บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การสังเคราะห์และการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผง HA และ SiHA กับวัสดุเชิงประกอบ HA/PCL และ SiHA/PCL สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสังเคราะห์วัสดุผง HA โดยวิธีการตกตะกอน พบว่าสามารถสังเคราะห์วัสดุผง HA ที่มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลได้เป็นผลสำเร็จ แต่มีการเกิดเฟสของ β-TCP เจือปนอยู่เล็กน้อยเมื่อนำไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 900-1000°C ทั้งนี้ยังได้คำนวณค่าแลตทิซพารามิเตอร์ a และ c ของวัสดุผง HA ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.9377-0.9448 และ 0.6842-0.6888 nm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าในฐานข้อมูล JCPDs (a = 0.9418 nm และ c = 0.6884 nm) ส่วนการสังเคราะห์วัสดุผง SiHA (ที่เติม Si ใน HA ตั้งแต่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 wt%) โดยวิธีการตกตะกอน พบว่าวัสดุผง SiHA ที่ได้มีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลทุกเงื่อนไข และเฟสหลักที่เกิดขึ้นเป็นเฟสของ HA ทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการแคลไซน์ทำให้เกิดเฟสของแคลเซียมซิลิเกต และ β-TCP เจือปนอยู่เล็กน้อย นอกจากนี้ยังได้คำนวณค่าแลตทิซพารามิเตอร์ a และ c ของวัสดุผง SiHA ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.9384-0.9460 nm และ 0.6867-0.6969 nm ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าแลตทิซ a และ c มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปอร์เซ็นต์ซิลิกอนเพิ่มขึ้น แสดงว่าซิลิกอนเข้าไปแทนที่ในโครงสร้าง HA ซึ่งยืนยันได้จากเทคนิค FTIR โดยสังเกตพบว่าหมู่ซิลิเกต (SiO_4^{4-}) เกิดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 750 cm^{-1} พร้อมกับพีคของหมู่ฟอสเฟต (PO_3^{4-}) ที่ลดลงทุกเงื่อนไขเมื่อเปอร์เซ็นต์ซิลิกอนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถเตรียมวัสดุผง HA และ SiHA ได้เป็นผลสำเร็จ

สำหรับการหาขนาดอนุภาคของวัสดุผง HA และ SiHA ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เทคนิค XRD พบว่าวัสดุผง HA และ SiHA ที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 31.70-65.22 nm และ 33.34-47.63 nm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุผง HA และ SiHA ด้วยเทคนิค SEM และ TEM พบว่ามีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลมและมีการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก และมีขนาดอนุภาคประมาณ 30-100 nm โดยพบว่าขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามวัสดุผง SiHA จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ซิลิกอนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาพบว่า เราสามารถเตรียมวัสดุผง SiHA ได้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งยืนยันได้ด้วยเทคนิค FTIR เมื่อนำมาทำเป็นวัสดุเชิงประกอบกับ PCL พบว่า มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับ HA บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ซิลิกอนเพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำ SiHA มาทำเป็นวัสดุเชิงประกอบกับ PCL พบว่ามีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นหรือเทียบเท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้ข้อเสนอแนะ และความน่าสนใจของงาน ดังนี้

1. การสังเคราะห์วัสดุผง HA และ SiHA จากเปลือกไข่ไก่ กรดฟอสฟอริก และฟูมด์ซิลิกา ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี สามารถสังเคราะห์ให้ได้วัสดุผงที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรและบริสุทธิ์ ทั้งนี้ในงานวิจัยมีข้อดีคือ สามารถนำวัสดุเหลือใช้อย่างเปลือกไข่ไก่มาเป็นแหล่งของแคลเซียมแทนที่จะใช้สารเคมีที่ให้แคลเซียมที่แน่นอนกว่า

2. สำหรับชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ HA/PCL และ SiHA/PCL ที่ขึ้นรูปด้วยการอัดแบบทิศทางเดียว ในขณะที่ทำการอัดเม็ดชิ้นงานต้องอาศัยความร้อนที่เหมาะสมให้กับชิ้นงานในขณะอัด แต่เราไม่มีเครื่องมือประเภทนี้ ดังนั้นจึงทำให้การอัดเม็ดของวัสดุผงกับสารคอมโพสิตที่เป็นพอลิเมอร์เป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญของผู้ทดลองเป็นอย่างมาก

3. ควรจะทำการทดสอบสมบัติทางชีวภาพ โดยการแช่ในสารละลาย HOBs เพื่อเป็นการยืนยัน สำหรับการเติม Si ในโครงสร้าง HA ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

4. ความเหมาะสมในการนำชิ้นงานไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์คือ การนำไปใช้ในทางทันตกรรม และการนำไปใช้ในการศัลยกรรมกระดูก หรืออาจจะใช้เป็นกระดูกท่อนขา เนื่องจากต้องรับแรงกดหรือแรงอัดตลอดเวลา แต่งานวิจัยนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกระดูกจริง เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในอนาคต