# บทที่ 5
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากทำการศึกษาผลของสัณฐานของอนุภาค HAp ขนาดนาโนต่อสมบัติของเซรามิก BCP โดยสัณฐานของอนุภาค HAp ประกอบไปด้วยสัณฐานแบบกลม (spherical) แบบแท่ง (rod) และแบบเข็ม (needle) โดยนำไปผสมกับผง β-TCP จากนั้นนำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1100-1300 °C และทำการวัดคุณสมบัติต่างๆ จากนั้นจึงนำเซรามิกที่ได้ไปทำการตรวจสอบเฟส โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติทางเคมี ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผง HAp ที่เตรียมได้จากกระบวนการตกตะกอนสามารถสังเคราะห์สัณฐานรูปแบบต่างๆ ได้โดยทำการควบคุมอุณหภูมิและค่า pH ของสารตั้งต้น โดยที่อุณหภูมิและค่า pH ที่สูงจะได้ผง HAp ที่มีค่าความเป็นผลึกสูงซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับขนาดผลึกของ HAp ตามธรรมชาติ (ในกระดูกและฟัน)
2. เมื่อนำผง HAp ไปทำการผสมกับ b-TCP แล้วทำการเผาซินเตอร์ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิก BCP โดยอัตราขึ้นลงอุณหภูมิ 5 min/°C เผาแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าผลของสัณฐานอนุภาค HAp ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนเฟสของเซรามิก โดยที่อุณหภูมิ 100-1150 °C เกิดเป็นเฟสของ HAp และ β-TCP เมื่อทำการเผาซินเตอร์ตั้งแต่อุณหภูมิ 1200 °C พบว่าเกิดเฟส α-TCP ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนเฟสของ β-TCP ไปเป็น α-TCP
3. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงงานเซรามิก BCP ประกอบไปด้วยเกรน 2 ขนาดหลักคือขนาดปกติ (1.5-2 mm) และเกรนที่เกิดการโต (2.5-3 mm) โดยจะเกิดการโตของเกรนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ที่สูงขึ้น และมีขนาดการโตของเกรนสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 1200 °C น่าจะมีสาเหตุมาจากเกิดการตกตะกอนของเฟส α-TCP ที่บริเวณขอบเกรน ซึ่งบริเวณขอบเกรนนี้เป็นบริเวณที่มีพลังงานสูง ส่งผลให้เกิดการนิวเคลียสของอนุภาคใหม่ (nucleation) เกิดขึ้น ทำให้ที่อุณหภูมิ 1200 °C มีการโตของเกรนเกิดขึ้นสูงมาก
4. ค่าความหนาแน่นพบว่าสัณฐานของอนุภาคไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น โดยตั้งแต่อุณหภูมิเผาซินเตอร์ 1150 °C ขึ้นไปค่าความหนาแน่นของเซรามิก BCP ค่อนข้างคงที่และเท่ากันในทุกสัณฐาน HAp ส่วนค่าการหดตัวเชิงเส้นและค่าน้ำหนักชิ้นงานเซรามิกที่ลดลง นั้นพบว่าสัณฐานแบบกลมให้ค่ากดจากน้อยไปมากดังนี้ เข็ม > แท่ง > กลม

5. สมบัติทางกลของเซรามิก BCP พบว่า สัณฐานแบบแท่งให้ค่าความแรงต่อการกดอัดได้สูงที่สุดที่ 184.09 MPa โดยมิติของสัณฐาน HAp นั้นมีผลต่อค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นมากกว่าขนาดของอุนภาค HAp โดยค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นแปรผกผันกับขนาดดังนี้ กลม > แท่ง > เข็ม ในกรณีของค่าความแข็งแรงต่อการดัดงอแบบ 3 จุด นั้นสัณฐานแบบแท่งก็ให้ค่าความแรงสูงสุดเช่นกัน โดยมีค่าความแข็งแรงประมาณ 120 MPa โดยมีพฤติกรรมของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นขึ้นกับสัณฐานอนุภาค HAp แท่ง > กลม > เข็ม สุดท้ายค่าความแข็งแบบวิสเกอร์มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2.8 GPa โดยสัณฐานแบบแท่ง จึงสามารถสรุปได้ว่าสัณฐาน HAp แบบแท่งให้สมบัติเชิงกลได้ดีที่สุด
6. สมบัติทางเคมีโดย FTIR พบว่า เมื่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์สูงมากขึ้น ปริมาณกลุ่ม $CO_3^{2-}$ ไอออนจะมากขึ้นและเข้ารวมกับกลุ่ม $PO_3^{4-}$ ในตำแหน่งที่เรียกว่า B-site และที่สัณฐานแบบกลมไม่พบกลุ่ม $OH^-$ ตรงข้ามกับสัณฐานแบบแท่งซึ่งพบกลุ่ม $OH^-$ ที่แถบการดูดกลืน 3500-3700 $cm^{-1}$ บ่งบอกถึงความเป็นปริมาณสารสัมพันธ์ของ HAp ได้เป็นอย่างดี

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมชิ้นงานนั้นควรจะทำการขัดให้ผิวเรียบมากที่สุด เนื่องจากว่าความแข็งของวัสดุพวกอพาไทต์หรือแคลเซียมฟอสเฟตนั้นมีระดับความแข็งเพียง 5 โมห์สเกลเท่านั้น จึงง่ายต่อการเกิดรูปรุ่นและความเสียหายต่อชิ้นงานได้ ทำให้ค่าต่างๆที่ทำการวัดออกมานั้นอาจจะไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องมากนัก
2. ผลบางอย่างนั้นอาจจะยังไม่สามารถอธิบายได้หรือได้ไม่ชัดเจนตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ อาจจะมีสาเหตุมาจากการเตรียมสาร จึงเป็นจุดที่ควรระวังในการเตรียมตั้งแต่ผงจนจนชิ้นงาน
3. ควรจะมีผลอื่นๆ เช่น ค่าความเป็นผลึกของผง HAp, อัตราส่วน Ca/P และสมบัติทางชีวภาพ เป็นต้นช่วยในการเพิ่มน้ำหนักของผลให้มีน้ำหนักมากขึ้นและสามารถอ้างอิงผลถึงกันได้อย่างถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น