



รายงานการวิจัย

การผลิตแคลเซียมฟอสเฟตไบโอเซรามิกจากเถ้าไม้ยางพารา Manufacture of calcium phosphate bio-ceramic from rubber wood ash

มาหามะฮูไฮมี มะแซ	Mahamasuhaimi Masae
ซูไฮดี สนิ	Zuhaidee Seni
จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล	Julaluck Rodjananogoon
พชรวิทย์ วรรณะออ	Podcarawit Wanla-ore
ศรายุทธ สุภเพียร	Sarayut Suppapien

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2557

บทคัดย่อ

การนำมาใช้ประโยชน์ของเถ้าไม้ยางพาราซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรเป็นแคลเซียมฟอสเฟตไบโอเซรามิกเปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตที่มีขายเชิงพาณิชย์ ได้ทำการเผาเถ้าไม้ยางพาราก่อนที่ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และได้ทำการคำนวณอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสโดยคำนวณจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเถ้าไม้ยางพาราอัตราส่วนของเถ้าไม้ยางพารา (RWA) ต่อฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) คือ 10:3, 10:5 และ 10:7 จึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง องค์กรประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพาราวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescent (XRF) การกระจายตัวของอนุภาคและพื้นที่ผิววิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบหาขนาดอนุภาค วิเคราะห์เฟสและปริมาณของเฟสด้วย X-ray diffraction (XRD) ที่ตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแคลเซียมที่สังเคราะห์ได้วิเคราะห์ด้วย Fourier transform infrared (FTIR) ได้ทำการทดสอบการเข้ากันได้ในสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์ (Stimulated body fluid, SBF) โดยการหาความเข้มข้นของแคลเซียมที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาต่างๆ กันด้วยเครื่อง (Inductively couple plasma spectrometer, ICP) และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่เวลาต่างกันด้วยวัดด้วยเครื่องวัดค่า pH ซึ่งผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR ได้เส้นกราฟแสดงถึงองค์ประกอบเดียวกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาจะเพิ่มความเปราะของแคลเซียมฟอสเฟตสูงขึ้น โครงสร้างจุลภาคของแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 320-400 นาโนเมตร การสลายตัวของแคลเซียมฟอสเฟตในสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์มีค่าต่ำกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีในเชิงพาณิชย์เนื่องจากโครงสร้างขนาดอนุภาคที่ต่างกัน สามารถสรุปได้ว่าการผลิตแคลเซียมฟอสเฟตจากเถ้าไม้ยางพาราด้วยวิธีโซล เจลเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ในระดับอนุภาคนาโนได้และมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับกระดูกมนุษย์

Abstract

Utilizations of rubber wood ash (RWA), an agricultural waste, as a calcium phosphate bioceramic nanopowders compare with conventional calcium phosphate. These raw material were calcined at the temperatures of 500°C for 1 h. A stoichiometric amount of calcium carbonate ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$, from RWA) and phosphoric pentoxide (P_2O_5), were used with the molar ratio of 10:3, 10:5 and 10:7 which is the desired Ca/P ratio observed in hydroxyapatite. Sintering process was also performed at temperatures of 700 °C and 800 °C. Chemical composition of RWA were characterized by X-ray fluorescent (XRF). Particle size and specific surface area were observed by using Beckman Coulter. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to identify the functional groups. X-ray diffraction (XRD) analysis was carried out to study the phase composition, crystallinity and the crystallite size of calcium phosphate bioceramic nanopowders that were sintered at different temperatures. The in vitro test was performed in a stimulated body fluid (SBF) medium. The changes of the pH of SBF medium were measured at pre-determined time intervals using a pH meter. The dissolution of calcium ions in SBF medium was determined by an inductively couple plasma spectrometer (ICP). FTIR result combined with the X-ray diffraction exhibited single phase of hydroxyapatite with carbonate peaks in the FTIR spectrum. The results indicate that increasing the sintering temperature increases the crystallinity and the crystallite size of calcium phosphate nanopowders. Photomicrograph of scanning electron microscopy (SEM) showed that the obtained powder after sintering at 800 °C is composed of hydroxyapatite nanoparticles (320–400 nm). Dissolution rate of calcium phosphate nanopowders was lower than conventional hydroxyapatite powders due to its nanostructure dimensions. It was concluded that sol–gel prepared hydroxyapatite nanopowders had superior bioresorption and similar chemical and crystal structure to natural bone apatite.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมิได้ออกนาม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เล็ก สีคง ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการนาโนเทคโนโลยีเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพีรวัส คงสงและคุณพัชรี เพิ่มพูน ที่คอยให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา



มาหามะสุไโฮมี มะเซ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการรูป	(9)
สัญลักษณ์และตัวย่อ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	7
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	9
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีวิจัย	11
3.1 แผนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการทำวิจัย	11
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์การวิจัย	12
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	12
3.4 วัสดุที่ใช้	12
4. ผลการวิจัยและสรุปผล	15
4.1 ลักษณะของวัสดุและสารสังเคราะห์	15
4.2 สรุปผลการวิจัย	24

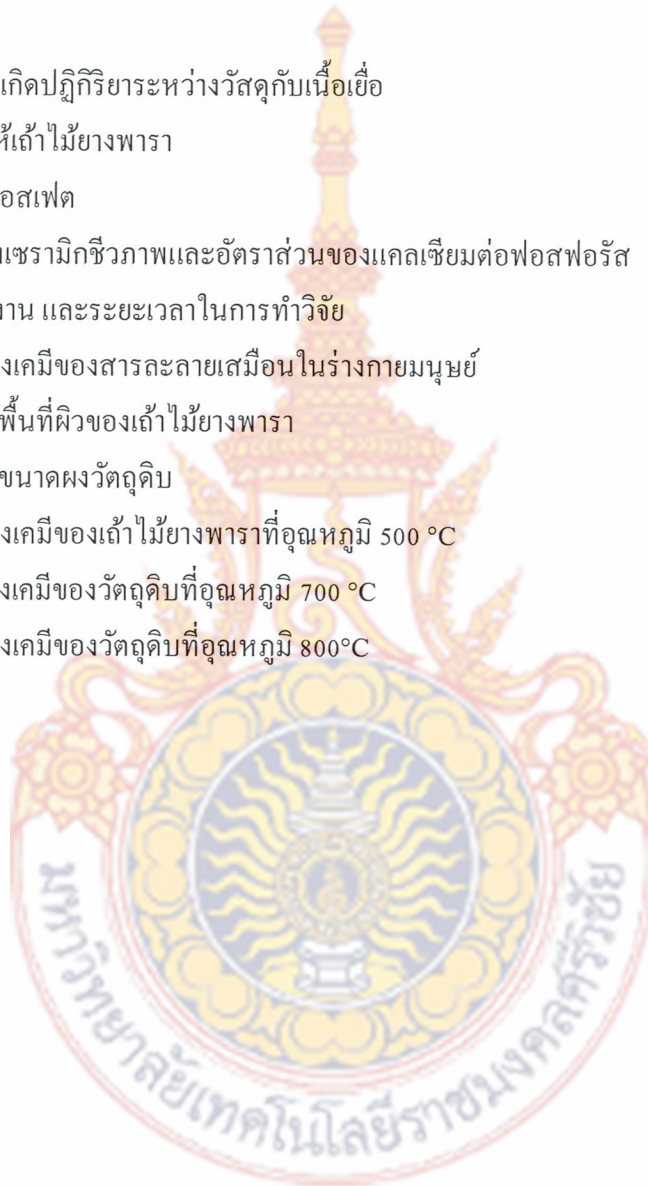
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	26
ภาคผนวก ก	27
ประวัติผู้เขียน	29



รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อ	1
1.2	วัสดุคืบหลักที่ทำให้เก้าอี้ไม้ยางพารา	4
1.3	วัสดุแคลเซียมฟอสเฟต	5
2.1	สูตรทางเคมีของเซรามิกชีวภาพและอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส	9
3.1	แผนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการทำวิจัย	11
3.2	องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์	14
4.1	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของเก้าอี้ไม้ยางพารา	16
4.2	ผลการวิเคราะห์ขนาดผงวัสดุคืบ	16
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของเก้าอี้ไม้ยางพาราที่อุณหภูมิ 500 °C	17
4.4	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุคืบที่อุณหภูมิ 700 °C	19
4.5	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุคืบที่อุณหภูมิ 800°C	20



รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การเปรียบเทียบอวัยวะในร่างกายที่สามารถมาประยุกต์ใช้สำหรับวัสดุชีวภาพ	2
2.1	แผนภูมิแสดงลักษณะของความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุ	8
3.1	เถาไม้ยางพารา	13
3.2	แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	13
4.1	การกระจายตัวขนาดอนุภาคของเถาไม้ยางพารา	15
4.2	ผลการวิเคราะห์ XRD ของเถาไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 500°C	17
4.3	ผลการวิเคราะห์ XRD ของเถาไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 700°C	18
4.4	ผลการวิเคราะห์ XRD ของเถาไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 800°C	19
4.5	ผลการวิเคราะห์วัดดูดิบด้วยอินฟราเรดที่อัตราส่วน 10:3 เเผาที่อุณหภูมิ 800 °C	21
4.6	ผลการวิเคราะห์วัดดูดิบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดระหว่างเถาไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 500 °C ที่กำลังขยาย (ก) 500x (ข) 1000x และ (ค) 3,500x	22
4.7	ผลการวิเคราะห์วัดดูดิบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเถาไม้ยางพาราที่ผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ที่อัตราส่วน 10:3 เเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ง) 500x (จ) 1000x และ (ฉ) 35,000x	22
4.8	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์ที่เวลาต่างกันของแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้จากเถาไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตที่ขายในเชิงพาณิชย์	23
4.9	การสลายตัวของแคลเซียมในสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์ที่เวลาต่างกันของแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้จากเถาไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตที่ขายในเชิงพาณิชย์	23

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

RWA	Rubber wood ash
XRD	X-ray diffraction
XRF	X-ray fluorescent
SEM	Scanning Electron Microscope
HA	Hydroxyapatite
SBF	Stimulated Body fluid
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectrometer
LOI	Loss on ignition
P ₂ O ₅	ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์
ICP	Inductively Couple Plasma Spectrometer
ppm	Part per million
Ca	แคลเซียม
P	ฟอสฟอรัส



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

วัสดุมีบทบาทสำคัญต่อการรักษาโรคและบำรุงสุขภาพของมนุษย์ วัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ประเภทต่างๆ ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการรักษา ทดแทน แก้ไขปัญหาต่างๆ ในการรักษาโรค ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด ได้แก่ คอนแทกเลนส์ กระดูกเทียม ข้อต่อเทียม ระบบควบคุมการจ่ายยา เข็มเทียม ขาเทียม ลิ้นหัวใจเทียม หลอดเลือดเทียม เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้เรียกว่า วัสดุทางชีวภาพ (Biomaterials) เราสามารถแบ่งวัสดุทางชีวภาพตามลักษณะการเกิดปฏิกิริยาของชิ้นวัสดุซึ่งนำไปใช้ในร่างกาย (Implant) กับเนื้อเยื่อได้ (ตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อ[1]

ปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อ	ลักษณะการเกิด
เป็นพิษ (Toxic)	เนื้อเยื่อตาย
ค่อนข้างเฉื่อย (Nearly inert)	จะเกิดช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อกับวัสดุ
ไบโอแอคทีฟ (Bioactive)	วัสดุจะมีพันธะชั้นที่ผิวสัมผัส (Interfacial) ของเนื้อเยื่อ
ละลายเมื่ออยู่ในร่างกาย (Resorbable)	เนื้อเยื่อจะแทนที่วัสดุ

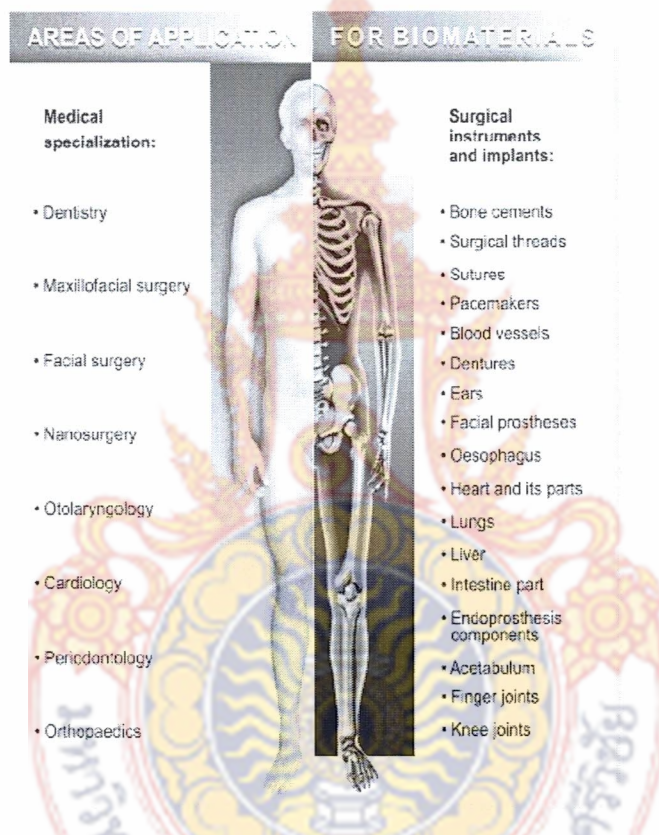
มนุษย์เริ่มใช้เซรามิกในรูปของเครื่องปั้นดินเผามานานนับพันปี และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม มนุษย์เริ่มตระหนักถึงการนำเซรามิกในการเสริม ปรับปรุง แก้ไข หรือทดแทนส่วนต่าง ๆ ในร่างกายได้ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นกระดูก ซึ่งเซรามิกที่นำมาใช้ในวัสดุประสงคนี้ เรียกว่า เซรามิกชีวภาพ (Bioceramics) ที่ใช้ทดแทนในร่างกายมนุษย์ (รูปที่ 1.1)

Hench (1993) ได้จำแนกเซรามิกชีวภาพตามลักษณะการเกิดพันธะกับเนื้อเยื่อได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

1) วัสดุที่มีสมบัติค่อนข้างเฉื่อย คือวัสดุจะไม่เกิดพันธะใด ๆ กับกระดูก เช่น อะลูมินา (Alumina) เซอร์โคเนีย (Zirconia) ดังนั้นเมื่อนำวัสดุนี้ใส่เข้าไปในร่างกายแล้วมีการเคลื่อนไหวใน

บริเวณนั้นบ่อยครั้งจะส่งผลทำให้วัสดุหลวมแล้วเกิดการโยกคลอน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อกับวัสดุ

2) วัสดุที่มีรูพรุน (Porous) เนื้อเยื่อจะเจริญเติบโตแทรกเข้าไปในรู เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เคลือบบนโลหะที่มีรูพรุน วัสดุชนิดนี้พัฒนาขึ้นเพื่อป้องกันการหลวมของวัสดุ เนื่องจากเนื้อเยื่อกระดูกสามารถเจริญเติบโตแทรกเข้าไปตามรูพรุนที่บริเวณผิวหน้าวัสดุ แต่วัสดุชนิดนี้มีข้อจำกัดคือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนจะต้องไม่น้อยกว่า 100 ไมโครเมตร เพื่อให้มีที่ว่างเพียงพอที่เส้นเลือดสามารถเข้าไปหล่อเลี้ยงเนื้อเยื่อกระดูกได้



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบอวัยวะในร่างกายที่สามารถมาประยุกต์ใช้สำหรับวัสดุชีวภาพ[2]

3) วัสดุที่ไวต่อปฏิกิริยาชีวภาพ ที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุจะเกิดพันธะกับเนื้อเยื่อ เช่น ไบโอแอคทีฟกลาส (Bioactive glass) ไบโอแอคทีฟกลาสเซรามิก (Bioactive glass-ceramics) ไฮดรอกซีอะพาไทต์ จุดมุ่งหมายของการพัฒนาวัสดุชนิดนี้ขึ้นมาคือ ต้องการให้วัสดุมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างวัสดุที่ค่อนข้างเฉื่อย และวัสดุที่สามารถละลายได้ วัสดุชนิดนี้จึงมีปฏิกิริยาทางเคมีกับร่างกาย แต่เกิดเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น

4) วัสดุที่สามารถละลายได้ (Resorbable) วัสดุจะถูกแทนที่โดยกระดูก เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Tricalcium phosphate) ไบโอแอคทีฟกลาส วัสดุชนิดนี้ถูกออกแบบให้วัสดุ

สามารถละลายในร่างกายได้เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง และถูกแทนที่โดยเนื้อเยื่อที่บริเวณนั้น ๆ ซึ่งอัตราการละลายของวัสดุควรจะสัมพันธ์กับอัตราการเติบโตของเนื้อเยื่อ แต่วัสดุชนิดนี้บางชนิดมีอัตราการละลายเร็ว บางชนิดมีอัตราการละลายช้า ประมาณ 20 กว่าปีที่ผ่านมา การพัฒนาวัสดุชนิดใหม่สำหรับการปลูกถ่าย ทดแทนกระดูกในมนุษย์ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เซรามิกชีวภาพเป็นหนึ่งในวัสดุที่ถูกนำมาพัฒนา

เซรามิกชีวภาพเป็นการผลิตโดยการควบคุมกระบวนการให้ความร้อนและอัตราส่วนผสม โดยเซรามิกชีวภาพที่นำมาใช้ในการทดแทนกระดูกที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไปคือกลุ่มของแคลเซียมฟอสเฟตหรืออะพาไทต์ ในทศวรรษที่ผ่านมา ได้เริ่มมีการนำวัสดุประเภทแคลเซียมฟอสเฟตต่างๆ จำหน่ายในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น วัสดุเหล่านี้ถูกนำมาใช้งานทั้งทางด้านทันตกรรมและการแพทย์ ซึ่งวัสดุแคลเซียมฟอสเฟตจัดเป็นวัสดุที่ไวต่อปฏิกิริยาชีวภาพ เนื่องจากที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุชนิดนี้มีความสามารถในการเกิดพันธะกับกระดูก [3]

วัสดุที่นำไปใช้ในร่างกายควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย, ไม่ก่อโรคมะเร็ง, ไม่ทำให้เกิดอาการแพ้และการอักเสบ, สามารถเข้าด้วยกันได้ (Compatibility) และทำงานภายในร่างกายได้ตลอดช่วงอายุการใช้งาน [4] การเข้าด้วยกันได้กับร่างกาย หมายถึง วัสดุที่ใส่ในร่างกาย ได้รับการยอมรับจากเนื้อเยื่อ ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย หรืออันตรายใด ๆ ต่อเนื้อเยื่อ และต่อร่างกาย [5] ดังนั้นการนำวัสดุทางชีวภาพชนิดหนึ่งมาใช้งาน จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการศึกษาเกี่ยวกับการเข้าด้วยกันได้กับร่างกาย (Biocompatibility) ก่อน ซึ่งได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับการมีปฏิกิริยาต่อสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ (Bioactivity) ของวัสดุนั้น ๆ รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cxicity) ซึ่งสามารถศึกษาได้ทั้งในหลอดแก้ว (*In vitro*) และในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (*In vivo*) เพื่อให้มีความแน่ใจว่า วัสดุทางชีวภาพชนิดนั้น สามารถนำมาใช้ในร่างกายได้อย่างปลอดภัย

การมีปฏิกิริยาต่อสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ คือ ความสามารถในการเกิดพันธะทางเคมีกับกระดูกเพื่อช่วยการยึดเกาะ [6] ส่วนการเป็นพิษต่อเซลล์ อาจทำให้เซลล์มีรูปร่างลักษณะ (Morphology) เปลี่ยนแปลง หรือทำให้เซลล์ตาย [7] ถ้าวัสดุไม่เป็นพิษต่อเซลล์ และมีข้อมูลทางพฤติกรรมของวัสดุต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพแล้ว แพทย์ก็จะนำวัสดุนั้นไปทดลองใช้งานจริงกับผู้ป่วยที่เป็นอาสาสมัคร เพื่อศึกษาผลจากการใช้งาน ก่อนที่จะนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายต่อไป [8] วัสดุชีวภาพที่เป็นเซรามิกส์ได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลายชนิดเช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูก อะลูมินา (Alumina) เป็นส่วนประกอบของสะโพกเทียม ไพโรไลติกคาร์บอน (Pyrolytic carbon) ใช้เป็นลิ้นหัวใจ

ประเทศไทยเริ่มมีการพัฒนาวัสดุทางชีวภาพได้ไม่นาน จึงยังไม่สามารถผลิตวัสดุเหล่านั้นใช้เองภายในประเทศ จำเป็นต้องอาศัยการนำเข้า ที่มีราคาสูง อีกทั้งในปัจจุบันมีผู้ที่ประสบอุบัติเหตุ จนกระดูกหักมีมากขึ้น รวมถึงผู้สูงอายุ โดยเฉพาะสตรีที่เผชิญกับโรคกระดูกพรุน ทำให้มี

ความต้องการใช้วัสดุทดแทนกระดูกในปริมาณมาก จำเป็นต้องพัฒนาวัสดุเหล่านี้ เพื่อทดแทนการนำเข้า และเพื่อเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีชีวมวลเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรหลากหลายชนิด ได้แก่ แกลบ กากอ้อย เศษไม้และขี้เลื่อย ไม้ยางพารา กะลา และใบมะพร้าว กะลาและกากใยปาล์ม เป็นต้น จากการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม ปัจจุบัน พบว่ามีปริมาณมากกว่า 29 ล้านตัน [9] ซึ่งในภาคใต้มีแหล่งทรัพยากรชีวมวลเกษตรระยะยาว (ยางพารา) ซึ่งถือว่าเป็นชีวมวลเพื่อพลังงานที่มีความมั่นคงที่สุด นอกจากนี้อุตสาหกรรมไม้ยางพาราในภาคใต้ก็เช่นกัน มีส่วนเพิ่มวัตถุดิบไม้อย่างยั่งยืน มีผลทางเศรษฐกิจเป็นอย่างดีในประเทศกลุ่มอาเซียน ปัจจุบันไทย มีเนื้อที่ปลูกยางประมาณ 12.2 ล้านไร่ เป็นประเทศผู้ผลิตยางพารา อันดับ 1 ประมาณ 2.3 ล้านตัน นอกจากปริมาณน้ำยางแล้ว กำลังผลิตไม้ท่อนเพื่อป้อนสู่โรงงานอุตสาหกรรมไม้ หลังจากต้นยางแก่ให้ผลผลิตต่ำ จะต้องโค่นเนื้อที่ปลูกทดแทนปี ละ 230,000 ไร่มีปริมาณไม้ถึง 5.1 ล้านตารางเมตร ปัจจุบันไม้แปรรูปยางพารามีบทบาทสำคัญ เป็นวัตถุดิบของ อุตสาหกรรมไม้ของประเทศ ไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้ของการปลูกยาง สามารถลดการบุกรุกการทำลายพื้นที่ป่าอย่างได้ผลดียิ่ง ปริมาตรไม้ยางพารา สวนยาง 1 ไร่ โดยเฉลี่ยจะได้ไม้ยางพาราท่อนซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้จำนวน 40 ลูกบาศก์เมตร [10] ซึ่งเศษไม้ยางพารานำมาเป็นเชื้อเพลิงจะได้เป็นถ่านประมาณ 4% (ตารางที่ 1.2)

ตารางที่ 1.2 วัตถุดิบหลักที่ให้ถ่านไม้ยางพารา[11]

ประเภทไม้	ปริมาณไม้	
	ปริมาตร ล้าน ลบ.ม.	น้ำหนัก ล้านตัน
ปีกไม้	2.10	1.365
ขี้เลื่อย	0.90	0.585
ไม้พื้น โรงรมควั่นยาง	0.15	0.098

นอกจากนี้อุตสาหกรรมไม้ยางพาราในภาคใต้ก็เช่นกัน มีส่วนเพิ่มวัตถุดิบไม้อย่างยั่งยืน มีผลทางเศรษฐกิจเป็นอย่างดีในประเทศกลุ่มอาเซียน ปัจจุบันไทย มีเนื้อที่ปลูกยางประมาณ 12.2 ล้านไร่ เป็นประเทศผู้ผลิตยางพารา อันดับ 1 ประมาณ 2.3 ล้านตัน นอกจากปริมาณน้ำยางแล้ว กำลังผลิตไม้ท่อนเพื่อป้อนสู่โรงงานอุตสาหกรรมไม้ หลังจากต้นยางแก่ให้ผลผลิตต่ำ จะต้องโค่นเนื้อที่ปลูกทดแทนปี ละ 230,000 ไร่มีปริมาณไม้ถึง 5.1 ล้านตารางเมตร ปัจจุบันไม้แปรรูปยางพารามีบทบาทสำคัญ เป็นวัตถุดิบของ อุตสาหกรรมไม้ของประเทศ ไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้ของการปลูกยาง สามารถลดการบุกรุกการทำลายพื้นที่ป่าอย่างได้ผลดียิ่ง ปริมาตรไม้ยางพารา สวนยาง 1 ไร่ โดยเฉลี่ยจะได้ไม้ยางพาราท่อนซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้จำนวน 40 ลูกบาศก์เมตร [10] ซึ่งเศษไม้ยางพารานำมาเป็นเชื้อเพลิงจะได้เป็นถ่านประมาณ 4%

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมเซรามิกชีวภาพ ที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งเป็นวัสดุทางชีวภาพชนิดใหม่ นำมาศึกษาเกี่ยวกับการผสมของส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราและเฟสที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูกและฟันของมนุษย์ (ตารางที่ 1.3)

ตารางที่ 1.3 วัสดุแคลเซียมฟอสเฟต

วัสดุ	ชื่อทางการค้า
แคลเซียมฟอสเฟตเซรามิก	1. แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ $(\text{HA}, \text{Ca}_{10}(\text{PO})_4(\text{OH})_2)$ - แคลไซต์ (Calcite) - ดูราพาไทต์ (Durapatite) - อัลวีโอกราฟ (Alveograf) - ออสทีโอกราฟ (Osteograf) - ไฮเมท เฮชเอ (Himed- HA) - ไบโออะพาไทต์ (Bioapatite) - ไบโอโรค (Bioroc) - อัลโลโทรแพท (Allotropat) - มิทซูบิชิ เฮชเอ (Mitsubishi HA) 2. เบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต $(\beta\text{-TCP}, \text{Ca}_3(\text{PO})_4)$ - ซินโทกราฟ (Synthograf) - อ็อกเมน (Augmen) - ไฮเมท ทีซีพี (Himed- TCP)
ไบเฟลิก แคลเซียมฟอสเฟต (BCP)	1. ไตรโอซิท (Triosit) 2. ไฮเมท ทีซีพี (Himed- TCP)
วัสดุแคลเซียมฟอสเฟตที่สามารถละลายได้	1. ออสทีโอเจน (Osteogen) 2. ไฮเมท เอพี (Himed-AP)
วัสดุแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากธรรมชาติ	1. ไบโอออส (BioOss) 2. ออสทีโอกราฟ เอ็น (Osteograf-N)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

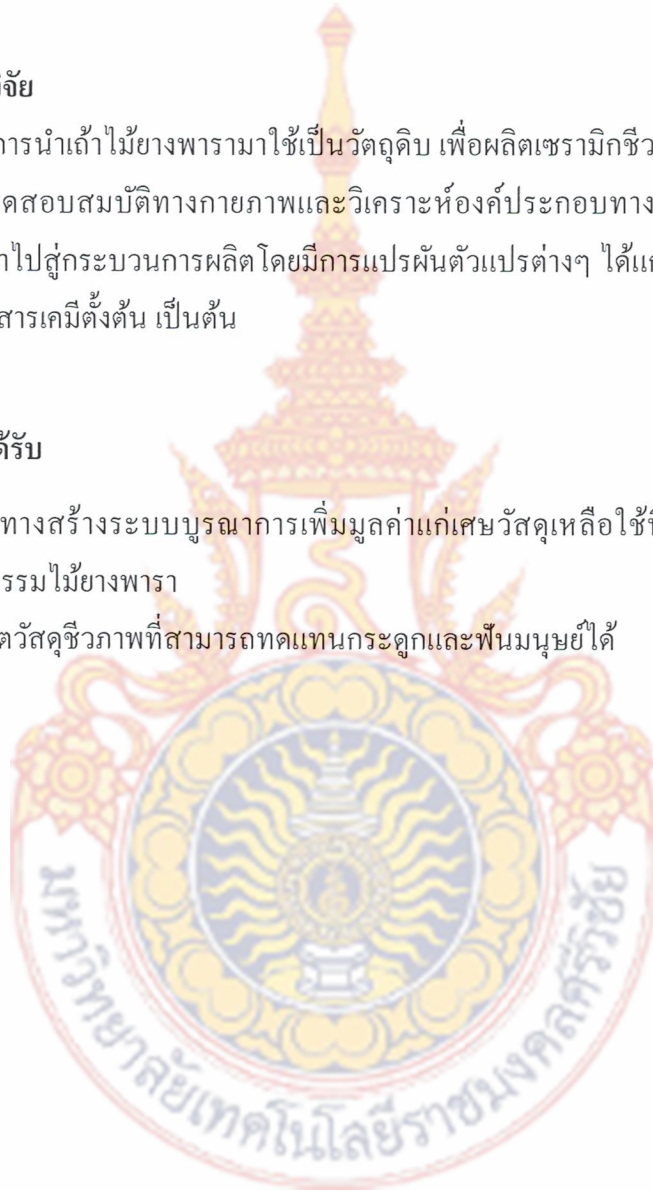
1. ผลิตเซรามิกชีวภาพที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตโดยใช้เถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนผสม
2. ศึกษาลักษณะเฉพาะของเซรามิกชีวภาพที่เตรียมขึ้น ในด้านองค์ประกอบทางเคมี (แคลเซียมและฟอสฟอรัส) และโครงสร้างจุลภาค

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

มุ่งเน้นศึกษาการนำเถ้าไม้ยางพารามาใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อผลิตเซรามิกชีวภาพโดยการผสมกับสารเคมีตั้งต้นมาทดสอบสมบัติทางกายภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น และเฟสที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิตโดยมีการแปรผันตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาณเถ้าอุณหภูมิจากการเผา ปริมาณสารเคมีตั้งต้น เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางสร้างระบบบูรณาการเพิ่มมูลค่าแก่เศษวัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์จากภาคอุตสาหกรรมไม้ยางพารา
2. เป็นการผลิตวัสดุชีวภาพที่สามารถทดแทนกระดูกและฟันมนุษย์ได้



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ไบโอเซรามิกหรือเซรามิกชีวภาพ

ไบโอเซรามิกหรือเซรามิกชีวภาพมีคุณลักษณะพิเศษคือสามารถเกิดพันธะกับเนื้อเยื่ออ่อน ได้ดีทัดเทียมกับการเกิดพันธะกับกระดูก [12] ในด้านของการใช้งานถ้าวัสดุสามารถเกิดพันธะกับเนื้อเยื่ออ่อนหรือกระดูกจะเกิดการยึดเกาะกันแน่นช่วยให้มีความเสถียรคุณสมบัติโดยทั่วไปของวัสดุที่เป็นไบโอแอคทีฟขึ้นกับชนิดของวัสดุ ภูมิภาค ขนาด และเวลา การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิววัสดุจะเกิดขึ้นเมื่อฝังภายในร่างกาย ที่พื้นผิวจะเกิดขึ้นของ แอคทีฟคาร์บอนที่มีไฮดรอกซีอะพาไทต์ ก่อให้เกิดพันธะที่เชื่อมต่อกับเนื้อเยื่อ [13]

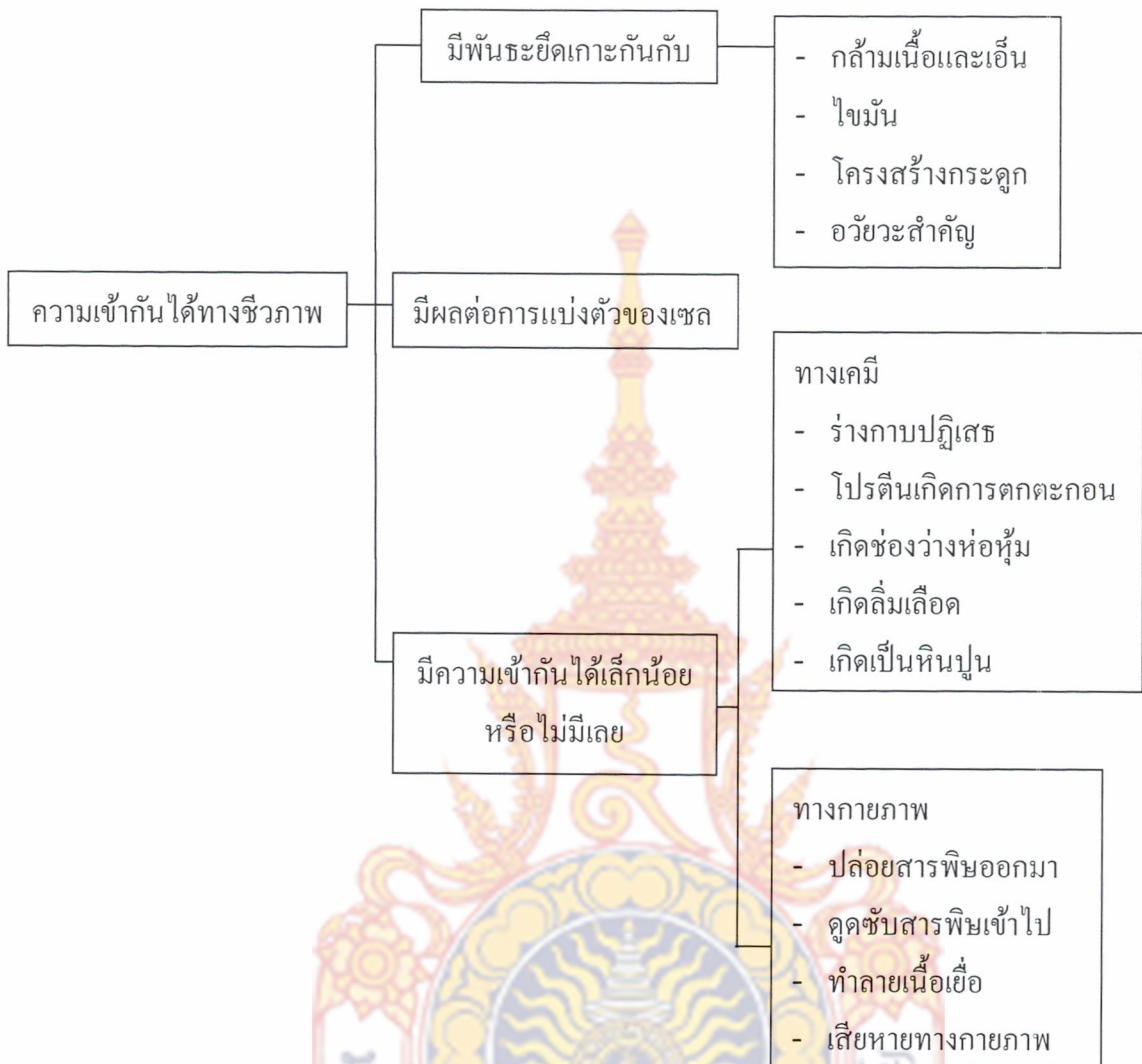
การเกิดพันธะกับกระดูกที่พบครั้งแรกในไบโอเซรามิก ซึ่งมีส่วนประกอบของ SiO_2 , Na_2O , CaO และ P_2O_5 ที่มีสัดส่วนเฉพาะ [14] การที่มีปริมาณ Na_2O และ CaO สูง จึงทำให้พื้นที่ผิวเกิดปฏิกิริยากับสารละลายได้ง่ายขึ้น สำหรับพันธะที่เกิดขึ้นนั้นเกิดโดยปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก้วกับของเหลวในร่างกาย มีผลทำให้เกิดชั้นของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (ตารางที่ 2.1) ที่ซึ่งกระดูกสามารถสร้างพันธะด้วยได้ [15]

ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility)

ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ เป็นความสามารถของวัสดุที่มนุษย์พัฒนาขึ้น ที่คงอยู่ได้ภายในร่างกายสิ่งมีชีวิตในช่วงเวลาหนึ่ง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ วัสดุทุกชนิดที่นำมาใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์นั้นล้วนแล้วแต่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ แต่จะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน ถ้าว่าความเข้ากันได้ทางชีวภาพจะครอบคลุมคุณสมบัติค่อนข้างกว้าง ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- 1) วัสดุสามารถมีพันธะยึดเกาะกัน โดยวัสดุจะต้องสามารถมีพันธะยึดเกาะกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
- 2) วัสดุไม่ผลต่อการแบ่งตัวของเซลล์ ซึ่งจะทำให้เซลล์เจริญเติบโตผิดปกติ
- 3) วัสดุมีความเข้ากันได้เล็กน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งวัสดุจะส่งผล 2 วิธีคือ
 - ทางเคมี
 - ทางกายภาพ

โดยสามารถแสดงลักษณะของความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงลักษณะของความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุ[5]

ตารางที่ 2.1 สูตรทางเคมีของเซรามิกชีวภาพและอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส [2]

สัญลักษณ์	สูตรทางเคมี	ชื่อ	อัตราส่วน Ca:P
TTCP	$\text{Ca}_4(\text{PO})_4\text{O}_2$	Tetracalcium phosphate	2.00
HA	$\text{Ca}_{10}(\text{PO})_4(\text{OH})_2$	Hydroxyapatite	1.67
ACP	$\text{Ca}_{10x}\text{H}_{2x}(\text{PO})_4(\text{OH})_2$	Amorphous calcium phosphate	
TCP	$\text{Ca}_3(\text{PO})_4 - \alpha$ $\text{Ca}_3(\text{PO})_4 - \beta$	α - Tricalcium phosphate β - Tricalcium phosphate	1.50
OCP	$\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO})_4 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$	Octacalcium phosphate	1.33
DCPA	Ca_2HPO_4	Dicalcium phosphate	1.00
DCPD	$\text{Ca}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Dicalcium phosphate dihydrate	1.00
CPP	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	Calciumpyro phosphate	1.00
CPPD	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Calciumpyro phosphate dihydrate	1.00
HCP	$\text{Ca}_7(\text{P}_5\text{O}_{16})_2$	Heptacalcium phosphate	0.7
TDHP	$\text{Ca}_4\text{H}_2\text{P}_6\text{O}_{20}$	Tetracalcium dihydrogen phosphate	0.67
MCPM	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Monocalcium phosphate monohydrate	0.5
CMP	$\text{Ca}_3(\text{PO})_3$	Calcium metaphosphate	0.5

2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการสังเคราะห์เซรามิกชีวภาพในกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตและไฮดรอกซีอะพาไทต์ ดังนี้

การสังเคราะห์แคลเซียมฟอสเฟตและไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยใช้สารเคมี มีการศึกษาการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยใช้แคลเซียมไนเตรดและฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ในอัตราส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 10:3 โดยเผาที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิการเผาที่ 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส มีเฟสของไฮดรอกซีอะพาไทต์ 61 73 78 และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและที่อุณหภูมิการเผาที่ 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส มีขนาดอนุภาค 20 23 30 และ 34 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบกับ

สารละลายในเสมือนในร่างกายมนุษย์ในหลอดแก้วแล้วมีความใกล้เคียงกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ [16] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาตัวเติมต่างๆมากมายในการสังเคราะห์เซรามิกชีวภาพที่เป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ตัวเติมที่เลือกใช้ได้แก่ โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต กรดบอริก โพลีเอทิลีนฟลูออไรด์ โพลีเอทิลีนฟอสเฟต โพลีเอทิลีนซิลิเกต โพลีเอทิลีนฟอสเฟต เป็นต้น ทำการบดผสมแล้วเผาที่อุณหภูมิในช่วง 1,000-1,100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง [17] นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ระดับนาโนโดยใช้สารตั้งต้นแคลเซียมไนเตรดเตรไฮเดรตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และโซเดียมฟอสเฟตไดเบซิเจนไฮดรอกไซด์ และใช้ EDTA ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทำการสังเคราะห์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟความยาวคลื่นที่ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งได้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ขนาดอนุภาคในช่วง 10-50 นาโนเมตร [18]

การสังเคราะห์แคลเซียมฟอสเฟตและไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยใช้วัสดุเหลือใช้ งานวิจัยที่ศึกษาการสังเคราะห์สารแคลเซียมฟอสเฟตจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตเจลาตินจากกระดูกสัตว์โดยทำการร่อนวัตถุดิบผ่านตะแกรง แล้วนำไปละลายในกรด จากนั้นต้มสารละลายภายใต้อุณหภูมิที่กำหนดแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง ซึ่งสารแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเซรามิกชีวภาพใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมได้ โดยมีระดับอยู่ในมาตรฐาน ASTM Designation: F 1185-88, Standard Specification for Composition of Ceramic Hydroxyapatite for Surgical Implants [19] นอกจากนี้ยังมีการศึกษานำกระดูกวัวมาสังเคราะห์เป็นเซรามิกชีวภาพอีกด้วยโดยทำชิ้นงานในลักษณะซีเมนต์เพื่อต้านแรงกดได้ [20]



บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีวิจัย

จากการทดลองครั้งนี้ได้นำแก้วไม่ยางพารา (RWA) ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ไปผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ (P_2O_5) โดยการแปรผันอัตราส่วนแก้วไม่ยางพาราต่อฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ (P_2O_5) เป็น 10:3 10:5 10:7 และนำไปเผาโดยการแปรผันอุณหภูมิคือ อุณหภูมิที่ 700 และ 800 °C ซึ่งมีแผนดำเนินงานตามตารางที่ 3.1

3.1 แผนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการทำวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการทำวิจัย

แผนการดำเนินงาน	พ.ศ.2557			
	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	→			
2. วิเคราะห์วัตถุประสงค์เบื้องต้น	→			
3. สังเคราะห์แคลเซียมฟอสเฟตจาก RWA: P_2O_5 ที่อัตราส่วน 10:3, 10:5 และ 10:7 เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 °C		→		
4. ทำการวิเคราะห์เฟสแคลเซียมฟอสเฟตจาก RWA: P_2O_5 ที่อัตราส่วน 10:3, 10:5 และ 10:7 เผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 °C		→		
5. สังตัวอย่างวิเคราะห์			→	
6. สรุปผลและเขียนรายงานวิจัยและจัดพิมพ์				→
7. เสนอผลการวิจัยและเผยแพร่				→

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์การวิจัย

- หากการกระจายตัวของอนุภาค (Particle Size Analysis) และพื้นที่ผิววัดด้วยเครื่องวัดการกระเจิงของอนุภาคจากแสงเลเซอร์ Beckman Coulter รุ่น Mastersizer 2000 Version 5.1
- ตรวจชนิดสารประกอบทางเคมีของวัสดุคิบ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction
- ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของวัสดุคิบ (Microstructure) ด้วยกล้องส่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) รุ่น JSM- 5800LV, JEOL
- ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) รุ่น Perkin-Elmer, 4300 DV

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

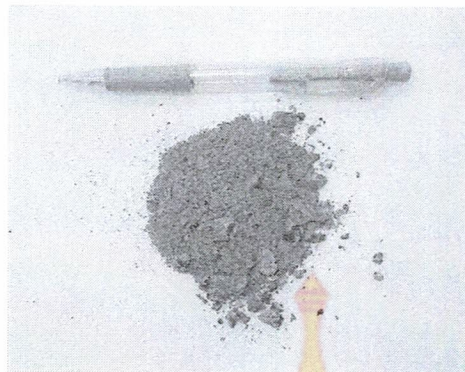
การวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้คือ ศึกษาอุณหภูมิในการเผาสารที่สังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบเป็นเถ้าไม้ยางพาราเป็นหลัก อุณหภูมิในการเผาสารสังเคราะห์ โดยศึกษาองค์ประกอบทางด้านกายภาพและทางด้านเคมีของสารสังเคราะห์

3.4 วัสดุคิบที่ใช้

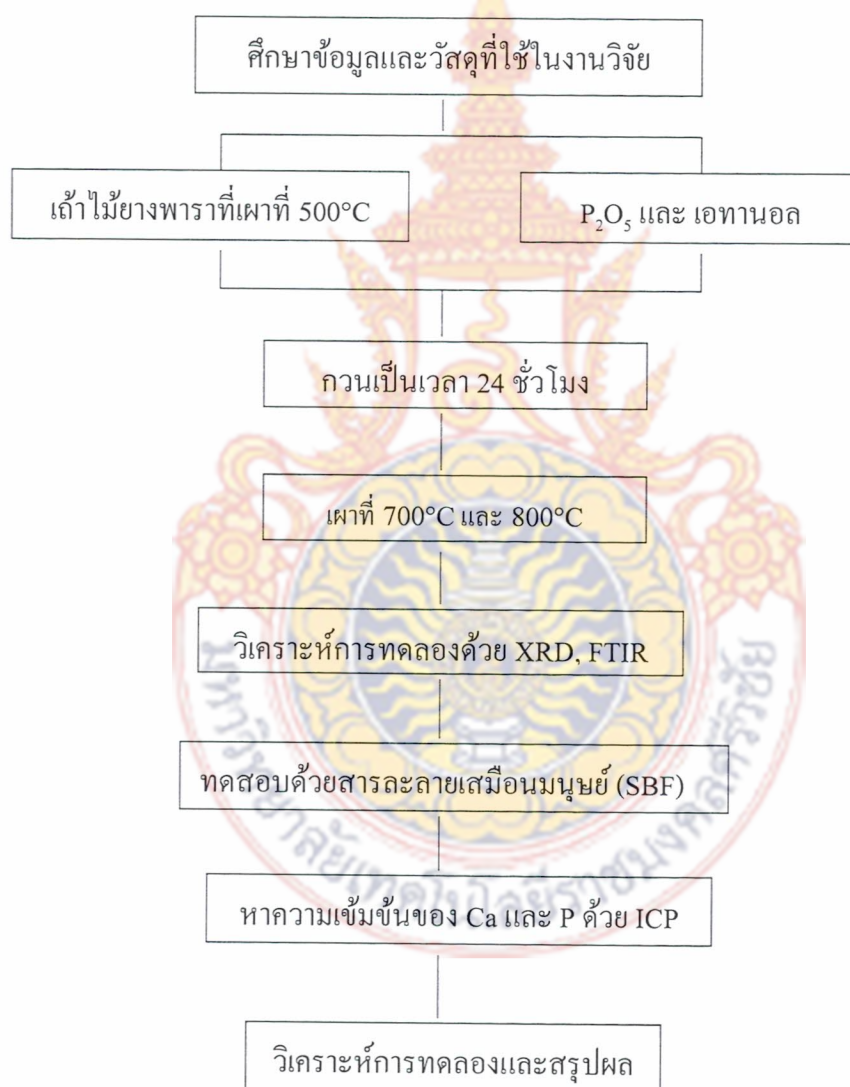
1. เถ้าไม้ยางพารา (RWA) จากอำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา (รูปที่ 3.1)
2. ฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ (P_2O_5)
3. เอทานอล

3.4.1 การออกแบบการวิจัย

1. นำไม้ยางพาราไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนกลายเป็นเถ้าไม้ยางพารา
2. นำเถ้าที่ได้จากการเผาไปผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ในอัตราส่วน RWA: P_2O_5 ดังนี้ 10:3, 10:5 และ 10:7 (รูปที่ 3.2) โดยคำนวณอัตราส่วนแบบเอมไพริคัลฟอmula (Empirical Formula) ผสมกับเอทานอล แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ให้เปลี่ยนเฟสเป็นแคลเซียมฟอสเฟต นำสารสังเคราะห์ที่ผ่านการเผาไปตรวจสอบเฟสที่เกิดขึ้นด้วย XRD นำสารสังเคราะห์ที่เป็นแคลเซียมฟอสเฟตที่ดีที่สุดไปทดสอบกับสารละลายเสมือนร่างกายมนุษย์ SBF เตรียมจากสารเคมีตั้งต้นได้แก่ NaCl, $NaHCO_3$, $CaCl_2$, KCl, $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ และ Na_2SO_4 ในน้ำกลั่นที่ค่า pH 7.4 อุณหภูมิที่ 37 °C พร้อมกับผสมด้วย tris-hydroxymethylaminomethane (TRIS) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) (ตารางที่ 3.2) เปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ โดยไปทดสอบค่าความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่เปลี่ยนไปด้วย เครื่อง Inductively couple plasma (ICP)
 3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการทดลอง
 4. สรุปผลการศึกษาวิจัย และเขียนรายงานวิจัย



รูปที่ 3.1 เถ้าไม้ยางพารา



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์

สารประกอบ	ความเข้มข้นของไอออน (mM)
Na ⁺	142.0
K ⁺	5.0
Ca ²⁺	2.5
Mg ²⁺	1.5
Cl ⁻	147.8
HPO ₄ ²⁻	1.0
HCO ₃ ⁻	4.2
SO ₄ ²⁻	0.5



บทที่ 4

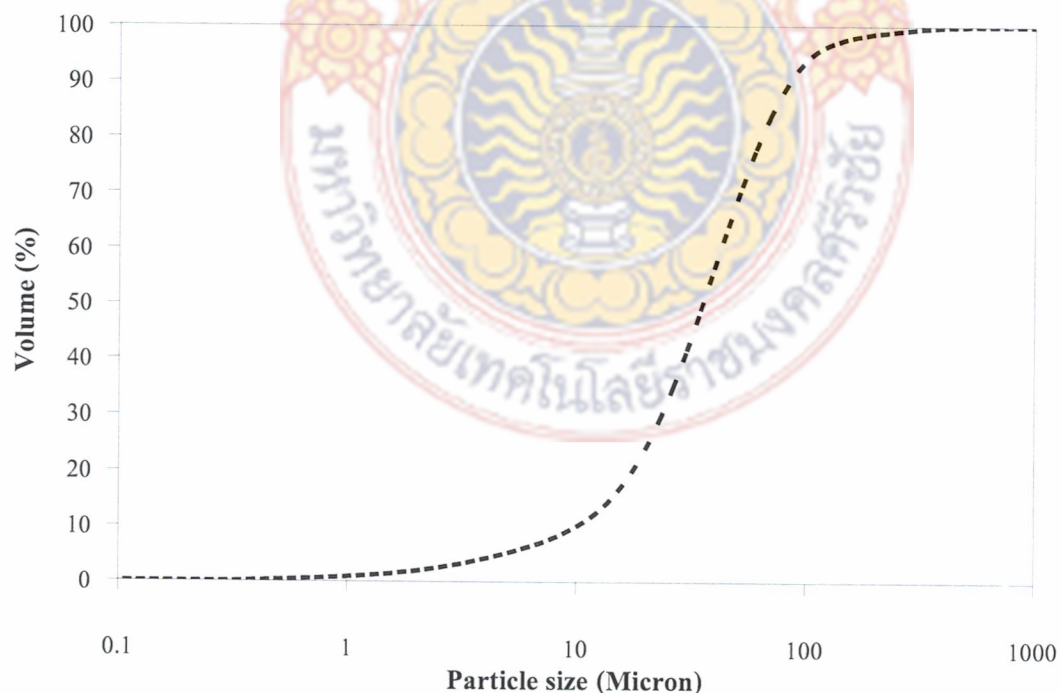
ผลการวิจัยและสรุปผล

จากการทดลองครั้งนี้ได้นำเถ้าไม้ยางพาราที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 500°C ไปผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ (P_2O_5) โดยการแปรผันอัตราส่วนเถ้าไม้ยางพาราต่อฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ (P_2O_5) เป็น 10:3 10:5 10:7 และนำไปเผาโดยการแปรผันอุณหภูมิคือ อุณหภูมิที่ 700 และ 800 °C จากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะของวัสดุคิบ สารสังเคราะห์ของวัสดุคิบ และวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัสดุคิบโดยมีการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 ลักษณะของวัสดุคิบและสารสังเคราะห์

4.1.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

เถ้าไม้ยางพาราที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ซึ่งผลของการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของเถ้าไม้ยางพารา ที่นำมาใช้ในการทดลองพบว่าขนาดอนุภาคเถ้าไม้ยางพารา มีการกระจายตัวมากที่สุดอยู่ในช่วง 84.53 ไมครอน (รูปที่ 4.1) จากผลการทดลองหาค่าพื้นที่ผิวของเถ้าไม้ยางพารามีค่า 0.41 ตารางเมตรต่อกรัม (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเห็นได้ว่าขนาดอนุภาคของเถ้าไม้ยางพารามีการกระจายตัวในช่วง 10-84 ไมครอน (ตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของเถ้าไม้ยางพารา

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ้ำไม้ยางพารา

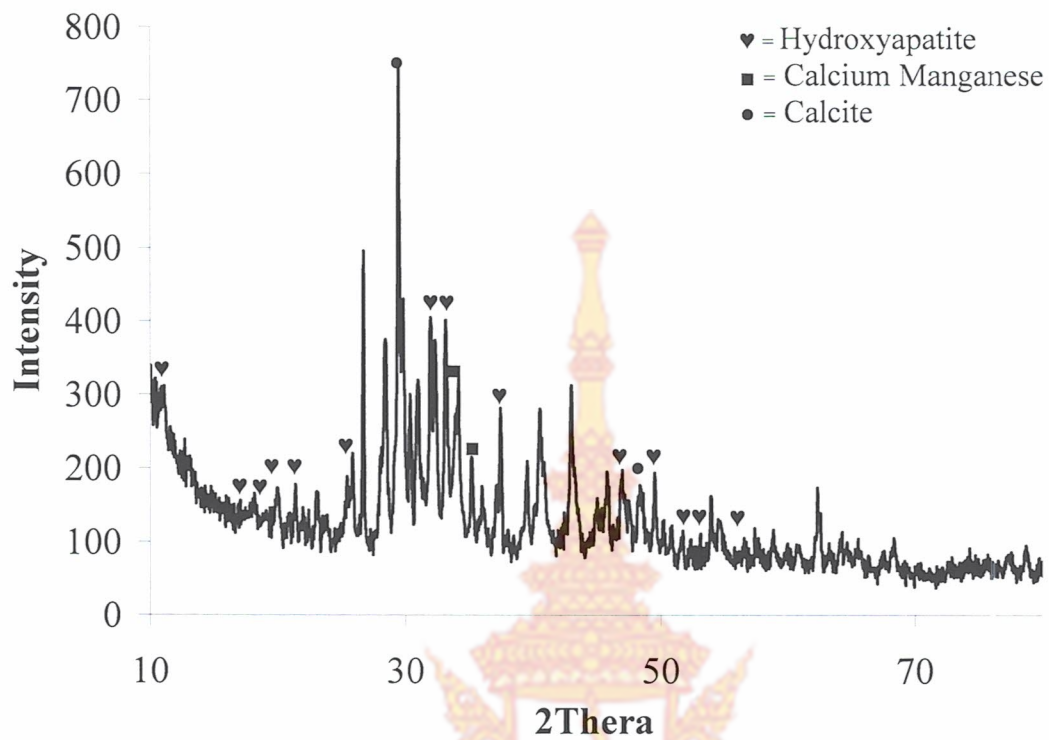
ชนิดของถ้ำ	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)
ถ้ำไม้ยางพารา	0.41

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดผงวัตถุดิบ

ขนาดที่ผ่านตะแกรง	ขนาดอนุภาค ถ้ำไม้ยางพารา(ไมครอน)
10	10.00
20	17.38
30	22.90
40	30.10
50	35.43
60	40.12
70	52.41
80	68.18
90	84.53

4.1.2 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบและแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากถ้ำไม้ยางพาราด้วย X-ray diffraction (XRD)

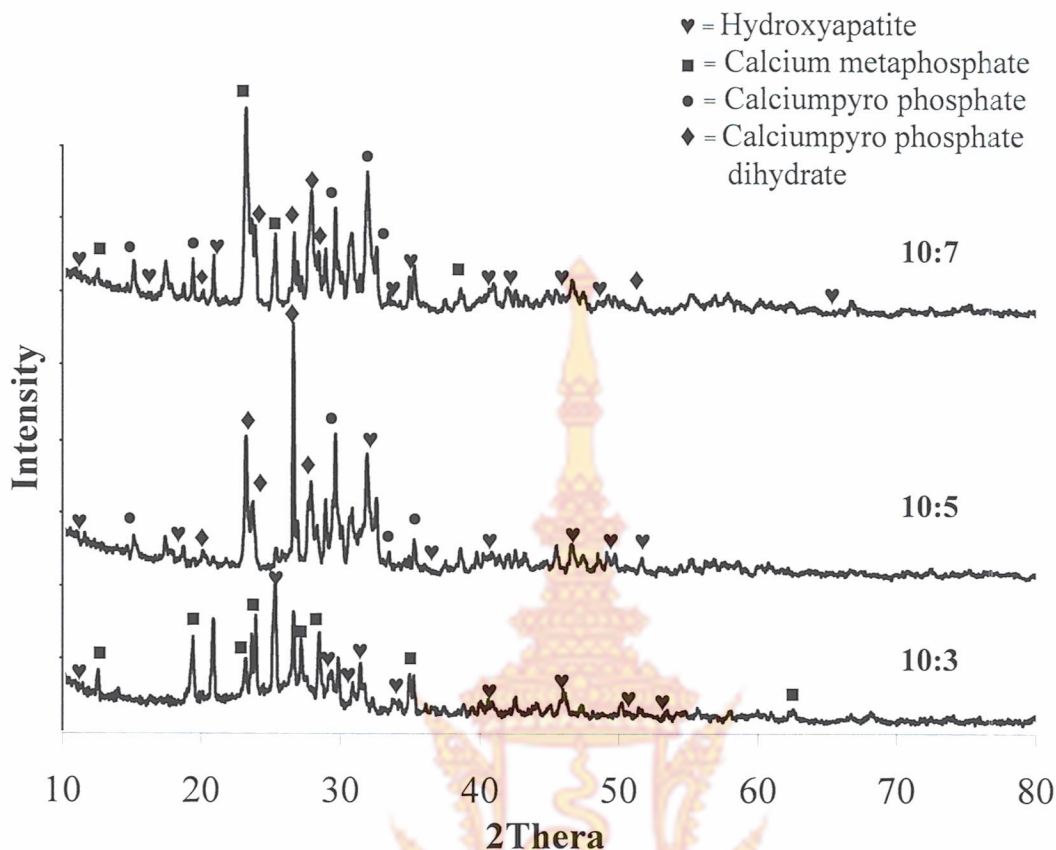
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำไม้ยางพาราที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C (รูปที่ 4.2) จะเห็นได้ว่าถ้ำไม้ยางพารามีปริมาณของสารประกอบอยู่หลายชนิดเช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) แคลไซต์ (CaCO_3) ไลม์ (CaO) ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงและมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆที่มีปริมาณไม่มากนักผสมอยู่ด้วยเช่น ควอตซ์ (SiO_2) ซิลิไคน์ (KCl) เพอริเคลส (MgO) โพแทสเซียมซัลเฟต $\text{K}_2(\text{SO}_4)$ แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์ ($\text{CaMnO}_{2.5}\text{Fe}_2\text{O}_3$) โพแทสเซียมฟิรอกซีไดฟอสเฟต ($\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_8$) เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์อยู่สูงถึง 21.4 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3)



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ XRD ของเคลือบไม้อย่างพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 500°C

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเคลือบไม้อย่างพาราที่อุณหภูมิ 500 °C

แร่/สารประกอบ	ปริมาณ(%)
ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$)	21.4
โพแทสเซียมพริกซีไดฟอสเฟต ($\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_8$)	17.4
แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์ ($\text{CaMnO}_{2.5}\text{Fe}_2\text{O}_3$)	14.4
แคลไซต์ (CaCO_3)	13.35
ไลม์ (CaO)	13.18
โพแทสเซียมซัลเฟต $\text{K}_2(\text{SO}_4)$	10.8
ซิลิไซด์ (KCl)	8.4
ควอตซ์ (SiO_2)	5.3
เพอริเคลส (MgO)	5.15

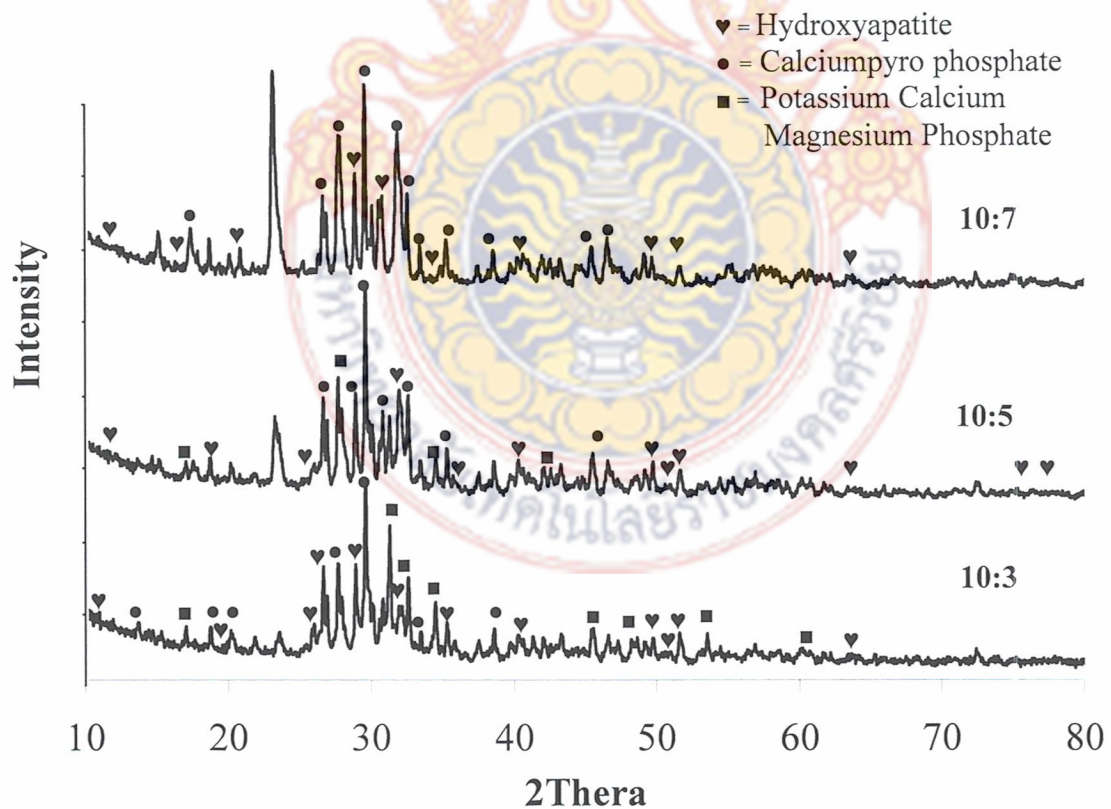


รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ XRD ของเส้นใ้ไม้อย่างพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 700°C

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของเส้นใ้ไม้อย่างพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 700°C (รูปที่ 4.3) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Trinkunaite-Felsen et al. ปรากฏว่า อัตราส่วนที่ 10:3 มีสารประกอบที่ปรากฏอยู่คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 25%, แคลเซียมเมตาฟอสเฟต 27% ซิลิกอนฟอสเฟต 26% และควอตซ์ 22% อัตราส่วนที่ 10:5 มีสารประกอบที่ปรากฏอยู่คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 22% แคลเซียมไพโรฟอสเฟต 29% แคลเซียมไพโรฟอสเฟตไตรเทท 26% และไฮโดรเจนฟอสเฟต 23% อัตราส่วนที่ 10:7 มีสารประกอบที่ปรากฏอยู่คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 5% แคลเซียมเมตาฟอสเฟต 17% แคลเซียมไพโรฟอสเฟต 17% แคลเซียมไพโรฟอสเฟตไตรเทท 15% ไฮโดรเจนฟอสเฟต 16% ออกซิเจนไฮโดรเจนฟอสเฟต 16% และฟอสฟอรัสออกไซด์ 13% ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุคิปที่อุณหภูมิ 700 °C

แร่/สารประกอบ	อุณหภูมิ 700 °C		
	10:3	10:5	10:7
ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$)	25%	22%	5%
แคลเซียมเมตาฟอสเฟต ($\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$)	27%	-	17%
แคลเซียมไพโรฟอสเฟต ($\text{Ca}_2(\text{P}_2\text{O}_7)$)	-	29%	17%
แคลเซียมไพโรฟอสเฟตไตรเทรท ($\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$)	-	26%	15%
ซิลิกอนฟอสเฟต (SiP_2O_7)	26%	-	-
ควอตซ์ (SiO_2)	22%	-	-
ไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_3PO_3)	-	23%	16%
ออกซิเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($(\text{H}_3\text{O})_2(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_6)$)	-	-	16%
ฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_4O_7)	-	-	13%



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ XRD ของแก้วไม่ย่างพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 800°C

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของถ้ำไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 800°C (รูปที่ 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Trinkunaite-Felsen et al. ปรากฏว่าอัตราส่วนที่ 10:3 มีสารประกอบที่ปรากฏอยู่คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 34% แคลเซียมไพโรฟอสเฟต 33% และโพแทสเซียมแคลเซียมแมงกานีสฟอสเฟต 33% อัตราส่วนที่ 10:5 มีสารประกอบที่ปรากฏอยู่คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 24% แคลเซียมไพโรฟอสเฟต 27% ไฮโดรเจนฟอสเฟต 23% และโพแทสเซียมแคลเซียมแมงกานีสฟอสเฟต 26% อัตราส่วนที่ 10:7 มีสารประกอบที่ปรากฏอยู่คือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 17% แคลเซียมไพโรฟอสเฟต 24% ไฮโดรเจนฟอสเฟต 18% ฟอสฟอรัสออกไซด์ 23% และฟอสเฟตออกไซด์ 17% ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุคืบที่อุณหภูมิ 800°C

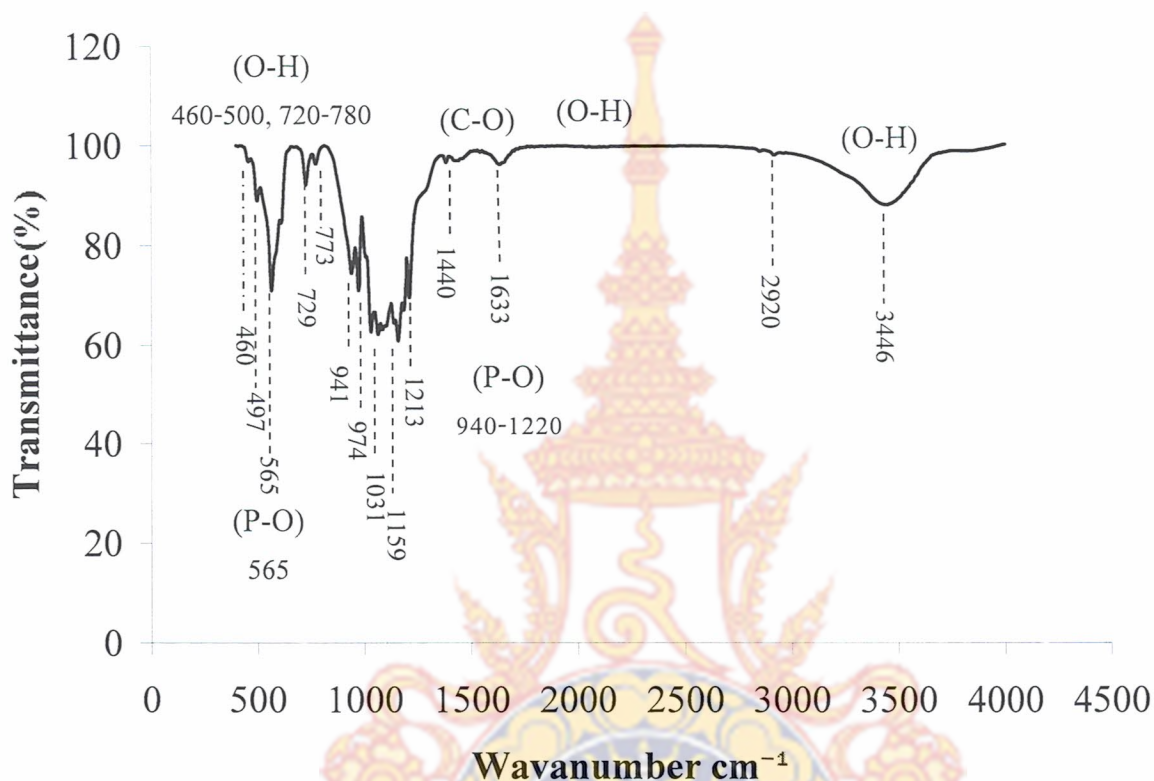
แร่/สารประกอบ	อุณหภูมิ 800 °C		
	10:3	10:5	10:7
ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$)	34%	24%	17%
แคลเซียมไพโรฟอสเฟต ($\text{Ca}_2(\text{P}_2\text{O}_7)$)	33%	27%	24%
โพแทสเซียมแคลเซียมแมงกานีสฟอสเฟต ($\text{Ca}_9\text{MgK}(\text{PO}_4)_7$)	33%	26%	-
ไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_3PO_3)	-	23%	18%
ฟอสฟอรัสออกไซด์ (P_4O_7)	-	-	23%
ฟอสเฟตออกไซด์ (P_2O_5)	-	-	17%

4.1.3 ผลการวิเคราะห์แคลเซียมฟอสเฟตที่ผลิตจากถ้ำไม้ยางพาราด้วย Fourier Transform

Infrared Spectrophotometer (FTIR)

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมาแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ Wave Number กับค่าการส่งผ่านของแสง เรียกว่า IR Spectrum ซึ่งลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะ โมเลกุลของสารจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่ความถี่ต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะและน้ำหนักของอะตอมของ Functional Groups ในโมเลกุลนั้นๆ ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ M.H. Fathi et al., 2007 ปรากฏว่า การสั่นของพันธะในช่วงความยาวคลื่นที่ $460\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ และช่วงความยาวคลื่นที่ $720\text{-}780\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของกลุ่มของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (O-H) การสั่นของพันธะในช่วงความยาวคลื่นที่ 565 และ $940\text{-}1220\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของกลุ่มของ

ฟอสเฟต PO_4^{3-} (P-O) การสั่นของพันธะในช่วงความยาวคลื่นที่ $1430\text{-}1640\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของกลุ่มของคาร์บอนไดออกไซด์ CO_3^{2-} (C-O) การสั่นของพันธะในช่วงความยาวคลื่นที่ 2241 cm^{-1} เป็นการสั่นเพียงเล็กน้อยและเห็นไม่ชัด จะเป็นกลุ่มของไฮดรอกซีอะพาทิต (O-H) และการสั่นของพันธะในช่วงความยาวคลื่นที่ 3446 cm^{-1} เป็นกลุ่มของไฮดรอกซีอะพาทิต (O-H) เช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.5)

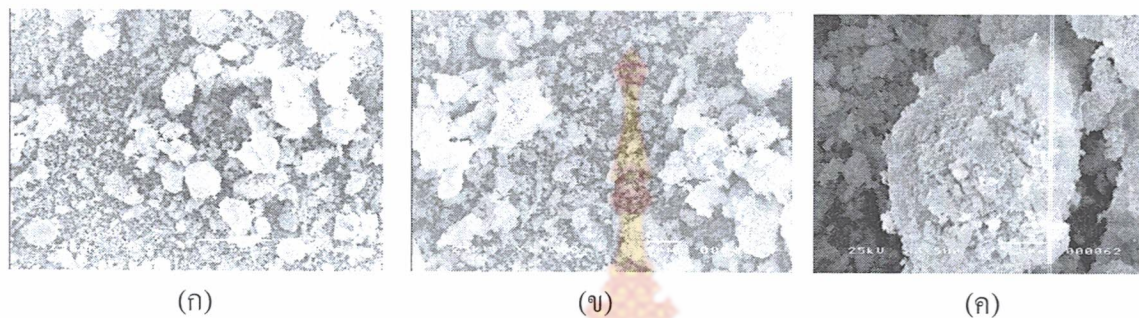


รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หัตถุคิบัติด้วยอินฟราเรดที่อัตราส่วน 10:3 เผาที่อุณหภูมิ 800 °C

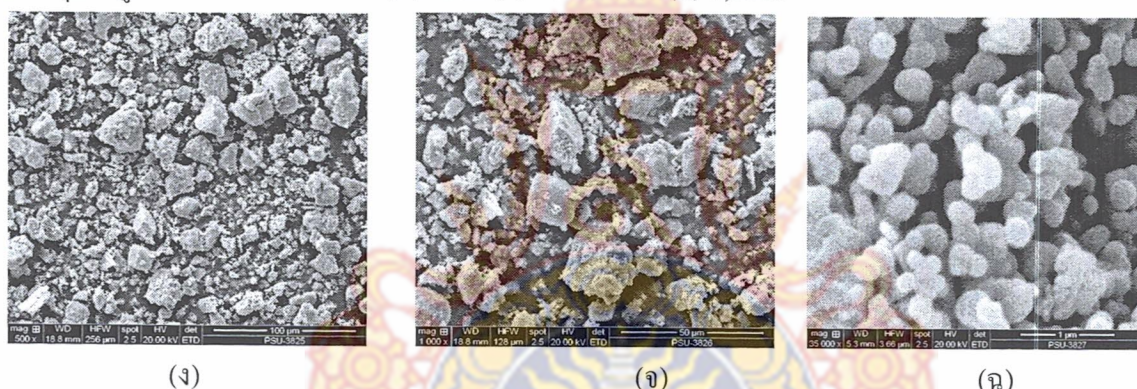
4.1.4 ผลการวิเคราะห์เคลือบฟอสเฟตที่ผลิตจากเถ้าไม้ยางพาราด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ผลการวิเคราะห์หัตถุคิบัติด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า 1000 เท่า และ 35,000 เท่าตามลำดับ ตามรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หัตถุคิบัติด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดระหว่างเถ้าไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 500 °C และ เถ้าไม้ยางพาราที่ผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ที่อัตราส่วน 10:3 เผาที่อุณหภูมิ 800 °C จากการวิเคราะห์หัตถุคิบัติด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเถ้าไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 500°C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Trinkunaite-Felsen et al. ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเถ้าไม้ยางพารามีลักษณะค่อนข้างกลมมีความพรุน และจากการวิเคราะห์หัตถุคิบัติด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเถ้าไม้ยางพาราที่ผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ที่อัตราส่วน 10:3 เผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่กำลังขยาย 500 เท่า จะเห็นได้ว่า

แคลเซียมมีลักษณะเป็นอนุภาคและเป็นกลุ่มก้อน และเมื่อเพิ่มกำลังขยายขึ้นไปอีกเป็น 1000 เท่า จะเห็นได้ว่าแคลเซียมมีลักษณะเป็นอนุภาคและเป็นกลุ่มก้อนเล็กใหญ่ผสมกันซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน และเมื่อเพิ่มกำลังขยายขึ้นไปอีกเป็น 35,000 เท่า ตามรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าแคลเซียมมีลักษณะอนุภาคกลมๆ ซึ่งอนุภาคกลมๆแต่ละอนุภาคจะมีขนาด 320-400 นาโนเมตรโดยประมาณ



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์วัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดระหว่างเก้าไม้ยางพาราที่เผาที่อุณหภูมิ 500 °C ที่กำลังขยาย (ก) 500x (ข) 1000x และ (ค) 3,500x

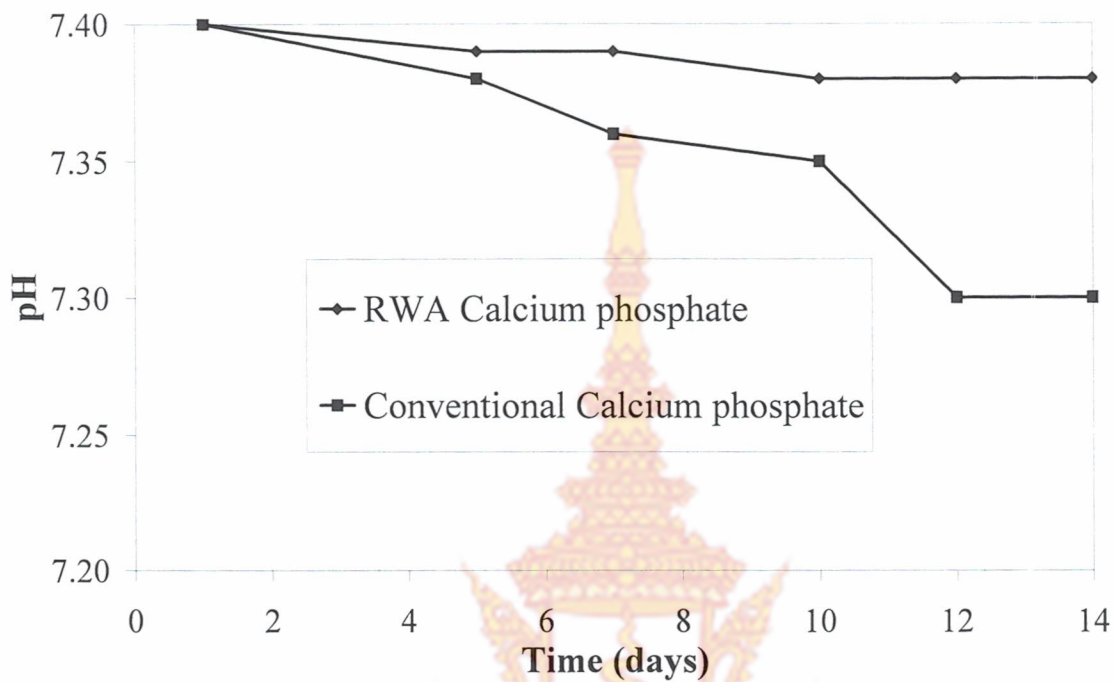


รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์วัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเก้าไม้ยางพาราที่ผสมกับฟอสฟอริกเพนทอกไซด์ที่อัตราส่วน 10:3 เผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ง) 500x (จ) 1000x และ (ฉ) 35,000x

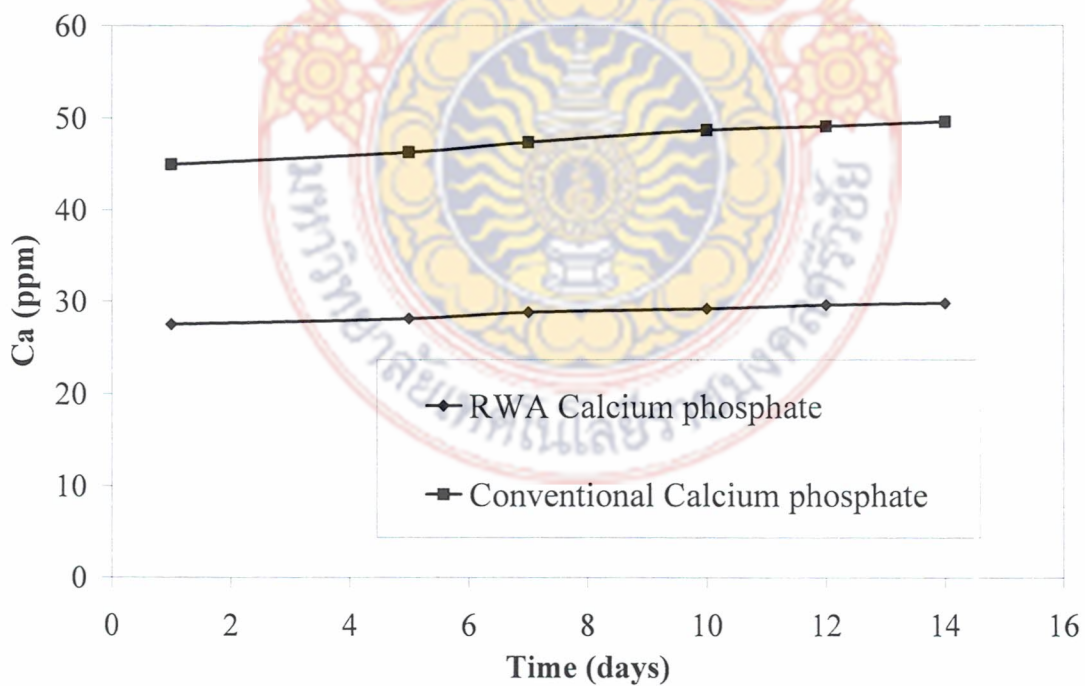
4.1.5 ผลการวิเคราะห์แคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้กับการเข้ากันได้ในสารละลายเสมือนร่างกายมนุษย์ (SBF)

ผลการทดลองจากการแช่แคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้อัตราส่วนเก้าไม้ยางพาราต่อฟอสฟอริกเพนทอกไซด์คือ 10:3 ที่เผาที่อุณหภูมิ 800 °C จะเห็นได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่เริ่มต้นคือ 7.4 ลดลงไม่มากนักเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตชนิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxy apatite) ที่มีขายในเชิงพาณิชย์ (รูปที่ 4.8) ผลการทดสอบการสลายในสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์ปรากฏว่าแคลเซียมฟอสเฟตที่ผลิตจากเก้าไม้ยางพารามีการสลายน้อยกว่าแคลเซียมฟอสเฟตที่มีขายในเชิงพาณิชย์ (รูปที่ 4.9) ซึ่งค่าที่ได้อาจจะแตกต่างกันมากเนื่องจากแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์จากเก้าไม้ยางพารามีองค์ประกอบของ ไฮดรอกซีอะพาไทต์

($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) แคลเซียมไฮดรอกซีฟอสเฟต ($\text{Ca}_2(\text{P}_2\text{O}_7)$) และโพแทสเซียมแคลเซียมแมกนีเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_9\text{MgK}(\text{PO}_4)_7$) ซึ่งแคลเซียมฟอสเฟตที่นำมาเปรียบเทียบเป็นองค์ประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์ที่เวลาต่างกันของแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตที่ขายในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 4.9 การสลายตัวของแคลเซียมในสารละลายเสมือนในร่างกายมนุษย์ที่เวลาต่างกันของแคลเซียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับแคลเซียมฟอสเฟตที่ขายในเชิงพาณิชย์

4.2 สรุปผลการวิจัย

สามารถนำเถ้าไม้ยางพารา นำมาผลิตเป็นแคลเซียมฟอสเฟตไบโอเซรามิกได้เนื่องจากองค์ประกอบหลักในเถ้าไม้ยางพารามีปริมาณของแคลเซียมสูง ซึ่งอัตราส่วนเถ้าไม้ยางพารา (RWA) ต่อฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) ที่เหมาะสมคือ 10:3 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาคือ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งได้แคลเซียมฟอสเฟตชนิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($Ca_5(PO_4)_3(OH)$) อยู่ 34 % และแคลเซียมไพโรฟอสเฟต ($Ca_2(P_2O_7)$) อยู่ 33% เป็นแคลเซียมฟอสเฟตที่มีอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสคือ 1.67 และ 1.0 ตามลำดับ สำหรับโพแทสเซียมแคลเซียมแมกนีเซียมฟอสเฟต ($Ca_2MgK(PO_4)_2$) เป็นองค์ประกอบที่ยังคงค้างอยู่ซึ่งต้องพัฒนาและวิจัยต่อไป ซึ่งสารดังกล่าวไม่ได้มีพิษต่อร่างกายมนุษย์ เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีด้วย FTIR มีองค์ประกอบกับแคลเซียมฟอสเฟตไบโอเซรามิก ลักษณะโครงสร้างจุลภาคอยู่ในระดับนาโนเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ลักษณะค่อนข้างกลมสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น

4.3 ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้เถ้าชีวมวลในท้องถิ่นภาคใต้ นั้นองค์ประกอบทางเคมีเถ้าไม้ยางพารานั้นมีความแตกต่างจากเถ้าไม้อื่นๆ อย่างมากกล่าวคือในเถ้าไม้ชนิดอื่นมีปริมาณของแคลเซียมต่ำมากแทบจะไม่มีด้วยซ้ำ ดังนั้นหากจะมีการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคตผู้วิจัยมีความประสงค์จะมีการเปลี่ยนแปลงที่มาของฟอสฟอรัสเป็นตัวอื่นและมีการแปรผันอุณหภูมิที่แตกต่างกว่าเดิมและอาจมีการเติมสารเติมบางชนิด เพื่อให้ได้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เพิ่มมากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] นิสาจันท์พวง. (2550). พฤติกรรมในหลอดแก้วของกลาสเซรามิกที่มีเบตาแคลเซียมไฮโดรฟอสเฟต. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [2] สิทธิบัตรไทยหมายเลข 2154,9 ธันวาคม 2548. สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 16 กุมภาพันธ์ 2542
- [4] Agata D., and Renata W. (2012). Composites hydroxyapatite with addition of zirconium phase. Ceramic materials- Progress in modern ceramics, Published by InTech, 129-148.
- [5] Billotte W.G. (2000). Ceramic Biomaterials. The Biomedical Engineering Handbook (vol.1, 2nd ed., pp. [38-1]-[38-26]. United State of America: CRC Press LLC.
- [6] Daglilar S. and Erkan M.E. (2007). A study on bioceramic reinforced bone cements. Materials Letters, 61:1456–1459.
- [7] David Hill .(1998). Design Engineering of Biomaterials for Medical Devices. England: John Wiley & Son Ltd.
- [8] Fathi M.H., Hanifia A., Mortazavi V. (2008). Preparation and bioactivity evaluation of bone-like hydroxyapatite nanopowder. Journal of materials processing technology, 202:536–542.
- [9] Hanson S. et al. (1996). Testing Biomaterials. Biomaterials Science: An Introduction to materials in Medicine. pp.221-228.
- [10] Larry L. Hench and June Wilson (1993). An Introduction to Bioceramics. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5. June Wilson, 1993, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [11] Northup S.J. (1996). In Vitro Assessment of Tissue Compatibility. Biomaterials Science: An Introduction to materials in Medicine. pp.215-220.
- [12] Samar J. Kalita and Saurabh Verma (2010). Nanocrystalline hydroxyapatite bioceramic using microwave radiation: Synthesis and characterization. Materials Science and Engineering: C, 30:295-303.

ภาคผนวก



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายมาหามะฮะฮูไฮมี มะแซ

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

-โครงการทุนศึกษากันกุญแจวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2551-2552

-ศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (NANOTEC Center of Excellence at Prince of Songkla University) ประจำปี 2551-2552

-โครงการทุนบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2551

-ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์และบุคลากรสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในเขตพัฒนาเฉพาะกิจจังหวัดชายแดนใต้ประจำปี 2552-2554

บทความตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานระดับชาติและนานาชาติ

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Wirat Tawiprida and Fumio Saito "Photoactivity and hydrophilicity of B and Ni co-doped TiO₂ films" *Advanced Materials Research Vols. 148-149 (2011) pp 1473-1479*

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Wirat Tawiprida and Fumio Saito "Improvement of hydrophilic property of rubber dipping former surface with Ni/B/TiO₂ nano-composite film" *Applied Surface Science, Vol 258, (2012), Issue 10, pp4436-4443*

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Peerawas Kongsong, Phatcharee Phoempoon, Surasit Rawangwong, and Witthaya Sririkun “Application of rubber wood ash for removal nickel and copper from aqueous solution” *Environment and Natural Resources J.* Vol 11, No.2, (2013) pp17-27

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Peeraws Kongsong, Pichaya Pitsuwan, Zuhaidee Seni, Withaya Sririkun and Julaluck Rodjananugoon “Comparative of paraffin and turpentine used in wax resist dying on batik fabric” *Journal of community development research* 6 (1) (2013) pp 31-41

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Wirach Taweepreeda, Fumio Saito and Pitchaya Pitsuwan “Influence of nitrogen doped TiO₂ nano composite film on hydrophilic property of rubber dipping former surface” *Key Engineering Materials* Vol. 608 (2014) pp 141-146

Mahamasuhaimi Masae, Auttakorn Pradupjan, Anon Pisutthipongchoto, Lek Sikong and Peerawas Kongsong “TiO₂ Doped WO₃ Coated Plastic Film and Its Ability to Inactivate Escherichia Coli for Prolonging Fresh Fruits and Vegetables” *Science and Technology Journal* Vol. 22 (2014) pp 327-336

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Peerawas Kongsong, Patcharee Phoempoon and Pichya Pitsuwan “Thermo- physical characterization of paraffin and beeswax on cotton fabric” *Thammasat International Journal of Science and Technology (TIJSAT)* Vol. 19 (2014)

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Peerawas Kongsong, Chaturong Walthong, and Patrapong Ramjan “Low temperature synthesis of Se²⁺ - Doped TiO₂ Nanoparticles for Inhibition of *Escherichia coli*” *ENGINEERING JOURNAL* (Under review, 2014)

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong , Peerawas Kongsong, Pichaya Pitsuwan, Chaturong Pholthawon and Niti Pawanwatcharakorn “Synthesis of Na doped TiO₂ nano photocatalysts film on its photoactivity and hydrophilicity” *Thammasat International Journal of Science and Technology* (Under review, 2014)

การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Masae, M. Tonayopas, D. Kooptarnond, K. “Development and investigation of granite waste tiles body incorporated with oil palm fiber ash” International Conference on Mining, Materials, and Petroleum Engineering: The Frontiers of Technology (ICFT-2007) Phuket, Thailand. 10-12 May 2007

Lek Sikong, **Mahamasuhaimi Masae**, Kalayanee Kooptarnond and Wirat Tawiprida. “The effect of B and Ni co-doped TiO₂ film coated on glass substrate” 4th International conference on recent advances in materials minerals & environment and 2nd Asian symposium on materials & processing (RAMM&ASMP 2009) Penang, Malaysia. 1-3 June 2009

Lek Sikong, **Mahamasuhaimi Masae**, Kalayanee Kooptarnond and Wirat Tawiprida. “Influence of Ni doping on photoactivity and hydrophilicity of TiO₂ composite film” 10th International seminar on environment & architecture, and 1st international conference on engineering, environment, economic, safety & health (10th SENVAR& 1st CONVEESH 2009) Sulawesi island, Indonesia. 26-27 October 2009

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Wirat Tawiprida and Fumio Saito “Photoactivity and hydrophilicity of B and Ni co-doped TiO₂ films” 2010 International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes (ICAMMP 2010) Shenzhen, China. 6-8 November 2010

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Wirat Tawiprida and Fumio Saito “Improvement of photoactivity and hydrophilicity of rubber latex formers by B and Ni co-doped TiO₂ films” Commission on Higher Education Congress IV: University Staff Development Consortium (CHE-USDC Congress IV) Pattaya, Thailand. 14-16 September 2011

Mahamasuhaimi Masae, Lek Sikong, Kalayanee Kooptarnond, Wirat Tawiprida and Fumio Saito “Influence of Ni/B/N/TiO₂ nano composite film on hydrophilic property of rubber dipping former surface” 2012 International Conference on Frontiers of Mechanical Engineering, Materials and Energy(ICFMEME 2012) Beijing, China December 20-21 2012

สิทธิบัตรและอนุสิทธิบัตร ฯลฯ

๑. จดสิทธิบัตร เรื่อง สารเคลือบแม่พิมพ์ไทเทเนียมไดออกไซด์และกรรมวิธีเคลือบสารเคลือบนี้ โดย เล็ก สีกง กัลยาณี คุปตานนท์ **มหามะสุโฮมิ มะแซ** และ **วิรัช ทวีปรีดา** เลขที่คำขอ 1101000103 (18 มกราคม 2554)
๒. จดอนุสิทธิบัตร เรื่อง กรรมวิธีผลิตฟิล์มยางด้วยแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่มโดย เล็ก สีกง กัลยาณี คุปตานนท์ **มหามะสุโฮมิ มะแซ** และ **วิรัช ทวีปรีดา** เลขที่คำขอ 1103000475 (10 พฤษภาคม 2554) และได้รับอนุมัติการคุ้มครอง ตั้งแต่ 5 กันยายน 2554 ถึง 9 พฤษภาคม 2560
๓. จดอนุสิทธิบัตร เรื่อง เทียนไขเขียนผ้าบาติกและกรรมวิธีผลิตเทียนไขนี้ โดย **มหามะสุโฮมิ มะแซ** เล็ก สีกง พีรวัส คงสง ชูไฮดี สนิ จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล และพิชญา พิศสุวรรณ เลขที่คำขอ 1303000461 (30 เมษายน 2556)
๔. จดอนุสิทธิบัตร เรื่อง ตัวดูดซับสารละลายโลหะหนักที่ได้จากเถ้าชีวมวลและกรรมวิธีผลิตตัวดูดซับนี้ โดย **มหามะสุโฮมิ มะแซ** เล็ก สีกง พีรวัส คงสง สุรสิทธิ์ ระว่างวงศ์ และวิทยา ศิริคุณ เลขที่คำขอ 1303000462 (30 เมษายน 2556)
๕. จดอนุสิทธิบัตร เรื่อง การผลิตแคลเซียมฟอสเฟตจากเถ้าไม้ยางพาราและกรรมวิธีผลิตสารนี้ โดย **มหามะสุโฮมิ มะแซ** พชรวิทย์ วรรณระออดและศรายุทธ สุกเพียร เลขที่คำขอ 1403000145 (16 กุมภาพันธ์ 2557)
๖. อนุสิทธิบัตร เรื่อง สารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วยสารอินทรีย์เคลือบพลาสติกและโลหะและกรรมวิธีเคลือบสารเคลือบนี้ โดย **มหามะสุโฮมิ มะแซ** เลขที่คำขอ 1403000894 (13 สิงหาคม 2557)

รางวัลผลงานวิจัยที่ได้รับ

๑. โครงการเรื่อง กรรมวิธีผลิตฟิล์มยางด้วยแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม ได้รับรางวัล Special Prize ด้านเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรม ในงานวันนักประดิษฐ์ 2556 เมื่อวันที่ 2-5 กุมภาพันธ์ 2556 จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ณ อิมแพค เมืองทองธานี
๒. รางวัลวิทยานิพนธ์ระดับดีมาก ประจำปี 2555 ระดับปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

๓. รางวัลวิทยานิพนธ์ชมเชย ประจำปี 2555 ระดับปริญญาเอก กลุ่มวิทยาศาสตร์กายภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วันนักวิจัยและนวัตกรรม ม.อ. ครั้งที่ 7 ประจำปี 2556

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1. โครงการวิจัย: วัสดุเคลือบระดับนาโนที่ทำความสะอาดตัวเองได้สำหรับผลิตภัณฑ์ยางแบบจุ่ม, ผู้ร่วมโครงการ, ศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (NANOTEC Center of Excellence at Prince of Songkla University) ประจำปี 2551-2552 และทุนโครงการพัฒนาอาจารย์และบุคลากรสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในเขตพัฒนาเฉพาะกิจจังหวัดชายแดนใต้ประจำปี 2552-2555, งบประมาณที่ได้รับ จำนวน 1,000,000 บาท, ระยะเวลาโครงการ มี.ย. 2551 – ธ.ค. 2554, สถานภาพของโครงการ เสร็จสิ้นแล้ว.

2. โครงการวิจัย: การพัฒนาคุณภาพการผลิตผ้าบาติกตามภูมิปัญญาท้องถิ่นในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนใต้, หัวหน้าโครงการ, โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปี 2556, งบประมาณที่ได้รับ จำนวน 300,000 บาท, ระยะเวลาโครงการ ตุลาคม 2555 – กันยายน 2556, สถานภาพของโครงการ เสร็จสิ้นแล้ว.

3. โครงการเรื่อง แบบขึ้นรูปถุงมือยางและถุงยางอนามัยที่เคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ป็นโตรเจนและธาตุแอตคาไลน์ที่ทำความสะอาดตัวเองได้, หัวหน้าโครงการ, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2556, งบประมาณที่ได้รับ 350,000 สถานภาพของโครงการ เสร็จสิ้นแล้ว.

4. โครงการวิจัย: การพัฒนาคุณภาพการย้อมสีผ้าไหมพรมเรียงจากสีธรรมชาติตามภูมิปัญญาท้องถิ่นในพื้นที่ภาคใต้, หัวหน้าโครงการ, โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนา มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปี 2558, งบประมาณที่ได้รับ จำนวน 350,000 บาท, ระยะเวลาโครงการ ตุลาคม 2557 – กันยายน 2558, สถานภาพของโครงการ กำลังดำเนินการ.

ภาคผนวก ก

จดอนุสิทธิบัตร เรื่อง การผลิตแคลเซียมฟอสเฟตจากถ้ำไม้
ยางพาราและกรรมวิธีผลิตสารนี้ โดย มหามะตูไฮมี มะแซ

เพชรวิทย์ วรระออดและศรายุทธ สุภเพียร เลขที่คำขอ

1403000145 (16 กุมภาพันธ์ 2557)



คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

- การประดิษฐ์
- การออกแบบผลิตภัณฑ์
- อนุสิทธิบัตร

ยื่นทางไปรษณีย์

สำหรับเจ้าหน้าที่	
วันรับคำขอ 16 ก.พ. 2557	เลขที่คำขอ
วันยื่นคำขอ ๕7 ๕1๐ 57	1403000145
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์	
ประเภทผลิตภัณฑ์	เลขที่ประกาศโฆษณา
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้
 ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ.2522
 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2535
 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2542

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีในการผลิตแคลเซียมฟอสเฟตจากถั่วไม่ียงพารา	
2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน	
3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ต.บ่อหยง อ.เมือง จ.สงขลา 90000	3.1 สัญชาติ ไทย 3.2 โทรศัพท์ 0-7428-9322 3.3 โทรสาร 0-7428-9339 3.4 อีเมล jittiyut.y@psu.ac.th
4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ <input checked="" type="checkbox"/> ผู้รับโอน <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิ โดยเหตุอื่น	
5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด ประเทศ รหัสไปรษณีย์) นายจิตติยุทธ เข็มยกกุล ศูนย์ทรัพย์สินทางปัญญา อุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 15 ถนนกาญจนาภิเษก อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110	5.1 ตัวแทนเลขที่ 2266 5.2 โทรศัพท์ 074-289322 5.3 โทรสาร 074-289339 5.4 อีเมล jittiyut.y@psu.ac.th
6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) ดร.มาหามะสุโฮมี มะแซ, นายพรวิทย์ วรรณลออ, นายศรายุทธ สุกเพียร, อยู่ที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ต.บ่อหยง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 และรองศาสตราจารย์ดร.เล็ก สีง และนายพีรวัส คงสง ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 15 ถนนกาญจนาภิเษก อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112	
7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้อธิบายได้ว่าคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตรเลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ <input type="checkbox"/> คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง <input type="checkbox"/> ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ <input type="checkbox"/> ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ	

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม้อาจระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้ โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่
แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

