกลต่ำกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยฉบับอื่น และเมื่อพิจารณาจากผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดอนุภาค พบว่า ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 380 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่กว่างานวิจัยอื่น แต่เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope ยังพบว่า มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร ปะปนอยู่ ดังนั้นควรคำนึงกรรมวิธีการสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ หรือปรับปรุงกรรมวิธีการเตรียมผง เช่น เพิ่มขึ้นตอนการร่อนผงผ่านตะแกรกร่อน เพื่อให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานมีขนาดลดลง จะช่วยให้สมบัติทางกลของชิ้นงานดีขึ้น
2. ในงานวิจัย ชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ จะศึกษาฟองน้ำเพียงชนิดเดียว คือ ฟองน้ำอเนกประสงค์ที่มีจำหน่ายทั่วไป นำมาบดเป็นชิ้นเล็กขนาดประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope ของชิ้นงานตัวอย่าง พบว่า รูพรุนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะของการเชื่อมโยงกันระหว่างรูพรุนน้อยมาก ดัง

นั่น การเพิ่มขนาดของชั้นฟองน้ำที่ใช้ในการทดลองให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จะช่วยให้จำลองโครงสร้างของฟองน้ำได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น หรืออาจจะเปลี่ยนไปใช้วัสดุสร้างคุณภาพประเภทอื่นที่มีลักษณะโครงสร้าง ความหนาแน่น และขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมกว่าฟองน้ำชนิดนี้ เพื่อช่วยให้ชิ้นงานมีโครงสร้างภายในที่ดีขึ้น

3. สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จะทำการผสมผงแป้งให้เข้ากับผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเครื่องผสม ถ้าหากใช้ระยะเวลาในการผสมน้อยเกินไปจะทำให้ผงแป้งกระจายตัวไม่ทั่วชิ้นงาน เป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักเสียหายในระหว่างการเผาซินเทอร์ ดังนั้นควรคำนึงถึงระยะเวลาในการผสมหรือเทคนิคการผสมที่จะทำให้ผงแป้งกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง

4. ความเหมาะสมสำหรับการนำชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ในงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ คือ การนำไปใช้ในทางทันตกรรม หรืออาจใช้ผลิตเป็นแผ่นรองโพรงตา ซึ่งจะมีความเหมาะสมมากกว่าการผลิตเป็นลูกตาเทียม เนื่องจากขนาดรูพรุนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นลูกตาเทียม คือ ประมาณ 150-600 ไมโครเมตร ในขณะที่ชิ้นงานของงานวิจัยนี้มีขนาดของรูพรุน อยู่ในช่วง 5-30 ไมโครเมตร