บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะการซินเทอร์ซึ่งประกอบไปด้วยอุณหภูมิซินเทอร์ เวลาในการซินเทอร์ บรรยากาศในระบบซินเทอร์ ว่าส่งผลต่อสมบัติของไฮดรอกซีแอปาไทต์อย่างไร ทั้งสมบัติด้านความหนาแน่นและความพรุนของเนื้อไฮดรอกซีแอปาไทต์ ความแข็ง องค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการ และขนาดของโครงสร้างจุลภาค เพื่อที่จะวางแผนกำหนดการซินเทอร์ (sintering schedule) ให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยตั้งแต่อุณหภูมิ 1250°C ขึ้นไปความหนาแน่นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่ 1300°C ความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกับที่ 1250°C ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันกับเวลาในการซินเทอร์ เมื่อเวลาในการซินเทอร์นานขึ้น ไฮดรอกซีแอปาไทต์มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูงขึ้น แต่ที่เวลาซินเทอร์ 4 ชั่วโมง ความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า ที่ 2 ชั่วโมงอยู่เล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาในการซินเทอร์ที่ทำให้ไฮดรอกซีแอปาไทต์มีเนื้อแน่นที่สุดคือ 1250° C 2 ชั่วโมง

2. ความพรุนปรากฏมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการอัดตัวกันแน่นขึ้นของอนุภาคไฮดรอกซีแอปาไทต์ แต่ที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ เช่น ที่ 1300°C ไฮดรอกซีแอปาไทต์เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมี ทำให้ความพรุนปรากฏเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นหากต้องการไฮดรอกซีแอปาไทต์แบบเนื้อพรุน อุณหภูมิและเวลาในการซินเทอร์ที่เหมาะสมคือ 1150 °C 2 ชั่วโมง

3. ความแข็งของไฮดรอกซีแอปาไทต์มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ เมื่อไฮดรอกซีแอปาไทต์เนื้อแน่นขึ้นก็จะแข็งขึ้นเช่นกัน แต่ที่ 1300°C ความแข็งของไฮดรอกซีแอปาไทต์ลดลงพิจารณาได้ว่าเกิดจากปัจจัย grain growth และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีส่งผลต่อสมบัติเชิงกลด้านความแข็งของไฮดรอกซีแอปาไทต์

4. บรรยากาศในระบบซินเทอร์ที่เป็นไอน้ำอิ่มตัวมีค่าใกล้เคียงกับการซินเทอร์ในอากาศภายในห้องที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไว้ที่ 65-75% ทั้งนี้เนื่องจากที่ 1250°C ใช้เวลาซินเทอร์ 2 ชั่วโมง นั้นไฮดรอกซีแอปาไทต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสไปเป็น α-TCP, β-TCP, TTCP ทำให้ไม่จำเป็นต้องซินเทอร์ในบรรยากาศไอน้ำอิ่มตัวเพื่อช่วยลดการเกิด dehydroxylation

5. เฟสองค์ประกอบของไฮดรอกซีแอปาไทต์สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซินเทอร์ด้วยเวลาที่นานพอ จากการทดลองพบว่าที่เวลาซินเทอร์ 12 ชั่วโมง เกิดเฟส α - TCP ขึ้น ดังสมการที่ 2.3

$$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 \rightarrow 2Ca_3(PO_4)_2 + Ca_4P_2O_9 + H_2O \qquad (2.3)$$

6. โครงสร้างจุลภาคของไฮดรอกซีแอปาไทต์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิและเวลาในการซินเทอร์ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการซินเทอร์เพิ่มขึ้น ขนาดเกรนของไฮดรอกซีแอปาไทต์ก็ใหญ่ขึ้นด้วย เกิด grain growth ขึ้น อาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนกับอุณหภูมิและเวลาในการซินเทอร์ (สมการที่ 4.1 และ4.2) ทำให้สามารถวางแผนการพัฒนาโครงสร้างจุลภาคตามที่ต้องการเพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมที่สุดในการนำไฮดรอกซีแอปาไทต์ไปใช้งาน

ข้อเสนอแนะในอนาคต

1. วางแผนการซินเทอร์โดยใช้สมการ sintering kinetics เพื่อกำหนดโครงสร้างจุลภาคตามที่ต้องการแล้วตรวจสอบความถูกต้อง

2. ทำการซินเทอร์ไฮดรอกซีแอปาไทต์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1300°C เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟส และทำการซินเทอร์ในบรรยากาศไอน้ำอิ่มตัว เพื่อศึกษาผลของบรรยากาศไอน้ำในการลด ปฏิกิริยา dehydroxylation