

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองซึ่งได้จากการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น การหดตัวเชิงเส้น เป็นต้น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาผนึกของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติเชิงกล และสมบัติทางทางชีวภาพ ซึ่งก็คือการทดสอบการเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

4.1 การตรวจสอบผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สกัดมาจากกระดูกวัว

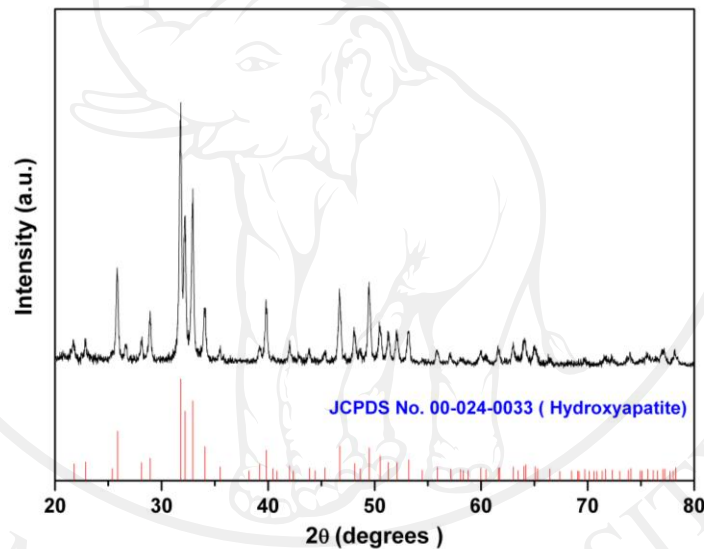
ในผลการทดลองในส่วนนี้เริ่มจากการวิเคราะห์อนุภาคผงที่ได้จากการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวสดที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C นาน 3 h บดให้ละเอียดโดยเครื่องบดแบบหมุนวน และทำการร่อนแบบละเอียด โดยเริ่มจากการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ (XRD) ศึกษาลักษณะของโครงสร้างทางจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (SEM) และตรวจสอบขนาดของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เทคนิคทางแสง (particle size analysis)



รูป 4.1 แสดงลักษณะผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์จากกระดูกวัว

4.1.1 ผลการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์

ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผ่านการสกัดมาจากกระดูกวัวสด ที่ทำการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C นาน 3 h หลังจากนั้นนำมาผ่านกระบวนการบดละเอียดจนได้ผงของไฮดรอกซีอะพาไทต์ จึงทำการทดสอบความบริสุทธิ์ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้เพื่อเป็นการยืนยันว่าอนุภาคผงที่ได้มาเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่บริสุทธิ์จริงๆ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเฟสที่เกิดขึ้นมีผลที่ตรงกับฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 00-024-0033 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล ดังรูป 4.2

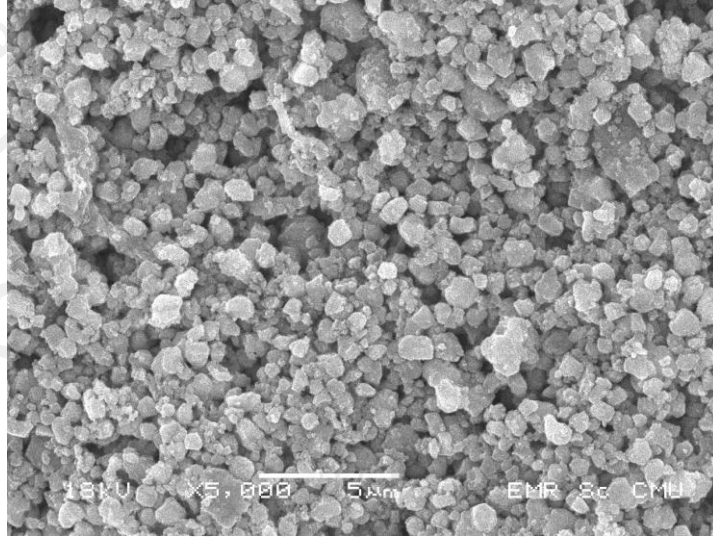


รูป 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์

4.1.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาทำได้โดยการนำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สกัดได้มาทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยการนำผงไฮดรอกซีอะพาไทต์มาทำการสัณแบบอัลตราโซนิกในตัวกลางเอทานอล นาน 30 min หลังจากนั้นหยดลงบนเทปทองแดงที่ติดบนแท่งทองเหลือง (stub) แล้วทำการเคลือบด้วยฟิล์มของทอง เมื่อทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

แบบอิเล็กทรอนิกส์พบว่าลักษณะของอนุภาคผงมีลักษณะเป็นแบบก้อนกลม มีการกระจุกตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเห็นได้ว่ามีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูป 4.3

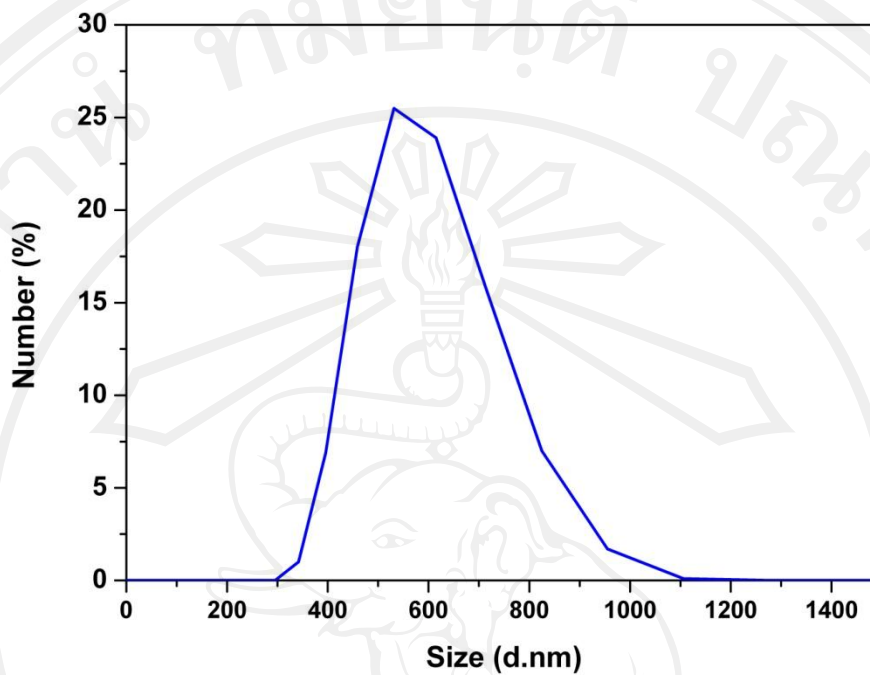


รูป 4.3 แสดงลักษณะสัญญาณวิทยาของอนุภาคผงของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่กำลังขยาย 5,000

4.1.3 การตรวจสอบขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์

การตรวจสอบขนาดอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ในที่นี้อาศัยกระบวนการทางแสงมาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งสารที่จะนำไปตรวจสอบจำเป็นที่จะต้องทำเป็นสารแขวนลอยเพื่อเป็นการกระจายตัวของอนุภาคที่เกาะกลุ่มกัน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับขนาดของอนุภาคจริง ซึ่งเตรียมชิ้นงานโดยการอัลตราโซนิกผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ในตัวกลางอะซิโตน นาน 30 นาที ผลการตรวจสอบพบว่ามีความยาว 396-955 nm และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 533 nm ดังแสดงใน

รูป 4.4



รูป 4.4 แสดงขนาดของอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์

4.1.4 ผลการหาความหนาแน่นของอนุภาค

ซึ่งการหาความหนาแน่นของอนุภาคผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากการหาความถ่วงจำเพาะของอนุภาคด้วยขวดพิกโนมิเตอร์ โดยน้ำที่ใช้ในการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าความหนาแน่นเฉลี่ยของอนุภาคมีค่าเท่ากับ 2.817 g/cm³

ตาราง 4.1 แสดงผลการหาค่าความหนาแน่นอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์

รายการ	ครั้งที่			
	1	2	3	4
M1	23.4516	23.452	23.4519	23.4521
M2	26.0998	26.1003	26.0999	26.1004
M3	75.2322	75.2323	75.2318	75.2316
M4	73.5213	73.5212	73.5208	73.5206
ความหนาแน่น	2.8170	2.8174	2.8177	2.8171

4.2 ผลการตรวจสอบเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมอนุภาคนาโน निकิลออกไซด์

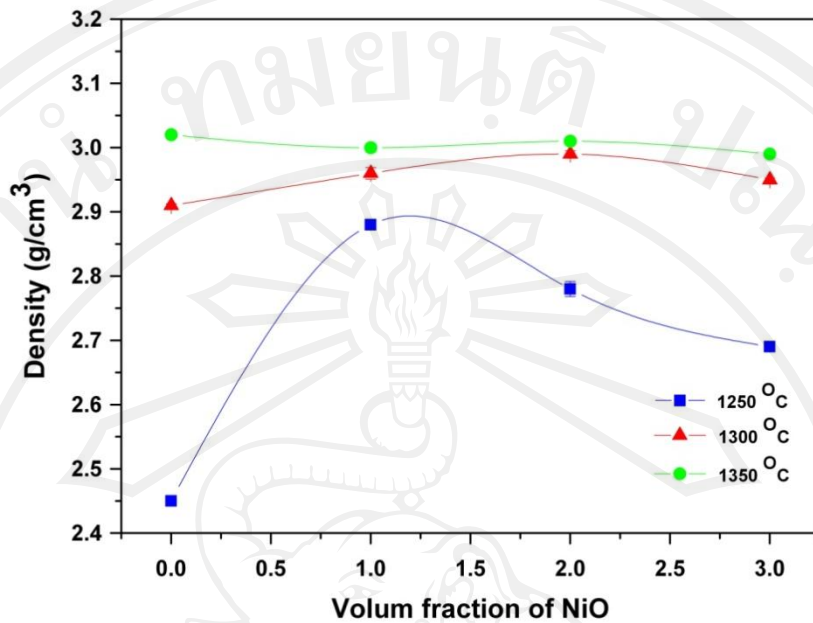
ในหัวข้อนี้เป็นการนำสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผ่านการสกัดจากกระดูกวัวสดและผ่านการเติมอนุภาคนาโนของ निकิลออกไซด์ด้วยวิธีการปฏิกิริยาแบบของแข็ง จากนั้นนำมาขึ้นรูปและทำการเผาผนึกที่อุณหภูมิระหว่าง 1250-1350 °C และทำการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ ควบคู่ไปกับการตรวจสอบความหนาแน่นและการหดตัวเชิงเส้น จากนั้นทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ความแข็งและสมบัติทางชีวภาพต่อไป

4.2.1 ผลการตรวจสอบความหนาแน่นและการหดตัว

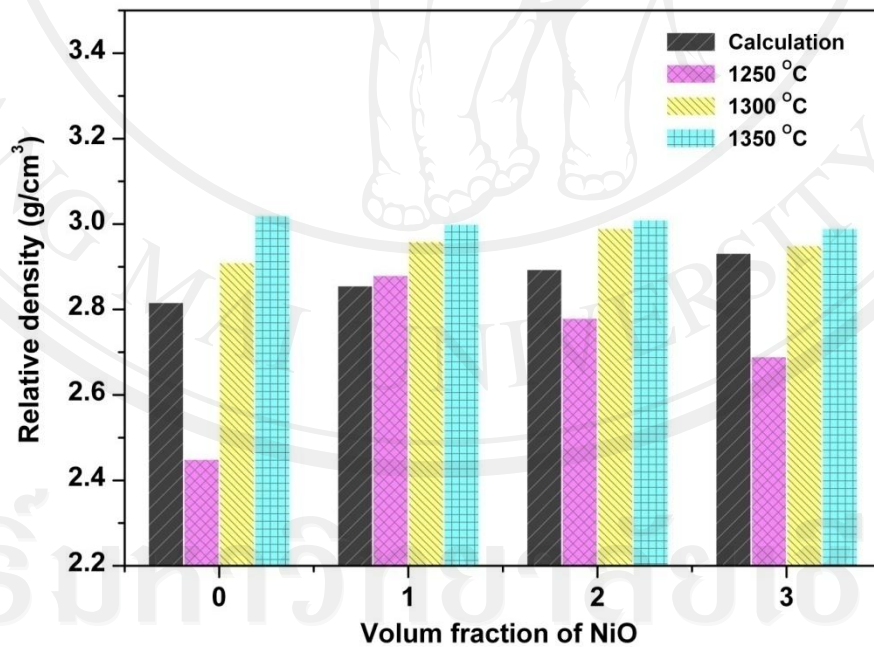
จากการศึกษาพบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาผนึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ อยู่ในช่วงระหว่าง 1250-1350 °C ซึ่งได้ทำการตรวจสอบอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดโดยการทำการทดสอบในการเผาผนึกโดยดูจากความหนาแน่น ในส่วนของการตรวจสอบความหนาแน่นของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมอนุภาคนาโนของ निकิลออกไซด์ ที่ทำการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1250, 1300, 1350 °C จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิในการเผาผนึกที่ 1300 °C และ 1350 °C เมื่อเติมอนุภาคนาโนของ निकิลออกไซด์เพิ่มมากขึ้นพบว่าจะมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันมากแทบจะไม่ต่างกันเลย แต่ที่อุณหภูมิการเผาผนึกที่ 1250 °C เมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคนาโนของ निकิลออกไซด์มากขึ้นพบว่า ค่าความหนาแน่นจะมากขึ้นที่สุดที่การเติมนิกิลออกไซด์ร้อยละ 1 % (2.8 g/cm³) และลดลงเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นอีก ในอุณหภูมิเผาผนึกที่ 1350 °C จะได้ค่าความหนาแน่นที่มากที่สุด ประมาณ 3.2 g/cm³ ดังรูป 4.5

รูป 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นเทียบกับความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณที่ปริมาณการเติมนิกิลออกไซด์ที่ปริมาณละอุณหภูมิต่างๆที่ พบว่าที่อุณหภูมิ 1250 °C ที่ปริมาณการเติมนิกิลออกไซด์ร้อยละ โดยปริมาตร 1 % จะมีความหนาแน่นที่มากกว่าความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณ ส่วนที่ปริมาณการเติมนิกิลออกไซด์ร้อยละ 0, 2, 3 % จะมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าจากการคำนวณที่ได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 1300, 1350 °C ทุกอัตราส่วนจะมีความหนาแน่นที่มากกว่าความหนาแน่นจากการคำนวณ

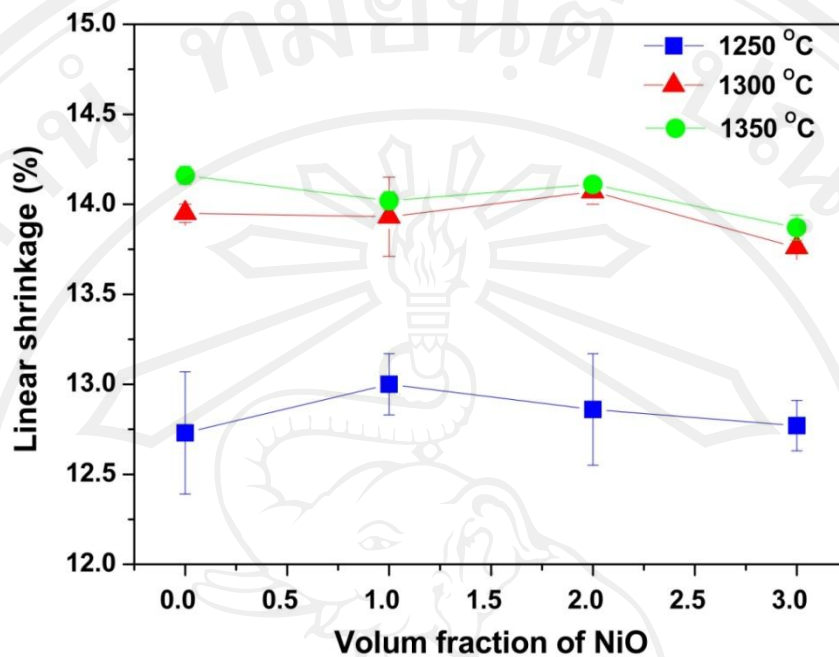
รูป 4.7 แสดงการหดตัวเชิงเส้นเทียบกับปริมาณการเติมนิกิลออกไซด์ร้อยละ โดยปริมาตรและอุณหภูมิต่างๆ พบว่าการหดตัวมีผลที่สอดคล้องกับความหนาแน่นที่ได้จากการทดลอง โดยการหดตัวจะมากที่สุดที่อุณหภูมิ 1350 °C



รูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเทียบกับปริมาณการเติมอนุภาคนาโนของนิกเกิลออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์



รูป 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณเทียบกับปริมาณการเติมอนุภาคนาโนของนิกเกิลออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์

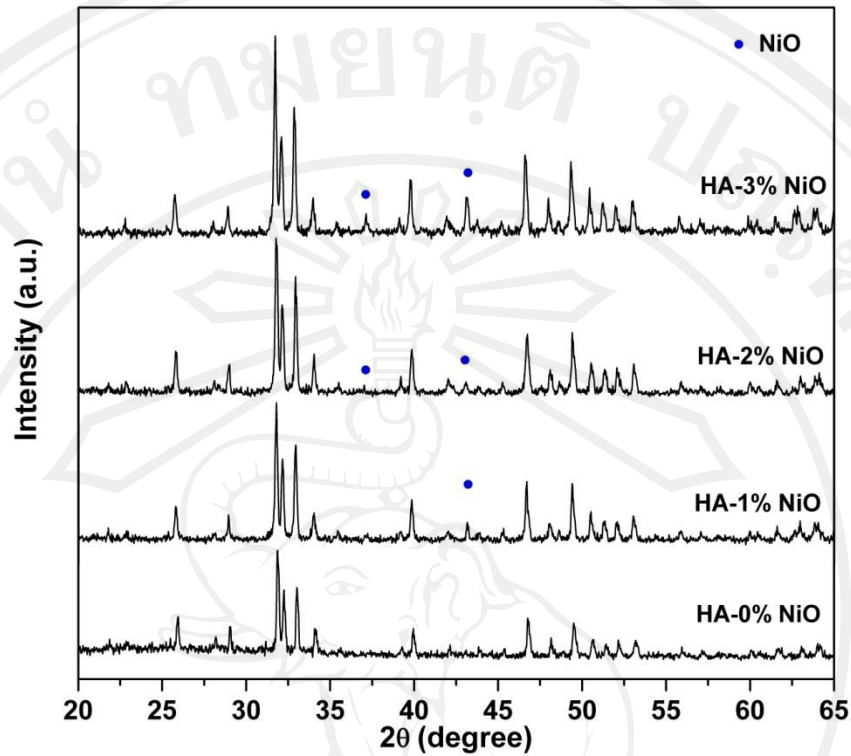


รูป 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวเชิงเส้นเทียบกับปริมาณการเติมอนุภาคนาโนของ นิกเกิลออกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์

4.2.2 ผลการตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์

จากผลการศึกษาและการทดลองที่ผ่านมา พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาผนึกของ เซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์อยู่ระหว่าง 1250 - 1350 °C และจากค่าความหนาแน่นที่ได้จากการ ทดลองมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 1350 °C จึงได้นำชิ้นงานที่ได้จากอุณหภูมินี้ไปทำการสอบต่อไป ซึ่ง พบว่าเมื่อยังไม่มีการเติมนิกเกิลออกไซด์จะได้เป็นเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีเฟสที่บริสุทธิ์ ซึ่ง ตรงกับ JCPDS หมายเลข 00-024-0033 และเมื่อเพิ่มร้อยละ โดยปริมาตรของนิกเกิลออกไซด์จะมี เฟสของนิกเกิลออกไซด์ปรากฏที่ตำแหน่ง 2 θ ประมาณ 37° และ 47° ขึ้นมาซึ่งตรงกับ JCPDS หมายเลข 00-002-1216 โดยพบว่าถ้ายิ่งเพิ่มร้อยละ โดยปริมาตรของนิกเกิลออกไซด์ในปริมาณที่ มากขึ้น ความสูงของพีคนิกเกิลออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นตามร้อยละของการเติม ผลการตรวจสอบเฟส

แสดงในรูป 4.8



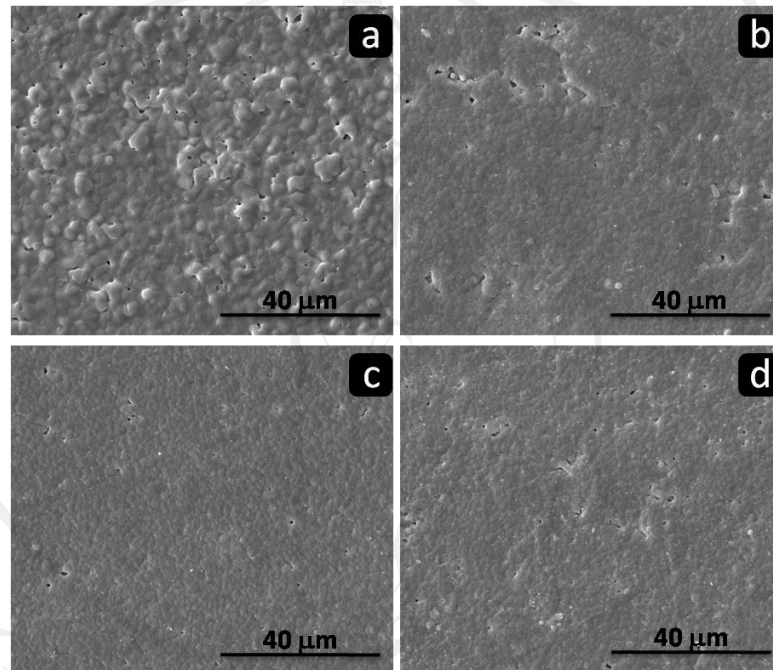
รูป 4.8 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เผาที่อุณหภูมิ 1350 °C

4.2.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การตรวจสอบพื้นผิวของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ ก่อนอื่นจะต้องผ่านการทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยการสันแบบอัลตราโซนิคในตัวกลางเอทานอล นานประมาณ 10 นาที ต่อมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C นาน 24 ชั่วโมง หลังจากชิ้นงานผ่านการอบแห้งมาแล้วจึงนำชิ้นงานติดบนแท่งทองเหลืองและทำการเคลือบด้วยฟิล์มของทอง เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เผาที่อุณหภูมิ 1350 °C แล้วพบว่าลักษณะพื้นผิวของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์พบว่าเกรนมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับหลังจากที่เติมอนุภาคนาโนของนิกเกิลออกไซด์ ประมาณ 1 เท่า ดังรูปโครงสร้างพื้นผิวทางจุลภาคของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทด์รูป 4.9 และขนาดเกรนของไฮดรอกซีอะพาไทด์ดังตาราง 4.2 และรูป 4.11

ดังรูป 4.10 แสดงให้เห็นถึงบริเวณพื้นผิวของรอยหักของชิ้นงาน ซึ่งจะมีลักษณะของการเกิดรอยหักที่ผ่าเกรน โดยการเกิดรอยหักในลักษณะนี้จะพบในวัสดุที่มีขนาดของเกรนที่มีความ

แตกต่างกัน รวมถึงมีการกระจายตัวของเกรนที่มีขนาดแตกต่างกัน จึงเป็นผลทำให้ต้องใช้พลังงานที่สูงมากในการทำให้เกิดการแตกหักผ่านเกรน และยังพบรูพรุนปิดภายในชิ้นงานซึ่งรูพรุนนี้น่าจะมาจาก การเติม binder ในขั้นตอนการขึ้นรูปของเซรามิก และเมื่อนำไปเผาผนึกก็เกิดการเผาไหม้หมดไปเหลือแต่รูพรุนไว้ โดยรูพรุนมีขนาดเล็กลงเมื่อมีการเติมนิกเกิลออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นขึ้นตามอัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตร

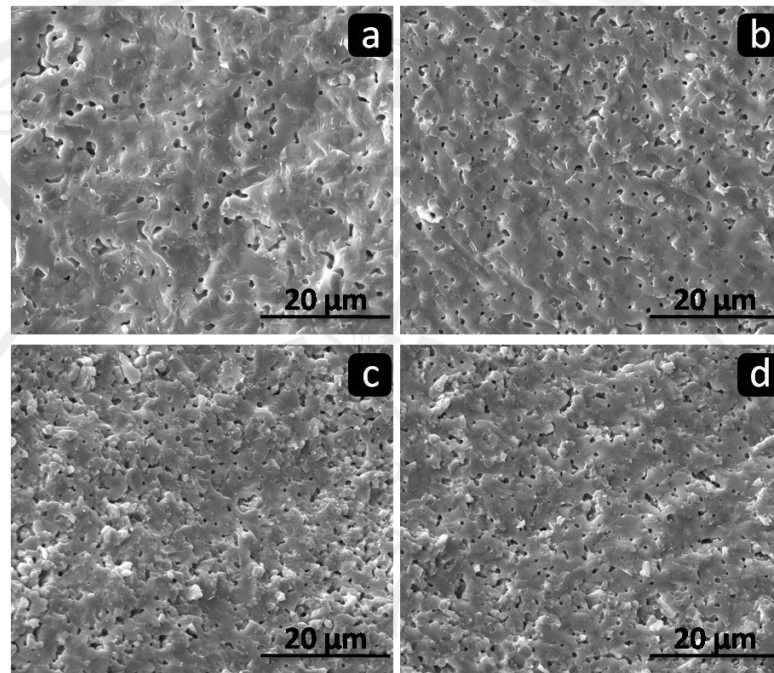


รูป 4.9 แสดงรูปโครงสร้างทางจุลภาคพื้นผิวของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์

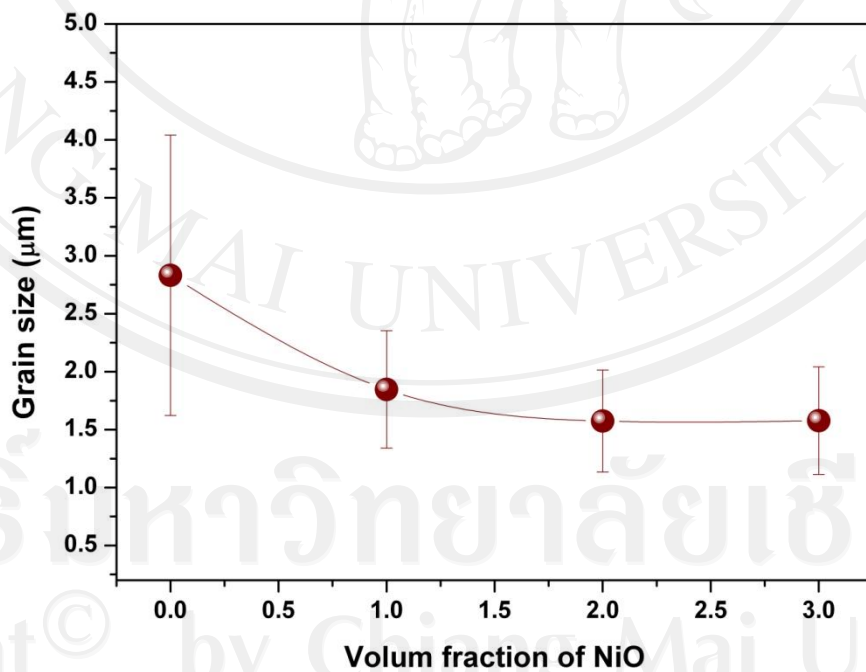
a. HA-0 NiO Vol%, b. HA-1 NiO Vol%, c. HA-2 NiO Vol%, d. HA-3 NiO Vol%

ตาราง 4.2 แสดงขนาดเกรนของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์

ร้อยละการเติมนิกเกิลออกไซด์	ขนาดเกรนเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อน
0	2.831	1.210
1	1.847	0.507
2	1.574	0.440
3	1.577	0.464



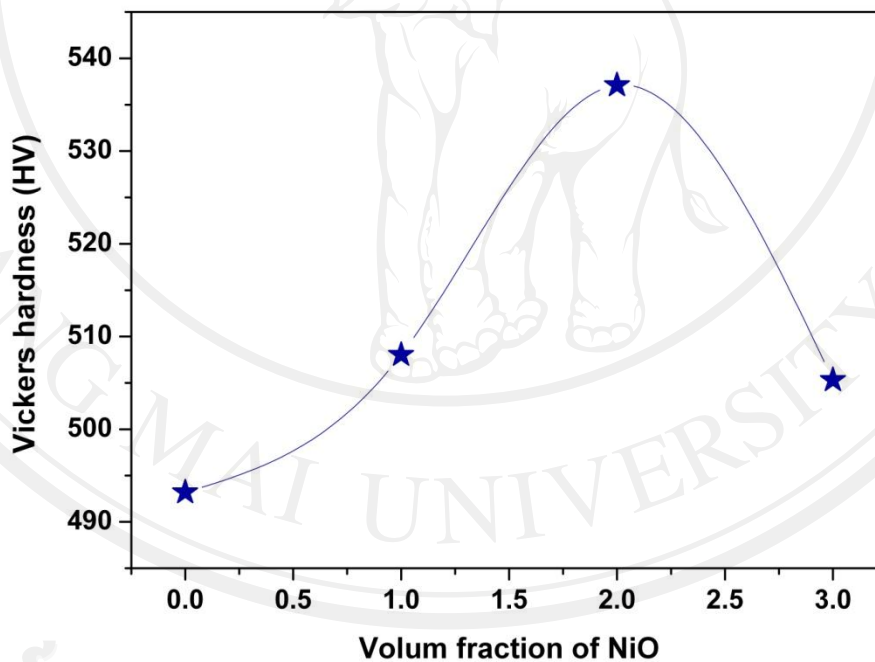
รูป 4.10 แสดงรูปโครงสร้างทางจุลภาครอยหักของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์
a. HA-0 NiO Vol%, b. HA-1 NiO Vol%, c. HA-2 NiO Vol%, d. HA-3 NiO Vol%



รูป 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนกับปริมาณการเติมอนุภาคนาโนนิกเกิลออกไซด์
ของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์

4.2.4 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness)

การทำการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ ซึ่งทำการทดสอบที่แรง 200 gf นาน 10 sec ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มร้อยละ โดยปริมาตรของนิกเกิลออกไซด์จนถึงร้อยละ 2 โดยปริมาตรของนิกเกิลออกไซด์ ซึ่งมีค่าประมาณ 537 HV และความแข็งจะลดลงเมื่อเติมนิกเกิลออกไซด์มากขึ้น ที่ ร้อยละ 3 โดยปริมาตรของนิกเกิลออกไซด์ ที่ความแข็ง 505 HV ซึ่งพบว่าความความสอดคล้องกับขนาดเกรนตั้งแต่ ไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์จนถึงร้อยละ 2 โดยปริมาตรของนิกเกิลออกไซด์ โดยที่ขนาดเกรนลดลงเมื่อเติมนิกเกิลออกไซด์เพิ่มมากขึ้นและความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีขนาดเกรนที่เล็กลง เนื่องจากเกรนขนาดเล็กจะเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของรอยแตกจึงทำให้มีความแข็งที่เพิ่มขึ้น



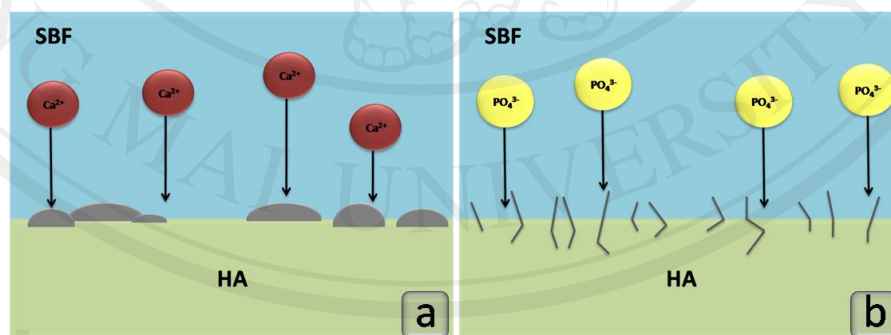
รูป 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแบบวิกเกอร์กับปริมาณการเติมอนุภาคนาโนของนิกเกิลออกไซด์

4.2.5 การทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพ

การทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพนี้เป็นการนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้มาทำความสะอาดผิวหน้าด้วยการอัลตราโซนิก ต่อจากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย SBF ซึ่งทำการแช่ในสารละลาย SBF เป็นเวลา 14, 28, 42, 56 ตามลำดับ จากนั้นนำเก็บไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 37 °C แต่ต้องทำการเปลี่ยนสารละลาย SBF ที่ใช้ ทุกๆ 7 วัน ซึ่งได้ผลทดลองหลังจากทำการทดสอบมา ดังนี้

4.2.5.1 การตรวจสอบพื้นผิวและโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ซึ่งผลการตรวจสอบพื้นผิวด้วยโครงสร้างทางจุลภาคพบว่าที่ระยะเวลาการแช่ที่ต่างๆ กัน และในปริมาณการเติม निकิลออกไซด์ที่ต่างๆ กัน พบว่ามีลักษณะการเกิดของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่งอกใหม่ 2 แบบ คือ แบบก้อนและแบบแผ่น ดังรูป 4.13 (a และ b ตามลำดับ) ซึ่งลักษณะการเกิดที่แตกต่างกันนี้ขึ้นอยู่กับไอออนในสารละลาย SBF ที่มาจับกับไอออนบนชิ้นงานเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งถ้าไอออนของ Ca^{2+} มาเกาะที่พื้นผิวก่อนจะทำให้ได้ลักษณะของอะพาไทต์ที่งอกใหม่เป็นลักษณะแบบก้อน ซึ่งในทางกลับกันถ้าไอออนของ PO_4^{3-} มาเกาะก่อนจะทำให้ได้ลักษณะของอะพาไทต์ที่งอกใหม่เป็นแบบแผ่น



รูป 4.13 แสดงลักษณะการเกิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ใหม่ที่เกิดจากการเกาะของไอออนในสารละลาย SBF a. ไอออนของ Ca^{2+} มาเกาะ b. ไอออนของ PO_4^{3-} มาเกาะ

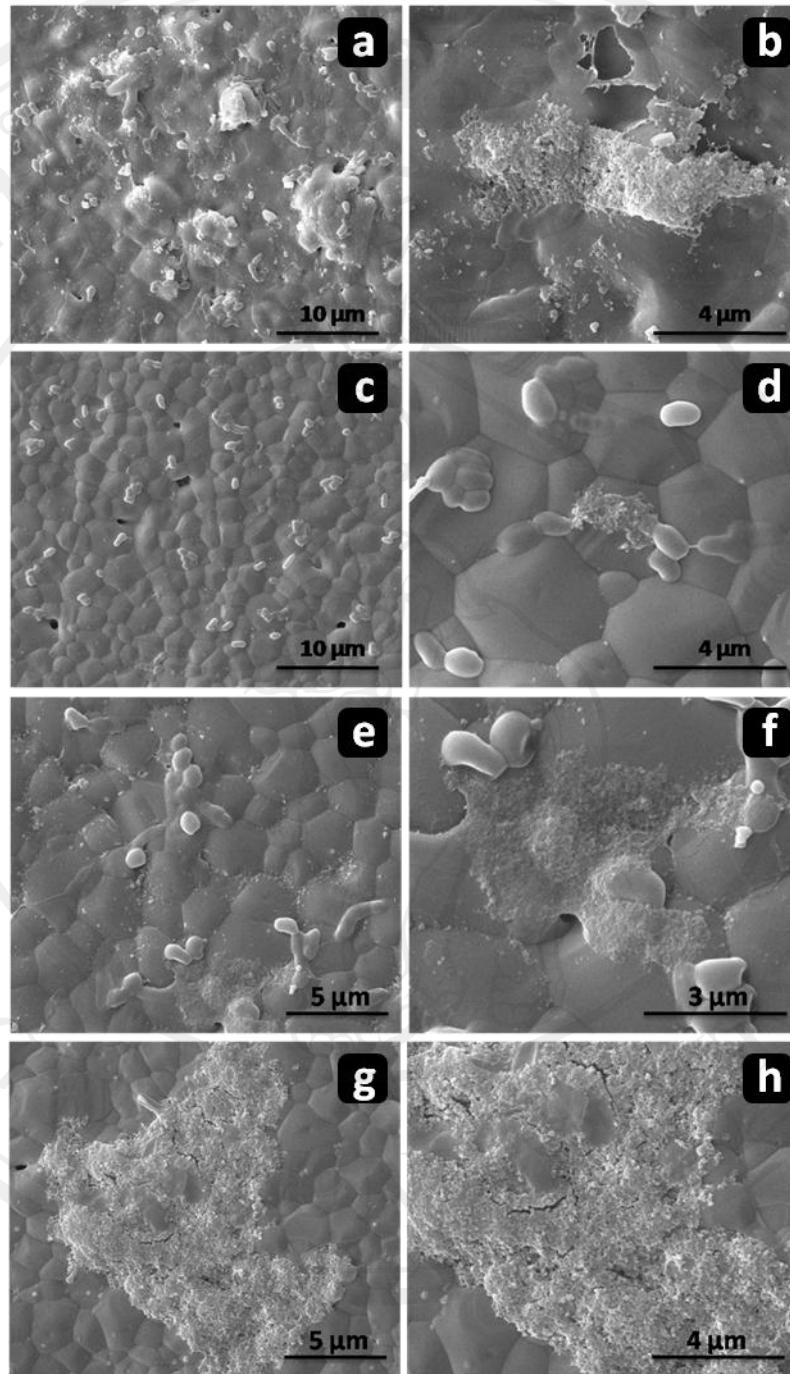
จากรูป 4.14 จากการแช่ที่ 14 วัน พบว่าอะพาไทต์ใหม่จะเริ่มเกิดบริเวณขอบของขอบเกรน โดยจะพบแต่ลักษณะที่เป็นก้อนแต่จะมีขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งที่ร้อยละ 2 ของ निकิลออกไซด์ (รูป 4.14 (c-d)) จะมีขนาดของอะพาไทต์ที่ใหญ่กว่าระบบอื่นๆ แต่ที่ ร้อยละ 3 ของ निकิลออกไซด์ (รูป 4.14 (g), (f)) มีการเกิดในปริมาณที่มากกว่าระบบอื่นๆ

จากรูป 4.15 จากการแช่ที่ 28 วันพบว่าจะมีปริมาณการเกิดอะพาไทต์ที่เพิ่มมากขึ้นกว่าที่การแช่ที่ 14 วัน ซึ่งเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์และที่ร้อยละ 1 ของนิกเกิลออกไซด์ (รูป 4.15 (a-d)) ตามลำดับ เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์จะเริ่มเกิดอะพาไทต์ใหม่ขนาดเล็กๆ ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณ ส่วนที่ร้อยละ 3 ของนิกเกิลออกไซด์ลักษณะของอะพาไทต์ใหม่จะเป็นลักษณะแบบแผ่น

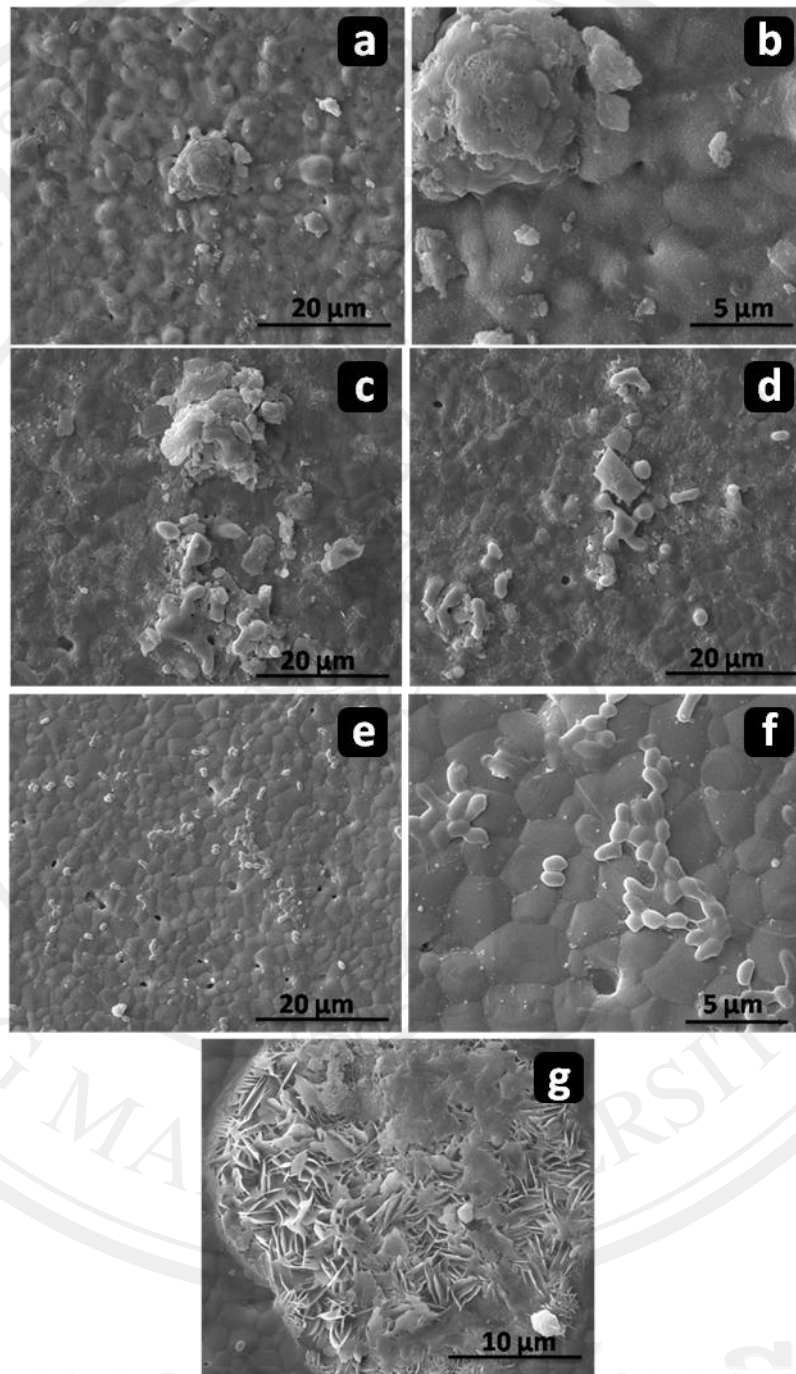
จากรูป 4.16 จากการแช่ที่ 42 วัน ที่ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 ของนิกเกิลออกไซด์ (รูป 4.16 (a-d), (g-h)) จะมีลักษณะของอะพาไทต์ใหม่ ทั้งแบบก้อนกลมและแบบแผ่นเกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน

จากรูป 4.17 จากการแช่ที่ 56 วัน ร้อยละ 1 และ 3 ของนิกเกิลออกไซด์ จะมีลักษณะของอะพาไทต์ใหม่ ทั้งแบบก้อนกลมและแบบแผ่นเกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน (รูป 4.17 c-f) แต่ที่ไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์และที่ร้อยละ 2 ของนิกเกิลออกไซด์ จะพบแต่แบบก้อน

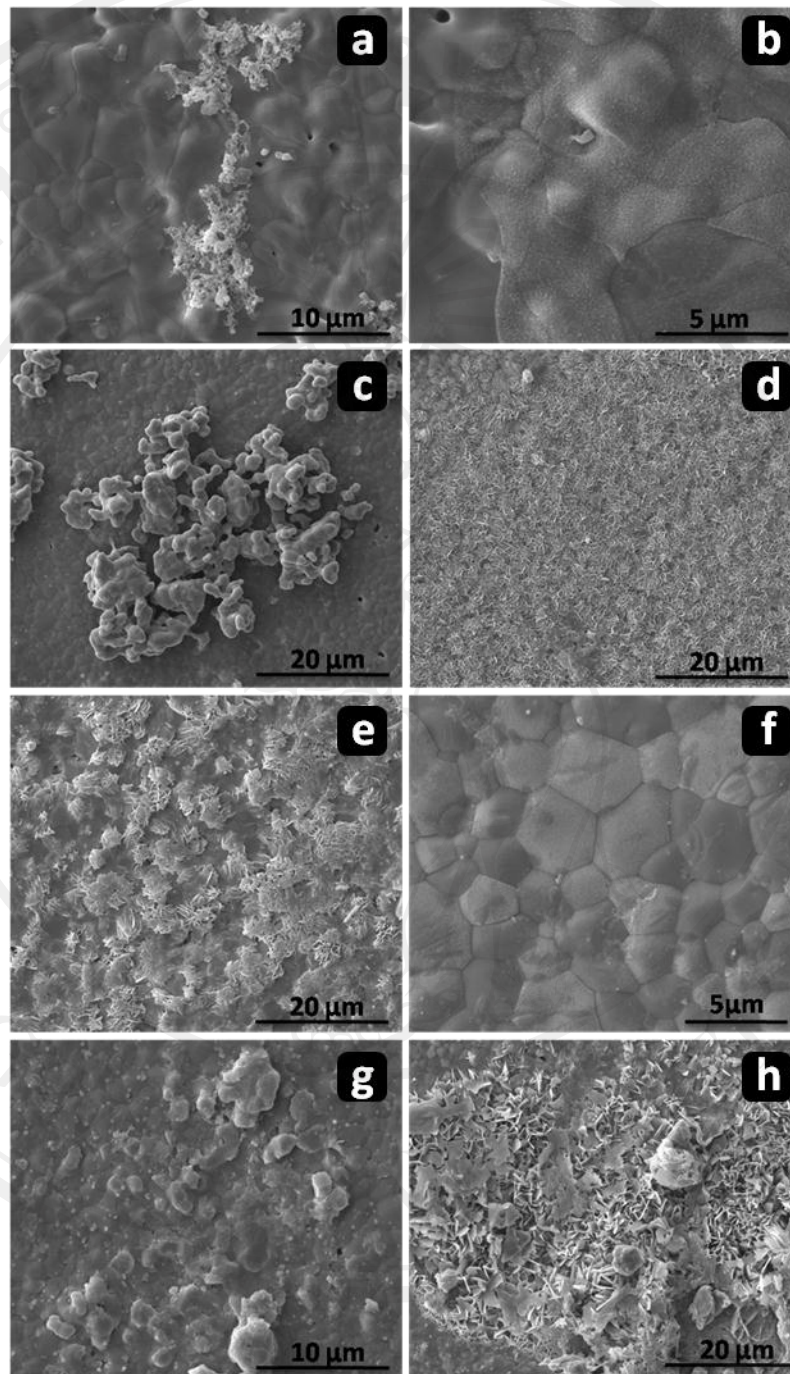
จากรูป 4.14-4.17 แสดงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ระยะเวลาการแช่ 14, 28, 42, 56 วัน พบว่าบนชิ้นงานเดียวกันสามารถเกิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ใหม่ในหลายลักษณะด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการจับตัวของไอออนจากสารละลาย SBF



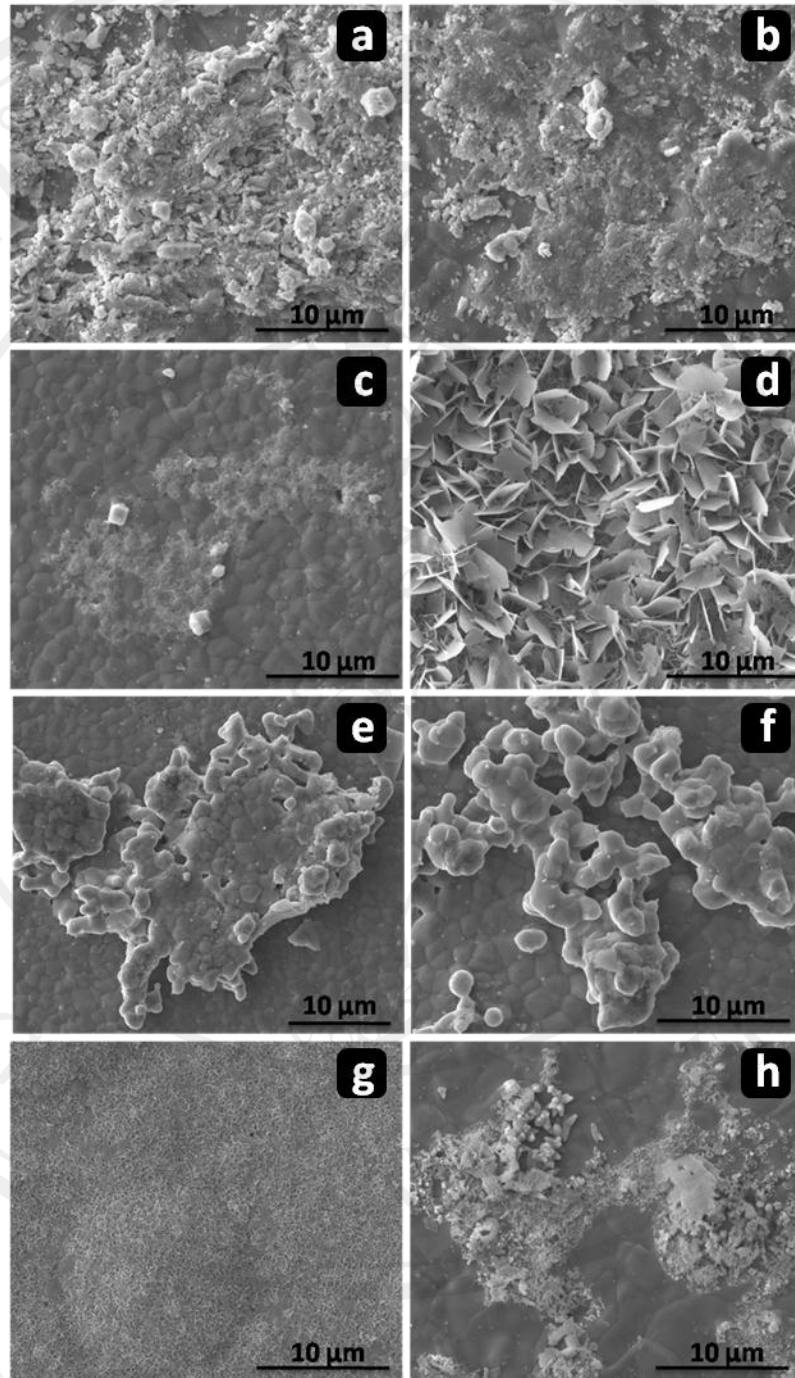
รูป 4.14 แสดงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ระยะเวลาการ
 แช่ 14 วัน (a- b 0 NiO Vol%, c- d 1 NiO Vol%, e- f 2 NiO Vol%, g- h 3 NiO Vol%)



รูป 4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ระยะเวลาการ
 แสง 28 วัน (a- b 0 NiO Vol%, c-d 1 NiO Vol%, e-f 2 NiO Vol%, g-h 3 NiO Vol%)



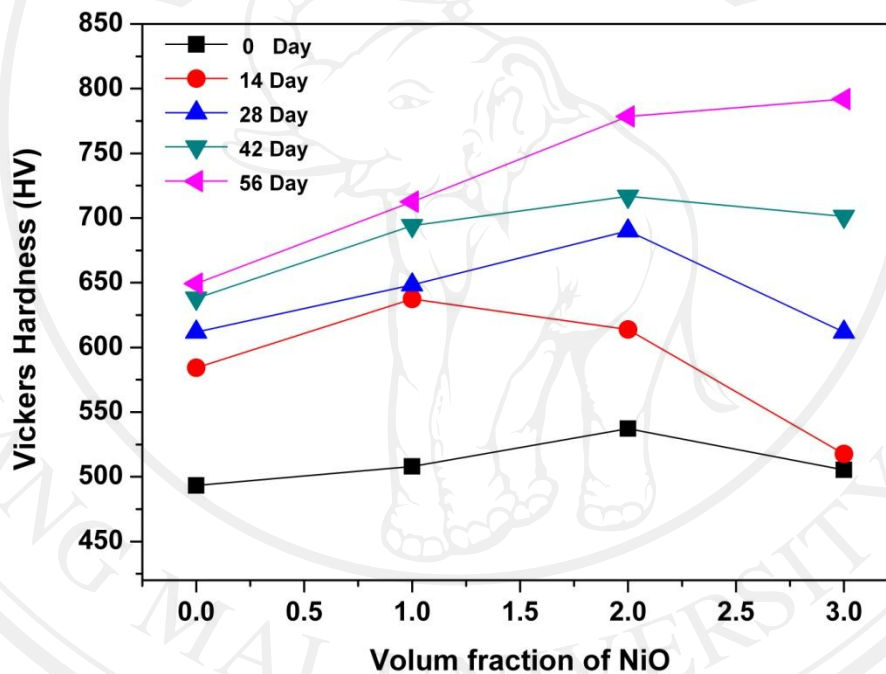
รูป 4.16 แสดงลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ระยะเวลาการ
 แช่ 42 วัน (a- b 0 NiO Vol%, c-d 1 NiO Vol%, e-f 2 NiO Vol%, g-h 3 NiO Vol%)



รูป 4.17 แสดงลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ระยะเวลาการ
 แช่ 56 วัน (a- b 0 NiO Vol%, c-d 1 NiO Vol%, e-f 2 NiO Vol%, g-h 3 NiO Vol%)

4.2.5.2 การทดสอบความแข็งของเซรามิกไฮดรอกซีอะพาทิต์หลังจากแช่ในสารละลายจำลองน้ำเลือด (SBF)

จากผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ หลังจากแช่ในสารละลาย SBF โดยหลังจากแช่ในสารละลาย SBF นำมาทำความสะอาดด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน หลังจากนั้นทำให้แห้งโดยการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 °C หลังจากนั้นทำการวัดค่าความแข็งโดยใช้แรง 200 gf นาน 10 sec. ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่มากขึ้นค่าความแข็งก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้แช่ ทุกๆปริมาณการเติมอนุภาคนาโนของนิกเกิลออกไซด์ ดังแสดงในรูป 4.18



รูป 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งหลังจากแช่ในสารละลาย SBF เทียบกับปริมาณการเติมอนุภาคนาโนนิกเกิลออกไซด์ ที่ระยะเวลาต่างๆ