



การใช้ซีเถ้าเป็นวัสดุตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน

**Utilization of Ash as a Media in Separation Process of
Oil Palm Kernels and Shells**

อาริษา เรืองมี

Arrisa Ruangmee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้เชื้อเต้าเป็นวัสดุตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน
ผู้เขียน นางสาวอาริษา เรืองมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญาณุช แสงวิเชียร)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ภูริระวณิชกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญาณุช แสงวิเชียร)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม แยมแสงสังข์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน
ผู้เขียน	นางสาวอาริษา เรืองมี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชีวมวล ได้แก่ ขี้เถ้าไยปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา มาใช้เป็นวัสดุตัวกลางเพื่อทดแทนดินขาวในกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ซึ่งได้ศึกษาผลของความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอชของสเลอรี ต่อประสิทธิภาพการแยก เมื่อบดเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.04 และ 1.23 ตามลำดับ จากการทดลองระดับห้องปฏิบัติการพบว่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และพีเอช มีผลต่อการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน จาก สเลอรีดินขาวที่สัดส่วนโดยมวลของดินขาวแห้งต่อน้ำเป็น 0.25:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่าพีเอชเท่ากับ 9.23 และค่าความหนืดเท่ากับ 3.5 cP สามารถแยกเมล็ดในกลับคืนได้ 99.79% สัดส่วนโดยมวลที่เหมาะสมที่สุดของขี้เถ้าไยปาล์มแห้งต่อน้ำเท่ากับ 0.35:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.06 ค่า pH เท่า 10.05 และค่าความหนืดเท่ากับ 19 cP แยกเมล็ดในได้ 95.82% และสัดส่วนโดยมวลที่เหมาะสมที่สุดของขี้เถ้าไม้ยางพาราแห้งต่อน้ำเท่ากับ 0.3:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.12 ค่าพีเอชเท่ากับ 12.39 และค่าความหนืดเท่ากับ 12 cP สามารถแยกเมล็ดในได้ 97.65% ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถนำขี้เถ้ามาเป็นวัสดุตัวกลางแขวนลอยเพื่อทดแทนดินขาวได้ เนื่องจากสามารถแยกเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้ปริมาณสูงในระดับที่อุตสาหกรรมยอมรับได้

เมื่อศึกษาในอุปกรณ์ระดับต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันต่อระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างสเลอรีที่เตรียมจากดินขาว ขี้เถ้าไยปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่าช่วงเวลาเริ่มต้นประสิทธิภาพการแยกโดยใช้วัสดุตัวกลางขี้เถ้าจะมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง แต่เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุตัวกลางจะลดลงเร็วกว่าการใช้ดินขาว โดยเฉพาะสเลอรีที่เตรียมจากขี้เถ้าไม้ยางพารา ดังนั้น เนื่องจากสเลอรีของขี้เถ้าไม้ยางพารามีค่าพีเอชที่สูงมาก และประสิทธิภาพการแยกลดลงรวดเร็ว โดยภาพรวมแล้วขี้เถ้าไยปาล์มจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนดินขาวมากกว่าขี้เถ้าจากไม้ยางพารา

Thesis Title	Utilization of Ash as a Media in Separation Process of Oil Palm Kernels and Shells
Author	Miss Arrisa Ruangmee
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2009

Abstract

The objective of this research is to investigate the possibility of using biomass such as palm-ash and rubberwood-ash as a substitute for kaolinite (clay) in the separation process of oil palm kernels from shells by heavy media separation (HMS) method. The effects of specific gravity (SG), viscosity and pH of the slurry on the efficiency of the operation were studied. It was found that the specific gravity of oil palm kernels and shells were 1.04 and 1.23 respectively. Generally, the ratio by weight of dry kaolinite to water was 0.25:1, while the specific gravity, pH and viscosity of the slurry produced were 1.14, 9.23 and 3.5 cP, respectively. Under these conditions, the kernel recovery rate was 99.79%. On the other hand, the optimum separation conditions using palm-ash were 0.35:1 dry biomass to water ratio by weight which produced a slurry specific gravity of 1.06, a pH of 10.05 and viscosity of 19 cP. This condition produced a kernel yield of 95.82%. In the case study of using dry rubberwood-ash to water at a 0.3:1 weight ratio, it was found that the slurry specific gravity, pH and viscosity of slurry were 1.12, 12.39 and 12 cP, respectively. This condition produced a kernel recovery rate of 97.65%. Consequently, both types of biomass are efficient substitutes for kaolinite in the separation process producing an acceptable percent recovery and purity of the kernels.

For the study of oil palm shells and kernels separation in a pilot clay bath, the efficiency of separation versus time was investigated. It was found that the efficiency of oil palm kernel recovery by biomass slurry was closed to the efficiency of its recovery by kaolinite slurry. However, the efficiency of the separation process of oil palm kernel from its shell decreased as time increased, especially for the rubberwood-ash slurry. Therefore, palm-ash was found to be a more suitable substituting media for kaolinite.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญาบุช แสงวิเชียร ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งให้กำลังใจและวิธีการแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราม เข้มแสงสังข์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ภูริระวณิชย์กุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ที่ให้ความกรุณาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการและติดต่อประสานงานกับทางโรงงาน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ไกรวิทย์ เศรษฐวิช ซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลและคำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยตลอดทั้งโครงการ รวมทั้งการสนับสนุนให้มีการพัฒนาองค์ความรู้ในสถาบันการศึกษาโดยการร่วมกับ บริษัท โมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด ในการวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ในระดับอุตสาหกรรม

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาวที่คอยเป็นกำลังใจมาตลอด ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ คณะเจ้าหน้าที่ และภาควิชาชีพวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนในการช่วยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

อาริษา เรืองมี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(11)
คำย่อ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ผลของปาล์มน้ำมัน	3
2.2 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบ	4
2.3 ซี้ได้จากเส้นใยของปาล์มน้ำมัน	6
2.4 ซี้ได้จากไม้ยางพารา	7
2.5 สารแขวนลอย	7
2.6 ความถ่วงจำเพาะ	8
2.7 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ	8
2.8 หลักการของ HMS (Heavy Media Separation)	11
2.9 ความหนืด	12
2.10 สารช่วยกระจายตัว	13
2.11 สิ่งปนเปื้อน	13
2.12 พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแยก	13
2.13 สักยชีต้า	14
	(6)

เรื่อง	หน้า
2.14 ร้อยละความชื้นตามมาตรฐาน AOAC	16
2.15 เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันขนาดต้นแบบ	17
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	24
3.1 วัสดุและสารเคมี	24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	26
3.3 ขอบเขตของงานวิจัย	29
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	29
4. ผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุตัวกลาง	36
4.2 ผลการศึกษาความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน	40
4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของสเลอรี่ต่อประสิทธิภาพการแยกกะลาและเมล็ดในปาล์มน้ำมัน	42
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันในระดับ pilot scale	51
4.5 มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์	68
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก	79
ประวัติผู้เขียน	146

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ผลผลิตของปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545-2547	6
2-2 วัตถุดิบหลักที่ใช้ขึ้นเถ้าไม่ยางพารา	7
4-1 ผลการวิเคราะห์ทางแร่วิทยาของวัสดุตัวกลางด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer	36
4-2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลางด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer	38
4-3 ปริมาณร้อยละความชื้นของวัสดุตัวกลางที่ใช้เตรียมสเลอรี	40
4-4 ความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน	41
4-5 มาตรฐานการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ออกจากเครื่องแยกในโรงงานอุตสาหกรรม	52
4-6 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยในเวลา 4 ชั่วโมง ของวัสดุตัวกลางชนิดต่าง ๆ ตามสัดส่วนที่ใช้ในการทดลองระดับ pilot scale	67
4-7 ค่าประมาณทางเศรษฐศาสตร์กรณีใช้ขี้เถ้าทดแทนดินขาว โดยเทียบสัดส่วนของวัสดุตัวกลางจากปริมาณดินขาวที่โรงงานใช้โดยเฉลี่ยต่อ 1 วัน	69
5-1 สรุปเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ระยะเวลาในการใช้งาน ของการใช้ดินขาว ขี้เถ้าไยปาล์ม และขี้เถ้าไม่ยางพารา เป็นวัสดุตัวกลางในการเตรียมสเลอรีสำหรับใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน	73
ข-1 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง	88
ข-2 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไยปาล์ม	89
ข-3 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไม่ยางพารา	90
ข-4 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไยปาล์มร่วมกับดินขาว	91
ข-5 ผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไม่ยางพาราร่วมกับดินขาว	92
ข-6 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว	93
ข-7 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำ 0.4:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว	93

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-8 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยปาล์ม ต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว	94
ข-9 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยยางพารา ต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว	94
ข-10 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยยางพารา ต่อน้ำ 0.25:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว	95
ข-11 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว	95
ข-12 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยปาล์ม ต่อน้ำ 0.4:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว	96
ข-13 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยปาล์ม ต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว	96
ข-14 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยยางพารา ต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว	97
ข-15 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจีไถ้ไยยางพารา ต่อน้ำ 0.25:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว	97
ข-16 แสดงการทดลองซ้ำโดยใช้สภาวะที่มีการแยกกะลาและเมล็ดในปาล์มน้ำมัน ได้ค่อนข้างดี	98
ข-17 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้ สารช่วยกระจายตัว $(\text{NaPO}_3)_6$ 0.5 %ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง	100
ข-18 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้ สารช่วยกระจายตัว Na_2SiO_3 0.5 %ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง	101
ข-19 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้ สารช่วยกระจายตัว $(\text{NaPO}_3)_6$ 0.25 %ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง	102

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-20 แสดงผลการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้สารช่วยกระจายตัว Na_2SiO_3 0.25 %ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง	103
ค-1 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ดินขาวซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1	104
ค-2 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไยปาล์มซึ่งมีสัดส่วนระหว่างขี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1	106
ค-3 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราซึ่งมีสัดส่วนระหว่างขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1	108
ค-4 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไยปาล์มร่วมกับดินขาวซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวผสมขี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.30:1	110
ค-5 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราร่วมกับดินขาวซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1	112
ค-6 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25%ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว	114
ค-7 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำ 0.35:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25%ของน้ำหนักขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว	116
ค-8 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.30:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25%ของน้ำหนักขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว	118
ค-9 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.30:1 เมื่อมี H_2SO_4 เข้มข้น 98%weight เป็นสารปรับค่าพีเอช	120

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2-1 ลักษณะของผลปาล์มน้ำมัน	4
2-2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	5
2-3 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของสารแขวนลอยโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์	9
2-4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งไม่ละลายน้ำ	9
2-5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่เบาหรือน้ำและไม่ละลายน้ำ	10
2-6 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ และไม่ละลายน้ำ	11
2-7 การแยกของแข็งสองชนิดโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ	12
2-8 ลักษณะของศักร์ซีต้า	15
2-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับศักร์ซีต้า	15
2-10 ลักษณะของใบพัดกวนแบบต่าง ๆ	18
2-11 ลักษณะของเซนติฟูกอลบีบบแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนบีบบมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว	18
2-12 ลักษณะของใบพัดของบีบบเซนติฟูกอล	19
3-1 เมล็ดปาล์มน้ำมัน (Palm seeds)	24
3-2 กะลาปาล์มน้ำมัน (Palm shells)	25
3-3 เมล็ดในปาล์มน้ำมัน (Palm kernels)	25
3-4 ลักษณะของดินขาว จีเถ้าไยปาล์มและจีเถ้าไม้อย่างพารา	25
3-5 เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มแบบ Pilot Scale	27
3-6 ตะแกรงในถังเก็บสำหรับรับเมล็ดในและกะลาปาล์มที่แยกได้	28
3-7 แผนผังอุปกรณ์สำหรับแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มแบบ Pilot Scale	28
4-1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของวัสดุตัวกลางดินขาว จีเถ้าไยปาล์มและจีเถ้าไม้อย่างพารา	39
4-2 ลักษณะของเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่มีขนาดต่างกันสามขนาด	41
4-3 ลักษณะของกะลาปาล์มน้ำมันที่มีขนาดแตกต่างกันสามขนาด	42
4-4 ลักษณะของกะลาปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะเป็นสีดำและสีขาว	42

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีจากดินขาวที่สัดส่วนต่าง ๆ	43
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวที่สัดส่วนต่าง ๆ	44
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซี่ไถปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ	45
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซี่ไถปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ	45
4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซี่ไถไม่ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ	46
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซี่ไถไม่ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ	47
4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซี่ไถปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ	48
4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซี่ไถปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ	48
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซี่ไถไม่ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ	49
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซี่ไถไม่ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ	50
4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง	53
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง	53
4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซี่ไถปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง	54

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ซีเถ้าไยปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง	54
4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ซีเถ้าไม้อย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลาง	55
4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ซีเถ้าไม้อย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลาง	56
4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ดินขาวผสมซีเถ้าไยปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง	57
4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ดินขาวผสมซีเถ้าไยปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง	57
4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ดินขาวผสมซีเถ้าไม้อย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลาง	58
4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลา เมื่อใช้ดินขาวผสมซีเถ้าไม้อย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลาง	59
4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็น วัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 25% ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว	60
4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็น วัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 25% ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว	60
4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซีเถ้าไยปาล์ม เป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักซีเถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว	61
4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซีเถ้าไยปาล์ม เป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักซีเถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว	61
4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซีเถ้าไม้อย่างพารา เป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักซีเถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว	62
4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซีเถ้าไม้อย่างพารา เป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักซีเถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว	63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี H ₂ SO ₄ เข้มข้น 98%weight เป็นสารช่วยปรับค่าพีเอช	64
4-32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี H ₂ SO ₄ เข้มข้น 98%weight เป็นสารช่วยปรับค่าพีเอช	64
4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้วัสดุตัวกลางขี้เถ้าเปรียบเทียบกับดินขาว	65
4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้เมื่อใช้วัสดุตัวกลางขี้เถ้าเปรียบเทียบกับดินขาว	66
ก-1 แผนภาพองค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง XRFS ชนิด Wavelength Dispersive System	81
ก-2 แผนภาพองค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง XRFS ชนิด Energy Dispersive System	82
ก-3 การทำงานของ X-Ray Diffractometer	84
จ-1 เครื่องวัดความหนืดชนิด Brookfield viscometer	135
จ-2 เครื่องวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาควัสดุตัวกลาง	135
จ-3 เตาอบ	135
จ-4 การแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยการทดลองระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ดินขาวขี้เถ้าไม้ยางพารา และขี้เถ้าไยปาล์ม	136
จ-5 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีที่เตรียมจาก ดินขาว ขี้เถ้าไม้ยางพารา และขี้เถ้าไยปาล์ม	136
จ-6 การวัดค่าพีเอชของสเลอรีที่เตรียมจาก ดินขาว ขี้เถ้าไม้ยางพารา และขี้เถ้าไยปาล์ม	136
จ-7 การวัดค่าความหนืดของสเลอรีที่เตรียมจาก ดินขาว ขี้เถ้าไม้ยางพารา และขี้เถ้าไยปาล์ม	137
จ-8 การแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยการทดลองระดับ pilot scale โดยใช้ดินขาวขี้เถ้าไม้ยางพารา และขี้เถ้าไยปาล์ม	137
จ-9 การแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยการทดลองระดับ pilot scale โดยใช้ดินขาวผสมขี้เถ้าไม้ยางพารา และดินขาวผสมขี้เถ้าไยปาล์ม	137
จ-10 ลักษณะฟองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลาง	138
จ-11 กากของขี้เถ้าไยปาล์มตกออกหลังจากใส่ขี้เถ้าลงในน้ำแล้ว	138

คำย่อ

AOAC	=	Association of Official Agricultural Chemists
CPO	=	Crude Palm Oil
HMS	=	Heavy Media Separation
PA	=	Palm Ash
SG.	=	Specific Gravity
XRD	=	X-ray diffractometer
XRF	=	X-ray fluorescence spectrometer

คำนิยาม

- วัสดุตัวกลาง = ของแข็งที่ใช้เตรียมเลอริ เช่น ดินขาว ใยไผ่ปาล์ม และใยไม้อย่างพารา
สเลอริ = สารตัวกลางหรือสารแขวนลอยซึ่งเตรียมจากของแข็งผสมน้ำ ใช้ในการแยก
เมล็ดในกับกะลาปาล์ม
สารแขวนลอย = สารผสมตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยมีของแข็งลอยอยู่ในของเหลว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

จากความต้องการพลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานได้พิภพ ทำให้ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากให้ปริมาณน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ซึ่งในประเทศไทยมีการปลูกทั้งในภาคใต้และภาคตะวันออก โดยมีการปลูกมากที่สุดในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสตูล ผลปาล์มจะสามารถให้น้ำมันได้ 2 ส่วน คือ จากส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มภายนอกให้น้ำมันได้ประมาณร้อยละ 16-25 ของน้ำหนักทะลาย และจากเนื้อในของเมล็ดประมาณร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักทะลาย โดยเฉลี่ยแล้วปาล์ม 1 ผลจะมีน้ำมันจากเปลือกปาล์ม 9 ส่วนและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม 1 ส่วน

องค์ประกอบของน้ำมันจากเปลือกของปาล์ม (Crude Palm Oil) ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ประมาณร้อยละ 52 และกรดไขมันอิ่มตัว ร้อยละ 48 ดังนั้น จึงต้องนำน้ำมันดิบผ่านกรรมวิธีแยกกรดไขมันทั้งสองออกจากกัน ส่วนที่เป็นน้ำมันไม่อิ่มตัวนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ใช้ปรุงอาหาร ทำเนยเทียม เนยขาวเป็นส่วนผสมของนมข้นหวาน ไอศกรีม และขนมอีกหลายชนิด รวมทั้งใช้เป็นส่วนผสมในไบโอดีเซลด้วย ส่วนที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวจะนำไปทำ สบู่ ผงซักฟอก และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนน้ำมันจากเนื้อในของเมล็ดปาล์ม (Crude Palm Kernel Oil) ประกอบด้วยน้ำมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85-90 ทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภค จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่ เครื่องสำอาง ผงซักฟอก อุตสาหกรรมสี และเรซิน เป็นต้น[1]

การจะได้น้ำมันจากส่วนที่เป็นเมล็ดในของปาล์มน้ำมันออกมานั้นจะต้องนำเมล็ดของปาล์มน้ำมันจากผลปาล์มที่ผ่านการบีบน้ำมันออกจากส่วนที่เป็นเปลือกนอกก่อนแล้ว จึงนำไปผ่านกระบวนการกะเทาะเพื่อให้เมล็ดแตกออก แล้วนำมาแยกเมล็ดใน (kernel) กับกะลา (shell) ออกจากกัน เนื่องจากเมล็ดในปาล์มเป็นส่วนที่มีน้ำมัน ประมาณ 1 ใน 10 ส่วน แต่ส่วนที่เป็นกะลาจะมีน้ำมันน้อยมาก (ต่ำกว่าร้อยละ 0.7) จึงไม่คุ้มค่ากับการนำมาแยกเอาน้ำมัน กะลาปาล์มส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง และใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มมี 2 วิธี คือ กระบวนการแบบแห้ง และกระบวนการแบบเปียก[2] ซึ่งกระบวนการแบบเปียกเป็นกระบวนการแยกโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะระหว่างเมล็ดในปาล์มน้ำมันกับ

ความถ่วงจำเพาะของกะลาปาล์มน้ำมัน ในปัจจุบันนิยมใช้ดินขาวเป็นตัวกลาง (media) ในการแยก แต่เนื่องจากดินขาวมีราคาค่อนข้างสูง และกระบวนการแยกต้องใช้ในปริมาณที่มาก จึงต้องการหาวัสดุอื่นที่สามารถนำมาทดแทนดินขาวได้ โดยยังคงมีประสิทธิภาพการแยกเทียบเท่ากับการใช้ดินขาว

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันทดแทนดินขาว โดยเน้นการนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ คือ “ขี้เถ้าไยปาล์ม” เนื่องจากขี้เถ้าไยปาล์มเป็นวัสดุเหลือใช้จากการนำเส้นใยปาล์มมาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อน้ำ (boiler) ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ และหากนำไปขายราคาที่ได้ก็ค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ขี้เถ้าไยปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบแล้วก็ยังสนใจศึกษาเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอื่น คือ “ขี้เถ้าจากไม้ยางพารา” ซึ่งเป็นขี้เถ้าที่ได้จากการนำไม้ยางพาราไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบยางพาราหรือยางรมควัน ทั้งนี้ก็เพื่อนำวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเพื่อลดต้นทุนจากการซื้อดินขาวมาใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุตัวกลาง (media) ในการแยกเมล็ดในและกะลาของปาล์มน้ำมันด้วยวิธีการ Heavy Media Separation (HMS)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุตัวกลาง (media) ในการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้ โดยที่ยังคงมีประสิทธิภาพการแยกเทียบเท่ากับการใช้ดินขาว
2. สามารถใช้สารกระจายตัวเพิ่มประสิทธิภาพของสเลอรีในการใช้แยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้
3. เพื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

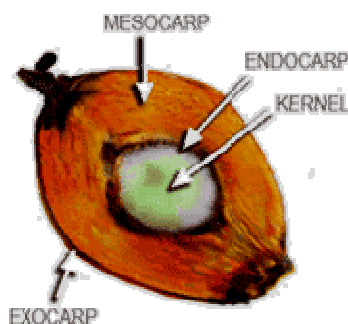
2.1 ผลของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันในแต่ละทะลายมีปริมาณผลร้อยละ 45-70 ผลปาล์มน้ำมันจะไม่มีก้านผล (sessile drup) รูปร่างมีหลายแบบ ตั้งแต่รูปรียาวแหลมจนถึงรูปไข่หรือรูปยาวรี ความยาวผลอยู่ระหว่าง 2-5 เซนติเมตร น้ำหนักผลมีตั้งแต่ 3 กรัม จนถึงประมาณ 30 กรัม ประกอบด้วยผิวเปลือกนอก (exocarp) ชั้นเปลือกนอก (mesocarp) เป็นเนื้อเยื่อเส้นใย สีส้มแดงเมื่อสุกและมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ ปาล์มน้ำมันที่ปลูกเป็นการค้าโดยทั่วไปพบว่ามีสีผลที่ผิวเปลือกนอก 3 ลักษณะ คือ แบบที่ 1 เมื่อผลดิบเป็นสีเขียว จะเปลี่ยนเป็นสีส้มเมื่อสุก (light reddish-orange) เรียกลักษณะนี้ว่า virescens แบบที่ 2 เรียกว่า nigrescens ผลดิบมีสีดำ ปลายผลมีสีงาช้างจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อสุกแล้ว (deep reddish-orange) แบบที่ 3 เรียกว่า albescens มีสีผิวเปลือกเมื่อสุกเป็นสีเหลืองซีด โดยทั่วไปพบน้อยมาก ผลปาล์มน้ำมัน *Elaeis guineensis* Jacq. อาจปรากฏว่าต้นปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะของผลแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากยีนควบคุมความหนาของกะลา 1 คู่ (single gene) จำแนกลักษณะผล (fruit type) ได้ 3 แบบ ดังนี้

1. ดุรา (Dura) มีกะลาหนา 2-8 มิลลิเมตร และไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกบาง 35-60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล มียีนควบคุมเป็นลักษณะเด่น (dominant)
2. เทเนอรา (Tenera) มีกะลาบาง ตั้งแต่ 0.5-4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกมาก 60-90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล ลักษณะเทเนอราเป็นพันธุ์ทาง (heterozygous) เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างลักษณะดูรากับพิสิเฟอรา
3. พิสิเฟอรา (Pisifera) ยีนควบคุมลักษณะผลแบบนี้เป็นลักษณะด้อย (recessive) ลักษณะผลไม่มีกะลาหรือมีกะลาบาง มีข้อเสีย คือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (abortion) ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็ก เนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตทะลายต่อต้นมาก ไม่นำมาปลูกเพื่อการค้า การที่มีต้นพิสิเฟอราปรากฏในสวนปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราที่ปลูกเพื่อการค้า เป็นตัวบ่งชี้ว่าเมล็ดพันธุ์ปาล์มน้ำมันนั้น มาจากแหล่งผลิตที่มีการผลิตลูกผสมที่ไม่ได้มาตรฐาน ช่อดอกตัวเมียมี 2 ลักษณะ คือ female fertile และ female infertile มัก

พบว่าต้นพิติเฟอราที่มีการพัฒนาของผลมาจากช่อดอกแบบ female infertile จะมี ทะลายฝ่อและลำต้นใหญ่มาก ส่วนลักษณะ female fertile พบว่าอาจมีเนื้อในขนาดเล็ก ปรากฏในบางผล[3]

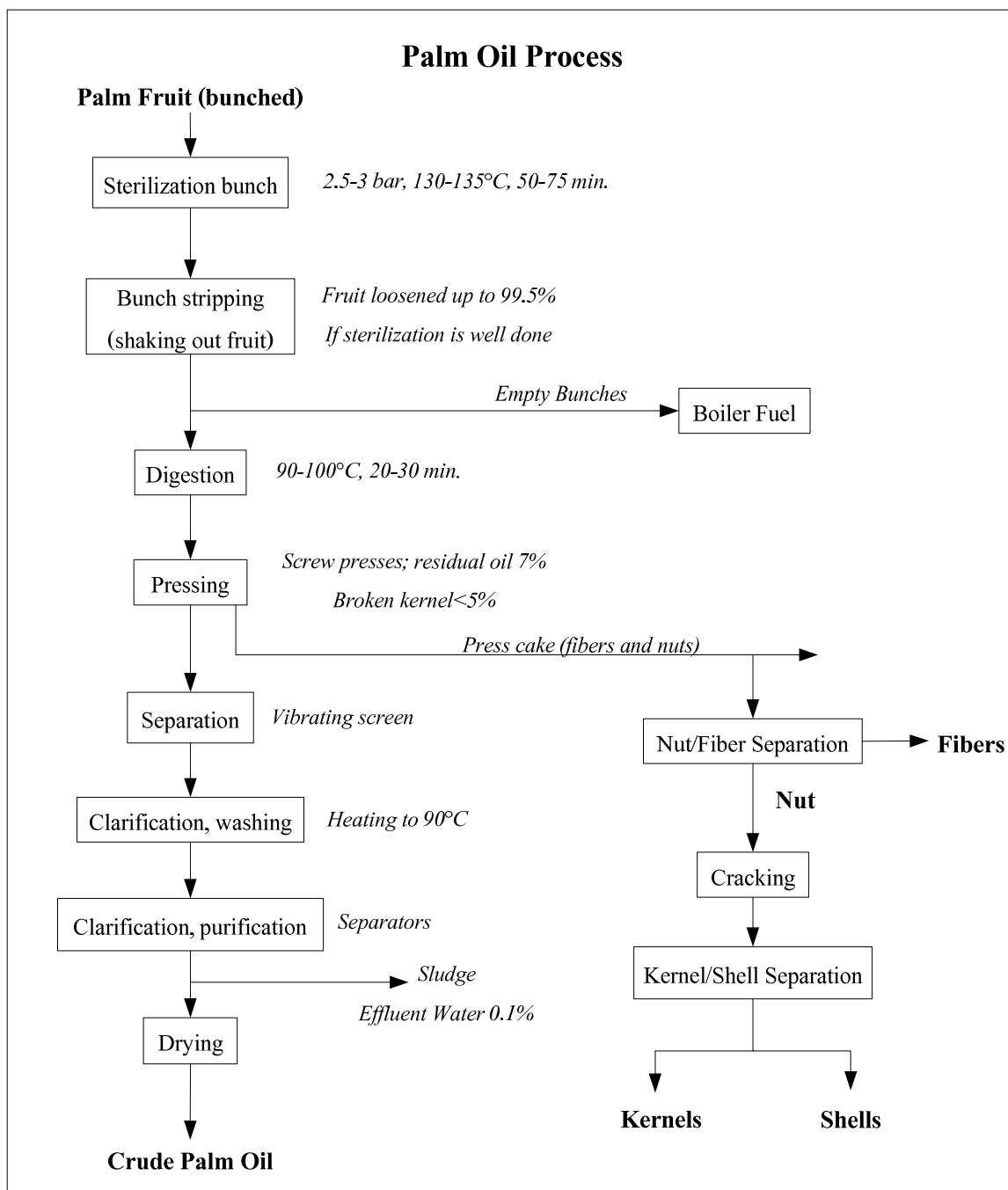
ผลของปาล์มน้ำมันสามารถให้น้ำมันได้ 2 ชนิด คือ น้ำมันจากเนื้อและแก่นของเมล็ดปาล์ม โดยเนื้อปาล์มจะประกอบไปด้วยเปลือกนอก (exocarp) และไฟเบอร์น้ำมัน (mesocarp) ซึ่งมีน้ำมันปาล์ม 40-60% และน้ำ 35-45% ส่วนเนื้อที่อยู่ด้านในสุกรอบ ๆ กะลาที่มีลักษณะเป็นไม้ (endocarp) จะประกอบไปด้วยแก่นแข็ง ๆ หรือเมล็ดใน (kernel) ซึ่งน้ำมันจากแก่นของปาล์มน้ำมันที่มีอยู่ ประมาณ 45-50% นี้จะมีความแตกต่างจากน้ำมันปาล์มในส่วนที่เป็นน้ำมันจากเปลือกนอก แต่จะ คล้ายคลึงกับน้ำมันมะพร้าว[4] โดยน้ำมันจากเมล็ดในจะมีปริมาณไขมันอิ่มตัวค่อนข้างสูงกว่า น้ำมันจากเปลือกนอก



ภาพประกอบที่ 2-1 ลักษณะของผลปาล์มน้ำมัน[4]

2.2 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมี 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบ น้ำมันผสม โดยโรงงานแบบมาตรฐานเป็นโรงงานที่มีกำลังผลิตสูง ประมาณ 30-80 ตัน/ชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันระหว่างน้ำมันจากเปลือก นอกกับน้ำมันจากเมล็ดในของปาล์ม สำหรับโรงงานแบบหีบน้ำมันผสมเป็นโรงงานที่มีกำลังผลิต ค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบจากเปลือกนอกและน้ำมัน เมล็ดในปาล์ม ดังนั้นวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือ การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ แบบมาตรฐาน แสดงดังภาพประกอบที่ 2-2 [5]



ภาพประกอบที่ 2-2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ[5], [6]

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเริ่มจากการนำผลปาล์มสดทั้งทะลายไปเข้าเครื่องนึ่งด้วยไอน้ำ (sterilization) ประมาณ 75 นาที หลังจากทำการนึ่งแล้วก็นำมาผ่านเครื่องนวดกวนเพื่อแยกทะลายออกจากผลปาล์ม ผลปาล์มที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่หม้อกวน เมื่อผ่านการกวนจนนุ่มหรือละลายแล้ว

ก็จะถูกป้อนเข้าเครื่องหีบน้ำมันปาล์มขั้นตอนนี้จะทำให้ได้น้ำมันดิบ (Crude Palm Oil) และทำให้เส้นใยกับเมล็ด (nut) แยกออกจากกัน ส่วนที่เป็นน้ำมันดิบจะถูกส่งเข้าเครื่องกรองแยกน้ำมันและเข้าสู่ถังเก็บน้ำมันดิบ ในส่วนของเมล็ดที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือก จะถูกนำเข้าเครื่องกะเทาะหรือไซโลขบเมล็ด (cracking) เพื่อให้กะลา (shell) แยกออกจากเมล็ดใน (kernel) เมล็ดในกับกะลาที่ยังผสมกันอยู่จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการแยกเมล็ดในออกจากกะลา ด้วยตัวกลางที่ใช้หลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ โดยเรียกวิธีนี้ว่า Heavy Media Separation ระหว่างเมล็ดในและกะลา เพื่อแยกเมล็ดในแล้วนำไปเข้ากระบวนการบีบน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม (Crude Palm Kernel Oil) ต่อไป[7] ส่วนกะลาจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงาน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า หรือใช้ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

2.3 จี้เถ้าจากเส้นใยของปาล์มน้ำมัน

จี้เถ้าจากเส้นใยของปาล์มน้ำมัน เป็นกากของเหลือที่ได้จากการนำเส้นใยและกะลาของปาล์มน้ำมันหลังจากบีบน้ำมันออกแล้ว นำไปแยกส่วนที่เป็นเส้นใยกับเมล็ดออกจากกัน โดยส่วนที่เป็นเส้นใยกับกะลาจะถูกนำไปสู่หม้อน้ำ (boiler) เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ ซึ่งหลังจากการเผาเส้นใยของปาล์มก็จะได้จี้เถ้าออกมา เรียกว่า จี้เถ้าปาล์ม (palm ash: PA) เป็นจี้เถ้าลอยหรือจี้เถ้าเบา (fly ash)[8] มีลักษณะสีดำ มีน้ำหนักเบา โดยหลังจากนำเศษวัสดุปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อ

ตารางที่ 2-1 ผลผลิตของปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545-2547

ผลผลิต/ปี	2545	2546	2547	2548	2549
เนื้อที่ให้ผลผลิต (ไร่)	1,643,861	1,799,393	1,935,092	2,004,164	2,150,735
ผลผลิต (ตัน)	4,001,376	4,902,575	5,181,797	5,002,670	5,657,892
ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	2,434	2,725	2,678	2,496	2,631
ประมาณปริมาณเถ้า (ตัน)	84,029	102,954	108,818	105,056	118,815

หมายเหตุ: ปี พ.ศ. 2548-2549 พยากรณ์การผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร[9]

ผลิตพลังงานแล้วจะเหลือเถ้าออกมาประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งประโยชน์ของจี้เถ้าปาล์มมีน้อยมากและการจัดการควบคุมก็เป็นไปได้ยาก ส่วนใหญ่ก็จะนำไปใช้ในการถมที่ซึ่งทำให้

เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาอื่น ๆ ตามมา[10] ซึ่งการปลูกปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้เหลือกากปาล์มน้ำมันในปริมาณมหาศาลตามด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2-1 [9]

2.4 ขี้เถ้าจากไม้ยางพารา

ขี้เถ้าจากไม้ยางพารา (rubberwood ash) เป็นขี้เถ้าที่ได้จากการนำไม้ยางพาราไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบยางในโรงงานยางรม โดยขี้เถ้าที่ได้เป็นขี้เถ้าหนัก (bottom ash) จะมีลักษณะสีครีม ซึ่งเศษไม้ยางพาราที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงจะได้เถ้าประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2-2 วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ขี้เถ้าไม้ยางพารา

ประเภทไม้	ปริมาณไม้	
	ปริมาตร (ล้าน ลบ.ม.)	น้ำหนัก (ล้านตัน)
ปีกไม้	2.10	1.365
ขี้เฝ้าย	0.90	0.585
ไม้ฟืนโรงรมควันยาง	0.15	0.098

หมายเหตุ: ปริมาณเถ้าไม้ยางพารา 819,200 ตันต่อปี ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร[9]

2.5 สารแขวนลอย (Suspension)

สารแขวนลอยเป็นสารผสมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่อนุภาคของแข็งมีขนาดใหญ่กว่า 1×10^{-4} เซนติเมตร (1 ไมครอน) แขนงลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว มีลักษณะเป็นสารเนื้อผสมที่อนุภาคไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าอนุภาคที่อยู่ในสารแขวนลอยมีขนาดใหญ่มากจะมองเห็นส่วนผสมได้ชัดเจน ซึ่งเมื่อวางทิ้งไว้อนุภาคของสารแขวนลอยจะตกตะกอนออกมา แต่ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กจะกระจายแบบกลมกลืนจนดูเสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอนุภาคนขนาดเล็กจะแขวนลอยอยู่ได้นานกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า อนุภาคของสารแขวนลอยไม่สามารถผ่านกระดาษกรองและกระดาษเซลโลเฟนได้ เช่น ผงถ่านในน้ำ น้ำโคลง น้ำโคลน น้ำส้มคั้น น้ำจิ้มไก่ แป้งมันในน้ำ เป็นต้น[11]

สารตัวกลางหรือสเลอรี (slurry) ที่ใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันนี้จะใช้น้ำผสมกับวัสดุตัวกลางในการเตรียม ซึ่งสเลอรีควรมีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง ความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในกับความถ่วงจำเพาะของกะลาของปาล์มน้ำมันที่ต้องการแยกจึงจะสามารถ

ใช้สเลอรีนี้เป็นสารตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มได้ดีที่สุด แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น ชนิดของวัสดุตัวกลางในการแขวนลอย ขนาดอนุภาคของวัสดุ ความหนืดของสเลอรี สารช่วยกระจายตัว และค่าพีเอช เป็นต้น[7] โดยสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของของแข็งในสเลอรีได้โดย

$$\%solid = 100 \times \frac{\rho_{solid} (\rho_{slurry} - \rho_{liquid})}{\rho_{slurry} (\rho_{solid} - \rho_{liquid})} \quad (1)$$

เมื่อ ρ_{solids} คือ ความหนาแน่นของของวัสดุตัวกลาง (kg/m^3)

ρ_{slurry} คือ ความหนาแน่นของสเลอรี (kg/m^3)

ρ_{liquid} คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)[12]

2.6 ความถ่วงจำเพาะ (SG)

ความถ่วงจำเพาะ คือ สัดส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารหนึ่ง ๆ ต่อความหนาแน่นของน้ำ เมื่อทั้งสองอย่างมีอุณหภูมิเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะเป็นปริมาณที่ไร้มิติ (ไม่มีหน่วย) วัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าหนึ่ง หมายความว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ดังนั้นวัตถุนั้นจะจมน้ำ (โดยไม่นับผลจากแรงตึงผิวของน้ำ) ในทางตรงข้าม หากความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าหนึ่ง วัตถุนั้นจะลอยน้ำ ความถ่วงจำเพาะสามารถแสดงด้วยสมการดังนี้[13]

$$SG = \frac{\rho_{\text{substance}}}{\rho_{H_2O}} \quad (2)$$

เมื่อ $\rho_{\text{substance}}$ คือ ความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)

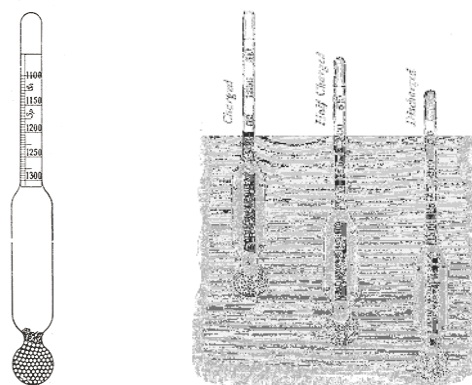
ρ_{H_2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

2.7 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ

- ความถ่วงจำเพาะของสเลอรี

ความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซึ่งเป็นสารแขวนลอยสามารถหาได้โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) วัดแล้วอ่านค่าได้ตามสเกล ซึ่งไฮโดรมิเตอร์ก็มีหลายชนิด โดยสเกลบนไฮโดรมิเตอร์เป็นสิ่งที่บอกชนิดของไฮโดรมิเตอร์ เพราะไฮโดรมิเตอร์แต่ละอันจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัด

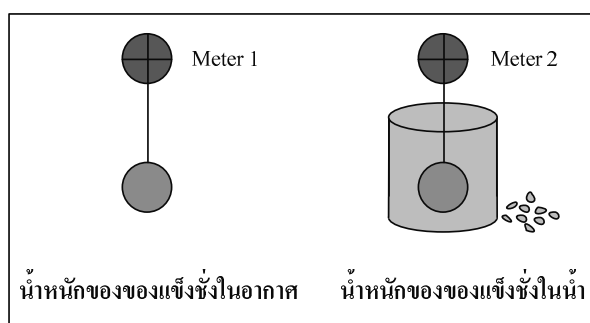
ของเหลว หรือสารแขวนลอย ที่ต่างชนิดกันออกไป[14] การเลือกใช้ไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอยู่กับว่า ต้องการวัดอะไร มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงเท่าไร ก็จะต้องเลือกชนิดของไฮโดรมิเตอร์มาใช้ ให้เหมาะสมกับค่าความถ่วงจำเพาะของสารที่ต้องการวัด



ภาพประกอบที่ 2-3 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของสารแขวนลอยโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์[15]

- ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง

ความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำสามารถหาได้โดยชั่งน้ำหนักของของแข็งนั้น ในอากาศและในน้ำ[16] แล้วสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้



ภาพประกอบที่ 2-4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งไม่ละลายน้ำ

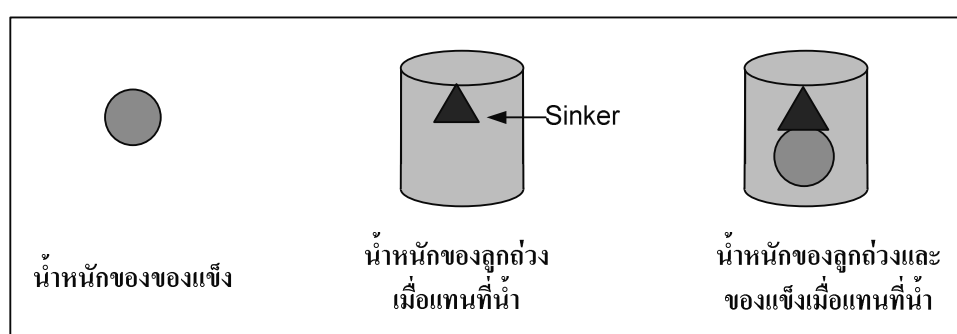
$$\text{ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง} = \frac{A}{A-B} \quad (3)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของของแข็งชั่งในอากาศ (g)

B คือ น้ำหนักของของแข็งซึ่งเมื่อแทนที่น้ำ (g)

A-B คือ น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ (g)

ความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่เบาหรือน้ำและไม่ละลายน้ำหาได้โดยการ ใช้ลูกถ่วง (sinker) ผูกติดกับของแข็งนั้นทำให้ของแข็งจมแทนที่ลงในน้ำ โดยชั่งน้ำหนักของลูกถ่วงเมื่อแทนที่ อยู่ในน้ำและชั่งน้ำหนักของแข็งที่ต้องการหาความถ่วงจำเพาะ ก่อนที่จะนำมาผูกติดกันแล้วทำการ ชั่งน้ำหนักโดยแทนที่น้ำ คำนวณจากสมการดังนี้



ภาพประกอบที่ 2-5 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่เบาหรือน้ำและไม่ละลายน้ำ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง} = \frac{A}{(A+B)-C} \quad (4)$$

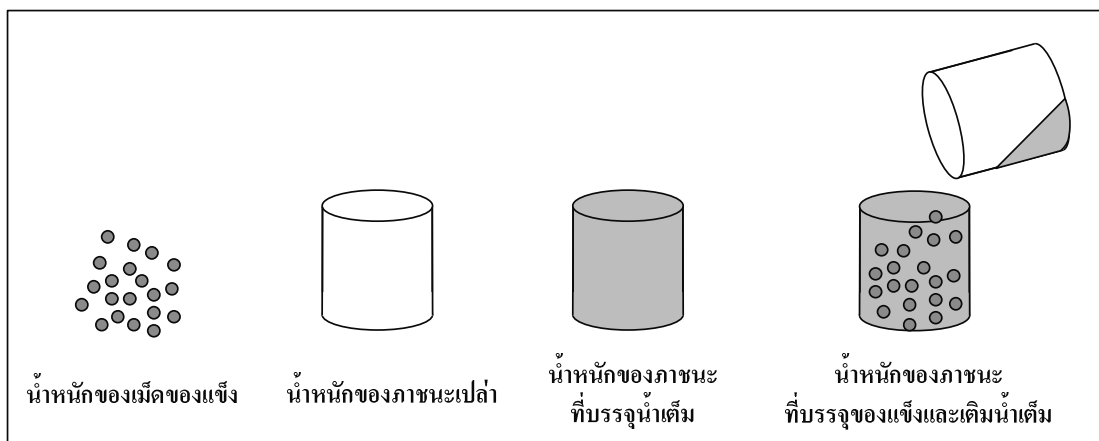
เมื่อ A คือ น้ำหนักของของแข็ง (g)

B คือ น้ำหนักของลูกถ่วงเมื่อแทนที่น้ำ (g)

C คือ น้ำหนักของลูกถ่วงและของแข็งเมื่อแทนที่น้ำ (g)

(A+B)-C คือ น้ำหนักน้ำที่ถูกแทนที่ (g)

ความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ และไม่ละลายน้ำสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักของเม็ดของแข็งนั้นแล้วจึงนำไปแทนที่น้ำ คำนวณจากสมการดังนี้



ภาพประกอบที่ 2-6 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ และไม่ละลายน้ำ

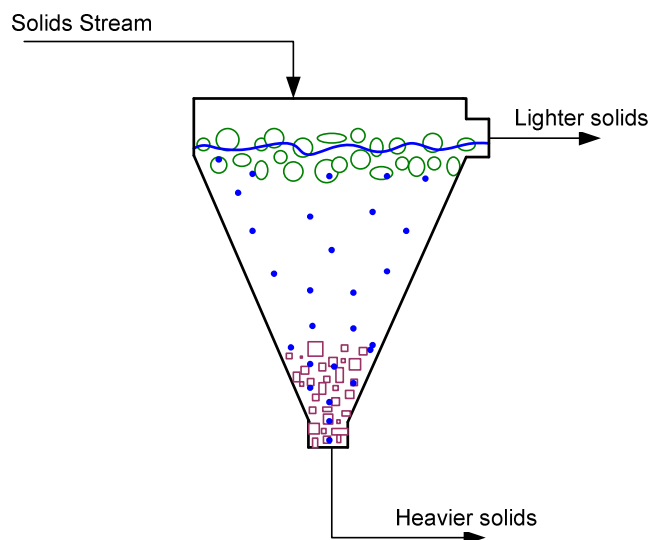
$$\text{ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง} = \frac{A}{[(C-B)+A]-[D-B]} \quad (5)$$

- เมื่อ
- A คือ น้ำหนักของเม็ดของแข็ง (g)
 - B คือ น้ำหนักของภาชนะเปล่า (g)
 - C คือ น้ำหนักของภาชนะที่บรรจุน้ำเต็ม (g)
 - D คือ น้ำหนักของภาชนะที่บรรจุของแข็งและเติมน้ำเต็ม (g)
- [(C-B)+A]-[D-B] คือ น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ (g)

2.8 หลักการของ HMS (Heavy Media Separation)

เป็นกระบวนการแยกทางกายภาพ ที่แยกของแข็งชนิดหนึ่งออกจากของแข็งอีกชนิดหนึ่ง โดยอาศัยความแตกต่างของค่าความถ่วงจำเพาะของของแข็งทั้งสองชนิดนั้น[17] ซึ่งมีตัวกลางเป็นสารแขวนลอยหรือสเลอรีที่มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่างของแข็งทั้งสองชนิด กระบวนการแยกโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่น) เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ และเป็นกระบวนการที่มีต้นทุนค่อนข้างถูก[18] เมื่อนำของแข็งไปใส่ลงในสเลอรีจะทำให้ของแข็งที่หนัก (heavier solids) หรือมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าสเลอรีจม และของแข็งที่เบา (lighter solids) หรือมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าสเลอรีจะลอย[19] เรียกวิธีนี้ว่า Heavy Media Separation ซึ่งหลักการนี้จะไม่เหมาะกับการนำไปแยกของแข็งที่มีค่าความถ่วงจำเพาะที่

ใกล้เคียงกันมาก และไม่เหมาะกับการนำไปแยกของแข็งที่มีความสามารถในการละลายในของเหลว หรือสเลอรีที่ใช้แยก[20]



ภาพประกอบที่ 2-7 การแยกของแข็งสองชนิดโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธี Heavy Media Separation

2.9 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำ จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ[21] อุณหภูมิก็มีผลกับความหนืดมาก โดยที่ความหนืดของของเหลวทุกชนิดจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนความหนืดของแก๊สทุกชนิดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดเป็นสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อ ความเหลว การไหลตัวของของเหลว นอกจากปริมาณของอนุภาคของแข็งในสเลอรีแล้ว ขนาดของอนุภาค ประจุของอนุภาค และรูปร่างของอนุภาคนั้น มีผลต่อความหนืดเช่นกัน พบว่า เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงระยะห่างระหว่างอนุภาคมีค่าต่ำลง ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุล มีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีค่าลดลง ค่าความหนืด จะต่ำกว่า นอกจากนี้การรวมตัวและการกระจายตัวของอนุภาค ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าที่ผิวอนุภาค การดูดซับไอออน และชนิดของไอออนที่กระจายตัวอยู่ในสเลอรีด้วย ดังนั้นนอกจากสเลอรีจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีด้วย[22]

2.10 สารช่วยกระจายตัว (Dispersant)

สารช่วยกระจายตัว เป็นสารเคมีที่ช่วยให้อนุภาควัสดุตัวกลางเกิดการกระจายตัวลอยอยู่ในของเหลวได้นานขึ้น และควบคุมให้เกิดการตกตะกอนน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากตามปกติสเลอรี จะมีอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ แต่อนุภาคจะเกิดการตกตะกอนโดยการจับตัวกัน เพราะประจุที่ผิวของอนุภาคทำให้สเลอรีเกิดความหนืด จึงต้องทำให้อนุภาคแตกตัว เกิดการผลัดออกจากกันเพื่อแก้ไขสมบัติด้านความหนืด และการตกตะกอนให้ดีขึ้น[16] ทั้งนี้เนื่องจากหากสเลอรีตกตะกอนเร็ว จะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันไม่ดี ซึ่งสารช่วยกระจายตัวจะชะลอการตกตะกอนของอนุภาควัสดุตัวกลางในสเลอรีทำให้อนุภาคสามารถแขวนลอยได้นานขึ้น

2.11 สิ่งปนเปื้อน (Contaminant)

สิ่งปนเปื้อน เป็นวัสดุที่ปะปนมากับเมล็ดในและกะลาของปาล์มน้ำมัน อันได้แก่ กรวดทราย เส้นใยปาล์ม และอื่น ๆ ที่อาจมาจากเก็บเกี่ยวจากสวน ซึ่งยังเอาออกไปไม่หมด สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ก็มีผลต่อประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลาง (media) ที่นำมาใช้เตรียมเป็นสเลอรีในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์ม อาจทำให้วัสดุตัวกลางที่ใช้เสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือใช้แยกได้ไม่นานเท่าที่ควรจะเป็น

2.12 พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแยก

- เมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้ (kernel recovery) คือ ปริมาณเมล็ดในที่แยกออกจากกะลาได้

$$\%kernel_{recovery} = \left(\frac{a}{a+b} \right) 100 \quad (6)$$

เมื่อ a คือ ปริมาณของเมล็ดในที่แยกได้ (น้ำหนัก)

b คือ ปริมาณของเมล็ดในที่ปนไปกับกะลาที่แยกได้ (น้ำหนัก)

- สิ่งปนเปื้อนของเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (contaminant_k) เป็นการคำนวณหาปริมาณของสิ่งอื่น ๆ ที่ปนมากับเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้

$$\%contaminant_k = \left(\frac{c}{a+c} \right) 100 \quad (7)$$

เมื่อ c คือ ปริมาณของกะลา และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่ปนมากับเมล็ดในที่แยกได้ (น้ำหนัก)

- กะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้ (shell recovery) คือ ปริมาณกะลาที่แยกออกจากเมล็ดในได้

$$\%shell_{recovery} = \left(\frac{d}{d+e} \right) 100 \quad (8)$$

เมื่อ d คือ ปริมาณของกะลาที่แยกได้ (น้ำหนัก)

e คือ ปริมาณของกะลาที่ปนไปกับเมล็ดในที่แยกได้ (น้ำหนัก)

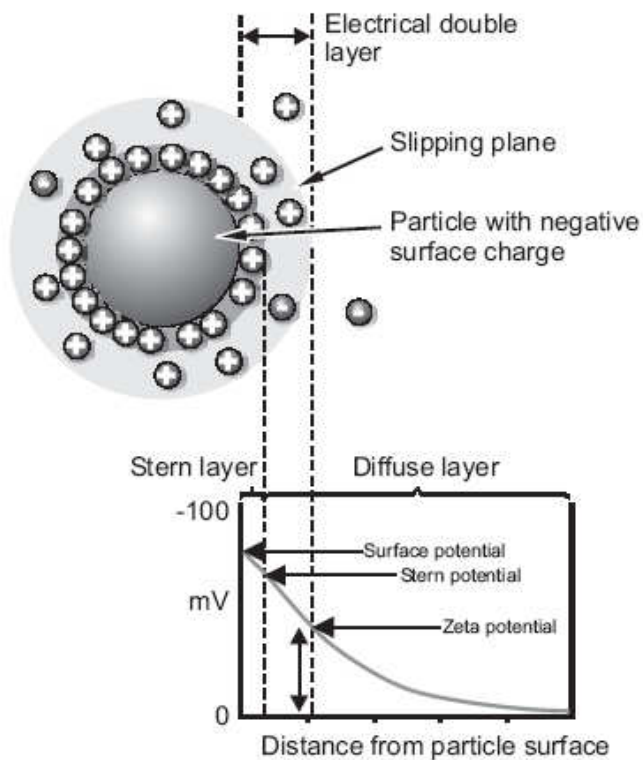
- สิ่งปนเปื้อนของกะลาปาล์มน้ำมัน (contaminant) เป็นการคำนวณหาปริมาณของสิ่งอื่น ๆ ที่ปะปนมากับกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้

$$\%contaminant_s = \left(\frac{f}{d+f} \right) 100 \quad (9)$$

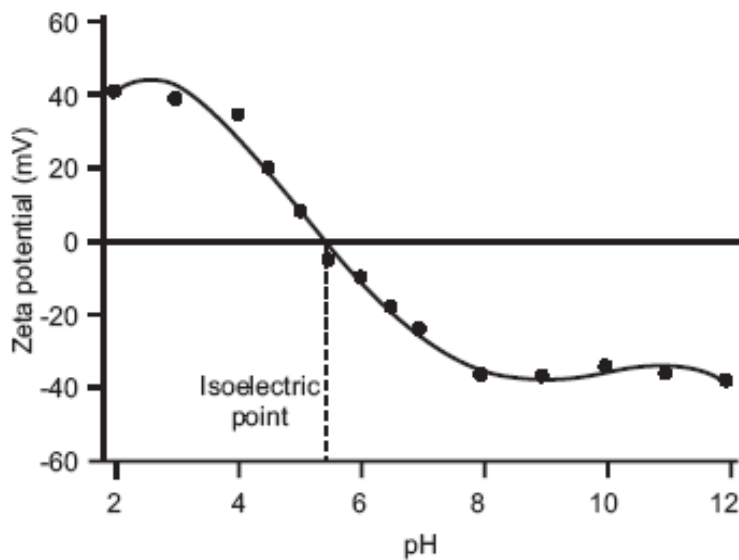
เมื่อ f คือ ปริมาณเมล็ดในและสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่ปนมากับกะลาที่แยกได้ (น้ำหนัก)[2]

2.13 ศักย์ซีต้า (Zeta Potential)

ศักย์ซีต้าเป็นค่าที่ใช้เพื่อบอกแนวโน้มว่าอนุภาคของแข็งในสเลอริจะมีเกาะตัวกันเป็นก้อนหรือไม่ เช่น เมื่อมีการปรับค่าพีเอช โดยใช้หลักการวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งเมื่อทำให้อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยใช้ Laser Doppler Velocimetry (LDV) หลักการนี้เรียกว่า Laser Doppler Electrophoresis อนุภาคของแข็งแขวนลอยจะเสถียรเมื่อศักย์ซีต้ามีค่ามากกว่า +30 mV หรือน้อยกว่า -30 mV ซึ่งที่สภาวะพีเอชต่ำหรือเป็นกรดจะให้ค่าศักย์ซีต้าสูงกว่าสภาวะที่พีเอชสูงหรือเป็นเบส ถ้าค่าศักย์ซีต้าอยู่ในช่วง -30 mV ถึง 30 mV หรือประมาณศูนย์อนุภาคของแข็งแขวนลอยจะไม่เสถียรจะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอน เรียกจุดที่ศักย์ซีต้าเท่ากับศูนย์ว่า “Isoelectric point”



ภาพประกอบที่ 2-8 ลักษณะของศักย์ซีต้า[23]



ภาพประกอบที่ 2-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับศักย์ซีต้า[23]

หลักการวัดค่าศักย์ซีต้า

ใช้สมการของเฮนรี (Henry's equation)

$$UE = \frac{2ezf(ka)}{3h} \quad (10)$$

z	คือ ศักย์ซีต้า
e	คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
UE	คือ อัตราเร็วของอนุภาค หรือ Electrophoretic mobility
h	คือ ความหนืด
f(ka)	คือ ฟังก์ชันของเฮนรี (ประมาณ 1.5 หรือ 1.0)

2.14 ร้อยละความชื้นตามมาตรฐาน AOAC

ความชื้นในวัสดุเป็นสิ่งบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ ซึ่งน้ำหนักของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความชื้น ในการบอกค่าความชื้นของวัสดุนิยมใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำ และน้ำหนักของวัสดุ สามารถแสดงได้เป็นสองแบบ คือ

- ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) คำนวณได้จากสมการ

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ	M_w	คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)
	w	คือ มวลของวัสดุ (กรัม)
	d	คือ มวลของวัสดุแห้ง (กรัม)

- ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) คำนวณได้จากสมการ

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (12)$$

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์)
	w	คือ มวลของวัสดุ (กรัม)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (กรัม)

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎีเพราะช่วยในการคำนวณได้สะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง

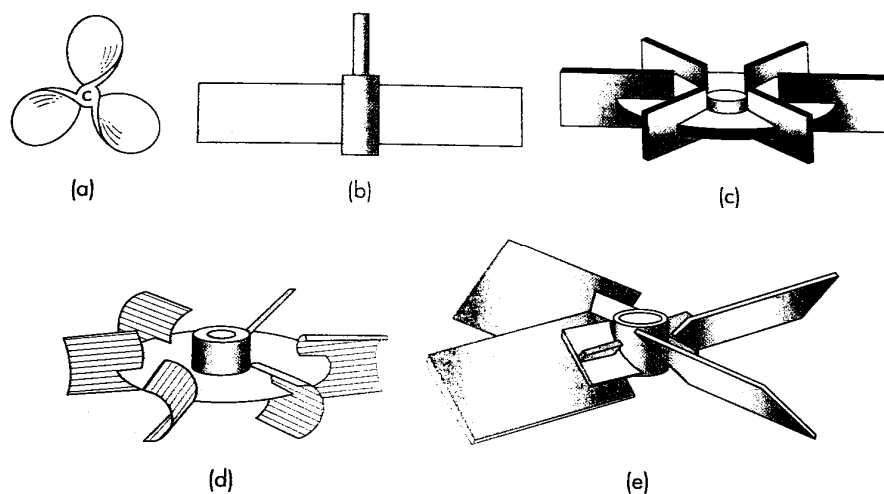
โดยทั่วไปนิยมหาความชื้นของวัสดุด้วยวิธีมาตรฐานของ AOAC (Association of Office Agricultural Chemist, 1960) ซึ่งหาได้จากการนำวัสดุตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 72-96 ชั่วโมง จากนั้นนำวัสดุที่ไม่มีน้ำแล้วไปชั่งแล้วคำนวณหาค่าความชื้นต่อไป[24]

2.15 เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันขนาดต้นแบบ (Pilot Scale)

เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันขนาดต้นแบบเป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแยกเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง โดยจะนำสเลอรีในสัดส่วนที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการมาใช้ในการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ระดับ pilot scale ต่อไป โดยให้สเลอรีมีการไหลหมุนเวียนตลอดเวลาและจะมีการนำเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันมาแยกที่เวลาต่าง ๆ แล้วหาประสิทธิภาพในการแยกที่เวลาเริ่มต้น (t_0) กับเมื่อเวลาผ่านไป (t) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกที่เวลาเริ่มต้นกับที่เวลาใด ๆ และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันเมื่อเวลาผ่านไประหว่างคืนขาวกับจีเถ่าซึ่งเป็นวัสดุที่ต้องการนำมาทดแทน

อุปกรณ์ชุดแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันขนาดต้นแบบ (pilot scale) มีลักษณะดังกล่าวนำสำหรับผสมวัสดุและถังแยกสำหรับแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเป็นรูปทรงกรวย โดยถังกวนจะอยู่ด้านล่างและถังแยกจะอยู่ด้านบน เพื่อจะได้สูบน้ำสเลอรีจากถังกวนไปยังถังแยกด้านบนที่มีเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันป้อนลงมา[25] เนื่องจากลักษณะของชุดเครื่องแยกจำเป็นต้องมีองค์ประกอบทุก ๆ ส่วนที่สมดุลกันเพราะเครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันนี้อาศัยหลักการไหลแบบหมุนเวียนและการไหลสั้นของสเลอรีในระบบอย่างต่อเนื่อง โดยถังกวนผสมจะประกอบด้วยใบพัดกวนที่มีลักษณะของใบพัดแบบ pitched-blade turbine[26] แบบ 2 ใบ เนื่องจากลักษณะของใบพัดดังกล่าวเหมาะกับการกวนของผสมที่เป็นสารแขวนลอย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาควัสดุตัวกลางเร็วเกินไป ซึ่งใบพัดลักษณะนี้จะมีลักษณะการกวนแบบกด

ลงเพื่อให้วัสดุที่ตกตะกอนสามารถลอยกลับขึ้นมาได้และจะเกิดการไหลหมุนวนของอนุภาควัสดุตัวกลางในถังกวน โดยลักษณะของใบพัด แสดงในภาพประกอบที่ 2-10

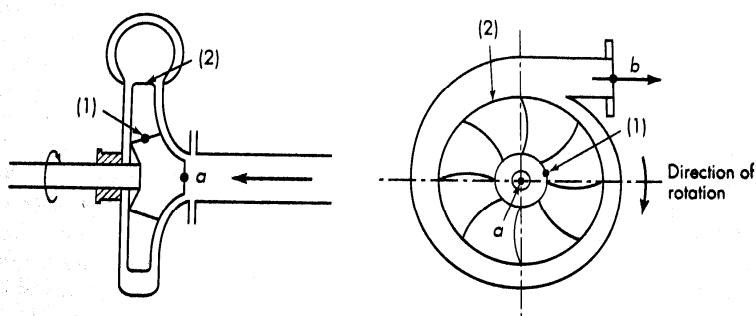


ภาพประกอบที่ 2-10 ลักษณะของใบพัดกวนแบบต่าง ๆ

(a) three-blade marine propeller; (b) simple straight-blade turbine; (c) disk turbine;

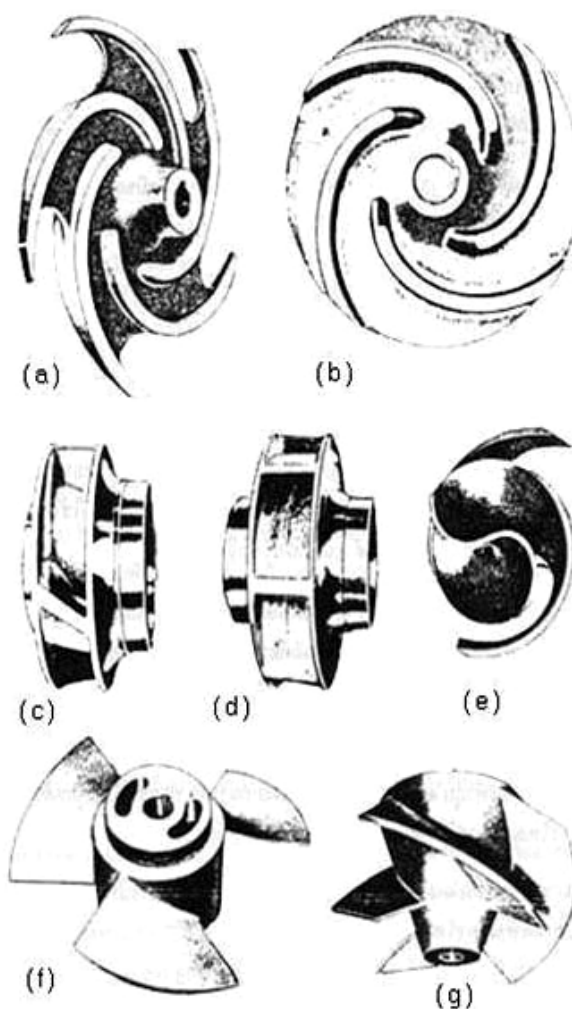
(d) concave-blade CD-6 impeller; (e) pitched-blade turbine[27]

ส่วนถังสำหรับใช้แยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันซึ่งวางอยู่ด้านบนถังกวนจะใช้ป้อนสำหรับป้อนเมล็ดจากถังกวนด้านล่างขึ้นไปยังถังแยกบนและเมล็ดจะไหลลงจากถังแยกด้านบนกลับลงมายังถังกวนด้านล่างวนเวียนตลอดเวลา



ภาพประกอบที่ 2-11 ลักษณะของเซนติฟูกอลบีบบแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนบีบมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว[27]

เนื่องจากระบบนี้มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยปั๊มที่ใช้จึงเป็นปั๊มแบบเซนติฟูกอล (centrifugal pump) ชนิดปั๊มหอยโข่ง (Volute) โดยมีใบพัดปั๊มแบบปิด (closed impeller) ซึ่งปั๊มหอยโข่งนี้นอกจากจะเหมาะกับระบบสารแขวนลอยแล้วราคาของปั๊มค่อนข้างต่ำ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย[28] จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้ในระดับ pilot scale อีกด้วย โดยลักษณะของปั๊ม และใบพัดปั๊ม แสดงดังภาพประกอบที่ 2-11 และ 2-12 ตามลำดับ



- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| (a) Open impeller | (e) Paper stock |
| (b) Semi-open impeller | (f) Propeller (Axial flow impeller) |
| (c) Closed, single suction | (g) Mixed flow impeller |
| (d) Closed, double suction | |

ภาพประกอบที่ 2-12 ลักษณะของใบพัดของปั๊มเซนติฟูกอล (Centrifugal pump)[29]

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เล็ก สีคง และคณะ (2003) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินขาวจากแหล่งที่ต่างกันเป็น มัชฌิม โดยแร่ดินขาวจากแหล่งระนอง 2 ตัวอย่าง คือ เกรด MRD-B85 และเกรด RANONG-325 และดินขาว (จากแหล่งภาคกลาง) ในการแยกเมล็ดในกับกะลาของปาล์มน้ำมันที่มีค่าความ ถ่วงจำเพาะเป็น 1.40 และ 1.20 ตามลำดับ ด้วยวิธี Heavy Media Separation โดยศึกษาผลของความ ถ่วงจำเพาะของตัวกลาง ชนิดและปริมาณสารช่วยกระจายตัวอนุภาค และคุณภาพของดินขาวที่มี ผลกระทบต่อระบบแขวนลอยของมัชฌิมและต่อประสิทธิภาพของการแยก พบว่าสภาวะที่ เหมาะสมในการใช้ดินขาวเกรด MRD-B85 เป็นมัชฌิมในระบบแขวนลอย คือ ความถ่วงจำเพาะ ของสเลอรีอยู่ในช่วง 1.20-1.22 (27-32% Solids) และปริมาณของสารช่วยกระจายตัว Calgon เท่ากับ 0.15% ของน้ำหนักดินขาว ซึ่งให้ค่า pH 6.14 และค่าความหนืด 104 cP จนถึงต่ำมาก (วัด ไม่ได้) ซึ่งแยกเมล็ดในได้ 97.57-100% โดยมีกะลาปนอยู่ 1.48-6.32% และเมื่อใช้โซเดียมซิติลิกเตนใน ปริมาณ 0.15% ของน้ำหนักดินขาว ที่ความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเท่ากับ 1.22 ซึ่งให้ค่า pH 6.74 (ความหนืดเท่ากับ 238 cP) สามารถแยกเมล็ดในออกมาได้ 100% โดยมีกะลาปนอยู่ 8.36% สภาวะที่ เหมาะสมสำหรับดินขาวเกรด RANONG-325 คือ ปริมาณ Calgon 0.15% ของน้ำหนักดินขาว ที่ ความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเท่ากับ 1.22 ซึ่งให้ค่า pH 6.65 ความหนืดมีค่าต่ำมาก ทำให้แยกเมล็ดใน ได้ 100% โดยมีกะลาปนอยู่ 6.31% ในขณะที่ต้องใช้ปริมาณ โซเดียมซิติลิกเตนมากกว่าเป็น 0.25% ของ น้ำหนักดินขาว ซึ่งให้ค่า pH 6.85 และค่าความหนืดต่ำมาก ซึ่งทำให้แยกเมล็ดในออกมาได้ 99.95% โดยมีกะลาปนอยู่ 1.80% ส่วนดินขาวจากแหล่งภาคกลางที่มีค่าความหนืด 36 cP ที่ความถ่วงจำเพาะ ของสเลอรีเป็น 1.22 ที่ pH 8.29 สามารถแยกเมล็ดในออกมาได้ 93.56% โดยมีกะลาปนอยู่ 5.87% โดยไม่ต้องใช้สารช่วยกระจายตัว

Akubuo and Eje (2002) ศึกษาการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มแบบแห้งโดยใช้ความ แตกต่างทางด้านรูปร่างของเมล็ดในกับกะลามาก่อนแบบเครื่องแยกเป็นแบบ separating tray โดย ส่วนที่เป็นกะลาจะมีลักษณะเป็นช่องแบบขนาน 'parallel rod' ส่วนที่เป็นเมล็ดในจะมีลักษณะเป็น ตะแกรงช่องกลม 'sieved' โดยขนาดของช่องของเครื่องแยกจะขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ดในกับกะลา ของปาล์ม โดยจะป้อนเมล็ดในกับกะลาปาล์มที่ผสมกันอยู่ผ่านช่องแบบขนานก่อนเพื่อแยกกะลา และส่วนที่เหลือจะเคลื่อนผ่านไปยังช่องตะแกรงเพื่อแยกเมล็ดในออกมา ส่วนสุดท้ายจะแยกเมล็ด ปาล์มที่ยังไม่ถูกกะเทาะ ซึ่งสามารถแยกได้ เมล็ดในบริสุทธิ์ 82% กะลาบริสุทธิ์ 95.2% สามารถแยก เมล็ดในกลับคืนมา (kernel recovery) ได้ 86.2% สามารถแยกกะลากลับคืนมา (shell recovery) ได้ 95.2% และมีประสิทธิภาพการแยกเป็น 82.1%

Koya and Faborode (2006) ศึกษาการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มแบบแห้ง ซึ่งเป็นการอาศัยแรงหนีศูนย์กลางในการแยก (centrifugal separation) จากทฤษฎีพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคคือ รูปร่างของอนุภาค ระยะทางตามแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางจนถึงจุดที่ป้อนอนุภาค และรัศมีของแผ่นดิสก์ ซึ่งเมล็ดในกับกะลาปาล์ม จะถูกแยกออกมาที่มุมต่างของแผ่นดิสก์ การทดลองนี้ใช้แผ่นดิสก์หมุน (spinning disc) ที่รัศมีระหว่าง 50 ถึง 300 มิลลิเมตร กำหนดให้มีการป้อนเมล็ดปาล์ม ที่แผ่นดิสก์ระหว่าง 0-30 องศา และจากการทดลองพบว่า สามารถแยกเมล็ดในได้ที่ 90-150 องศาของแผ่นดิสก์ ส่วนกะลาแยกได้ที่มากกว่า 210 องศาของแผ่นดิสก์ และที่ 180-210 องศาของแผ่นดิสก์ จะมีทั้งเมล็ดในและกะลาที่ยังคงผสมกันอยู่

Nasser and Jame (2005) ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการเกิดชั้นตะกอนของดินขาวโดยมีน้ำเป็นตัวกลาง พบว่าช่วงสภาวะที่เป็นกรด อนุภาคจะจับตัวกันตกตะกอนเป็นกลุ่มก้อน (flocculated) และในช่วงที่มีสภาวะเป็นกลาง อนุภาคจะเกิดการกระจายตัว (dispersed) แล้วย่อย ๆ ตกตะกอนเมื่อมีความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ต่ำ และจะจับตัวกันตกตะกอนเป็นกลุ่มก้อน (flocculated) เมื่อมีความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์สูง ๆ

Boylu and Dincer (2003) มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาผลของขนาดการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในการไหลของของเหลวที่เป็น สเลอริของถ่านหินกับน้ำ (coal-water slurry) โดยศึกษาถ่านหินลิกไนต์ กับบิทูมินัส จากแหล่งที่ต่างกัน มีขนาด 19, 35 และ 50 ไมครอน พบว่าจากถ่านหินแต่ละแหล่งทำการศึกษา ถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคเล็กมีสัดส่วนเชิงปริมาตร ความหนาแน่น และจะทำให้ความหนืดของสเลอริสูงกว่าถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ และเมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคของถ่านหินจะทำให้สเลอริมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น

Chan et al. (2007) ศึกษาลักษณะของจีเถ้าที่เกิดจากการเผาเส้นใยปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้หม้อน้ำ ซึ่งมีขนาดอนุภาค ลักษณะทางด้านกายภาพและทางเคมี ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาด้วย ซึ่งสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ในจีเถ้าได้โดยใช้วิธี X-ray diffractometry ทดสอบ

Ferrara and Meloy (1999) ศึกษากระบวนการแยกโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะแบบความถ่วงจำเพาะต่ำ ๆ (Low dense media separation) เป็นกระบวนการที่เตรียมตัวกลางการแยกโดยให้มีค่าความถ่วงจำเพาะไม่เกิน 1 กรัม/มิลลิลิตร ซึ่งจะนิยมใช้ในกระบวนการแยกพลาสติก ซึ่งวัสดุตัวกลางที่นำมาใช้จะต้องมีขนาดเล็กกว่าขนาดของของแข็งที่ต้องการนำมาแยก และสเลอริที่ใช้ต้องมีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่างความหนาแน่นของของเหลวกับความหนาแน่นของของแข็งแขวนลอย ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมของตัวกลางในกระบวนการแยกโดยอาศัยตัวกลางที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ๆ มีดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะของสารตัวกลางต้องน้อยกว่า 1 g/ml
- สารตัวกลางต้องมีความหนืดต่ำ ๆ เท่าที่จะเป็นไปได้
- ความเข้มข้นของของแข็งต้องน้อยเท่าที่จะเป็นไปได้ (ความหนืดต่ำ)
- ขนาดอนุภาคและรูปร่างของวัสดุตัวกลางควรเป็นทรงกลมเท่าที่จะเป็นไปได้
- วัสดุตัวกลางต้องแขวนลอยอย่างเสถียรเท่าที่จะเป็นไปได้ (homogeneous solution)
- วัสดุตัวกลางต้องไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุที่ต้องการนำมาแยก
- อนุภาคของวัสดุตัวกลางต้องไม่ละลายในน้ำ
- อนุภาคของวัสดุตัวกลางจะต้องไม่จับขั้วจนทำลายวัสดุที่ต้องการนำมาแยก

Weerachart Tangchirapat et al. (2007) อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของไทยนอกจากน้ำมันซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้แล้ว ก็ยังมีของเสียออกมาด้วยซึ่งมีกากของเสียมากกว่า 2 ล้านตัน ส่วนใหญ่จะเป็น เส้นใยปาล์ม กะลา และทลายเปล้า ซึ่งของเสียเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป ซึ่งหลังจากเผากากของเสียแล้วสิ่งที่เหลือออกมาคือขี้เถ้าซึ่งมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุ ซึ่งขี้เถ้าเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยากเป็น โรงงานส่วนใหญ่จะนำไปใช้ถมที่ซึ่งทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและอื่น ๆ ตามมา งานวิจัยนี้สนใจนำขี้เถ้าปาล์มไปใช้ในการทำคอนกรีต ซึ่งพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของขี้เถ้าจะเป็น ซิลิกา ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน โดยขี้เถ้าที่นำมาใช้ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส

Patent No. 2,949,190 Joseph et al. (1960) เป็นกระบวนการแยกหรือล้างทำความสะอาดของแข็งขนาดเล็กโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ระบบนี้จะเป็นระบบที่มีการนำวัสดุตัวกลางของแข็งกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นของแข็งที่นำมาแยกควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.25 นิ้ว เนื่องจากหากของแข็งที่ต้องการแยกมีขนาดเล็กจะยากต่อการนำเอาวัสดุตัวกลางกลับมาใช้ใหม่ทำให้ไม่คุ้มค่า การนำเอาวัสดุตัวกลางกลับมาใช้ใหม่นอกจากจะเป็นการประหยัดแล้วยังเป็นการรักษาความถ่วงจำเพาะในระบบอีกด้วย โดยค่าความถ่วงจำเพาะของตัวกลางจะต้องมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าอนุภาคเบาแต่ต้องมากกว่าอนุภาคหนักที่จะแยก การเพิ่มความถ่วงจำเพาะของน้ำต้องใช้อุณหภูมิของตัวกลางแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ๆ เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มความถ่วงจำเพาะให้กับตัวกลางซึ่งความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย การที่อนุภาคมีขนาดเล็กจะช่วยให้สามารถแขวนลอยอยู่ได้นานเนื่องจากมีความเร็วในการตกตะกอนช้ากว่าอนุภาคขนาดใหญ่ และการกวนก็เป็นอีกปัจจัยที่สามารถทำให้ระบบแขวนลอยสามารถแขวนลอยอยู่ได้นาน ซึ่งระบบที่ใช้จะมีถังแยกเป็นลักษณะทรงกรวย และมีถังผสมที่มีการเติมน้ำและปั๊มตัวกลางกลับมายังถังแยกเพื่อใช้หมุนเวียนในระบบ

เมื่อใส่วัสดุผสมที่ต้องการแยกลงไปในถังแยกส่วนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าตัวกลางจะไหลขึ้นไปทางด้านบนพร้อมตัวกลาง และส่วนที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าตัวกลางก็จะจม จะสามารถแยกทั้งสองส่วนออกจากกันได้และจะมีการนำวัสดุตัวกลางที่ปนไปกลับมาใช้หมุนเวียนในระบบอีกครั้ง

Patent No. US 7,111,738 B2 Laurence et al. (2006) เป็นการปรับปรุงระบบประสิทธิภาพการแยกโดยอาศัยความหนาแน่นที่มีตัวกลาง ซึ่งจะใช้ของเหลวเป็นตัวกลางโดยมีการเติมอนุภาคของแข็งชนิดเดียวหรือมากกว่า เพื่อเพิ่มความถ่วงจำเพาะให้กับของเหลว ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบนี้ ได้แก่ ไฮโดรไซโคลอน หรืออุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับแยกโดยอาศัยความหนาแน่น โดยอุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นทรงกรวยหรือทรงกระบอก ระบบการแยกอาจจะมีหลาย ๆ ชั้นก็ได้เพื่อใช้สำหรับแยกของแข็งผสมที่มีหลายชนิดหรือหลายความถ่วงจำเพาะ เพื่อให้มีความจำเพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น โดยการเตรียมตัวกลางให้แต่ละชั้นจะต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมี

- 3.1.1 ดินขาว ทำหน้าที่เป็นวัสดุตัวกลาง จำหน่ายโดยบริษัท ไทย พลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน)
- 3.1.2 ขี้เถ้าจากใบปาล์ม (palm ash) เป็นขี้เถ้าที่ได้จากการใช้เส้นใยและกะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงในบอยเลอร์ (boiler) ซึ่งเป็นขี้เถ้าลอย (fly ash) จากบริษัท โมเดิร์นกรีน พาวเวอร์ จำกัด (บริษัท สยามโมเดิร์นปาล์ม จำกัด)
- 3.1.3 ขี้เถ้าจากไม้ยางพารา (rubberwood ash) เป็นขี้เถ้าที่ได้จากการใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอบยางแผ่นซึ่งเป็นขี้เถ้าหนัก (bottom ash) จากบริษัท บี.ไรท์ รีบเบอร์ จำกัด
- 3.1.4 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) ทำหน้าที่ปรับค่าพีเอช
- 3.1.5 โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate; Na_2SiO_3) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระจายตัว
- 3.1.6 โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodium Hexametaphosphate; $(NaPO_3)_6$) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระจายตัว
- 3.1.7 น้ำ (Water; H_2O) ทำหน้าที่เป็นของเหลวการแขวนลอย



ภาพประกอบที่ 3-1 เมล็ดปาล์มน้ำมัน (Palm seeds)



ภาพประกอบที่ 3-2 กะลาปาล์มน้ำมัน (Palm shells)



ภาพประกอบที่ 3-3 เมล็ดในปาล์มน้ำมัน (Palm kernels)



ภาพประกอบที่ 3-4 ลักษณะของดินขาว ขี้เถ้าปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพารา

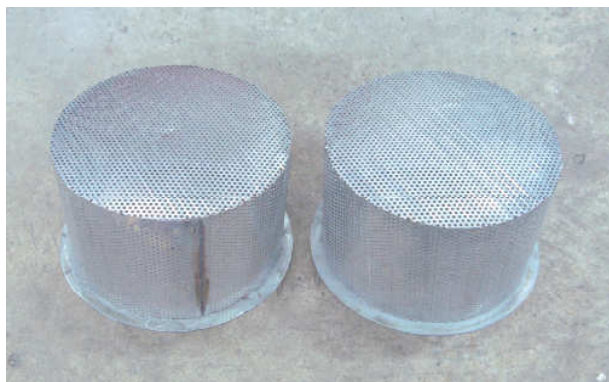
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.2.1 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น SARTORIUS; Docu model ผลิตโดย MERIT TECH CO., LTD
- 3.2.2 เครื่องวัดค่าความหนืดของสเลอรี (Brookfield Rotational Viscometer) รุ่น Brookfield SYNCHRO-ELECTRIC VISCO-METER; EVT model ผลิตโดย Brookfield engineering Laboratories. INC.
- 3.2.3 เครื่องวัดค่าความถ่วงจำเพาะ (Hydrometer) ชนิดความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1-2
- 3.2.4 เครื่องวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค (Laser scattering particle size analyzer) รุ่น Mastersizer 2000 and Hydro 200 MU Ver.5.1 ผลิตโดย Malvern instruments Co., Ltd.
- 3.2.5 เครื่องวิเคราะห์ห้องค้ำประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลาง (X-ray fluorescence spectrometer; XRF) รุ่น XRF; PHILIPS PW2400
- 3.2.6 เครื่องวิเคราะห์ห้องค้ำประกอบทางแร่วิทยาในวัสดุตัวกลาง (X-ray diffractometer; XRD) รุ่น XRD; PHILIPS X' Pert MPD
- 3.2.7 เครื่องวัดศักย์ซีต้า (Zeta potential analyzer, Model ZetaPALS, Brookhaven)
- 3.2.8 เตาอบ (Oven) ยี่ห้อ EYELA NATURAL OVEN รุ่น NDO-600N ผลิตโดย TOKYO RIKAKIKAI CO., LTD
- 3.2.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก (balance) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PG5002-S Made in Switzerland
- 3.2.10 บีกเกอร์ (Breaker) ขนาด 50, 600 และ 2000 มิลลิลิตร
- 3.2.11 กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 100 และ 500 มิลลิลิตร
- 3.2.12 โถดูดความชื้น (Desiccators)
- 3.2.13 นาฬิกาจับเวลา
- 3.2.14 แท่งแก้วคน
- 3.2.15 ตะแกรง
- 3.2.16 เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มต้นแบบ (Clay Baht) เป็นอุปกรณ์แบบกึ่งแบตช์ (Batch) ขนาดต้นแบบ กรวยบนปริมาตร 25 ลิตร กรวยล่างปริมาตร 55 ลิตร สำหรับศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์ม ในระบบจะมีการใส่น้ำ และวัสดุตัวกลางเพื่อเตรียมสเลอรีในถังล่าง โดยจะควบคุมให้มีใบพัดกวนขนาด

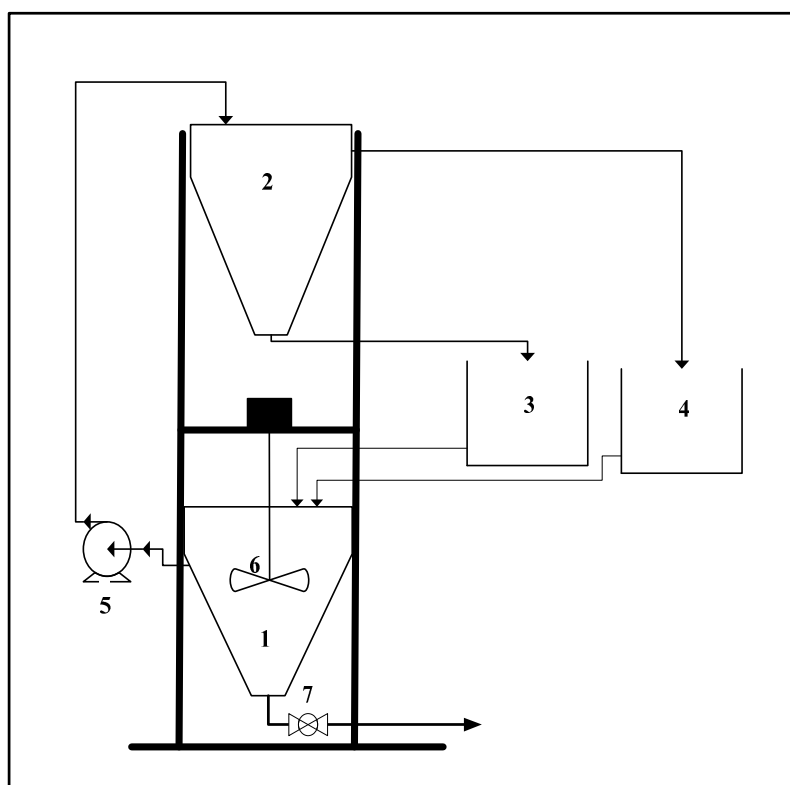
ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที หมุนแกนสเลอรี่อยู่ตลอดเวลา และมีการปั๊มสเลอรี่จากถังล่างไปสู่ถังบนด้วยปั๊มขนาดกำลัง 1/4 HP (0.2 kW) และเกิดการไหลหมุนเวียนของสเลอรี่จากถังบนลงสู่ถังล่าง 2 ทาง คือ ไหลผ่านทางท่อด้านบนของกรวยบนและไหลผ่านทางท่อล่างของกรวยบน จึงทำให้ระบบเกิดการหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง และเครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มต้นแบบที่ใช้ในการทดลองแสดงภาพประกอบที่ 3-5 ซึ่งองค์ประกอบของระบบเครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มต้นแบบแสดงดังภาพประกอบที่ 3-7



ภาพประกอบที่ 3-5 เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มแบบ Pilot Scale



ภาพประกอบที่ 3-6 ตะแกรงในถังเก็บสำหรับรับเมล็ดในและกะลาปาล์มที่แยกได้



- | | |
|--|----------------------------|
| 1. กรวยล่างสำหรับผสมสเลอรี่ | 5. ปั๊ม |
| 2. กรวยบนสำหรับใส่เมล็ดในและกะลาปาล์มลงไปแยก | 6. ใบพัด |
| 3. ถังสำหรับเก็บกะลาปาล์ม | 7. วาล์วสำหรับปล่อยสเลอรี่ |
| 4. ถังสำหรับเก็บเมล็ดในปาล์ม | |

ภาพประกอบที่ 3-7 แผนผังอุปกรณ์สำหรับแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มแบบ Pilot Scale

3.3 ขอบเขตของงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้วัสดุตัวกลาง 4 ประเภท

- จี้เถ้าจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว
- จี้เถ้าจากไม้ยางพาราอย่างเดียว
- ส่วนผสมระหว่างดินขาวและจี้เถ้าจากเส้นใยปาล์ม
- ส่วนผสมระหว่างดินขาวและจี้เถ้าจากไม้ยางพารา

3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง ได้แก่ ขนาดอนุภาคของวัสดุตัวกลาง องค์ประกอบทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี

3.3.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าพีเอช และความหนืดของสเลอรี โดยการทดลองแบบใช้อุปกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการในเบื้องต้น และทดลองโดยใช้เครื่องมือในระดับ Pilot Scale

3.3.4 ศึกษาสัดส่วนของวัสดุตัวกลาง (จี้เถ้า) ต่อของเหลวแขวนลอย (น้ำ) ที่เหมาะสมต่อการใช้แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน

3.3.5 ศึกษาสารช่วยกระจายตัวของอนุภาค 2 ชนิด ในสเลอรี ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และ โซเดียมเฮกซะเมทาเตฟอสเฟต ($(\text{NaPO}_3)_6$)

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุตัวกลาง เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับใช้เปรียบเทียบระหว่างวัสดุที่นำมาทดแทนกับวัสดุที่ใช้อยู่เดิม

3.4.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาของวัสดุตัวกลาง ได้แก่ ดินขาว จี้เถ้าใยปาล์ม และจี้เถ้าไม้ยางพารา โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

3.4.1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลาง ได้แก่ ดินขาว จี้เถ้าใยปาล์ม และจี้เถ้าไม้ยางพารา โดยใช้เครื่อง X-ray fluorescence Spectrometer (XRF)

3.4.1.3 วิเคราะห์ค่าศักย์ซีต้าของวัสดุตัวกลาง ได้แก่ ดินขาว จี้เถ้าใยปาล์ม และจี้เถ้าไม้ยางพารา โดยใช้เทคนิค zeta potential analysis ด้วยเครื่อง Zeta potential analyzer

3.4.1.4 วิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาควัสดุตัวกลาง ได้แก่ ดินขาว จี้เถ้าใยปาล์ม และจี้เถ้าไม้ยางพารา โดยใช้เครื่อง Laser scattering particle size analyzer

3.4.1.5 ทหาร้อยละความชื้นของสารวัสดุตัวกลาง

1. ชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวกลางก่อนอบประมาณ 5 กรัม
 2. นำวัสดุตัวกลางที่ชั่งไว้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
 3. นำวัสดุตัวกลางออกจากตู้อบมาวางให้เย็นในที่คูคความชื้น (desiccators)
 4. ชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวกลางหลังอบ
 5. คำนวณหาร้อยละความชื้นของวัสดุตัวกลางตามมาตรฐาน AOAC
- 3.4.2 ศึกษาความถ่วงจำเพาะของกะลาปาล์มน้ำมัน
- 3.4.2.1 ทดลองหาความถ่วงจำเพาะโดยเฉลี่ยของกะลาปาล์มน้ำมัน
1. ชั่งน้ำหนักของกะลาปาล์มน้ำมันที่จะนำมาทดลอง
 2. ชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่า
 3. เติมน้ำลงในภาชนะจนเต็ม แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะที่ใส่น้ำจนเต็ม
 4. นำกะลาปาล์มน้ำมันใส่ลงในภาชนะแล้วเติมน้ำจนเต็ม นำไปชั่งน้ำหนัก
 5. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะตามสูตรการหาความถ่วงจำเพาะของของแข็ง
- 3.4.2.2 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของกะลาปาล์มน้ำมันต่อความถ่วงจำเพาะที่วัดได้
1. นำเวอร์เนียแคลิเปอร์มาวัดขนาดของกะลาปาล์มน้ำมัน โดยแยกขนาดใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน (สมมติให้กะลาปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุทรงกลม) วัดขนาดด้านที่ยาวที่สุดเป็นเกณฑ์
 2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.4.2.1
 3. เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างความถ่วงจำเพาะของกะลาปาล์มน้ำมันที่มีขนาดแตกต่างกัน
- 3.4.3 ศึกษาความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในปาล์มน้ำมัน
- 3.4.3.1 ทดลองหาความถ่วงจำเพาะโดยเฉลี่ยของเมล็ดในปาล์มน้ำมัน
1. ชั่งน้ำหนักของเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่จะนำมาทดลอง
 2. ชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่า
 3. เติมน้ำลงในภาชนะจนเต็ม แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะที่ใส่น้ำจนเต็ม
 4. นำเมล็ดในปาล์มน้ำมันใส่ลงในภาชนะแล้วเติมน้ำจนเต็ม นำไปชั่งน้ำหนัก
 5. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะตามสูตรการหาความถ่วงจำเพาะของของแข็ง

3.4.3.2 ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่อความถ่วงจำเพาะที่วัดได้

1. นำเวอร์เนียแคลิเปอร์มาวัดขนาดของเมล็ดในปาล์มน้ำมัน โดยแยกขนาดใกล้เคียงกัน ไว้ด้วยกัน (สมมติให้เมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุทรงกลม) วัดขนาดด้านที่ยาวที่สุดเป็นเกณฑ์
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.4.3.1
3. เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในของปาล์มน้ำมันที่มีขนาดแตกต่างกัน

3.4.4 ศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

3.4.4.1 กรณีไม่ใส่น้ำช่วยกระจายตัว

1. เตรียมเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ไม่มีวัสดุอื่นปะปนมาผสมกัน นำไปชั่งน้ำหนักก่อนทำการแยก (ใช้เมล็ดเดิมตลอดการทดลองโดยมีน้ำหนักรวม 400 กรัม)
2. เตรียมน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม)
3. ชั่งวัสดุตัวกลาง (ดินขาว ขี้เถ้าไม้ยางพารา และขี้เถ้าใบปาล์ม) ตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยใช้สัดส่วนวัสดุตัวกลางต่อน้ำเป็น 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1, 0.4:1, 0.5:1, 0.6:1, 0.7:1, 0.8:1, 0.9:1 เป็นต้น
4. นำวัสดุตัวกลางไปเตรียมสเลอรี โดยนำวัสดุตัวกลางใส่ลงในน้ำแล้วกวนผสมให้เข้ากัน
5. วัดค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และค่าพีเอช ของสเลอรีที่เตรียมได้
6. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ผสมกันอยู่มาใส่ลงในสเลอรี กวนให้เมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันสัมผัสกับน้ำอย่างดีปล่อยให้แยกออกจากกัน
7. นำส่วนที่ลอยออกมาล้างทำความสะอาด
8. นำส่วนที่จมมาล้างทำความสะอาด
9. นำกะลาและเมล็ดปาล์มน้ำมันที่แยกและทำความสะอาดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
10. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันหลังอบไปทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

11. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันหลังอบไปแยกสิ่งเจือปนแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
12. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแยกของเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน
13. เลือกสัดส่วนของสเลอรีที่สามารถแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้ประสิทธิภาพสูงสุด ไปทำการทดลองในระดับ pilot scale

3.4.4.2 กรณีใส่สารช่วยกระจายตัวในสเลอรี

1. เตรียมเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ไม่มีวัสดุอื่นปะปนมาผสมกัน นำไปชั่งน้ำหนักก่อนทำการแยก (ใช้เมล็ดเดิมตลอดการทดลองโดยมีน้ำหนักรวม 400 กรัม)
2. เตรียมน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม)
3. ชั่งสารช่วยกระจายตัวจำนวน 0.25, 0.50, 1.00 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุตัวกลางที่ใช้
4. ชั่งวัสดุตัวกลาง (ดินขาว จีเถ้าไม้ยางพารา และจีเถ้าใยปาล์ม) มาตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยใช้สัดส่วนวัสดุตัวกลางต่อน้ำเป็น 0.1:1, 0.2:1, 0.3:1, 0.4:1, 0.5:1, 0.6:1, 0.7:1, 0.8:1, 0.9:1 เป็นต้น
5. ใส่สารช่วยกระจายตัวลงในน้ำที่เตรียมไว้แล้ว
6. นำวัสดุตัวกลางไปเตรียมสเลอรี โดยนำวัสดุตัวกลางใส่ลงในน้ำที่มีสารช่วยกระจายตัวผสมอยู่แล้วกวนผสมให้เข้ากัน
7. วัดค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และค่าพีเอช ของสเลอรีที่เตรียมได้
8. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ผสมกันอยู่มาใส่ลงไปใส่น้ำในสเลอรี กวนให้เมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันสัมผัสกับน้ำอย่างดีปล่อยให้แยกออกจากกัน
9. นำส่วนที่ลอยออกมาล้างทำความสะอาด
10. นำส่วนที่จมมาล้างทำความสะอาด
11. นำกะลาและเมล็ดปาล์มน้ำมันที่แยกและทำความสะอาดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
12. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันหลังอบไปทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
13. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันหลังอบไปแยกสิ่งเจือปนแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
14. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแยกของเมล็ดในกับกะลาปาล์ม

15. เลือกสัดส่วนของสเลอรีที่สามารถแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้
ประสิทธิภาพสูงสุด ไปทำการทดลองในระดับ pilot scale

3.4.5 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในระดับ Pilot Scale

เครื่องแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการแยกของแข็งกับของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน โดยอาศัยตัวกลางสเลอรีที่เป็นสารแขวนลอย ซึ่งจะมีลักษณะของอุปกรณ์หลัก ๆ ในระบบ ดังต่อไปนี้

1. ถังสำหรับแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเป็นรูปทรงกรวย ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเป็นการแยกแบบอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะซึ่งส่วนของวัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าสเลอรีจะจมและส่วนที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าสเลอรีจะลอย ดังนั้นต้องออกแบบให้ถังแยกเป็นรูปทรงกรวยที่มีช่องสำหรับให้วัตถุที่ลอยไหลล้นทางช่องด้านบนของกรวย และวัตถุที่จมก็จะจมลงไปก้นกรวยที่มีการเจาะเป็นช่องทำให้สามารถต่อท่อสำหรับเป็นทางให้วัสดุไหลออกได้
2. ถังสำหรับกวนระบบสเลอรีหรือสารแขวนลอยสำหรับแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะเป็นทรงกรวยเช่นเดียวกัน เนื่องจากสารที่ใช้เป็นสารแขวนลอยและจะมีการตกตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นการทำให้ถังกวนเป็นรูปทรงกรวยจะทำให้อนุภาควัสดุตัวกลางตกตะกอนลงไปในส่วนที่เป็นก้นกรวยก่อนและเป็นการออกแบบให้ใบพัดสามารถพัดกวนส่วนที่ตกตะกอนลงไปก้นกรวยให้ลอยได้อีกด้วย เป็นการช่วยลดการตกตะกอนของวัสดุตัวกลางให้เกิดซ้ำขึ้นเพื่อจะได้เพิ่มระยะเวลาการใช้งานของระบบสเลอรีได้นานขึ้นด้วย
3. ถังเก็บเมล็ดในและกะลาปาล์มหลักออกจากถังแยกจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก โดยก้นถังเป็นพื้นเอียงเพื่อจะได้ให้สเลอรีไหลย้อนกลับยังถังกวน และเป็นการป้องกันวัสดุตัวกลางตกตะกอนในถังเก็บวัสดุตัวกลางอีกด้วย ซึ่งในถังเก็บนั้นจะมีตะแกรงสำหรับกรองเก็บเมล็ดในและกะลาปาล์มเป็นลักษณะของตะแกรงลอยเพื่อสเลอรีจะได้ไหลลงไปยังก้นถังและไม่ทำให้สเลอรีล้นอยู่บนตะแกรงสำหรับเก็บเมล็ดในและกะลาปาล์มด้วย

4. ป้อนสำหรับป้อนสเลอรีจากถังกวนไปยังถังแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันจะเป็นป้อนชนิดเซนตริฟูกอล (centrifugal pump) แบบหอยโข่ง (volute) โดยมีใบพัดป้อนเป็นแบบปิด (closed impeller) ซึ่งป้อนชนิดนี้เป็นป้อนที่เหมาะสมกับระบบที่เป็นสารแขวนลอย จึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับระบบการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่มีสารตัวกลางในการแยกเป็นสารแขวนลอย และราคาของป้อนนี้ค่อนข้างถูก ค่าบำรุงรักษาน้อย จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในอุปกรณ์ระดับต้นแบบ (pilot scale)
5. ใบพัดกวน (blade or turbine) ลักษณะของใบพัดแบบ pitched-blade turbine แบบ 2 ใบ เนื่องจากลักษณะของใบพัดดังกล่าวเหมาะกับการกวนสารผสมที่เป็นสารแขวนลอย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนของอนุภาควัสดุตัวกลางเร็วเกินไป ซึ่งใบพัดลักษณะนี้จะมีลักษณะการกวนแบบกดลงเพื่อให้วัสดุที่ตกตะกอนสามารถลอยกลับได้และจะเกิดการไหลหมุนวนของอนุภาควัสดุตัวกลางในถังกวน

3.4.6 ศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในระดับ pilot scale

1. เตรียมสเลอรีตามสัดส่วนที่ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการแล้วว่าเป็นสัดส่วนที่แยกเมล็ดในและกะลาปาล์มได้ดี โดยใช้เครื่องแยกที่มีลักษณะ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-5
2. ชั่งน้ำหนักของเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ผสมกันอยู่ (เมล็ดที่ออกจากเครื่องกะเทาะจากโรงงาน) ปริมาณ 1,000 กรัม มาแยกที่เวลา 0, 0.5, 1, 1.5, 2.0, 2.5, 3 และ 4 ชั่วโมง
3. วัดค่าความหนืด ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าพีเอชที่ทุก ๆ เวลาที่นำเมล็ดปาล์มมาทำการแยก
4. นำเมล็ดในและกะลาปาล์มที่แยกได้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
5. ชั่งน้ำหนักของเมล็ดในและกะลาปาล์มหลังอบเรียบร้อยแล้ว
6. คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มที่เวลาต่าง ๆ

การทดลองในระดับ pilot scale เป็นกระบวนการทดลองที่นำผลการศึกษาจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการในข้อที่ 3.4.3 มาทดลองซ้ำเพื่อจำลองกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลา

ปาล์มน้ำมันให้เป็นกระบวนการที่มีการไหลของสเลอรีในระบบแบบต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องแยก (clay bath) ซึ่งเป็นกระบวนการแบบกึ่งแบตช์ โดยจะมีการไหลหมุนเวียนของสเลอรีในระบบตลอดเวลา คล้ายคลึงกับการใช้อุปกรณ์จริงในระดับโรงงาน แล้วนำเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันมาแยกที่เวลาต่าง ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสเลอรีต่อระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในการใช้งาน และเพื่อหาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันของสเลอรีต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลง แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดย

3.4.6.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกของเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิด ได้แก่ ดินขาว จีเถ้าไยปาล์ม และจีเถ้าไม้ยางพารา โดยใช้สัดส่วนของวัสดุตัวกลางต่อน้ำ ที่เหมาะต่อการใช้แยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน ซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 3.4.3

3.4.6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกของเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิด เมื่อมีการใช้สารช่วยกระจายตัว (โซเดียมซิลิเกต หรือ โซเดียมเฮกซะเมทเตฟอสเฟต) ในการแขวนลอยของวัสดุตัวกลาง

3.4.7 ปรับค่าพีเอชของวัสดุตัวกลาง

หากสเลอรีมีค่าพีเอชที่ต่ำหรือสูงเกินไปจะมีผลเสีย ทำให้อุปกรณ์สำหรับใช้ในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันถูกกัดกร่อนได้ ซึ่งหากระบบใดมีค่าพีเอชที่ต่ำหรือสูงเกินไปก็จะนำมาทดสอบปรับค่าพีเอชเพื่อทดสอบว่าหากค่าพีเอชของสเลอรีเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อประสิทธิภาพการแยกหรือไม่ โดยจะทดสอบโดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% w/w เนื่องจากหากใช้กรดที่เข้มข้นน้อยจะเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในระบบด้วยจึงใช้กรดเข้มข้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความถ่วงจำเพาะของสเลอรีลดลง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติ ทางกายภาพและทางเคมี ของวัสดุตุ้ดกลาง

4.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาของวัสดุตุ้ดกลาง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาของวัสดุตุ้ดกลางทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ขี้เถ้าไผ่ปาล์ม ขี้เถ้าไม้ยางพารา และดินขาว โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) พบว่าขี้เถ้าไผ่ปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพารามีองค์ประกอบบางอย่างเหมือนกับองค์ประกอบที่มีอยู่ในดินขาว ได้แก่ Calcium carbonate $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ หรือแร่ Calcite และ Silicon Oxides (SiO_2) หรือแร่ Quartz แต่นอกจากนี้ในขี้เถ้ายังมีองค์ประกอบของแร่ชนิดอื่นรวมอยู่ด้วยอีกหลายชนิดโดยเฉพาะในขี้เถ้าไม้ยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ทางแร่วิทยาของวัสดุตุ้ดกลางด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer

Material	Chemical name	Chemical formula
Commercial clay	Calcite	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
	Quartz	SiO_2
Palm-ash	Calcite	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
	Quartz	SiO_2
	Potassium Carbide	K_2C_2
Rubberwood-ash	Calcite	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
	Magnesium Oxide	MgO
	Lime	CaO
	Calcium Hydroxide	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
	Potassium Borate	KBO_2
	Hydroxylapatite	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

ดังนั้นการที่ขี้เถ้าซึ่งเป็นวัสดุที่ต้องการนำมาทดแทนดินขาวมีองค์ประกอบบางอย่างที่เหมือนกับดินขาวก็แสดงว่าวัสดุชนิดนั้นมีโอกาสที่จะนำมาใช้แทนดินขาวได้ แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของวัสดุประกอบด้วย

4.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลาง

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ของวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ขี้เถ้าไยปาล์ม ขี้เถ้าไม้ยางพารา และดินขาว พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลางทั้งสามชนิด จะมีปริมาณของสารประกอบ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก โดย

- ดินขาว ประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ 68.52% และซิลิกอนไดออกไซด์ 3.23%
- ขี้เถ้าไยปาล์ม ประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ 11.06% และซิลิกอนไดออกไซด์ 37.93%
- ขี้เถ้าไม้ยางพารา ประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ 55.18% และซิลิกอนไดออกไซด์

6.52%

ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ พบว่าในดินขาวประกอบไปด้วยสารประกอบอื่น ๆ เพียงไม่กี่ชนิด ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ สตรอนเตียมออกไซด์ และมีคลอไรด์อยู่ด้วยเล็กน้อย ส่วนขี้เถ้าไยปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพารา นอกจากองค์ประกอบที่มีในดินขาวดังกล่าวมาแล้วยังมีองค์ประกอบอื่นอีกหลายชนิดรวมอยู่ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลางด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer

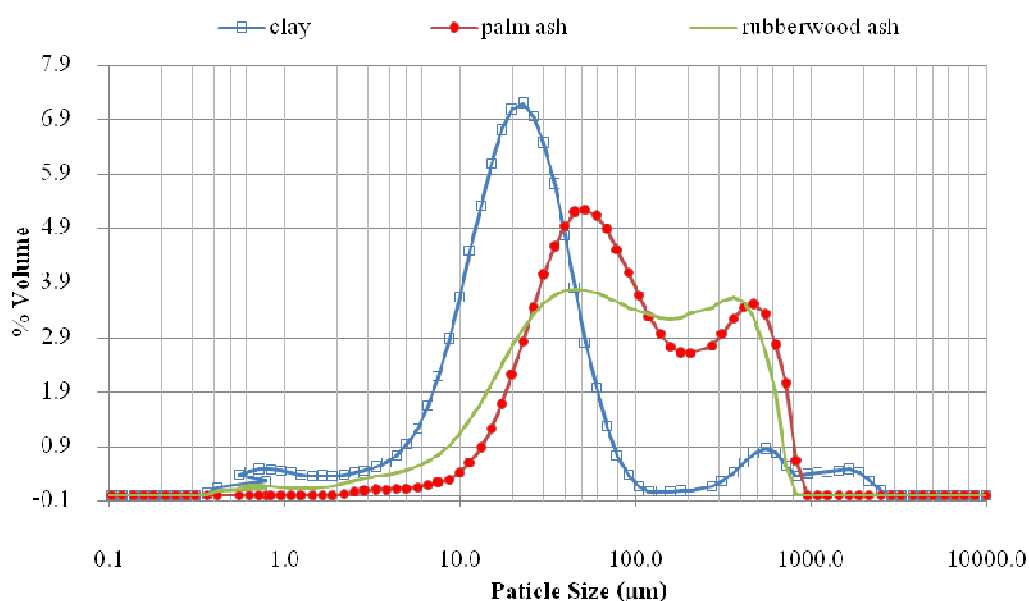
Chemical Composition (Mass %)	Commercial clay	Palm-ash	Rubberwood-ash
MgO	0.53	1.43	5.43
Al ₂ O ₃	1.01	1.45	1.03
SiO ₂	3.23	37.93	6.52
CaO	68.52	11.06	55.18
Fe ₂ O ₃	0.60	2.07	0.42
SrO	0.08	0.05	0.13
P ₂ O ₅	-	4.75	2.44
SO ₃	-	0.88	2.44
Cl	very low	1.98	0.27
K ₂ O	-	9.09	4.53
MnO ₂	-	0.32	1.21
CuO	-	0.05	very low
ZnO	-	0.03	very low
Rb	-	0.06	0.07
Y ₂ O ₃	-	0.03	-
ZrO ₂	-	0.14	very low
Ti	-	very low	very low
Na	-	-	very low
Ba	-	-	very low

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุตัวกลาง

จากผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของดินขาวโดยใช้เครื่อง Laser particle size analyzer พบว่าอนุภาคของดินขาวมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุตัวกลางอื่นอีกสองชนิดที่นำมาทดลองเพื่อใช้ทดแทนดินขาว ซึ่งระบบการแยกโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถี่จำเพาะที่อาศัยสารแขวนลอยเป็นสารตัวกลางนั้น พบว่ายิ่งอนุภาควัสดุตัวกลางมีขนาดเล็กก็จะยิ่งแขวนลอยได้นานกว่าวัสดุตัวกลางที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า[7] ซึ่งโดยประมาณ 90

เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินขาวจะมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงน้อยกว่า 63 ไมครอน แต่ทั้งนี้ก็มีอนุภาคขนาดใหญ่รวมอยู่ด้วย โดยมีขนาดอนุภาคประมาณ 300-1600 ไมครอน ส่วนผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคขี้เถ้าไผ่ปาล์ม พบว่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขี้เถ้าไผ่ปาล์ม มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงน้อยกว่า 397 ไมครอน และผลจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของขี้เถ้าไม้ยางพารา พบว่าประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขี้เถ้าไม้ยางพารา มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 340 ไมครอน ซึ่งมีปริมาณการกระจายตัวของอนุภาควัสดุตัวกลางทั้งสามชนิดแสดงในภาพประกอบที่ 4-1

เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของขี้เถ้าไผ่ปาล์มกับขี้เถ้าไม้ยางพาราพบว่าอนุภาคของวัสดุทั้งสองชนิดมีขนาดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณการกระจายตัวของอนุภาคขนาดใหญ่กับอนุภาคขนาดเล็กในปริมาณใกล้เคียงกันอีกด้วย ซึ่งขนาดอนุภาคก็อยู่ในช่วงเดียวกับดินขาว แต่มีปริมาณอนุภาคที่ขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่มากกว่าในดินขาว



ภาพประกอบที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของวัสดุตัวกลางดินขาว ขี้เถ้าไผ่ปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ซีดี

จากผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ซีดีของวัสดุตัวกลางทั้งสามชนิดได้แก่ ดินขาว ขี้เถ้าไผ่ปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา โดยมีน้ำเป็นตัวกลางในการแขวนลอย พบว่าค่าศักย์ซีดีของอนุภาค ดินขาว

และซีเถ้าไม้ยางพาราอยู่ในช่วง -30 mV ถึง 30 mV ดังนั้นจากผลของศักย์ซีเถ้าในช่วงดังกล่าวทำให้ทราบว่าคุณภาพของดินขาว และซีเถ้าไม้ยางพาราจะไม่เสถียร นั่นคือมีแนวโน้มการจับตัวกันเป็นก้อน (coagulation) และจะตกตะกอนได้ง่าย ส่วนค่าศักย์ซีเถ้าของซีเถ้าไยปาล์ม มีค่าต่ำกว่า -30 mV นั่นคือคุณภาพของซีเถ้าไยปาล์มจะมีความเสถียรสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้นาน โดยมีผลการวิเคราะห์ดังเอกสารแนบในภาคผนวก ง ซึ่งจากผลของค่าศักย์ซีเถ้าเพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าคุณภาพของวัสดุตัวกลางชนิดไหนจะแขวนลอยได้นานกว่ากัน ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ขนาดอนุภาคของวัสดุตัวกลาง ค่าความเป็นกรด-เบส และค่าอื่น ๆ ที่มีผลต่อการแขวนลอยของอนุภาคด้วย

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละความชื้นของวัสดุตัวกลาง

เมื่อนำวัสดุตัวกลางทั้งสามชนิดไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น พบว่าในซีเถ้าไยปาล์มมีปริมาณความชื้นอยู่ค่อนข้างสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินขาวและซีเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งถ้าหากเก็บวัสดุที่มีความชื้นสูงไว้นานก็จะมีโอกาสทำให้วัสดุจับกันเป็นก้อนได้มากกว่าวัสดุที่มีความชื้นต่ำ และถ้านำวัสดุที่จับตัวกันเป็นก้อนแข็งไปเตรียมสเลอรีจะส่งผลให้ต้องใช้วัสดุในปริมาณที่มากกว่าเดิมจึงจะได้รับความถ่วงจำเพาะที่ต้องการ เนื่องจากวัสดุที่เป็นก้อนจะไม่สามารถแขวนลอยได้

ตารางที่ 4-3 ปริมาณร้อยละความชื้นของวัสดุตัวกลางที่ใช้เตรียมสเลอรี

Material	% Moisture
Commercial clay	0.69
Palm-ash	25.66
Rubberwood-ash	1.82

4.2 ผลการตี กษาความถ่วงจำเพาะของเมล็ด ดินและกะลาปาล์ม

จากการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเมล็ดดินและกะลาปาล์มน้ำมัน พบว่าความถ่วงจำเพาะของทั้งเมล็ดดินและกะลาปาล์มน้ำมันที่มีขนาดแตกต่างกันก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งขนาดเล็กก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าขนาดใหญ่ เมื่อหาค่าเฉลี่ยโดยใช้เมล็ดทุกขนาดมาทดลองพบว่าเมล็ดดินของปาล์มน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยที่ 1.04 และกะลาของปาล์มน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยประมาณ 1.23 ดังนั้นการศึกษากการแยกเมล็ดดินและกะลาปาล์มน้ำมันโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (HMS) จะต้องเตรียมสเลอรีให้มีความ

ถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.04 กับ 1.23 จึงจะสามารถแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้ ซึ่งต้องทำการศึกษาและทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของเมล็ดที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการแยกเมล็ดในปาล์มน้ำมันเพื่อลดการสูญเสียเมล็ดในปาล์ม ที่สามารถนำไปสกัดน้ำมันจากเมล็ดในต่อไปได้ ซึ่งการควบคุมค่าความถ่วงจำเพาะให้เหมาะสมจะเป็นการควบคุมการปะปนของกะลาปาล์มไปพร้อมกันด้วย

ตารางที่ 4-4 ความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน (เทียบเป็นทรงกลม)

Material	Diameter (cm)	SG.	Average SG.
kernel	< 1.0	0.95	1.04
	1.0 - 1.5	1.05	
	1.5 - 2.0	1.12	
shell	< 1.0	1.24	1.23
	1.0 - 2.0	1.28	
	2.0 - 3.0	1.33	
white shell	mixed	1.06	



ภาพประกอบที่ 4-2 ลักษณะของเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่มีขนาดต่างกันสามขนาด



ภาพประกอบที่ 4-3 ลักษณะของกะลาปาล์มน้ำมันที่มีขนาดแตกต่างกันสามขนาด



ภาพประกอบที่ 4-4 ลักษณะของกะลาปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะเป็นสีดำและสีขาว

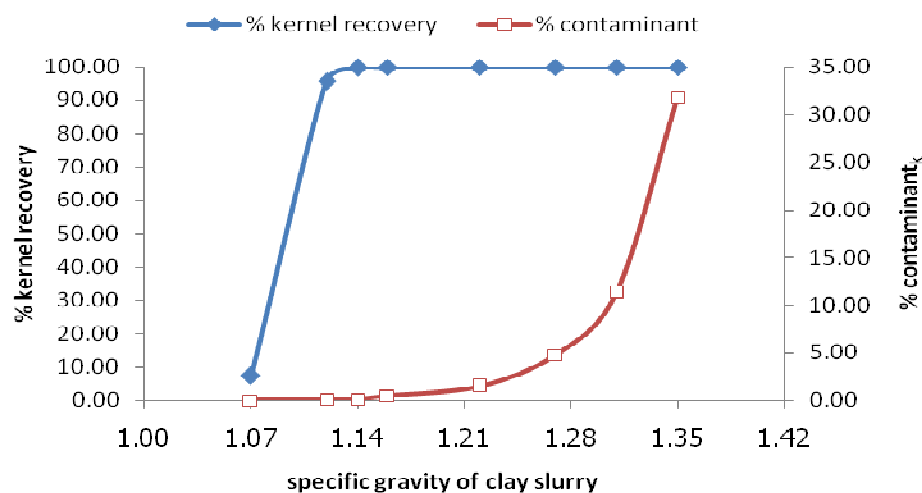
4.3 ผลการศึกษาคูณสมบัติ ของสเลอรี ต่ อประสิทธิภาพการแยกเมล็ด ดินและกะลาปาล์ม น้ำมัน (Laboratory Scale)

ในการศึกษาคูณสมบัติของสเลอรีต่อประสิทธิภาพการแยกเมล็ดดินกับกะลาปาล์มน้ำมัน จำเป็นต้องมองคูณสมบัติหลาย ๆ ด้านของสเลอรีประกอบกัน แต่การอธิบายผลการศึกษาทดลองต่อไปนี้จะเน้นอธิบายเฉพาะค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีต่อประสิทธิภาพการแยกเมล็ดดินกับกะลาปาล์มน้ำมันเท่านั้น โดยนำเสนอเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับประสิทธิภาพการแยกเมล็ดดินกับกะลาปาล์มน้ำมัน ส่วนคูณสมบัติด้าน อื่น ๆ เช่น ค่าพีเอช และค่าความหนืด ในการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการสามารถดูเพิ่มเติมจากภาคผนวก ข

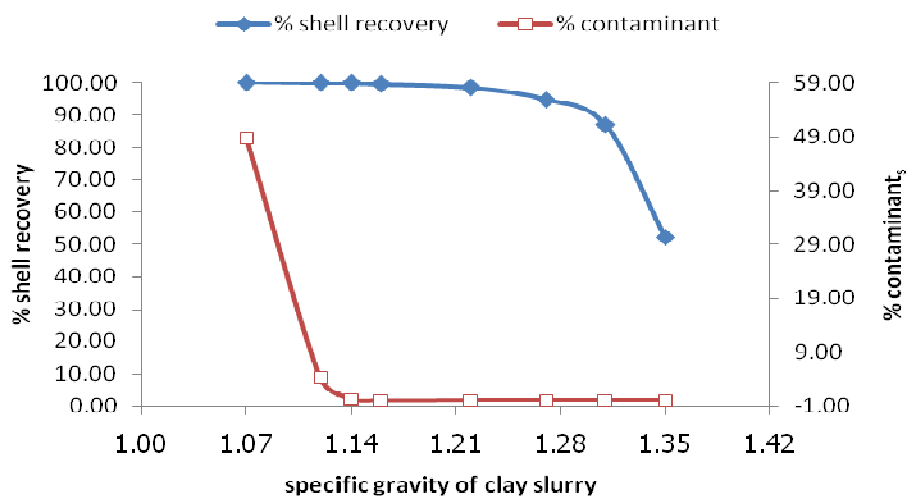
4.3.1 กรณีใช้วัสดุตัวกลางชนิดเดียว

จากผลการทดลองระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสเลอรีที่เตรียมจากดินขาวเพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานสำหรับเปรียบเทียบกับวัสดุขี้เถ้าไยปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพาราที่ต้องการนำมาทดแทน เมื่อใช้น้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม) ผสมกับดินขาวในสัดส่วน

ต่าง ๆ แล้วนำแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันพบว่า ที่สัดส่วนของดินขาวต่อน้ำเป็น 250:1000 กรัม หรือที่อัตราส่วน 0.25:1 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปเตรียมสเลอรีเพื่อใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยสัดส่วนดังกล่าวมีค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเป็น 1.14 ค่าความหนืดเป็น 3.5 เซนติพอยส์ และค่าพีเอชประมาณ 9.23 ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ ข-1 ภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแยกเมล็ดในปาล์ม (kernel) ได้ 99.97 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในปาล์มทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_k) 0.10 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่ลอย และสามารถแยกกะลา (shell) ได้ 99.89 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปนอยู่ (contaminant_s) 0.22 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่จม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-5 และภาพประกอบที่ 4-6 ตามลำดับ

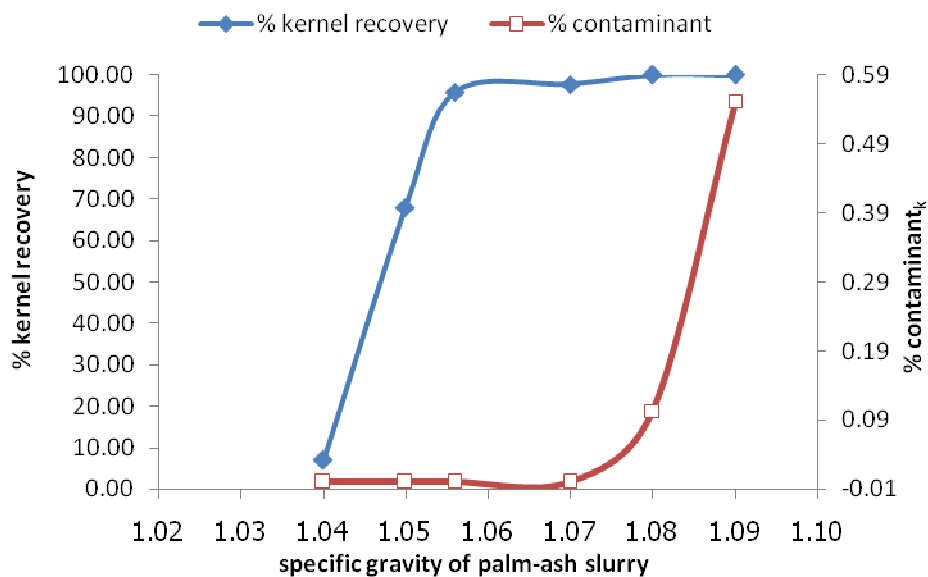


ภาพประกอบที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีจากดินขาวที่สัดส่วนต่าง ๆ

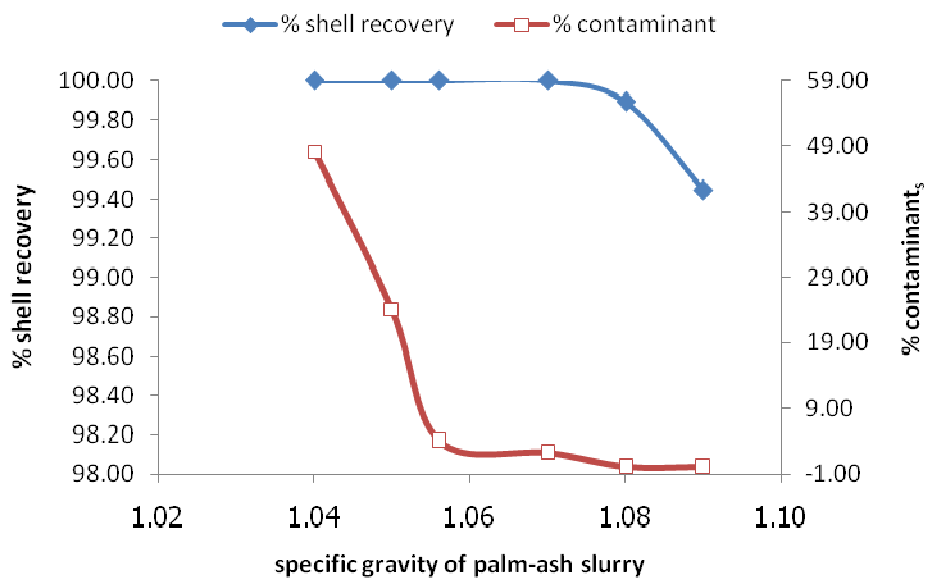


ภาพประกอบที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวที่สัดส่วนต่าง ๆ

จากผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการของสเลอรีที่เตรียมจากขี้เถ้าไยปาล์ม เมื่อใช้น้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม) ผสมกับขี้เถ้าไยปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ แล้วนำไปแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันพบว่า ที่สัดส่วนของขี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 400:1000 กรัม หรือสัดส่วน 0.4:1 เป็นสัดส่วนที่แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มได้ดีแต่ที่สัดส่วนดังกล่าวความเข้มข้นของสเลอรีสูงมากเนื่องจากขี้เถ้าไยปาล์มมีกากเยอะจึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริง ดังนั้นที่สัดส่วน 350:1000 กรัม หรืออัตราส่วน 0.35:1 จึงเป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันมากกว่า โดยที่สัดส่วนดังกล่าวมีค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเป็น 1.06 ค่าความหนืดเป็น 19 เซนติพอยส์ และค่าพีเอชประมาณ 10.05 ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ ข-2 ภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ 95.82 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในปาล์มทั้งหมด โดยไม่มีสิ่งเจือปน และสามารถแยกกะลาได้ 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาปาล์มทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant) 4.00 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่จม ดังภาพประกอบที่ 4-7 และภาพประกอบที่ 4-8 ตามลำดับ

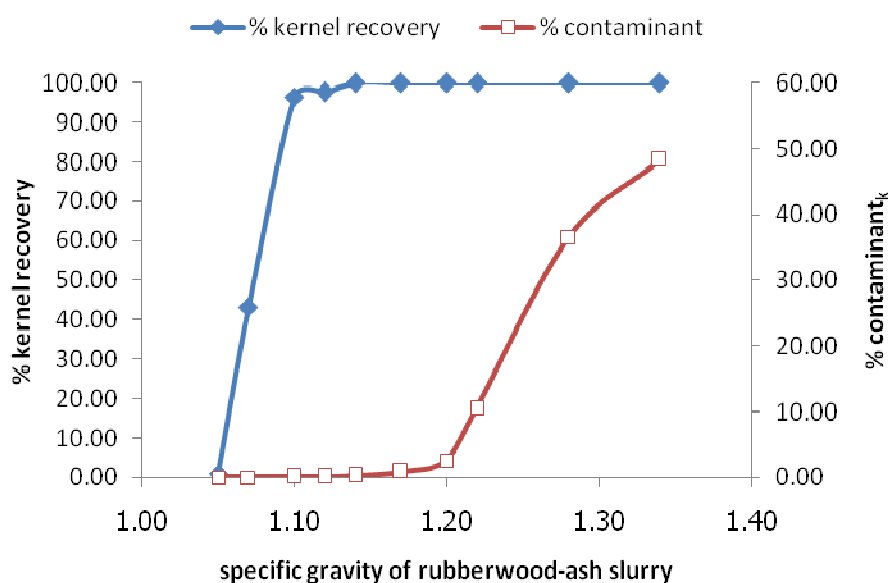


ภาพประกอบที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซี้เข้าไปปาล์มที่สกัดส่วนต่าง ๆ

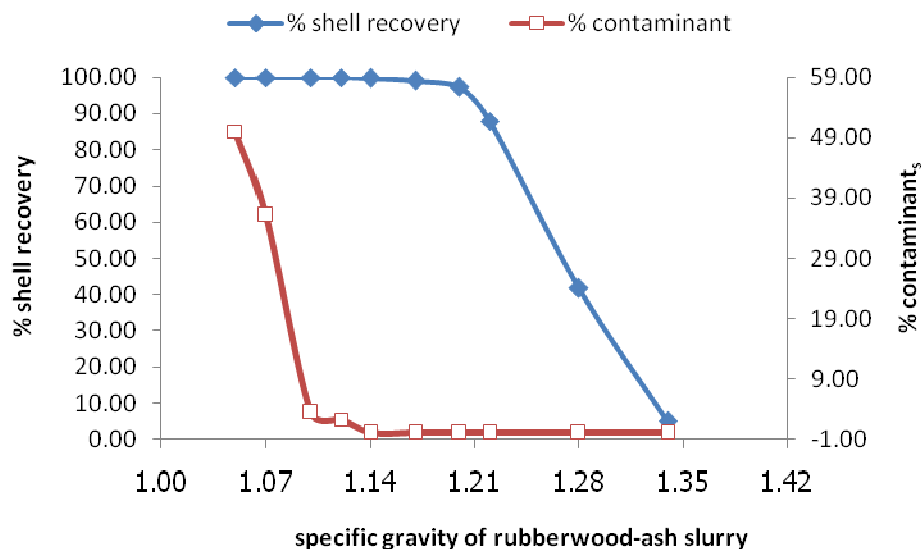


ภาพประกอบที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีซี้เข้าไปปาล์มที่สกัดส่วนต่าง ๆ

จากผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเมื่อเตรียมสเลอรีจากขี้เถ้าไม้ยางพารา โดยใช้ น้ำ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม) ผสมกับขี้เถ้าไม้ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ แล้วนำไปแยกเมล็ด ในกับกะลาปาล์มน้ำมันพบว่า ที่สัดส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 300:1000 กรัม หรือที่ อัตราส่วน 0.3:1 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยมีค่าความ ถ่วงจำเพาะของสเลอรีเป็น 1.12 ค่าความหนืดเป็น 12 เซนติพอยส์ และค่าพีเอชประมาณ 12.39 ที่ อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ ข-3 ภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแยกเมล็ดใน ปาล์มได้ 97.65 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในปาล์มทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_k) 0.11 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่ลอย และสามารถแยกกะลาได้ 99.90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลา ทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_s) 2.30 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่จม ดังภาพประกอบที่ 4-9 และภาพประกอบที่ 4-10 ตามลำดับ



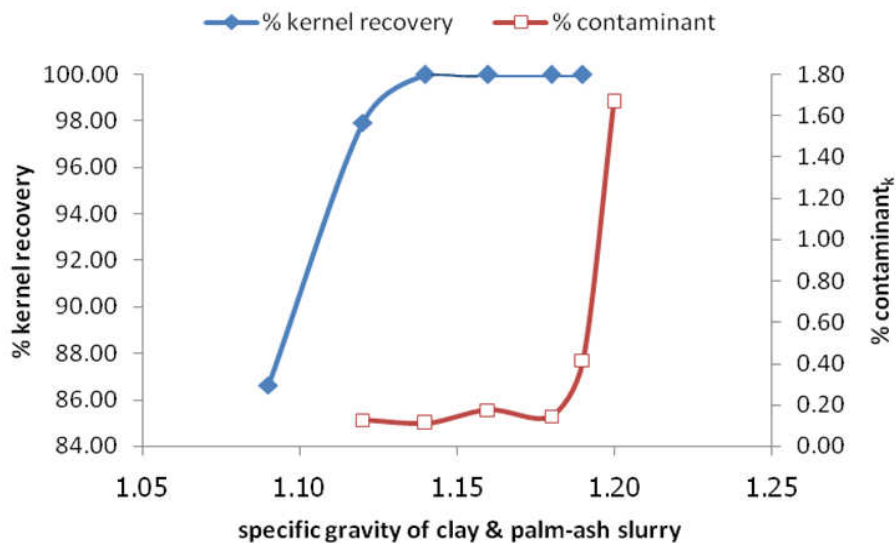
ภาพประกอบที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อ ความถ่วงจำเพาะของสเลอรีขี้เถ้าไม้ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ



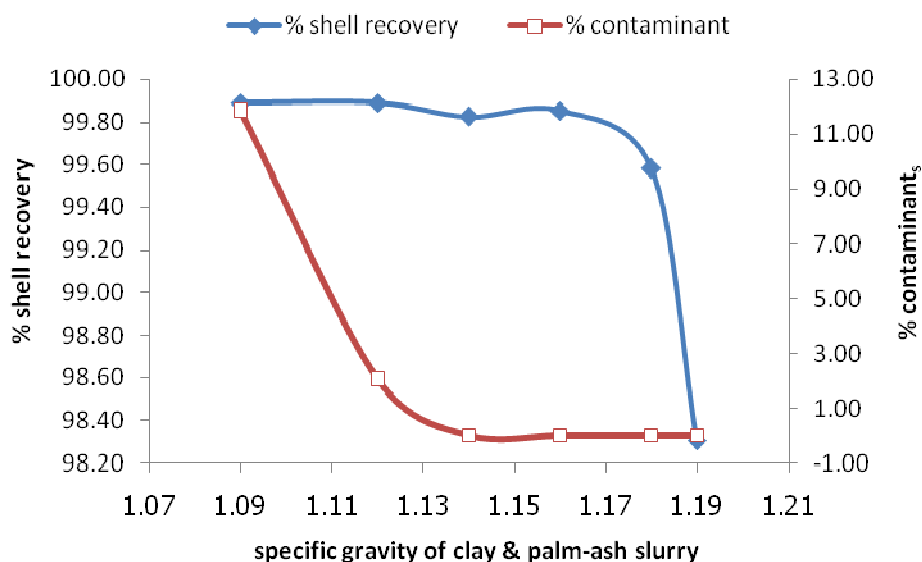
ภาพประกอบที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอริจี้เถ้าไม้ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ

4.3.2 กรณีใช้วัสดุตัวกลางดินขาวผสมจี้เถ้า

จากผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสเลอริจี้เตรียมจากดินขาวผสมจี้เถ้าไยปาล์มในสัดส่วน (1:1) โดยใช้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม) ผสมกับส่วนผสมของดินขาวกับจี้เถ้าไยปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ แล้วนำไปแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันพบว่า ที่สัดส่วนของดินขาวผสมจี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 300:1000 กรัม หรือที่อัตราส่วน 0.30:1 เป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอริจี้เป็น 1.12 ค่าความหนืดเป็น 5.5 เซนติพอยส์ และค่าพีเอชประมาณ 9.98 ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ ข-4 ภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ 97.93 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในปาล์มทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_k) 0.11 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่ลอย และสามารถแยกกะลาได้ 99.89 เปอร์เซ็นต์ปริมาณกะลาทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_k) 2.03 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่จม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-11 และภาพประกอบที่ 4-12 ตามลำดับ

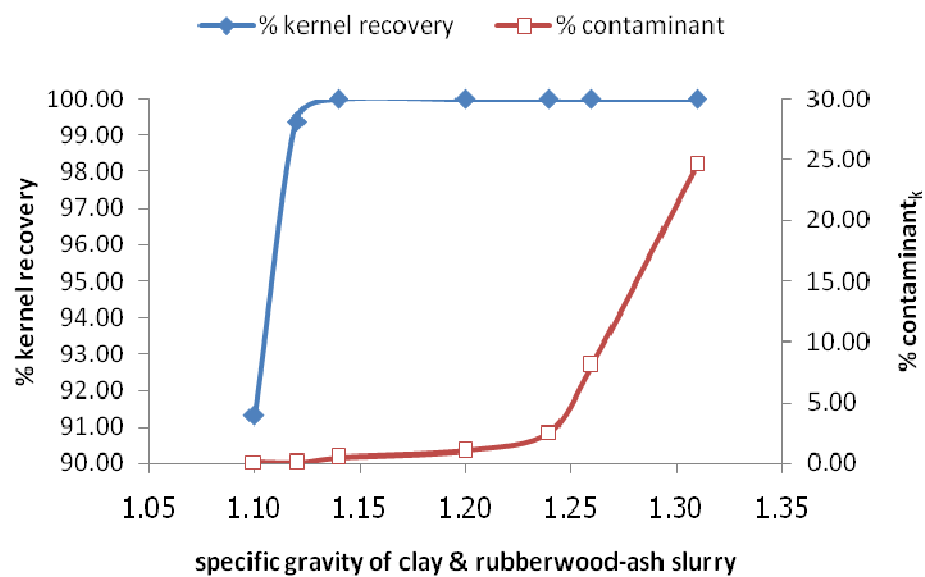


ภาพประกอบที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซีเมนต์ปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ

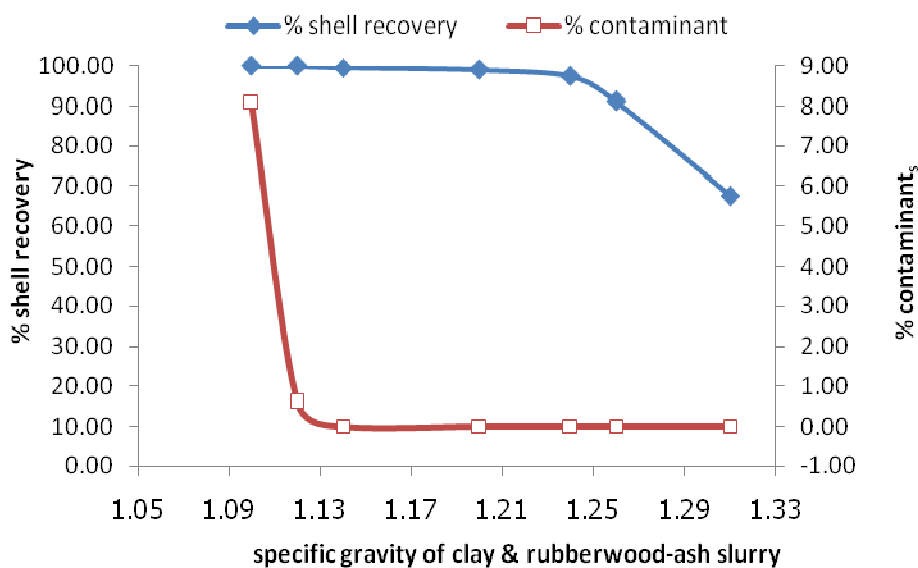


ภาพประกอบที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซีเมนต์ปาล์มที่สัดส่วนต่าง ๆ

จากผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสเลอรีที่เตรียมจากดินขาวผสมซีเมนต์ไ้ม้ยางพารา เมื่อใช้น้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (1,000 กรัม) ผสมกับส่วนผสมของดินขาวกับซีเมนต์ไ้ม้ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ แล้วนำไปแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันพบว่า สัดส่วนของดินขาวผสมซีเมนต์ไ้ม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 250:1000 กรัม หรือที่อัตราส่วน 0.25:1 เป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเป็น 1.12 ค่าความหนืดเป็น 8 เซนติพอยส์ และค่าพีเอชประมาณ 12.09 ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ ข-5 ภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแยกเมล็ดในได้ 99.38 เปอร์เซ็นต์ปริมาณเมล็ดในทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_k) 0.06 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่ลอย และสามารถแยกกะลาได้ 99.94 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด โดยมีสิ่งเจือปน (contaminant_s) 0.61 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่จม ดังภาพประกอบที่ 4-13 และภาพประกอบที่ 4-14 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดในปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมซีเมนต์ไ้ม้ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกะลาปาล์มน้ำมันที่แยกได้และสิ่งเจือปนต่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีดินขาวผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ

4.3.3 กรณีเติมสารช่วยกระจายตัวอนุภาคของวัสดุตัวกลางในสเลอรี

ผลการใช้สารช่วยกระจายตัวโดยลดสัดส่วนของปริมาณวัสดุตัวกลางต่อน้ำลงจากสัดส่วนที่แยกได้ดีประมาณ 0.05:1 แล้วเติมสารช่วยกระจายตัวซึ่งเป็นสารที่มีหน้าที่ช่วยให้อนุภาคของวัสดุเกิดการผลักกัน ทำให้อนุภาควัสดุตัวกลางไม่จับตัวกันเป็นก้อนจึงสามารถแขวนลอยได้นานขึ้น ซึ่งสารที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) จากการทดลองเมื่อเติมสารช่วยกระจายตัวลงไป ปริมาณ 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง ในสเลอรีที่เตรียม ผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการแยกเมล็ดในและกะลาของปาล์มน้ำมันได้ดีขึ้นกว่าการแยกในสัดส่วนที่เท่ากัน โดยไม่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารช่วยกระจายตัวนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้ โดยประสิทธิภาพของสารช่วยกระจายตัวทั้งสองชนิดค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน ซึ่งจากสัดส่วนที่ทดลองเมื่อเติมสารช่วยกระจายตัวลงไป 0.25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุตัวกลางก็พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกได้ และแม้เพิ่มปริมาณสารช่วยกระจายตัวลงไปมากขึ้นก็พบว่าประสิทธิภาพการแยกนั้นค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้นจึงควรเติมสารช่วยกระจายตัวแก่ประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง ดังแสดงในตารางที่ ข-6 ถึงตารางที่ ข-15 ในภาคผนวก ข

สรุปสัดส่วนของวัสดุตัวกลางที่มีประสิทธิภาพในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มได้ดีในระดับห้องปฏิบัติการและจะต้องนำไปทดลองต่อในอุปกรณ์ระดับต้นแบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่

- ดินขาวที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1
- จีเถ้าไยปาล์มที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของจีเถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1
- จีเถ้าไยยางพาราที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของจีเถ้าไยยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1
- ดินขาวผสมจีเถ้าไยปาล์มที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของดินขาวผสมจีเถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.30:1
- ดินขาวผสมจีเถ้าไยยางพาราที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของดินขาวผสมจีเถ้าไยยางพาราเป็น 0.25:1
- ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง โดยมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของดินขาวต่อน้ำเป็น 0.20:1
- จีเถ้าไยปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง โดยมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักจีเถ้าไย เป็นสารช่วยกระจายตัว ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของจีเถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1
- เมื่อใช้จีเถ้าไยยางพาราเป็นวัสดุตัวกลาง โดยมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักจีเถ้าไย เป็นสารช่วยกระจายตัว ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของจีเถ้าไยยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มในในระดับห้องปฏิบัติการ (Pilot Scale)

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของสเลอรีและประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันของสเลอรีในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีการเตรียมสเลอรีจากวัสดุตัวกลางชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ดินขาว จีเถ้าไยยางพารา จีเถ้าไยปาล์ม ดินขาวผสมกับจีเถ้าไยยางพารา และดินขาวผสมกับจีเถ้าไยปาล์มแล้ว เมื่อได้สัดส่วนของสเลอรีที่มีความเหมาะสมต่อการใช้แยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันตามผลการทดลองในข้อ 4.3 ก็จะนำสัดส่วนที่มีความเหมาะสมของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิดนั้นมาทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันในระดับ pilot scale โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามที่โรงงานกำหนดไว้ในกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันที่ออกมาจากเครื่องคัดแยก (clay bath) ซึ่งค่ามาตรฐานการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มของโรงงาน แสดงดังตารางที่ 4-5 โดยในผลการศึกษาจะอธิบายในรูปแบบของกราฟแท่งเป็นการบอกถึงประสิทธิภาพ

การแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันของวัสดุตัวกลางแต่ละชนิดต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ของสเลอรีในการทดลองกับอุปกรณ์ระดับต้นแบบ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และค่าพีเอช ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4-5 มาตรฐานการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันที่ออกจากเครื่องแยก (Clay Bath) ในโรงงานอุตสาหกรรม

สิ่งที่ย่อยได้	สิ่งเจือปน	
เมล็ดในปาล์ม (kernel)	กะลา น้อยกว่า 8-10 %	เมล็ดที่ยังไม่กะเทาะ (nut) น้อยกว่า 4 %
กะลาปาล์ม (shell)	เมล็ดใน น้อยกว่า 2 %	เมล็ดที่ยังไม่กะเทาะ (nut) น้อยกว่า 2 %

ที่มา : บริษัท โมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด

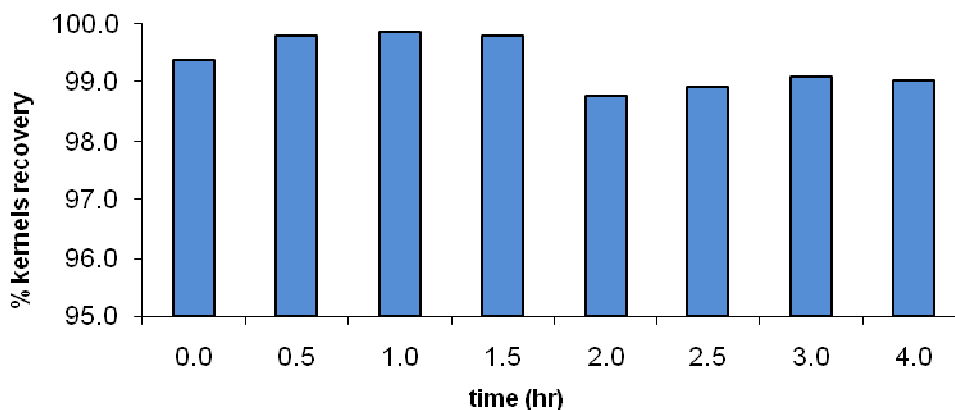
หมายเหตุ : การทดลองในระดับ pilot scale จะพิจารณาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยคำนวณประสิทธิภาพการแยกแต่ละช่วงเวลาที่ทำการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

4.4.1 กรณีใช้วัสดุตัวกลางชนิดเดียว

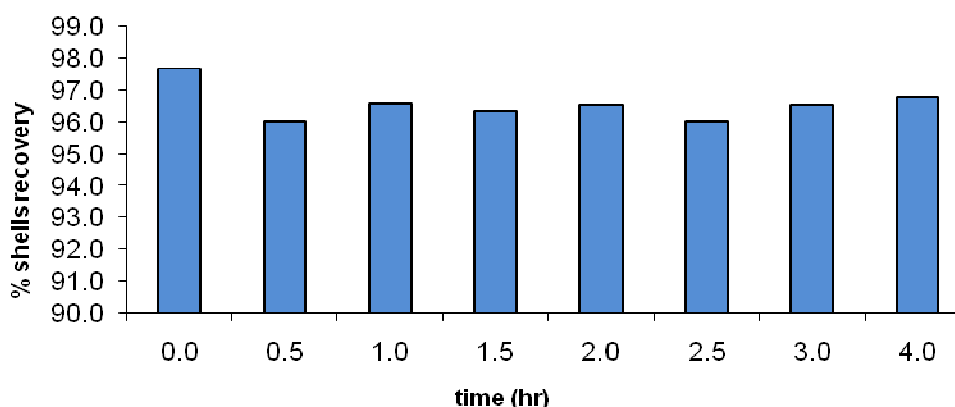
- เมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง (สัดส่วนของดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1)

จากการเตรียมสเลอรีที่มีสัดส่วนระหว่างดินขาวกับน้ำเป็น 0.25:1 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ได้จากการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ มาใช้ในการทดลองระดับ pilot scale ซึ่งได้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 1.14 ซึ่งยังไม่ลดลงในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ค่าความหนืดค่อนข้างคงที่เพราะมีค่าที่ค่อนข้างต่ำมากที่ประมาณ 3.5 เซนติพอยส์ ส่วนค่าพีเอชค่อย ๆ ลดลงจากที่เริ่มต้นสเลอรีจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสอ่อน ๆ เมื่อเวลาผ่านไปค่าพีเอชจะลดลงอยู่ในช่วงเป็นกลาง เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลางในช่วงแรก ๆ สามารถแยกเมล็ดใน (kernel) ออกมาได้สูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในทั้งหมด และลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-15 โดยเมล็ดในที่แยกได้มีกะลา (shell) ปนอยู่ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และมีเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะ (nut) ปนอยู่ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ ค-1 ในภาคผนวก ค ซึ่งไม่เกินมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ส่วนปริมาณของกะลาที่แยกได้ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ของกะลาทั้งหมด ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-16 ในกะลาที่แยกได้มีเมล็ดในปนอยู่ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และมีเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนอยู่ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค-1 ในภาคผนวก ค ซึ่งอยู่ในมาตรฐานการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ



ภาพประกอบที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง

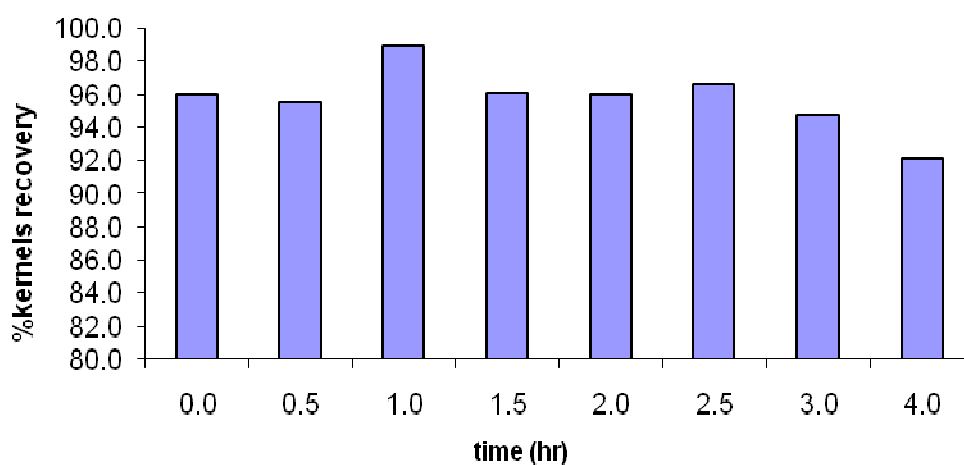


ภาพประกอบที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง

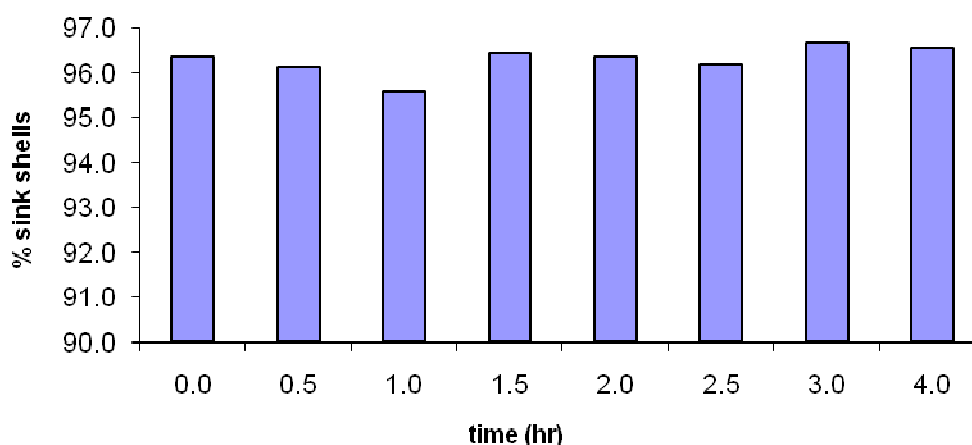
- เมื่อใช้ซีเถ้าปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง (สัดส่วนของซีเถ้าปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1)

ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้ซีเถ้าปาล์มเตรียมสเลอรีในการทดลองระดับ pilot scale เมื่อสเลอรีมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 1.10 ลดลงเหลือ 1.09 ในช่วงชั่วโมงที่สามที่ทำการทดลอง ค่าความหนืดเริ่มต้นเป็น 5 เซนติพอยส์และเหลือ 3.5 เซนติพอยส์ ในชั่วโมงที่สี่ที่ทำการทดลอง ส่วนค่าพีเอชค่อย ๆ ลดลงจากที่โดยอยู่ในช่วงเป็นเบสอ่อน ๆ ประมาณ 10 เหลือประมาณ 9.8 ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกลับได้ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ของ

เมล็ดในทั้งหมด ในช่วงแรกที่ทำกรทดลองและลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-17 มีกะลาปนอยู่ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ แต่มีเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะอยู่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะเกินมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค ส่วนปริมาณกะลาที่แยกได้ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ของกะลาปาล์มทั้งหมด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-18 โดยมีเมล็ดในปนอยู่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ในช่วงแรก และมีเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะเกิน 2 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน ซึ่งเกินมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค



ภาพประกอบที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ไข่ไก่
 ไยปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง

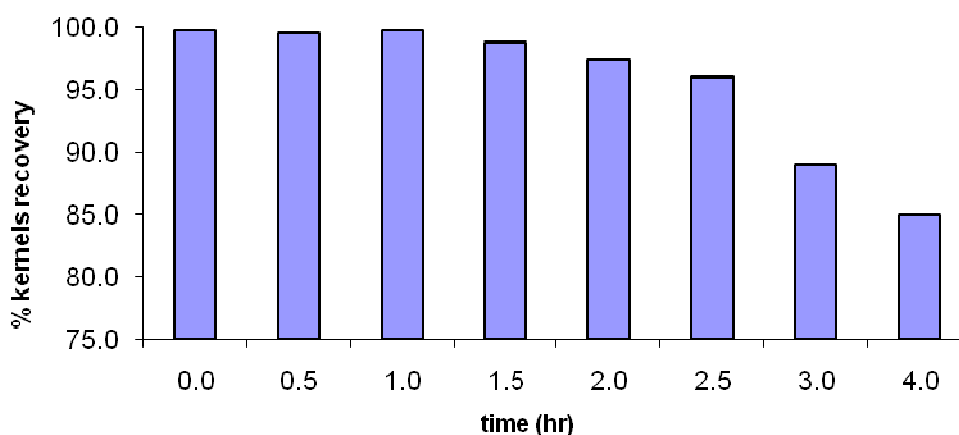


ภาพประกอบที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ไข่ไก่
 ปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง

หมายเหตุ: การทดลองในระดับ pilot scale หลังจากผสมขี้เถ้าไยปาล์มกับน้ำแล้วจะมีการกรองกากของขี้เถ้าไยปาล์มซึ่งลอยน้ำออกก่อน เนื่องจากหากไม่กรองออกกากของขี้เถ้าจะทำให้เครื่องแยก (clay bath) เกิดการอุดตันไม่สามารถเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องเพื่อแยกปาล์มได้

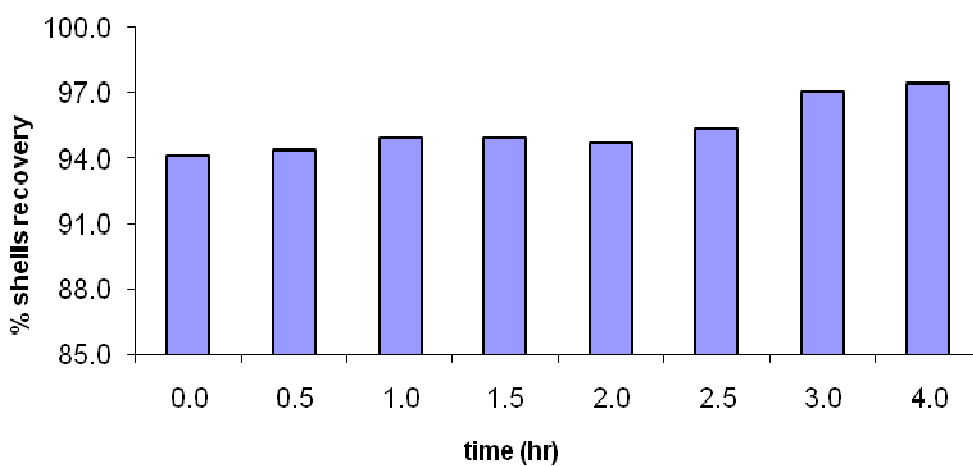
- เมื่อใช้ขี้เถ้าไยพาราเป็นวัสดุตัวกลาง (สัดส่วนของขี้เถ้าไยพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1)

ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยเตรียมสเลอรี่จากขี้เถ้าไยพาราในการทดลองระดับ pilot scale มีค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรี่อยู่ที่ประมาณ 1.14 และลดเหลือ 1.13 เมื่อผ่านไปชั่วโมงครึ่ง และเวลาผ่านไปประมาณสองชั่วโมงครึ่งความถ่วงจำเพาะของสเลอรี่จะเหลือ 1.12 ส่วนค่าความหนืดเริ่มต้นของสเลอรี่เป็น 13 เซนติพอยส์และลดเหลือ 8 เซนติพอยส์ ในชั่วโมงที่สี่ทำการทดลอง ส่วนค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสประมาณ 12.5 และลดลงน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสามารถแยกเมล็ดในกลับได้สูงถึง 99.77 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดในทั้งหมดในช่วงเริ่มต้นและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป หลังจากนั้นประมาณชั่วโมงที่สามประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในจะเหลือไม่ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-19 ส่วนปริมาณกะลาและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะที่ปนมากับเมล็ดในมีไม่เกิน 10 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินมาตรฐานของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ค-3 ภาคผนวก ค



ภาพประกอบที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้าไยพาราเป็นวัสดุตัวกลาง

ประสิทธิภาพการแยกกะลาช่วงแรกอยู่ที่ประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด ช่วงหลังจะแยกมากขึ้นประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-20 โดยมีเมล็ดในปนมามากไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ในช่วงสองชั่วโมงแรกและเมล็ดที่ยังไม่ได้กะเทาะปนมามากเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกินมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ดังแสดงในตารางที่ ค-3 ภาคผนวก ค แต่หลังจากชั่วโมงที่สองเมล็ดในที่ปนไปในกะลาจะสูงกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเกินมาตรฐานของโรงงาน



ภาพประกอบที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซี่เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลาง

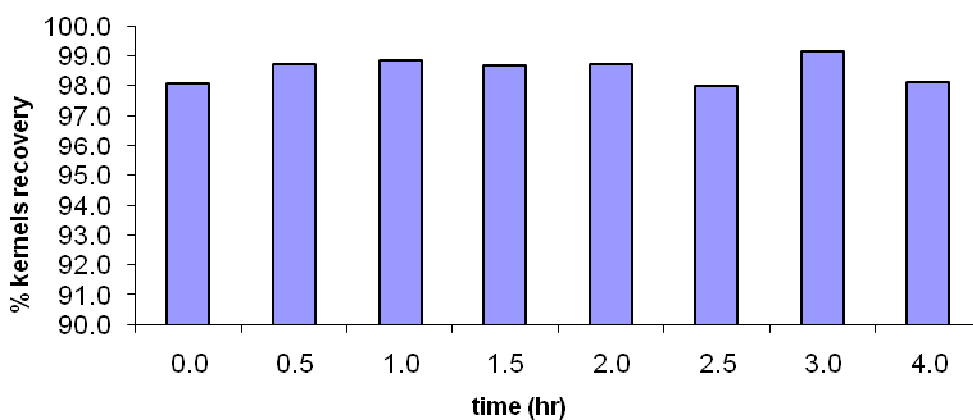
4.4.2 กรณีใช้วัสดุตัวกลางดินขาวผสมซีเถ้า

- เมื่อใช้ดินขาวผสมซีเถ้าปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง (สัดส่วนของดินขาวผสมซีเถ้าปาล์มต่อน้ำเป็น 0.30:1)

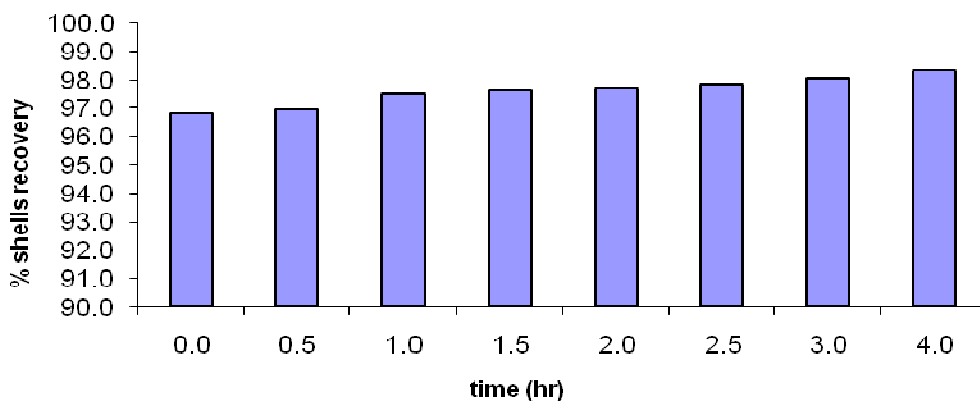
เมื่อใช้ดินขาวผสมกับซีเถ้าปาล์มเตรียมสเลอรี่ในการทดลองระดับ pilot scale ค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรี่อยู่ที่ประมาณ 1.14 และจะลดลงเหลือ 1.12 เมื่อผ่านไปสามชั่วโมง ส่วนค่าความหนืดเริ่มต้นเป็น 12.5 เซนติพอยส์และลดเหลือ 5 เซนติพอยส์ ในชั่วโมงที่สี่ที่ทำการทดลอง ส่วนค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสอ่อน ๆ ประมาณ 9.7 และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกลับได้ของสเลอรี่ประมาณ 98-99 เปอร์เซ็นต์ ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-21 โดยมีกะลาและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนมามากเกิน 10 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ค-4 ภาคผนวก ค ส่วนกะลาจะแยกได้ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแรก และเพิ่มเป็น 98 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงหลัง ดัง

แสดงในภาพประกอบที่ 4-22 ซึ่งมีเมล็ดในและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนอยู่น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ตามค่ามาตรฐานของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ก-4 ภาคผนวก ก

หมายเหตุ : การทดลองในระดับ pilot scale หลังจากนำส่วนผสมดินขาวกับซีเมนต์ไปปาล์มผสมน้ำแล้วจะมีการกรองกากของซีเมนต์ซึ่งลอยน้ำออกก่อน เช่นเดียวกับการใช้ซีเมนต์ไปปาล์มเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุผลเดียวกันว่าหากไม่กรองกากของซีเมนต์ออกจะทำให้เครื่องแยก (clay bath) เกิดการอุดตัน ไม่สามารถเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องเพื่อแยกปาล์มได้



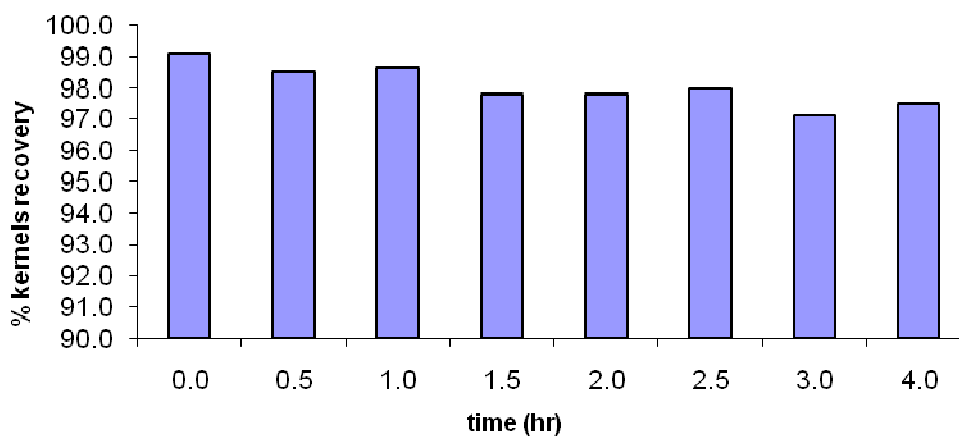
ภาพประกอบที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวผสมซีเมนต์ไปปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง



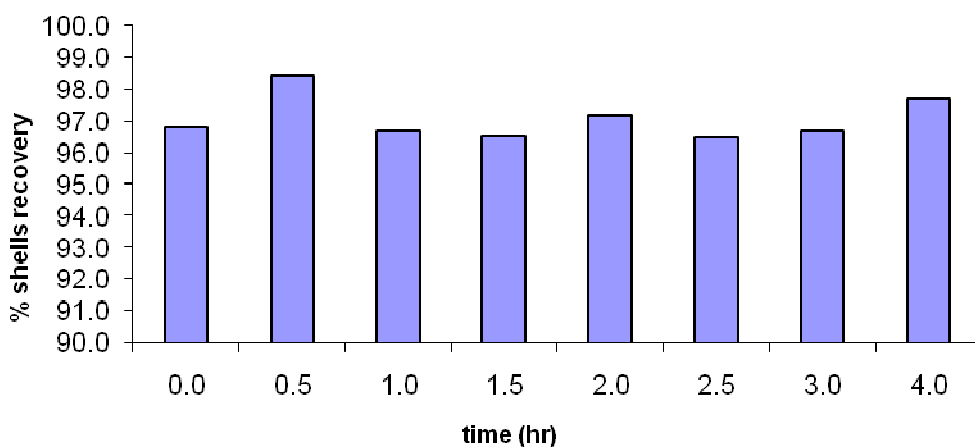
ภาพประกอบที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวผสมซีเมนต์ไปปาล์มเป็นวัสดุตัวกลาง

- เมื่อใช้ดินขาวผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลาง (สัดส่วนของดินขาวผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราเป็น 0.25:1)

การแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้ดินขาวผสมซีเมนต์ไม่ย่างพารามาเตรียมเมล็ดรีด้วยการทดลองระดับ pilot scale มีค่าความถ่วงจำเพาะของเมล็ดรีเป็น 1.12 และลดลงเป็น 1.11 ในช่วงเวลาที่สี่ ค่าความหนืดเริ่มต้นของเมล็ดรีเป็น 8 เซนติพอยส์และลดลงเหลือ 5 เซนติพอยส์ ในช่วงเวลาที่สี่ที่ทำการทดลอง ส่วนค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสประมาณ 12.4 และลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป จากการทดลองสามารถแยกเมล็ดในกลับได้สูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในทั้งหมด ในช่วงแรกและจะลดลงเหลือประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาที่สาม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-23 ซึ่งเมล็ดในที่แยกได้มีกะลาและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนอยู่ไม่เกิน 10 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก ส่วนกะลาที่แยกได้อยู่ที่ประมาณ 96-97 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-24 ซึ่งมีปริมาณการปะปนของเมล็ดในและเมล็ดที่ยังไม่ได้กะเทาะไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานในโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก



ภาพประกอบที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวผสมซีเมนต์ไม่ย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลาง

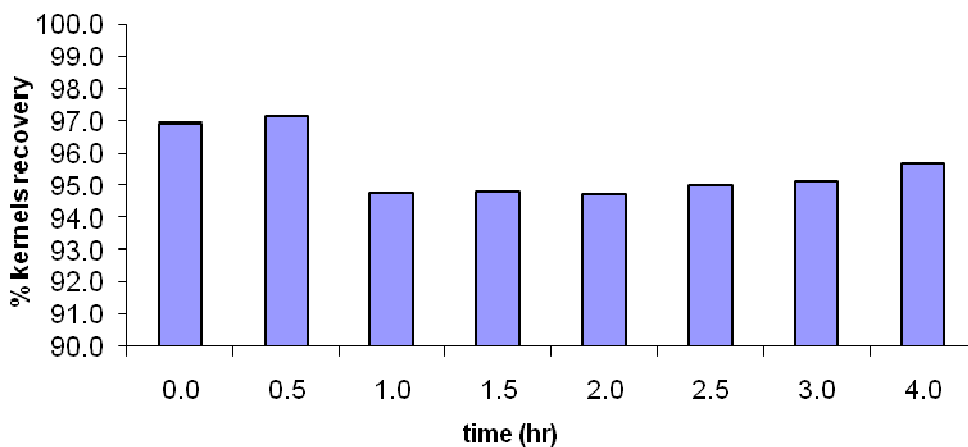


ภาพประกอบที่ 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวผสมซีเมนต์ไม่ยั้งพาราเป็นวัสดุตัวกลาง

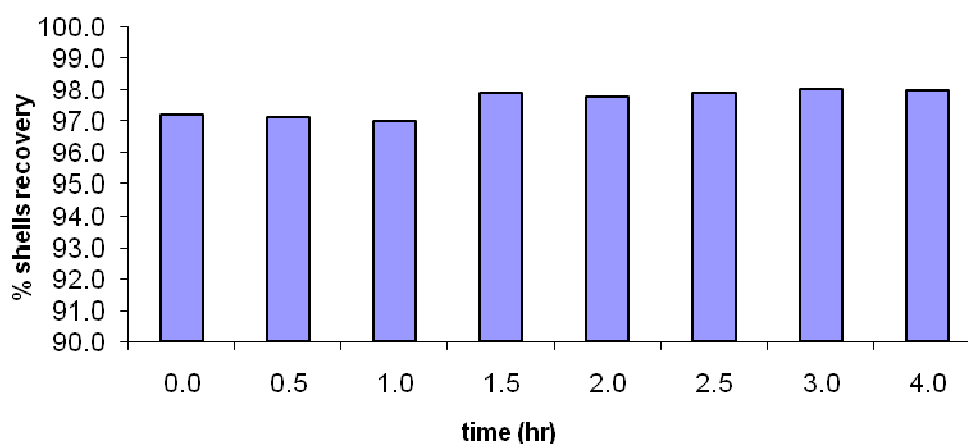
4.4.3 กรณีเติมสารช่วยกระจายตัวอนุภาควัสดุตัวกลางในสเลอรี

- เมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง โดยมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว (สัดส่วนของดินขาวต่อน้ำเป็น 0.20:1)

ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้ดินขาวเตรียมสเลอรีเมื่อมีสารช่วยกระจายตัว ในการทดลองระดับ pilot scale ค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีอยู่ที่ประมาณ 1.12 ลดลงเหลือ 1.11 เมื่อผ่านเวลาไปสามชั่วโมง ค่าความหนืดมีค่าค่อนข้างต่ำมากประมาณ 3-3.5 เซนติพอยส์ ส่วนค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสอ่อน ๆ ประมาณ 8.8 ในช่วงเวลาเริ่มต้นและลดลงอยู่ในช่วงเป็นกลาง โดยสเลอรีที่เตรียมสามารถแยกเมล็ดในกลับได้ประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในทั้งหมดในช่วงแรกและจะลดลงเหลือประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งชั่วโมง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-25 ซึ่งมีปริมาณกะลาและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนมาไม่เกิน 10 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ก-6 ภาคผนวก ก ส่วนกะลาที่แยกได้อยู่ที่ประมาณ 97-98 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-26 โดยมีเมล็ดในปนมาเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ หลังจากหนึ่งชั่วโมง ซึ่งเกินมาตรฐานของโรงงาน และเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนมาในปริมาณไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ ก-6 ภาคผนวก ก



ภาพประกอบที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 25% ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว

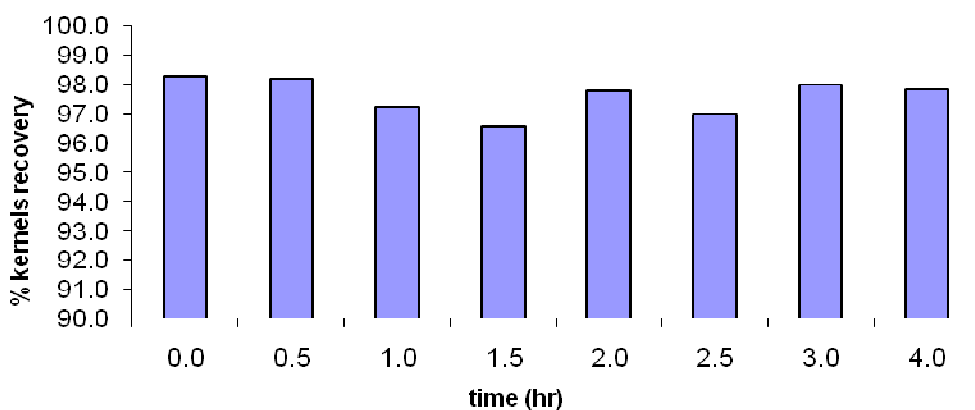


ภาพประกอบที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 25% ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว

- เมื่อใช้จีไธปาล์มเป็นวัสดุตัวกลางโดยมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักจีไธป เป็นสารช่วยกระจายตัว (สัดส่วนของจีไธปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1)

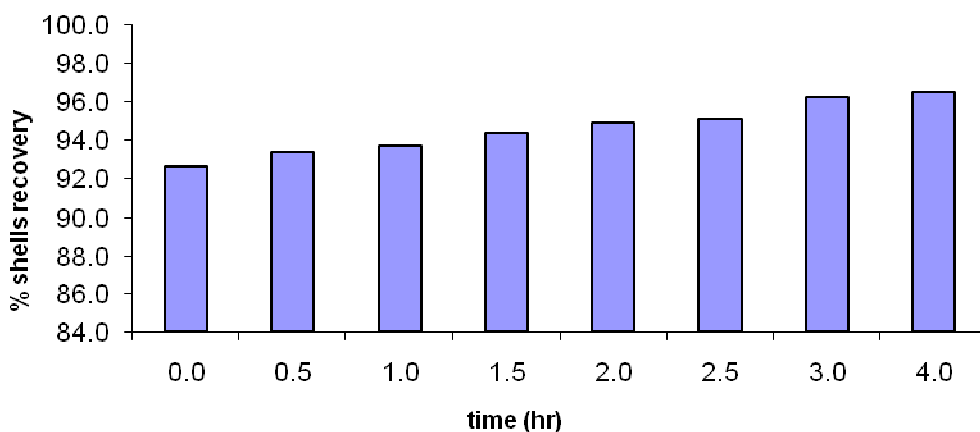
การแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้จีไธปาล์มมาเตรียมสเลอรี ในการทดลองระดับ pilot scale สเลอรีมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 1.10 ในช่วงแรกแล้วลดลงเป็น 1.09 ในช่วงชั่วโมงที่สามที่ทำการทดลอง ส่วนค่าความหนืดเริ่มต้นเป็น 4 เซนติพอยส์และลดลงเป็น 3

เซนต์พอยส์ ในสองชั่วโมงครึ่ง ส่วนค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสอ่อน ๆ ประมาณ 10 มีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกลับได้ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในทั้งหมด ในช่วงแรก และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-27 โดยมีกะลาและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนในปริมาณที่สูงมากเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกินมาตรฐานของโรงงาน แสดงในตารางที่ ค-7 ภาคผนวก ค ส่วนกะลาที่แยกได้ประมาณ 92 เปอร์เซ็นต์ปริมาณกะลาทั้งหมด ในช่วงแรก และเพิ่มเป็นประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่สี่ของการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-28 โดยมีปริมาณการปะปนของเมล็ดในไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานของโรงงาน แต่เมล็ดที่ยังไม่กะเทาะมีปริมาณสูงกว่าที่มาตรฐานของโรงงานกำหนด แสดงในตารางที่ ค-7 ภาคผนวก ค



ภาพประกอบที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้า

ขี้เถ้าปาล์มเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว

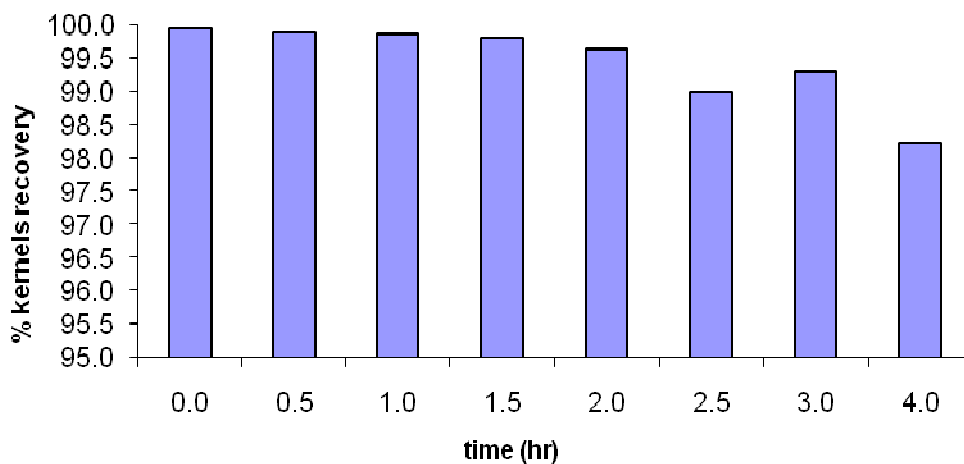


ภาพประกอบที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้า

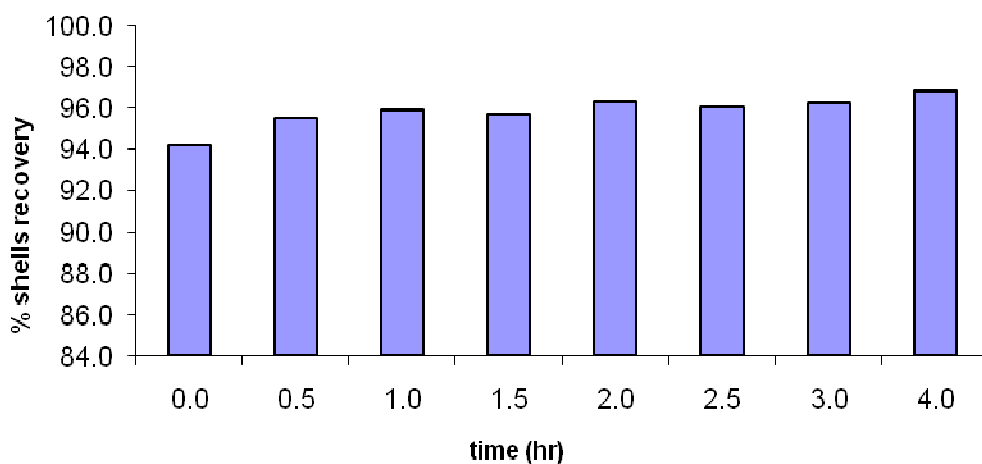
ปาล์มเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว

- เมื่อใช้ซีเถ้าไม้อย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลางโดยมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักซีเถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว (สัดส่วนของซีเถ้าไม้อย่างพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1)

ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้ซีเถ้าไม้อย่างพาราเมื่อมีสารช่วยกระจายตัวของสเลอรี ในการทดลองระดับ pilot scale ค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีอยู่ที่ประมาณ 1.14 ในช่วงแรกและลดลงเป็น 1.12 เมื่อผ่านเวลาสามชั่วโมง ค่าความหนืดเริ่มต้นเป็น 10 เซนติพอยส์และลดลงเป็น 5 เซนติพอยส์ ในชั่วโมงที่สี่ที่ทำการทดลอง ส่วนค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นเบสแก่ประมาณ 13.1 และลดลงน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป สามารถแยกเมล็ดในกลับได้สูงถึงประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในทั้งหมด ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-29 โดยมีปริมาณกะลาและเมล็ดที่ยังไม่ได้กะเทาะปนมาไม่เกินมาตรฐานที่โรงงานกำหนด คือน้อยกว่า 10 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ ก-8 ภาคผนวก ก ส่วนกะลาที่แยกได้ช่วงแรกประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด และเพิ่มเป็นประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงโมงที่สี่จากการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-30 ซึ่งมีเมล็ดในและเมล็ดที่ยังไม่ได้กะเทาะปนมาไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ตรงตามมาตรฐานโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ ก-8 ภาคผนวก ก



ภาพประกอบที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ซีเถ้าไม้อย่างพาราเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักซีเถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว



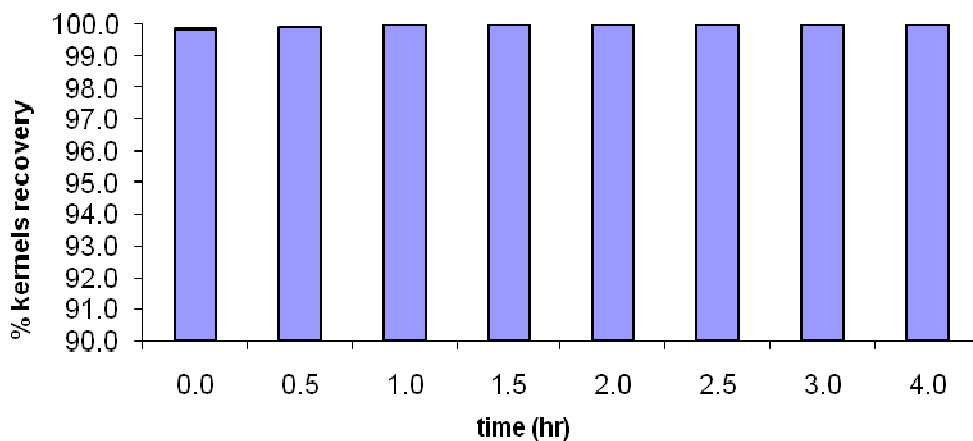
ภาพประกอบที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักรขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว

4.4.4 กรณีปรับค่าพีเอชของสเลอรี

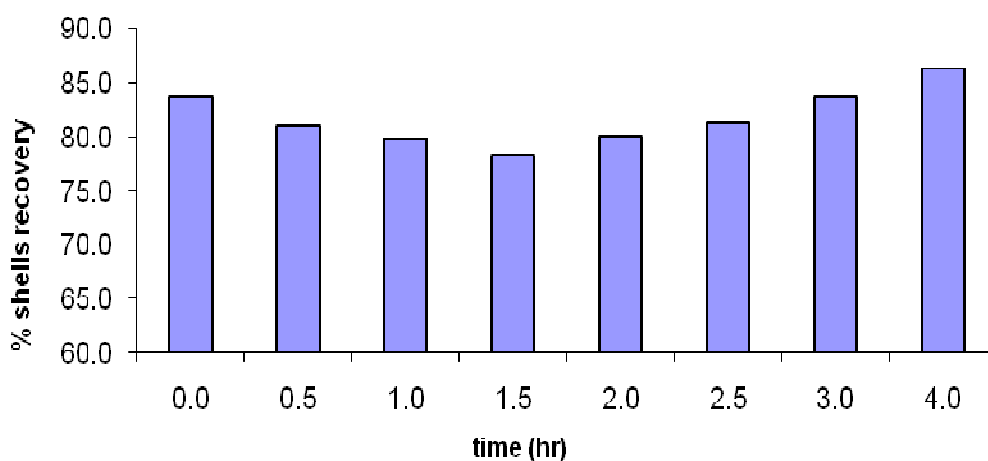
- เมื่อใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางโดยมี H_2SO_4 เข้มข้น 98% weight เป็นสารช่วยปรับค่าพีเอช (สัดส่วนของขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1)

ในการทดลองมีการเติมกรดซัลฟิวริกลงในสเลอรีที่เตรียมจากขี้เถ้าไม้ยางพาราเนื่องจากในระบบดังกล่าวมีค่าพีเอชที่เป็นเบสแก่ไม่เหมาะกับการนำไปใช้จริงเนื่องจากจะทำให้อุปกรณ์สำหรับใช้แยกถูกกัดกร่อนได้ง่าย ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเมื่อมีการเติมกรดซัลฟิวริกเพื่อปรับค่าพีเอชจาก 12.5 เหลือประมาณพีเอช 9.8 สามารถแยกเมล็ดในกลับได้สูงถึง 99-100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเมล็ดในทั้งหมด ตลอดเวลาที่ทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-31 ซึ่งมีกะลาและเมล็ดที่ยังไม่ได้กะเทาะปนมาเกิน 10 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกินที่มาตรฐานของโรงงานกำหนด ตามตารางที่ ค-9 ในภาคผนวก ค ส่วนกะลาที่มีปริมาณการแยกได้ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกะลาทั้งหมด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-32 ซึ่งมีปริมาณของเมล็ดในและเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะปนน้อยมาก โดยค่าความถ่วงจำเพาะจะสูงถึง 1.19 และลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนค่าพีเอชจะลดลงแค่เล็กน้อย ซึ่งค่าพีเอชหลังเติมกรดซัลฟิวริกค่อนข้างเป็นเบสอ่อน ๆ แต่ค่าความหนืดของระบบจะมีค่าค่อนข้างสูง และในการทดลองนี้พบว่าเมื่อมีการเติมกรดเข้มข้นลงไปทำให้สเลอรีมีความเข้มข้นสูงขึ้น โดยมีลักษณะสเลอรีข้นคล้ายน้ำแป้งหรือดินละลายน้ำทำให้ความถ่วงจำเพาะของสเลอรีสูงขึ้นและความหนืดสูงขึ้นด้วยซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกได้ช้า ระบบที่ดีควรจะมีค่าความหนืดในระบบต่ำที่สุดเท่าที่จะ

เป็นไปได้[19] และหลังจากทำการทดลองเสร็จพบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองจะมีคราบคล้ายแป้งแห้ง ๆ ติดที่อุปกรณ์ ซึ่งล้างออกค่อนข้างยากต้องขัดจึงจะล้างคราบออกได้ ดังนั้นระบบนี้จึงไม่ค่อยเหมาะต่อการนำไปใช้จริง

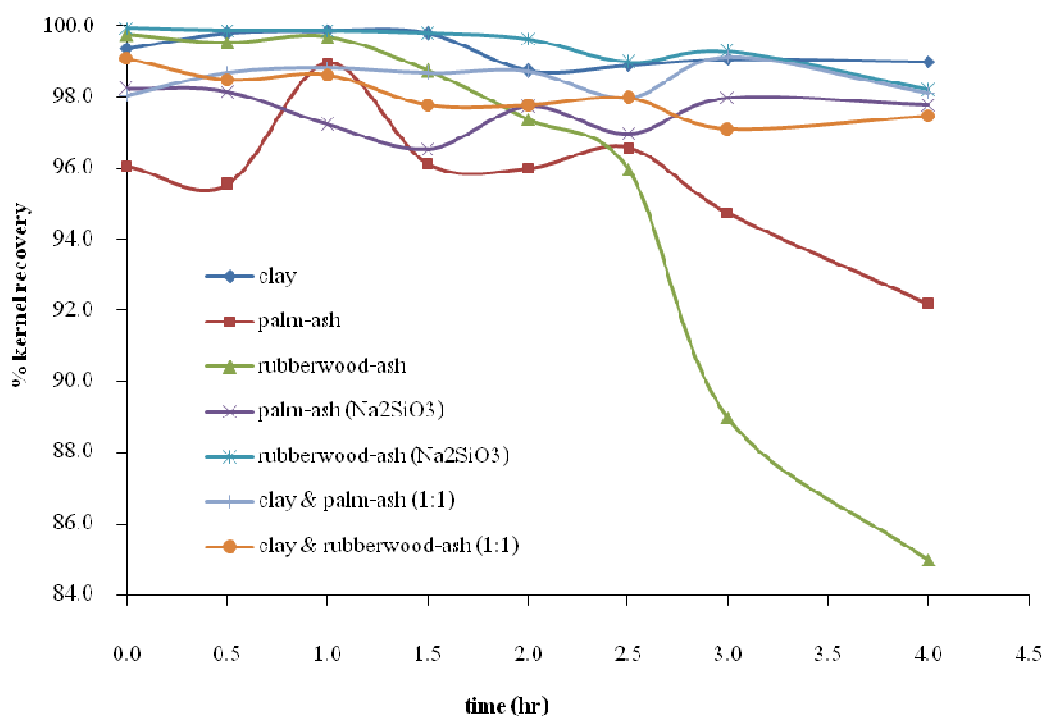


ภาพประกอบที่ 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้า
ไม่ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี H_2SO_4 เข้มข้น 98%weight เป็นสารช่วยปรับค่าพีเอช



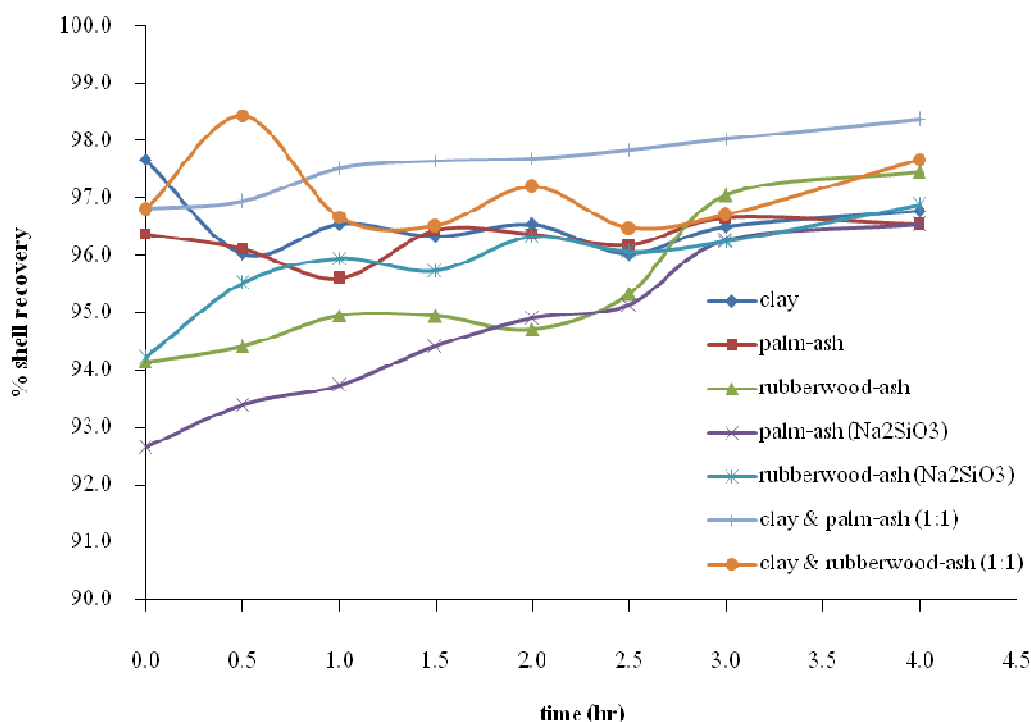
ภาพประกอบที่ 4-32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้ขี้เถ้า
ไม่ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางเมื่อมี H_2SO_4 เข้มข้น 98%weight เป็นสารช่วยปรับค่าพีเอช

4.4.5 เปรียบเทียบผลการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาทดลองในอุปกรณ์ระดับต้นแบบ (pilot scale)



ภาพประกอบที่ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้วัสดุตัวกลางซีเถ้าเปรียบเทียบกับคินขาว

จากภาพประกอบที่ 4-33 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การแยกเมล็ดในปาล์มโดยใช้สเลอรี่ที่เตรียมจากซีเถ้าไม้ยางพาราบริสุทธิ์จะแยกได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับการใช้สเลอรี่ที่เตรียมจากคินขาวในช่วงแรกแต่จะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อมีการเติมสารช่วยกระจายตัว (Na₂SiO₃) ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแยกและยืดระยะเวลาการใช้งานของสเลอรี่ได้ ส่วนสเลอรี่ที่ใช้ซีเถ้าปาล์มในการเตรียมจะแยกได้เปอร์เซ็นต์น้อยกว่าสเลอรี่ที่เตรียมจากคินขาวและซีเถ้าจากไม้ยางพาราค่อนข้างมาก และเมื่อมีการใส่สารช่วยกระจายตัว (Na₂SiO₃) ก็สามารเพิ่มประสิทธิภาพการแยกได้เช่นกันแต่ก็ยังมีเปอร์เซ็นต์การแยกได้ค่อนข้างน้อยกว่าการใช้คินขาวและซีเถ้าจากไม้ยางพารา



ภาพประกอบที่ 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกะลาปาล์มที่แยกได้ต่อเวลาเมื่อใช้เมื่อใช้วัสดุตัวกลางซีเถ้าเปรียบเทียบกับดินขาว

จากภาพประกอบที่ 4-34 เปอร์เซ็นต์การแยกกะลาปาล์มช่วงแรกค่อนข้างจะน้อยเนื่องจากสเลอริมีความค่าความถ่วงจำเพาะสูงส่งผลให้กะลาปาล์มบางส่วนสามารถลอยในสเลอริได้เช่นเดียวกับเมล็ดในปาล์ม ส่วนช่วงหลังความถ่วงจำเพาะของสเลอริลดลงซึ่งเกิดมาจากการสูญเสียอนุภาคของวัสดุตัวกลางการแขวนลอยบางส่วนไปกับเมล็ดในและกะลาปาล์มที่แยกได้ จึงทำให้ผลประสิทธิภาพการแยกของกะลาปาล์มเกิดการจมได้มากขึ้นจึงมีเปอร์เซ็นต์การแยกของกะลาสูงขึ้น ซึ่งจากกราฟการใช้ดินขาวและซีเถ้าไปปาล์มในการเตรียมสเลอริมีเปอร์เซ็นต์การแยกกะลาปาล์มได้ค่อนข้างคงที่ ส่วนวัสดุอื่นช่วงเวลาหลัง ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์การแยกที่ค่อนข้างมากกว่าที่เวลาเริ่มต้นค่อนข้างชัดเจน

ตารางที่ 4-6 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยในเวลา 4 ชั่วโมง ของวัสดุตัวกลางชนิดต่าง ๆ ตามสัดส่วนที่ใช้ในการทดลองระดับ pilot scale

ลำดับ	ส่วนผสม	% เมล็ดใน	% กะลา	ข้อสังเกต
1	ดินขาว	99.32	96.56	ใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบในกรณีอื่น ๆ (pH ~ 8)
2	ขี้เถ้าไยปาล์ม	95.87	96.29	ประสิทธิภาพการแยกดี และพีเอชของระบบเป็นเบสเล็กน้อย (pH ~ 9.8)
3	ขี้เถ้าไม้ยางพารา	95.79	95.38	ค่าพีเอชของสเลอรีสูงมาก (pH ~ 12.5)
4	ดินขาว + ขี้เถ้าไยปาล์ม	98.54	97.62	ประสิทธิภาพการแยกดีและสูงกว่ากรณีใช้ขี้เถ้าไยปาล์มอย่างเดียว และค่าพีเอชของระบบเป็นเบสเล็กน้อย (pH ~ 9.6)
5	ดินขาว + ขี้เถ้าไม้ยางพารา	98.04	97.05	ค่าพีเอชของสเลอรีสูงมาก (pH ~ 12.4)
6	ดินขาว + Na ₂ SiO ₃ (ลดปริมาณดินขาวลงข้อ 1)	95.79	97.62	ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากกว่าสัดส่วนเดียวกันที่ไม่มีการเติม Na ₂ SiO ₃ ซึ่งค่าพีเอชสูงกว่าการใช้ดินขาวอย่างเดียว (pH ~ 8.8)
7	ขี้เถ้าไยปาล์ม + Na ₂ SiO ₃	97.61	94.62	แยกเมล็ดในได้ปริมาณสูงแต่ pH ของสเลอรีสูงขึ้นเมื่อเติม Na ₂ SiO ₃ (pH ~ 10.1)
8	ขี้เถ้าไม้ยางพารา + Na ₂ SiO ₃	99.48	95.88	แยกเมล็ดในได้ปริมาณสูงแต่ pH ของสเลอรีสูงมาก (pH ~ 13.1)
9	ขี้เถ้าไม้ยางพารา + H ₂ SO ₄	99.97	81.82	แยกเมล็ดในได้ปริมาณสูงแต่มีการปะปนของกะลาสูง และมีฟองเกิดขึ้นในสเลอรีปริมาณมาก (pH ~ 9.8)

หมายเหตุ

1. % เมล็ดใน คือ เปอร์เซนต์เมล็ดในปาล์มที่แยกคืนได้จากปริมาณเมล็ดในปาล์มทั้งหมด 100% เฉลี่ยตั้งแต่ 1-4 ชั่วโมง [ข้อมูลดิบอยู่ใน ภาคผนวก ค]

2. % กะลา คือ เปอร์เซนต์กะลาปาล์มที่แยกได้จากปริมาณกะลาปาล์มทั้งหมด 100% เฉลี่ยตั้งแต่ 1-4 ชั่วโมง [ข้อมูลดิบอยู่ใน ภาคผนวก ค]

จากข้อมูลในตารางที่ 4-6 พบว่าการใช้ขี้เถ้าไยปาล์มกับขี้เถ้าไม้ยางพารา เพื่อทดแทนการใช้ดินขาวใน Clay Bath ให้ค่าประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันได้ดี และเป็นค่าที่ยอมรับได้ในวงการอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้การนำไปใช้ควรมีการประเมินศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ว่ามีแนวโน้มที่สมควรนำขี้เถ้าไยปาล์มหรือขี้เถ้าไม้ยางพาราไปใช้ทดแทนหรือไม่

4.5 มูลค่า ทางด้ านเศรษฐศาสตร์

- ราคาวัสดุตัวกลาง [ข้อมูลวันที่ 1 พฤษภาคม 2552]

1. ราคาดินขาว (รวมค่าจ้างลงดินขาว)	3.00	บาท/กิโลกรัม
2. ราคาขี้เถ้าไยปาล์ม	0.05	บาท/กิโลกรัม
3. ราคาขี้เถ้าไม้ยางพารา	0.05	บาท/กิโลกรัม
4. ราคาโซเดียมซัลเฟต	1,100	บาท/แกลลอน (30 กิโลกรัม)
5. ราคาโซเดียมเฮกซะเมทเตฟอสเฟต	2,354	บาท/กระสอบ (25 กิโลกรัม)
6. ราคากรดซัลฟิวริก	400	บาท/แกลลอน (2.5 ลิตร)

- ปริมาณวัสดุตัวกลางที่ ต้องให้ ต่อ ปริมาตรน้ำ 150 ลิตร ใน Clay Bath Scale

1. ปริมาณดินขาว	12.50	กิโลกรัม
2. ปริมาณขี้เถ้าไยปาล์ม	19.25	กิโลกรัม
3. ปริมาณขี้เถ้าไม้ยางพารา	15.00	กิโลกรัม
4. ปริมาณดินขาวผสมขี้เถ้าไยปาล์มอย่างละ	7.5	กิโลกรัม
5. ปริมาณดินขาวผสมขี้เถ้าไม้ยางพาราอย่างละ	6.5	กิโลกรัม
6. ปริมาณโซเดียมซัลเฟต	0.25	%ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง

ตารางที่ 4-7 ค่าประมาณทางเศรษฐศาสตร์กรณีใช้ขี้เถ้าทดแทนดินขาว โดยเทียบสัดส่วนของวัสดุ
ตัวกลางจากปริมาณดินขาวที่โรงงานใช้โดยเฉลี่ยต่อ 1 วัน

วัสดุตัวกลาง	ปริมาณ (kg)/วัน	ค่าใช้จ่าย (บาท)/วัน	ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาท)/วัน	ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาท)/ปี
ดินขาว	1,750	5,250.00	-	-
ขี้เถ้าไยปาล์ม	2,450	122.50	5,127.50	1,794,625.00
ขี้เถ้าไม้ยางพารา*	2,100	105.00	5,145.00	1,800,750.00

หมายเหตุ : อาจมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมในครั้งแรกครั้งเดียว คือ สปริงเกอร์สำหรับ
ล้างเมล็ดในปาล์ม ซึ่งประมาณค่าใช้จ่ายโดยรวม 4,000-5,000 บาท

ดังนั้นจากข้อมูลการประมาณค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ต่อปีพบว่า การใช้ขี้เถ้า
ทดแทนดินขาวในกระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ จึง
น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่ง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากผลการศึกษาการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะด้วยวิธี Heavy Media Separation ในระดับ Pilot Scale พบว่าสเลอรีที่เตรียมจากวัสดุตัวกลางซีเถ้าไยปาล์มอย่างเดียว ในสัดส่วนโดยน้ำหนักของซีเถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1 มีความเหมาะสมในการนำมาทดแทนดินขาวซึ่งเป็นวัสดุตัวกลางที่โรงงานใช้อยู่เดิมได้ดีที่สุด โดยมีค่าพีเอชเป็นเบสอ่อน ๆ ค่าความหนืดไม่สูงมาก และมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 1.12 ซึ่งเป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่อยู่ระหว่างความถ่วงจำเพาะของกะลากับความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในปาล์มน้ำมัน อีกทั้งพบว่าประสิทธิภาพของสเลอรีที่เตรียมจากซีเถ้าไยปาล์มสามารถแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มได้ค่อนข้างคงที่ และยังเป็นวัสดุที่มีอยู่ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบจึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์ม

2. เมื่อใช้วัสดุดินขาวผสมซีเถ้าไยปาล์มเป็นวัสดุตัวกลางในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่าสเลอรีที่เตรียมจากวัสดุดินขาวผสมซีเถ้าไยปาล์ม ในสัดส่วนโดยน้ำหนักของดินขาวผสมซีเถ้าไยปาล์มต่อน้ำเป็น 0.30:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มเช่นเดียวกัน โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าพีเอช และค่าความหนืดที่เหมาะสมต่อการแยก ทำให้มีประสิทธิภาพการแยกได้ค่อนข้างสูง และประสิทธิภาพของสเลอรีเมื่อเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไปในการทดลองโดยอุปกรณ์ในระดับต้นแบบก็พบว่าลดลงค่อนข้างช้า เพียงแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อดินขาวมาผสมกับซีเถ้าไยปาล์มด้วยจึงมีค่าใช้จ่ายสูงกว่ากรณีข้อที่หนึ่ง แต่หากปริมาณของซีเถ้าไยปาล์มในโรงงานไม่เพียงพอต่อการนำมาแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มก็สามารถใช้วัสดุตัวกลางแบบผสมได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายให้น้อยลงจากกรณีการใช้ดินขาวเพียงอย่างเดียวในการเตรียมสเลอรี

3. กรณีใช้วัสดุตัวกลางซีเถ้าไยปาล์มที่มีการเติมสารช่วยกระจายตัว พบว่าควรเลือกสารช่วยกระจายตัวชนิด โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เนื่องจากเมื่อเทียบกับกรณีเติมสารช่วยกระจายตัวชนิด โซเดียมเฮกซะเมทาเตฟอสเฟต (NaPO_3) จากการทดลองพบว่าสารทั้งสองมีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการแยกที่ใกล้เคียงกัน แต่ราคาของโซเดียมซิลิเกตถูกกว่าโซเดียมเฮกซะเมทาเตฟอสเฟตมาก จึงควรเลือกโซเดียมซิลิเกตเป็นสารช่วยกระจายตัว แต่ทั้งนี้สารช่วยกระจายตัวทั้งสองชนิดทำให้สเลอรีมีค่าพีเอชสูงขึ้น ดังนั้นหากสเลอรีมีความเป็นเบสอยู่แล้วจึงไม่ควรใช้สารช่วย

กระจายตัว แต่ควรใช้การเติมวัสดุตัวกลางเพิ่มในกรณีที่ประสิทธิภาพการแยกลดลงแทนการใช้สารช่วยกระจายตัวเพิ่มประสิทธิภาพการแขวนลอย โดยดูจากค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเป็นหลัก

4. กรณีการใช้ขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางทดแทนดินขาว หากมองในด้านประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันก็พบว่าสามารถนำมาแยกได้โดยมีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน แต่หากพิจารณาคุณสมบัติอื่น ๆ ร่วมด้วย พบว่าขี้เถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุที่ไม่เหมาะกับการนำมาใช้แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน เนื่องจากสเลอรีที่เตรียมได้มีความหนืดของสเลอรีค่อนข้างสูง และมีค่าพีเอชก็ค่อนข้างสูง ($\text{pH} \sim 12.5$) ส่งผลต่อการถูกกัดกร่อนของอุปกรณ์ที่ใช้แยกได้ แม้จะผสมดินขาวกับขี้เถ้าไม้ยางพาราก็พบว่าพีเอชของสเลอรียังคงสูงเช่นเดิม และยิ่งกรณีที่มีการเติมสารช่วยกระจายตัวก็จะยิ่งทำให้ สเลอรีมีค่าพีเอชสูงขึ้นกว่าเดิมด้วย

5. ระบบแขวนลอยที่ดีควรให้วัสดุตัวกลางมีขนาดอนุภาคเล็ก ๆ เพื่อให้วัสดุตัวกลางสามารถแขวนลอยอยู่ในระบบได้นาน แต่การที่ขนาดอนุภาคเล็กจะส่งผลให้ค่าความหนืดของระบบสเลอรีสูง[31] ซึ่งจะทำให้วัสดุตัวกลางตกตะกอนได้ง่าย ดังนั้นสเลอรีที่ดีจึงควรให้มีค่าความหนืดต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อป้องกันการจมตัวของวัสดุตัวกลางและเพื่อช่วยให้เกิดการแยกของเมล็ดในและกะลาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถแก้ไขการจับตัวกันของอนุภาควัสดุตัวกลางในสเลอรีได้โดยการเติมสารช่วยกระจายตัว เช่น Na_2SiO_3 หรือ $(\text{NaPO}_3)_6$ ก็จะสามารถลดการจมตัวของอนุภาควัสดุตัวกลางได้ แต่การเติมสารช่วยกระจายตัวจะส่งผลต่อค่าพีเอชของสเลอรีทำให้สเลอรีมีค่าพีเอชสูงขึ้น จึงไม่เหมาะจะนำไปใช้กับสเลอรีที่มีความเป็นเบสที่ค่อนข้างสูงอยู่ก่อนแล้ว

6. จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าราคาของดินขาวและขี้เถ้ามีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากขี้เถ้าเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตจึงมีมูลค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ต่ำมาก หากมีนำขี้เถ้ามาใช้ทดแทนดินขาวจริง ๆ ก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการนี้ลงได้ค่อนข้างมาก แม้จะมีการเติมสารช่วยกระจายตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแขวนลอยของสเลอรีที่เตรียมจากวัสดุตัวกลางที่เป็นขี้เถ้าก็ยังคงใช้ต้นทุนน้อยกว่าการใช้ดินขาว เนื่องจากใช้ปริมาณสารช่วยกระจายตัวเพียง 0.25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุตัวกลางก็เพียงพอ เพราะถึงแม้จะเติมปริมาณสารช่วยกระจายตัวลงไปสเลอรีมากกว่านี้ก็เพิ่มประสิทธิภาพการแขวนลอยของระบบได้แค่เล็กน้อยเท่านั้น แต่หากต้องปรับค่าพีเอชของขี้เถ้าไม้ยางพาราให้ลดอยู่ในช่วงแค่เป็นเบสอ่อน ๆ ก็จะต้องใช้ปริมาณกรดค่อนข้างเยอะ เมื่อเทียบปริมาณกับราคาของกรดที่ต้องนำมาปรับค่าพีเอชกับราคาดินขาวที่ใช้อยู่เดิมก็จะไม่คุ้มทุนที่จะนำขี้เถ้าไม้ยางพารามาใช้แทนดินขาว

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเมื่อใส่ดินขาว หรือวัสดุขี้เถ้าลงในน้ำจะทำให้ไอออนที่เป็นประจุบวก เช่น Mg^+ หรือ Ca^+ ถูกชะออกทำให้ผิวหน้าของแผ่นประจุเป็นลบเสมอ แต่ขอบของแผ่นจะไม่เป็นลบเสมอ (ยกเว้นที่ pH สูง ๆ) ดังนั้นที่ pH ต่ำผิวของประจุที่เป็นลบจะคู่คี่กับขอบของแผ่นที่อยู่ข้าง ๆ เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน (agglomeration)[32] ดังนั้นควรควบคุมให้สเลอริมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลางก่อนไปทางเบส (pH 7-8) หรือใช้สารช่วยกระจายตัว[7] ดังนั้นจากสเลอริที่เตรียมจากขี้เถ้าไยปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารามีคุณสมบัติเป็นเบสอยู่แล้วจึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาเตรียมสเลอริสำหรับแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน และเนื่องจากเมล็ดปาล์มน้ำมันมีความเป็นกรด เมื่อใส่เมล็ดปาล์มลงไปแยกจะทำให้ระบบสเลอริมีค่า pH ลดต่ำลงจึงส่งผลให้ระบบเป็นกลางหรือยังคงเป็นเบสอ่อน ๆ แต่ทั้งนี้ก็ไม่ควรให้ระบบมีความเป็นเบสสูงเกินไปเพราะจะทำให้วัสดุอุปกรณ์เกิดการกัดกร่อนได้ (ขี้เถ้าไม้ยางพารามี pH ~ 12.5 ซึ่งค่อนข้างสูง) ดังนั้นถ้าพิจารณาค่าพีเอช จะได้ว่าขี้เถ้าไยปาล์มมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้จริงมากกว่าขี้เถ้าไม้ยางพารา

2. หากมีการนำขี้เถ้าไยปาล์มมาเตรียมสเลอริเพื่อใช้แยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน จะต้องมีการกำจัดกากซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ไม่หมดออกก่อน โดยนำขี้เถ้าไปใส่น้ำแล้วแยกส่วนของกากซึ่งลอยเกาะกันเป็นแผ่นอยู่ด้านบนออก จึงจะสามารถนำเมล็ดในกับกะลาปาล์มลงไปแยกในสเลอริที่เตรียมจากขี้เถ้าไยปาล์มได้ ส่วนการเตรียมสเลอริจากขี้เถ้าไม้ยางพาราก็ต้องมีการกำจัดเศษไม้และก้อนถ่านที่ยังเผาไหม้ไม่หมดซึ่งยังไม่กลายเป็นขี้เถ้าออกก่อนที่จะนำขี้เถ้าจากไม้ยางพาราไปเตรียมเป็นสเลอริ

ตารางที่ 5-1 สรุปเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ระยะเวลาในการทำงาน ของการใช้ดินขาว ขี้เถ้าไผ่ปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา เป็นวัสดุตัวกลางในการเตรียมสเลอรี สำหรับใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน

วัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย	ระยะเวลาใช้งาน
1. ดินขาว	<ul style="list-style-type: none"> - สีขาว ก่อนข้างสะอาด - อนุภาคเล็กแขวนลอยได้ดี - พิเศษอยู่ในช่วงเป็นเบสอ่อน ๆ เมื่อใส่ปาล์มลงไปแยกค่าพิเศษก็จะลดลงอยู่ในช่วงเป็นกลาง (กักกร่อนน้อย) - ประสิทธิภาพของสเลอรีลดลงช้ามาก (แยกเมล็ดในได้ 99 % ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง) 	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาสูงกว่าขี้เถ้า - ตะกอนสเลอรีของดินขาวจะหนักล้างออกค่อนข้างยาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการแยกคองที่ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง (แยกได้เมล็ดในได้ประมาณ 99 % ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง 4 ชั่วโมง)

วัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย	ระยะเวลาใช้งาน
2. จี๊ไธปาล์ม	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มคืบไม่ต้องซื้อ - ตะกอนไม่หนืดล้างออกง่าย - พิเศษเป็นเบสไม่แ่่มากเมื่อใส่ปาล์มลงไปแยกก็จะค่อย ๆ ลดลง (เกิดการกัดกร่อนต่ออุปกรณ์น้อย) 	<ul style="list-style-type: none"> - จี๊ไธปาล์มมีความชื้นสูงจึงจับตัวกันเป็นก้อนเมื่อเก็บไว้นาน - มีกากอยู่ปริมาณเยอะมาก ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการกรองออกได้ก่อนนำไปเตรียมสเลอรีได้ - หลังจากเตรียมสเลอรีต้องกรองกากออกเสียเวลาในการดำเนินการช่วงแรก และหากต้องเติมจี๊ไธปาล์มเพิ่มในระหว่างช่วงกำลังดำเนินการก็จะเสียเวลาทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่อง - มีสีดำ เวลาใช้งานค่อยข้างจะสกปรก 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการลดลงจากเริ่มต้นในชั่วโมงที่ 3
3. จี๊ไธปมายางพารา	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานยางรมราคาถูก - เวลาช่วงแรกมีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดปาล์มตรงกับมาตรฐานที่โรงงานใช้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องกรองเศษไม้และขยะออกก่อนเตรียมสเลอรี - ค่าพีเอชของสเลอรีสูงมาก (pH ~ 12.5) จะกัดกร่อนอุปกรณ์ - ตะกอนจะจับตัวกันแข็งล้างออกยาก - ประสิทธิภาพการแยกลดลงอย่างรวดเร็ว - เมื่อเดินเครื่องไปประมาณ 2 ชั่วโมงจะเกิดฟองขึ้นเยอะมากขัดขวางการเคลื่อนที่ของเมล็ดปาล์ม 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการแยกลดลงจากเริ่มต้นในชั่วโมงที่ 1 (ช่วงแรกแยกได้ 99 %)

วัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย	ระยะเวลาใช้งาน
4. ดินขาวผสม ขี้เถ้าไผ่ปาล์ม	<ul style="list-style-type: none"> - ลดปริมาณการใช้ดินขาวลง - มีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดปาล์มตรงกับมาตรฐานที่โรงงานใช้ - ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดปาล์มค่อนข้างคงที่ - ฟิเชชเป็นเบสไม่แฉะมากเมื่อใส่ปาล์มลงไปแยกก็จะค่อย ๆ ลดลง (เกิดการกักร้อนต่ออุปกรณ์น้อย) 	<ul style="list-style-type: none"> - มีกากอยู่ปริมาณสูงมาก ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการกรองออกได้ก่อนนำไปเตรียมสเลอรีได้ - หลังจากเตรียมสเลอรีต้องกรองกากออกเสียเวลาในการดำเนินการช่วงแรกเริ่ม และหากต้องเติมขี้เถ้าลงไปเพิ่มในระหว่างช่วงกำลังดำเนินการก็จะเสียเวลาทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่อง 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง (แยกเมล็ดในได้ประมาณ 98 %)
5. ดินขาวผสม ขี้เถ้าไม้ยางพารา	<ul style="list-style-type: none"> - ลดปริมาณการใช้ดินขาวลง - มีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดปาล์มตรงกับมาตรฐานที่โรงงานใช้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าฟิเชชของสเลอรีสูงมาก (pH ~ 12.5) จะกักร้อนอุปกรณ์ - ตะกอนจะจับตัวกันแข็งล้างออกยาก - เมื่อเดินเครื่องไปประมาณ 2 ชั่วโมงจะเกิดฟองขึ้นเยอะมากขัดขวางการเคลื่อนที่ของเมล็ดปาล์ม 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการแยกลดลงเร็วในชั่วโมงที่ 1.5

บรรณานุกรม

- [1] http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php (accessed 8 November 2008).
- [2] Akubuo, C.O., Eje, B.E. (2002). Palm Kernel and Shell Separator. *Biosystems Engineering*. 81(2): 193-199.
- [3] <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/botany.html> (accessed 8 November 2008).
- [4] <http://www.green-power.co.th/th/supply/sourcing-of-feedstock.php> (accessed 5 November 2008).
- [5] <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/processOilpalm.html> (accessed 8 November 2008).
- [6] Southworth, A. (1985). Palm Oil and Palm Kernels. *JAOCs*. 62: 250-254.
- [7] เล็ก สีคง, มนูญ มาศนิยม และสุขพงศ์ ศิรินุพงศ์. (2546). การแยกเมล็ดในและกะลาปาล์ม น้ำมันโดยใช้ดินขาวเป็นมัชฉิม. ว. สงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์. 25 (3): 341-349.
- [8] Chan Yang Yin, Sharifah Aishah Syed Abdul Kadir, Ying Pei Lim, Sharifah Nawirah Syed-Arifin, Zurinawati Zamzuri. (2007). An investigation into physicochemical characteristics of ash produced from combustion of oil palm biomass waste in a boiler. *Fuel Processing Technology*. 89: 693-696.
- [9] มาหามะสุโฮมี มะแซ. (2550). “การพัฒนากระบือองค้วยเศษหินแกรนิตและเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเถ้าไยยางพารา”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [10] Weerachart Tangchirapat, Tirasit Saeting, Chai Jaturapitakkul, Kraiwood Kiattikomol, Anek Siripanichgorn. (2007). Use of waste ash from palm oil industry in concrete. *Waste Management*. 27(2007): 81-88.
- [11] http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/lopburi/rarai_s/substance/sec03p03.html (accessed 17 November 2008).
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Slurry#Slurry_calculations (accessed 16 November 2008).
- [13] <http://th.wikipedia.org> (accessed 16 November 2008).
- [14] http://www.thaiscience.com/lab_vol/p27/Hydrometer.asp (accessed 17 November 2008).
- [15] http://www.powerstream.com/1922/battery_1922_WITTE/batteryfiles/chapter09.htm (accessed 17 November 2008).

- [16] สุรศักดิ์ เส่าแก้ว ภบ., Pharm.D. (2550). ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และปริมาตรจำเพาะ. บทนำทางเภสัชกรรมสำหรับเภสัชศาสตร์ สำนักวิชาเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนเรศวร พะเยา.
- [17] Patent No. US 7,111,738 B2.Laurence E. Allen, III, San Rafael, CA. (2006). Technique for enhancing the effectiveness of slurried dense media separations. MBA Polymers, Inc.,Richmond, CA (US)
- [18] Biswajit Sarkar, Avimanyu Das*, S.P. Mehrotra. (2008). Study of separation features in floatex density separator for cleaning fine coal. Int. J. Miner. Process. 86: 40-49.
- [19] G. Ferrara, T.P. Meloy. (1998). Low dense media process: a new process for low-density solid separation. Powder Technology 103(1999): 151-155.
- [20] <http://tristate.apogee.net/et/eptshvy.asp> (accessed 16 November 2008).
- [21] www.scisoc.or.th/stt/30/sec_e/paper/stt30_E0021.pdf (accessed 3 November 2008).
- [22] http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u94-3.htm (accessed 13 November 2008).
- [23] <http://www.nbtc.cornell.edu/facilities/downloads/Zetasizer%20chapter%2016.pdf> (accessed 12 August 2009).
- [24] ฉัตร ผลนาค สุวิทย์ เพชรห้วยลึก ภรพนา บัวเพชร และปิติ พานิชายุนนท์. (2549). สมบัติทางกายภาพ ของเส้นกระจุกลงในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบของชุมชนทะเลน้อย. ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.1129-1138.
- [25] Patent No. 2,949,190. Joseph Ross Pagnotti, Old Forge, Pa., Samuel Barron. (1960) Separation of fine sized solid. West Long Branch, N.J., Mineral Processing Corporation.
- [26] เสกสรรค์ พุ่มขจร. (2550). “สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิอะครีโลไนไตรล์เพื่อใช้งานทนน้ำมันในปฏิกรณ์ต้นแบบ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [27] Warren, L.McCabe, Julian, C. Smith, and Perter, Harriott. (2005). Unit Operations of Chemical Engineering. Seventh Edition. McGraw-Hill. 246-247.
- [28] สุธรรม สุขมณี. (2550). การออกแบบอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเคมี. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [29] <http://engineer.pwa.co.th/pumps/pump.html> (accessed 20 April 2009)

- [30] Koya, O.A., Faborode, M.O. (2006). Separation Theory for Palm Kernel and Shell Mixture on a Spinning Disc. *Biosystems Engineering*. 95(3): 405-412.
- [31] Boylu, F., Dincer, H. (2003). Effect of coal partical size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal-water slurries. *Fuel Processing Technology*. 85: 241-250.
- [32] Nasser, M.S., James, A.E. (2005). Settling and sediment bed behaviour of kaolinite in aqueous media. *Separation and Purification Technology*. 51: 10-17.
- [33] http://archaeometry.missouri.edu/xrf_overview.html (accessed 5 April 2009)
- [34] อุราวรรณ อุ้นแก้ว. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรมิเตอร์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2539, ปีที่ 44, ฉบับที่ 140, หน้า 28-31.
- [35] http://www.dss.go.th/dssweb/starticles/files/ct_3_2545_x-ray.pdf (accessed 5 April 2009)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เครื่องมือในการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRFS) มี 2 ระบบ คือ

1.1 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRFS แบบระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive System)

โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ 3 ส่วน ดังภาพประกอบที่ ก-1 คือ

1. X-ray Generator ประกอบด้วย

- X-Ray tube
- X-Ray power controller
- high voltage power supply
- cooling unit
- filter

2. Spectrometer ประกอบด้วย

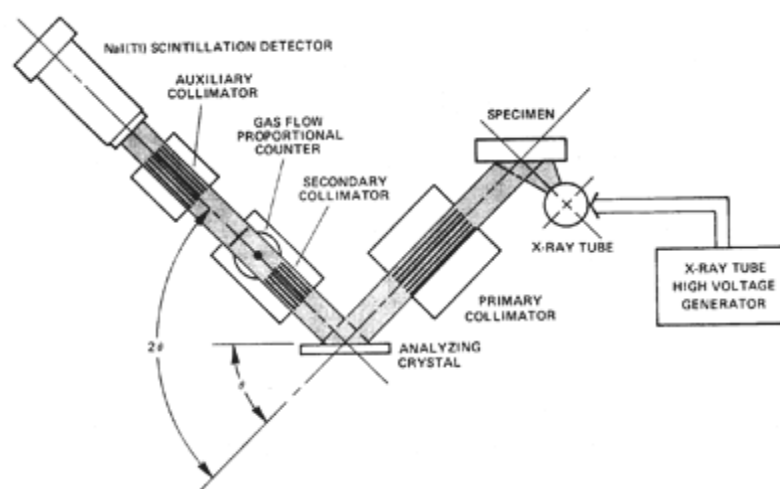
- sample chamber
- collimators
- analyzing crystal
- detector

3. Data System ประกอบด้วย

- computer
- printer or recorder

หลักการทำงานของเครื่อง XRFS ชนิดนี้ คือ รังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่าง ๆ ในสารตัวอย่าง จะเกิดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นให้เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิเมเตอร์ (collimator) เพื่อให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือ ให้ไปกระทบกับผลึกวิเคราะห์ (analyzing crystal) ซึ่งอยู่ในสเปกโตรมิเตอร์ที่ทำให้เป็นสูญญากาศหรือความดันต่ำมาก เพื่อทำหน้าที่กระจายรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน โดยรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กันนี้ จะถูกวัดความเข้มแสงด้วยการ

สแกน (scan) ของดีเทคเตอร์ (detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมด้วย printer หรือ recorder จากข้อมูลที่ได้ทั้งของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และปริมาณได้



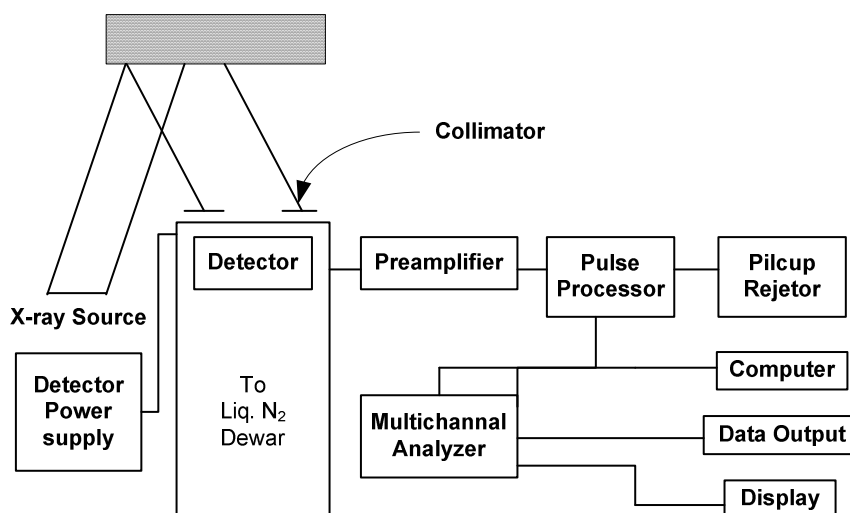
ภาพประกอบที่ ก-1 แผนภาพองค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง XRFs
ชนิด Wavelength Dispersive System[33]

1.2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRFs แบบระบบที่วัดเป็นพลังงาน (Energy Dispersive System)
โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ ดังภาพประกอบที่ ก-2 คือ

1. แหล่งผลิตรังสีเอกซ์ซึ่งอาจใช้หลอดรังสีเอกซ์หรือ radio active
2. หัววัดซึ่งเป็น Si (Li) หรือ Ge (Li)
3. detector power supply
4. ระบบ cooling ซึ่งเป็น ไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ดีเทคเตอร์เย็น
5. preamplifier และ amprefier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้ใหญ่พอที่จะวัดได้
ถูกต้อง
6. multichannel analyzer (MCA) ทำหน้าที่เก็บรวบรวมสัญญาณที่ได้จากดีเทคเตอร์แล้วทำการแยกขนาดของพลังงาน โดยที่พลังงานต่ำจะถูกเก็บอยู่ในช่อง (channel) ต่ำ ๆ แต่ถ้าพลังงานสูงขึ้นก็จะถูกเก็บอยู่ในช่องที่สูงขึ้น ซึ่งสัญญาณที่เก็บรวบรวมได้สามารถเขียนเป็นกราฟระหว่างปริมาณรังสีเอกซ์ที่วัดได้กับจำนวนช่องของเครื่อง

7. ระบบข้อมูล (data system) ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องเก็บข้อมูลต่าง ๆ และผลการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังมีระบบวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis system) ด้วยซึ่งจะช่วยทำให้การวิเคราะห์ผลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณสำเร็จ ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

หลักการทำงานของเครื่อง XRFS ชนิดนี้ คือ รังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่าง ๆ ในสารตัวอย่างแล้วเกิดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิเมเตอร์ (collimator) เพื่อให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ จากนั้นรังสีเอกซ์จะผ่านเข้าไปในดีเทคเตอร์ทำให้เกิดสัญญาณ ขนาดของสัญญาณจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีเอกซ์ และสัญญาณที่ได้จะถูกขยายสัญญาณให้ใหญ่พอที่จะวัดได้ถูกต้องด้วย preamplifier และ amplifier หลังจากนั้นจะส่งผลไปยังส่วนวิเคราะห์สัญญาณ multichannel analyzer สัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบข้อมูลเพื่อประมวลผลต่อไป



ภาพประกอบที่ ก-2 แผนภาพองค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง XRFS ชนิด Energy Dispersive System

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารตัวอย่าง วิธีที่นิยมมักใช้ XRFS ชนิด Energy Dispersive System เพราะทำได้ง่ายและรวดเร็ว ส่วน XRFS ชนิด Wavelength Dispersive System ก็ทำได้เช่นกันแต่จะยุ่งยากและช้ากว่า ทั้งนี้เพราะจำเป็นต้องจัดตัวแปรเสริม (parameter) ในการวิเคราะห์ให้เหมาะสม เช่น คอลลิเมเตอร์ ดีเทคเตอร์ และผลึกวิเคราะห์ เป็นต้น ส่วนความสามารถในการแยก (resolution) สำหรับธาตุที่มีค่าเลขอะตอมต่ำถึงกลาง (low to medium atomic number) XRFS ชนิด

Wavelength Dispersive System จะมีความสามารถในการแยกได้สูงกว่า XRFS ชนิด Energy Dispersive System เพราะว่ามีผลึกวิเคราะห์ซึ่งมีความสามารถในการแยกได้สูง ดังนั้นการเลือกเทคนิควิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับประโยชน์ที่ต้องการใช้[34], [35]

2. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยรังสีเอกซ์จะเลี้ยวเบนไปตามช่องว่างระหว่างอะตอมภายในผลึกและจะถูกบันทึกค่า แล้วทำการวิเคราะห์ธรรมชาติของโครงสร้างผลึกนั้น ๆ โดยระยะห่างระหว่างอะตอมนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Bragg

เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านเคมีและเคมีชีวภาพ โดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ คีเอ็นเอ โปรตีนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ รวมถึงวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น

XRD เป็นเทคนิคที่คล้ายเทคนิค spectroscopic อื่นๆ เช่น เทคนิคการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence; XRF) โดยที่ XRF จะสามารถบอกได้ว่าวัสดุเหล่านั้นประกอบด้วยธาตุอะไบบ้าง ในขณะที่ XRD นั้นจะช่วยให้สามารถรู้ได้ว่าธาตุเหล่านั้นมีองค์ประกอบเป็นอย่างไร

หลักการพื้นฐาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD นั้นจะใช้คุณสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีของโครงสร้างผลึก ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Bragg

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots$

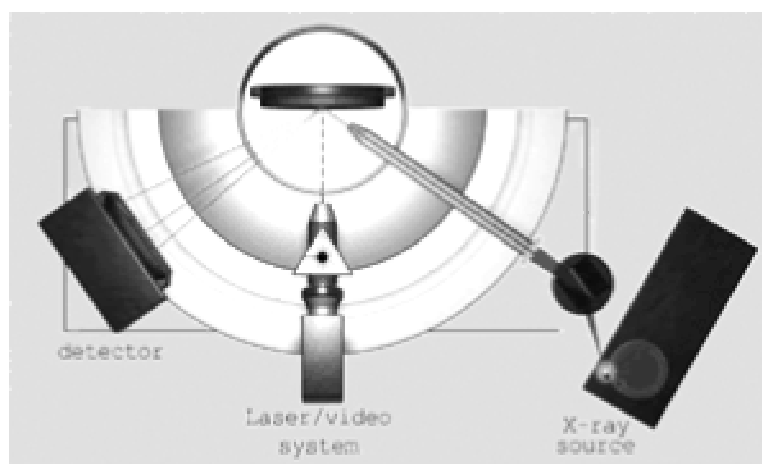
λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก และ θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอกซ์กับระนาบผลึก

ในขั้นตอนแรกนั้นต้องทำการปลูกผลึกที่สนใจแล้วนำผลึกที่ได้ไปแช่ในโตรเจนเหลว ผลึกที่แช่แข็งนี้จะไปลด radiation damage ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลและลดการเคลื่อนไหวของอนุภาคภายในผลึก ผลึกจะถูกวางในเครื่อง diffractometer แล้วฉายด้วยรังสีเอกซ์ รังสีที่เกิดการเลี้ยวเบนจะถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มหรือคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะถูกรวบรวมแล้วนำมาสร้างเป็นแผนผังของความหนาแน่นอิเล็กตรอนของโมเลกุล หลังจากนั้นอะตอมจะถูกปรับ

ค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ตำแหน่ง เทียบกับฟังก์ชันความหนาแน่นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าความเข้มที่มุมต่างๆ จะถูกนำมาพล็อตจนได้กราฟที่เรียกว่า diffractogram ซึ่งแต่ละพีคที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด

ด้วยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ทำให้เราได้ทราบถึงข้อมูลของวัสดุที่ต้องการศึกษาทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงกลอย่างมากมาย



ภาพประกอบที่ ก-3 การทำงานของ X-Ray Diffractometer

เทคนิคที่ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิคได้แก่

1. Single-Crystal Methods

เทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างอะตอม (ความสมมาตร ตำแหน่งช่องว่าง เป็นต้น) ซึ่งวิธีการดั้งเดิมนั้น (Laue method) จะใช้ผลึกติดอยู่กับที่และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ เมื่อฉายลำรังสีให้ตกลงบนผลึกเดี่ยว จะทำการบันทึกผลการเลี้ยวเบนลงบนแผ่น Photographic plate ซึ่งใช้ในการบันทึกค่าความเข้มและตำแหน่งของรังสีที่เกิดการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันนั้นจะทำให้ผลึกเกิดการหมุนและอาศัยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของกล้องก้าวข้ามขีดจำกัดของการตรวจวัดปริมาณของรังสีที่เลี้ยวเบนจากวิธีการดั้งเดิม วิธีการนี้จะใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวแต่อาศัยการเปลี่ยนมุม θ โดยการเคลื่อนที่ของผลึกซึ่งอยู่บนแท่นหมุน แล้วใช้ diffractometer และคอมพิวเตอร์ในการเก็บรวบรวมและจัดการข้อมูล ซึ่งจะให้ผลที่มีความแม่นยำมากกว่า

2. Powder Methods

วิธีการนี้จะใช้ในการระบุแร่ธาตุ โดยจะใช้บ็อกกิ้งประกอบและตรวจวัดความสัมพันธ์ของธาตุที่มีอยู่ในสารผสม เช่นเดียวกับ Single-Crystal Methods คือ แต่เดิมนั้นจะใช้เทคนิคของการถ่ายภาพในการบันทึกข้อมูลการเลี้ยวเบน แต่ในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า X-Ray Powder Diffractometer และยังสามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเตรียมตัวอย่างผลึกแล้วไม่สามารถใช้วิธีการแรกในการตรวจวัดได้

การทำงานของ XRPD

เทคนิค X-ray Powder Diffractometry นั้นจะใช้ลำรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวฉายลงบนตัวอย่างที่ถูกวางอยู่บนแท่นหมุนเป็นมุม $q = 0-90^\circ$ รังสีที่เลี้ยวเบนจะถูกตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดแล้วบันทึกบน inked strip chart เครื่องตรวจวัดจะหมุนไปพร้อม ๆ กับแท่นหมุน แต่จะหมุนเป็นมุม $2q$ และ strip chart จะหมุนไปพร้อมกับแท่นหมุนและเครื่องตรวจวัดด้วยความเร็วคงที่ เพื่อบันทึกค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เครื่องตรวจวัดวัดได้ แล้วนำมาพล็อตกราฟ diffractogram ซึ่งประกอบด้วยพีคต่าง ๆ โดยที่พีคแต่ละพีคจะเป็นลักษณะเฉพาะของเฟสอะตอมต่าง ๆ จากความสัมพันธ์ของสมการของ Bragg จะสามารถหาค่า d ของแต่ละพีคแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่มีอยู่ก็จะสามารถหาปริมาณสัมพัทธ์ของเฟสที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้

3. วิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวโดยเครื่อง Laser scattering particle size analyzer

3.1 องค์ประกอบเครื่อง

1. พื้นที่สำหรับตัวอย่าง (sample area) พื้นที่ของตัวอย่างเป็นบริเวณที่ตัวอย่างจะถูกกวาดและดูดส่ง โดยที่ปั๊มและตัวกวาดบนหัวของปั๊มจะเก็บตัวอย่างของสารที่จะวิเคราะห์ในรูปของสารแขวนลอยและทำการหมุนเวียนผ่านเซลล์ (cell) ตลอดเวลาและในส่วนของอัลตราโซนิก (ultrasonic) จะช่วยในการกระจายของตัวอย่างโดยฟังก์ชันในการทำงานทั้งหมดในบริเวณของพื้นที่สำหรับตัวอย่างนี้จะถูกควบคุมโดยแผงควบคุม (control keypad)
2. แขนปั๊ม (pump arm) ส่วนนี้เป็นส่วนที่ติดกับหัวของปั๊ม (pump head) โดยจะสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ การดูดส่งตัวอย่างจะหยุดโดยอัตโนมัติเมื่อแขนปั๊มยกขึ้น และเมื่อแขนปั๊มลดต่ำลงท่อส่งตัวอย่าง และเซลล์จะปล่อยตัวอย่างทิ้งลงมาได้โดยการกดปุ่มระบายน้ำ (drain button)

3. เซลล์ (cell) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอย เพื่อให้แสงส่องผ่าน โดยที่ตัวอย่างนั้นจะไหลวนอย่างต่อเนื่องจากเซลล์ไปยังภาชนะบรรจุตัวอย่างและจากภาชนะบรรจุตัวอย่างไปสู่เซลล์สำหรับวิเคราะห์
4. ท่อจากเซลล์ (from cell pipe) เป็นท่อที่ให้ตัวอย่างไหลกลับจากเซลล์
5. ท่อไปยังเซลล์ (to cell pipe) เป็นท่อที่ให้ตัวอย่างไหลไปยังเซลล์
6. ปุ่มระบายสารตัวอย่าง (drain button) ใช้ระบายตัวอย่างเซลล์และท่อเซลล์
7. แป้นควบคุม จะเป็นส่วนที่ประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่อง
8. สวิตช์ปิด-เปิดเครื่อง เป็นส่วนที่ใช้ปิดและเปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่อง
9. ที่ยึดเซลล์ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเก็บเซลล์บรรจุตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

3.2 การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค

1. ปรับความเร็วรอบของปั๊ม ระยะการเคลื่อนที่ของอัลตราโซนิค และเวลาในการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิคที่แป้นควบคุม ซึ่งค่าเหล่านี้จะต้องปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับชนิดของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์โดยดูได้จากคู่มือเครื่อง
2. เปิดโปรแกรมควบคุมเครื่อง Hydro2000MU จากนั้นเลือกข้อมูลให้ตรงกับตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ และตั้งพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์
3. เติมน้ำตัวอย่างลงในตัวกระจาย (dispersant) ที่อยู่ในบิกเกอร์ให้ได้ระดับที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้โดยดูได้จากโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์
4. หลังจากสิ้นสุดการวิเคราะห์โปรแกรม Hydro2000MU จะรายงานค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาคูณสมบัติของสเลอรีและผลการทดลองแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน ระดับห้องปฏิบัติการ

เมื่อกำหนดให้

float	= ส่วนของเมล็ดใน กะลา หรือสิ่งเจือปนที่ลอยทั้งหมด
sink	= ส่วนของเมล็ดใน กะลา หรือสิ่งเจือปนที่จมทั้งหมด
%nut	= ร้อยละของเมล็ดปาล์มที่ยัง ไม่ถูกกะเทาะ
%kernel	= ร้อยละของเมล็ดในปาล์ม
%shell	= ร้อยละของกะลาปาล์ม
%kernel _{recovery}	= ร้อยละของเมล็ดในปาล์มที่แยกได้
%kernel _k	= ร้อยละของเมล็ดในปาล์มในส่วนที่ลอย
%contaminant _k	= ร้อยละของสิ่งเจือปนในเมล็ดในที่ลอย
%shell _{recovery}	= ร้อยละของกะลาปาล์มที่แยกได้
%shell _s	= ร้อยละของกะลาปาล์มในส่วนที่จม
%contaminant _s	= ร้อยละของของสิ่งเจือปนที่จม
%dispersant	= ร้อยละของสารช่วยกระจายตัวโดยน้ำหนักของวัสดุตัวกลาง

หมายเหตุ : ใช้กับทุกตารางในตารางของภาคผนวก ข-1 ถึง ข-20 และ ค-1 ถึง ค-9

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาคูณสมบัติของสเลอรีและผลการทดลองแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลาง

clay (g)	water (g)	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
900	1000	1.43	8.95	6.50	all float				all float					
800	1000	1.39	8.99	6.00	all float				all float					
700	1000	1.35	9.05	5.50	203.38	0.00	94.70	104.23	100.00	68.23	31.77	52.40	100.00	0.00
600	1000	1.31	8.98	5.00	204.77	0.00	26.04	172.86	100.00	88.72	11.28	86.91	100.00	0.00
500	1000	1.27	9.08	4.00	203.99	0.00	10.25	188.93	100.00	95.22	4.78	94.85	100.00	0.00
400	1000	1.22	9.19	3.50	205.11	0.00	3.10	195.54	100.00	98.51	1.49	98.44	100.00	0.00
300	1000	1.16	9.22	3.50	203.99	0.00	0.94	199.45	100.00	99.54	0.46	99.53	100.00	0.00
250	1000	1.14	9.23	3.50	203.42	0.43	0.21	199.43	99.79	99.90	0.10	99.89	99.78	0.22
200	1000	1.12	9.24	3.50	194.92	8.64	0.17	198.76	95.76	99.91	0.09	99.91	95.83	4.17
100	1000	1.07	9.21	3.00	15.08	189.46	0.00	199.21	7.37	100.00	0.00	100.00	51.25	48.75

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้น้ำใยกาปาล์ม

palm ash (g)	water (g)	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
900	1000	no data			no data				no data					
800	1000	1.12	9.84	155.00	slurry is very concentrate				slurry is very concentrate					
700	1000	1.11	9.87	135.00	slurry is very concentrate				slurry is very concentrate					
600	1000	1.10	9.92	70.00	slurry is very concentrate				slurry is very concentrate					
500	1000	1.09	9.98	60.00	203.61	0.00	1.13	201.99	100.00	99.45	0.55	99.44	100.00	0.00
450	1000	1.08	10.02	32.00	203.59	0.00	0.21	202.93	100.00	99.90	0.10	99.90	100.00	0.00
400	1000	1.07	10.03	27.00	198.80	4.64	0.00	203.84	97.72	100.00	0.00	100.00	97.77	2.23
350	1000	1.06	10.05	19.00	194.35	8.47	0.00	203.37	95.82	100.00	0.00	100.00	96.00	4.00
300	1000	1.05	10.07	12.00	138.62	65.06	0.00	203.56	68.06	100.00	0.00	100.00	75.78	24.22
200	1000	1.04	10.12	8.50	14.22	188.65	0.00	202.58	7.01	100.00	0.00	100.00	51.78	48.22
100	1000	1.02	10.15	3.00	all sink				all sink					

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ซี่ไถไม่ยางพารา

rubb. ash (g)	water (g)	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
900	1000	1.40	12.69	175.00	all float				all float					
800	1000	1.34	12.68	130.00	203.51	0.00	190.08	9.77	100.00	51.71	48.29	4.89	100.00	0.00
700	1000	1.28	12.65	110.00	204.13	0.00	117.65	84.36	100.00	63.44	36.56	41.76	100.00	0.00
600	1000	1.22	12.64	80.00	202.26	0.00	24.13	175.92	100.00	89.34	10.66	87.94	100.00	0.00
500	1000	1.20	12.60	65.00	203.74	0.00	5.61	194.39	100.00	97.32	2.68	97.20	100.00	0.00
400	1000	1.17	12.51	28.00	200.65	0.00	1.87	201.21	100.00	99.08	0.92	99.08	100.00	0.00
350	1000	1.14	12.34	16.00	203.56	0.00	0.61	199.41	100.00	99.70	0.30	99.70	100.00	0.00
300	1000	1.12	12.39	12.00	197.43	4.76	0.21	202.37	97.65	99.89	0.11	99.90	97.70	2.30
250	1000	1.10	12.28	8.00	195.31	7.14	0.25	201.95	96.47	99.87	0.13	99.88	96.59	3.41
200	1000	1.07	12.29	6.50	87.72	115.20	0.00	203.91	43.23	100.00	0.00	100.00	63.90	36.10
100	1000	1.05	12.07	3.00	2.27	202.16	0.00	201.63	1.11	100.00	0.00	100.00	49.93	50.07

ตารางที่ ข-4 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้วิธีใ้เข้าไยปาล์มร่วมกับดินขาว (C = Clay, P = Palm-ash)

C:P (1:1) (g)	water (g)	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
900	1000	no data			no data				no data					
800	1000	no data			no data				no data					
700	1000	1.20	9.79	49.00	slurry is very concentrate				slurry is very concentrate					
600	1000	1.19	9.82	36.00	199.40	0.00	3.38	196.31	100.00	100.00	1.67	98.31	100.00	0.00
500	1000	1.18	9.87	13.00	199.31	0.00	0.83	197.50	100.00	100.00	0.41	99.58	100.00	0.00
400	1000	1.16	9.90	7.00	199.13	0.00	0.29	198.74	100.00	100.00	0.15	99.85	100.00	0.00
350	1000	1.14	9.95	6.00	199.35	0.00	0.35	199.76	100.00	100.00	0.18	99.83	100.00	0.00
300	1000	1.12	9.98	5.50	195.38	4.14	0.22	199.92	97.93	100.00	0.11	99.89	97.97	2.03
200	1000	1.09	10.09	4.00	173.42	26.75	0.22	199.18	86.64	99.78	0.13	99.89	88.16	11.84
100	1000	no data			no data				no data					

ตารางที่ ข-5 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ซี่ไถไม่ยางพาราร่วมกับดินขาว (C = Clay, R= Rubberwood-ash)

C:R (1:1) (g)	water (g)	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
900	1000	all float			all float				all float					
800	1000	all float			all float				all float					
700	1000	1.31	12.42	30.00	199.08	0.00	64.77	134.74	100.00	75.45	24.55	67.54	100.00	0.00
600	1000	1.26	12.37	21.00	199.95	0.00	17.62	181.03	100.00	91.90	8.10	91.13	100.00	0.00
500	1000	1.24	12.33	17.00	199.85	0.00	5.21	193.51	100.00	97.46	2.54	97.38	100.00	0.00
400	1000	1.20	12.25	13.50	199.93	0.00	2.10	196.11	100.00	98.96	1.04	98.94	100.00	0.00
300	1000	1.14	12.18	9.00	200.02	0.00	0.99	198.18	100.00	99.51	0.49	99.50	100.00	0.00
250	1000	1.12	12.09	8.00	198.52	1.23	0.12	200.21	99.38	99.94	0.06	99.94	99.39	0.61
200	1000	1.10	12.01	6.50	184.87	17.61	0.21	199.74	91.30	99.89	0.11	99.89	91.90	8.10
100	1000	all sink			all sink				all sink					

ตารางที่ ข-6 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.12	10.06	3.5	200.61	2.13	0.21	203.54	98.95	99.90	0.10	99.90	98.96	1.04
0.50	1.12	10.11	3.5	198.42	3.98	0.21	203.46	98.03	99.89	0.11	99.90	98.08	1.92
1.00	1.12	10.28	3.5	201.75	1.48	0.24	204.41	99.27	99.88	0.12	99.88	99.28	0.72
1.50	1.12	10.42	3.5	200.59	3.57	0.13	204.99	98.25	99.94	0.06	99.94	98.29	1.71

ตารางที่ ข-7 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนน้ำเถ้าไปาล์มต่อน้ำ 0.4:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.06	10.13	21.0	196.23	5.97	0.00	203.59	97.05	100.00	0.00	100.00	97.15	2.85
0.50	1.06	10.22	18.5	198.85	4.02	0.00	203.66	98.02	100.00	0.00	100.00	98.06	1.94
1.00	1.06	10.40	17.0	194.12	8.99	0.24	201.61	95.57	99.88	0.12	99.88	95.73	4.27
1.50	1.06	10.57	16.0	195.55	7.32	0.00	203.25	96.39	100.00	0.00	100.00	96.52	3.48

ตารางที่ ข-8 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไปปาล์มต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.06	9.96	11.0	190.48	12.92	0.00	208.09	93.65	100.00	0.00	100.00	94.15	5.85
0.50	1.06	10.03	10.5	195.65	7.28	0.00	208.28	96.41	100.00	0.00	100.00	96.62	3.38
1.00	1.06	10.19	10.0	193.77	9.78	0.00	208.46	95.20	100.00	0.00	100.00	95.52	4.48
1.50	1.06	10.32	9.5	192.4	8.72	0.00	208.41	95.66	100.00	0.00	100.00	95.98	4.02

ตารางที่ ข-9 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไม่ข่างพาราต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.12	12.35	10.5	204.89	1.86	0.24	203.45	99.10	99.88	0.12	99.88	99.09	0.91
0.50	1.12	12.38	10.5	205.38	1.3	0.38	202.15	99.37	99.82	0.18	99.81	99.36	0.64
1.00	1.12	12.39	10.5	206.15	0.44	0.24	204.03	99.79	99.88	0.12	99.88	99.78	0.22
1.50	1.12	12.41	10.0	206.01	0.63	0.24	203.03	99.70	99.88	0.12	99.88	99.69	0.31

ตารางที่ ข-10 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนน้ำเจือไม่ยางพาราต่อน้ำ 0.25:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.10	12.89	8.0	192.84	9.81	0.00	208.8	95.16	100.00	0.00	100.00	95.51	4.49
0.50	1.10	12.91	7.5	196.54	5.48	0.17	206.63	97.29	99.91	0.09	99.92	97.42	2.58
1.00	1.10	12.89	7.0	200.09	6.72	0.00	208.56	96.75	100.00	0.00	100.00	96.88	3.12
1.50	1.10	12.86	6.5	199.55	4.46	0.00	208.79	97.81	100.00	0.00	100.00	97.91	2.09

ตารางที่ ข-11 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.13	9.29	3.5	201.98	2.27	0.12	203.79	98.89	99.94	0.06	99.94	98.90	1.10
0.50	1.13	9.18	3.5	203.38	1.85	0.21	203.99	99.10	99.90	0.10	99.90	99.10	0.90
1.00	1.13	8.90	3.5	203.66	1.14	0.21	203.45	99.44	99.90	0.10	99.90	99.44	0.56
1.50	1.13	8.73	3.5	203.45	1.15	0.21	205.16	99.44	99.90	0.10	99.90	99.44	0.56

ตารางที่ ข-12 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนน้ำใ้เข้าไยปาล์มต่อน้ำ 0.4:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.07	10.02	29.0	203.62	0.43	0.21	202.43	99.79	99.90	0.10	99.90	99.79	0.21
0.50	1.07	9.99	26.0	203.76	0.43	0.21	200.60	99.79	99.90	0.10	99.90	99.79	0.21
1.00	1.07	9.96	21.0	203.54	0.43	0.21	201.03	99.79	99.90	0.10	99.90	99.79	0.21
1.50	1.07	9.92	18.0	203.64	0.43	0.21	202.23	99.79	99.90	0.10	99.90	99.79	0.21

ตารางที่ ข-13 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนน้ำใ้เข้าไยปาล์มต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.06	9.88	9.5	188.55	13.58	0.00	208.76	93.28	100.00	0.00	100.00	93.89	6.11
0.50	1.06	9.87	9.0	187.70	13.10	0.00	208.59	93.48	100.00	0.00	100.00	94.09	5.91
1.00	1.06	9.84	8.0	188.46	12.31	0.00	208.54	93.87	100.00	0.00	100.00	94.43	5.57
1.50	1.06	9.81	7.0	188.63	12.74	0.00	208.63	93.67	100.00	0.00	100.00	94.24	5.76

ตารางที่ ข-14 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนน้ำใ้เข้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.3:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.12	12.15	10.5	203.12	1.39	0.21	203.56	99.32	99.90	0.10	99.90	99.32	0.68
0.50	1.12	12.13	10.5	203.08	1.85	0.21	204.92	99.10	99.90	0.10	99.90	99.11	0.89
1.00	1.12	12.10	10.0	203.33	1.12	0.64	201.29	99.45	99.69	0.31	99.68	99.45	0.55
1.50	1.12	12.08	10.0	203.48	0.46	0.21	202.91	99.77	99.90	0.10	99.90	99.77	0.23

ตารางที่ ข-15 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนน้ำใ้เข้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.25:1 เมื่อมี $(\text{NaPO}_3)_6$ เป็นสารช่วยกระจายตัว

%dispersant	SG.	pH	viscosity (cP)	kernel		shell		kernel			shell		
				float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminant _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminant _s
0.25	1.10	12.79	8.0	197.18	6.72	0.00	207.93	96.70	100.00	0.00	100.00	96.87	3.13
0.50	1.10	12.77	7.0	194.57	8.01	0.00	208.70	96.05	100.00	0.00	100.00	96.30	3.70
1.00	1.11	12.74	5.0	198.33	4.74	0.00	207.15	97.67	100.00	0.00	100.00	97.76	2.24
1.50	1.11	12.73	4.5	196.69	6.79	0.00	207.25	96.66	100.00	0.00	100.00	96.83	3.17

ตารางที่ ข-16 แสดงการทดลองซ้ำโดยใช้สภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้ค่อนข้างดี

media	ratio	kernel		nut		shell		average %kernel _{recovery}	average %kernel _k	average %contaminant _k	average %shell _{recovery}	average %shell _s	average %contaminant _s
		float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)						
clay:water	0.25:1	56.71	0.00	4.05	1.40	0.57	132.64	100.00	94.89	5.11	99.63	98.83	1.17
		47.43	0.00	0.53	0.62	0.92	147.33						
		55.93	0.00	2.76	2.76	0.07	132.76						
rub.ash:water	0.30:1	52.32	0.33	2.20	4.93	1.91	137.75	98.55	91.78	8.22	98.83	98.02	1.98
		52.52	0.49	3.86	0.00	2.44	138.03						
		54.45	1.56	3.32	1.10	0.56	136.80						
	0.35:1	52.04	0.00	3.15	0.00	4.35	136.52	100.00	89.21	10.79	97.12	99.64	0.36
		55.71	0.00	2.09	0.00	3.60	135.61						
		48.99	0.00	1.44	1.56	4.32	141.00						
palm ash:water	0.35:1	54.59	0.73	3.23	2.30	1.67	132.47	98.30	86.50	13.50	98.25	97.21	2.79
		39.63	0.77	7.34	2.65	3.01	140.29						
		45.98	0.88	3.34	4.44	2.66	136.83						
	0.40:1	53.19	0.39	4.95	4.39	1.51	132.42	99.34	93.03	6.97	99.11	97.61	2.39
		57.44	0.00	2.18	0.00	0.73	137.09						
		50.87	0.64	1.44	4.63	1.39	137.84						

ตารางที่ ข-16 แสดงการทดลองซ้ำโดยใช้สภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันได้ค่อนข้างดี (ต่อ)

media	ratio (%dispersant)	kernel		nut		shell		average %kernel _{recovery}	average %kernel _k	average %contaminant _k	average %shell _{recovery}	average %shell _s	average %contaminant _s
		float (g)	Sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)						
(rub.ash+Clay):water	0.25:1	50.68	0.00	2.26	1.54	1.10	140.35	100.00	93.70	6.30	99.30	98.38	1.62
		45.42	0.00	3.59	3.12	0.80	142.56						
		51.67	0.00	0.96	2.38	1.12	143.10						
(palm ash+Clay):water	0.30:1	48.84	0.58	4.52	4.93	1.56	137.92	99.10	89.04	10.96	98.68	97.83	2.17
		49.87	0.30	5.29	1.90	2.42	138.04						
		51.55	0.48	3.16	1.11	1.58	141.31						

ตารางที่ ข-17 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้สารช่วยกระจายตัว $(\text{NaPO}_3)_6$ 0.5 % ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง

media [dispersant]	ratio (%dispersant)	kernel		nut		shell		average %kernel _{recovery}	average %kernel _k	average %contaminant _k	average %shell _{recovery}	average %shell _s	average %contaminant _s
		float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)						
clay:water [(NaPO ₃) ₆]	0.20:1 (0.5%)	29.09	0.37	1.85	4.52	0.01	162.21	99.34	94.37	5.63	99.49	97.70	2.30
		42.71	0.13	1.59	0.00	1.14	154.61						
		57.21	0.25	1.86	5.12	1.07	132.95						
rub.ash:water [(NaPO ₃) ₆]	0.25:1 (0.5%)	44.32	3.70	3.39	0.00	0.77	146.39	91.22	91.32	8.68	99.60	95.69	4.31
		44.74	4.13	4.16	2.47	0.52	142.37						
		41.73	4.73	3.18	4.63	0.44	145.77						
	0.30:1 (0.5%)	49.25	0.20	3.70	0.13	0.77	144.05	98.54	92.36	7.64	99.07	98.18	1.82
		58.83	1.67	2.58	1.90	1.47	128.15						
		58.44	0.71	3.70	2.75	1.50	133.39						
palm ash:water [(NaPO ₃) ₆]	0.30:1 (0.5%)	41.98	4.69	1.22	1.48	0.36	146.85	89.96	97.13	2.87	99.56	94.25	5.75
		55.36	4.98	1.49	1.53	0.69	134.28						
		59.68	7.99	0.00	4.04	0.72	127.90						
	0.40:1 (0.5%)	57.86	0.00	1.53	1.66	3.08	132.22	100.00	92.01	7.99	98.32	98.69	1.31
		53.40	0.00	0.72	1.51	2.56	139.38						
		51.12	0.00	4.85	2.29	1.35	138.91						

ตารางที่ ข-18 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้สารช่วยกระจายตัว Na_2SiO_3 0.5 % ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง

media [dispersant]	ratio (%dispersant)	kernel		nut		shell		average $\%kernel_{\text{recovery}}$	average $\%kernel_k$	average $\%contaminant_k$	average $\%shell_{\text{recovery}}$	average $\%shell_s$	average $\%contaminant_s$
		float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	Sink (g)						
clay:water [Na_2SiO_3]	0.20:1 (0.5%)	56.69	2.98	1.06	3.01	0.86	132.62	96.94	95.69	4.31	99.25	95.50	4.50
		49.53	0.54	1.55	7.49	2.27	139.10						
		42.52	1.36	1.09	4.48	0.00	150.97						
rub.ash:water [Na_2SiO_3]	0.25:1 (0.5%)	51.43	0.95	0.00	0.74	0.53	147.31	95.76	98.73	1.27	99.40	97.39	2.61
		69.89	2.90	0.00	0.00	0.85	126.43						
		62.43	4.65	0.00	1.37	1.01	129.33						
	0.30:1 (0.5%)	52.63	0.63	6.58	0.64	4.01	134.84	98.87	85.97	14.03	98.12	98.29	1.71
		55.80	0.00	4.61	3.74	2.96	133.49						
		42.75	0.97	5.75	1.26	0.86	149.40						
palm ash:water [Na_2SiO_3]	0.30:1 (0.5%)	44.50	5.45	3.35	0.00	0.68	142.43	90.74	94.08	5.92	99.28	93.58	6.42
		40.67	4.43	0.92	6.58	0.61	145.28						
		52.45	3.98	1.55	8.30	1.70	131.56						
	0.40:1 (0.5%)	51.75	1.14	2.61	6.55	1.37	135.67	98.76	91.01	8.99	98.66	96.90	3.10
		39.41	0.40	0.96	3.39	2.02	148.07						
		54.34	0.31	5.69	1.64	2.28	133.44						

ตารางที่ ข-19 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้สารช่วยกระจายตัว $(\text{NaPO}_3)_6$ 0.25 % ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง

media [dispersant]	ratio (%dispersant)	kernel		nut		shell		average %kernel _{recovery}	average %kernel _k	average %contaminant	average %shell _{recovery}	average %shell _s	average %contaminant
		float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)						
clay:water [(NaPO ₃) ₆]	0.20:1 (0.25%)	51.27	0.88	2.82	2.69	0.41	139.45	97.41	95.66	4.34	99.59	97.12	2.88
		53.29	1.98	0.61	2.45	0.71	142.13						
		45.15	1.16	1.56	3.55	0.65	146.14						
rub.ash:water [(NaPO ₃) ₆]	0.25:1 (0.25%)	53.03	3.84	0.00	1.48	0.56	136.83	93.54	96.06	3.94	99.62	95.60	4.40
		48.56	3.06	0.95	3.11	0.41	141.64						
		38.09	2.73	2.66	5.43	0.67	146.13						
	0.30:1 (0.25%)	58.71	0.85	5.05	1.42	0.15	129.92	98.45	93.86	6.14	99.28	98.51	1.49
		47.92	0.74	0.49	0.95	2.73	144.73						
		56.56	0.98	2.08	1.26	0.26	137.56						
palm ash:water [(NaPO ₃) ₆]	0.30:1 (0.25%)	47.52	5.68	0.72	0.54	2.15	144.59	89.64	93.73	6.27	99.21	96.25	3.75
		41.82	5.39	3.29	0.00	0.51	149.46						
		53.21	5.26	1.90	0.00	0.77	138.75						

ตารางที่ ข-20 แสดงการทดลองซ้ำสภาวะที่มีการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันเมื่อมีการใช้สารช่วยกระจายตัว Na_2SiO_3 0.25 %ของน้ำหนักวัสดุตัวกลาง

media [dispersant]	ratio (%dispersant)	kernel		nut		shell		average %kernel _{recovery}	average %kernel _k	average %contaminant	average %shell _{recovery}	average %shell _s	average %contaminant
		float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)						
clay:water [Na_2SiO_3]	0.20:1 (0.25%)	58.26	0.71	4.07	3.27	0.51	134.37	98.29	96.63	3.37	99.49	97.55	2.45
		60.31	1.72	0.28	3.66	0.32	132.28						
		64.00	0.74	0.00	0.00	1.20	132.63						
rub.ash:water [Na_2SiO_3]	0.25:1 (0.25%)	60.13	1.16	0.00	2.28	0.22	137.19	96.22	98.43	1.57	99.59	97.66	2.34
		60.06	2.50	1.30	0.00	0.94	133.19						
		62.82	3.62	0.00	0.00	0.48	129.44						
	0.30:1 (0.25%)	54.42	2.98	1.53	2.19	1.36	138.84	97.18	96.77	3.23	99.32	97.13	2.87
		52.40	1.18	0.52	3.54	0.94	142.02						
		63.02	0.68	0.68	1.76	0.56	133.53						
palm ash:water [Na_2SiO_3]	0.30:1 (0.25%)	54.99	7.22	1.91	0.00	1.44	134.68	90.47	94.28	5.72	98.99	94.19	5.81
		50.55	6.14	2.24	1.19	1.22	138.53						
		51.93	3.41	1.22	7.33	1.52	135.97						

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาคูณสมบัติของสเลอรีและผลการทดลองแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันในระดับ Pilot Scale

ตารางที่ ค-1 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ดินขาว ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1 (น้ำ 50 dm³, ดินขาว 12.5 kg)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	3.5	1.14	8.33	1000.64	359.15	2.29	2.49	1.59	14.56	612.13
0.5	3.5	1.14	7.72	1000.90	350.16	0.69	4.08	0.00	25.27	611.72
1.0	3.0	1.15	7.45	1000.83	356.33	0.48	2.97	2.38	21.85	610.47
1.5	3.0	1.15	7.15	1000.94	361.62	0.74	3.47	0.00	22.97	604.45
2.0	3.0	1.15	7.12	1000.35	358.37	4.52	2.05	0.89	21.84	608.39
2.5	3.5	1.15	7.06	1000.88	351.58	3.88	3.29	1.55	24.86	601.33
3.0	3.5	1.15	7.03	1000.76	362.91	3.38	1.68	0.99	21.56	594.73
4.0	3.5	1.15	6.95	1000.74	334.78	3.34	1.11	0.73	20.63	621.35

ตารางที่ ค-1 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ดินขาว ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1 (น้ำ 50 dm³, ดินขาว 12.5 kg)
(ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	95.47	0.66	3.87	0.37	0.26	99.37	99.37	95.47	4.53	97.68	99.37	0.63
0.5	92.27	1.08	6.66	0.11	0.00	99.89	99.80	92.27	7.73	96.03	99.89	0.11
1.0	93.49	0.78	5.73	0.08	0.39	99.53	99.87	93.49	6.51	96.54	99.53	0.47
1.5	93.19	0.89	5.92	0.12	0.00	99.88	99.80	93.19	6.81	96.34	99.88	0.12
2.0	93.75	0.54	5.71	0.74	0.14	99.12	98.75	93.75	6.25	96.53	99.12	0.88
2.5	92.59	0.87	6.55	0.64	0.26	99.11	98.91	92.59	7.41	96.03	99.11	0.89
3.0	93.98	0.44	5.58	0.56	0.17	99.27	99.08	93.98	6.02	96.50	99.27	0.73
4.0	93.90	0.31	5.79	0.53	0.12	99.35	99.01	93.90	6.10	96.79	99.35	0.65

ตารางที่ ค-2 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้จี้ไถปาล์ม ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างจี้ไถปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1 (น้ำ 50 dm³, จี้ไถปาล์ม 17.5 kg)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	5.0	1.10	10.07	1000.82	307.73	12.59	16.98	14.08	21.88	580.77
0.5	5.0	1.10	10.02	1000.90	294.25	13.70	19.20	18.45	24.15	599.11
1.0	4.5	1.10	10.02	1000.67	304.35	3.16	23.15	9.79	27.32	593.54
1.5	4.0	1.10	9.99	1000.66	249.12	10.02	16.99	22.27	23.44	635.11
2.0	4.0	1.10	9.98	1000.58	269.87	11.24	23.89	18.29	22.79	604.82
2.5	4.0	1.10	9.96	1000.46	256.48	9.06	24.54	24.62	24.43	614.97
3.0	4.0	1.09	9.86	1000.71	235.97	13.05	24.10	16.67	22.55	652.32
4.0	3.5	1.09	9.85	1000.49	234.93	19.95	23.67	17.37	23.03	641.75

ตารางที่ ค-2 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้จี้ไถปาล์ม ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างจี้ไถปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1 (น้ำ 50 dm³, จี้ไถปาล์ม 17.5 kg) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	88.79	4.90	6.31	2.07	2.32	95.61	96.07	88.79	11.21	96.37	95.61	4.39
0.5	87.16	5.69	7.15	2.17	2.92	94.91	95.55	87.16	12.84	96.13	94.91	5.09
1.0	85.78	6.52	7.70	0.52	1.61	97.86	98.97	85.78	14.22	95.60	97.86	2.14
1.5	86.04	5.87	8.10	1.50	3.34	95.16	96.13	86.04	13.96	96.44	95.16	4.84
2.0	85.25	7.55	7.20	1.77	2.88	95.34	96.00	85.25	14.75	96.37	95.34	4.66
2.5	83.97	8.03	8.00	1.40	3.80	94.81	96.59	83.97	16.03	96.18	94.81	5.19
3.0	83.49	8.53	7.98	1.91	2.44	95.64	94.76	83.49	16.51	96.66	95.64	4.36
4.0	83.42	8.40	8.18	2.94	2.56	94.50	92.17	83.42	16.58	96.54	94.50	5.50

ตารางที่ ค-3 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ซีเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างซีเถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1 (น้ำ 50 dm³, ซีเถ้าไม้ยางพารา 15.0 kg)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	13.0	1.14	12.58	1000.57	317.22	0.74	3.14	0.00	37.55	603.44
0.5	12.5	1.14	12.57	1000.63	317.92	1.46	1.50	0.00	35.02	592.26
1.0	12.0	1.14	12.57	1000.99	334.02	0.92	2.81	0.66	31.26	588.12
1.5	10.5	1.13	12.57	1000.58	350.50	4.44	0.00	1.57	30.30	568.87
2.0	9.5	1.12	12.56	1000.89	314.06	8.44	1.39	1.69	33.39	598.59
2.5	9.5	1.11	12.56	1000.86	318.82	13.37	0.73	1.78	29.39	598.71
3.0	9.0	1.11	12.56	1000.84	274.76	34.02	0.00	2.33	18.75	615.14
4.0	8.0	1.12	12.55	1000.78	260.11	45.98	1.38	1.31	15.90	611.47

ตารางที่ ค-3 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้ซีเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างซีเถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเป็น 0.30:1 (น้ำ 50 dm³, ซีเถ้าไม้ยางพารา 15.0 kg) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	88.63	0.88	10.49	0.12	0.00	99.88	99.77	88.63	11.37	94.14	99.88	0.12
0.5	89.70	0.42	9.88	0.25	0.00	99.75	99.54	89.70	10.30	94.42	99.75	0.25
1.0	90.74	0.76	8.49	0.16	0.11	99.73	99.73	90.74	9.26	94.95	99.73	0.27
1.5	92.04	0.00	7.96	0.77	0.27	98.95	98.75	92.04	7.96	94.94	98.95	1.05
2.0	90.03	0.40	9.57	1.39	0.28	98.34	97.38	90.03	9.97	94.72	98.34	1.66
2.5	91.37	0.21	8.42	2.18	0.29	97.53	95.98	91.37	8.63	95.32	97.53	2.47
3.0	93.61	0.00	6.39	5.22	0.36	94.42	88.98	93.61	6.39	97.04	94.42	5.58
4.0	93.77	0.50	5.73	6.98	0.20	92.82	84.98	93.77	6.23	97.47	92.82	7.18

ตารางที่ ค-4 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์ม โดยใช้จี้ไถปาล์มร่วมกับดินขาว ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวผสมจี้ไถปาล์มต่อน้ำเป็น 0.30:1 (น้ำ 50 dm³, ดินขาว 7.5 kg, จี้ไถปาล์ม 7.5 kg)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	12.5	1.14	9.70	1000.83	384.03	7.59	4.73	0.71	18.32	556.45
0.5	12.5	1.14	9.63	1000.52	380.87	4.99	2.21	1.20	17.22	545.06
1.0	11.0	1.14	9.59	1000.71	380.43	4.49	1.28	1.50	14.31	562.31
1.5	10.5	1.14	9.54	1000.89	353.02	4.71	1.18	0.00	14.25	592.75
2.0	9.0	1.14	9.51	1000.46	375.95	4.81	4.74	0.00	13.32	565.28
2.5	7.5	1.13	9.48	1000.73	346.98	7.10	1.43	0.00	12.99	590.99
3.0	5.5	1.12	9.42	1000.69	354.94	3.11	0.78	0.00	11.94	597.21
4.0	5.0	1.12	9.37	1000.56	334.20	6.37	1.96	1.21	10.29	618.43

ตารางที่ ค-4 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้จี้ไถปาล์มร่วมกับดินขาว ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวผสมจี้ไถปาล์มต่อน้ำเป็น 0.30:1 (น้ำ 50 dm³, ดินขาว 7.5 kg, จี้ไถปาล์ม 7.5 kg) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.00	94.34	1.16	4.50	1.34	0.13	98.53	98.06	94.34	5.66	96.81	98.53	1.47
0.50	95.15	0.55	4.30	0.91	0.22	98.88	98.71	95.15	4.85	96.94	98.88	1.12
1.00	96.06	0.32	3.61	0.79	0.26	98.95	98.83	96.06	3.94	97.52	98.95	1.05
1.50	95.81	0.32	3.87	0.79	0.00	99.21	98.68	95.81	4.19	97.65	99.21	0.79
2.00	95.42	1.20	3.38	0.84	0.00	99.16	98.74	95.42	4.58	97.70	99.16	0.84
2.50	96.01	0.40	3.59	1.19	0.00	98.81	97.99	96.01	3.99	97.85	98.81	1.19
3.00	96.54	0.21	3.25	0.52	0.00	99.48	99.13	96.54	3.46	98.04	99.48	0.52
4.00	96.46	0.57	2.97	1.02	0.19	98.79	98.13	96.46	3.54	98.36	98.79	1.21

ตารางที่ ค-5 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์ม โดยใช้จี้ถั่วไม่ยางพาราร่วมกับดินขาว ซึ่งมีสัดส่วนระหว่างดินขาวผสมจี้ถั่วไม่ยางพาราต่อ น้ำเป็น 0.30:1 (น้ำ 50 dm³, ดินขาว 6.25 kg, จี้ถั่วไม่ยางพารา 6.25 kg)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	8.0	1.12	12.46	1000.88	348.57	3.16	2.73	0.54	19.32	582.85
0.5	8.0	1.12	12.46	1000.79	367.76	5.62	3.22	0.00	8.89	560.43
1.0	8.0	1.12	12.46	1000.51	362.91	4.99	0.00	2.62	19.59	568.40
1.5	7.5	1.12	12.45	1000.90	332.94	7.51	2.27	0.96	21.29	590.50
2.0	6.5	1.12	12.45	1000.56	344.16	7.79	1.90	0.00	16.85	583.74
2.5	5.5	1.12	12.43	1000.52	359.55	7.41	0.00	1.83	20.66	567.43
3.0	5.5	1.12	12.43	1000.86	371.80	11.04	2.66	1.83	18.42	540.69
4.0	5.0	1.11	12.40	1000.77	373.56	9.61	2.78	0.00	13.34	560.65

ตารางที่ ค-6 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25%ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว (น้ำ 50 dm^3 , ดินขาว 6.25 kg, Na_2SiO_3 25 g)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	3.50	1.12	8.89	1000.54	351.89	11.16	1.27	1.49	17.57	614.50
0.5	3.50	1.12	8.41	1000.86	383.42	11.28	0.92	1.42	17.05	574.63
1.0	3.50	1.12	7.91	1000.69	348.56	19.23	2.21	2.55	18.65	605.76
1.5	3.25	1.12	7.33	1000.89	345.56	18.96	0.00	1.18	13.11	614.84
2.0	3.00	1.12	7.19	1000.75	366.39	20.35	0.64	3.51	13.45	593.59
2.5	3.00	1.12	6.91	1000.82	363.59	19.15	1.64	1.18	12.99	605.04
3.0	3.00	1.11	6.83	1000.73	365.25	18.72	2.19	3.69	11.94	592.02
4.0	3.00	1.11	6.85	1000.97	369.75	16.76	1.32	0.96	12.28	602.94

ตารางที่ ค-6 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนดินขาวต่อน้ำ 0.2:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25%ของน้ำหนักดินขาว เป็นสารช่วยกระจายตัว (น้ำ 50 dm^3 , ดินขาว 6.25 kg, Na_2SiO_3 25 g) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	94.92	0.34	4.74	1.78	0.24	97.98	96.93	94.92	5.08	97.22	97.98	2.02
0.5	95.52	0.23	4.25	1.92	0.24	97.84	97.14	95.52	4.48	97.12	97.84	2.16
1.0	94.35	0.60	5.05	3.06	0.41	96.53	94.77	94.35	5.65	97.01	96.53	3.47
1.5	96.34	0.00	3.66	2.99	0.19	96.83	94.80	96.34	3.66	97.91	96.83	3.17
2.0	96.30	0.17	3.54	3.30	0.57	96.14	94.74	96.30	3.70	97.78	96.14	3.86
2.5	96.13	0.43	3.43	3.06	0.19	96.75	95.00	96.13	3.87	97.90	96.75	3.25
3.0	96.28	0.58	3.15	3.05	0.60	96.35	95.12	96.28	3.72	98.02	96.35	3.65
4.0	96.45	0.34	3.20	2.70	0.15	97.14	95.66	96.45	3.55	98.00	97.14	2.86

ตารางที่ ค-7 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจี๊ด้าไยปาล์มต่อน้ำ 0.35:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักจี๊ด้า เป็นสารช่วยกระจายตัว (น้ำ 55 dm^3 , จี๊ด้าไยปาล์ม 19.25 kg , Na_2SiO_3 48.125 g)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	4.0	1.11	10.21	1000.63	261.71	4.65	43.53	8.24	47.12	593.50
0.5	4.0	1.10	10.19	1000.52	248.51	4.62	48.96	20.33	41.61	588.57
1.0	4.0	1.10	10.16	1000.49	241.03	6.85	41.92	14.61	41.12	615.08
1.5	3.5	1.10	10.14	1000.54	228.22	8.16	39.47	24.91	35.96	608.86
2.0	3.5	1.10	10.13	1000.47	253.72	5.80	46.75	27.24	31.43	585.26
2.5	3.0	1.10	10.10	1000.72	225.84	7.03	54.30	41.31	30.49	597.35
3.0	3.0	1.09	10.07	1000.64	243.35	5.00	46.42	32.21	23.56	606.16
4.0	3.0	1.09	10.05	1000.69	263.34	5.93	37.37	26.36	21.88	610.37

ตารางที่ ค-7 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไยปาล์มต่อน้ำ 0.35:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักขี้เถ้าเป็นสารช่วยกระจายตัว (น้ำ 55 dm³, ขี้เถ้าไยปาล์ม 19.25 kg, Na_2SiO_3 48.125 g) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	74.27	12.35	13.37	0.77	1.36	97.87	98.25	74.27	25.73	92.64	97.87	2.13
0.5	73.29	14.44	12.27	0.75	3.31	95.93	98.17	73.29	26.71	93.40	95.93	4.07
1.0	74.38	12.94	12.69	1.08	2.30	96.63	97.24	74.38	25.62	93.73	96.63	3.37
1.5	75.16	13.00	11.84	1.27	3.88	94.85	96.55	75.16	24.84	94.42	94.85	5.15
2.0	76.44	14.09	9.47	0.94	4.41	94.66	97.77	76.44	23.56	94.90	94.66	5.34
2.5	72.70	17.48	9.82	1.09	6.40	92.51	96.98	72.70	27.30	95.14	92.51	7.49
3.0	77.67	14.82	7.52	0.78	5.01	94.22	97.99	77.67	22.33	96.26	94.22	5.78
4.0	81.63	11.58	6.78	0.92	4.10	94.98	97.80	81.63	18.37	96.54	94.98	5.02

ตารางที่ ค-8 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.30:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว (น้ำ 50 dm^3 , ขี้เถ้าไม้ยางพารา 15.0 kg , Na_2SiO_3 37.5 g)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	10.00	1.14	13.11	1000.48	348.11	0.15	6.22	0.79	34.46	561.29
0.5	8.00	1.14	13.11	1000.64	363.30	0.42	4.73	2.10	25.84	550.19
1.0	7.50	1.14	13.11	1000.81	378.42	0.46	5.11	1.52	23.32	552.56
1.5	7.00	1.14	13.10	1000.93	367.85	0.70	2.24	2.52	24.81	557.78
2.0	6.50	1.14	13.10	1000.64	347.53	1.25	0.85	0.00	22.51	589.98
2.5	6.50	1.14	13.09	1000.85	331.95	3.37	2.41	0.00	24.39	595.74
3.0	5.50	1.12	13.09	1000.78	339.33	2.41	1.51	0.55	23.02	590.71
4.0	5.00	1.10	13.08	1000.60	318.57	5.75	0.86	0.76	19.79	613.61

ตารางที่ ค-8 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.30:1 เมื่อมี Na_2SiO_3 0.25% ของน้ำหนักขี้เถ้า เป็นสารช่วยกระจายตัว (น้ำ 50 dm^3 , ขี้เถ้าไม้ยางพารา 15.0 kg , Na_2SiO_3 37.5 g) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	89.54	1.60	8.86	0.03	0.14	99.83	99.96	89.54	10.46	94.22	99.83	0.17
0.5	92.24	1.20	6.56	0.08	0.38	99.54	99.88	92.24	7.76	95.51	99.54	0.46
1.0	93.01	1.26	5.73	0.08	0.27	99.64	99.88	93.01	6.99	95.95	99.64	0.36
1.5	93.15	0.57	6.28	0.12	0.45	99.43	99.81	93.15	6.85	95.74	99.43	0.57
2.0	93.70	0.23	6.07	0.21	0.00	99.79	99.64	93.70	6.30	96.32	99.79	0.21
2.5	92.53	0.67	6.80	0.56	0.00	99.44	98.99	92.53	7.47	96.07	99.44	0.56
3.0	93.26	0.41	6.33	0.41	0.09	99.50	99.29	93.26	6.74	96.25	99.50	0.50
4.0	93.91	0.25	5.83	0.93	0.12	98.95	98.23	93.91	6.09	96.88	98.95	1.05

ตารางที่ ค-9 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจี๊ด้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.30:1 เมื่อมี H₂SO₄ เข้มข้น 98%weight เป็นสารปรับค่าพีเอช (น้ำ 50 dm³, จี๊ด้าไม้ยางพารา 15.0 kg, H₂SO₄ 2.5 dm³)

time (hr)	viscosity (μ)	SG	pH	initial weight (g)	kernel		nut		shell	
					float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)	float (g)	sink (g)
0.0	33.00	1.19	9.80	1000.69	275.85	0.39	38.14	4.77	103.51	532.49
0.5	33.00	1.19	9.81	1000.62	252.11	0.26	59.34	3.49	121.22	517.07
1.0	33.00	1.18	9.80	1000.31	271.57	0.00	44.30	2.14	129.74	510.63
1.5	37.00	1.18	9.79	1000.48	253.53	0.00	54.31	1.60	140.05	504.98
2.0	36.50	1.18	9.79	1000.42	273.39	0.00	48.78	2.83	125.56	506.05
2.5	35.50	1.18	9.78	1000.50	233.79	0.00	71.18	1.91	120.38	524.76
3.0	36.00	1.18	9.78	1000.78	224.29	0.00	67.47	3.22	107.00	550.89
4.0	37.00	1.17	9.78	1000.85	221.95	0.00	53.69	0.96	92.75	585.67

ตารางที่ ค-9 แสดงผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มโดยใช้สัดส่วนจี๊ด้าไม้ยางพาราต่อน้ำ 0.30:1 เมื่อมี H₂SO₄ เข้มข้น 98%weight เป็นสารปรับค่าพีเอช (น้ำ 50 dm³, จี๊ด้าไม้ยางพารา 15.0 kg, H₂SO₄ 2.5 dm³) (ต่อ)

time (hr)	float			sink			kernel			shell		
	%kernel	%nut	%shell	%kernel	%nut	%shell	%kernel _{recovery}	%kernel _k	%contaminate _k	%shell _{recovery}	%shell _s	%contaminate _s
0.0	66.07	9.14	24.79	0.07	0.89	99.04	99.86	66.07	33.93	83.72	99.04	0.96
0.5	58.27	13.71	28.02	0.05	0.67	99.28	99.90	58.27	41.73	81.01	99.28	0.72
1.0	60.94	9.94	29.12	0.00	0.42	99.58	100.00	60.94	39.06	79.74	99.58	0.42
1.5	56.61	12.13	31.27	0.00	0.32	99.68	100.00	56.61	43.39	78.29	99.68	0.32
2.0	61.06	10.89	28.04	0.00	0.56	99.44	100.00	61.06	38.94	80.12	99.44	0.56
2.5	54.96	16.73	28.30	0.00	0.36	99.64	100.00	54.96	45.04	81.34	99.64	0.36
3.0	56.25	16.92	26.83	0.00	0.58	99.42	100.00	56.25	43.75	83.74	99.42	0.58
4.0	60.25	14.57	25.18	0.00	0.16	99.84	100.00	60.25	39.75	86.33	99.84	0.16

ภาคผนวก ง

ผลจากการวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง

ผลการทดสอบวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางแร่วิทยาของวัสดุตัวกลาง ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

ผลการทดสอบวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลาง ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry โดยใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

ผลการทดสอบวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุตัวกลาง โดยใช้เครื่อง Laser particle size analyzer

ผลการทดสอบวิเคราะห์ศักย์ซีต้าของวัสดุตัวกลางเมื่อมีน้ำเป็นตัวกลางการแขวนลอย ด้วยเทคนิค zeta potential analysis โดยใช้เครื่อง Zeta potential analyzer



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003I/T ฉบับที่ 4 บังคับใช้ 23/08/47

เลขที่ 2605/51 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นางสาวอาริษา เรืองมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 2882/51

วันที่รับตัวอย่าง : 17 พฤศจิกายน 2551

ผู้ทดสอบ : นางสาวสุนารี บดีพงษ์

วันที่ทำการทดสอบ : 20 พฤศจิกายน 2551

วิธีการทดสอบ : ตามรายละเอียดในวิธีปฏิบัติงานการใช้เครื่อง XRD (WI-RES-XRD-001)

เครื่องมือทดสอบ : เอ็กซ์เรย์ คิฟแฟรคโตมิเตอร์ (PHILIPS X'Pert MPD)

เทคนิคการทดสอบ : เอ็กซ์เรย์ คิฟแฟรคชัน

สภาวะการทดสอบ : X-ray tube : Cu Tube Sample preparation : Pressed Powder
Objective : Phase Identify Scan Program : clay&rock-0.4

รายละเอียดตัวอย่าง : ดินขาว, ซี้เถ่าปาล์ม, ซี้เถ่าไม้ยาง จำนวน : 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

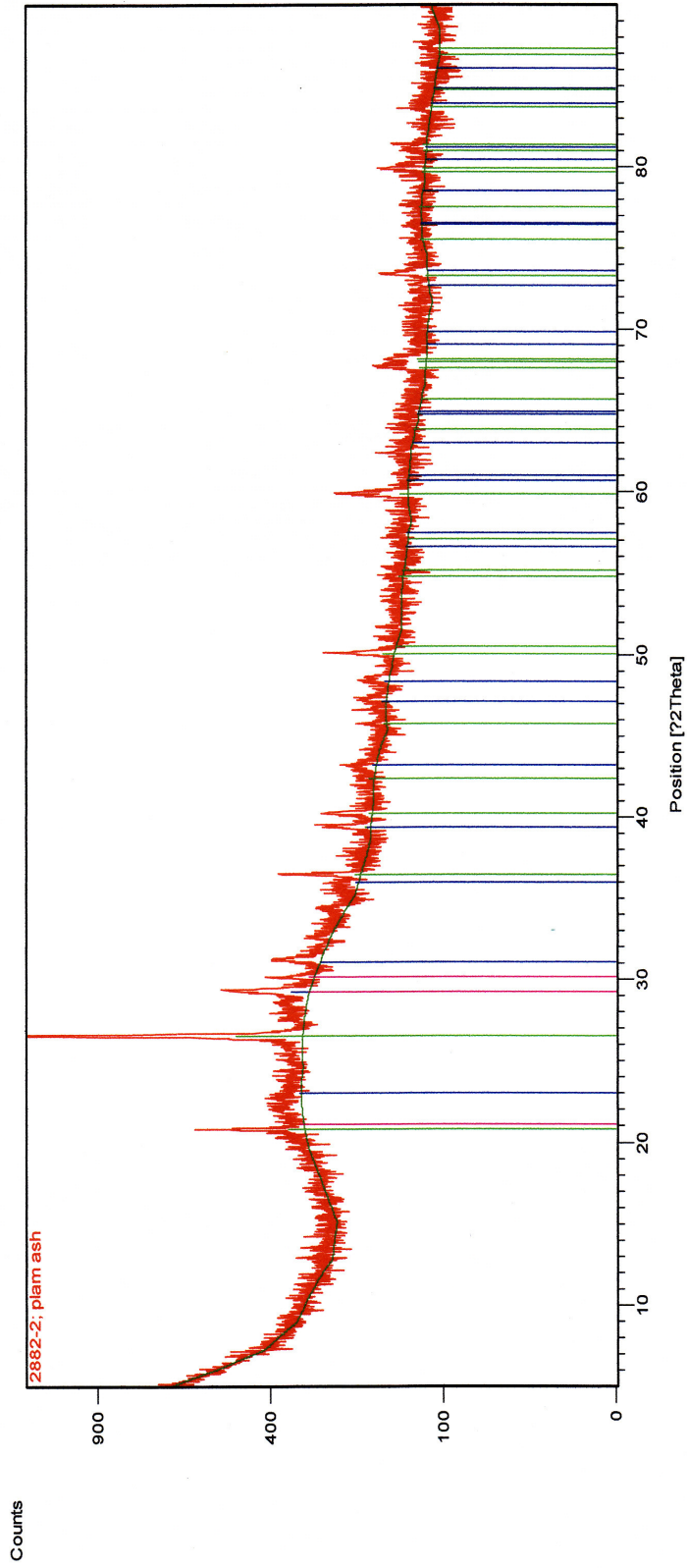
หมายเลข	ชื่อตัวอย่าง	JCPDF No.	Chemical Name	Chemical Formula
2882-1	ดินขาว	01-086-2334	Calcite	Ca (C O ₃)
		01-083-0539	Quartz	Si O ₂
2882-2	ซี้เถ่าปาล์ม	01-083-0539	Quartz	Si O ₂
		01-086-2340	Calcite	Ca (C O ₃)
		00-048-1544	Potassium Carbide	K ₂ C ₂
2882-3	ซี้เถ่าไม้ยาง	01-072-1937	Calcite	Ca C O ₃
		01-079-0612	Magnesium Oxide	Mg O
		01-077-2010	Lime	Ca O
		01-084-1266	Calcium Hydroxide	Ca (O H) ₂
		01-086-2341	Calcite	Ca (C O ₃)
		00-003-0729	Potassium Borate	K B O ₂
00-003-0747	Hydroxylapatite	Ca ₁₀ (P O ₄) ₆ (O H) ₂		

รายละเอียดในเอกสารแนบจำนวน 3 ชุด และอ้างอิง /2882

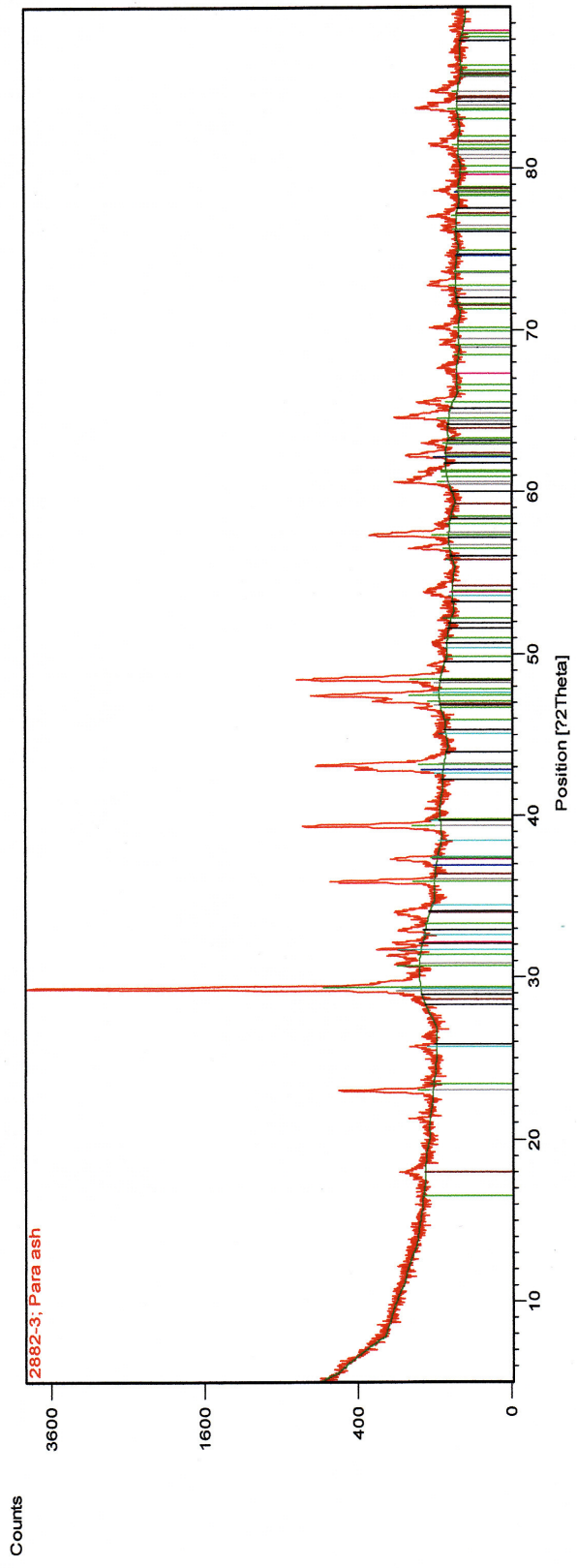

(นางสาวพิชรา สุกลรัตน์)

ผู้ตรวจสอบ

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน
ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

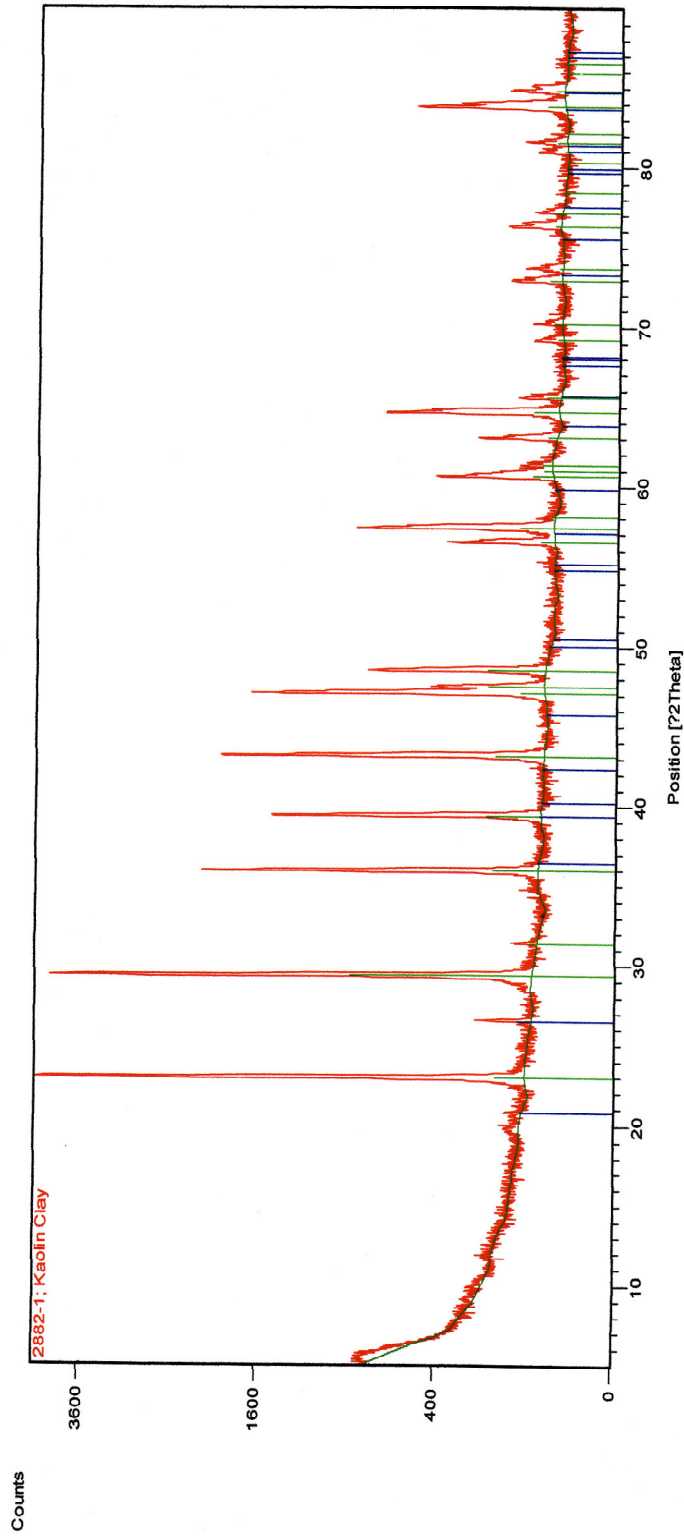


Peak List
01-083-0539; Si O2; Quartz
01-086-2340; Ca (C O3); Calcite
00-048-1544; K2 C2; Potassium Carbide



Peak List

01-072-1937; Ca C O ₃ ; Calcite
01-079-0612; Mg O; Magnesium Oxide
01-077-2010; Ca O; Lime
01-084-1266; Ca (OH) ₂ ; Calcium Hydroxide
01-086-2341; Ca (C O ₃); Calcite
00-003-0729; K B O ₂ ; Potassium Borate
00-003-0747; Ca ₁₀ (P O ₄) ₆ (OH) ₂ ; Hydroxylapatite



Peak List

01-086-2334; Ca (C O3); Calcite
01-083-0539; Si O2; Quartz



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-0031/T ฉบับที่ 4 บังคับใช้ 23/08/47

เลขที่ 2598 / 51 หน้า 1 / 1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นางสาวอาริษา เรืองมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 2881 / 51

วันที่รับตัวอย่าง : 17 พฤศจิกายน 2551

ผู้ทดสอบ : นางสาวสุนารี บดีพงษ์

วันที่ทำการทดสอบ : 21 พฤศจิกายน 2551

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-XRF-001 และ WI-RES-XRF-002

เครื่องมือทดสอบ : เอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (PHILIPS PW2400)

เทคนิคการทดสอบ : X-ray fluorescence spectrometry

สภาวะการทดสอบ : X-ray tube : Rh tube X-ray path : Vacuum
Application : GPSemiQ Sample type : Pressed powder
Objective : Semiquantitative measurement Scanning range : From O to U

รายละเอียดตัวอย่าง : ดินขาว, ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ซีเมนต์ไม่ยาง จำนวน : 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ที่	ตัวอย่าง	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SrO
1	ดินขาว	0.53	1.01	3.23	68.52	0.60	0.08

* ธาตุปริมาณต่ำที่พบ : Cl Mn

ที่	ตัวอย่าง	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	Rb	SrO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂
2	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	1.43	1.45	37.93	4.75	0.88	1.98	9.09	11.06	0.32	2.07	0.05	0.03	0.06	0.05	0.03	0.14

* ธาตุปริมาณต่ำที่พบ : Ti

ที่	ตัวอย่าง	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	Rb	SrO
3	ซีเมนต์ไม่ยาง	5.43	1.03	6.52	2.44	2.44	0.27	4.53	55.18	1.21	0.42	0.07	0.13

* ธาตุปริมาณต่ำที่พบ : Na Ti Cu Zn Zr Ba

* เปอร์เซ็นต์เชิงออกไซด์มาจากการคำนวณ

* ข้อมูลถูกจัดเก็บในไฟล์ชื่อ c:\customer\51\2xxx\2881

(นางสาวอาริษา สุกสิทธิ์)

ผู้ตรวจสอบ

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน
ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์



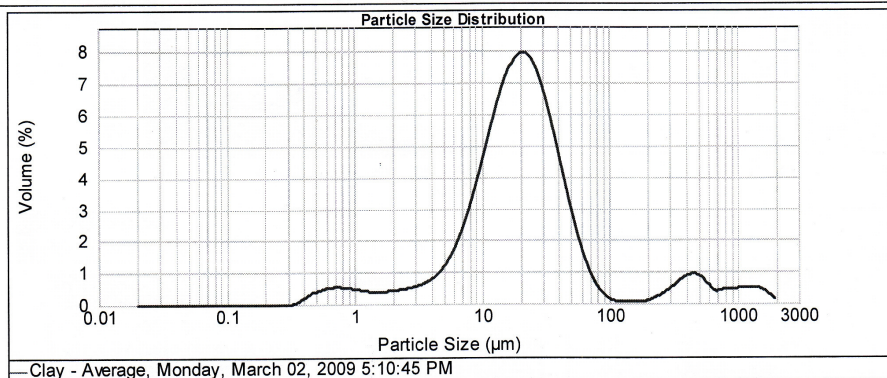
Result Analysis Report

Sample Name: Clay - Average **SOP Name:** **Measured:** Monday, March 02, 2009 5:10:45 PM
Sample Source & type: **Measured by:** Unknown **Analysed:** Monday, March 02, 2009 5:10:46 PM
Sample bulk lot ref: **Result Source:** Averaged

Particle Name: CaCO₃ (calcite) **Accessory Name:** Hydro 2000MU (A) **Analysis model:** General purpose **Sensitivity:** Normal
Particle RI: 1.572 **Absorption:** 0.1 **Size range:** 0.020 to 2000.000 um **Obscuration:** 14.07 %
Dispersant Name: Water **Dispersant RI:** 1.330 **Weighted Residual:** 1.738 % **Result Emulation:** Off

Concentration: 0.0190 %Vol **Span :** 2.860 **Uniformity:** 3.27 **Result units:** Volume
Specific Surface Area: 0.715 m²/g **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 8.397 um **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 76.771 um

d(0.1): 5.928 um **d(0.5):** 20.052 um **d(0.9):** 63.280 um



Clay - Average, Monday, March 02, 2009 5:10:45 PM

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.38	11.482	5.33	120.226	0.05	1258.925	0.47
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.35	13.183	6.10	138.038	0.06	1445.440	0.42
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.34	15.136	6.71	158.489	0.07	1659.587	0.27
0.015	0.00	0.158	0.00	1.680	0.35	17.378	7.09	181.870	0.08	1905.461	0.07
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.38	19.953	7.19	208.930	0.17	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.41	22.909	6.97	239.883	0.27	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.45	26.303	6.46	275.423	0.42	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.51	30.200	5.71	316.228	0.60	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.01	3.311	0.60	34.674	4.79	363.078	0.76	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.14	3.802	0.73	39.811	3.80	416.869	0.64	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.27	4.365	0.93	45.709	2.84	478.630	0.79	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.37	5.012	1.23	52.481	1.98	549.541	0.54	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.44	5.754	1.65	60.256	1.27	630.957	0.35	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.47	6.607	2.19	69.183	0.73	724.436	0.40	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.48	7.586	2.86	79.433	0.38	831.784	0.41	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.45	8.710	3.64	91.201	0.16	954.993	0.44	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.41	10.000	4.49	104.713	0.06	1096.478	0.46		
0.105	0.00	1.096	0.41	11.482	4.49	120.226	0.06	1258.925	0.46		

Operator notes: pump 2500 rpm



MASTERSIZER



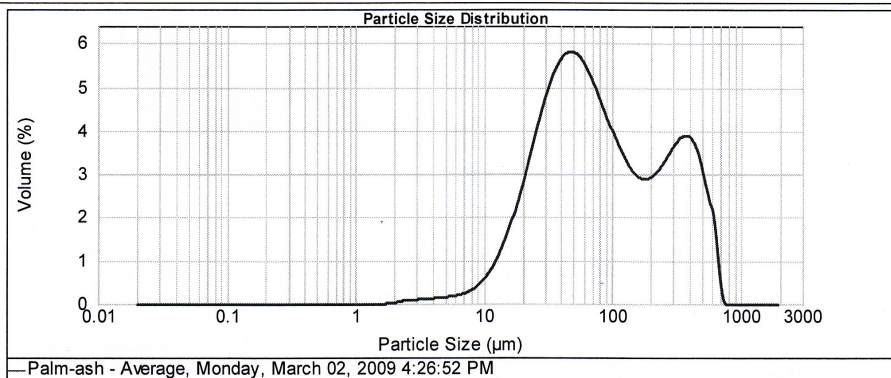
Result Analysis Report

Sample Name: Palm-ash - Average
Sample Source & type: WorldBank
Sample bulk lot ref: Averaged
SOP Name:
Measured by: WorldBank
Result Source: Averaged
Measured: Monday, March 02, 2009 4:26:52 PM
Analysed: Monday, March 02, 2009 4:26:53 PM

Particle Name: CaCO3 (calcite)
Particle RI: 1.572
Dispersant Name: Water
Accessory Name: Hydro 2000MU (A)
Absorption: 0.1
Dispersant RI: 1.330
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual: 2.878 %
Sensitivity: Normal
Obscuration: 12.15 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0812 %Vol
Specific Surface Area: 0.131 m²/g
Span : 5.231
Surface Weighted Mean D[3,2]: 45.783 um
Uniformity: 1.48
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 143.643 um
Result units: Volume

d(0.1): 21.617 um d(0.5): 71.806 um d(0.9): 397.220 um



Palm-ash - Average, Monday, March 02, 2009 4:26:52 PM

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.86	120.226	2.97	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	1.23	138.038	2.73	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	1.68	158.469	2.61	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	2.23	181.970	2.62	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.02	19.953	2.83	208.930	2.75	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.06	22.909	3.46	239.883	2.98	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.07	26.303	4.05	275.423	3.24	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.09	30.200	4.57	316.226	3.46	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.10	34.674	4.96	363.078	3.51	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.12	39.811	5.19	416.869	3.32	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.13	45.709	5.24	478.630	2.76	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.15	52.481	5.13	549.541	2.05	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.18	60.256	4.88	630.957	0.65	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.22	69.183	4.52	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.29	79.433	4.10	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.41	91.201	3.68	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.60	104.713	3.29	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.86	120.226	2.97	1258.925	0.00		

Operator notes: pump 2500 rpm



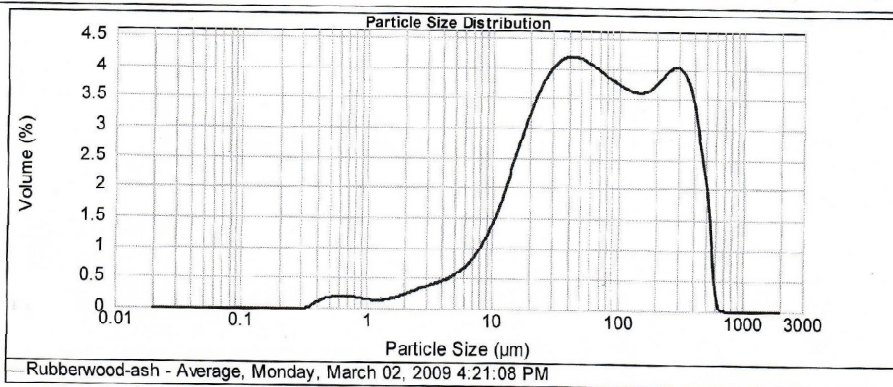
MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name: Rubberwood-ash - Average
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:
SOP Name:
Measured by: WorldBank
Result Source: Averaged
Measured: Monday, March 02, 2009 4:21:08 PM
Analysed: Monday, March 02, 2009 4:21:09 PM

Particle Name: CaCO₃ (calcite)
Particle RI: 1.572
Dispersant Name: Water
Accessory Name: Hydro 2000MU (A)
Absorption: 0.1
Dispersant RI: 1.330
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual: 3.019 %
Sensitivity: Normal
Obscuration: 14.03 %
Result Emulation: Off
Concentration: 0.0411 %Vol
Span : 4.851
Uniformity: 1.43
Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.331 m²/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 18.153 um
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 125.744 um

d(0.1): 12.027 um **d(0.5):** 67.635 um **d(0.9):** 340.119 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.12	11.482	1.71	120.226	3.27	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.12	13.183	2.05	138.038	3.24	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.14	15.136	2.39	158.489	3.27	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.17	17.378	2.74	181.970	3.34	1909.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.22	19.953	3.05	208.930	3.46	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.26	22.909	3.32	239.883	3.58	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.30	26.303	3.53	273.423	3.64	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.34	30.200	3.68	316.228	3.56	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.37	34.674	3.76	363.078	3.25	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.01	3.802	0.41	39.811	3.79	416.869	2.64	4365.168	0.00
0.040	0.00	0.417	0.13	4.365	0.46	45.709	3.77	478.930	1.89	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.16	5.012	0.53	52.481	3.72	549.541	0.66	5794.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.18	5.754	0.62	60.256	3.64	630.557	0.01	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.18	6.607	0.75	69.183	3.55	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.17	7.586	0.92	79.433	3.46	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.15	8.710	1.14	91.201	3.38	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.13	10.000	1.40	104.713	3.32	1096.478	0.00		
0.106	0.00	1.096	0.13	11.482	1.71	120.226	3.32	1258.925	0.00		

Operator notes: pump 2500 rpm



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003I/E Rev. 5 29/05/52

No. 1812/52 Page 1/1

TEST REPORT

Customer Name and Address : Ms.Arrisa Ruangmee
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, PSU.

Test Request Form No. : 1958/52

Test Item(s) Received Date : July 23, 2009

Test Request Date : July 23, 2009

Analyst : Ms. Nitchanan Nantakakul

Test Performed Date : July 31, 2009

Test Method Used : In house method refer to WI-RES-Zeta-001

Test Equipment : Zeta potential analyzer, Model ZetaPALS, Brookhaven

Test Technique : zeta potential analysis


Test Condition : Aqueous Solvent : water

Test Item(s) Description : Clay, Ash **Quantity :** 3 samples

Test Result(s) :

No.	Sample name
1	Clay
2	Palm - ash
3	Rubber wood - ash

As shown as data reports and refer to the directory: 1958-52Arrisa.


(Ms. Patchara Sukonrat)

Inspector

Remark This Test report is valid only for the tested sample.

This Test report shall not be reproduced except in full, without written approval of the Scientific Equipment Center.

BTG Brookhaven Instruments Corp.
 PALS Zeta Potential Analyzer Ver. 3.54

Date: Jul 31, 2009
 Time: 09:39:33
 Batch: 0

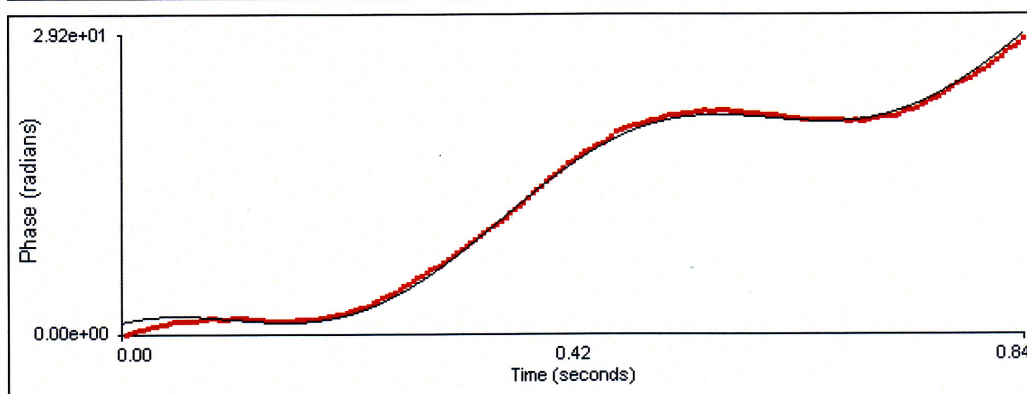
Sample ID **Palm - ash (Combined)**
 Operator ID **nitchanan**
 Notes **Clay**

Measurement Parameters:

Mean Zeta Potential = -36.32 mV	Liquid = Water
Zeta Potential Model= Smoluchowski	Temperature = 25.0 °C
Mean Mobility = -2.84 (μs) / (V/cm)	Viscosity = 0.890 cP
pH = 10.60	Refractive Index = 1.330
Conductance = 250 μS	Dielectric Constant = 78.54
Concentration = 0.00 mg/mL	Particle Size = 0.0 nm

Instrument Parameters:

Sample Count Rate = 451 kcps	Voltage = 4.00 volts
Ref. Count Rate = 986 kcps	Electric Field = 7.88 V/cm
Wavelength = 659.0 nm	User1 = 0.00
Field Frequency = 2.00 Hz	User2 = 0.00
Cycles Per Run = 10	



Palm - ash (Combined)

Run	Mobility	Zeta Potential (mV)	Rel. Residual
1	-2.55	-32.61	0.0668
2	-3.09	-39.60	0.0450
3	-2.86	-36.60	0.0487
4	-2.77	-35.46	0.0619
5	-2.67	-34.13	0.0295
6	-3.54	-45.36	0.0405
7	-2.77	-35.47	0.0504
8	-2.35	-30.04	0.0268
9	-2.69	-34.43	0.0277
10	-3.09	-39.49	0.0424
Mean	-2.84	-36.32	0.0440
Std. Error	0.11	1.36	0.0043
Combined	-2.83	-36.26	0.0261

BTG Brookhaven Instruments Corp.
PALS Zeta Potential Analyzer Ver. 3.54

Date: Jul 31, 2009
Time: 09:30:16
Batch: 0

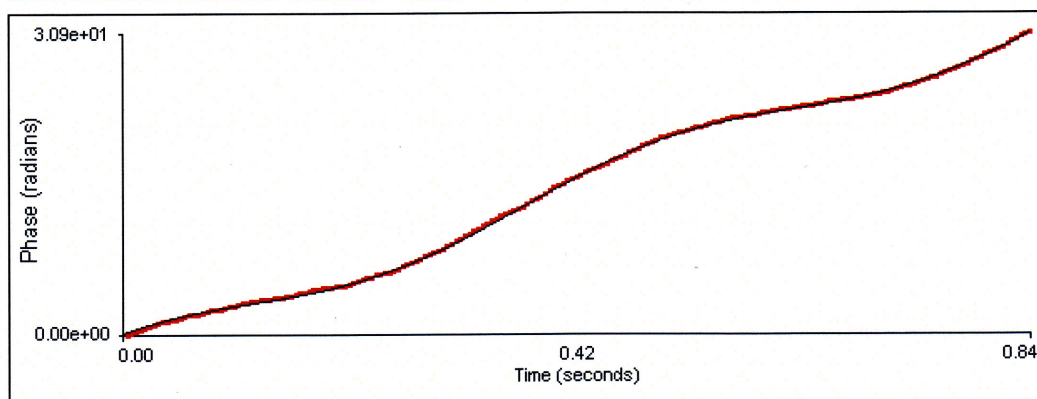
Sample ID **Clay (Combined)**
Operator ID **nitchanan**
Notes **Clay**

Measurement Parameters:

Mean Zeta Potential = -13.84 mV	Liquid = Water
Zeta Potential Model= Smoluchowski	Temperature = 25.0 °C
Mean Mobility = -1.08 (μ /s) / (V/cm)	Viscosity = 0.890 cP
pH = 10.60	Refractive Index = 1.330
Conductance = 79 μ S	Dielectric Constant = 78.54
Concentration = 0.00 mg/mL	Particle Size = 0.0 nm

Instrument Parameters:

Sample Count Rate = 413 kcps	Voltage = 4.00 volts
Ref. Count Rate = 966 kcps	Electric Field = 9.67 V/cm
Wavelength = 659.0 nm	User1 = 0.00
Field Frequency = 2.00 Hz	User2 = 0.00
Cycles Per Run = 10	



Clay (Combined)

Run	Mobility	Zeta Potential (mV)	Rel. Residual
1	-0.98	-12.55	0.0173
2	-1.06	-13.53	0.0342
3	-1.17	-14.96	0.0344
4	-0.94	-11.98	0.0218
5	-1.11	-14.24	0.0199
6	-0.88	-11.31	0.0203
7	-1.31	-16.77	0.0194
8	-1.02	-13.05	0.0220
9	-1.11	-14.26	0.0203
10	-1.23	-15.80	0.0387
Mean	-1.08	-13.84	0.0248
Std. Error	0.04	0.54	0.0025
Combined	-1.05	-13.41	0.0083

BIC Brookhaven Instruments Corp.
 PALS Zeta Potential Analyzer Ver. 3.54

Date: Jul 31, 2009
 Time: 09:51:25
 Batch: 0

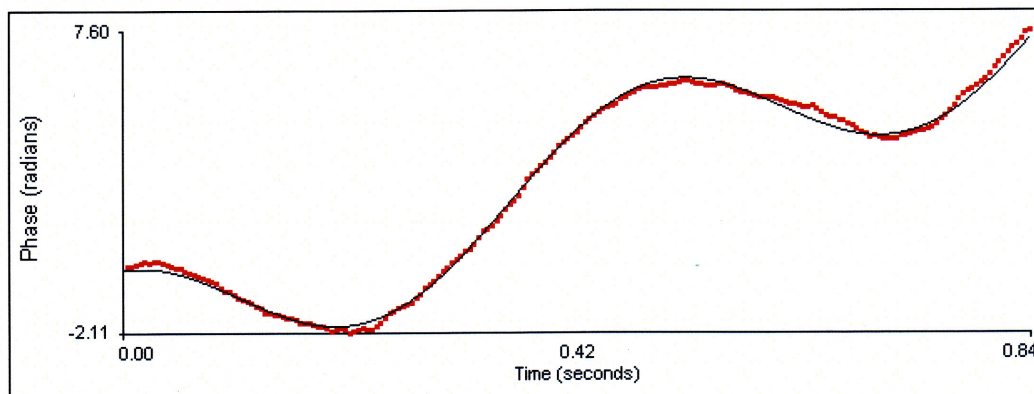
Sample ID **Rubber wood -ash (Combined)**
 Operator ID **nitchanan**
 Notes **Clay**

Measurement Parameters:

Mean Zeta Potential = -23.60 mV	Liquid = Water
Zeta Potential Model= Smoluchowski	Temperature = 25.0 °C
Mean Mobility = -1.84 (μ /s) / (V/cm)	Viscosity = 0.890 cP
pH = 10.60	Refractive Index = 1.330
Conductance = 952 μ S	Dielectric Constant = 78.54
Concentration = 0.00 mg/mL	Particle Size = 0.0 nm

Instrument Parameters:

Sample Count Rate = 406 kcps	Voltage = 4.00 volts
Ref. Count Rate = 888 kcps	Electric Field = 7.10 V/cm
Wavelength = 659.0 nm	User1 = 0.00
Field Frequency = 2.00 Hz	User2 = 0.00
Cycles Per Run = 10	



Rubber wood -ash (Combined)

Run	Mobility	Zeta Potential (mV)	Rel. Residual
1	-1.64	-20.96	0.0304
2	-1.44	-18.49	0.0417
3	-1.80	-23.04	0.0572
4	-1.90	-24.27	0.0334
5	-1.96	-25.05	0.0201
6	-1.69	-21.61	0.0282
7	-1.51	-19.31	0.0303
8	-2.02	-25.91	0.0212
9	-2.23	-28.60	0.0210
10	-2.25	-28.80	0.0275
Mean	-1.84	-23.60	0.0311
Std. Error	0.09	1.13	0.0036
Combined	-1.82	-23.35	0.0109

ภาคผนวก จ

ภาพประกอบการทดลอง



ภาพประกอบที่ จ-1 เครื่องวัดความหนืดชนิด Brookfield viscometer

ภาพประกอบ จ-2 เครื่องวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาควัสดุตัวกลาง
(Laser scattering particle size analyzer)

ภาพประกอบที่ จ-3 เตาอบ (oven)



ภาพประกอบที่ จ-4 การแยกเมล็ดดินและกะลาปาล์มโดยการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ดินขาว จีเถ้าไม้ยางพารา และจีเถ้าไยปาล์ม ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ จ-5 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะของสเลอรีที่เตรียมจาก ดินขาว จีเถ้าไม้ยางพารา และจีเถ้าไยปาล์ม ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ จ-6 การวัดค่าพีเอชของสเลอรีที่เตรียมจาก ดินขาว จีเถ้าไม้ยางพารา และจีเถ้าไยปาล์ม ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ จ-7 การวัดค่าความหนืดของสเลอรีที่เตรียมจาก ดินขาว จีเถ้าไม้ยางพารา และจีเถ้าไยปาล์ม ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ จ-8 การแยกเมล็ดดินและกะลาปาล์มโดยการทดลองระดับ pilot scale โดยใช้ดินขาว จีเถ้าไม้ยางพารา และจีเถ้าไยปาล์ม ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ จ-9 การแยกเมล็ดดินและกะลาปาล์มโดยการทดลองระดับ pilot scale โดยใช้ดินขาวผสมจีเถ้าไม้ยางพารา และดินขาวผสมจีเถ้าไยปาล์ม ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ จ-10 ลักษณะฟองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ชี้เต้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลาง



ภาพประกอบที่ จ-11 กากของชี้เต้าไยปาล์มตัดออกหลังจากใส่ชี้เต้าลงในน้ำแล้ว

ภาคผนวก จ**บทความ**

การใช้เถ้าเป็นตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน

(Using Ash as a Media in the Separation Process of Oil Palm Shells from its Kernels)

การใช้ซีเถ้าเป็นตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน
Using Ash as a Media in the Separation Process of Oil Palm Shells from its Kernels

อาริษา เรืองมี¹ รัม ยัมมแสลงสังข์² และชญาณูช แสงวิเชียร³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Arrisa Ruangmee¹ Ram Yamsaengsung² and Chayanoot Sangwichien³

^{1,2,3}Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: chayanoot.s@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ ชีวมวล ได้แก่ ซีเถ้าปาล์ม และซีเถ้าไม้ยางพารา มาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนดินขาวโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ โดยศึกษาผลของความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอช ของสเลอรี ต่อประสิทธิภาพการแยก เมื่อเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันมีความถ่วงจำเพาะ 1.1 และ 1.3 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และพีเอช มีผลต่อการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน จากสเลอรีดินขาวที่สัดส่วนโดยมวลของดินขาวแห้งต่อน้ำเป็น 0.25:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่าพีเอชเท่ากับ 9.23 และค่าความหนืดเท่ากับ 3.5 cP สามารถแยกเมล็ดในกลับคืนได้ 99.79% มีความบริสุทธิ์เท่ากับ 99.90% และมีประสิทธิภาพในการแยกเท่ากับ 99.68% สัดส่วนโดยมวลที่เหมาะสมที่สุดของซีเถ้าปาล์มแห้งต่อน้ำเท่ากับ 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.07 ค่า pH เท่า 9.98 และค่าความหนืดเท่ากับ 27 cP แยกเมล็ดในได้ 97.72% มีความบริสุทธิ์ 100% และมีประสิทธิภาพในการแยกเท่ากับ 97.72% สัดส่วนโดยมวลที่เหมาะสมที่สุดของซีเถ้าไม้ยางพาราแห้งต่อน้ำเท่ากับ 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.17 ค่า pH เท่า 12.51 และค่าความหนืดเท่ากับ 28 cP สามารถแยกเมล็ดในได้ 100% มีความบริสุทธิ์ 99.08% และมีประสิทธิภาพในการแยกเท่ากับ 99.08% ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถนำซีเถ้ามาเป็นวัสดุตัวกลางแขวนลอยเพื่อทดแทนดินขาวได้ เนื่องจากสามารถแยกเมล็ดในปาล์มน้ำมันได้ปริมาณสูงและมีความบริสุทธิ์เทียบเท่าได้กับการใช้ดินขาวแบบเดิม

คำสำคัญ: เมล็ดในปาล์ม/กะลาปาล์ม/ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ/ชีวมวล

Abstract

The object of this research is to investigate the possibility of using biomass such as palm-ash and rubberwood-ash as a substitute for kaolin (clay) in the heavy media separation (HMS) of oil palm shell from its kernel. The effects of specific gravity (SG), viscosity, and pH of the slurry on the efficiency of the operation were studied. Generally, the ratio by weight of dry kaolin to water was 0.25:1, the specific gravity, pH, and viscosity of the slurry produced were about 1.14, 9.23, and 3.5 cP, respectively. In addition, the kernel recovery rate was 99.79% with a purity of 99.9% and the efficiency was 99.68%. However, the optimum separation conditions using palm-ash were 0.4:1 dry biomass to water ratio by weight which produced a slurry specific gravity of 1.07, a pH of 9.98, and viscosity of 27 cP. This condition produced a kernel yield of 97.2% with a purity of 100% and the efficiency was 97.72%. Moreover, using dry rubberwood-ash to water at a 0.4:1 weight ratio, it was found that the slurry specific gravity, pH, and viscosity were 1.17, 12.51, and 28 cP, respectively. More importantly, the kernel recovery rate was 100% while the purity was 98.08% and the efficiency was 99.08%. Consequently, both types of biomass are efficient substitutes for kaolin in the separation process producing comparable percent recovery and purity of the kernels.

Keywords: separation of oil palm kernel/ash media/HMS/biomass



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

อาริษา เรืองมี งาม แยมแสงสังข์ และ ขญานุช แสงวิเชียร

ได้เข้าร่วมเสนอบทความเรื่อง

การใช้ไข่ไก่เป็นตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน

ในการประชุมวิชาการเครือข่ายข่ายล้งจางแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5

ระหว่างวันที่ 29 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552

ให้ไว้ ณ วันที่ 1 พฤษภาคม พุทธศักราช 2552

John Dmaw

(ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ จินายน)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก

การใช้ขี้เถ้าเป็นตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน

Using Ash as a Media in the Separation Process of Oil Palm Shells from its Kernels

อาริษา เรืองมี¹ รัม ยัมแสงสังข์² ชญานูช แสงวิเชียร³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Arissa Ruangmee¹ Ram Yamsaengsung² Chayanoot Sangwichien³

^{1,2,3}Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: chayanoot.s@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชีวมวล ได้แก่ ขี้เถ้าปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพารา มาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนดินขาวโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (HMS) โดยศึกษาผลของความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และค่าพีเอช ของสเลอรี ต่อประสิทธิภาพการแยก เมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.1 และ 1.3 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด และ pH มีผลต่อการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์ม จากสเลอรีดินขาวที่สัดส่วน ดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่า pH เท่า 9.23 และค่าความหนืดเท่ากับ 3.5 cP สามารถแยกเมล็ดในกลับคืนได้ 99.79 % (kernel recovery) และมีความบริสุทธิ์ 99.90% (base case) สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของขี้เถ้าปาล์มต่อน้ำเท่ากับ 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.07 ค่า pH เท่า 9.98 และค่าความหนืดเท่ากับ 27 cP แยกเมล็ดในได้ 97.2% มีความบริสุทธิ์ 100% และสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดของขี้เถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเท่ากับ 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.17 ค่า pH เท่า 12.51 และค่าความหนืดเท่ากับ 28 cP สามารถแยกเมล็ดในได้ 100% มีความบริสุทธิ์ 99.08% ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถนำขี้เถ้ามาเป็นวัสดุตัวกลางแทนดินขาวเพื่อทดแทนดินขาวได้ เนื่องจากสามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ปริมาณสูงและมีความบริสุทธิ์เทียบเท่าได้กับการใช้ดินขาวแบบเดิม

คำสำคัญ: เมล็ดในปาล์ม/กะลาปาล์ม/ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ

Abstract

The object of this research is to investigate the possibility of using biomass such as palm-ash and rubberwood-ash as a substitute for kaolin (clay) in the heavy media separation (HMS) of oil palm shell from its kernel. The effects of specific gravity (SG), viscosity, and pH of the slurry on the efficiency of the operation were studied. Generally, the ratio of kaolin to water was 0.25:1, the specific gravity, pH, and viscosity of the slurry produced were about 1.14, 9.23, and 3.5 cP, respectively. In addition, the kernel recovery rate was 99.79% with a purity of 99.9%. However, the optimum separation conditions using palm-

ash were 0.4:1 biomass to water ratio which produced a slurry specific gravity of 1.70, a pH of 9.98, and viscosity of 27 cP. This condition produced a kernel yield of 97.2% with a purity of 100%. Moreover, using rubberwood-ash to water at a 0.4:1 ratio, it was found that the slurry specific gravity, pH, and viscosity were 1.17, 12.51, and 28 cP, respectively. More importantly, the kernel recovery rate was 100% while the purity was 98.08%. Consequently, both types of biomass are efficient substitutes for kaolin in the separation process producing comparable percent recovery and purity of the kernels.

Keyword: separation of oil palm kernel/ash media/HMS

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีความสูงของลำต้นประมาณ 8 เมตร โดยช่อดอกตัวเมียจะเปลี่ยนไปเป็นทะลาย ซึ่งแต่ละทะลายจะมีผลปาล์มอยู่ประมาณ 800-1000 ผล ซึ่งขนาดของผลขึ้นอยู่กับขนาดของกะลาเป็นหลัก ปาล์มน้ำมันเป็นผลไม้เปลือกแข็ง ลักษณะผลแบ่ง 3 ชั้น คือ ส่วนนอกสุด (epicarp), ชั้นตรงกลาง (exocarp) เป็นส่วนที่มีเส้นใยใช้สกัดน้ำมันปาล์มดิบ (CPO), และส่วนที่เป็นกะลาแข็ง (endocarp) เป็นส่วนที่หุ้มแก่นในสุด (kernel) ซึ่งสกัดได้ CPKO (Akubuo et al., 2002) ผลปาล์มน้ำมันให้น้ำมันจากเปลือกนอกและจากเมล็ดใน ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน กระบวนการสกัดน้ำมันมาตรฐาน เริ่มจากการอบและนึ่งผลปาล์มด้วยไอน้ำที่ความดัน 3 กก./ตร.ซม. ใช้เวลา 70 ถึง 90 นาที แล้วส่งเข้าสู่เครื่องนวดแยกทะลายจากผลปาล์ม ผลปาล์มที่ได้จะถูกส่งเข้าหม้อกวน เมื่อกวนจนน้ำมันหรือจะแล้วก็จะป้อนเข้าสู่เครื่องบีบน้ำมันปาล์ม ซึ่งในขั้นตอนนี้น้ำมันปาล์มจะถูกแยกมาจากเมล็ดใน (kernel) ที่ยังไม่ได้แกะเปลือกและส่วนที่เป็นเส้นใย (fiber) ซึ่งน้ำมันจะนำไปผ่านกระบวนการกรองแยกสิ่งเจือปนออก ส่วนเมล็ดในจะถูกส่งเข้าสู่โซลเวเมล็ดเพื่อแกะเปลือกออก (เล็ก ลีจง และคณะ, 2003) เมล็ดในกับเปลือกที่ผสมกันอยู่จะถูกนำไปแยกออกจากกัน

กระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มมี 2 วิธี คือ แบบเปียก และแบบแห้ง (Koya et al., 2006) ซึ่งกระบวนการแยกแบบเปียกมีประสิทธิภาพในการแยกได้เร็วกว่าแบบแห้ง จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม วิธีการแบบเปียกเป็นการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์ม

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก

โดยใช้หลักความแตกต่างของความตึงจำเพาะระหว่างสารตัวกลาง เมล็ดใน และกะลาปาล์ม ในการแยกจะต้องเตรียม สเลอรีที่มีความ ตึงจำเพาะอยู่ระหว่างค่าความตึงจำเพาะของเมล็ดในกับกะลาของ ปาล์มน้ำมัน ตามหลักการเมื่อใช้สารตัวกลางในการแขวนลอยแล้ว กะลาปาล์มที่หนักกว่าจะจม ส่วนเมล็ดในที่เบากว่าลอย แยกออกจาก กัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อระบบของสารแขวนลอย เช่น ความหนืดของ ระบบ ขนาดของวัสดุตัวกลางการแขวนลอย ค่าพีเอช และสารช่วย กระจายตัว เป็นต้น ระบบการแขวนลอยที่ดีจะต้องมีขนาดอนุภาค แขวนลอยที่เล็ก เนื่องจากขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าจะแขวนลอยได้ นานกว่าอนุภาคที่ใหญ่

เนื่องจากซีเถ้าปาล์มและซีเถ้าไม่ยางพารา เป็นชีวมวลจาก โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบและโรงงานไม่ยางพารา ที่ยังไม่มีการ นำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงต้องการนำมาเป็นวัสดุตัวกลางในการ แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน เพื่อช่วยลดต้นทุนจากการใช้ดินขาว เป็นสารตัวกลาง จึงทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพ การแยกโดยใช้ดินขาวแบบเดิมกับการใช้ซีเถ้าปาล์มและซีเถ้าไม่ ยางพารามาทดแทน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

เมล็ดในปาล์มและกะลาปาล์มที่ใช้เป็นแบบที่ผ่านการกะเทาะ มาแล้วและแยกสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออกแล้ว จาก บริษัท สยามโมเดิร์นกรีน พาวเวอร์ จำกัด โดยเมื่อนำมาหาความตึงจำเพาะเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.1 และ 1.3 ตามลำดับ

วัสดุตัวกลางที่นำมาใช้ในระบบแขวนลอย ได้แก่ ดินขาว ซีเถ้าปาล์ม จากบริษัท สยามโมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด และซีเถ้าไม่ ยางพารา (จากโรงงานในจังหวัดกระบี่) นำวัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด มา ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของทางเคมี และกายภาพ โดยวิเคราะห์องค์ ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF; PHILIPS PW2400) แสดงผลในตารางที่ 1 วิเคราะห์แร่วิทยาด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD; PHILIPS X' Pert MPD) แสดงผลใน ตารางที่ 2 และวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาควัสดุตัวกลางทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง laser scattering particle size analyzer (Mastersizer 2000)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลางแขวนลอย

Chemical Compositions (Mass %)	Commercial Clay	Palm Ash	Rubberwood Ash
MgO	0.53	1.43	5.43
Al ₂ O ₃	1.01	1.45	1.03
SiO ₂	3.23	37.93	6.52
CaO	68.52	11.06	55.18
Fe ₂ O ₃	0.6	2.07	0.42
SO	0.08	0.05	0.13
P ₂ O ₅	-	4.75	2.44
SO ₃	-	0.88	2.44

Chemical Compositions (Mass %)	Commercial Clay	Palm Ash	Rubberwood Ash
Cl	very low	1.98	0.27
K ₂ O	-	9.09	4.53
MnO ₂	-	0.32	1.21
CuO	-	0.05	very low
ZnO	-	0.03	very low
Rb	-	0.06	0.07
Y ₂ O ₃	-	0.03	-
ZrO ₂	-	0.14	very low
Ti	-	very low	very low
Na	-	-	very low
Ba	-	-	very low

ในการทดลองจะเตรียมความเข้มข้นของสเลอรีโดยกำหนด อัตราส่วนระหว่างวัสดุแขวนลอยกับสารตัวกลางแขวนลอย (น้ำ) ซึ่งใช้ ดินขาวที่สัดส่วน 0.25:1 (base case) แล้วทดลองซีเถ้าปาล์มและ ซีเถ้าไม่ยางพารา ที่สัดส่วน 0.2:1, 0.3:1, 0.4:1, 0.5:1 และ 0.6:1 แล้ว ทำการวัดหาค่าความตึงจำเพาะด้วย Hydrometer ค่าความหนืดด้วย Brookfield Rotational Viscometer (LV model) และวัดค่า pH ด้วย pH-meter (Docu model)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางแร่ของวัสดุตัวกลางแขวนลอย

Name of material	Chemical name	Chemical formula
Commercial Clay	Calcite	Ca(CO ₃)
	Quartz	SiO ₂
Palm Ash	Calcite	Ca(CO ₃)
	Quartz	SiO ₂
	Potassium Carbide	K ₂ C ₂
Rubberwood Ash	Calcite	Ca(CO ₃)
	Magnesium Oxide	MgO
	Lime	CaO
	Calcium Hydroxide	Ca(OH) ₂
	Potassium Borate	KBO ₂
Hydroxylapatite	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	

เมื่อเตรียมสัดส่วนของสเลอรีได้แล้วจึงนำส่วนผสมของเมล็ดในกับกะลา ปาล์มที่ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วมาทำการแยกโดยที่มีการร่อนอย่างช้า ๆ เมล็ดในที่เบากว่าลอยขึ้น ส่วนกะลาที่หนักจะจม ตักแยกส่วนของ เมล็ดในที่ลอยออกมาก่อน แล้วทำการกรองส่วนของกะลาที่จมออกมา ล้างทำความสะอาด นำไปอบเพื่อได้น้ำที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งให้เย็นใน dessicator แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อ คำนวณหาปริมาณที่แยกได้ของเมล็ดในและของกะลา (% recovery)

แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกระหว่างการใช้ซีเถ้ากับดินขาวต่อไป

3. การทดสอบประสิทธิภาพการแยก

เมื่อทดลองนำเมล็ดในกับกะลาปาล์มมาทำการแยกโดยใช้สเลอรีตามสัดส่วนที่กำหนดแล้วจะนำน้ำหนักของเมล็ดในกับกะลาปาล์มที่แยกได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพโดยมีตัวแปรในการทดสอบ 5 อย่าง คือ ความบริสุทธิ์ของเมล็ดใน, ปริมาณเมล็ดในที่แยกได้, ความบริสุทธิ์ของกะลา, ปริมาณกะลาที่แยกได้ และประสิทธิภาพการแยก

- ความบริสุทธิ์ของเมล็ดใน (% kernel purity, k_p) คำนวณได้จากสมการ

$$k_p = \left(1 - \frac{a}{a+b}\right)100 \quad (1)$$

เมื่อ a คือ ปริมาณของกะลา และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ปนมากับเมล็ดในที่แยกได้ (g)

b คือ ปริมาณของเมล็ดในที่แยกได้ (g)

- ปริมาณเมล็ดในที่แยกได้ (% kernel recovery, k_r) คำนวณได้จากสมการ

$$k_r = \left(\frac{b}{b+c}\right)100 \quad (2)$$

เมื่อ c คือ ปริมาณของเมล็ดในที่ปนไปกับกะลาที่แยกได้

- ความบริสุทธิ์ของกะลา (% shell purity, s_p) คำนวณได้จากสมการ

$$s_p = \left(1 - \frac{d}{d+e}\right)100 \quad (3)$$

เมื่อ d คือ ปริมาณเมล็ดในและสิ่งปนเปื้อน อื่นๆ ที่ปนมากับกะลาที่แยกได้ (g)

e คือ ปริมาณของกะลาที่แยกได้ (g)

- ปริมาณกะลาที่แยกได้ (% shell recovery, s_r) คำนวณได้จากสมการ

$$s_r = \left(\frac{e}{e+f}\right)100 \quad (4)$$

เมื่อ f คือ ปริมาณของกะลาที่ปนไปกับเมล็ดในที่แยกได้ (g)

ประสิทธิภาพการแยก (% efficiency, y) เป็นการหาประสิทธิภาพโดยรวมของการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์ม คำนวณได้จากสมการ

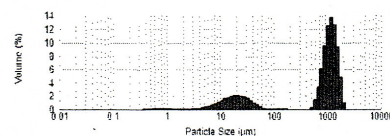
$$y = 100k_r s_r \quad (5)$$

เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการแยกแล้วก็สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสเลอรีแต่ละสัดส่วนที่ใช้แยกได้ (Akubuo et al., 2002)

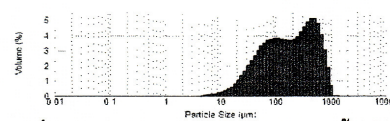
4. ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

จากรูปที่ 1 2 และ 3 เป็นการแสดงการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุแขวนลอย ได้แก่ ดินขาว ซีเถ้าปาล์ม และซีเถ้าไม้ยางพารา ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการกระจายตัวของอนุภาคของดินขาวจะอยู่ใน 2 ช่วงซึ่งเป็นช่วงที่อนุภาคมีขนาดเล็กประมาณ 7-45 ไมครอนอยู่ที่ 1-2 เฟอร์เซนต์โดยปริมาตร และช่วงที่อนุภาคมีขนาดใหญ่

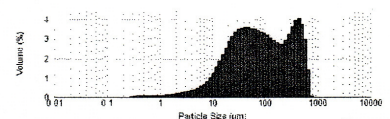
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5 29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก ประมาณ 550-1905 ไมครอน มีจำนวนตั้งแต่ 1-12 เฟอร์เซนต์โดยปริมาตรส่วนการกระจายตัวของอนุภาคของซีเถ้าปาล์มจะขนาดตั้งแต่ 40-995 ไมครอน ซึ่งจำนวนอนุภาคที่กระจายตัวมีค่อนข้างใกล้เคียงกันประมาณ 2-5 เฟอร์เซนต์โดยปริมาตร



รูปที่ 1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของดินขาว



รูปที่ 2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของซีเถ้าปาล์ม



รูปที่ 3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของซีเถ้าไม้

ยางพารา

และการกระจายตัวของอนุภาคของซีเถ้าไม้ยางพารา มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20-550 ไมครอน ซึ่งจำนวนอนุภาคที่กระจายตัวมีค่อนข้างใกล้เคียงกันประมาณ 2-4 เฟอร์เซนต์โดยปริมาตร

จากตารางที่ 3 สเลอรีดินขาวที่สัดส่วน ดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่า pH เท่า 9.23 และค่าความหนืดเท่ากับ 3.5 cP สามารถแยกเมล็ดในกลับคืนได้ 99.79 % (kernel recovery) และมีความบริสุทธิ์ 99.90% ซึ่งเมื่อใช้ซีเถ้าปาล์มเป็นวัสดุตัวกลางแขวนลอยพบว่าสามารถแยกเมล็ดในได้ปริมาณสูงและบริสุทธิ์ที่สุดที่สัดส่วนของซีเถ้าปาล์มต่อน้ำเท่ากับ 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.07 ค่า pH เท่า 9.98 และค่าความหนืดเท่ากับ 27 cP แยกเมล็ดในได้ 97.2% มีความบริสุทธิ์ 100% และที่สัดส่วนเท่ากับ 0.5:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.09 ค่า pH เท่า 9.94 และค่าความหนืดเท่ากับ 60 cP แยกเมล็ดในได้ 100% มีความบริสุทธิ์ 99.45% แต่จากการทดลองพบว่าที่สัดส่วน 0.5:1 สเลอรีจะมีลักษณะข้นมากไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนเมื่อใช้ซีเถ้าจากไม้ยางพาราเป็นวัสดุตัวกลางแขวนลอยพบว่าสามารถแยกเมล็ดในได้ปริมาณสูงและบริสุทธิ์ที่สุดที่สัดส่วนของซีเถ้าไม้ยางพาราต่อน้ำเท่ากับ 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.17 ค่า pH เท่า 12.51 และค่าความหนืดเท่ากับ 28 cP สามารถแยกเมล็ดในได้ 100% มีความบริสุทธิ์ 99.08% และ 0.5:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.20 ค่า pH เท่า 12.60 และค่าความหนืดเท่ากับ 65 cP สามารถแยกเมล็ดในได้ 100% มีความบริสุทธิ์ 97.32% แต่ที่สัดส่วนแรกจะมีความบริสุทธิ์ของเมล็ดในสูงกว่า ดังนั้นมีความเหมาะสมกว่าในการนำมาใช้งานจริง

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการแยกเมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันโดยใช้สารช่วยกระจายตัวชนิดต่าง ๆ

Material	Material : Water	SG.	pH	viscosity (cP)	Kernel		Shell	
					%k _p	%k _s	%s _p	%s _s
Clay	0.25:1	1.16	9.23	3.50	99.90	99.79	99.78	99.89
Palm ash	0.2:1	1.04	9.98	8.50	100.00	7.01	51.78	100.00
	0.3:1	1.05	9.97	12.00	100.00	68.06	75.78	100.00
	0.4:1	1.07	9.98	27.00	100.00	97.72	97.77	100.00
	0.5:1	1.09	9.94	60.00	99.45	100.00	100.00	99.44
	0.6:1	1.10	9.92	70.00	slurry is very concentrate			
Rubberwood ash	0.2:1	1.07	12.29	6.50	100.00	43.23	63.90	100.00
	0.3:1	1.12	12.39	12.00	99.89	97.65	97.70	99.90
	0.4:1	1.17	12.51	28.00	99.08	100.00	100.00	99.08
	0.5:1	1.20	12.60	65.00	97.32	100.00	100.00	97.20
	0.6:1	1.22	12.64	80.00	89.34	100.00	100.00	87.94

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในปาล์มของสเลอรีจะสูงเมื่อสเลอรีมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงระหว่างความถ่วงจำเพาะของกะลาและเมล็ดในปาล์มโดยก่อนมาทางความถ่วงจำเพาะของเมล็ดใน เพราะเมื่อความถ่วงจำเพาะของสเลอรีเพิ่มสูงเข้าใกล้ความถ่วงจำเพาะของกะลาจะมีปริมาณของกะลาที่ปะปนมากับเมล็ดในที่แยกได้สูงขึ้น และการแยกของเมล็ดในกับกะลาปาล์มก็จะเกิดในช่วงที่ค่า pH เป็นเบส

5. สรุปผล

สามารถนำซีเถ้าปาล์มและซีเถ้าไม้ยางพารามาใช้ทดแทนดินขาวที่ใช้ดั้งเดิมได้ โดยที่ยังคงประสิทธิภาพในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มได้ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับการใช้ดินขาวเดิม เมื่อใช้สัดส่วนสเลอรีดินขาวเป็น 0.25:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่า pH เท่า 9.23 และค่าความหนืดเท่ากับ 3.5 cP สามารถแยกเมล็ดในกลับคืนได้ 99.79 % (kernel recovery) และมีความบริสุทธิ์ 99.90% เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ พบว่าที่สัดส่วนของสเลอรีซีเถ้าปาล์ม 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.07 ค่า pH เท่า 9.98 และค่าความหนืดเท่ากับ 27 cP แยกเมล็ดในได้ 97.2% มีความบริสุทธิ์ 100% และสัดส่วนของสเลอรีซีเถ้าไม้ยางพารา 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.17 ค่า pH เท่า 12.51 และค่าความหนืดเท่ากับ 28 cP สามารถแยกเมล็ดในได้ 100% มีความบริสุทธิ์ 99.08% เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ซีเถ้าปาล์มและซีเถ้าไม้ยางพารา เพื่อแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มเมื่อเปรียบเทียบกับดินขาวแบบเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณความอนุเคราะห์ร่วมมือต่าง ๆ ในการทำโครงการงาน วิจัยจาก บริษัท สยามไมเคอร์นักรีนพาวเวอร์ จำกัด ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรม

เคมีคณบดีวิศวกรรม-ศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือและให้การสนับสนุนการทำวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- เล็ก ลีถง มนูญ มาศนิยม และสุพวงค์ ศิริบุหงศ์ (2003). การแยกกะลาและเมล็ดในปาล์มน้ำมันโดยใช้ดินขาวเป็นมิชเชิม. ว. สงขลานครินทร์ วทท., 25(3), 341-349
- Koya, O.A., Faborode, M.O. (2006). Separation Theory for Palm Kernel and Shell Mixture on a Spinning Disc. Biosystems Engineering, 95(3), 405-412.
- Akubuo, C.O., Eje, B.E. (2002). Palm Kernel and Shell Separator. Biosystems Engineering, 81(2), 193-199.
- Southworth, A. (1985). Palm Oil and Palm Kernels. JAOCS, 62: 250-254.
- Chan Yang Yin, Sharifah Aishah Syed Abdul Kadir, Ying Pei Lim, Sharifah Nawirah Syed-Arifin, Zurinawati Zamzuri. (2007). An investigation into physicochemical characteristics of ash produced from combustion of oil palm biomass waste in a boiler. Fuel Processing Technology. 89: 693-696.
- Nasser, M.S., James, A.E. (2005). Settling and sediment bed behaviour of kaolinite in aqueous media. Separation and Purification Technology. 51: 10-17.
- Boylu, F., Dincer, H. (2003). Effect of coal particle size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal-water slurries. Fuel Processing Technology. 85: 241-250.

