

การแยกเยื่อจากเปลือกไข่ด้วยเทคนิคการแต่งแร่



นาย ธิรเจต ไตรรอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

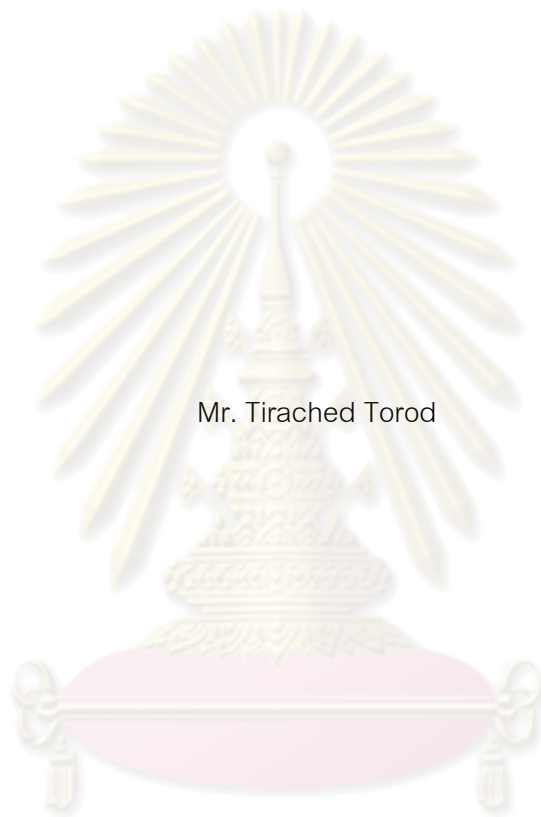
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF MEMBRANE FROM EGGSHELL BY MINERAL PROCESSING
TECHNIQUES



Mr. Tirached Torod

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแยกเยื่อจากเปลือกไข่ด้วยเทคนิคการแต่งแร่

โดย

นายฉัตรเจต ไตรรอด

สาขาวิชา

วิศวกรรมทรัพยากรธรณี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


รองศาสตราจารย์ ดร. ภาณุโณ มีขำนะ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณะเดช)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภาณุโณ มีขำนะ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร พุ่มจันทร์)


.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนไชย ต้นไทย)

กิตติคุณ : การแยกเยื่อจากเปลือกไข่ด้วยเทคนิคทางการแต่งแร่ (SEPARATION OF MEMBRANE FROM EGGSHELL BY MINERAL PROCESSING TECHNIQUES) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ, 87 หน้า.

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่เหลือทิ้ง ด้วยเทคนิคการแต่งแร่ โดยใช้เครื่องลอยแร่ในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ ในส่วนของเปลือกไข่ที่แยกได้นำไปบดด้วยเครื่องบดแททริชชั่นมิลล์ หลังจากนั้นนำเปลือกไข่ที่บดได้ไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆเพื่อใช้ในการเตรียมเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเสริมแคลเซียมและอาหารกึ่ง พบว่าขนาดที่ได้จากเครื่องบดแททริชชั่นมิลล์ในสถานะที่เหมาะสมจะให้ผลการบดอยู่ในช่วง 5-8 ไมครอนซึ่งเป็นขนาดที่นำไปใช้ในอาหารเสริม การวิเคราะห์หาชนิดขององค์ประกอบในเปลือกไข่ด้วยเครื่อง XRD พบว่าเป็นสารประกอบแคลไซต์ และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบส่วนของเปลือกไข่ประกอบไปด้วย CaO ร้อยละ 53.86 SiO₂ ร้อยละ 0.52 MgO ร้อยละ 0.85 ซึ่งส่วนประกอบนี้ใกล้เคียงกับส่วนประกอบของอาหารเสริมแคลเซียมที่จำหน่ายตามท้องตลาด จากนั้นนำเยื่อเปลือกไข่ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเยื่อเปลือกไข่ซึ่งพบว่าสามารถนำมาใช้กับอุตสาหกรรมจำพวกเครื่องหนังหรือเครื่องสำอาง การตรวจสอบพื้นที่ผิวด้วยกล้อง SEM พบว่าพื้นที่ผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่มีความเป็นรูพรุนมากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนจากธรรมชาติ ซึ่งผลการทดลองพบว่าเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ที่แยกได้นำจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา...วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม. ลายมือชื่อผู้ผลิต..... ภิญโญ โครต
สาขาวิชา...วิศวกรรมทรัพยากรธรณี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา..2552..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5170571021: MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : EGGHELL/ EGGHELL MEMBRANE / FLOATATION

TIRACHED TOROD: SEPARATION OF MEMBRANE FROM EGGHELL BY
MINERAL PROCESSING TECHNIQUES THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.
PINYO MEECHUMNA, Ph.D., 87 pp.

This research study is to separate eggshell membrane from eggshell waste by mineral processing techniques of floatation. The separated eggshell is further ground using attrition mill aiming the ground product to be used as calcium supplement food and shrimp feed. The size range of ground product at optimum conditions is between 5 and 8 microns, the size of product suitable to be used as calcium supplement food. The X-Ray Diffraction (XRD) method identified that the ground eggshell contain mainly calcite. The X-Ray Fluorescence (XRF) analysis has found that the product contains 53.86 % CaO, 0.52 % SiO₂ and 0.85 % MgO which chemical position is more or less the same as that of commercial calcium supplement food. The separated membrane was analyzed by FT-IR to identify functional group of membrane and found that the separated product can be used as leatherwear or extracted collagen from the separated membrane can also be used as ingredient of cosmetic. Scanning Electron Microscope (SEM) showed that the porosity of the extracted eggshell is more than that of calcium carbonate from natural limestone. The results shows that the membrane and eggshell separated can be of commercial value.

Department :...Mining and Petroleum Engineering...

Student's signature.....

Field of Study :..Georesources Engineering.....

Advisor's signature

Academic Year :..2009.....

Co-Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัยและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รศ.ดร.ดาวัลย์ วิจารณ์ระเดช ประธานกรรมการ ผศ.ดร.เทียนไชย ต้นไทย กรรมการ และ ผศ.ดร.สุนทร พุ่มจันทร์ กรรมการ

ขอขอบพระคุณ คุณ คมกฤษ ศรีพัฒนางูรและบุคลากรในกลุ่มบริษัทเครือเจริญโภคภัณฑ์ที่ได้สนับสนุนเปลื้องไขไก่ที่ใช้สำหรับดำเนินการทดลองรวมถึงความร่วมมือทางด้านข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยขึ้นนี้ทั้ง การวิเคราะห์เครื่องมือ การทดลองใช้งานจริงกับอุตสาหกรรมด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณบุคลากรใน มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ประเทศญี่ปุ่น ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบหาแนวทางเบื้องต้นในการทดลอง คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ตามเป้าหมาย ขณะทำการฝึกงานอยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาคชีววิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียมทุกท่านในส่วนของ การทดลอง รวมถึงการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งจากการช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ในห้องพักนิตินิสิตปริญญาโททุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาและ ทำที่สุดผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนสนิทและที่เคยสนิทของผู้วิจัยที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้สามารถทำงานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดสู่แนววิจัย.....	4
2.1.1 โครงสร้างของไข่ไก่.....	4
2.1.1.1 ลักษณะภายในของไข่.....	4
2.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่.....	8
2.1.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate: CaCO ₃).....	9
2.1.2.1 การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต.....	9
2.1.2.2 ปริมาณสำรองแหล่งหิน.....	10
2.1.2.3 กรรมวิธีการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต.....	11
2.1.2.4 กำลังการผลิตหินปูน.....	11
2.1.2.5 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ.....	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.3 แนวทางดำเนินงานวิจัย.....	19
2.4 แผนการศึกษาและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	21
2.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย.....	21
2.6 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	22

บทที่	หน้า
2.7 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย.....	23
3 วิธีการดำเนินวิจัยเครื่องลอยแร่.....	24
3.1 หลักการเครื่องลอยแร่.....	24
3.2 ขั้นตอนการทดลองเครื่องลอยแร่.....	27
3.3 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองเครื่องลอยแร่.....	27
3.4 ผลวิเคราะห์และสรุปผลวิเคราะห์ของเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)....	29
3.5 ผลวิเคราะห์และสรุปผลวิเคราะห์ของเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF).....	31
3.6 ผลวิเคราะห์และสรุปผลวิเคราะห์ของเทคนิค FT-IR Spectroscopy.....	32
3.7 ผลวิเคราะห์และสรุปผลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)	34
4 วิธีดำเนินการวิจัยการบดสินแร่.....	38
4.1 หลักการที่เกี่ยวกับการบดสินแร่.....	38
4.2 ประเภทของเครื่องบดสินแร่.....	39
4.3 ขั้นตอนการทดลองเครื่องบดแอทริชันมิลล์ (Attrition Mill).....	42
4.4 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองการกระจายขนาดหลังการบด.....	44
4.5 การประยุกต์ใช้.....	44
4.5.1 การทดลองใช้ผงเปลือกไข่แคลเซียมคาร์บอเนตในคอนกรีต.....	45
4.5.2 การทดลองใช้ผงเปลือกไข่เป็นสารเติมแต่งในพลาสติกพีวีซี.....	46
5 วิธีดำเนินวิจัยการอบสินแร่.....	50
5.1 หลักการเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ (Microwave Heating).....	50
5.2 ขั้นตอนการทดลองเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ (Microwave Heating)..	52
5.3 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ.....	52
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	57

รายการอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	64
ภาคผนวก ค.....	67
ภาคผนวก ง.....	74
ภาคผนวก จ.....	82
ภาคผนวก ฉ.....	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	87



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางสัดส่วนไซขาว ไซแดง และเปลือกไซของสัตว์ปีกแต่ละชนิด.....	4
2.2	ตารางสัดส่วนของส่วนต่างๆของไซไก่.....	7
2.3	ตารางองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไซ.....	8
2.4	ตารางผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	10
2.5	ตารางแสดงกำลังการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตของผู้ประกอบการรายใหญ่.....	12
2.6	ตารางแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของเยื่อและเปลือกไซ.....	15
2.7	ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อเปลือกไซ.....	17
2.8	ตารางเปรียบเทียบร้อยละของแคลเซียมในเปลือกไซทางการค้า.....	18
2.9	ตารางแสดงผลที่ได้รับจากการบดชนิดต่างๆ.....	20
3.1	ตารางแสดงผลการทดลองเครื่องลอยแร่.....	28
3.2	ตารางแสดงผลวิเคราะห์ด้วยเครื่องXRFของเยื่อ เปลือกไซและอาหารเสริม.....	31
3.3	ตารางสรุปผลการตรวจสอบโครงสร้างของเปลือกไซด้วยกล้อง SEM.....	36
4.1	ตารางแสดงผลการทดลองด้วยเครื่องบดเอททริชั่นมิลล์.....	43
4.2	ตารางแสดงผลการทดสอบพีวพีซีที่ใช้ผสมเปลือกไซไก่บดเป็นสารเติมแต่ง.....	46
4.3	ตารางแสดงคุณสมบัติเปลือกไซบดที่ขนาดต่างๆในสารเติมแต่ง.....	47
5.1	ตารางแสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการอบแห้ง.....	52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงภาพถ่ายของไข่ไก่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	6
2.2	แสดงองค์ประกอบของไข่ไก่.....	7
2.3	แสดงภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่....	15
2.4	กราฟแสดงพีคของเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ที่วิเคราะห์ด้วย FT-IR	15
2.5	แสดงผลวิเคราะห์ของเปลือกไข่ที่อุณหภูมิต่างด้วยเครื่อง XRD	16
2.6	แสดงกระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่.....	18
2.7	แสดงเครื่องมือชนิดต่างที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น.....	19
2.8	แผนผังแสดงการทดลองทั้งหมดของการศึกษาวิจัยครั้งนี้.....	21
2.9	ตัวอย่างเปลือกไข่ที่ได้รับจากจากบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด.....	22
3.1	แสดงการลอยแร่ด้วยเครื่องลอยแร่.....	24
3.2	แสดงเครื่องลอยแร่สะอาดโดยเครื่องลอยแร่ชุดเดียว	25
3.3	แสดงเครื่องลอยแร่ 3 ชั้นตอนร่วมกับบวงจรถ่ายและคัดขนาด	26
3.4	แสดงLaboratory Floation Cell เครื่องลอยแร่ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้.....	26
3.5	แสดงผลวิเคราะห์XRDของเยื่อเปลือกไข่กับเปลือกไข่.....	29
3.6	แสดงผลวิเคราะห์XRDของอาหารเสริมแคลเซียม.....	29
3.7	แสดงผลวิเคราะห์XRDของอาหารเสริมกับเปลือกไข่.....	30
3.8	แสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Eggshell.....	32
3.9	แสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Membrane.....	32
3.10	แสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Calcap.....	33
3.11	แสดงผลการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Chalk Tab.....	33
3.12	แสดงภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	34
3.13	แสดงภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	35
3.14	แสดงภาพถ่าย SEM ของเปลือกไข่.....	35
3.15	แสดงภาพถ่าย SEM ของเปลือกไข่ที่มีเยื่อปน.....	36
4.1	แสดงแรงชนิดต่างๆที่ใช้ในการบด.....	38
4.2	แสดงการเคลื่อนไหวของลูกบดและเครื่องบดบอลล์มิลล์.....	39
4.3	แสดงเครื่องบดแบบแท่งหมุน (Pin Mill).....	40

ภาพที่		หน้า
4.4	แสดงการเคลื่อนที่และการติดตั้งของเครื่องบดทาวเวอร์มิลล์(Tower Mill).....	41
4.5	แสดงเครื่องบดแททริชันมิลล์ (Attrition Mill).....	42
4.6	แสดงผลของกรรมสมเปลือกไข่ในคอนกรีต.....	45
4.7	แสดงการขึ้นรูปพีวีซีผสมเปลือกไข่กับพีวีซีผสมแคลเซียมคาร์บอเนตครั้งแรก.....	47
4.8	แสดงการขึ้นรูปพีวีซีผสมเปลือกไข่กับพีวีซีผสมแคลเซียมคาร์บอเนตปกติ.....	48
5.1	แสดงลักษณะการให้ความร้อนต่อวัตถุ.....	50
5.2	แสดงภาพรวมของเครื่องอบแห้งชนิดไมโครเวฟ.....	51
5.3	แสดงการอบแห้งด้วยเครื่อง Microwave Heating รอบแรก.....	53
5.4	แสดงการอบแห้งด้วยเครื่อง Microwave Heating รอบสอง.....	53
5.5	แสดงการอบแห้งด้วยเครื่อง Microwave Heating รอบสาม.....	54
6.1	กระบวนการผลิตเยื่อเปลือกไข่และผงเปลือกไข่.....	56



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม จึงส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้หากถูกกำจัดไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ก็จะเป็นการสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ ฉะนั้นจึงเป็นที่มาของแนวคิดในการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมให้กับวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้นได้

ด้วยทางบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ เป็นกลุ่มธุรกิจขนาดใหญ่ในประเทศไทย มีธุรกิจหลักเกี่ยวกับอาหารและการเกษตรผ่านทางบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร หรือ CPF ในส่วนของไข่ไก่เปรียบเสมือนวัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร จากที่กล่าวข้างต้นเปลือกไข่ไก่นับเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมที่มีปริมาณมากทั้งส่วนของอุตสาหกรรมอาหารและเบเกอรี่ เป็นต้น จึงทำให้ทาง CPF มีวิธิดำเนินการกำจัดเปลือกไข่ไก่ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง ที่มีปริมาณเปลือกไข่ปัจจุบัน ประมาณเดือนละหลายร้อยตันอยู่ตามฟาร์มของ CPF

สำหรับมาตรการกำจัดเปลือกไข่ของ CPF มีดังนี้

1. ถมพื้นที่ภายในของทางฟาร์ม
2. ส่ง กทม. กำจัดพร้อมขยะทั่วไป เพื่อนำไปใส่ในหลุมฝังกลบ (Landfill)
3. ส่งกำจัดกับ บริษัท สยามเวสต์ แมเนจเม้นท์ คอนซัลแทนท์ จำกัด (WMS)

จากการกำจัดข้างต้นพบว่า ขั้นตอนส่วนใหญ่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นที่มาของการนำเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้ง โดยมีแนวคิดที่จะนำเปลือกไข่ดังกล่าวมาผ่านกระบวนการแต่งแร่เพื่อใช้ประโยชน์ทั้งในส่วนของเยื่อและเปลือกไข่

โครงการนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาไข่ไก่เบื้องต้นพบว่ามีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นองค์ประกอบหลัก (70-95% w/w) ส่วนเยื่อเปลือกไข่เป็นมีองค์ประกอบเป็นพวกโปรตีน ซึ่งเป็นส่วนที่เพิ่มมูลค่าได้เป็นอย่างมากในส่วนของอุตสาหกรรมหนังเทียมและเครื่องสำอาง รวมถึงอาหารเสริม

แคลเซียมที่ปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยม อาหารเสริมแคลเซียมเหล่านี้มาจากเหมืองหินปูน บางส่วนมาจากเปลือกสัตว์ทะเล ดังนั้นหากนำเปลือกไข่ที่ผ่านการแยกเยื่อแล้วมาเป็นส่วนประกอบในอาหารเสริมจะส่งผลดีทั้งในแง่ของการเพิ่มมูลค่าและด้านการยอมรับของผู้บริโภค เพราะแคลเซียมเป็นธาตุที่สำคัญสำหรับร่างกายในการสร้างกระดูก และฟัน ร่างกายมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด 1,200-2,000 กรัม ในจำนวนนี้ร้อยละ 99 อยู่ในกระดูก และฟันซึ่งจะอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนแคลเซียมอีกประมาณร้อยละ 1 จะพบอยู่ในเลือด เนื้อเยื่อ และของเหลวต่างๆในร่างกาย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1 ศึกษาและออกแบบกระบวนการขั้นตอนในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่
- 2 ศึกษาวิจัยที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์เยื่อเปลือกไข่และเปลือกไข่ที่แยกได้
- 3 เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคและเครื่องมือทางการแต่งแร่ในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1 ศึกษาการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่โดยเทคนิคทางการลอย (Floatation) การบดละเอียด(Fine Grinding)เปลือกไข่ที่แยกได้และการอบแห้ง(Drying)ผลิตภัณฑ์เปลือกไข่ที่ผ่านการบดละเอียด เป็นต้น
- 2 ศึกษาหาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการแยกเยื่อเปลือกไข่
- 3 เตรียมผงเปลือกไข่ เพื่อทดลองใช้ในอาหารสัตว์และอาหารเสริมในคน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 เพื่อเป็นทางเลือกในกระบวนการลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากวัสดุเหลือทิ้ง
- 2 เพื่อใช้ในการออกแบบกระบวนการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่
- 3 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้สนใจการนำเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1 ศึกษาเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ
- 2 ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือทางกระบวนการแต่งแร่ที่เหมาะสมกับเปลือกไข่
- 3 ทำการศึกษาการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ด้วยวิธีการลอย (Floatation)
 - ศึกษาผลของเวลาในการใช้เครื่องมือบดเปลือกไข่ที่แยกออกมา
 - ศึกษาผลของวิธีที่เหมาะสมในการบดเปลือกไข่ให้ละเอียด
 - ศึกษาผลของขั้นตอนการอบแห้งที่เหมาะสม
 - ศึกษาผลกระทบหรือปัญหาของการประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมต่างๆ
- 4 วิเคราะห์ผลการทดลองและพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำเยื่อและเปลือกไข่ไปใช้งานในอุตสาหกรรม
- 5 สรุปผลและวิจารณ์
- 6 เขียนรายงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวความคิดสู่งานวิจัย

2.1.1 โครงสร้างของไข่ไก่

จากการศึกษาข้อมูลของไข่ไก่ทั้งฟองตามทฤษฎี (สุวรรณ, 2529) ได้อธิบายถึงไข่ทั้งฟองไว้ ดังนี้ ไข่ทั้งฟองของสัตว์ปีกต่างๆรวมทั้งเป็ด ไก่ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ไข่แดง ไข่ขาว และ เปลือกไข่ มีสัดส่วนใกล้เคียงกันทุกฟอง จะมีปริมาณต่างกันตามขนาด และชนิดของสัตว์ปีก ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิด

ชนิด	น้ำหนัก (กรัม)	ไข่ขาว (%)	ไข่แดง (%)	เปลือกไข่ (%)
ไข่ห่าน	200	52.5	35.1	12.4
ไข่เป็ด	80	52.6	35.4	12.0
ไข่ไก่	58	55.8	31.9	12.3
ไข่นกพิราบ	17	74.0	17.9	8.1

ที่มา: สุวรรณ เกษตรสุวรรณ 2529

2.1.1.1 ลักษณะภายในของไข่

ไข่ไก่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ เปลือกไข่ (Eggshell) ไข่ขาว (Egg White) และไข่แดง (Egg yolk) แต่ละส่วนมีปริมาณร้อยละ 9-11, 60-63, 28-29 ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักของไข่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ และอายุของแม่ไก่

ก) เปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นพวกหินปูนแข็งเรียบติดแน่นอยู่กับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก และจะแยกเปลือกออกจากเยื่อนี้ได้ยาก โดยที่ความหนาของเปลือกจะขึ้นกับขนาดของไข่ ไข่ขนาดใหญ่จะมีขนาดเปลือกหนากว่าขนาดเล็กทั้งนี้ยอมแล้วแต่ไก่แต่ละตัว พันธุ์ อาหาร และฤดูกาลอีกด้วย หน้าที่ของเปลือกไข่ต้องทนรับน้ำหนักแม่ไก่เวลาฟักไข่ และต้องบางพอที่ลูกไก่จะเจาะออกมาจากเปลือกได้ โครงสร้างของเปลือกไข่จะโค้งติดกับเยื่อหุ้มไข่ และโค้งลดหลั่นกันเป็นรัศมีจากศูนย์กลางไข่ด้วยการเรียงตัวของผลึกธาตุปูน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวก พวกหนึ่งมีประมาณ 1/5 เป็นโครงสร้างของเปลือกประกอบด้วยอินทรีย์สาร พวกที่สองเป็นส่วนประกอบของอนินทรีย์สารต่างๆ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต มีอยู่มากที่ด้านนอก เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นสำคัญๆ 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอก เรียกว่า Spongy Layer กับเปลือกชั้นใน เรียกว่า Mammillary Layer โดยเปลือกชั้นนอกเป็นแคลเซียมในรูปผลึกของหินปูน (Calcite) ตั้งตรงทางแกนยาวของผลึกกับผิวเปลือก เป็นชั้นที่แข็งแรงและแน่นที่สุด ส่วนเปลือกชั้นในนั้นเป็นสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟต แร่ธาตุต่างๆเหล่านี้ไม่อยู่ในรูปผลึก เวลาไข่ร้าวก็จะร้าวถึงภายในด้วย

ข) เปลือกชั้นนอก

เปลือกชั้นนี้เป็นชั้นนอกที่ฉาบติดกับเปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่ฉีกกันแน่น และมีรูเล็กๆจำนวนมากเชื่อมโยงจากชั้นในมาเปิดที่ชั้นนี้เป็นรูพรุนแบบฟองน้ำแต่แข็งแรงมาก เปลือกชั้นนอกนี้ให้ความเป็นรูปทรง และความแข็งแรงแก่เปลือกไข่ ส่วนประกอบของชั้นนี้เมื่อย้อมด้วยสีโปรตีนจะเห็นว่ามันมีไม่ทั่วผิวเปลือกแต่จะมีมากขึ้นตอนติดกับเปลือกชั้นใน สีนี้ทำให้เห็นเปลือกชั้นนอกนี้แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตามลักษณะของเส้นใยโปรตีน (Matrix Fiber) คือ ชั้นที่อยู่ข้างในมีเส้นใยโปรตีนมากกว่าชั้นกลาง ชั้นนอกนั้นมีเส้นใยโปรตีนน้อยที่สุด

ค) เปลือกชั้นใน

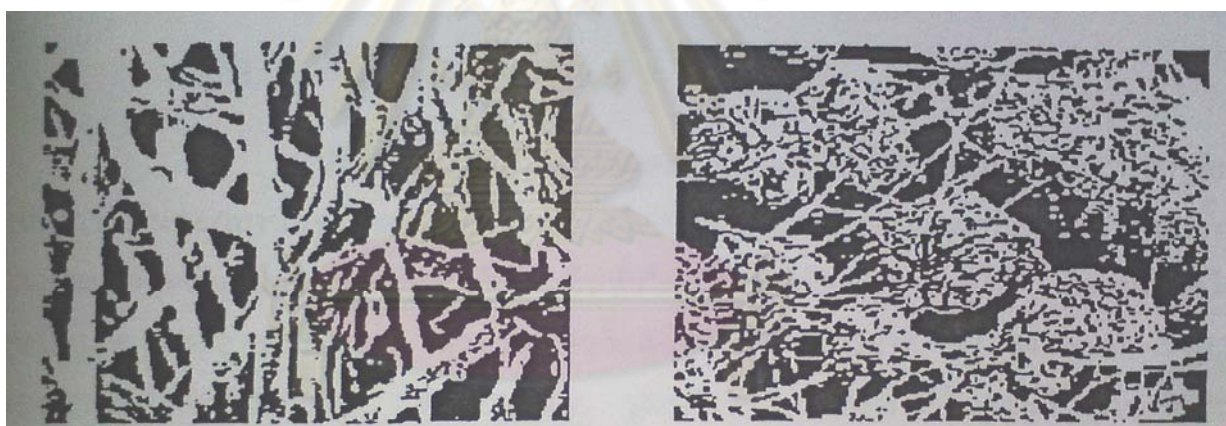
เป็นชั้นที่บางของเปลือก อยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก ประกอบด้วยปุ่มพื้นเปลือกลักษณะหยาบๆ (Mammilla) ที่มีรูปร่างต่างๆตั้งแต่ทรงรูปไข่ถึงทรงกลม ปุ่มเหล่านี้ฉีกเป็นชั้นเดียวอยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ ความหนาของเปลือกชั้นในประมาณ 0.11 มม. หรือประมาณ 1/3 ของความหนาของผิวพื้นไข่ทั้งฟอง เส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละปุ่มประมาณ 0.096-0.144 มม.

ง) เยื่อเปลือกไข่ (Membranes)

ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเส้นใยโปรตีน 95% ซึ่งเป็นโปรตีน ชนิด เคราติน (Keratin) คอลลาเจน (Collagen) และอีลาสติน (Elastin) ประสานแน่นกับเปลือกไข่เส้นใยเหล่านี้มีหมู่ Amine(-NH₂) ทำหน้าที่ในการจับกับโลหะหนักนั่นเอง เยื่อเปลือกไข่ในชั้นนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น คือ

เยื่อชั้นใน เป็นชั้นบางเรียบ หนาประมาณ 2.7 μm ทำหน้าที่ล้อมรอบไข่ขาวโดยทั่วไปเยื่อชั้นในและชั้นนอกจะติดกัน

เยื่อชั้นนอก เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือกไข่โดยจะติดแน่นขนานไปกับเปลือกไข่และแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้นซึ่งประสานกันด้วยร่างแหโปรตีน ชั้นนอกสุดเป็นพวกเส้นใยโปรตีนพวกเคราติน (Keratin) มีลักษณะเป็นเส้นแบน เส้นใยชั้นกลางเป็นพวกมิวซิน (Mucin) ประสานกับเปลือกไข่ลักษณะเป็น 2 ชั้นย่อย ที่ติดสนิทจนเกือบเป็นเนื้อเดียวกันและแยกออกจากกันได้ยากส่วนชั้นในจะเป็นกิ่งก้านสาขาของเคราตินเส้นเล็กๆ ประสานกันเป็นร่างแหช่วยให้ชั้นนี้เหนียวขึ้น ดังรูปที่ 2.16



ก โครงสร้างของเยื่อเปลือกไข่ชั้นใน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ขยาย 5,000 เท่า

ข ภาพถ่ายการเกาะติดของเปลือกไข่กับเยื่อเปลือกไข่ชั้นนอก

ที่มา: Kaplan, 1973

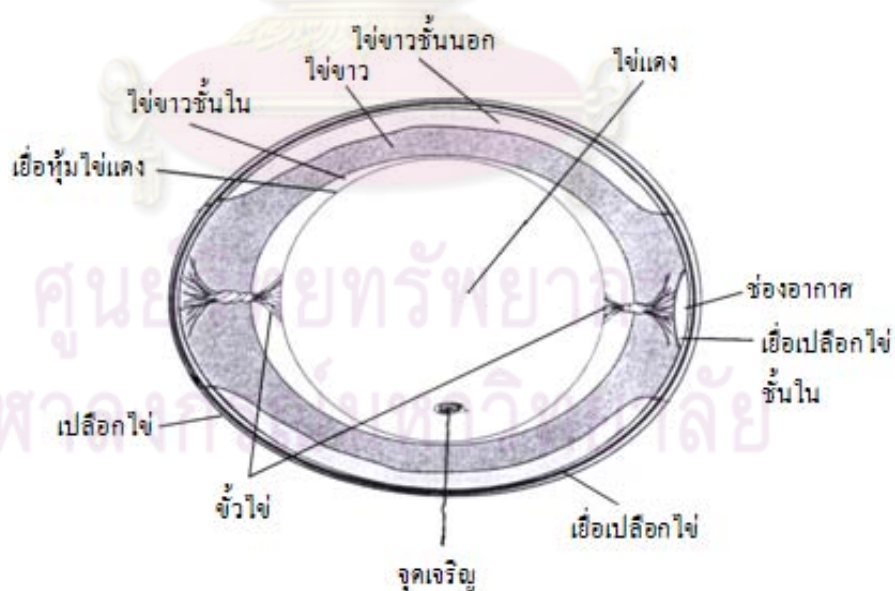
รูปที่ 2.1 แสดงภาพถ่ายของไข่ไก่จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

โดยทั่วไปอาจประมาณได้ว่าไข่ไก่ฟองหนึ่งๆ จะมีไข่ขาวอยู่ประมาณ 6 ส่วน ไข่แดง 3 ส่วน และเปลือกไข่ 1 ส่วนแสดงตัวเลขได้ดังตารางที่ 2.2 ในส่วนขององค์ประกอบของไข่ไก่ทั้งฟองจะแสดงดังรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนของส่วนต่างๆของไข่ไก่

ส่วนต่างๆ	น้ำหนัก	สัดส่วนทั้งหมด (%)
ไข่ขาว	32.9	55.8
ไข่ขาวเหลวชั้นนอก	7.6	23.2
ไข่ขาวชั้นตอนกลาง	18.9	57.3
ไข่ขาวเหลวตอนกลาง	5.5	16.8
ไข่ขาวที่เป็นขี้ และเยื่อหุ้มไข่แดง	0.9	2.7
ไข่แดง	18.7	31.9
เปลือกกับเยื่อเปลือก	6.4	12.3
เปลือก	6.2	*6.9
เยื่อใต้เปลือก	0.2	3.1
ทั้งหมด	58.0	100.0

ที่มา: สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529



ที่มา: สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529

รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของไข่ไก่

2.1.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของไข่

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ (2529) ได้แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่โดยรวม ดังแสดงในตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าเปลือกไข่นั้นมีอนินทรีย์วัตถุอยู่ถึงร้อยละ 95.1

เปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 98 สารอนินทรีย์อื่นๆ รวมถึงฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และเหล็กกับซัลเฟอร์ปริมาณน้อยมาก เหลืออนินทรีย์ที่อยู่ในเปลือกไข่ส่วนมากจะเป็นคาร์บอเนต และฟอสเฟตของแคลเซียม และแมกนีเซียม ผลึกแคลไซต์(Calcite) ที่มีอยู่ในเปลือกไข่จะมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณ (%)
น้ำ	0.1	1.6
วัสดุแห้ง	6.0	98.4
อินทรีย์วัตถุ	0.2	3.3
โปรตีน	0.2	3.3
ลิปิด	น้อยมาก	0.03
อนินทรีย์วัตถุ	5.8	95.1
รวม	6.1	100.0

ที่มา: สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529

เปลือกไข่จะประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย Galactosamine, Glucosamine, Galactose, Fructose, Glucose, Sialic Acids และไขมันปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้เยื่อหุ้มเปลือกไข่ยังประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดสี คือ Protoporphyrin ปริมาณเพียงเล็กน้อย (Sugino et al., 1997) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเปลือกไข่ไก่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 94 แมกนีเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 แคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 1 และสารอินทรีย์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอีกร้อยละ 4 (Stadelman, 1995; Vaclavik, 1998) เปลือกไข่ไก่จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นแหล่งของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งอาจใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร หรือเวชภัณฑ์สำหรับมนุษย์ก็เป็นได้

ทั้งนี้เมื่อทราบถึงเปลือกไข่ที่มีหินปูนเป็นองค์ประกอบหลัก (สุวรรณ, 2529) ต่อมาจึงทำการศึกษารายละเอียดในส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตดังนี้

2.1.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate: CaCO_3)

แคลเซียมคาร์บอเนต Calcium Carbonate มีสูตรเคมีคือ CaCO_3 ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 และ CO_2 ร้อยละ 44 มีความแข็ง 3 โมลด์ ความถ่วงจำเพาะ 2.72 แร่แคลเซียมออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือจะเกิดฟองฟู สลายตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825°C ลักษณะทางกายภาพเป็นผงสีขาวไม่ละลายน้ำ แต่ละลายน้ำได้เมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำที่มี CaCO_3 ละลายอยู่เรียกว่าน้ำกระด้างและจะตกตะกอนเมื่อเสีย CO_2 ออกไปเป็นต้น แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่มีลักษณะต่างกันแต่ลักษณะจะมีชื่อเรียกเฉพาะของแร่ เช่นแร่ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต เรียกว่า แร่แคลไซต์ (Calcite) หรือแคลสปาร์ (Calspar)

2.1.2.1 การเกิดของแคลเซียมคาร์บอเนต (แคลเซียมคาร์บอเนต, 2547)

ลักษณะการเกิดของแคลเซียมคาร์บอเนต แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. หินคาร์บอเนต (Carbonate Rock)

หินคาร์บอเนต หมายถึง หินที่ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เกิดเองตามธรรมชาติ แบ่งตามลักษณะของการเกิด

หินตะกอนคาร์บอเนต (Sedimentary Carbonate Rock) เป็นหินทางธรณีวิทยาตามลักษณะการเกิดของแร่องค์ประกอบ ได้แก่

หินปูน (Limestone) เป็นหินตะกอนซึ่งส่วนใหญ่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เกิดขึ้นในรูปของแคลไซต์ (Calcite) หรือบางครั้งจะอยู่ในรูปของอราโกไนต์ (Aragonite) ส่วนโดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นแร่อีกชนิดที่พบบ่อยมากในหินปูน ในบรรดาหินตะกอนทั้งหมดประมาณร้อยละ 20 เป็นหินปูนหรือโดโลไมต์หรือผสมกันระหว่างสองชนิด

2. แร่แคลไซต์ (Calcite)

แร่แคลไซต์ (Calcite) หรือ แคลสปาร์ (Calspar) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติผลึกของแคลไซต์มีหลายชนิดทำให้มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ด็อกทูธสปาร์ (Dogtoothspar) ไอซ์แลนด์สปาร์ (Iceland Spar) เนลเฮดสปาร์ (Nailhead Spar) และซาตินสปาร์ (Satin Spar) เป็น

ต้น แร่แคลไซต์ปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่อาจมีสีอื่นๆได้ เช่น สีเทา แดง เขียว น้ำเงิน เหลือง ถ้ามีมลทินอื่นๆ ปะปน เช่น ไพไรต์ ทองแดง เป็นต้น มีสูตรเคมี CaCO_3 เช่นเดียวกับหินปูน

ตารางที่ 2.4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต

Chemical Composition	
Silica (SiO_2)	0.65
Alumina (Al_2O_3)	0.03
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	0.10
Calcium Oxide (Cao)	54.93
Calcium Carbonate (CaCO_3)	99.04
Magnesium Oxide (Mgo)	0.43
Moist (H_2O)	0.28
Loss in burning process (lg.Loss)	43.55

ที่มา: <http://www.thaimarble.co.th>

2.1.2.2 ปริมาณสำรองแหล่งหิน (แคลเซียมคาร์บอเนต, 2547)

พบทั่วไปเกือบทุกภาคของประเทศ ยกเว้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่นำไปใช้ผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต ในรูปของประทานบัตรหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมเคมี หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมแคลเซียมคาร์ไบด์ และหินปูนเพื่อทำปูนขาว มีปริมาณกำลังสำรองรวมประมาณ 328.2 ล้านเมตริกตัน หินปูนที่มีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นหินปูนที่มีความบริสุทธิ์สูงมีองค์ประกอบของ CaO มากกว่าร้อยละ 54 หรือ CaCO_3 มากกว่าร้อยละ 97 และมีค่ามลทินขององค์ประกอบตัวอื่นต่ำ พบในจังหวัดสระบุรี ลพบุรี นครราชสีมา ราชบุรี ลำปางและนครศรีธรรมราช

ปริมาณสำรองแร่แคลไซต์

แร่แคลไซต์พบในหลายพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา ประจวบคีรีขันธ์ ลพบุรี อุทัยธานี ยะลา ตาก และอุดรดิตต์ มีปริมาณสำรองประมาณ 19.5 ล้านเมตริกตัน แหล่งแร่แคลไซต์ที่มีคุณภาพสูงและนิยมนำมาผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต ได้แก่ แหล่งแร่ที่จังหวัดลพบุรี และจังหวัดนครราชสีมา

2.1.2.3 กรรมวิธีการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต (แคลเซียมคาร์บอเนต, 2547)

1) แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ (Ground Calcium Carbonate : GCC) การบดแคลเซียมคาร์บอเนตธรรมชาติ กรรมวิธีในการผลิตมี การลดขนาดแร่ (Size Reduction) และการคัดขนาด (Classification) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคตามที่ตลาดต้องการ การผลิต GCC ส่วนใหญ่ใช้แร่แคลไซต์หินปูน หรือหินอ่อน ซึ่งคุณสมบัติของวัตถุดิบที่กำหนดไว้เบื้องต้น คือต้องมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 95 และมีความขาว มากกว่าร้อยละ 94 สำหรับประเทศไทยการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติ มาบดโดยตรง เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงมาก

2) แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึก (Precipitated Calcium Carbonate : PCC) การนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาตกผลึกใหม่ เรียกว่า Precipitated Calcium Carbonate (PCC) รูปร่างของผลึกอาจแตกต่างกันตามวิธีการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปเข็มหรือ Rhomboids ผงแคลเซียมคาร์บอเนตมีสีขาว ไม่มีกลิ่นไม่มีรส เสถียรในอากาศ และไม่ละลายน้ำ

คุณสมบัติที่ดีของ PCC คือ มีความขาวและบริสุทธิ์สูงกว่า GCC เพราะมีการตกผลึกกำจัดมลทินออกไปแล้ว นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติด้านฟิสิกส์ดีกว่าเนื่องจากโครงสร้างผลึกแข็งแรงกว่า โครงสร้างและรูปร่างผลึกมีขนาดใกล้เคียงกัน รวมทั้งมีน้ำหนักเบากว่าเพราะมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันขณะตกผลึก ส่วนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตโดยกรรมวิธีการตกผลึก มีการผลิตแบบ Sattelite Plant

2.1.2.4 กำลังการผลิตหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต, 2547)

กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี กำลังการผลิตรวมของแคลเซียมคาร์บอเนตในไทยมีอยู่ระหว่าง 820,000-1,060,000 เมตริกตัน ส่วนใหญ่เป็นการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด (GCC)

ส่วนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึก (PCC) ในประเทศไทยมีเพียงบริษัทเดียว คือ บริษัท ไฮเทค สเปเชียลตี้ จำกัด ซึ่งร่วมทุนระหว่าง บริษัท สเปเชียลตี้ มิเนอร์รัล (ประเทศไทย) จำกัด กับ Mineral Technology-Inc. (MIT) ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำของโลกที่มีเทคโนโลยีการผลิตแบบ Sattelite Plant โดย บริษัท ไฮเทค สเปเชียลตี้ จำกัด จะผลิตในรูปแบบ Slurry เกรดสูงเพื่อส่งโรงงานกระดาษซึ่งมีปริมาณการผลิตประมาณ 40,000-60,000 เมตริกตันต่อปี

ตารางที่ 2.5 แสดงกำลังการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตของผู้ประกอบการรายใหญ่

บริษัท	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	ผลิตภัณฑ์
1. บริษัท สุรินทร์ออมยาเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด	220,000	GCC/เล็กกว่า 10 ไมครอน และ 10-50 ไมครอน
2. กลุ่มบริษัท ศิลาทิพย์ จำกัด - บริษัท ปูนคุณภาพ จำกัด - บริษัท ศิลาทิพย์สระบุรี จำกัด	100,000 70,000	GCC/10-50 ไมครอน และใหญ่กว่า 50 ไมครอน GCC/10-50 ไมครอน และใหญ่กว่า 50 ไมครอน
3. กลุ่มบริษัท สยามหินปูน จำกัด - บริษัท สยามหินปูน 35 จำกัด - บริษัท เอฟ.เอ็ม.ที (ประเทศไทย) จำกัด - บริษัท สามร้อยยอด อุตสาหกรรม	60,000 54,000 40,000	GCC/10-50 ไมครอน และใหญ่กว่า 50 ไมครอน GCC/เล็กกว่า 10 ไมครอน GCC/ใหญ่กว่า 50 ไมครอน
4. บริษัท แคลเซียมโปรดักส์ จำกัด	120,000	GCC/10-50 ไมครอน และใหญ่กว่า 50 ไมครอน
5. บริษัท อิมเมอริชอนเวค จำกัด (อัลฟาไทยมิเนอร์รัล)	80,000	GCC/10-50 ไมครอน และใหญ่กว่า 50 ไมครอน
6. บริษัท ควอลิตี้มิเนอร์รัล จำกัด	80,000	GCC/10-50 ไมครอน และใหญ่กว่า 50 ไมครอน
7. บริษัท ไฮเทค สเปเชียลลอสตี้ จำกัด (กลุ่มแอดวานซ์อะโกร)	50,000	PCC / เล็กกว่า 10 ไมครอน
กำลังการผลิตรวม	874,000	

ที่มา: กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี “ปริมาณสำรองแหล่งหินทั่วประเทศ” กองการเหมืองแร่, 2547

2.1.2.5 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ (แคลเซียมคาร์บอเนต, 2547)

แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมกระดาษ

- เพิ่มความทึบแสงให้กับเนื้อเยื่อ
- ปรับปรุงคุณภาพเนื้อเยื่อให้ผิวเนื้อเยื่อสม่ำเสมอและมีส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
- ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการพิมพ์การดูดซับน้ำหมึก
- ทำให้การวางตัวของโครงสร้างเนื้อเยื่อดีขึ้นช่วยเติมเต็มช่องว่างของเนื้อเยื่อ
- ปรับปรุงคุณสมบัติการระบายน้ำของเนื้อเยื่อให้ดีขึ้นในระหว่างขบวนการผลิต

แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมสี

- ตัวเติมทำให้สีมีความต่อเนื่องและเป็นเนื้อเดียวกัน
- เพิ่มความเงาใช้แทนไททาเนียมออกไซด์ (TiO₂) ซึ่งมีราคาสูงกว่า
- ตัวเติมและตัวเพิ่มปริมาณสีที่ใช้ในงานจรรยาบรรณ

แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมพลาสติกและยาง

- มีความเงาหรือความมันเพิ่มขึ้น
- มีคุณสมบัติต้านทานไฟฟ้าดีขึ้น
- ทนทานต่อแรงบีบอัด
- ควบคุมการหดตัวของพลาสติกให้ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศมากขึ้น

แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมอาหาร

- สารเพิ่มความคงตัว (Firming Agent): ผัก ผลไม้กระป๋อง หรือ บรรจุขวดป้องกันการเปลี่ยนแปลงของเนื้อมือผ่านกระบวนการผลิต
- แหล่งของแคลเซียมใน Soft Drink และ Diet Beverage เนยแข็ง อาหารเสริมป้องกันโรคกระดูกพรุน โดยปัจจุบันได้มีการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตอัดเม็ดมากมายหลายยี่ห้อ เช่น Caltrate 600 ของบริษัทไวท์ฮอลล์ (ประเทศไทย)

จากการศึกษาประโยชน์ของเปลือกไข่ทำให้ทราบเบื้องต้นถึงองค์ประกอบที่เป็นหินปูนและทราบถึงการใช้ประโยชน์ของหินปูน ต่อมาจึงทำการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเปลือกไข่เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบดำเนินงานวิจัยต่อไป

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

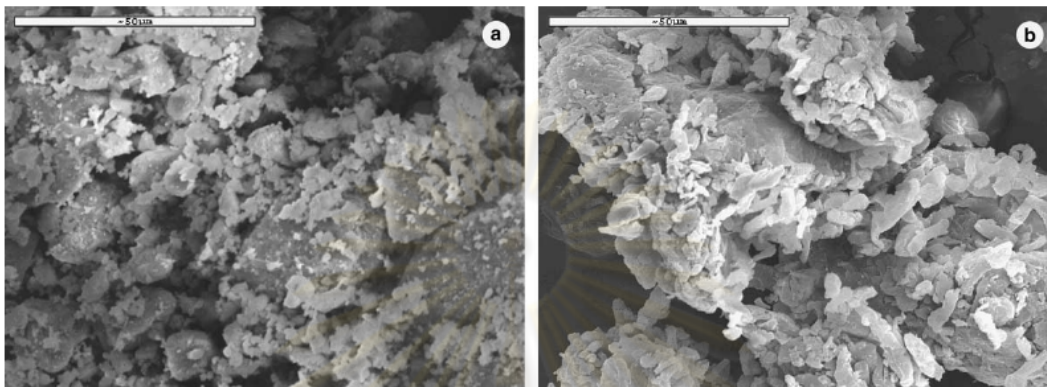
อลงกต ช้างเผือก (1997) ได้ทำการประมาณแนวโน้มของการผลิตไข่ไก่ในปีนั้นไว้ที่ 8,873 ล้านฟอง (กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 1997) ซึ่งจะมีปริมาณเปลือกไข่ไก่อยู่ที่ 63,300 ตัน จึงมีแนวคิดที่จะผลิตแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่ทดแทน โดยประยุกต์ขั้นตอนการผลิตมาจากการสกัดโคโคซานที่มีการกำจัดเกลือแร่ทิ้งที่มีอยู่ประมาณ 7-35% (Mayer, 1973) คือบดเปลือกไข่จนได้ขนาด 0.2 มม. แล้วเติมด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 4% (w/v) ด้วยอัตราส่วน 1:15 (w/v) คนทุกครึ่งชั่วโมง นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงแล้วนำระเหยในตู้ดูดควันจนแห้งได้เป็น แคลเซียมคลอไรด์ออกมาส่วนคุณสมบัติที่ได้ใช้เป็สารให้ความแน่นเนื้อในเงาะกระป๋อง

Suguro et al.(2000) จากบริษัท Q.P. Corporation ในประเทศญี่ปุ่นกล่าวถึงการให้ประโยชน์จากเปลือกไข่ที่เหลือคือ ประมาณร้อยละ 10 ใช้เป็นอาหาร ประมาณร้อยละ 60 ใช้เป็นปุ๋ย และอาหารสัตว์ส่วนที่เหลือร้อยละ 30 จะทิ้ง ซึ่งเปลือกไข่จะนำไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ในรูปของ Eggshell Waste หรือ Eggshell Meal (Galyean and Cotterill,1995) และยังคงศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ Eggshell Meal เป็นอาหารเสริมโดยผสมลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่ ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณโปรตีน กรดอะมิโน และพลังงาน ให้ใกล้เคียงกับอาหารเดิม แล้วตรวจคุณภาพของไข่ พบว่าแคลเซียมจากเปลือกไข่ที่เติม ถูกใช้เพื่อนำไปสร้างโครงสร้างหินปูนเป็นเปลือกไข่สอดคล้องกับรายงานของ Arvat and Hinners (1973) ที่กล่าวว่าเปลือกไข่สามารถนำไปทดแทนเป็นแหล่งแคลเซียมในสัตว์ปีกได้ อีกทั้งเปลือกไข่ถูกใช้เป็นแหล่งแคลเซียมเสริมในอาหารมากขึ้น (Suguro et al. (2000)) กล่าวว่าเปลือกไข่ผง (Eggshell Powder) อาจจะเป็นแหล่งแคลเซียมเสริมในมนุษย์ได้

W.Tsai และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของการดูดซับและลักษณะของเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่โดยใช้เครื่อง FT-IR, SEM และหาค่าความถ่วงจำเพาะของทั้งเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ ได้ค่าต่างๆดังนี้ เพื่อใช้เปรียบเทียบกันการวิเคราะห์ของงานวิจัยชิ้นนี้ในบทที่ 3 วิธิดำเนินงานวิจัยเครื่องลอยแร่ ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

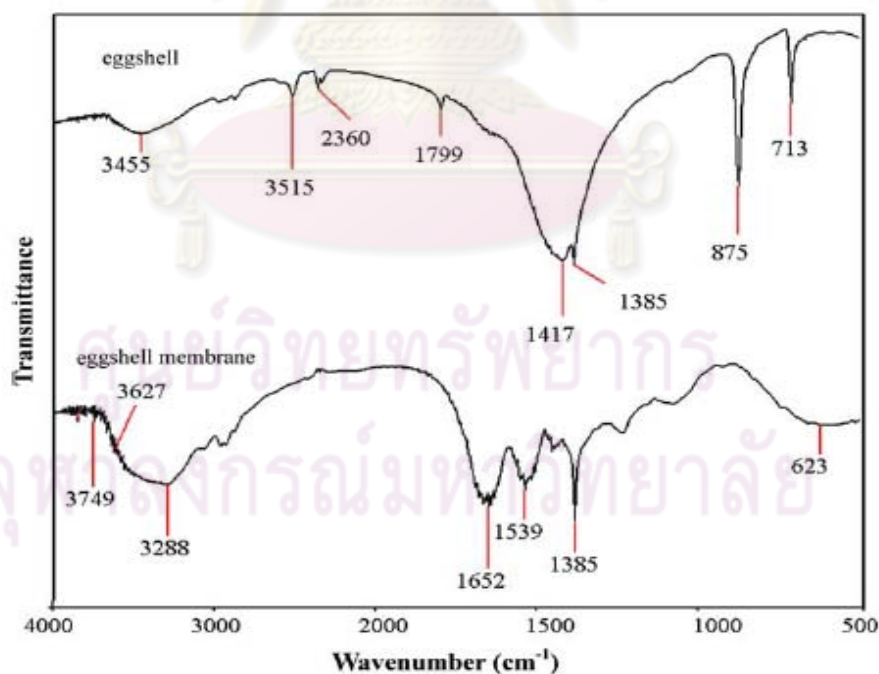
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของเยื่อและเปลือกไข่

Sample	S_{BET}^a ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	V_t^b ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	ρ_s^c (g cm^{-3})	ρ_p^d (g cm^{-3})	ϵ_p^e (-)
Eggshell	1.023 ± 0.339^f	0.0065 ± 0.0025	2.532 ± 0.021	2.491	0.0162
Eggshell membrane	1.294 ± 0.424	0.0063 ± 0.0016	1.358 ± 0.001	1.346	0.0088



ที่มา: W.Tsai และคณะ, 2006

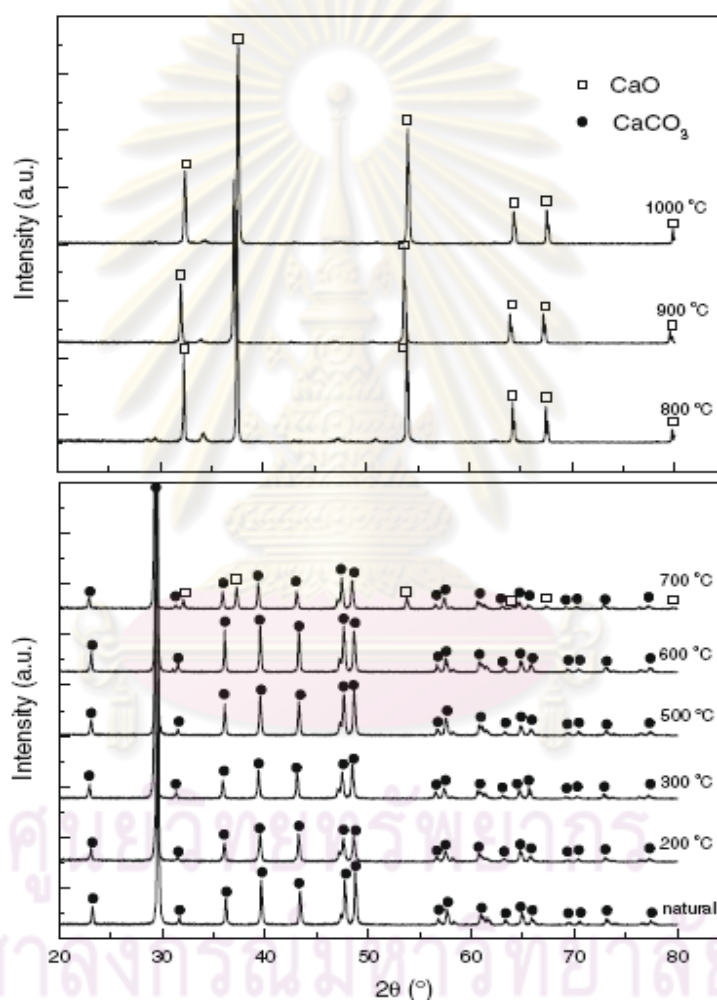
รูปที่ 2.3 ภาพจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดโดย a, b คือ เปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ตามลำดับ



ที่มา: W.Tsai และคณะ, 2006

รูปที่ 2.4 กราฟแสดงพีคของเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ที่วิเคราะห์ด้วย FT-IR

Ziku Wei และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาเปลือกไข่เหลือทิ้งเพื่อเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ซึ่งได้กล่าวว่า องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 94 แมกนีเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ 1 ตามลำดับ) และออกแกนิคเมทเทอร์ (Organic Matter) ร้อยละ 4 และจากผลการทดลองใช้เครื่องมือวิเคราะห์ด้วย XRD ได้กราฟดังนี้เพื่อนำไปเปรียบเทียบสำหรับเปลือกไข่ที่ใช้ในงานวิจัยต่อไป



ที่มา: Ziku Wei และคณะ, 2008

รูปที่ 2.5 แสดงผลวิเคราะห์ของเปลือกไข่ที่อุณหภูมิต่างๆด้วยเครื่อง XRD

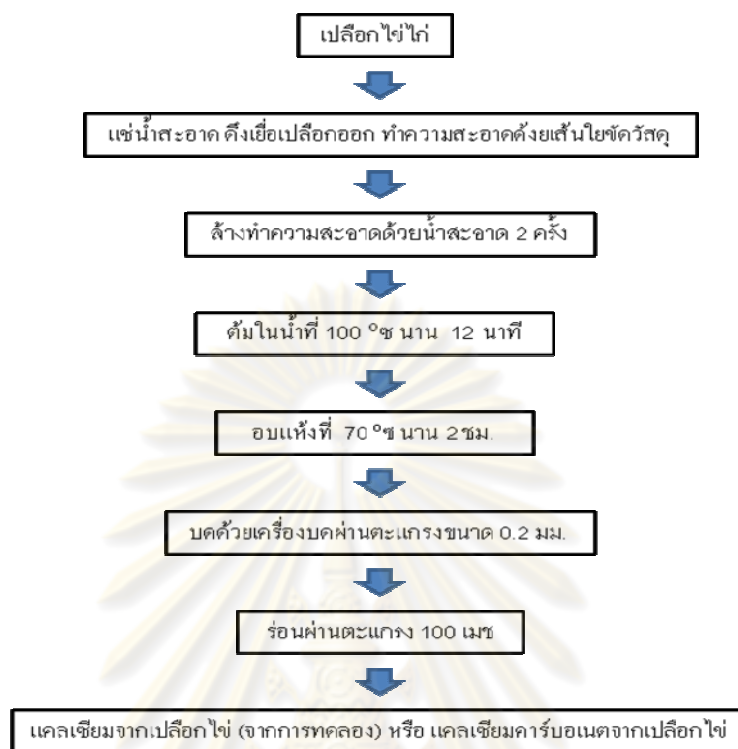
ศิริพร เฝ้าพงษ์จันทร์ (2001) ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลจากกรมปศุสัตว์ พบว่าในปี 2543 มีการผลิตไข่ไก่จำนวน 7,943 ล้านฟอง/ปี คิดเป็นเป็นน้ำหนักเฉพาะไข่ 48,452.3 ตัน/ปี ซึ่งเป็นปริมาณเปลือกไข่ที่จะถูกทิ้งเป็นของเสีย และจากการสำรวจของประเทศเกาหลี พบว่า ความต้องการในการบริโภคไข่ไก่ของประเทศเกาหลีเพิ่มขึ้นจาก 487,600 ตันเป็น 510,000 ตันในเวลา 3 ปีรวมถึงข้อมูลองค์ประกอบของเยื่อเปลือกไข่ไว้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อเปลือกไข่

Protein	Keratin	
	Collagen	
	Elastin	
Carbohydrate	Hexosamines	Glucosamine, Galactosamine, sialic acid
	Neutral sugars	Galactose, Glucose, Mannose, Fucose
	Aldopentoses	Xylulose
Fat	Neutral lipids	Mono-, di-, tri-glyceride, Free fatty acid, Cholesterol, Cholesterol ester
	Phospholipids	Lysolecithin, Lecithin, cephalin, Sphingomtelin

ที่มา: Kaplan, S 1973

กนกอร เจียมจิตต์ (2004) ได้ทำการศึกษาคูณภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกและศึกษาการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดผง และชนิดเม็ดจากเปลือกไข่ไก่จากการศึกษาเอกสารดังกล่าว สรุปได้ดังนี้คือ การปนเปื้อนของเปลือกไข่แบ่งเป็น 3 แหล่งคือ การปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ การปนเปื้อนจากโลหะหนักจึงสามารถสรุปกระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ หรือเรียกว่าแคลเซียมจากเปลือกไข่ (Eggshell Calcium) ได้รูปที่ 2.6



ที่มา: กนกอร เจียมจิตต์, 2004

รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอนเนตจากเปลือกไม้

ทำให้ทราบผลองค์ประกอบจากแคลเซียมจากเปลือกไม้ที่ผลิตได้(คำนวณจากน้ำหนักเปียก) ประกอบด้วยคางมันรีร้อยละ 0.47 โปรตีนร้อยละ 1.83 ไขมันร้อยละ 0.02 และเถ้าร้อยละ 97.15 และยังทำการเปรียบเทียบปริมาณร้อยละของแคลเซียมคาร์บอนเนตในแคลเซียมจากเปลือกไม้กับแคลเซียมคาร์บอนเนตทางการค้าดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบร้อยละของแคลเซียมในเปลือกไม้กับทางการค้า

ตัวอย่าง	ร้อยละ	
	แคลเซียมคาร์บอนเนต	แคลเซียม
แคลเซียมจากเปลือกไม้จากการทดลอง	95.33	38.17
แคลเซียมจากเปลือกไม้ทางการค้า	96.40	38.60

ที่มา: กนกอร เจียมจิตต์, 2004

2.3 แนวทางดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา เซึ่งการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้เครื่องมือทางการแต่งแร่ให้เข้ากับอุตสาหกรรมในปัจจุบันได้ง่ายขึ้น โดยการศึกษาวิจัยได้ทำการออกแบบกระบวนการแยกเยื่อเปลือกไซออกจากเปลือกไซ เพื่อนำส่วนของเยื่อเปลือกไซมาเพิ่มมูลค่าในทางอุตสาหกรรมเสริมความงาม ส่วนของเปลือกไซที่ได้นำไปเพิ่มมูลค่าโดยใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารทั้งในคนและสัตว์ ถือเป็นประโยชน์ต่อการนำมาใช้เพิ่มมูลค่าและลดปริมาณของเสียที่จะต้องกำจัด และเป็นแนวทางสำหรับกระบวนการรีไซเคิลอื่นๆ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างและข้อมูลบางส่วนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเครื่องมือจาก บริษัท เครื่องเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ส่วนที่มาของการใช้เครื่องลอยแร่เป็นเครื่องมือหลักนั้น เนื่องจากผลการทดลองบดเปลือกไซไก่เพื่อแยกเยื่อเปลือกไซออกจากเปลือกไซในประเทศญี่ปุ่น ดังรูปที่ 2.7 แสดงถึงวิธีและเครื่องมือที่ใช้ ดังนี้



บดด้วย Ring Mill / Disc Mill



เครื่องปั่น Mixer



เครื่อง Ultrasonic Bath



เครื่อง Ultrasonic Probe

รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องมือชนิดต่างที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

แนวคิดในการบดด้วย Ring Mill นั้นมาจากการที่เมื่อทำการบดเปลือกไข่และเยื่อจนละเอียดแล้วคาดว่าจะสามารถแยกทั้งสองส่วนออกจากกันได้ง่าย สำหรับส่วนของเครื่อง Ultrasonic Bath และ Ultrasonic Probe ที่นำมาใช้เพราะคาดการณ์ว่าคลื่นความถี่ที่ได้จากเครื่องทั้งสองนี้จะสามารถทำให้เยื่อหลุดออกจากเปลือกไข่ได้ แต่พบว่าทั้งสองวิธีไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้คือ Ring Mill ให้ผลของการบดที่ละเอียดเกินไปทำให้แยกได้ลำบากมากขณะที่คลื่นความถี่ที่ได้จากเครื่อง Ultrasonic Bath และ Ultrasonic Probe มีแรงไม่มากพอที่จะทำให้เยื่อหลุดออกได้ จึงทดลองอีกครั้งด้วยเครื่องปั่น Mixer เพราะน่าจะเกิดการเปื่อยของตัวเยื่อขณะปั่นและหลุดออกจากกันได้และเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้

ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองดังกล่าวไว้ดังตารางที่ 2.9 จากการที่เครื่องปั่น (Mixer) เป็นเครื่องมือที่สามารถบดเปลือกไข่รวมถึงแยกเยื่อเปลือกไข่ได้และมีหลักการทำงานที่คล้ายกับเครื่องลอยแร่ ซึ่งเครื่องมือทางการแต่งแร่จึงเป็นที่มาของการนำเครื่องลอยแร่มาใช้เป็นเครื่องมือหลักสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 3

ตารางที่ 2.9 ผลที่ได้รับจากการบดชนิดต่าง แสดงดังตารางดังนี้

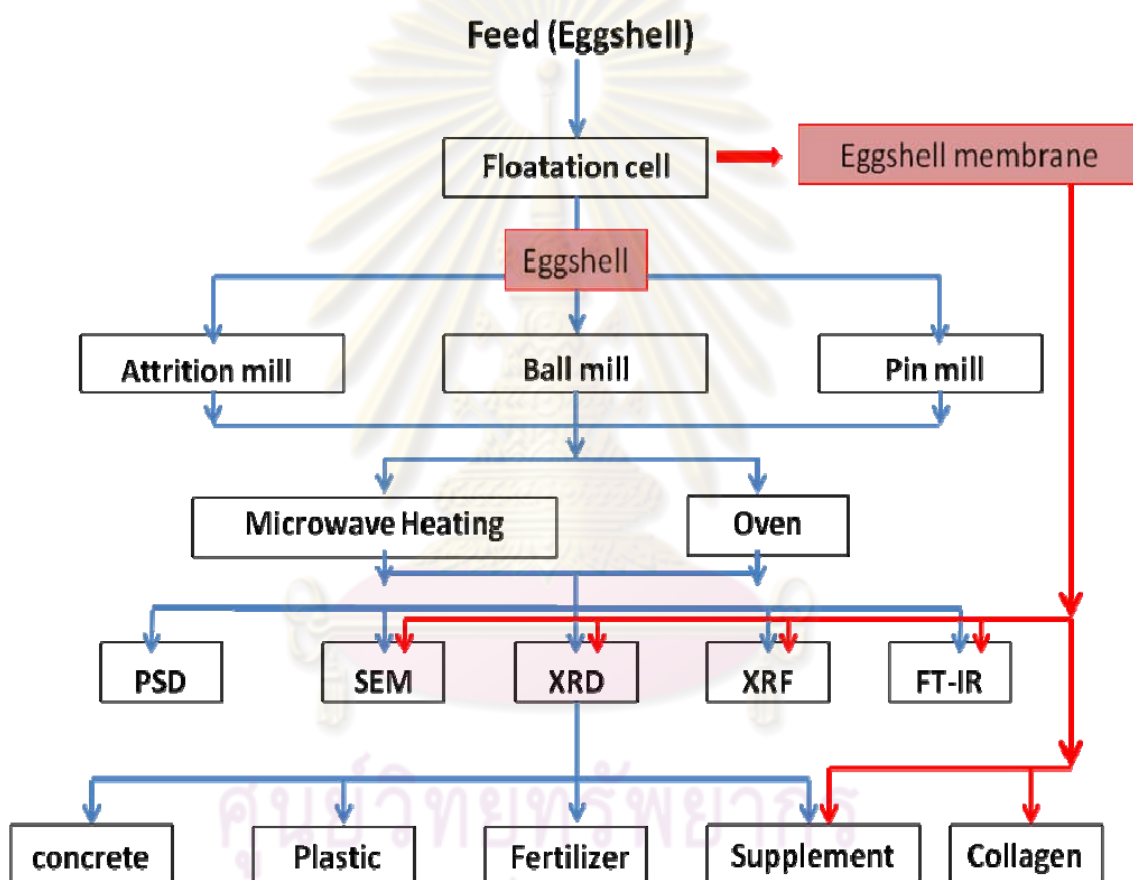
ผลการบด ชนิดเครื่องมือ	บดได้ (ขนาด 0.5-1 นิ้ว)	แยกเยื่อได้
Ring mill / Disc Mill	บดได้	ไม่ได้
Ultrasonic Bath	ไม่ได้	ไม่ได้
Ultrasonic Probe	ไม่ได้	ได้
Mixer	บดได้	ได้

ต่อมาเมื่อหาวิธีในการแยกเยื่อออกจากเปลือกไข่ได้แล้ว จึงทำการหาค่าความถ่วงจะเพาะของเปลือกไข่ต่อเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีการคัดแยกเยื่อที่หลุดออกจากเปลือกไข่ได้แล้วต่อไป ด้วยเครื่อง Ultrapycnometer 1000 พบว่า เปลือกไข่มีค่า 2.54 และเยื่อเปลือกไข่มีค่า 1.77 ดังนั้นทำให้ทราบถึงแนวทางในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ได้เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่างกันทำให้สามารถใช้หลักนี้ ในการลอยเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ด้วยเทคนิคทางการแต่งแร่ได้

2.4 แผนการศึกษาและวิธีดำเนินงานวิจัย

เมื่อทราบถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องและแนวทางการใช้เครื่องมือที่จะใช้สำหรับดำเนินงานวิจัยจึงทำการออกแบบแผนผังและขั้นตอนการดำเนินงานรวมถึงการตรวจวิเคราะห์ ของการทำวิจัยดังหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังการทดลองทั้งหมดของการทำวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 2.8 แผนผังแสดงการทดลองทั้งหมดของการศึกษาวิจัยครั้งนี้

2.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องลอยแร่ (Floatation cell)
2. เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball Mill)
3. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve)

4. เครื่องบดแท่งหมุน (Pin Mill)
5. เครื่องบดแอททริชันมิลล์ (Attrition Mill)
6. เครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ (Microwave Heating)
7. เตาเผาแร่
8. เครื่องชั่งสาร
9. เครื่อง Particle Size Distribution (Particle Size Distribution: PSD)
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
11. เครื่อง X-ray Diffractometer (X-Ray Diffractometer: XRD)
12. เครื่อง X-Ray Fluorescence (X-Ray Fluorescence: XRF)
13. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer: FT-IR)

2.6 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างเปลือกไซที่ใช้ในการทดลองวิจัย ได้รับมาจาก บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งนำมาจากส่วนของ เครือเจริญโภคภัณฑ์อาหาร วิธีการเตรียมแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเปลือกไซที่ได้รับจากจากบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (มหาชน)

2.7 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ขั้นตอนการเตรียมเปลือกไข่เบื้องต้นจะแสดงในภาคผนวก ก ประกอบด้วย การศึกษารวบรวมข้อมูลองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องการใช้ประโยชน์เปลือกไข่เหลือทิ้ง จากนั้นจึงทำการติดต่อขอตัวอย่างเปลือกไข่จากทาง บริษัท เครื่องเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) เพื่อทดลองหาแนวทางและกระบวนการที่เหมาะสมในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ รวมถึงการนำวัสดุที่แยกได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในส่วนของเยื่อและเปลือกไข่ วิเคราะห์โครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางกายภาพของเยื่อและเปลือกไข่ที่แยกได้ โดยศึกษาปริมาณของแคลเซียมที่ประกอบอยู่ในเปลือกไข่และแร่ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยอาศัยเครื่อง X-Ray Diffractometre (XRD) และ X-Ray Fluorescent Spectroscopy (XRF) รวมถึงทำการเปรียบเทียบกับ ตัวอย่างอาหารเสริมแคลเซียมตามท้องตลาด และทำการดูลักษณะโครงสร้างผลึกของเปลือกไข่เพื่อทดลองใช้ทดแทนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเหมือง วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของเยื่อเปลือกไข่ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) สำหรับเตรียมใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางต่อไป รวมถึงศึกษาเครื่องบดและเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต เพื่อรองรับสายการผลิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

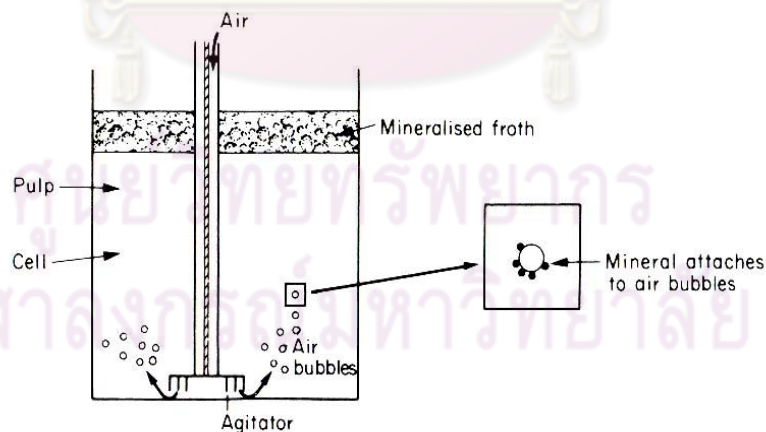
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยเครื่องลอยแร่

ผลจากการทดลองหาแนวทางในการแยกเยื่อออกจากเปลือกไซในบทที่ 2 ทำให้ทราบถึงหลักการและขั้นตอนการทำงานของเครื่อง Mixer ที่คล้ายกับเครื่องลอยแร่จึงเป็นที่มาของการนำเครื่องลอยแร่มาทดลองแยกเยื่อออกจากเปลือกไซ

3.1 หลักการเครื่องลอยแร่ (B.A.Wills, 1997)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การใช้เครื่องปั่น Mixer ในการหาแนวทางในการแยกเยื่อเปลือกไซออกจากเปลือกไซนั้นได้ผลดีที่สุดจึงเป็นที่มาของการนำเครื่องลอยแร่มาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยนี้การลอยแร่ (Flotation) คือ กระบวนการแต่งแร่วิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มเกรดของแร่ขึ้นได้ และยังเป็นวิธีการคัดแยกแร่ที่เราต้องการออกจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ โดยอาศัยคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ที่ผิวของเม็ดแร่ เม็ดแร่ต่างชนิดกันเมื่ออยู่ในน้ำจะมีแรงดึงดูดกับน้ำไม่เท่ากันคือเปียกน้ำไม่เท่ากัน เมื่อฟองอากาศเข้าไปในเม็ดแร่ปนน้ำนี้ เม็ดแร่ที่ไม่เปียกน้ำจะมีโอกาสเกาะติดฟองอากาศได้ดีกว่าเม็ดแร่ที่เปียกน้ำ ฟองอากาศจะพาเอาเม็ดแร่ที่เกาะติดลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เมื่อปาดฟองตอนบนออกจะได้ส่วนที่ลอยขึ้นมา (Float or Froth) ส่วนที่ไม่เกาะฟองอากาศจะจมอยู่ในน้ำตามเดิม เรียกว่าส่วนจม (Sink) จึงเรียกว่า การลอยแร่ (Mineral Flotation) ดังรูปที่ 3.1



ที่มา: B.A.Wills, 1997

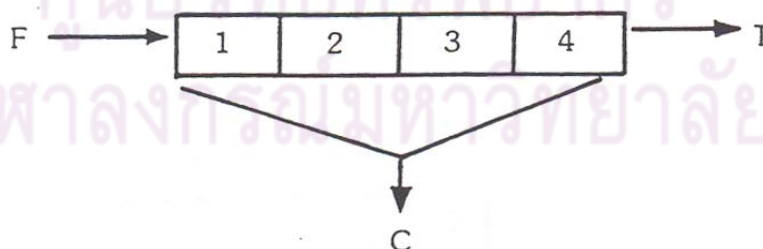
รูปที่ 3.1 แสดงการลอยแร่ด้วยเครื่องลอยแร่

การลอยแร่ทำได้ 2 ลักษณะคือ

1. Direct Flotation แร่ที่ต้องการจะลอยขึ้นมาและกตเอามลทินไว้ข้างล่างเป็นหางแร่
2. Reverse Flotation มลทินจะถูกลอยขึ้นเป็นหัวแร่และส่วนที่จมอยู่เป็นส่วนที่ต้องการ

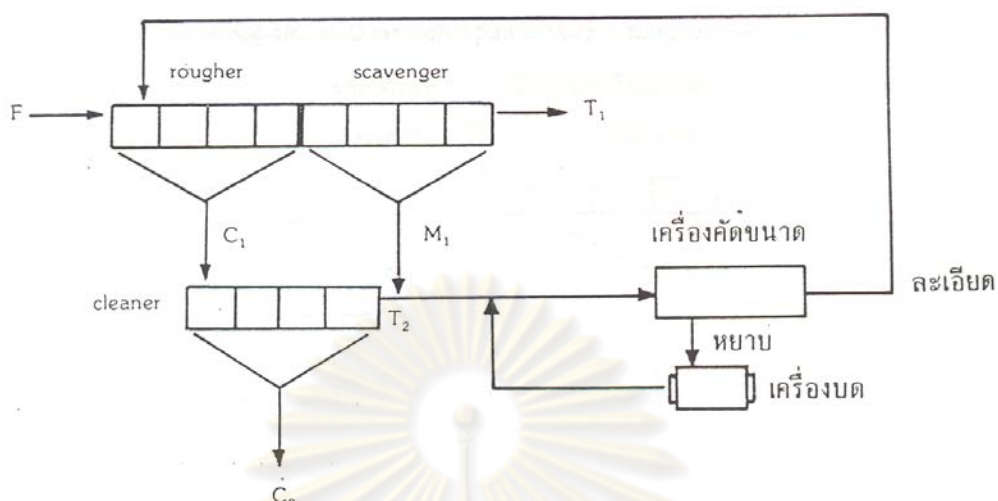
ในทางปฏิบัติการลอยแร่ออกจากกันต้องใช้น้ำยาเคมี (Chemical Reagent) หลายชนิดเพื่อเปลี่ยนสภาพของผิวเม็ดแร่ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการลอยได้ดียิ่งขึ้น ขนาดของเม็ดแร่ที่จะทำการลอยต้องไม่มีขนาดใหญ่ หรือเล็กจนเกินไป เพราะเม็ดแร่ขนาดใหญ่ฟองอากาศจะไม่สามารถรับน้ำหนักเม็ดแร่ได้ แต่ถ้ามีขนาดละเอียดมากเกินไปจะทำให้ฝุ่นของเม็ดแร่ที่ไม่ต้องการอาจลอยติดขึ้นมา โดยทั่วไปขนาดที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 65 ถึง 325 ไมโครเมตร

การลอยแร่นั้นเพื่อให้ได้คุณภาพของหัวแร่ที่สูงจะต้องทำการลอยซ้ำหลายครั้ง ดังนั้นจึงมักทำการติดตั้งเครื่องลอยแร่เป็นชุดต่อเนื่องกันหลายๆ เครื่องซึ่งนอกจากจะช่วยในส่วนของการเพิ่มปริมาณคุณภาพของหัวแร่ที่ต้องการแล้วนั้น ยังเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตที่ต้องใช้เครื่องลอยแร่ที่มีตัวอย่างในปริมาณมากด้วย เครื่องลอยแร่เครื่องแรกที่ใช้เรียก Rougher Cell เป็นชุดที่รับแร่ป้อนที่ผ่านการบดและปรับสภาพผิวแล้ว สำหรับหัวแร่ (Concentrate) ที่ได้มันยังไม่สะอาดเพียงพอต้องนำไปทำการลอยซ้ำในส่วนของชุดทำความสะอาดหรือ Cleaner Cell ซึ่งสำหรับแร่บางประเภทที่มีราคาสูงหรือที่ต้องการให้มีความบริสุทธิ์สูงอาจต้องทำซ้ำหลายๆครั้ง ส่วนของหางแร่ที่ออกมาจาก Rougher Cell ยังอาจมีแร่มีค่าหลงเหลืออยู่บ้างบางส่วน จึงต้องนำไปทำการลอยซ้ำอีกครั้งในส่วนของเครื่องชุดลอยกากแร่ หรือ Scavenger Cell แต่ในส่วนของเครื่องลอยชุดนี้ในบางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องติดตั้งด้วยก็ได้ในกรณีที่แร่ที่ลอยมีมูลค่าไม่สูงมาก การจัดวงจรครบชุดลอยแร่ (Flotation Circuit) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



ที่มา : คู่มือการแต่งแร่ กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี

รูปที่ 3.2 การลอยแร่สะอาดโดยเครื่องลอยแร่ชุดเดียว



ที่มา: คู่มือการแต่งแร่ กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี

รูปที่ 3.3 การลอยแร่ 3 ขั้นตอนร่วมกับวงจรการบดและคัดขนาด

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการลอยแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ ซึ่งเครื่องลอยแร่ (Mineral Flotation Cell) ที่ใช้ในงานวิจัย เป็นเครื่องลอยแร่แบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดง Laboratory Flotation Cell เครื่องลอยแร่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

3.2 ขั้นตอนการทดลองเครื่องลอยแร่

ก่อนทำการทดลองแยกเยื่อเปลือกไซ้ด้วยเครื่องลอยแร่ นั้นได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง XRD, XRF และ FT-IR เพื่อดูองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างก่อนที่และหลังทำการทดลอง ทั้งนี้เพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของเยื่อเปลือกไซ้, เปลือกไซ้และอาหารเสริม โดยเปลือกไซ้ที่ได้จะนำไปบดต่อเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ทดลองเป็นอาหารเสริมในคนหรืออาหารสัตว์น้ำต่อไป ส่วนเยื่อเปลือกไซ้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องหนังหรือเครื่องสำอางต่อไปตามความเหมาะสม

เครื่องลอยแร่ที่ใช้ทำการทดลองเป็นแบบ Batch Laboratory Floation Cell ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งได้ทำการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างที่จะทำการลอยพร้อมกับใส่น้ำซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการลอยเยื่อเปลือกไซ้ เมื่อเปิดเครื่องลอยแร่แล้วให้ทำการปรับค่าความเร็วรอบของเครื่องให้มีความเร็วรอบต่ำช่วงหนึ่งเพื่อให้เยื่อเปลือกไซ้เปียกน้ำและเกิดการร่อนตัวเกิดขึ้น จากนั้นทำการเพิ่มค่าความเร็วรอบในการหมุนที่สูงขึ้นเพื่อให้เยื่อที่เริ่มร่อนเกิดการขัดสีกันเองหลุดออกจากเปลือกไซ้ โดยขณะที่เปิดเครื่องให้ทำการเปิดส่วนพ่นฟองอากาศไปด้วยเพื่อให้เยื่อที่หลุดออกจากเปลือกไซ้ลอยขึ้นสู่ด้านบนเครื่องลอยแร่ แล้วทำการปิดเยื่อเปลือกไซ้ที่ลอยขึ้นมาพร้อมกับฟองอากาศออก จากนั้นเทน้ำที่อยู่ในเครื่องลอยแร่ออกเพื่อเอาส่วนเยื่อเปลือกไซ้ที่ลอยอยู่ออกโดยใช้ตะแกรงคัดขนาดเป็นตัวกรองไม่ให้เยื่อสูญหายไปจากการเทน้ำทิ้ง จากนั้นทำการเทน้ำเพิ่มลงไปใหม่แล้วทำการรินเอาส่วนเยื่อที่ลอยอยู่ในน้ำออกอีกครั้ง ให้ทำซ้ำประมาณครั้งถึงสองครั้งจนเยื่อที่แยกได้หมด สำหรับการทดลองนี้กำหนดให้ปริมาณน้ำที่ใช้คงที่ที่ 2,000 มล.และปริมาณตัวอย่างเปลือกไซ้ที่มีเยื่อติดอยู่คงที่ที่ 1,000 กรัม ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งจากตารางดังกล่าวได้ทำการเพิ่มส่วนบันทึกผลการทดลองไว้แล้วในช่องของผลการทดลองสังเกตด้วยตาเปล่า

3.3 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองเครื่องลอยแร่

จากผลการทดลองหาค่าความเร็วและระยะเวลาที่เหมาะสมจะได้ค่าดังนี้ ความเร็วรอบต่ำที่ 900 rpm.เวลา 35 นาที, ความเร็วรอบสูง 1,200 rpm.เวลา 45 นาที ที่ความเร็วรอบต่ำเพื่อให้เยื่อและเปลือกไซ้สัมผัสกับน้ำได้ทั่วถึงและเพื่อให้เยื่อเปลือกไซ้เริ่มร่อนตัวออกจากเปลือก จากนั้นที่ความเร็วรอบสูงจะเป็นการเพิ่มความเร็วขึ้นเพื่อให้เยื่อแยกออกจากเปลือกไซ้ โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ใช้คงที่ที่ 2,000 มล.และปริมาณตัวอย่างคงที่ที่ 1,000 กรัม ดังตารางที่ 3.1และสามารถสรุปผลการลอยเยื่อด้วยเครื่องลอยแร่ได้ ว่าระยะเวลาและความเร็วรอบที่ใช้ในการลอยเยื่อออก มีผลอย่าง

มากต่อการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ทั้งนี้หากใช้เวลานานเกินไปก็จะเป็นการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็น

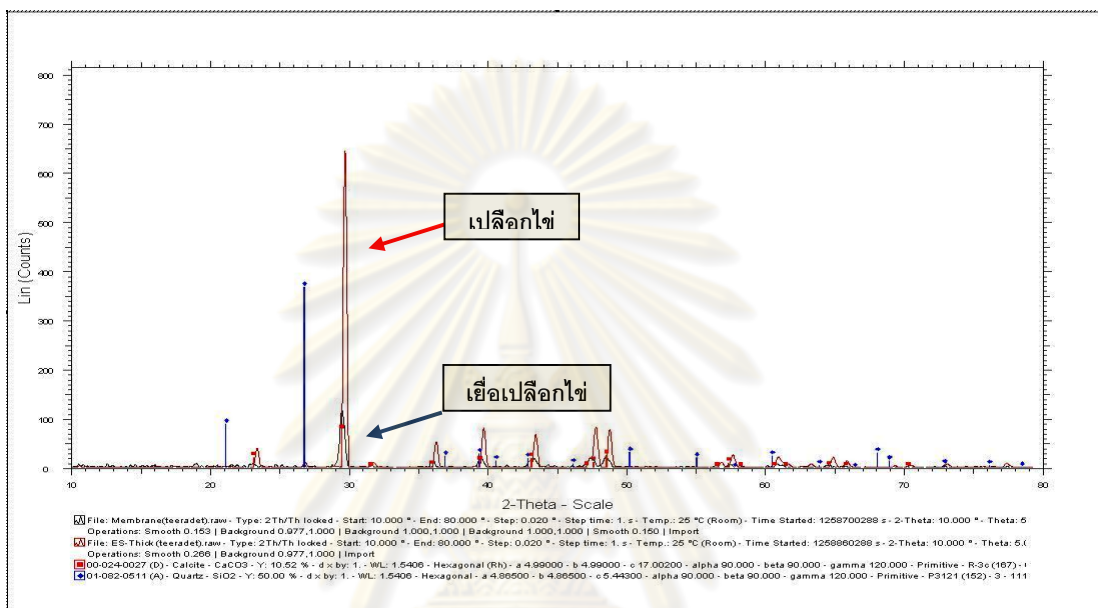
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลองเครื่องลอยแร่

ชื่อตัวอย่าง	เวลา (นาที)	ความเร็ว (รอบต่อนาที)	ผลการทดลองสังเกตด้วยตาเปล่า
Floatation-Test1	10	900	พบส่วนที่เป็นเยื่อเปลือกไข่ติดอยู่ที่เปลือกไข่เป็นจำนวนมาก
	20	1200	
Floatation-Test2	25	900	เยื่อเปลือกไข่แยกออกจากเปลือกไข่ได้มากขึ้นแต่ยังมีบางส่วนติดค้างอยู่
	35	1200	
Floatation-Test3	35	900	เยื่อเปลือกไข่หลุดออกจากเปลือกไข่ได้ทั้งหมดเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
	45	1200	
Floatation-Test4	35	1200	ให้ผลใกล้เคียงกับครั้งที่ 3 แต่ใช้รอบที่มากกว่า
	45	1500	

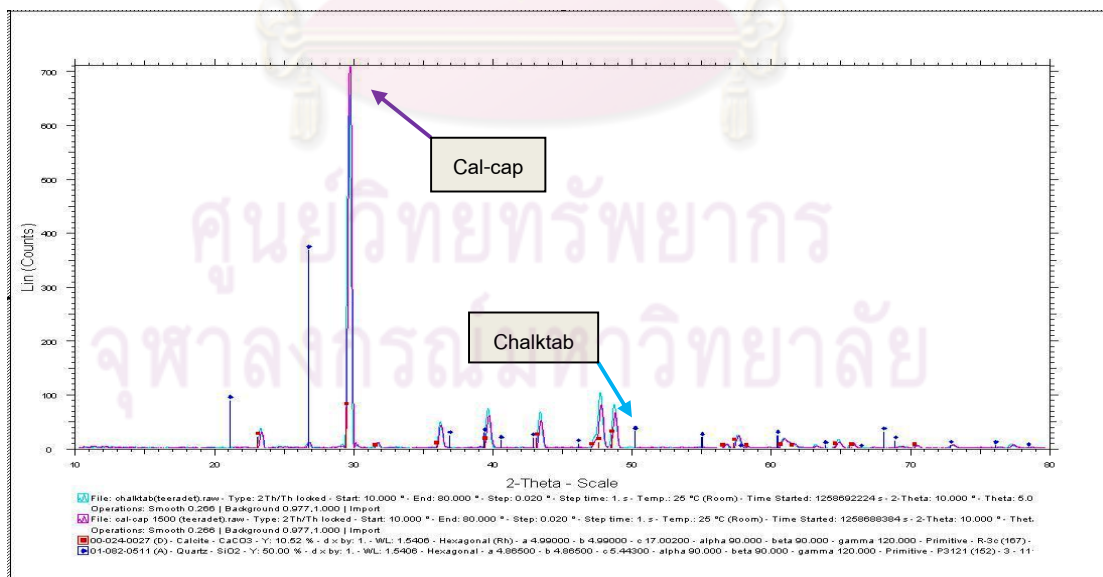
เมื่อทำการแยกเยื่อออกจากเปลือกไข่ได้ผลสำเร็จแล้วต่อมาจึงทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD เพื่อหาค่าประกอบหลักของเปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่และอาหารเสริมแคลเซียมตามลำดับ สำหรับเครื่อง XRF นั้นจะใช้หาค่าประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งได้แก่ เปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่และอาหารเสริมแคลเซียมและเครื่อง FT-IR ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันต่างๆที่มีอยู่ใน เปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่ และอาหารเสริมแคลเซียม โดยที่ผลวิเคราะห์ทั้งหมดจะเป็นส่วนช่วยในการยืนยันว่าเปลือกไข่ที่มีเยื่อติดอยู่ เมื่อทำการแยกออกด้วยเครื่องลอยแร่แล้ว สามารถแยกเยื่อออกจากเปลือกไข่ได้จริง รวมถึงเปรียบเทียบผงเปลือกไข่กับอาหารเสริมแคลเซียม เพื่อใช้เปลือกไข่เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเสริมแคลเซียมแทนด้วยเหตุผลที่เป็นแหล่งแคลเซียมที่มาจากธรรมชาติมากกว่าของทางหินปูน ทางด้านเยื่อเปลือกไข่ที่แยกได้นำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าประกอบและหมู่ฟังก์ชันเพื่อเป็นข้อมูลยืนยันกับในส่วนองงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2

3.4 ผลวิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ของเครื่อง X-Ray Diffractometre (XRD)

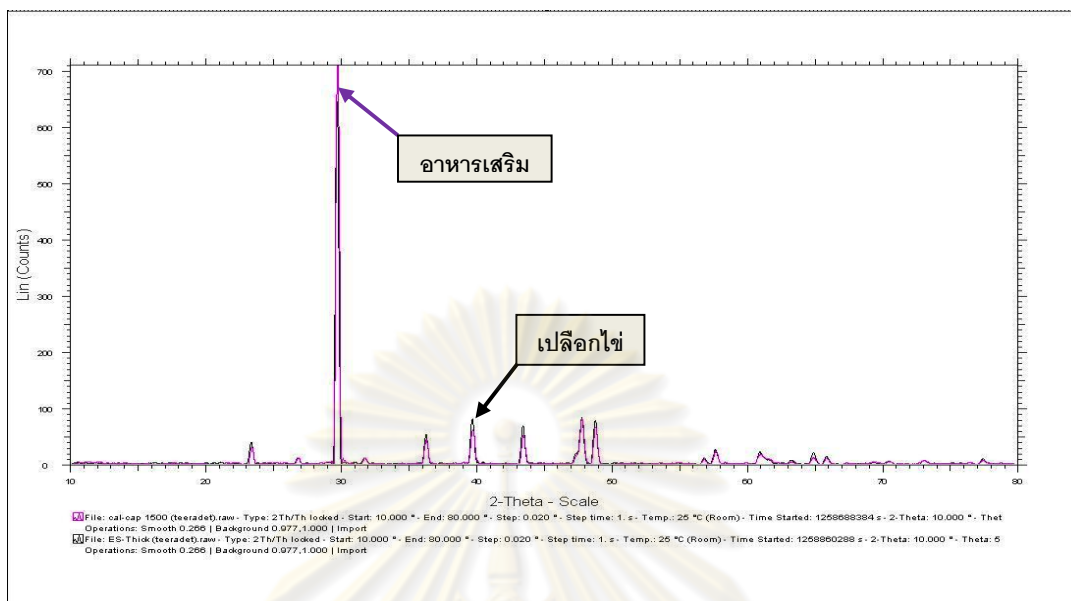
จากการวิเคราะห์หลักขององค์ประกอบของเปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่และอาหารเสริมแคลเซียม ที่แยกได้ด้วย เครื่อง X-ray Diffractometre (XRD) แสดงในรูปที่ 3.5-3.7 ดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของ เยื่อเปลือกไข่ กับ เปลือกไข่



รูปที่ 3.6 แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของอาหารเสริมแคลเซียม



รูปที่ 3.7 แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของ อาหารเสริม กับ เปลือกไข่

จากรูปที่ 3.5 แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของเปลือกไข่เปรียบเทียบกับเยื่อเปลือกไข่ พบว่าพีคที่ปรากฏของทั้งสองตัวอย่างเป็นของแคลเซียมคาร์บอเนต แต่แตกต่างกันที่ความสูงของพีคโดยพีคที่สูงกว่าจะเป็นของเปลือกไข่ ส่วนพีคของเยื่อเปลือกไข่ที่ยังปรากฏอยู่นั้นคาดว่าสาเหตุมาจากขั้นตอนการแยกเยื่อที่อาจมีเปลือกไข่ปริมาณน้อยติดมาด้วย

จากรูปที่ 3.6 แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของอาหารเสริมทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกัน พบว่าพีคที่ปรากฏเป็นของแคลเซียมคาร์บอเนตและมีความสูงของพีคที่ได้เกือบจะเท่ากัน ทำให้สรุปได้ว่าอาหารเสริมทั้งสองชนิดมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่เท่าๆกัน

จากรูปที่ 3.7 แสดงผลวิเคราะห์ XRD ของเปลือกไข่เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารเสริมแคลเซียม พบว่าพีคที่ได้ของทั้งสองตัวอย่างปรากฏที่ค่าของพีคแคลเซียมคาร์บอเนตและยังมีความสูงที่เท่าๆกัน ทำให้สรุปได้ว่าเปลือกไข่ในเบื้องต้นนี้สามารถใช้ผลิตหรือทดแทนอาหารเสริมแคลเซียมได้

เมื่อทราบถึงองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่และอาหารเสริมแคลเซียมแล้วจึงมีความต้องการทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆอีก ทั้งของเปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่และอาหารเสริม ทำให้ต้องวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescent (XRF) เพิ่มเติมเพื่อช่วยในการยืนยันผลการทดลองการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ และการนำไปใช้ประโยชน์

3.5 ผลวิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ของเครื่อง X-Ray Fluorescent (XRF)

สำหรับผลของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อและเปลือกไข่รวมถึงอาหารเสริมแคลเซียมที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อทำการเปรียบเทียบกับเปลือกไข่ที่ทำการแยกเยื่อออกแล้ว ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงผลของวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ของเยื่อ เปลือกไข่และอาหารเสริม

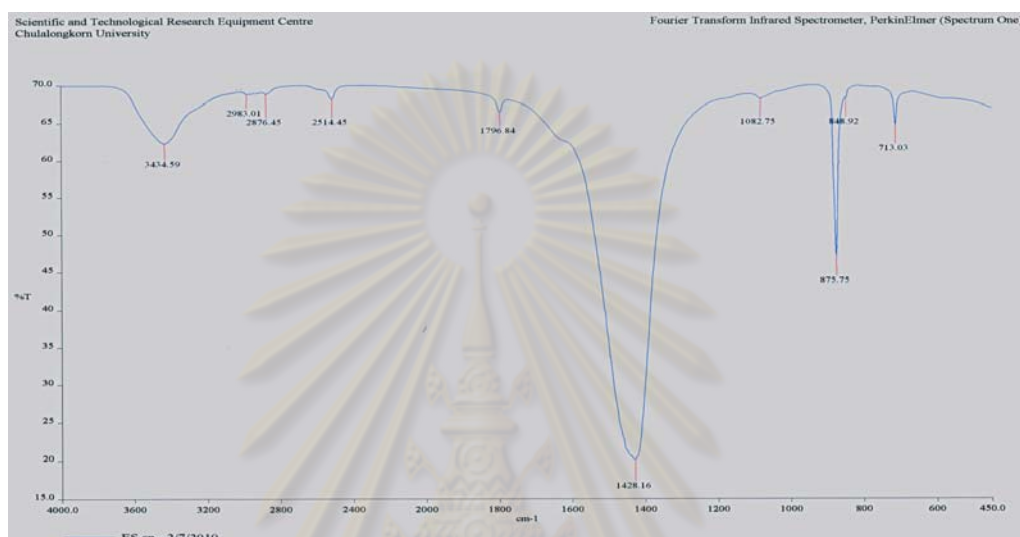
ชนิดตัวอย่าง	Test Results (XRF)						
	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %
เปลือกไข่ที่มีเยื่อติดอยู่	0.65	<0.001	0.03	49.82	0.73	<0.001	<0.001
เปลือกไข่ที่แยกได้	0.57	<0.001	0.04	53.86	0.89	<0.001	<0.001
เยื่อเปลือกไข่ที่แยกได้	0.71	6.54	0.16	14.48	0.44	<0.001	<0.001
อาหารเสริม Cal-cap	0.53	0.01	0.03	49.71	0.68	<0.001	<0.001
อาหารเสริม Chalk tab	0,48	0,1	0.01	50.34	0.48	<0.001	<0.001

จากตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ของตัวอย่างเปลือกไข่ที่มีเยื่อติดอยู่ที่ได้ก่อนเข้าเครื่องลอยแร่พบว่ามีค่า CaO เท่ากับ 49.82 ขณะที่เมื่อทำการวิเคราะห์อีกครั้งหลังจากผ่านเครื่องลอยแร่แล้วค่า CaO ของเปลือกไข่อย่างเดียวอยู่ที่ 53.86 ทั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกทำให้ค่า CaO ที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้น และในส่วนของค่า CaO ของเยื่อเปลือกไข่คือ 14.48 ซึ่งค่าที่ได้ต่ำมาก เนื่องจากมีเปลือกไข่ปริมาณน้อยติดออกมาผสมกับเยื่อเปลือกไข่ที่ได้จากการลอย

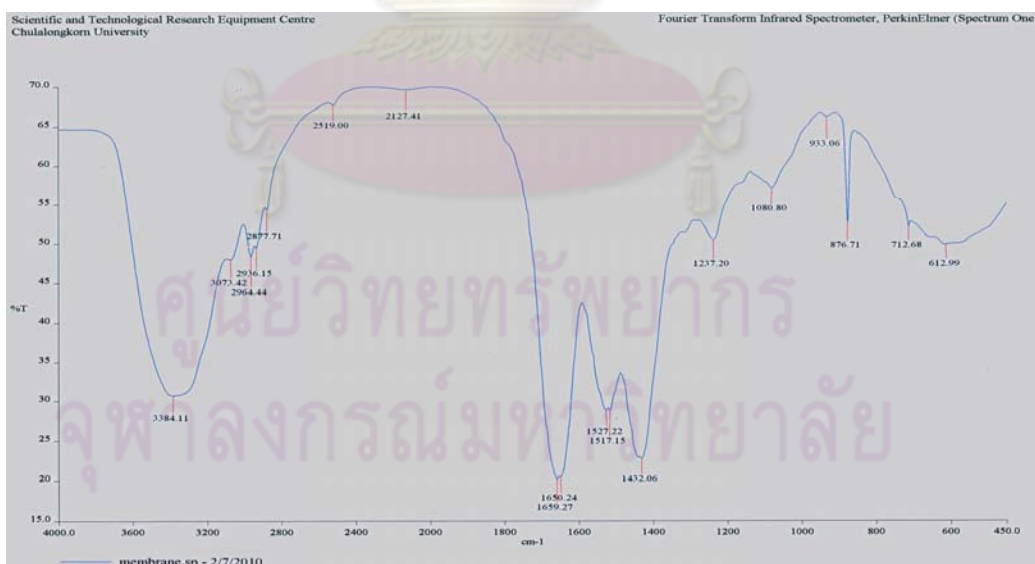
ขณะที่ค่าต่างๆของเปลือกไข่เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารเสริมแคลเซียมทั้งสองชนิดที่วางขายอยู่ตามท้องตลาด พบว่ามีค่า CaO ที่สูงกว่าของอาหารเสริม จึงสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่าอาหารเสริมที่ใช้ตามท้องตลาดอาจใช้แหล่งที่มาของแคลเซียมจากหินปูนก็เป็นได้ และเพื่อหาถึงหมู่ฟังก์ชันของอาหารเสริมและเยื่อเปลือกไข่ จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ต่อไป

3.6 ผลวิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ของเทคนิค FT-IR Spectroscopy

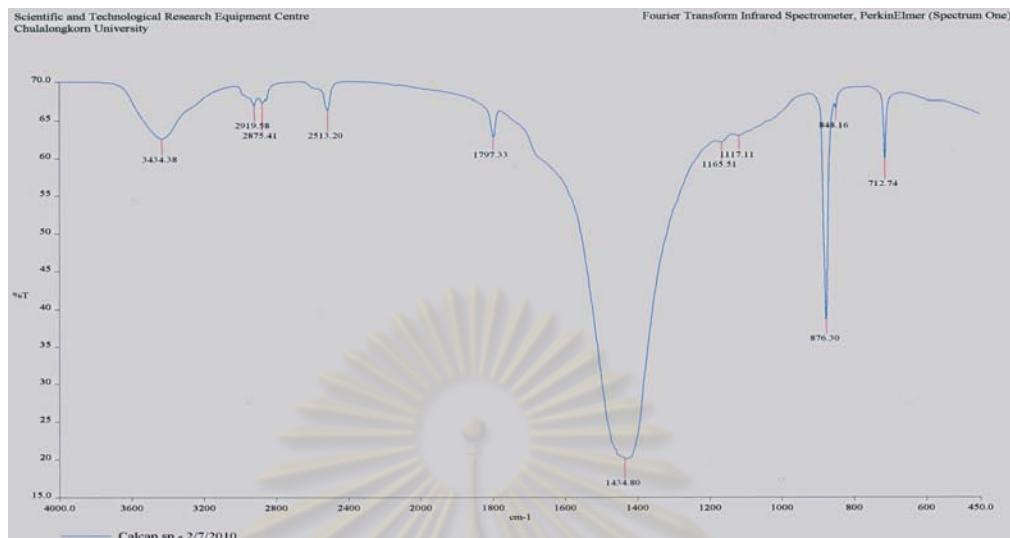
เมื่อทำการส่งตัวอย่างในส่วนของเปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่ และอาหารเสริมแคลเซียมทั้งสองชนิดเข้าสู่การวิเคราะห์ได้ผลดังรูปที่ 3.8-3.11



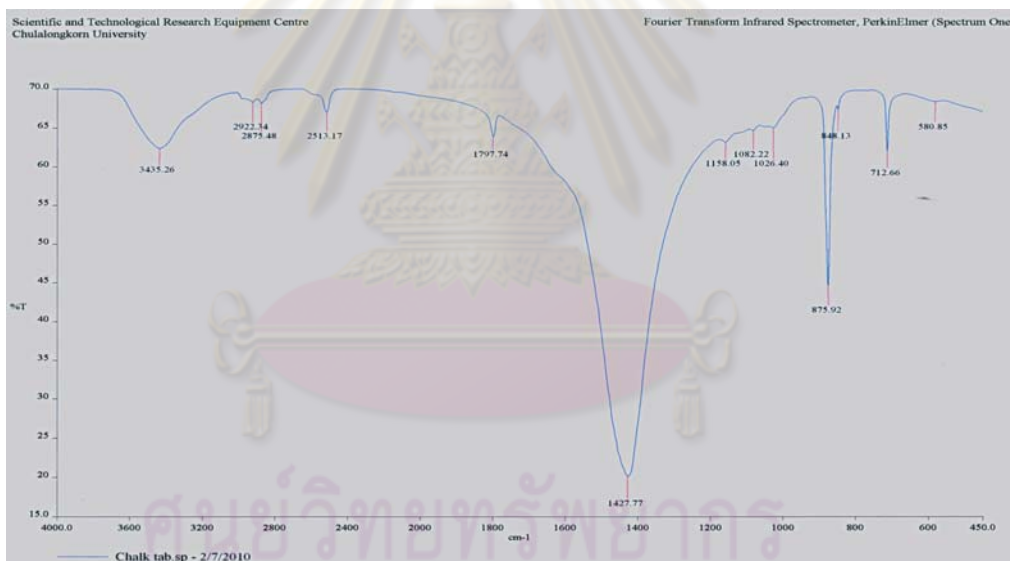
รูปที่ 3.8 แสดงผลของการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Eggshell



รูปที่ 3.9 แสดงผลของการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Membrane



รูปที่ 3.10 แสดงผลของการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Calcap



รูปที่ 3.11 แสดงผลของการวิเคราะห์ FT-IR ตัวอย่าง Chalk Tab

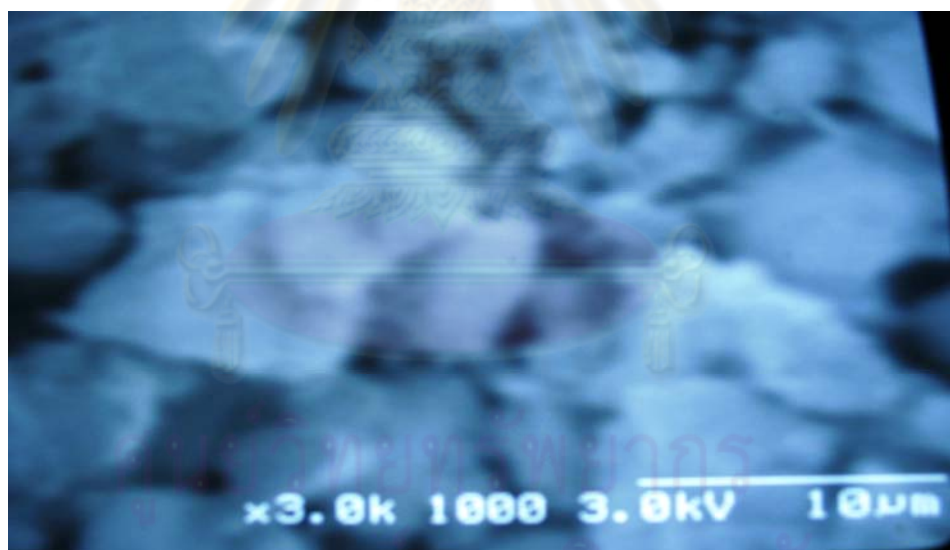
จากรูปที่ 3.8-3.11 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด คือ อาหารเสริมแคลเซียมทั้งสองชนิด เปลือกไข่ และเยื่อเปลือกไข่ พบว่าในส่วนของเปลือกไข่และอาหารเสริมทั้งสองชนิด ไม่ได้มีส่วนประกอบของหมู่ฟังก์ชันใดเลยที่ต่างกันบนพีคที่ปรากฏ จึงทำให้ทราบได้ว่าอาหารเสริมที่ขายกันอยู่ตามท้องตลาดไม่ได้ทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตเลย อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ในบทที่ 2 รูปที่ 2.4 พบว่าผลที่ได้ไปในลักษณะเดียวกัน

ขณะที่ส่วนของเยื่อเปลือกไซที่ได้จากการวิเคราะห์พบพีคที่ 201 Alkyl Group และ 4,920 Amide Type จึงเป็นไปได้ที่จะนำเยื่อเปลือกไซที่ได้มาใช้กับอุตสาหกรรมจำพวกเครื่องหนัง หรือเครื่องสำอางแทนที่จะต้องแยกทิ้งเป็นของเสียต่อไป

ขั้นตอนต่อมาจึงได้ทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างที่ผิวของเปลือกไซที่ได้หลังจากการลอยเยื่อเปลือกไซออกแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.7 ผลการวิเคราะห์และสรุปผลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

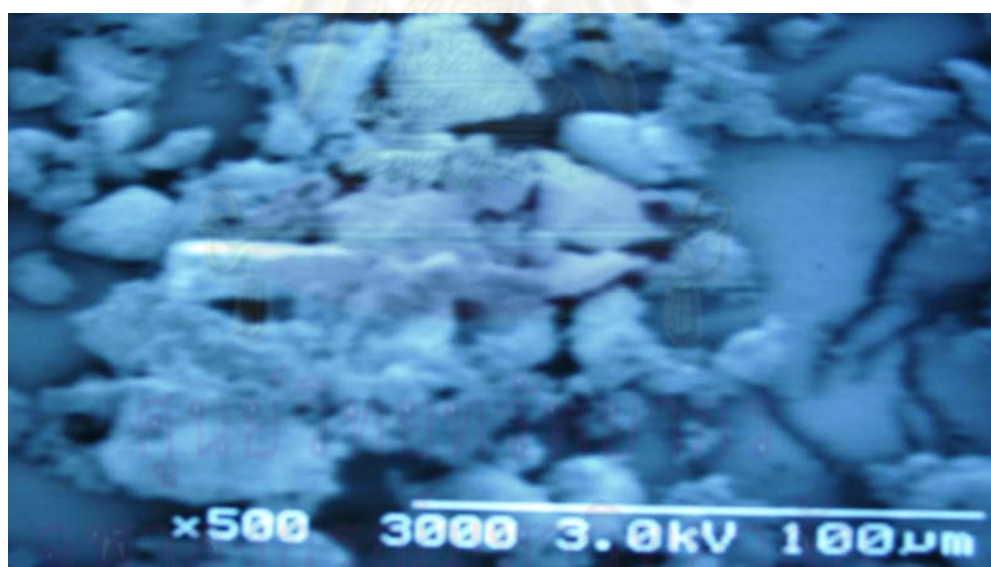
จากการทดสอบหาลักษณะโครงสร้างของผิวเปลือกไซไก่และเยื่อเปลือกไซที่แยกได้จากเครื่องลอยแร่ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งได้ทำการทดสอบในช่วงกำลังขยาย 500-3,000 ได้ผล ดังรูปที่ 3.12-3.15 ตามลำดับและตารางที่ 3.3 ได้สรุปถึงแนวทางเบื้องต้นของการนำเปลือกไซไปใช้ประโยชน์



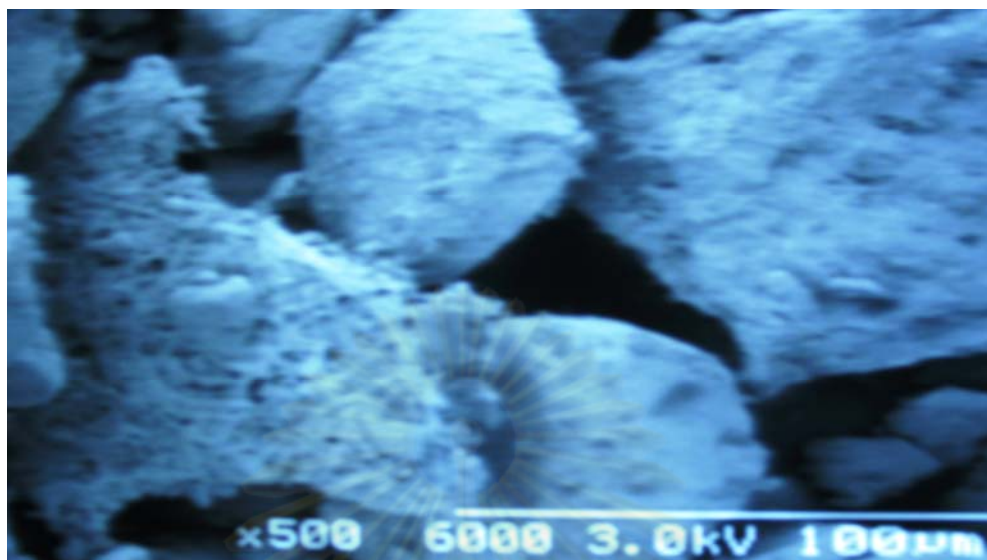
รูปที่ 3.12 แสดงภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่าย SEM ของ แคลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่าย SEM ของเปลือกไข่



รูปที่ 3.15 แสดงภาพถ่าย SEM ของเปลือกไข่ที่มีเยื่อปน

ตารางที่ 3.3 สรุปผลการตรวจสอบโครงสร้างของเปลือกไข่ด้วยกล้อง SEM

ตัวอย่าง	การตรวจสอบผลึกโครงสร้าง CaCO_3	สรุปประเด็น
รูปที่ 3.12	<p>ลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกัน</p> <ul style="list-style-type: none"> • การเรียงตัว Sheet มีรูปแบบที่ชัดเจน (ชั้นๆ) • มีรูปร่างและขนาด ใกล้เคียงกัน • ผิวแผ่น Sheet ค่อนข้างเรียบ ไม่มีรอยขรุขระ 	ใช้เป็นส่วนผสมสำหรับคอนกรีต
รูปที่ 3.13	<ul style="list-style-type: none"> • การเรียงตัว Sheet มีรูปแบบที่ชัดเจน (ชั้นๆ) • มีรูปร่างและขนาด ใกล้เคียงกัน • ผิวแผ่น Sheet ค่อนข้างเรียบ มีรอยขรุขระ 	สารตัวเติมในพลาสติก
รูปที่ 3.14	<p>ลักษณะโครงสร้างคล้ายกับมีรูพรุนที่ผิวหน้า</p> <ul style="list-style-type: none"> • เกาะตัวเป็นก้อน รูปแบบการเรียงตัวไม่ชัดเจน • มีรูปร่างและขนาดโครงสร้างหลากหลาย • บริเวณผิวหน้าไม่เรียบ มีรอยขรุขระ ลักษณะคล้ายฟองอากาศกระจายที่ผิวหน้า 	น่าจะมีคุณสมบัติที่ดีในการลอยตัวน่าจะห้วงเวลาการจมของเม็ดอาหารได้ดี เพราะมีลักษณะคล้ายฟองอากาศ
รูปที่ 3.15	<ul style="list-style-type: none"> • ลักษณะของเยื่อเปลือกไข่เป็นเส้นใยเหมือนรังนก • ผิวหน้า เหมือนกับมีฝอยๆ เกาะอยู่บนผิว 	ส่วนเยื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องหนังหรือเครื่องสำอาง

จากการสรุปประเด็นที่สำคัญของการวิเคราะห์โครงสร้างที่ผิวด้วย SEM เพื่อเป็นแนวทางในการหาใช้ประโยชน์ของเปลือกไข่ในตารางที่ 3.3 พบว่าในส่วนของ รูปที่ 3.12 และ 3.13 แสดงภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งใช้อยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมคอนกรีตและพลาสติกเป็นตัวเปรียบเทียบกับทางส่วนของเปลือกไข่ที่แยกได้ในรูปที่ 3.14 พบว่าโครงสร้างของทั้งสองชนิดแตกต่างกันตามที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.3 แต่ในส่วนของรูปที่ 3.15 แสดงภาพถ่าย SEM ที่มีเยื่อเปลือกไข่นอนอยู่เป็นการยืนยันได้ว่าการลอกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่นั้นสามารถทำได้แต่ยังอาจมีส่วนน้อยที่ปนอยู่กับเปลือกไข่ที่แยกได้

ในส่วนของแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์นั้นจากการเปรียบเทียบทางโครงสร้างจึงได้ตีการนำไปใช้ทดแทนสำหรับคอนกรีตและสารตัวเติมในพลาสติก ดังจะกล่าวในบทต่อไปและเมื่อทำการศึกษาถึงลักษณะที่ผิวอย่างละเอียดพบว่ามีความเป็นไปได้เช่นกันที่จะนำไปทดลองใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำ เพื่อแก้ปัญหาการจมตัวที่เร็วไปของอาหารสัตว์น้ำแบบเดิม

ต่อมาหลังจากได้ทำการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ด้วยเครื่องลายน้เป็นผลสำเร็จแล้วนั้น จะทำการนำเยื่อเปลือกไข่ไปตากแดดเพื่อให้แห้ง ส่วนเปลือกไข่ที่เหลือจะเข้าสู่กระบวนการบดเพื่อลดขนาดต่อไป สำหรับในส่วนของการขั้นตอนการทดลองและหลักการของเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้จะได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยการบดสินแร่

เปลือกไซท์ที่ผ่านการแยกเยื่อออกมาแล้วมาทำการบดต่อ เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบอาหารเสริมและอาหารสัตว์

4.1 หลักการที่เกี่ยวกับการบดสินแร่ (Ore Grinding) (B.A.Wills, 1997)

การบดสินแร่(Ore Grinding) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการลดขนาดสินแร่สามารถทำได้ทั้งในสภาพแห้งและสภาพเปียก การบดสินแร่มักทำในเครื่องบดแบบถังหมุน (Tumbling Mills) ซึ่งเป็นรูปถังทรงกระบอกบรรจุลูกบด (Grinding Media) อยู่ภายในโดยมีปริมาตรพอที่ทำให้ลูกบดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และเกิดการบดสินแร่ได้ ลูกบดอาจเป็นแท่งเหล็กกล้ากลม (Steel Rod) หรือลูกเหล็กกล้ากลม (Steel Ball) หรือหินแข็ง (Hard Rock) หรือในบางครั้งอาจใช้ตัวแร่เองเป็นลูกบด

การบดนั้นเกิดจากแรงหลายชนิดที่กระทำต่อสินแร่ เช่น แรงกระแทกหรือแรงกด (Impact or Compression) แรงเฉือน (Chipping) และแรงขัดสี (Abrasion) ซึ่งทั้ง 3 แรงแสดงไว้ตามรูปที่ 3.8



ก. แรงกระแทกหรือแรงกด

ข. แรงเฉือน

ค. แรงขัดสี

ที่มา: B.A.Wills, Mineral Processing Technology, 1997

รูปที่ 4.1 แสดงแรงชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการบด

การบดสินแร่จะเกิด พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ที่เกิดจากการหมุนจะสูญเสียในรูปแบบของ พลังงานความร้อน พลังงานเสียง และพลังงานชนิดอื่นๆ มีส่วนน้อยเท่านั้นที่ทำให้สินแร่เกิดการแตกหัก จึงเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานมาก ในส่วนของข้อดีและข้อเสียในการเลือกวิธีการบดแบบเปียก และแบบแห้ง จะพิจารณาองค์ประกอบหลายๆอย่าง ในงานแต่งแร่มักนิยมการบดเปียก เพราะหลัง

การบดแล้วจะต้องมีขั้นตอนการใช้น้ำเข้าช่วย เช่น การลอยแร่ แต่บางแห่งหาบน้ำได้ยาก จำเป็นต้องใช้การบดแบบแห้ง หรือในขบวนการแร่หากเป็นแบบแห้ง เช่นในการผลิตปูนซีเมนต์ก็ใช้การบดแบบแห้ง

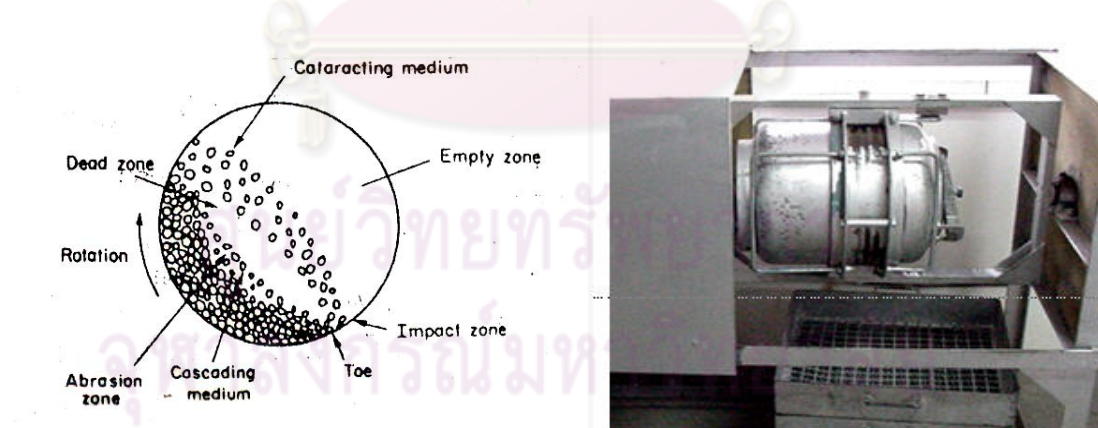
- 1) การบดเปียกใช้กำลังงานน้อยกว่าการบดแห้ง
- 2) การบดเปียกไม่มีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง ส่วนการบดแห้งต้องมีเครื่องเก็บฝุ่นด้วย
- 3) การบดแห้งใช้ลูกบด และวัสดุกันสึกหรอมากกว่าการบดเปียก

4.2 ประเภทของเครื่องบดสินแร่

จากรูปที่ 2.8 แผนการทำวิจัยครั้งนี้พบว่าในส่วนของเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball Mills) และเครื่องบดแบบแท่งหมุน (Pin Mills) ไม่ได้ทำการทดลองเองจึงขอกล่าวเพียงแค่หลักการ แต่ในส่วนที่ได้ทำการทดลองของเครื่องบดแอทริชันมิลล์ (Attrition Mills) นั้นจะแสดงในหัวข้อถัดไป

ก) เครื่องบดบอลมิลล์ (Ball Mill) (B.A.Wills, 1997)

เครื่องบดบอลมิลล์ (Ball Mill) ดังรูปที่ 4.2 จะใช้ลูกบดที่มีขนาดใหญ่และหนักกว่าสินแร่ อย่างไรก็ตามลูกบดมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของหม้อบด เครื่องบดมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหมุนด้วยความเร็วคงที่ การบดเกิดจากลูกบดถูกหมุนและเหวี่ยงมากระทบกับสินแร่ และเกิดจากแรงกระทบด้วยตัวของสินแร่เอง รวมทั้งการขัดสีของผิวสินแร่กับลูกบดดังรูปที่ 4.2



ที่มา: B.A.Wills, 1997

รูปที่ 4.2 แสดงการเคลื่อนไหวของลูกบดและเครื่องบดบอลมิลล์

ข) เครื่องบดแบบแท่งหมุน (Pin Mill)

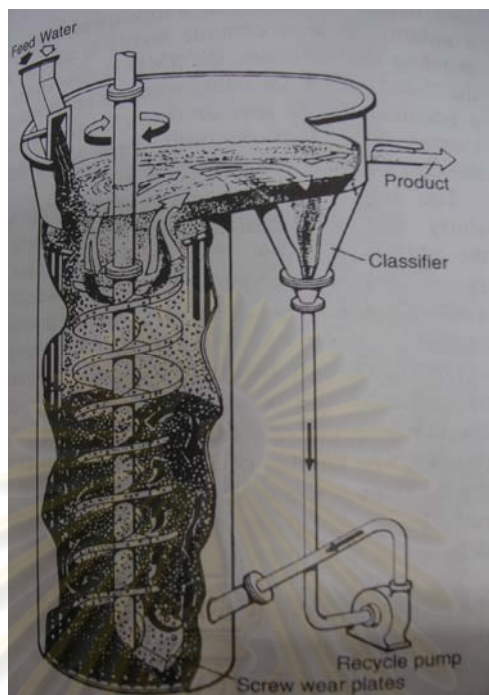


รูปที่ 4.3 เครื่องบดแบบแท่งหมุน (Pin Mill)

ตามรูปที่ 4.3 เป็นเครื่องบดที่มีอยู่เดิมของทางบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด ที่หนองปรือพบว่ามึลักษณะการทำงานคล้ายเครื่องบดแบบแอทริชันมิลล์ คือมีแท่งของตัวมันเองเป็นตัวบดตัวอย่างแต่เนื่องจากไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานานจึงต้องมีการปรับปรุงก่อน

ค) เครื่องบดทาวเวอร์มิลล์ (Tower Mill) (B.A.Wills, 1997)

เครื่องบดทาวเวอร์มิลล์ (Tower Mill) ดังรูปที่ 4.4 เป็นเครื่องบดที่บดให้ความละเอียดมาก แต่ข้อแตกต่างกันของเครื่องบดแบบนี้กับเครื่องบดแบบถ่วงหมุน (Tumbling Mill) คือ การเคลื่อนที่ของถ่วงหมุนปกติจะมีตรงกลางอยู่กับที่และหม้อบดเกิดการหมุนเหวี่ยง ในส่วนของทาวเวอร์มิลล์ (Tower Mill) การหมุนเหวี่ยงจะเกิดที่ด้านในหรือบริเวณตรงกลาง ขณะที่หม้อบดจะเป็นส่วนที่อยู่กับที่แหนดังรูปที่ 4.4 เครื่องบดแบบนี้ผลิตโดยบริษัทคูโบต้า ประเทศญี่ปุ่น เรียก Vertimill (B.A.Wills, Mineral Processing Technology, 1997) หลักการทำงานคือ จะมีลูกบดอยู่ในหม้อบดที่ตรงกลางมีสกรูอยู่ตรงกลางเป็นตัวหมุนให้เกิดการหมุนเหวี่ยง โดยแร่ป้อนเข้าทางด้านบนพร้อมกับน้ำจากนั้นแร่ที่บดจนได้ขนาดแล้วจะลอยขึ้นสู่ด้านบนและล้นออกส่วนแร่ที่ยังไม่ได้ขนาดก็จะกลับเข้าสู่หม้อบดอีกครั้ง ข้อดีของเครื่องบดแบบทาวเวอร์มิลล์คือ เหมาะสำหรับบดวัสดุพวกหินปูน ถ่านหิน หรือแร่ที่มีความแข็งต่ำ อีกทั้งยังมีเสียงเบา พื้นที่ติดตั้งน้อย ขนาดที่ได้อยู่ที่ 1-100 ไมครอนที่ปริมาตร 100ตัน/ชม. ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ จึงทดลองโดยใช้เครื่องแอทริชันมิลล์



ที่มา: B.A.Wills, 1997



ที่มา: <http://www.interquip.com.au/projects.html>

รูปที่ 4.4 แสดงการเคลื่อนที่และการติดตั้งของเครื่องบดทาวเวอร์มิลล์ (Tower Mill)

ง) เครื่องบดแอททริชันมิลล์ระดับห้องปฏิบัติการ (Attrition Mill) (B.A.Wills, 1997)

เครื่องบดแอททริชันมิลล์ (Attrition Mill) เป็นการบดที่ตัวอย่างที่ต้องการบดจะถูกผสมเป็นของเหลว พร้อมลูกบดเซรามิก ส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ แท่งหมุนซึ่งจะมีมากหรือน้อย ขึ้นกับขนาดของถังและความละเอียดที่ต้องการดังรูปที่ 4.5 พบว่าแท่งหมุนดังกล่าวติดตั้งอยู่บริเวณแกนหมุนของเครื่อง เมื่อหมุนจะส่งผลให้สารผสมเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางแนวแกนที่ตรงข้ามกัน ซึ่งการเคลื่อนที่ในลักษณะดังกล่าวเป็นตัวแปรหลักในการเกิดแรงต่างที่ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลงจากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าหลักการทำงานของเครื่องบดชนิดนี้จะมีส่วนที่คล้ายกับพวกเครื่องบดทาวเวอร์มิลล์ (Tower Mill) ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว



รูปที่ 4.5 เครื่องบดแอททริชันมิลล์ (Attrition Mill)

4.3 ขั้นตอนการทดลองเครื่องบดแอททริชันมิลล์ (Attrition Mill)

เมื่อนำเปลือกไข่ที่ผ่านการแยกเยื่อออกมาแล้วมาทำการบดต่อด้วยเครื่องบดแอททริชันมิลล์ระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบอาหารเสริมและอาหารสัตว์ โดยทำการค่าตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ซึ่งจะแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 พร้อมผลของการบดที่วิเคราะห์จากเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดที่ค่า d_{50} โดยกำหนดให้ค่าน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1,000 กรัม ซึ่งหลักการของเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดได้แสดงเอาไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองด้วยเครื่องบดแอทริชันมิลล์ (Attrition Mill)

การทดลอง	นน.ลูกบด (กรัม)	ความเร็ว (rpm)	เวลา (ชม.)	% Solids	ขนาดวิเคราะห์ ที่ d50 (ไมครอน)
ESP-1	500	600	5	80	5.57
ESP-2	500	600	4	80	6.93
ESP-3	500	600	3	80	7.69
ESP-4	500	500	5	80	6.76
ESP-5	500	500	4	80	8.05
ESP-6	500	500	3	80	9.28
ESP-7	400	600	5	80	8.75
ESP-8	400	600	4	80	8.93
ESP-9	400	600	3	80	11.89
ESP-10	400	500	5	80	12.78
ESP-11	400	500	4	80	14.05
ESP-12	400	500	3	80	16.89
ESP-13	300	600	5	80	9.39
ESP-14	300	600	4	80	11.76
ESP-15	300	600	3	80	18.48
ESP-16	300	500	5	80	13.19
ESP-17	300	500	4	80	16.28
ESP-18	300	500	3	80	21.49
ESP-19	500	600	5	100	(ค้ำตะแกรง#210) 62%
ESP-20	400	600	5	100	(ค้ำตะแกรง#210) 43%
ESP-21	500	600	5	90	19.73
ESP-22	400	600	5	90	21.04
ESP-23	500	600	5	70	16.65
ESP-24	400	600	5	70	18.26

4.4 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองการกระจายขนาดหลังบด

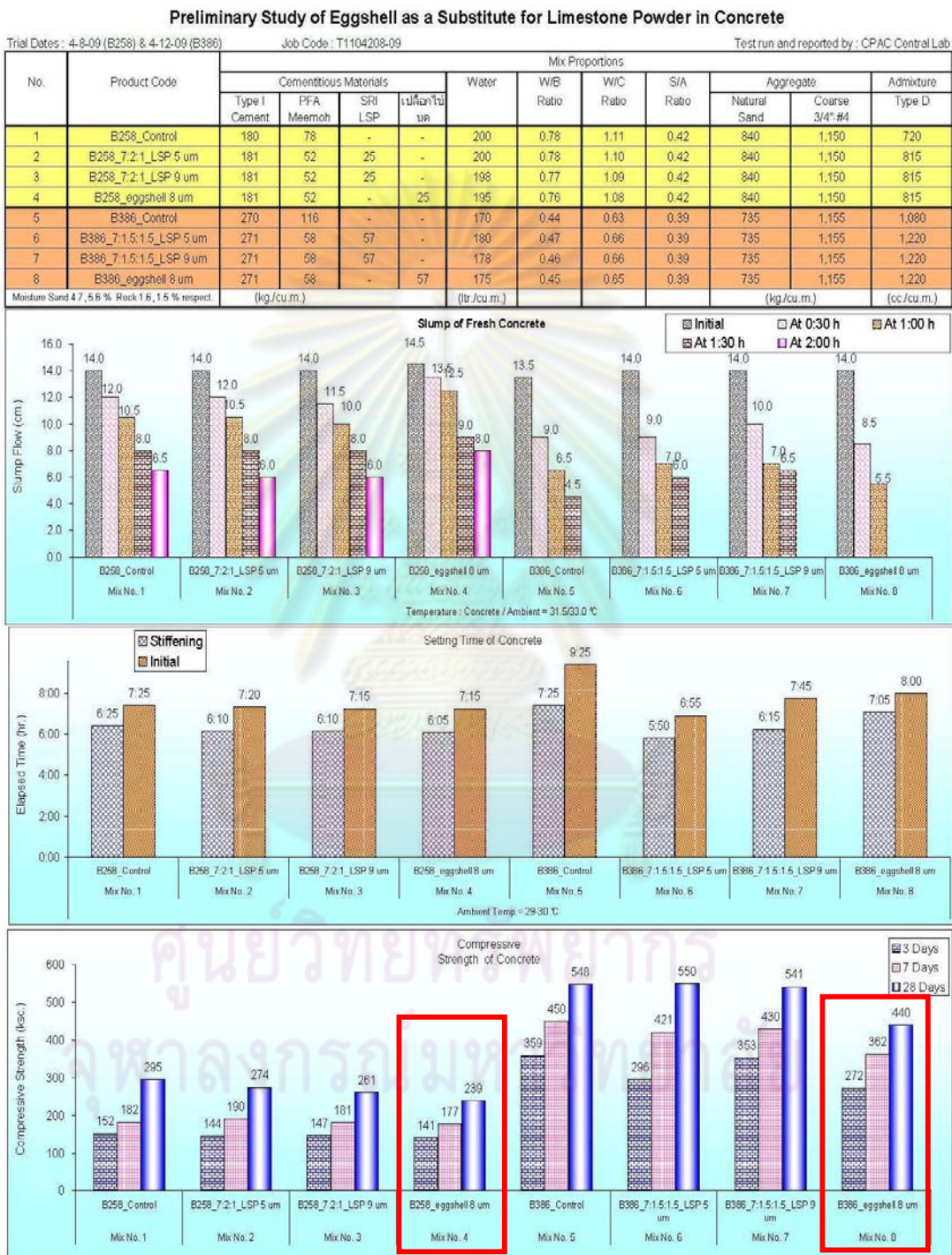
ผลการทดลองหาค่าการกระจายขนาดด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค จากเครื่องบดแอททริชัน มิลล์ สามารถบดได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงรายละเอียดผลของการวัดในภาคผนวก ค แสดงผลที่ได้สำหรับกราฟจากเครื่องวัดขนาดการกระจายตัว โดยขนาดที่ใช้ในการวัดคือ ที่ค่า d50 หน่วยเป็นไมครอนและจากที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนแรกว่าขนาดที่เหมาะสมที่ต้องการได้จากการบดคือช่วง 5-7 ไมครอนเพื่อจะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้ ที่ผลการทดลอง ESP-1 ถึง ESP-5 พบว่าขนาดที่ได้อยู่ในช่วงที่ต้องการ(5-8ไมครอน) ส่วนที่ค่า การทดลองอื่น ๆ ขนาดที่บดได้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการเนื่องจาก ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการบดมี ผลต่อขนาดที่บดได้ของเครื่องคือที่ปริมาณตัวอย่างที่ใส่น้อยหรือมากเกินไปจะส่งผลให้ขนาดที่ได้จาก การบดใหญ่กว่าที่ควรจะเป็น ความเร็วที่ใช้ในการบดส่งผลต่อขนาดบดที่ได้เพราะหากปรับความเร็วที่ ต่ำเกินไปจะทำให้ผลบดที่ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ขณะเดียวกันหากความเร็วมากเกินไปก็จะเป็นการใช้ พลังงานที่เกินความจำเป็น ส่วนปริมาณลูกบดที่ใส่มีส่วนสำคัญอย่างมาก แต่ด้วยวิธีนี้เป็นการบดแบบ เปียกดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้จะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อขนาดของตัวอย่างที่บดได้เช่นกัน กล่าวคือหาก ปริมาณน้ำที่ใช้น้อยเกินไปก็จะส่งผลให้ขนาดที่บดได้มีขนาดที่ใหญ่เกินไป แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้ เสียพลังงานโดยสิ้นเปลืองและเวลาที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน ฉะนั้นในกรณีนี้ค่าการทดลองที่เหมาะสม ที่สุดคือ ปริมาณตัวอย่างที่บดอยู่ที่ 1,000 กรัม ความเร็วรอบอยู่ที่ 600 รอบต่อนาที เวลา 5 ชม. ปริมาณลูกบดคือ 500 กรัม 80% Solids พบว่าขนาดที่ได้จากการบดอยู่ที่ 5.57ไมครอน

เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการบดด้วยเครื่องบดแอททริชัน มิลล์ แล้วผงเปลือกไข่ที่ได้จะมีลักษณะ สองส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นของเหลวข้นหนืดและคอลลอยด์ที่เกิดจากการใช้น้ำช่วยในการเอามง เปลือกไข่ออกจากหม้อบด ดังนั้นขั้นตอนต่อมาให้นำไปใช้คือการทำให้แห้ง โดยปกติทั่วไปจะอบด้วย เตาอบแต่ทว่าในส่วนของผงเปลือกไข่ต้องการความสะอาดมากเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารจึง เป็นที่มาของการใช้เครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟในบทที่ 5 ต่อไป

4.5 การประยุกต์ใช้

จากผงเปลือกไข่ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแอททริชัน มิลล์ และข้อเสนอแนะที่ได้กล่าวไป แล้วในผลการทดลองตารางที่ 3.3 จึงเป็นที่มาของการทดลองใช้ในส่วนผสมคอนกรีตและพลาสติก

4.5.1 การทดลองใช้ผงเปลือกไข่แคลเซียมคาร์บอเนตในคอนกรีต



รูปที่ 4.6 แสดงผลของการผสมเปลือกไข่ในคอนกรีต

การทดลองนี้ทำโดยเปลือกไข่ที่ผสมในคอนกรีตผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.6 ส่วนผลการทดลองที่ได้สรุปได้ว่า แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ที่ใส่ลงไปไม่ได้ให้ผลอย่างที่ควรจะเป็นทางทฤษฎี กล่าวคือเมื่อใส่ผงเปลือกไข่ลงในคอนกรีตเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนพบว่ามีความแข็งแรงต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนอยู่มาก ดังรูปที่ 4.6 ตาราง Compressive Strength of Concrete ทั้งนี้เมื่อตรวจสอบสาเหตุจึงพบว่า เป็นเพราะโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งสองชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกันอยู่มากเมื่อดูด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7 รูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15 โดยพบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกที่ไม่แน่นอนทำให้เมื่อผสมในคอนกรีตจึงให้ผลที่ได้ไม่เป็นตามที่ต้องการ

4.5.2 การทดลองใช้ผงเปลือกไข่เป็นสารเติมแต่งในพลาสติกพีวีซี

ส่วนการทดลองที่ใช้เปลือกไข่เป็นสารตัวเติมทดแทนแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนในพลาสติกประเภทพีวีซีสามารถดูผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 ซึ่งเปรียบเทียบการขึ้นรูประหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับเปลือกไข่บดตั้งจะทำการทดลอง 2 ครั้งโดยในการทดลองทั้ง 2 ครั้งจะใช้เปลือกไข่ที่ยังไม่ได้แยกเอาเยื่อออกมาทำการบดให้ละเอียด โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

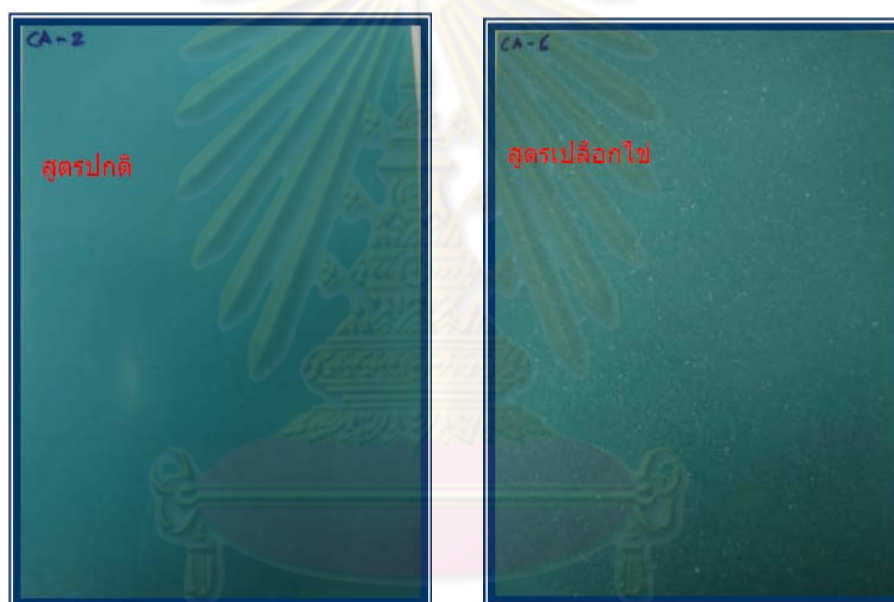
ก) เปลือกไข่ผสมพลาสติกที่ไม่ผ่านการคัดขนาด

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบพีวีซีที่ใช้เปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการบดเป็นสารเติมแต่ง

	Calcium Carbonate	Eggshell
Average Particle Size(Micron)	2.5-3.5	1-300
Tensile Strength(MPa)	32	33
%Elongation	79	8

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองใช้ผงเปลือกไข่เป็นสารเติมแต่งในพลาสติกพีวีซีที่ใช้เปลือกไข่ที่ผ่านการบดเป็นสารเติมแต่ง พบว่าขนาดอนุภาคของเปลือกไข่บดที่ละเอียดแล้วแต่ยังไม่มี การคัดขนาด จะทำให้มีขนาดของอนุภาคขนาดเล็กใหญ่ปนอยู่ด้วยกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการคัดขนาดอนุภาคเพื่อให้มีการกระจายตัวที่แคบและต้องทำการเคลือบผิวด้วยแวคเพื่อป้องกันการดูด

ความชื้นก่อนใช้งานเพื่อช่วยเพิ่มการกระจายตัวในโพลีเมอร์ได้ดีขึ้น เมื่อนำเปลือกไข่ดังกล่าวไปใช้งานแล้ว พบว่า ค่า % Elongation ลดลงจาก 79 เป็น 8 แต่ยังคงให้ค่า Tensile Strength ใกล้เคียงกับของโพลีเมอร์ ทั้งนี้เนื่องจากผงเปลือกไข่ที่มีอนุภาคใหญ่ไปแทรกอยู่ในเนื้อทำหน้าที่คล้ายตัวปนเปื้อนทำให้เกิด Defect ขึ้นที่บริเวณนั้นและเมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้ค่า % Elongation ที่น้อย อีกทั้งขนาดอนุภาคของเปลือกไข่บดที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้ ค่าแรงบิดในระหว่างการหลอมตัวของพีวีซี มีค่าสูงขึ้นซึ่งอาจส่งผลต่อเครื่องขึ้นรูปพลาสติกโดยตรงและเมื่อนำไปรีดขึ้นรูปชิ้นงาน ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของอนุภาคเปลือกไข่ขนาดใหญ่ที่กระจายอยู่อย่างชัดเจนทั่วทั้งชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.7 จึงทำการทดลองอีกครั้งแต่ทำการคัดขนาดก่อนขึ้นรูปชิ้นงาน ดังจะได้กล่าวต่อไป



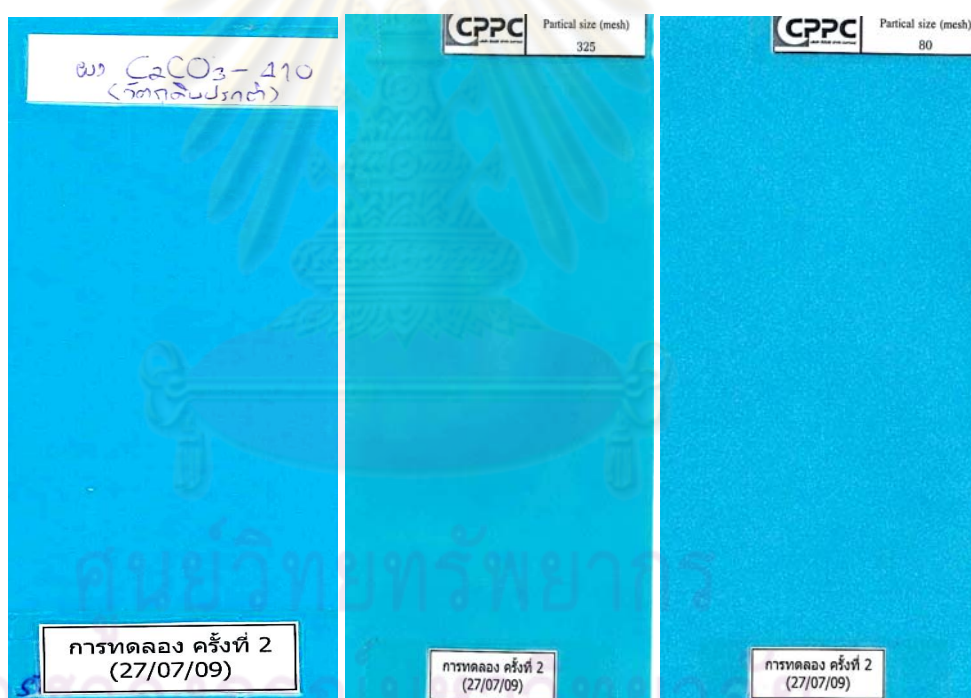
รูปที่ 4.7 การขึ้นรูปของพีวีซีผสมเปลือกไข่กับที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตปกติครั้งแรก

ข) เปลือกไข่ผสมพลาสติกที่ผ่านการคัดขนาด

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติเปลือกไข่บดขนาดต่างๆ ในสารเติมแต่ง

	CaCO ₃ 410 Mesh	Egg shell	Eggshell 80 Mesh	Egg shell 325 Mesh	Egg shell 400 Mesh	Egg shell 600 Mesh
Tensile Strength(MPa)	37	35	50	46	43	44
%Elongation	90	7.5	6	7	7	8

ผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงค่า Tensile Strength มีค่าที่ต่างกันมากแต่ไม่สามารถสรุปผลการทดลองได้ อาจเป็นเนื่องจากชิ้นงานในการทดสอบ อาจไม่สมบูรณ์ หรือการกระจายตัวของ Filler ยังไม่ดี % Elongation ต่ำอยู่จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของเปลือกไข่มีขนาดที่เล็กลง คุณสมบัติการยึดตัวของ PVC จะเพิ่มขึ้นค่า Tensile Strength และ % Elongation ของ อนุภาคขนาดใหญ่จะให้ค่าแรงดึงที่มากกว่า เมื่อเทียบค่า %Elongation ของสารเติมแต่งที่ขนาดต่างกัน ซึ่งตามหลักแล้วสารเติมแต่งที่ขนาดอนุภาคเล็กควรจะให้ค่า % Elongation ที่ดีกว่า เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กสามารถแทรกตัวและกระจายตัวได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ แต่เมื่อดูที่ผิวชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าผงเปลือกไข่ที่อนุภาคเล็กจะมีผงเปลือกไข่ที่มีส่วนของเยื่อเปลือกไข่และผงเปลือกไข่ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ปนอยู่ด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะขั้นตอนของการคัดขนาดที่ไม่ดีพอจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองไม่เป็นไปตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.8 การขึ้นรูปของพีวีซีผสมเปลือกไข่ กับที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตปกติ

ค) สรุปผลการทดลองในพลาสติก

จากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง ตามข้อ ก) และ ข) การใช้เปลือกไข่แทนแคลเซียมคาร์บอเนตในพลาสติก พบว่าปัญหาที่สำคัญคือ การแยกขนาดอนุภาคผงเปลือกไข่ที่ใช้ในการทดลองจะมีขนาด

อนุภาคที่ยอมรับได้อยู่ที่ ประมาณ 325 Mesh (ต้องมีการกระจายตัวของอนุภาคที่แคบด้วย) เพราะผงเปลือกไข่ขนาดใหญ่กว่า 325 Mesh ไม่สามารถใช้ในการพลาสติกที่ขึ้นงานบางอย่างได้เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น การกระจายตัว การเกาะตัวกับเนื้อพลาสติกของเยื่อเปลือกไข่และเปลือกไข่ ยังไม่ดีพอ แต่ในกรณีที่บดเปลือกไข่ให้มีขนาดเล็กกว่า 325 Mesh งานพลาสติกที่เหมาะสมควรจะเป็นงานฉีดขึ้นรูป โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ควรมีความหนาอย่างน้อย 1 mm. รวมถึงในบางครั้งหากในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่ไม่สะอาดเพียงพอ ผงเปลือกไข่นำมาทดลองในครั้งนี้ จะมีกลิ่นซึ่งอาจจะ เป็นปัญหาเมื่อนำไปใช้จริง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

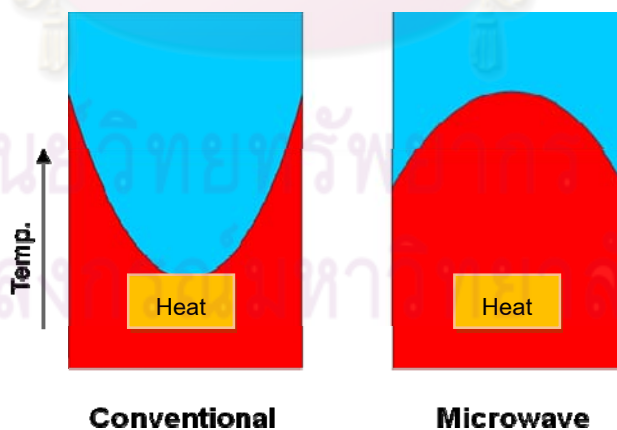
บทที่ 5

วิธีดำเนินการวิจัยการอบสินแร่

เมื่อทำการอบด้วยเครื่องอบแอทริซันมิลล์แล้วจะอยู่ในสภาพที่มีความชื้นอยู่มาก เนื่องจากการอบด้วยเครื่องอบแบบนี้เป็นการอบแบบเปียกทำให้ขั้นตอนต่อมาที่สำคัญคือการทำแห้ง ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงมีความสำคัญมากเพราะเป็นอีกขั้นตอนที่ใช้พลังงานและเวลามากจึงเป็นที่มาของการหาเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกว่าการใช้เตาอบทั่วไปและวัตถุประสงค์ของการเตรียมเปลือกไข่เพื่อเป็นอาหารเสริมหรืออาหารสัตว์ จึงต้องการความสะดวกที่เกิดจากการอบแห้ง ทั้งนี้เครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟที่นำมาใช้เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารอยู่แล้ว

5.1 หลักการเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ (Microwave Heating)

หลักการทำงานของคลื่นรังสีไมโครเวฟคล้ายกับเตาอบไมโครเวฟตามท้องตลาดแต่จะมีขนาดใหญ่กว่าและใช้พลังงานสูงกว่า โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำให้เกิดความร้อนที่หลอดแมกนีตรอนซึ่งปริมาณหลอดที่ใช้จะมากขึ้นกับความยาวของเครื่องอบรวมถึงค่าความร้อนที่ต้องการใช้ออบ โดยหลอดแมกนีตรอนนี้จัดวางอยู่ในรูปเครื่องหมายวงซึ่งมีสายพานผ่านตรงกลางของเครื่องที่มีลักษณะคล้ายถังน้ำตั้งรูป สำหรับการทำงานของเครื่องจะต่างจากตู้อบทั่วไปตรงที่การให้อุณหภูมิความร้อนแก่ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการให้ความร้อนต่อวัตถุ

จากรูปที่ 5.1 แบบ Conventional ที่พบเป็นลักษณะของตู้อบทั่วไปที่ใช้กัน การให้ความร้อนจากผิวด้านนอกเข้าสู่จุดศูนย์กลางซึ่งพบค่าความร้อนที่ได้ไม่สม่ำเสมอและที่ศูนย์กลางมีความร้อนต่ำกว่าที่ผิวอยู่มาก ในขณะที่แบบ Microwave นั้น จะให้ความร้อนเริ่มต้นจากจุดศูนย์กลางตัวอย่างแล้วจึงแพร่ออกมาที่ผิวทำให้อุณหภูมิสูงที่สุดจะอยู่ตรงกลาง จากการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เครื่องมือนี้มีสิ่งปนเปื้อนที่ต่ำมาก ทั้งยังสามารถควบคุมความร้อนที่ให้แก่ตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ จากหลักการทำงานและลักษณะการให้ความร้อนเฉพาะตัวนี้เองทำให้เครื่องอบแห้งแบบนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นทางอุตสาหกรรม

ด้วยเหตุผลนี้จึงเหมาะที่จะนำเครื่องอบแห้งแบบรังสีไมโครเวฟมาทดลองใช้ในการอบเปลือกไข่ที่ได้จากการบดเปลือก จึงนำที่จะเหมาะสมกับเครื่องอบแบบนี้มากกว่าการทำให้เยื่อเปลือกไข่ที่แยกได้แห้งนั้นต้องทำภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิคือ ประมาณ 39 องศาเซลเซียส เนื่องจากหากใช้ความร้อนที่มากเกินไปจะไปทำให้องค์ประกอบที่จะใช้สกัดทำคอลลาเจนเปลี่ยนไปได้ เพราะราคาของคอลลาเจนที่ได้จากการผลิตในส่วนของเยื่อเปลือกไข่นั้นมีราคาที่สูงมาก จึงใช้ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิหรือตากแดดก็เพียงพอแล้ว อีกทั้งยังจะประหยัดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย



รูปที่ 5.2 แสดงภาพรวมของเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ

5.2 ขั้นตอนการทดลองเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ (Microwave Heating)

ขั้นตอนของการทดลองใช้เครื่องได้ทำการทดลองที่ บริษัท ดิทีแฮล์ม จำกัด ร่วมกับตัวอย่างอื่นของทางบริษัท เครื่องเจริญโกคภัณฑ์ จำกัด โดยการเตรียมตัวอย่างเพื่อเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ ควรอยู่ในรูปที่มีของเหลวปนอยู่น้อยที่สุดหรือในรูปของตัวอย่างเปียกโดยจะสามารถหาความชื้นที่มีก่อนและหลังการทดลองได้ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นกับจำนวนหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ด้วย ในกรณีนี้ได้เตรียมตัวอย่าง สามส่วนคือ ส่วนของเหลวสารละลาย ส่วนที่ขึ้น และส่วนที่เป็นเยื่อเปลือกไข่ จำนวนหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ 6 และ 12 หลอด ระยะเวลาที่ใช้ 85 และ 40 นาทีตามลำดับ ข้อมูลทางเทคนิค มอเตอร์พัดลม 12 ตัว ๗ ละ 410 watt, หลอดไมโครเวฟ 12 หลอด ๗ ละ 800 วัตต์, ช่องใส่ชิ้นงาน 120 มม. สูง 300 มม. กว้าง 7.0 เมตร อุณหภูมิสูงสุด 230 องศาเซลเซียส น้ำหนักมากที่สุด 150 กก.

5.3 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ

จากตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองการอบตัวอย่างด้วยเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ ผลของการใช้เครื่องชนิดนี้พบว่าให้ผลที่ดีมากกว่าคือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกไข่จากเดิมที่ใช้ 8-10 ชม. ในการอบแห้งเหลือเพียง 30-40 นาทีและทำการอบด้วยซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ด้วยข้อจำกัดของสายพานที่ใช้มีความยาวจำกัดจึงต้องทำซ้ำ 3 ครั้งรวมระยะเวลาตามที่แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งจากผลดังกล่าวที่ได้เท่ากับว่าสามารถประหยัดได้ทั้งเวลาที่ใช้ในการอบและปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ ในส่วนของตัวอย่างเยื่อเปลือกไข่ที่ผ่านการอบแห้งทั้งในส่วนของการอบด้วย Oven และ Microwave Heating นั้นอาจไม่ใช่แนวทางที่เหมาะสมในการนำเยื่อเปลือกไข่ไปสกัดเป็น Collagen เนื่องจากข้อจำกัดของอุณหภูมิในการอบแห้งที่ไม่เกิน 39 °C ซึ่งจะทำให้ Collagen ที่ต้องการสกัดเสื่อมสภาพและมูลค่าที่จะได้ในส่วนของเยื่อเปลือกไข่จะหมดไป

ตารางที่ 5.1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการอบแห้ง

ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก ก่อนอบ(g)	น้ำหนักหลัง อบ (g)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°c)	ความชื้น คงเหลือ(%)
Eggshell (Slurry)	1470	968	25	57	0.55
Eggshell (Colloid)	988	248	40	58	0.71
Eggshell Membrane	256	77	85	39	0.78

หมายเหตุ เช็คด้วย เครื่อง Moisture Analyzer 5 กรัม ตัวอย่างทั้งสามชนิดแช่รวมกับน้ำ

จากรูป 5.3, 5.4 และ 5.5 เป็นการแสดงถึงลำดับการอบแห้งของเครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟ ที่เวลาต่างๆ ตามลำดับ โดยจะมีระยะเวลาที่ใช้ในการอบต่างกันขึ้นกับชนิดของตัวอย่างที่บ้อนดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.3 แสดงการอบแห้งด้วยเครื่อง Microwave Heating รอบแรก



รูปที่ 5.4 แสดงการอบแห้งด้วยเครื่อง Microwave Heating รอบสอง



รูปที่ 5.5 แสดงการอบแห้งด้วยเครื่อง Microwave Heating รอบสาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

สำหรับผลการทดลองข้างต้นที่ได้กล่าวมาทั้งหมดทำให้สามารถออกแบบกระบวนการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่ได้ดังรูปที่ 6.1 เบื้องต้นสำหรับส่วนของการแยกเยื่อออกจากเปลือกไข่นั้นทำได้โดยใช้เครื่องลอยแร่ ซึ่งทำการปรับค่าความเร็วที่ใช้ในการลอย น้ำหนักของเปลือกไข่ที่ใช้ให้เหมาะสมรวมถึงออกแบบจำนวนของเซลล์ที่จะใช้ด้วย ส่วนถัดมาขั้นตอนของการบดเปลือกไข่ที่แยกได้นั้น จะเลือกใช้เครื่องบดแบบทาวเวอร์มิลล์เพราะเป็นเครื่องบดที่มีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องบดแอทริซันมิลล์ ที่ใช้ในการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองยังช่วยยืนยันถึงความเหมาะสมที่สุดในการบดเปลือกไข่ เนื่องจากเครื่องบดชนิดนี้มักนิยมมาใช้บดวัตถุที่มีความแข็งต่ำจำพวกถ่านหินหรือหินปูนฉะนั้นจึงน่าจะเหมาะสมที่จะใช้บดเปลือกไข่ด้วย เพราะในส่วนเปลือกไข่มีความแข็งที่ต่ำมากด้วยเช่นกัน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งโดยสามารถใช้เครื่องอบแห้งชนิดรังสีไมโครเวฟทำการอบเปลือกไข่ได้จากการทดแทนเครื่องอบทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ลดการใช้เวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าลงได้มาก ซึ่งเหมาะสำหรับกรณีที่มีตัวอย่างในปริมาณมาก สำหรับเยื่อเปลือกไข่ที่แยกได้มีข้อกำหนดของอุณหภูมิในการอบแห้งที่ห้ามเกิน 39 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ Collagen เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายจึงใช้เพียงการตากแห้งด้วยธรรมชาติก็เพียงพอ

สำหรับการใช้ประโยชน์นั้นจะกล่าวด้วยกัน 2 ประเภทคือ เปลือกไข่ ใช้เป็นอาหารเสริมแคลเซียม ทั้งนี้ในขั้นตอนของการบดควรใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงในการบด เพื่อเป็นการกำจัดเชื้อโรคและแบคทีเรียที่อาจปนเปื้อนมากับเปลือกไข่ หรือจากโครงสร้างของเปลือกไข่ที่มีลักษณะเหมือนมีรูพรุนอยู่ภายใน ทำให้เปลือกไข่น่าจะมีคุณสมบัติการลอยตัวที่ดีกว่า CaCO_3 จากเหมืองหินปูน ทั้งนี้ถ้าทดลองใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตอาหารกึ่งน่าจะช่วยย่นระยะเวลาการจมน้ำของเม็ดอาหารได้ และลดการสูญเสียของอาหารที่จมน้ำไปเร็วเกินไป ส่วนสุดท้ายคือเยื่อเปลือกไข่ที่สามารถนำไปสกัด Collagen จากเยื่อเปลือกไข่หรือการใช้เยื่อเปลือกไข่ในรูปแบบ Natural Eggshell Membrane (NEM) แทนการสกัด Collagen ซึ่งมีความเป็นไปได้ในทางธุรกิจ และปัจจุบันก็มีตลาดรองรับ ตัวอย่างข้อมูลผลิตภัณฑ์เยื่อเปลือกไข่ที่มีจำหน่ายในต่างประเทศได้แก่ NEM Natural Eggshell Membrane ขายอยู่ที่ 30 เม็ดราคา \$34.94 ซึ่งใช้เป็นผลิตภัณฑ์เยื่อเปลือกไข่ที่ช่วยในการรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับข้อเข่าหรือส่งเข้าสู่อุตสาหกรรมเครื่องหนังเพื่อทำเป็นหนังเทียมต่อไป



6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องมือลอยแร่ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไปจึงมีความต้องการให้กระบวนการผลิตแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่เป็นตัวอย่างของการนำเครื่องมือทางการแต่งแร่มาใช้ประโยชน์ในการแยกเยื่อเปลือกไข่ออกจากเปลือกไข่

ทั้งนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบผงเปลือกไข่ที่ผ่านเครื่องบดแททริชชั่นมิลล์มาทำการเปรียบเทียบกับอาหารเสริมแคลเซียมสองชนิดที่มีวางขายอยู่ตามท้องตลาดซึ่งส่วนประกอบของอาหารเสริมแสดงในภาคผนวก จ ซึ่งใช้แคลเซียมที่มาจากการทำเหมืองหินปูนเป็นส่วนประกอบ เมื่อวิเคราะห์ออกมาแล้วผงเปลือกไข่ที่ได้สามารถใช้ทดแทนได้และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าด้วย ทั้งในแง่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและด้านความเข้ากันได้กับตัวมนุษย์ ทั้งยังมีงานวิจัย คุณภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกไข่ไก่ ของ กนกอร เจียมจิตต์ (2547) ที่ได้ทำการทดลองอัดรูปเม็ดแคลเซียมที่ทำมาจากผงเปลือกไข่ไว้แล้วเมื่อรวมกับงานวิจัยชิ้นนี้จึงสามารถเพิ่มกระบวนการผลิตที่ง่ายขึ้นลดการใช้เวลาและค่าใช้จ่ายได้มากขึ้นอีกด้วย

สำหรับการแปรรูปเปลือกไข่ มาใช้ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์กึ่ง น่าจะเป็นทางออกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทาง บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ ในขณะนี้เนื่องจากมีความพร้อมและความสามารถในการผลิตและทดลองอาหารสัตว์น้ำได้อยู่แล้ว ทำให้จากจุดนี้ผงจากเปลือกไข่ ถ้าทดลองนำมาเป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตอาหารกึ่ง น่าจะช่วยห้วงเวลาการจมตัวของเม็ดอาหารได้ และลดการสูญเสียของอาหารที่จมลงบ่อเร็วเกินไปและส่งผลให้น้ำในบ่อเน่าเสียได้ง่ายสำหรับข้อมูลอาหารกึ่งแสดงในภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กนกอร เจียมจิตต์. 2547. **คุณภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกไข่ไก่**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์
การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- โกสินทร์ สว่างศรี และ สมบูรณ์ ตั้งเจริญงามวงศ์. 2543. **การสกัดแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่
เป็ด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์
การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- แคลเซียมคาร์บอเนต**. 2547. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ฝ่ายช่วยอำนวยความสะดวกและประชาสัมพันธ์, กรม
อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- แคลเซียม**, [ออนไลน์].2550 แหล่งที่มา: [http://health.deedeejang.com/index.php?news=23
&vote=5&aid=23&Vote=Vote](http://health.deedeejang.com/index.php?news=23&vote=5&aid=23&Vote=Vote) [2552, มีนาคม 15]
- นิรยา รัตนาปนนท์ และ วิบูลย์ รัตนาปนนท์. 2537. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น**. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- นิรนาม. 2540. แคลเซียมธาตุสำคัญในกระดูก. **หมอชาวบ้าน**. 19(221): 12-19.
- ภิญโญ มีชำนะ. 2550. **เอกสารประกอบการเรียน รายวิชา Mineral and Processing
Engineering**. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2535 **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**.
พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์
- ยุวรัตน์ ปรมีสนาภรณ์. 2544. **การพัฒนาวัสดุดูดซับจากเปลือกไข่เพื่อกำจัดแคดเมียม**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์จุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วลัยพร โพนคำ. 2546. **การสกัดคอลลาเจนจากเยื่อเปลือกไข่โดยใช้กรดอินทรีย์**. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- สุนทร ขวัญอ่อน นักวิทยาศาสตร์ หน่วยเครื่องมือกลาง วารสาร LAB TODAY 5, ตุลาคม 2549: 37

- วิจัยเศรษฐกิจการเกษตร., กอง. 2540. **สถานการณ์ปศุสัตว์ปี 2539และแนวโน้มปี 2540.**
กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สรัญญา ชวพันธ์ , 2547. **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโพรตีโพรพิตินและยางธรรมชาติที่ผสมผงเปลือกไข่.** รายงานการวิจัย กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- เสาวนุช วุฒิสาร. 2549. **การเตรียมสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตจากเปลือกไข่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2516. โครงสร้างของไข่สัตว์ปีก **ข่าวสารเกษตรศาสตร์** 18, 5: 52-72.
- สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. **ไข่และเนื้อไก่.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อมรรкарพิมพ์.
- ศิริพร เผ่าพงษ์จันทร์. 2544. **การพัฒนาวัสดุดูดซับจากเปลือกไข่เพื่อกำจัดโครเมียม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อลงกต ช้างเผือก. 2541. **การผลิตแคลเซียมคลอไรด์จากเปลือกไข่ไก่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาษาอังกฤษ

- A.H. Hernandez., M.L. Vidal., A.B. Rodriguez. 2008 Influence of eggshell matrix proteins on the precipitation of calcium carbonate (CaCO₃). **Journal of Crystal Growth** 310: 1754-1759.
- Cotterill, O.J., 1995. Egg-Products Industry, In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, (eds.), **Egg Science and Technology.** pp. 221-229. New York: Food Product Press.
- Cunningham, F.E., 1977. Egg Product Pasteurization In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill. (eds.), **Egg Science and Technology.** pp. 161-186. USA: The AVI Publishing.

- Kaplan, S. 1973, The structure of the chicken egg shells and shell membranes as studied with the scanning electron microscope and energy dispersive X-ray microanalysis, **Poultry Sci.**52: 1798-1801.
- Stadelman, W.J., 1995. Quality Identification of Shell Eggs, In W.J. Stadelman and O.J. Cotterill.(eds.), **Egg Science and Technology**. pp. 39-45. New York: Food Product Press.
- Sugino, H.N.and L.R.Juneja., 1997. General Chemical Composition of Hen Eggs, In T. Yamamoto, L.R. Juneja, H. Hatta and M. Kim, (eds.), **Hen Eggs (Their Basic and Applied Science)** pp.13-24. USA: CRS Press.
- Suguro, N. S, T. Kokubu. 2000. Bioavailability and Commercial Use of Eggshell Calcium, Membrane Proteins and Yolk Lecithin Products. In J.S. Sim, S. Nakai and W. Guente, (eds.), **Egg Nutrition and Biotechnology**, pp. 216-232 Japan.CAB International.
- Supplement Food, [online] 2008. Available from: <http://www.wholefoodsupplements.com>
[2552, กรกฎาคม 21]
- W.T.Tsai, J.M.Yang, C.W.Lai, H.C. Hsu, 2008.Development and characterization of mesoporosity in eggshell ground by planetary ball milling **Journal of Microporous and Mesoporous Materials** 111: 379–386
- W.T.Tsai, J.M.Yang, C.W. Lai, Y.H. Cheng, 2006.Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane **Journal of Bioresource Technology** 97: 488–493



ภาคผนวก

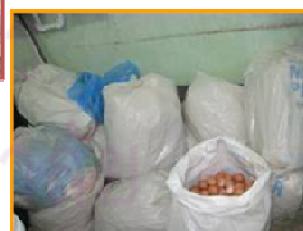
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่เบื้องต้นสำหรับงานวิทยานิพนธ์

เนื่องจากกระบวนการแต่งแร่ที่ได้ออกแบบไว้ในงานวิจัยไม่ได้กล่าวถึงส่วนของขั้นตอนการดำเนินการเกี่ยวกับเปลือกไข่ในส่วนที่ออกมาจากโรงฝึกและโรงแปรรูป ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

รับไข่ไก่จากสวนของโรงฝึกเพื่อเข้าสู่การล้างทำความสะอาดเบื้องต้น จากนั้นเรียงไข่ไก่เข้าสู่เครื่องตอกไข่ไก่เมื่อผ่านเข้าสู่ชุดตอกไข่ไก่แล้วจะได้ผลผลิตเนสองส่วนคือ เปลือกไข่และเนื้อไข่ ในส่วนของเปลือกไข่แยกรอเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดต่อไปดังรูป



ศูนย์วิทย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแสดงขั้นตอนการกำจัดเปลือกไข่ไก่เบื้องต้น

เมื่อได้รับเปลือกไข่ที่แยกได้จากเครื่องตอกไข่แล้วจะเข้าสู่การเตรียมตัวอย่างเบื้องต้น คือ นำเปลือกไข่ที่มีเยื่อเปลือกมาทำการบดหยาบจากนั้น นำเปลือกไข่ที่บดแล้วแช่น้ำไว้ 24 ชม. แยกเยื่อไข่ออกและนำเปลือกไข่ที่แยกเยื่อออกแล้ว ตากแดดให้แห้ง ตามลำดับดังรูป



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเปลือกไข่แปรรูปเบื้องต้น

ภาคผนวก ข

หลักการของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่อง X-Ray Diffractometre (XRD) (แมน อมรสิทธิ์, 2535)

XRD เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Nondestructive Method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่าง ที่มีมุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวิฤภาค องค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยมีหลักการ ดังนี้ วัสดุที่เป็นผลึก คือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของ อะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะ เป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่า แตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก

นำผงเปลือกไข่ เยื่อเปลือกไข่ และตัวอย่างอาหารเสริมแคลเซียมคาร์บอเนต มาบดให้ละเอียด จากนั้นเทสารที่บดละเอียดแล้วใส่ในพิมพ์ให้เต็ม ใช้แท่งเหล็กกดให้แน่นเพื่อให้ผิวหน้า เรียบ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบว่าแร่ตัวอย่างมีแร่ชนิดเดียวคือ แร่แคลเซียมออกไซด์ (หรือแคลเซียมคาร์บอเนต)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) (แมน อมรสิทธิ์, 2535)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) นิยมใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งเป็นกล้องที่มีกำลังขยายสูงถึง 100,000 เท่า กล้องชนิดนี้ใช้ลำอิเล็กตรอนแทนแสงโดยหลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ด้านบนจะมีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งทำหน้าที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Primary Electron) โดยจะควบคุมจำนวนอิเล็กตรอนนั้นด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง โดยใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Lens) โฟกัส ให้ลำอิเล็กตรอนนั้นตกกระทบชิ้นงาน และได้สัญญาณแบบต่างๆ เช่น สัญญาณจากอิเล็กตรอนในชิ้นงานที่หลุดออก (Secondary Electron) หรืออิเล็กตรอนที่กระดอนกลับ (Backscattered Electron)

สัญญาณแต่ละชนิดจะถูกตรวจวัดโดย Detector แต่ละชนิด และแปลผลเป็นสัญญาณ ทางไฟฟ้า และแปลเป็นภาพในที่สุด

ในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้เทคนิคนี้เพราะให้ความละเอียดและคมชัดสูง ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง คือ นำชิ้นงานที่ต้องการการศึกษาสู่ฐานวิทยาได้แก่ ผงเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ ไปติดบนแผ่นนำไปเคลือบด้วยทองคำบางๆ ด้วยเทคนิค Sputter Coating เพื่อเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ หรือความคมชัดของภาพ นำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลัง 1,000-7,000 เท่า

เทคนิค FT-IR Spectroscopy (แมน อมรสิทธิ์, 2535)

เทคนิค FT-IR Spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้วิเคราะห์โครงสร้างของโมเลกุลของสารอินทรีย์โดยทั่วไป โดยอาศัยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่างช่วงของรังสีไมโครเวฟ และแสงที่ตามองเห็นได้ การอ้างอิงถึงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงนี้นิยมใช้เลขคลื่นหรือเวฟนัมเบอร์ (Wave Number) ซึ่งมีหน่วยเป็น cm^{-1} (Reciprocal Centimeter) ซึ่งหมายถึงจำนวนเลขคลื่นต่อหน่วยเซนติเมตร เนื่องจากพลังงานของรังสีอินฟราเรดจะอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการสั่น (Vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่ความถี่ที่ตรงกับความถี่ของรังสีอินฟราเรดก็จะเกิดการดูดกลืนขึ้น การสั่นของโมเลกุลของสารแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลักๆ ได้แก่ การยืด และหด (Stretching) ของพันธะ และการงอ (Bending) ของพันธะ กราฟที่ได้เรียกว่า อินฟราเรดสเปกตรัม ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทรานสมิตแตนซ์ (%T) หรือแอบซอเบแนนซ์ (A) กับค่าเลขคลื่น ซึ่งแต่ละแถบการดูดกลืนสามารถบ่งบอกลักษณะเฉพาะลงไปได้อีก เช่น หากตัวเลขทรานสมิตแตนซ์มีค่า มากหรือแอบซอเบแนนซ์มีค่าน้อย เรียกว่าสัญญาณนั้นอ่อน ในทางกลับกัน หากตัวเลขหากตัวเลขทรานสมิตแตนซ์มีค่าน้อยหรือแอบซอเบแนนซ์มีค่ามาก เรียกว่าสัญญาณนั้นเข้ม นอกจากนี้แถบการดูดกลืนยังอาจมีลักษณะกว้างหรือแคบโดยการสั่นของพันธะแต่ละแบบก็จะมีลักษณะเฉพาะของพีค ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งนำมาใช้ประกอบการพิจารณาโครงสร้างของโมเลกุลได้ด้วยนอกเหนือจากการพิจารณาจากค่าเลขคลื่นที่เกิดจากการดูดกลืนเพียงอย่างเดียว

เครื่อง X-Ray Fluorescent (XRF) (วารสาร LAB. TODAY, 2549)

X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy เป็น เทคนิคที่นิยมใช้แพร่หลายในการวิเคราะห์ธาตุทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นงานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์ธาตุที่มีความเป็นพิษที่อยู่ในอากาศ ด้านธรณีวิทยา เช่น การวิเคราะห์แร่ ดิน หิน โดยไม่ทำลายตัวอย่าง มีการเตรียมตัวอย่างเพียงเล็กน้อย และให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ด้านชีววิทยา/ด้านการแพทย์ เช่น การวิเคราะห์สารที่อยู่ในเส้นผมและเล็บ การตรวจวัดโบรมีนในซีรัม ด้านอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการควบคุมกระบวนการและควบคุมคุณภาพ การตรวจวัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นพิษในน้ำมันดิบ และอื่นๆ อีกมากมาย

ข้อดีของเครื่อง XRF เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ คือ เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายๆ ตัวพร้อมกัน ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง โดยตัวอย่างแปลกๆ ต้องเป็นผงและทำการอัดเข้ากับแม่พิมพ์ก่อนจึงสามารถเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ได้

เครื่อง Particle Size Distribution (Particle Size Distribution: PSD)

(http://makok.pharmacy.cmu.ac.th/instrument/Zetasizer_ZS.php)

เครื่องวัดขนาดอนุภาค Beckman Coulter LS 13 320 เป็นเครื่องวัดขนาดและการกระจายตัวของตัวอย่างที่เป็นผงแห้งและสารแขวนลอย โดยวิเคราะห์ในตัวกลางทั้งที่เป็นของเหลวและอากาศ สามารถวัดขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.04 ถึง 2000 ไมโครเมตร ในที่นี้ได้ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดทั้งสามชนิดมาทำการเปรียบเทียบคือ แบบ Attrition Mills, Ball Mills และ Pin Mills และในช่วงระยะเวลาต่างกัน

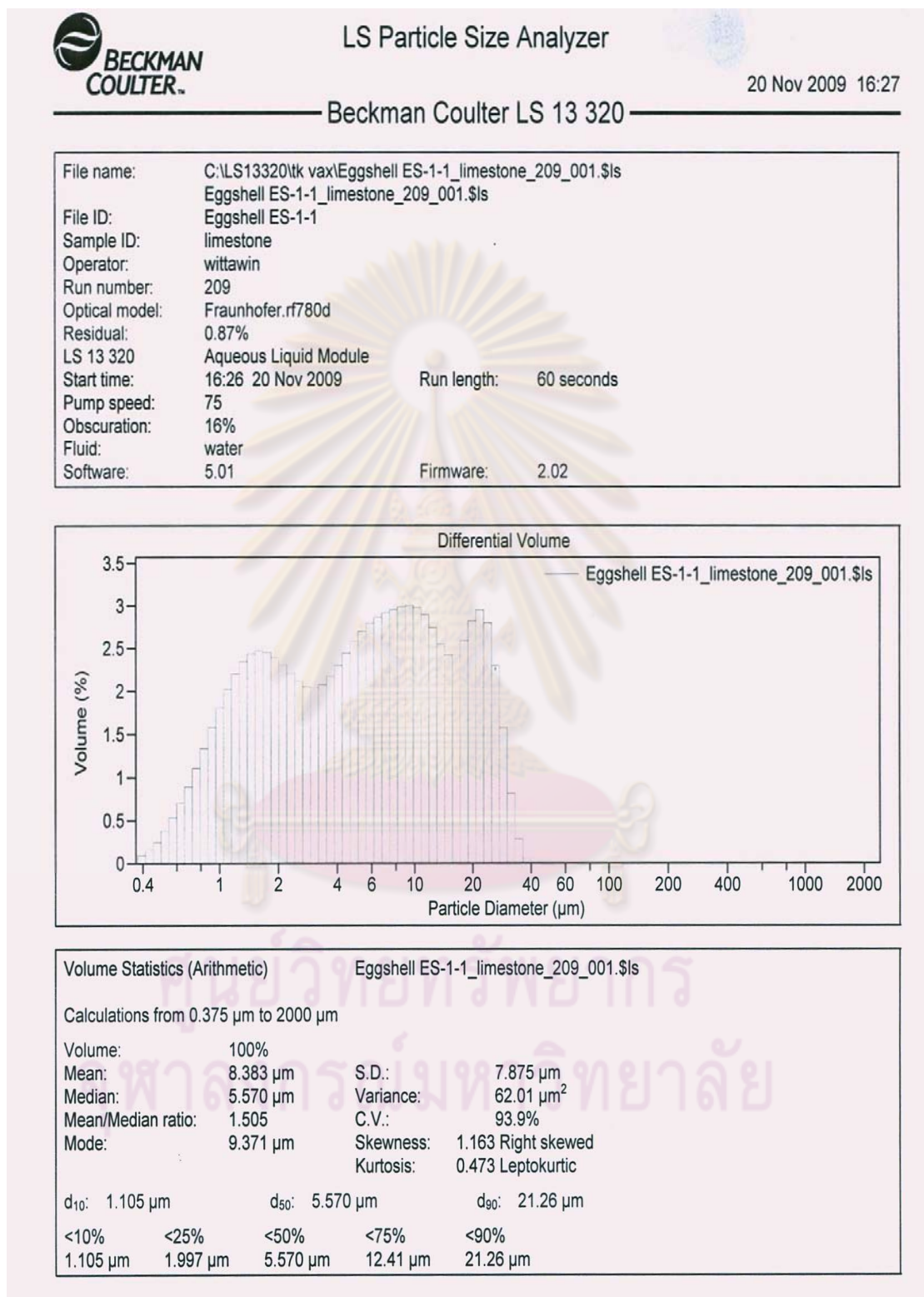
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลวิเคราะห์เครื่องวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้เครื่องบดแบบ เครื่องบดแอททริชันมิลล์ (Attrition mill), เครื่องบดบอลล์มิลล์ แบบ Pascal Ball Mill Pot, และเครื่องบดแบบแท่งหมุน (Pin Mill)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟแสดงผลการวัดการกระจายอนุภาคของ เครื่องบดแบบ Attrition mill ESP-1-1

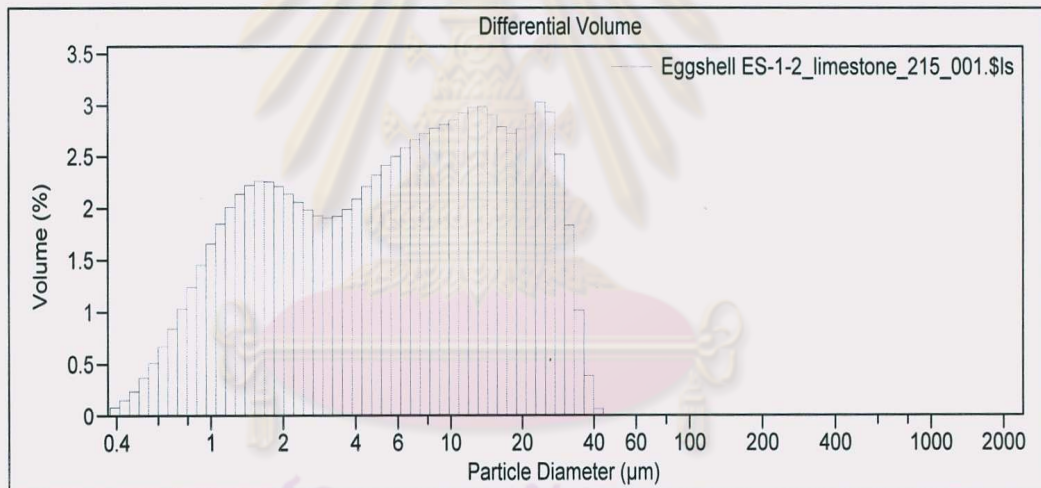


LS Particle Size Analyzer

20 Nov 2009 16:55

Beckman Coulter LS 13 320

File name: C:\LS13320\tk vax\Eggshell ES-1-2_limestone_215_001.\$ls
Eggshell ES-1-2_limestone_215_001.\$ls
File ID: Eggshell ES-1-2
Sample ID: limestone
Operator: wittawin
Run number: 215
Optical model: Fraunhofer.rf780d
Residual: 0.66%
LS 13 320 Aqueous Liquid Module
Start time: 16:54 20 Nov 2009 Run length: 60 seconds
Pump speed: 75
Obscuration: 13%
Fluid: water
Software: 5.01 Firmware: 2.02



Volume Statistics (Arithmetic) Eggshell ES-1-2_limestone_215_001.\$ls

Calculations from 0.375 μm to 2000 μm

Volume:	100%	S.D.:	8.965 μm
Mean:	9.615 μm	Variance:	80.37 μm^2
Median:	6.452 μm	C.V.:	93.2%
Mean/Median ratio:	1.490	Skewness:	1.082 Right skewed
Mode:	23.82 μm	Kurtosis:	0.262 Leptokurtic

d_{10} : 1.141 μm d_{50} : 6.452 μm d_{90} : 24.06 μm

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
1.141 μm	2.171 μm	6.452 μm	14.71 μm	24.06 μm

กราฟแสดงผลการวัดการกระจายอนุภาคของ เครื่องบดแบบ Attrition mill ESP-1-2

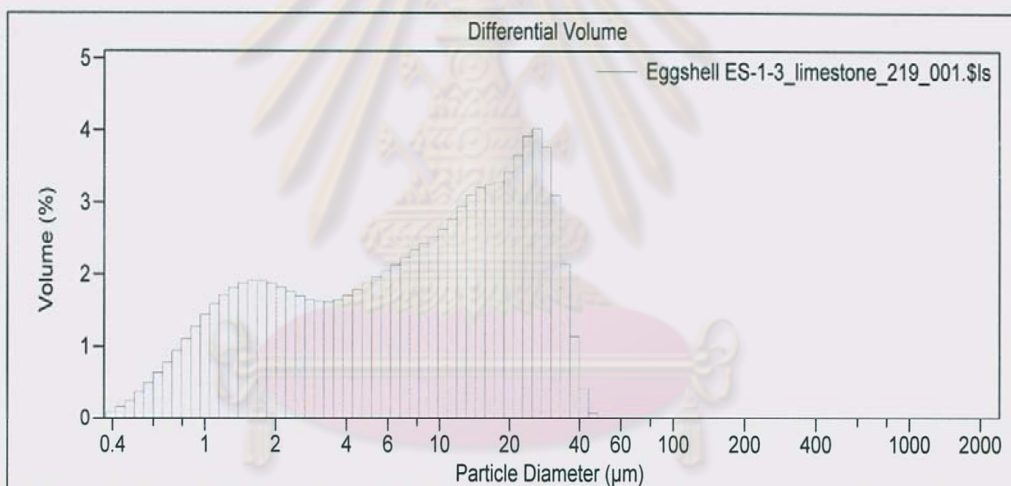


LS Particle Size Analyzer

20 Nov 2009 17:09

Beckman Coulter LS 13 320

File name:	C:\LS13320\tk vax\Eggshell ES-1-3_limestone_219_001.\$ls		
	Eggshell ES-1-3_limestone_219_001.\$ls		
File ID:	Eggshell ES-1-3		
Sample ID:	limestone		
Operator:	wittawin		
Run number:	219		
Optical model:	Fraunhofer.rf780d		
Residual:	0.56%		
LS 13 320	Aqueous Liquid Module		
Start time:	17:06 20 Nov 2009	Run length:	60 seconds
Pump speed:	75		
Obscuration:	10%		
Fluid:	water		
Software:	5.01	Firmware:	2.02



Volume Statistics (Arithmetic) Eggshell ES-1-3_limestone_219_001.\$ls

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume:	100%		
Mean:	11.85 µm	S.D.:	10.36 µm
Median:	8.755 µm	Variance:	107.3 µm ²
Mean/Median ratio:	1.354	C.V.:	87.4%
Mode:	26.15 µm	Skewness:	0.804 Right skewed
		Kurtosis:	-0.401 Platykurtic

d ₁₀ :	1.205 µm	d ₅₀ :	8.755 µm	d ₉₀ :	27.87 µm
-------------------	----------	-------------------	----------	-------------------	----------

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
1.205 µm	2.587 µm	8.755 µm	19.24 µm	27.87 µm

กราฟแสดงผลการวัดการกระจายอนุภาคของ เครื่องบดแบบ Attrition mill ESP-1-3

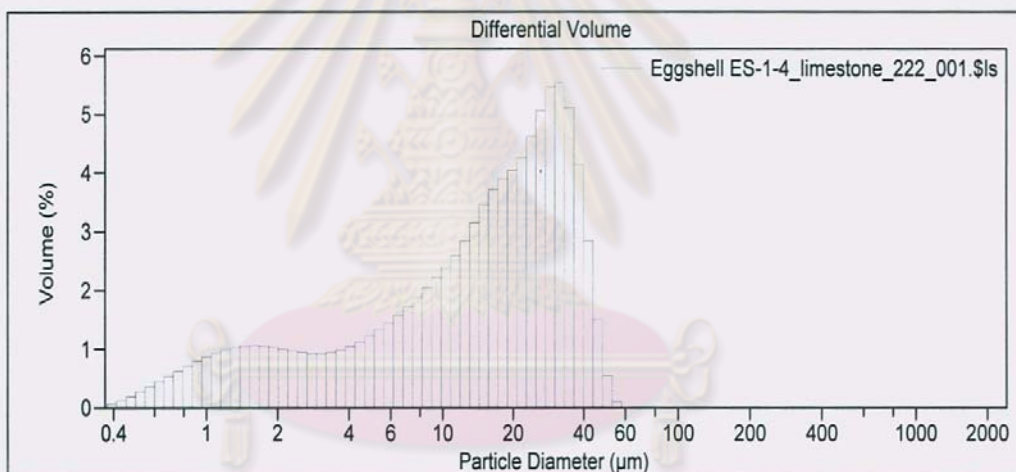


LS Particle Size Analyzer

20 Nov 2009 17:22

Beckman Coulter LS 13 320

File name: C:\LS13320\tk vax\Eggshell ES-1-4_limestone_222_001.\$ls
 Eggshell ES-1-4_limestone_222_001.\$ls
 File ID: Eggshell ES-1-4
 Sample ID: limestone
 Operator: wittawin
 Run number: 222
 Optical model: Fraunhofer.rf780d
 Residual: 0.56%
 LS 13 320 Aqueous Liquid Module
 Start time: 17:21 20 Nov 2009 Run length: 60 seconds
 Pump speed: 75
 Obscuration: 10%
 Fluid: water
 Software: 5.01 Firmware: 2.02



Volume Statistics (Arithmetic) Eggshell ES-1-4_limestone_222_001.\$ls

Calculations from 0.375 µm to 2000 µm

Volume:	100%	S.D.:	12.73 µm
Mean:	17.58 µm	Variance:	162.0 µm ²
Median:	16.03 µm	C.V.:	72.4%
Mean/Median ratio:	1.097	Skewness:	0.423 Right skewed
Mode:	31.51 µm	Kurtosis:	-0.827 Platykurtic

d ₁₀ :	1.652 µm	d ₅₀ :	16.03 µm	d ₉₀ :	35.71 µm
-------------------	----------	-------------------	----------	-------------------	----------

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
1.652 µm	6.106 µm	16.03 µm	27.54 µm	35.71 µm

กราฟแสดงผลการวัดการกระจายอนุภาคของ เครื่องบดแบบ Attrition mill ESP-1-4

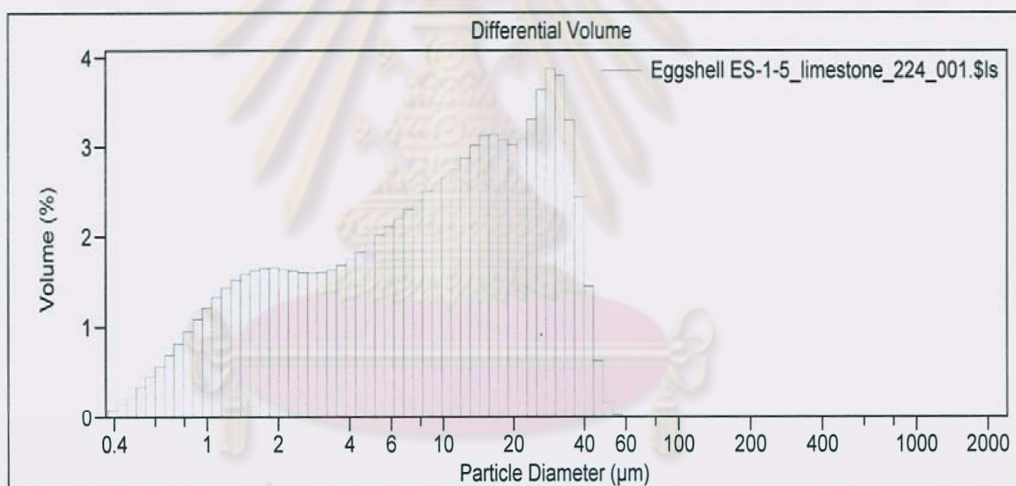


LS Particle Size Analyzer

20 Nov 2009 17:28

Beckman Coulter LS 13 320

File name: C:\LS13320\tk vax\Eggshell ES-1-5_limestone_224_001.\$ls
 Eggshell ES-1-5_limestone_224_001.\$ls
 File ID: Eggshell ES-1-5
 Sample ID: limestone
 Operator: wittawin
 Run number: 224
 Optical model: Fraunhofer.rf780d
 Residual: 0.73%
 LS 13 320 Aqueous Liquid Module
 Start time: 17:27 20 Nov 2009 Run length: 60 seconds
 Pump speed: 75
 Obscuration: 8%
 Fluid: water
 Software: 5.01 Firmware: 2.02



Volume Statistics (Arithmetic) Eggshell ES-1-5_limestone_224_001.\$ls

Calculations from 0.375 μm to 2000 μm

Volume:	100%	S.D.:	11.65 μm
Mean:	13.25 μm	Variance:	135.8 μm^2
Median:	9.639 μm	C.V.:	88.0%
Mean/Median ratio:	1.374	Skewness:	0.860 Right skewed
Mode:	28.70 μm	Kurtosis:	-0.271 Platykurtic

d_{10} :	1.308 μm	d_{50} :	9.639 μm	d_{90} :	31.49 μm
------------	---------------------	------------	---------------------	------------	---------------------

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
1.308 μm	3.110 μm	9.639 μm	21.21 μm	31.49 μm

กราฟแสดงผลการวัดการกระจายอนุภาคของ เครื่องบดแบบ Attrition mill ESP-1-5

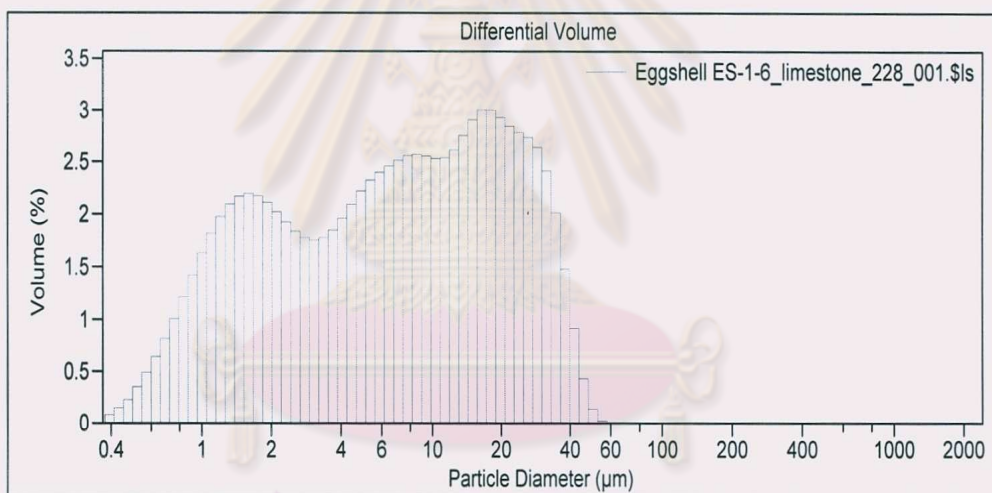


LS Particle Size Analyzer

20 Nov 2009 17:44

Beckman Coulter LS 13 320

File name:	C:\LS13320\tk vax\Eggshell ES-1-6_limestone_228_001.\$ls		
	Eggshell ES-1-6_limestone_228_001.\$ls		
File ID:	Eggshell ES-1-6		
Sample ID:	limestone		
Operator:	wittawin		
Run number:	228		
Optical model:	Fraunhofer.rf780d		
Residual:	0.42%		
LS 13 320	Aqueous Liquid Module		
Start time:	17:43 20 Nov 2009	Run length:	60 seconds
Pump speed:	75		
Obscuration:	16%		
Fluid:	water		
Software:	5.01	Firmware:	2.02



Volume Statistics (Arithmetic) Eggshell ES-1-6_limestone_228_001.\$ls

Calculations from 0.375 μm to 2000 μm

Volume:	100%	S.D.:	10.59 μm
Mean:	10.93 μm	Variance:	112.1 μm^2
Median:	7.015 μm	C.V.:	96.9%
Mean/Median ratio:	1.558	Skewness:	1.180 Right skewed
Mode:	18.00 μm	Kurtosis:	0.642 Leptokurtic

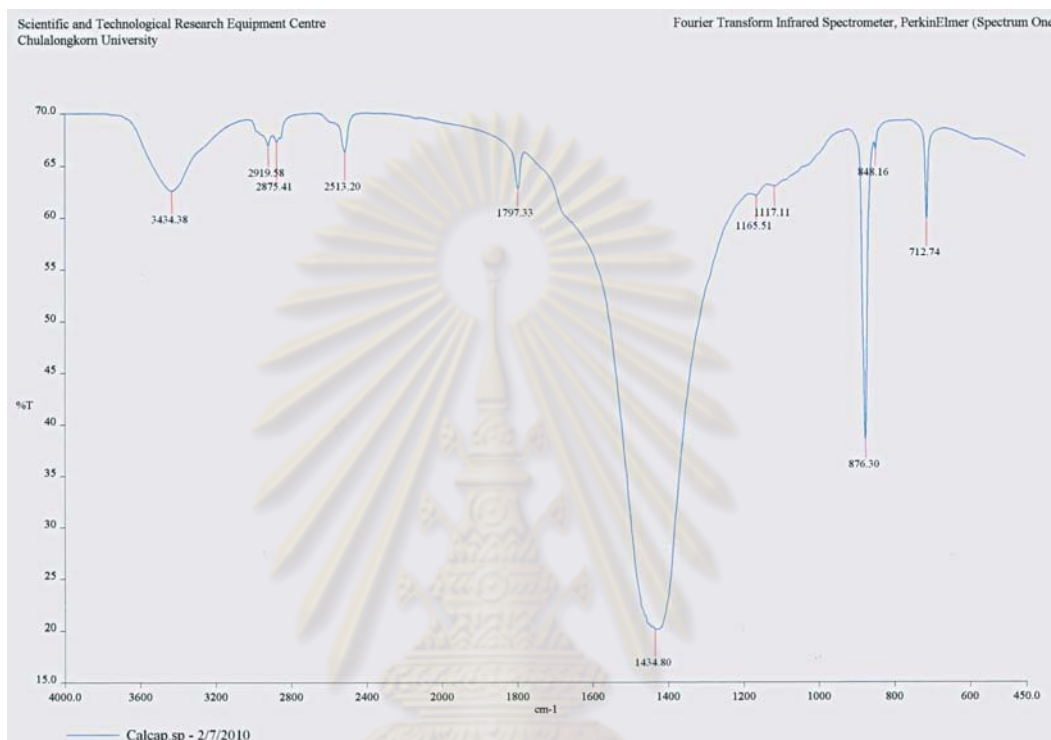
d_{10} :	1.157 μm	d_{50} :	7.015 μm	d_{90} :	27.48 μm
------------	---------------------	------------	---------------------	------------	---------------------

<10%	<25%	<50%	<75%	<90%
1.157 μm	2.250 μm	7.015 μm	16.87 μm	27.48 μm

กราฟแสดงผลการวัดการกระจายอนุภาคของ เครื่องบดแบบ Attrition mill ESP-1-6

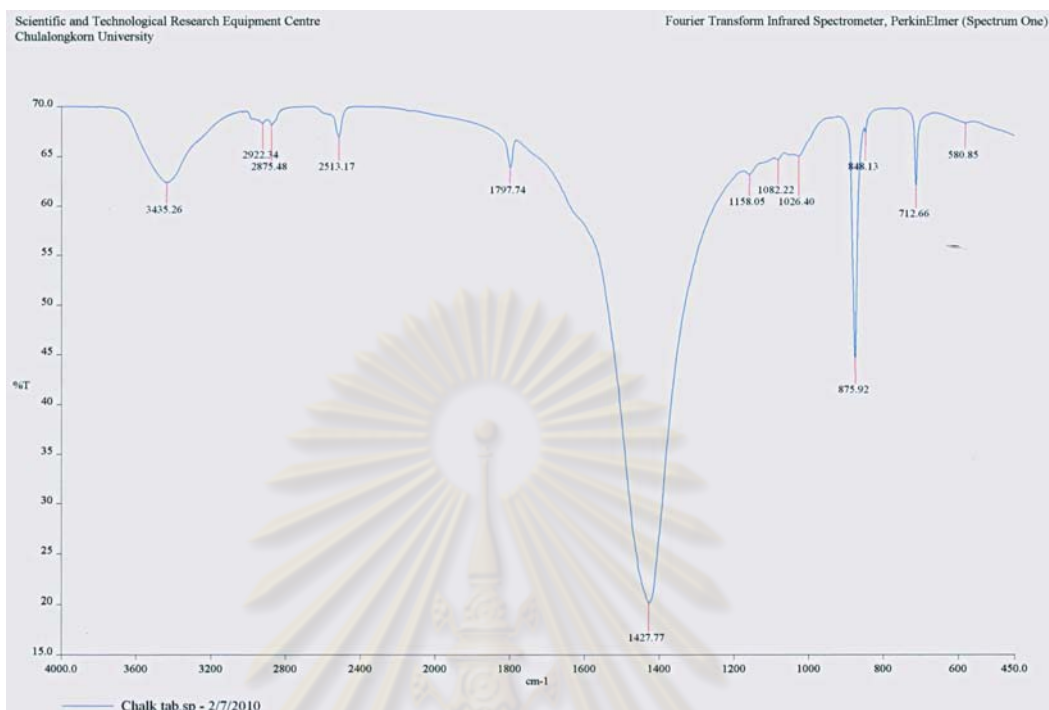
ภาคผนวก ค

กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และ เครื่อง XRD



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของตัวอย่าง Calcap

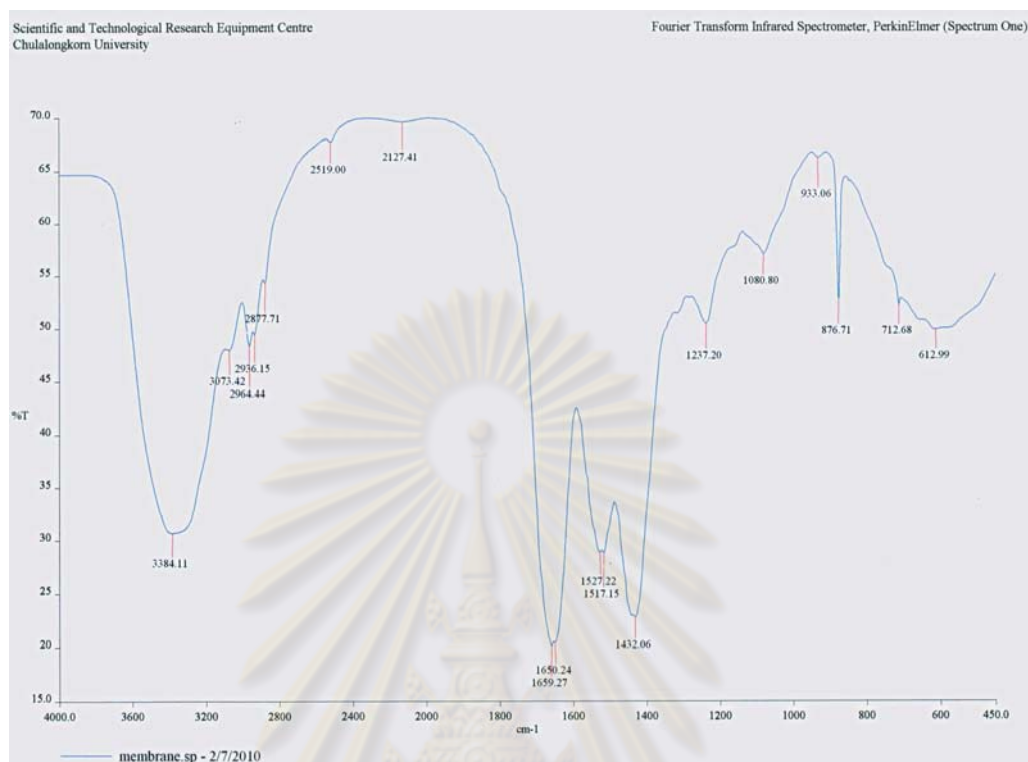
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของตัวอย่าง Chalktab

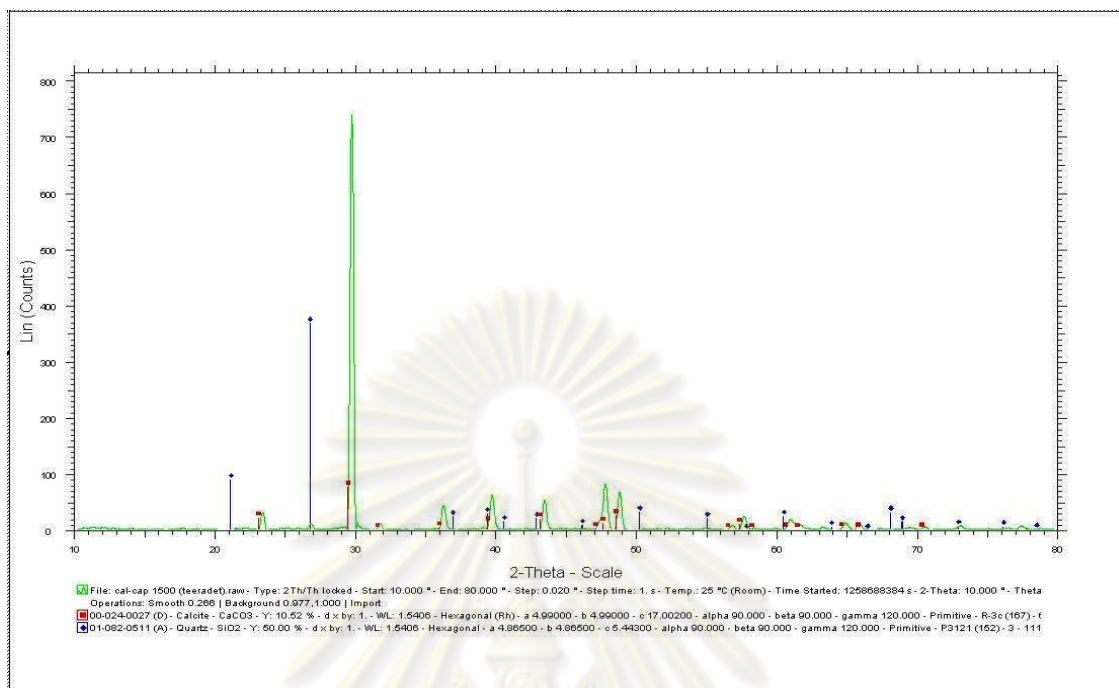


กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของตัวอย่าง ESP

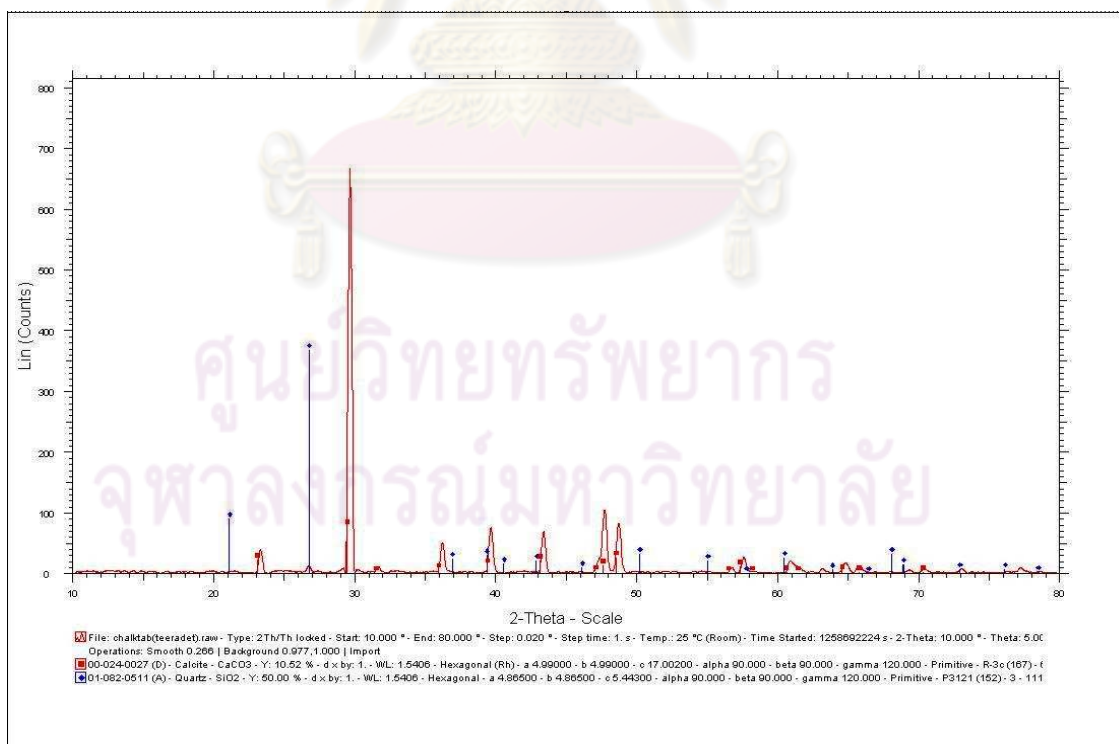


กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของตัวอย่าง Membrane

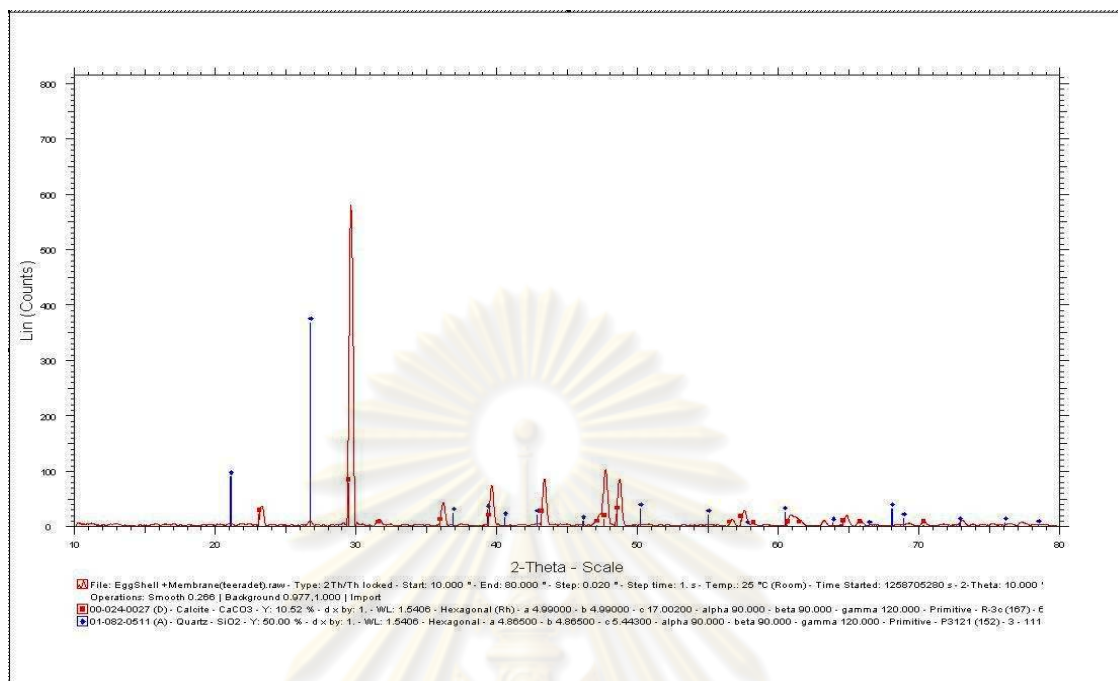
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



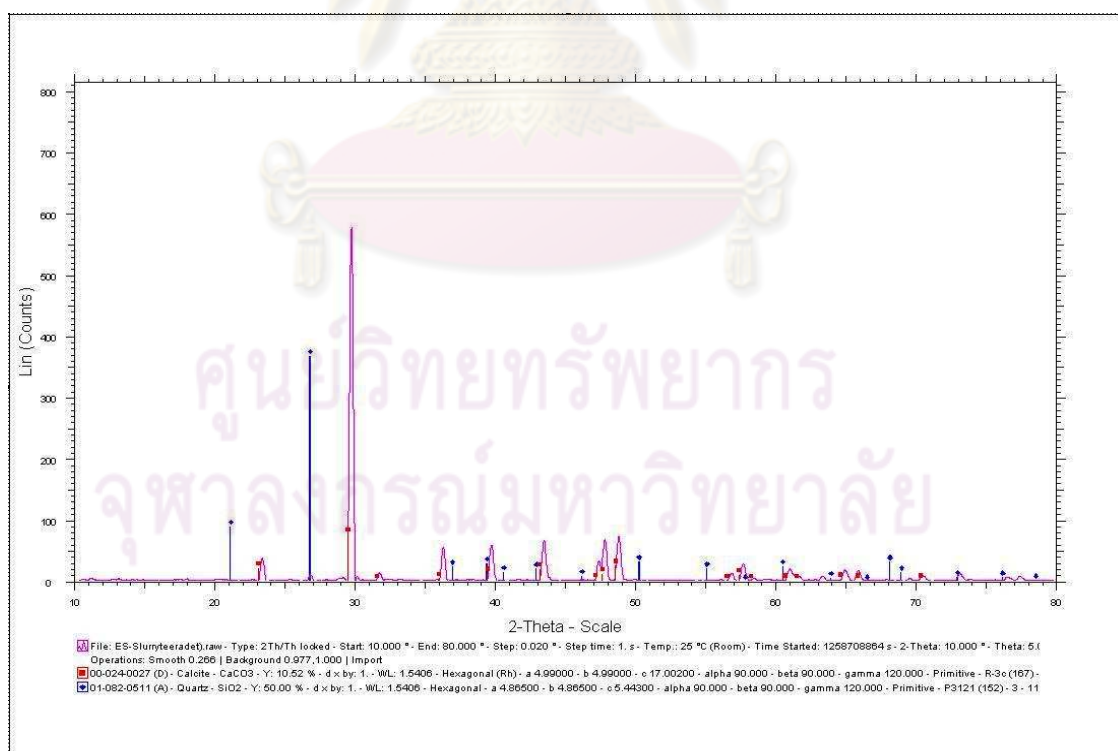
กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่าง Calcap



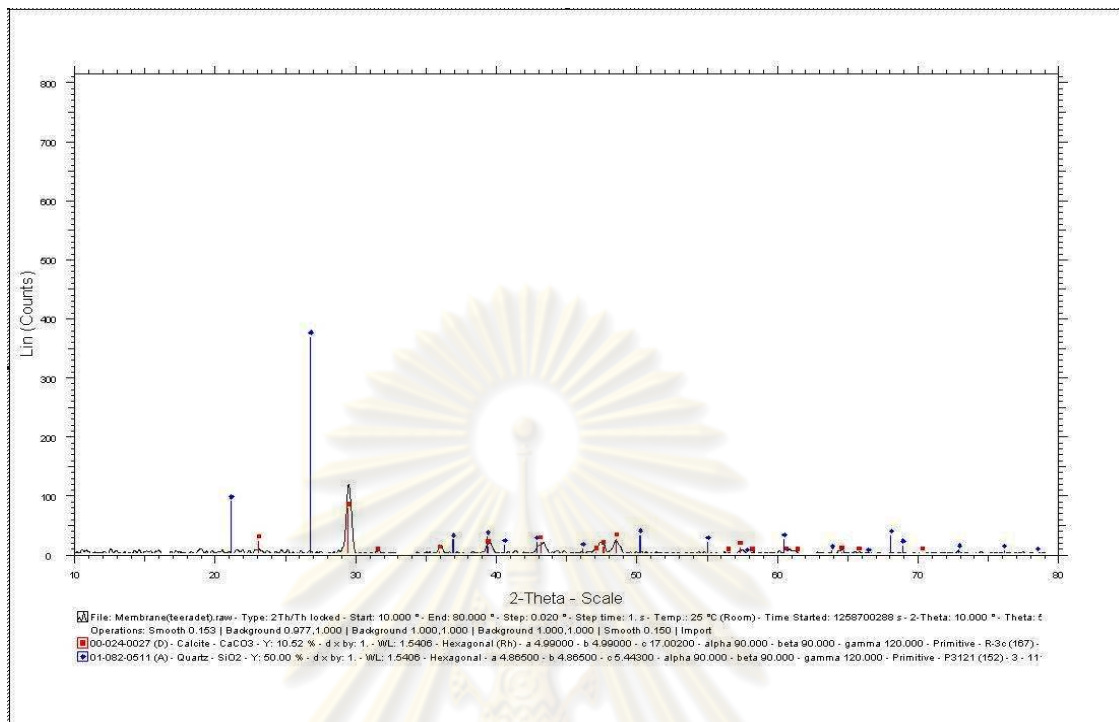
กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่าง Chalktab



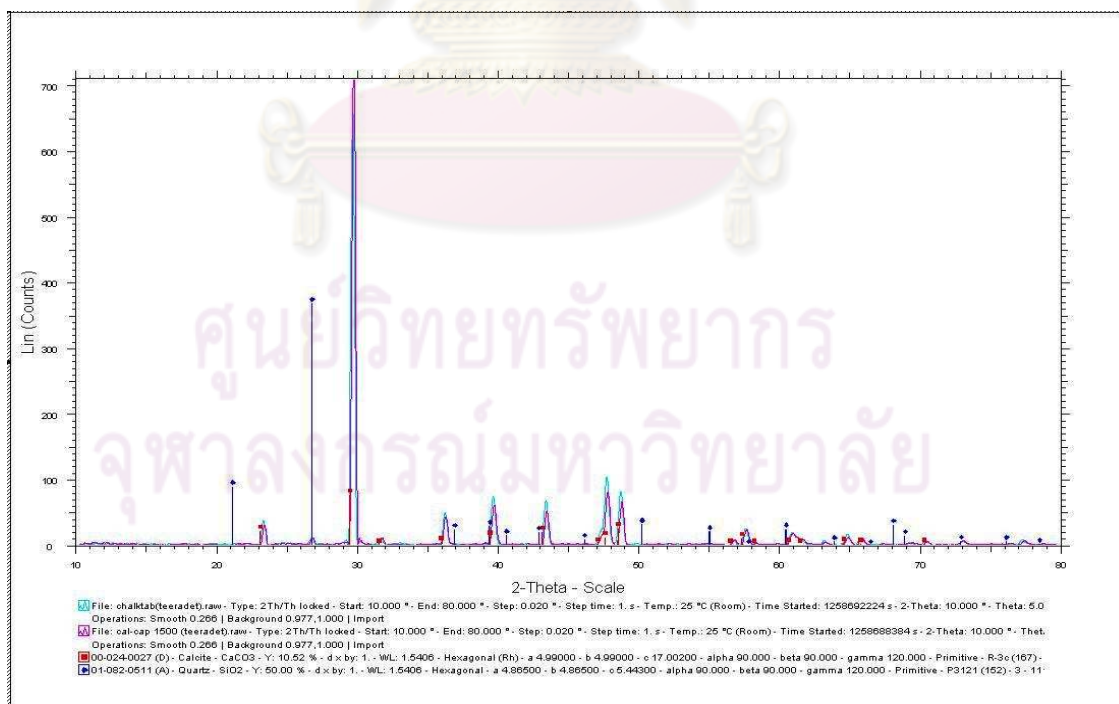
กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่าง Eggshell+Membrane



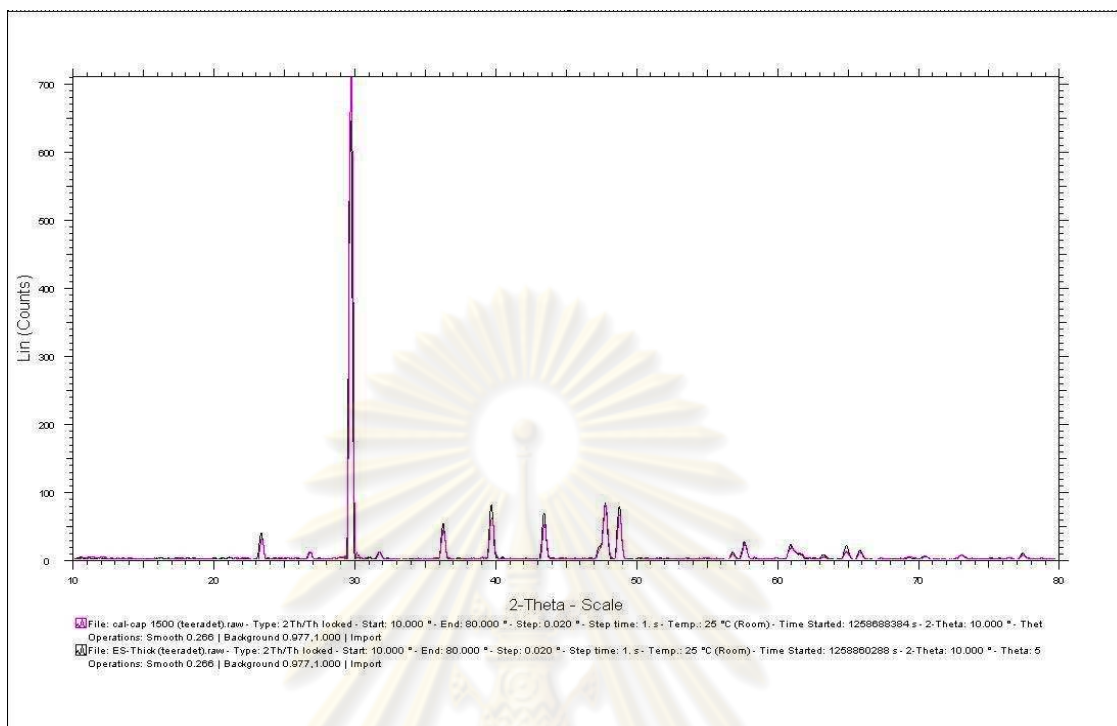
กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่าง Eggshell



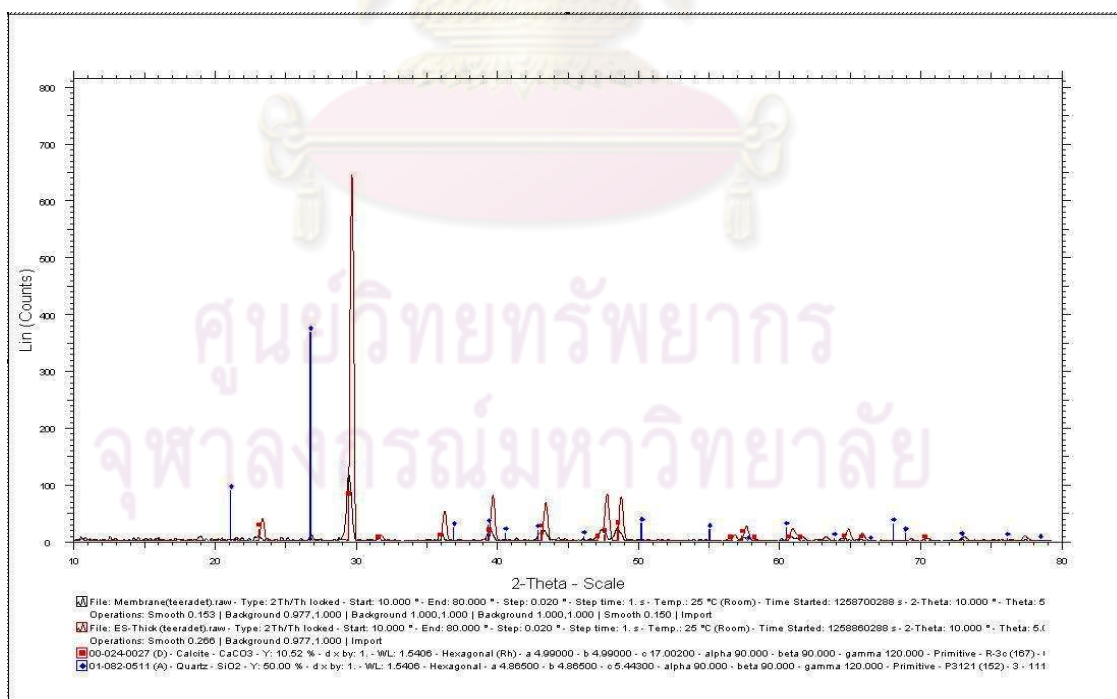
กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่าง Membrane



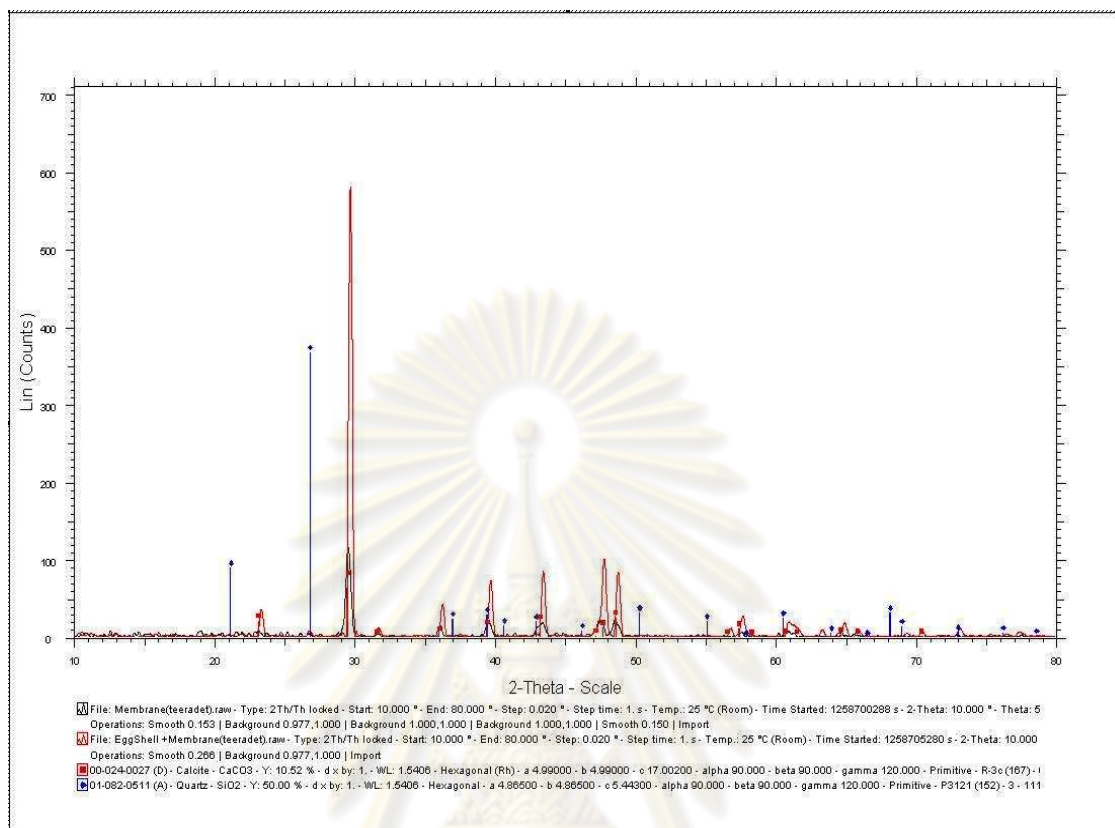
กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างระหว่าง Calcap-Chalktab



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างระหว่าง Calcap-ESP



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างระหว่าง Membrane-ESP



กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างระหว่าง Membrane-
(ESP+mem)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

วัสดุที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

วัสดุปุ๋ยที่มีการใช้กันในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบัน สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามองค์ประกอบหลักของเนื้อปุ๋ยได้ 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มคาร์บอเนต
- กลุ่มออกไซด์
- กลุ่มไฮดรอกไซด์

ซึ่งปุ๋ยแต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวบางอย่างที่แตกต่างกันไป ซึ่งผู้เลี้ยงจะต้องพิจารณานำมาใช้ให้เหมาะสม และเลือกใช้ให้ตรงกับจุดประสงค์ที่ต้องการ

1. กลุ่มคาร์บอเนต ปุ๋ยกลุ่มนี้รู้จักกันทั่วไป เรียกว่า ดิบ หินปูนบด หรือ ปุ๋ยเปลือกหอยบด โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาหรือพรมน้ำ ได้แก่

- ปุ๋ยแคลไซต์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ได้จากการนำหินปูน และเปลือกหอยที่มี CaCO_3 เป็นองค์ประกอบหลักมาบดให้ละเอียด โดยทั่วไปปุ๋ยกลุ่มนี้จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอเนตอยู่ในช่วง 75-99 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับแหล่งที่นำมาผลิต

- ปุ๋ยมาร์ล (Marl) เป็นปุ๋ยที่มีองค์ประกอบของ CaCO_3 กับพวกแร่ดินเหนียวและอินทรีย์สารผสมปะปนกันอยู่ทำให้จับตัวเป็นก้อนได้ง่ายเมื่อได้รับความชื้น ปุ๋ยชนิดนี้จะมีความบริสุทธิ์ของ CaCO_3 ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่าปุ๋ยแคลไซต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีปริมาณดินเหนียวและอินทรีย์สารปะปนอยู่เล็กน้อยเพียงไร ถ้ามีผสมอยู่มากเปอร์เซ็นต์ของ CaCO_3 ก็จะต่ำ

- ปุ๋ยโดโลไมต์ หรือ แคลเซียมแมกนีเซียม คาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นปุ๋ยที่ได้จากการนำหินที่มีองค์ประกอบของ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) มาบดละเอียดสำหรับปุ๋ยกลุ่มนี้เมื่อใส่ในน้ำจะให้ธาตุแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งธาตุชนิดนี้แพลงก์ตอนพืชในน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตได้ ดังนั้นในกรณีที่น้ำในบ่อใส การใช้ปุ๋ยโดโลไมต์จะมีผลช่วยเสริมในการทำน้ำได้

- อื่น ๆ เช่น ซอล์ค หินอ่อน ปะการัง ก็มีส่วนประกอบพวกคาร์บอเนต แต่ไม่คุ้มค่าที่จะนำมาใช้เชิงธุรกิจ

คุณสมบัติของปุ๋ยกลุ่มคาร์บอเนต

1. เป็นปุ๋ยที่มาจากแหล่งธรรมชาติ แล้วนำมาบดโดยไม่ผ่านกระบวนการเผาด้วยความร้อน

2. จะปรับค่าพีเอชให้เพิ่มขึ้นช้า ๆ จึงทำให้ค่าพีเอชคงอยู่ได้นาน
3. ช่วยเพิ่มค่าคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำได้ดี
4. เมื่อสัมผัสกับน้ำแล้วไปเกิดความร้อนหรือไม่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น
5. มีความปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ
6. เมื่อสัมผัสกับน้ำแล้วไม่ออกฤทธิ์กัดผิวหนัง จึงมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้
7. เมื่อได้รับความชื้นจะจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายโดยเฉพาะปูนมาร์ล

2. กลุ่มออกไซด์ หรืออาจจะเรียกว่า "ปูนเผา" (Burn Lime หรือ Quick Lime) ปูนกลุ่มนี้ ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งได้จากการนำหินปูนคาร์บอเนต หรือเปลือกหอยที่มีองค์ประกอบของ CO_2 เป็นหลักมาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 600-900 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ 600 - 900 °C ปูนคาร์บอเนต ปูนออกไซด์เผา

คุณสมบัติของปูนกลุ่มออกไซด์

1. ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุดเหมาะสมที่จะใช้แก้ปัญหาดินเป็นกรดมากที่สุด
2. มีผลต่อค่าคาร์บอนไดออกไซด์
3. เมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น
4. เมื่อสัมผัสกับน้ำ จะมีฤทธิ์กัดผิวหนัง จึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง

3. กลุ่มไฮดรอกไซด์ ปูนกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเรียกรวม ๆ ว่า "ปูนขาว" (Slaked lime) ซึ่ง ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)_2) ได้จากการนำหินปูนคาร์บอเนต หรือเปลือกหอยที่มีองค์ประกอบของคาร์บอเนตเป็นหลักมาเผาที่อุณหภูมิสูง แล้วพรมด้วยน้ำให้ชุ่ม ปูนจะแตกร่วนออกมาเอง ทำให้ประหยัดค่าบดและได้น้ำหนักเพิ่มขึ้น

คุณสมบัติของปูนกลุ่มไฮดรอกไซด์

1. จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าพวกคาร์บอเนตแต่น้อยกว่าปูนพวกออกไซด์
2. มีผลต่อค่าคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงคุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

ตารางแสดงคุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตสำหรับอาหาร

Vicron® Food Grade Limestone Calcium Carbonates For Food and Personal Care					
Click here to download the Vicron® FG Family Data Sheet					
Grade	15-15	25-11	41-8	45-3	75-17
Particle Shape	Irregular Rhombohedron	Irregular Rhombohedron	Irregular Rhombohedron	Irregular Rhombohedron	Irregular Rhombohedron
Crystal Habit	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite	Calcite
Median Particle Size, microns	3.5	5.5	8.0	10.0	17.0
Surface Area, meters ² /gram	3.1	1.8	1.3	1.1	1.0
Tapped Density, grams/cm ³	0.99	1.19	1.38	1.40	1.44
Lead, parts per million	< 3 ppm	< 3 ppm	< 3 ppm	< 3 ppm	< 3 ppm

**Note: These are typical values, and should not be used to set specifications*

Food Chemicals Codex Requirements Food Grade Limestone and Calcium Carbonate		
	FCC Limestone	FCC Calcium Carbonate
Calcium Carbonate	> 94.0%	> 98.0%
Acid Insolubles	< 2.5%	< 0.2%
Magnesium and Alkali Salts	< 3.5%	< 1%
Arsenic	< 3mg/kg	< 3mg/kg
Fluoride	< 0.005%	< 0.005%
Heavy Metals (as Pb)	< 0.002%	< 0.002%
Lead	< 3mg/kg	< 3mg/kg
Loss on Drying	< 2.0%	< 2.0%

Food Grade Precipitated Calcium Carbonate (PCC)

	Test Item	Specification
1.	Characteristic	Clean odorless, fine white powder
2.A	Identification (Carbonate, CO_3^{2-})	Effervesce with acids, evolving a colorless gas that when passed into Ca(OH)_2 , produces a white precipitate.
2.B	Identification (Calcium salt, Ca^{2+})	Moistened with HCL, impart a transient yellowish red color to a nonluminous flame
3.	Acid insoluble % \leq	0.2
4.	Loss on drying % \leq	0.5
5.	Barium salt	No green flame
6.	Magnesium and alkali metals % \leq	1.0
7.	Iron % \leq	0.04
8.	Heavy metals % \leq	0.002
9.	Arsenic salt % \leq	0.0003
10.	Fluoride % \leq	0.005
11.	Lead % \leq	0.0003
12.	Mercury % \leq	0.00005
13.	CaCO_3 Content (Dry basis) %	98.0-100.5

Usage: Food grade of Calcium Carbonate has high CaCO_3 content and low impurities, some specifications are superior to those in USP28. In addition some specifications also can be added according to the customers demanding, such as particle size and bulk density, to meet special requests

ตัวอย่างสูตรอาหารสำหรับกุ้งกุลาดำ

วัตถุดิบ	โปรตีน 40% (ลูกกุ้ง 1 เดือนถึง 2 เดือนครึ่ง)	โปรตีน 37% (กุ้ง 2 เดือนครึ่งถึง 3 เดือนครึ่ง)	โปรตีน 33 % (กุ้ง 3 เดือนครึ่งถึง จับขาย)
ปลาป่น (60 %โปรตีน)	42 %	38 %	30 %
ปลาหมึกป่น/ตับปลา หมึก ป่น	5 %	5 %	5 %
หัวกุ้งป่น	10 %	10 %	10%
กากถั่วเหลือง	10 %	12 %	14 %
แป้งสาลี	16 %	12 %	8 %
ปลายข้าว	-	7 %	15 %
หวิดกลูเตน (Wheat gluten)	6 %	6 %	6 %
ยีสต์	5 %	5 %	0.5 %
น้ำมันพืช	1 %	2 %	4 %
น้ำมันปลา/น้ำมันตับ ปลาหมึก	2 %	1 %	1 %
เล เซิติน	2 %	1 %	1 %
วิตามินแร่ธาตุรวม	0.5-1 % (หรือ ตามที่ระบุข้างถุง)	0.5-1 % (หรือตามที่ ระบุข้างถุง)	0.5-1 % (หรือตามที่ ระบุข้างถุง)
สไป รุไลน่า	0.1 %	0.1 %	0.1 %
ราคา/ก.ก. (บาท) : ไม่รวม ค่าวิตามินแร่ธาตุรวม สไป รุไลน่า และเลเซิติน	24.09	22.67	21.76

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นายถิรเจต ไตรรอด

วัน เดือน ปี : 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529

สถานที่เกิด : กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก : 43/4 หมู่ 6 ถ. ทวีวัฒนา แขวงทวีวัฒนา

เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10170

โทรศัพท์ : 02-441-3587 , 086-607-0972

การศึกษา

:

ระดับการศึกษา สถานศึกษา/จังหวัด เดือนปีที่สำเร็จการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนวมวิทาลัย มีนาคม/พ.ศ.2543

มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมวิทาลัย มีนาคม/พ.ศ.2546

ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พฤษภาคม/พ.ศ.2550

ปัจจุบันได้เข้ารับการศึกษาคู่ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
ทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย