สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ญ
สารบาญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 กระดูก	5
2.1.1 การเจริญ และพัฒนาของกระดูก	5
2.1.2 ส่วนประกอบของกระดูก	8
2.1.3 เซลล์ของกระดูก	10
2.2 วัสดุปลูกถ่ายทดแทนกระดูก	10
2.2.1 สมบัติของวัสดุปลูกถ่ายกระดูก	12
2.2.2 ชนิดของวัสดุปลูกถ่ายทดแทนกระดูก	13
2.2.3 หลักชีววิทยาของการปลูกกระดูก	13
2.2.4 มาตรฐานสมบัติวัสดุตามเกณฑ์ ASTM	14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 สารแคลเซียมฟอสเฟต	15
2.4 ไฮดรอกซีอะพาไทต์	16
2.4.1 โครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์	17
2.4.2 การถูกแทนที่ของหมู่อะพาไทต์	18
2.4.3 ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากวัสดุธรรมชาติ	19
2.4.4 การสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	20
2.4.5 เซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์บริสุทธิ์	22
2.5 หอยแครง	23
2.5.1 โครงสร้างของเปลือกหอยแครง	24
2.5.2 ชั้นของเปลือกหอยแครง	24
2.5.3 ชนิดของหอยแครงที่พบในประเทศไทย	25
2.5.4 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อหอยแครง	25
2.6 แคลเซียมคาร์บอเนต	26
2.7 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต	27
2.8 แคลเซียมออกไซด์	30
2.9 ประโยชน์ของแคลเซียมออกไซด์	31
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	33
3.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือ	33
3.2 วัสดุ และสารเคมี	33
3.3 วิธีการทดลอง	34
3.3.1 การเตรียมเปลือกหอยแครง	34
3.3.2 การเตรียมผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครง	35
3.3.3 วิธีการสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	36

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	38
4.1 ลักษณะของเปลือกหอยแครง	38
4.1.1 ปริมาณโลหะหนักที่พบในเปลือกหอยแครง	38
4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครง	40
4.1.3 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครง	41
4.1.4 โครงสร้างทางจุลภาคของเปลือกหอยแครง	43
4.1.5 การวิเคราะห์เชิงความร้อนของเปลือกหอยแครง	44
4.2 ผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครง	46
4.2.1 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครงที่อุณหภูมิต่างๆ	46
4.2.2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	49
4.2.3 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	50
4.2.4 โครงสร้างทางจุลภาคของผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	51
4.2.5 สมบัติรูพรุนของผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	52
4.3 ผงสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์	53
4.3.1 องค์ประกอบทางแร่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้	53
4.3.2 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้	56
4.3.3 โครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้	57
4.3.4 สมบัติรูพรุนและขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้	59
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก รูปเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	70
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัย	74
ประวัติผู้เขียน	84

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่มีการใช้งานในชีววัสดุ	15
3.1 สภาวะการทดลองที่ใช้ในการสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์	37
4.1 ปริมาณโลหะหนักที่พบในเปลือกหอยแครง	39
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครง	40
4.3 ปริมาณโลหะหนักที่พบในเปลือกหอยแครงหลังเผา	49
4.4 สมบัติรูพรุนของผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	52
4.5 สมบัติรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้	58
5.1 ลักษณะ และสมบัติต่างๆ ของแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง และผลิตภัณฑ์ที่ได้	61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ลักษณะทางกายวิภาคของกระดูก	6
2.2 การเจริญและพัฒนาของกระดูกในกระบวนการ Intramembranous ossification	7
2.3 การเจริญและพัฒนาของกระดูกในกระบวนการ Endochondral ossification	8
2.4 แบบจำลองแสดงลำดับโครงสร้างกระดูกของมนุษย์ในกระดูกเนื้อแน่น	9
2.5 ลักษณะโครงสร้างของกระดูกโปร่ง	9
2.6 ระบบการลำเลียงอาหารในกระดูกออสติโอไซต์	11
2.7 ส่วนประกอบของเซลล์กระดูกออสติโอไซต์	11
2.8 โครงสร้างแลตทิชของผลึกอะพาไทต์อย่างง่าย	17
2.9 การจัดเรียงอะตอมของไฮดรอกซีอะพาไทต์	18
2.10 ตำแหน่งของ F OH และ Cl ในอะตอมของแคลเซียม	19
2.11 ลักษณะทางชีววิทยาของเปลือกหอยแครง	23
2.12 ลักษณะผลึกแคลไซท์	28
2.13 ลักษณะผลึกของอราโกไนท์	30
3.1 ลักษณะเปลือกหอยแครงก่อน และหลังแช่ด้วยสารละลาย H_2O_2	34
3.2 ลักษณะเปลือกหอยแครงก่อน และหลังการแคลไซน์	35
3.3 การสังเคราะห์ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมทางเคมี	36
3.4 ลักษณะผงสังเคราะห์ที่ได้ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมทางเคมี	37
4.1 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครงก่อนเผา	42
4.2 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครงก่อนเผาโดยเปรียบเทียบกับ JCDP-1-075-2230	42
4.3 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเปลือกหอยแครงก่อนเผา	43
4.4 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเปลือกหอยแครง	44
4.5 วงจรการเกิดแคลเซียมออกไซด์	45
4.6 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครงหลังการแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆ	47
4.7 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครงก่อนเผาโดยเปรียบเทียบกับ JCDP-1-077-2010	48

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.8 องค์ประกอบทางแร่ของเปลือกหอยแครงหลังการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900°C	48
4.9 การกระจายขนาดอนุภาคของผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	51
4.10 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูง	52
4.11 องค์ประกอบทางแร่ของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะการทดลองต่างๆ	55
4.12 องค์ประกอบทางแร่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้	55
4.13 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้	57
4.14 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย EDS	58
4.15 การกระจายขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้	59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

nm	นาโนเมตร	-
µm	ไมโครเมตร	-
^{o}C	องศาเซลเซียส	-
kg/m	กิโลกรัมต่อเมตร	-
kg/cm^2	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	-
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน	-
$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	Hydroxyapatite	-
$Ca_3(PO_4)_2$	Tricalcium phosphates	-
$Ca_8(PO_4)_4\ (HPO_4)_2\ 5H_2O$	Octocalcium phosphate	-
$CaHPO_4$	Dicalcium phosphate dehydrate	-
$Ca(OH)_2$	Calcium hydroxide	-
$CaCO_3$	Calcium carbonate	-
$(NH_4)_3PO_4$	Ammonium phosphate	-
CaO	Calcium oxide	-
H_3PO_4	Phosphoric acid	-
$Ca(NO_3)_2$	Calcium nitrate	-
NH_4OH	Ammonium hydroxide	-
NH_4NO_3	Ammonium nitrate	-
CO_2	Carbon dioxide	-
$Ca(HCO_3)_2$	Calcium bicarbonate	-
$Mg(HCO_3)_2$	Magnesium Bicarbonate	-
$MgCl_2$	Magnesium Chloride	-
$Mg(OH)_2$	Magnesium hydroxide	-
$CaCl_2$	Calcium chloride	-
Na_2CO_3	Sodium carbonate	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

NaCl	Sodium chloride	-
Al_2O_3	Aluminium oxide	-
Fe_2O_3	Iron (III) oxide	-
K_2O	Potassium oxide	-
MgO	Magnesium oxide	-
MnO	Manganese oxide	-
Na_2O	Sodium oxide	-
P_2O_5	Phosphorus oxide	-
SiO_2	Silicon dioxide	-
TiO_2	Titanium dioxide	-
SrO	Strontium oxide	-
Ca	Calcium	-
P	Phosphorus	-
Hg	Murcury	-
Pb	Lead	-
Cd	Cadmium	-
As	Arsenic	-
Ca^{2+}	Calcium ion	-
PO_4^{3-}	Phosphate ion	-
OH^-	Hydroxide ion	-
Mg^{2+}	Magnesium ion	-
Na^+	Sodium ion	-
K^+	Potassium ion	-
Ba^{2+}	Barium ion	-
CO_3^{2-}	Carbonate ion	-
$H_2PO_4^-$	Dihydrogen phosphate ion	-
HPO_4^{2-}	Hydrogen phosphate ion	-
SO_4^{2-}	Sulfate ion	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved