

ผลของคุณสมบัติทางกายภาพของสารตัวกลางต่อประสิทธิภาพ การแยกเมล็ดในปาล์มน้ำมัน Effect of physical properties of media slurry on oil palm kernels separation

ชญาณุช แสงวิเชียร (Chayanoot Sangwichien)^{1*}

อารีษา เรืองมี (Arrisa Ruangmee)²

บทคัดย่อ

กระบวนการทางกายภาพโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะระหว่างเมล็ดในปาล์ม กะลาปาล์ม และสารแขวนลอยซึ่งเป็นสารตัวกลางในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยทำการวิเคราะห์ผลจากคุณสมบัติทางกายภาพของสารตัวกลาง ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และค่าพีเอช พบว่าประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในจะมีค่าสูงเมื่อสารแขวนลอยมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่างความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในกับกะลา ซึ่งมีค่า 1.04 และ 1.28 ตามลำดับ ควรมีค่าพีเอชเป็นเบสอ่อน ($7 < \text{pH} < 10$) และมีค่าความหนืดต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เมื่อใช้ดินขาวซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ที่สัดส่วนของดินขาวต่อน้ำเป็น 0.25:1 มีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในได้ 99.79% มาเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นได้แก่ ฐี่เถ้าไยปาล์ม ฐี่เถ้าไยยางพารา ดินขาวผสมฐี่เถ้าไยปาล์ม และดินขาวผสมฐี่เถ้าไยยางพารา พบว่าที่สัดส่วนของวัสดุต่อน้ำเป็น 0.35:1, 0.30:1, 0.30:1 และ 0.25:1 มีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในเป็น 95.82%, 97.65%, 97.93% และ 99.38% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ดินขาว นอกจากนี้การเติมโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เป็นสารช่วยกระจายตัวจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในสูงขึ้นได้อีกด้วย

Abstract

The physical process by which oil palm kernels, oil palm shell and the suspension media are separated, based on the specific gravity (SG) has been studied. Analysis of physical properties of various media such as specific gravity (SG), viscosity and pH were compared. It was found that high efficiency of the separation depends on the SG of the suspension being between the SG of oil palm kernels and oil palm shell, which are 1.04 and 1.28 respectively. The suspension media should be close to alkalinity ($7 < \text{pH} < 10$) and

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²มหานักศึกษาด้านวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Corresponding author, e-mail: chayanoot.s@psu.ac.th

viscosity must be as low as possible. The clay media broadly used in the industries, with a clay media per water ratio of 0.25:1, affects the kernel separation efficiency of 99.79%. Use of other media such as palm ash, rubber wood ash, clay-palm ash mixture and clay-rubber wood ash mixture with a ratio of media:water of 0.35:1, 0.30:1, 0.30:1, and 0.25:1, gave kernel separation efficiencies of 95.82%, 97.65%, 97.93%, and 99.38%, respectively, close to the clay media separation efficiency. Moreover, adding Sodium Silicate (Na_2SiO_3) as a dispersant gave higher separation efficiency.

คำสำคัญ: เมล็ดในปาล์ม, กระบวนการแยก, ชี้อัลไยปาล์ม

Keywords: oil palm kernel, separation process, palm ash

บทนำ

ในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบจะมีการสกัดน้ำมันจาก 2 ส่วน คือ น้ำมันจากเปลือกนอก (crude palm oil) และน้ำมันจากเมล็ดใน (crude palm kernel oil) ซึ่งหลังจากบีบน้ำมันจากเปลือกนอกแล้ว จะมีการนำเมล็ดปาล์ม (palm seed) ไปกะเทาะให้แตก แล้วแยกกะลากับเมล็ดในออกจากกัน เพื่อนำเมล็ดในไปบีบน้ำมันต่อไป

กระบวนการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันมี 2 แบบ ได้แก่ กระบวนการแบบแห้ง และแบบเปียก (Koya and Faborode, 2006) ซึ่งกระบวนการแยกโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะเป็นกระบวนการแบบเปียกที่ใช้ระบบสารแขวนลอยเป็นตัวกลางสำหรับแยกส่วนผสมของเมล็ดในกับกะลาปาล์มหลังจากผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกหรือกะลา (เล็ก, 2546) ปัจจุบันในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบนิยมใช้ดินขาวเป็นวัสดุตัวกลางในการเตรียมสารแขวนลอย เพื่อเพิ่มความถ่วงจำเพาะให้กับของเหลว (น้ำ) สำหรับเตรียมสารแขวนลอยให้มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่างความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในกับความถ่วงจำเพาะของกะลาปาล์มน้ำมัน โดยวัสดุตัวกลางที่ดีต้องมีขนาดอนุภาคเล็ก ๆ เนื่องจากอนุภาคเล็กจะแขวนลอยได้นานกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ (Patent No. US 7,111,738 B2. Allen, 2006) ทั้งนี้ นอกจากอนุภาคของวัสดุตัวกลางจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารแขวนลอย

เพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากยิ่งวัสดุมีขนาดเล็กเท่าไรจะยังมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการจับตัวกันตกตะกอนง่ายขึ้น (Patent No. 2,949,190. J. R. Pagnotti et al., 1960) เมื่อนำวัสดุตัวกลางไปใส่ในของเหลวพบว่าที่ค่าพีเอชต่ำ ๆ จะทำให้โครงสร้างของวัสดุมีประจุที่ผิวหน้าเป็นลบเสมอ แต่ที่ขอบจะไม่เป็นลบเสมอไปจึงทำให้ประจุที่ผิวของวัสดุติดกันจับตัวเป็นก้อนได้ (Nasser and James, 2005; เล็ก, 2546) ค่าความหนืดก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นสารตัวกลางที่ดีจึงควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงความเป็นเบสอ่อน (pH 8-10) และควรมีความหนืดต่ำ ๆ เพื่อป้องกันการตกตะกอนของวัสดุตัวกลาง ซึ่งสามารถใช้สารช่วยกระจายตัวเพื่อลดการจับตัวกันตกตะกอนของวัสดุตัวกลาง โดยสารช่วยกระจายตัวจะทำหน้าที่ช่วยให้อนุภาควัสดุตัวกลางเกิดการผลักกัน และเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเนื่องจากเมล็ดปาล์มมีความเป็นกรด ดังนั้นเมื่อนำสารตัวกลางไปแยกค่าพีเอชของสารตัวกลางก็จะลดลงเล็กน้อย ซึ่งเป็นการป้องกันการกัดกร่อนของอุปกรณ์อีกทางหนึ่งด้วย

ทั้งนี้ จากการศึกษาชี้อัลไยที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี (Weerachart et al., 2007) ตามกำลังการผลิตและความต้องการของตลาด เนื่องจากภาคใต้ของประเทศไทยมีโรงงานปาล์มน้ำมัน และโรงงานยางรมควัน จำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำชี้อัลไยปาล์มจาก

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และจีเถ้าไม่ยางพารา ซึ่งได้จากกระบวนการอบแห้งยางพาราจากโรงงาน ยางรมควัน

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน ระหว่างวัสดุจีเถ้าปาล์ม จีเถ้าไม่ยางพารา ดินขาวผสมจีเถ้าปาล์ม และดินขาวผสมจีเถ้าไม่ยางพารา กับวัสดุดินขาวที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบเดิม นอกจากนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติของสารช่วยกระจายตัวต่อประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน และเพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด



(ก)



(ข)

รูปที่ 1. เมล็ดในและกะลาของปาล์มน้ำมันหลังแยก: เมล็ดในปาล์มน้ำมัน (ก) กะลาปาล์มน้ำมัน (ข)

วัสดุตัวกลางที่นำมาใช้ทดลองแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ดินขาว (เป็นดินขาวที่ใช้อยู่ที่บริษัท โมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด) จีเถ้าปาล์มเป็นจีเถ้าลอย (fly ash) และจีเถ้าไม่ยางพาราเป็นจีเถ้าหนัก (bottom ash) เบื้องต้นได้นำวัสดุทั้งสามชนิดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากคุณสมบัติของจีเถ้าจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาด้วย (Yin et al., 2007) โดย

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

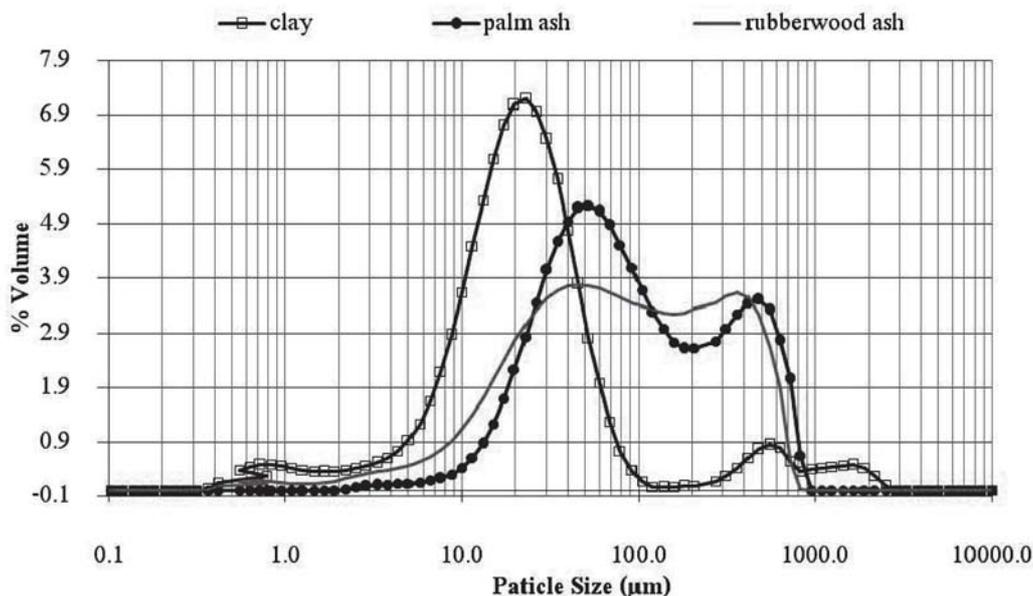
เมล็ดในและกะลาปาล์มน้ำมันซึ่งผ่านการกะเทาะแล้วจากบริษัท โมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด ซึ่งเมล็ดในของปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะใกล้เคียงกับทรงกลมหรืออิลิปซอยด์ (ellipsoidal) (Koya and Faborode, 2006) ดังรูปที่ 1 โดยนำมาหาความถ่วงจำเพาะได้เท่ากับ 1.04 และ 1.28 ตามลำดับ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD; PHILIPS X' Pert MPD) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีวิทยาด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence spectrometer (XRF; PHILIPS PW2400) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของวัสดุตัวกลางโดยใช้เครื่อง laser scattering particle size analyzer (Mastersizer 2000 Ver.5.1) ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1. องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตัวกลาง ด้วยเทคนิค (XRF: X-ray fluorescence spectrometry)

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

องค์ประกอบทางแร่วิทยาด้วยเทคนิค (XRD: X-ray diffraction) ประกอบด้วยแร่[†] Calcite; Ca(CO₃), [‡] Quartz; SiO₂, ^{*} Potassium Carbide; K₂C₂, [†] Magnesium Oxide; MgO, ^{**} Potassium Borate; KBO₂, [[†] Calcite; Ca(CO₃), Lime; CaO, Calcium Hydroxide; Ca(OH)₂]



รูปที่ 2. ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของวัสดุตัวกลางดินขาว ขี้เถ้าไยปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา

ในการทดลองได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยเตรียมสารตัวกลางจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ด้วยการกวนให้วัสดุกระจายตัวอย่างดีในน้ำ 1000 มิลลิลิตร (1000 กรัม) เมื่อใช้ดินขาวต่อน้ำในสัดส่วน 0.25:1 โดยน้ำหนัก (บริษัท โมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด) เป็นตัวเปรียบเทียบกับการศึกษาโดยใช้วัสดุเพียงชนิดเดียวในการเตรียมสารตัวกลาง ได้แก่ ขี้เถ้าไยปาล์ม และขี้เถ้าไม้ยางพารา ที่สัดส่วนต่อน้ำ 0.20:1, 0.30:1, 0.35:1 และ 0.40:1 โดยน้ำหนัก มาศึกษาประสิทธิภาพการแยกเปรียบเทียบกับดินขาวก่อน หลังจากนั้นนำสัดส่วนจากผลการใช้วัสดุเพียงชนิดเดียวเป็นสารตัวกลางที่มีประสิทธิภาพการแยกน้อยกว่าการใช้ดินขาว มาทดลองแยกโดยใช้วัสดุผสมที่สัดส่วนวัสดุต่อน้ำ 0.20:1, 0.30:1 และ 0.35:1 สำหรับวัสดุดินขาวผสมขี้เถ้าไยปาล์ม สัดส่วนวัสดุต่อน้ำเป็น 0.20:1, 0.25 และ 0.30 สำหรับวัสดุดินขาวผสมขี้เถ้าไม้ยางพารา ทั้งนี้ก็เพื่อดูประสิทธิภาพการแยกว่าเมื่อผสมดินขาวลงไปจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ

ของวัสดุขี้เถ้าหรือใช้ขี้เถ้าร่วมกับดินขาวได้หรือไม่ และทำการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมื่อเติมสารช่วยกระจายตัวลงในสารตัวกลางที่เตรียมจากวัสดุขี้เถ้าเพียงอย่างเดียวที่สัดส่วนต่อน้ำเป็น 0.3:1 โดยใส่สารช่วยกระจายตัว 0.25% และ 0.50% ของน้ำหนักวัสดุขี้เถ้า ในการศึกษาจะทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วย Hydrometer วัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Rotational Viscometer (Brokfield SYNCHRO-ELECTRIC VISCO-METER; EVT model) และวัดค่าพีเอชด้วย pH-meter (SARTORIUS; Docu model) แล้วนำส่วนผสมของเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันซึ่งผ่านการแยกสิ่งเจือปนอื่น ๆ (เส้นใย กรวดทราย หรือเมล็ดในกับกะลาปาล์มที่แตกละเอียด) ออกเรียบร้อยแล้ว มาแยกโดยใช้สารแขวนลอยที่เตรียมตามสัดส่วนต่าง ๆ ที่กำหนด ทำการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันโดยพิจารณาจากร้อยละการแยกได้ของเมล็ดใน กับร้อยละของปริมาณสิ่งเจือปน (กะลาที่ปนมากับเมล็ดในที่แยกได้)

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุตัวกลางพบว่า วัสดุทั้งสามชนิดมีคุณสมบัติบางอย่างที่คล้ายคลึงกัน เช่นมี CaO และ SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยดูจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่วิทยาและองค์ประกอบหลักทางเคมีในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าขนาดอนุภาควัสดุทั้งสามชนิดมีในบางช่วงที่ใกล้เคียงกัน โดยอนุภาคดินขาวจะเล็กที่สุดส่วนใหญ่จะมีขนาดการกระจายตัวอยู่ที่ 7-45 ไมครอน ในช่วงประมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนการกระจายตัวของอนุภาคของซีเถ้าไม้ยางพารามีขนาด 20-550 ไมครอน อยู่ในช่วงประมาณ 2-4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และซีเถ้าปาล์มมีการกระจายตัวอยู่ที่ขนาดอนุภาค 40-995 ไมครอน ช่วงประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ผลการแยกเมล็ดในปาล์มโดยอาศัยวัสดุตัวกลางชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการใช้ดินขาวต่อน้ำที่สัดส่วน 0.25:1 (สัดส่วนที่ใช้ในอุตสาหกรรม) มีประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในปาล์มที่สัดส่วนต่างสรุปได้ดังนี้

- เมื่อสัดส่วนของซีเถ้าปาล์มต่อน้ำเป็น 0.4:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1.07 ค่าความหนืด 27 cP และค่าพีเอช 10.03 สามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 97.72 ของเมล็ดในปาล์มทั้งหมด พบว่ามีค่าความหนืดของสารตัวกลางสูงเกินไปเนื่องจากสารแขวนลอยมีความเข้มข้นของเนื้อซีเถ้าสูงมากลักษณะใกล้เคียงกับโคลนตมไม่เหมาะต่อการนำเมล็ดในกับกะลาปาล์มลงไปแยก

- สัดส่วนของสารแขวนลอยจากซีเถ้าปาล์มต่อน้ำเป็น 0.35:1 ที่ค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1.06 ค่าความหนืด 19 cP และค่าพีเอช 10.05 ซึ่งสามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 95.82 ของเมล็ดในปาล์มทั้งหมด โดยไม่มีสิ่งเจือปน มีความเหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในปาล์มมากกว่า ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในกับกะลาปาล์มแม้จะมีค่าต่ำกว่าสารตัวกลางที่เตรียม

จากดินขาวในสัดส่วนที่ใช้เปรียบเทียบ และมีค่าความหนืดค่อนข้างสูงแต่ไม่ขึ้นเหมือนกรณีเตรียมจากสัดส่วนซีเถ้าปาล์มต่อน้ำเป็น 0.4:1 จึงสามารถใช้แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มได้ และค่าพีเอชสูงกว่ากรณีการใช้ดินขาวไม่มาก

- ส่วนสารแขวนลอยที่เตรียมจากซีเถ้าไม้ยางพารต่อน้ำเป็น 0.35:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่าความหนืด 16 cP และค่าพีเอชเท่ากับ 12.34 สามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 97.65 ของเมล็ดในปาล์มทั้งหมด และมีสิ่งเจือปนร้อยละ 0.30 พบว่ามีความสามารถในการแยกเมล็ดในปาล์มได้

- เมื่อสัดส่วนของซีเถ้าไม้ยางพารต่อน้ำเป็น 0.30:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1.12 ค่าความหนืด 12 cP และค่าพีเอชเป็น 12.39 โดยสามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 97.65 ของเมล็ดในปาล์มทั้งหมด และมีสิ่งเจือปนร้อยละ 0.11 ก็มีความสามารถในการแยกเมล็ดในปาล์มได้เช่นกัน

เมื่อเตรียมสารแขวนลอยโดยใช้ส่วนผสมระหว่างดินขาวกับซีเถ้าที่สัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

- พบว่าสารแขวนลอยของดินขาวผสมซีเถ้าปาล์มที่สัดส่วนต่อสารตัวกลางเป็น 0.35:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.14 ค่าความหนืด 6 cP และค่าพีเอช 9.95 สามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 97.93 โดยมีสิ่งเจือปนร้อยละ 0.18 และเมื่อใช้สัดส่วน 0.30:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.12 ความหนืด 5.50 cP และค่าพีเอช 9.98 แยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 97.93 โดยมีสิ่งเจือปนร้อยละ 0.11 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถใช้ในการแยกเมล็ดในปาล์มได้

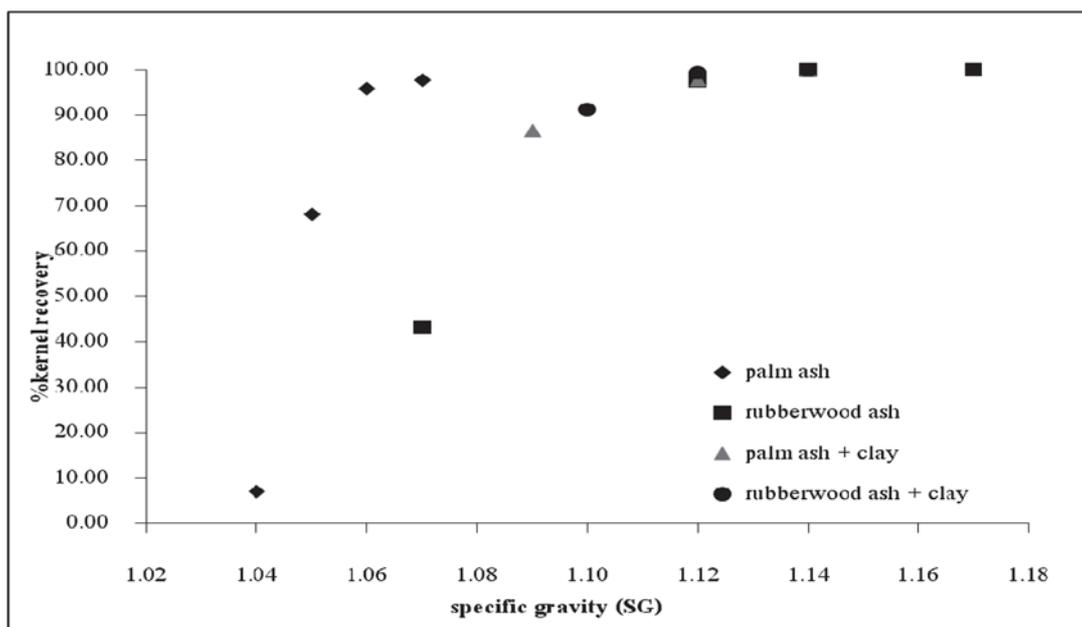
- สารแขวนลอยของดินขาวผสมซีเถ้าไม้ยางพาราที่สัดส่วนต่อน้ำเป็น 0.30:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1.14 ค่าความหนืด 9 cP และค่าพีเอช 12.18 สามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 97.93 โดยมีสิ่งเจือปนร้อยละ 0.49 และที่สัดส่วน 0.25:1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1.12 ค่าความหนืดเป็น 8 cP และค่าพีเอช 12.09 สามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ร้อยละ 99.38 มีสิ่งเจือปนร้อยละ 0.06

ผลจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุตัวกลางที่เตรียมได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกค่อนข้างสูง

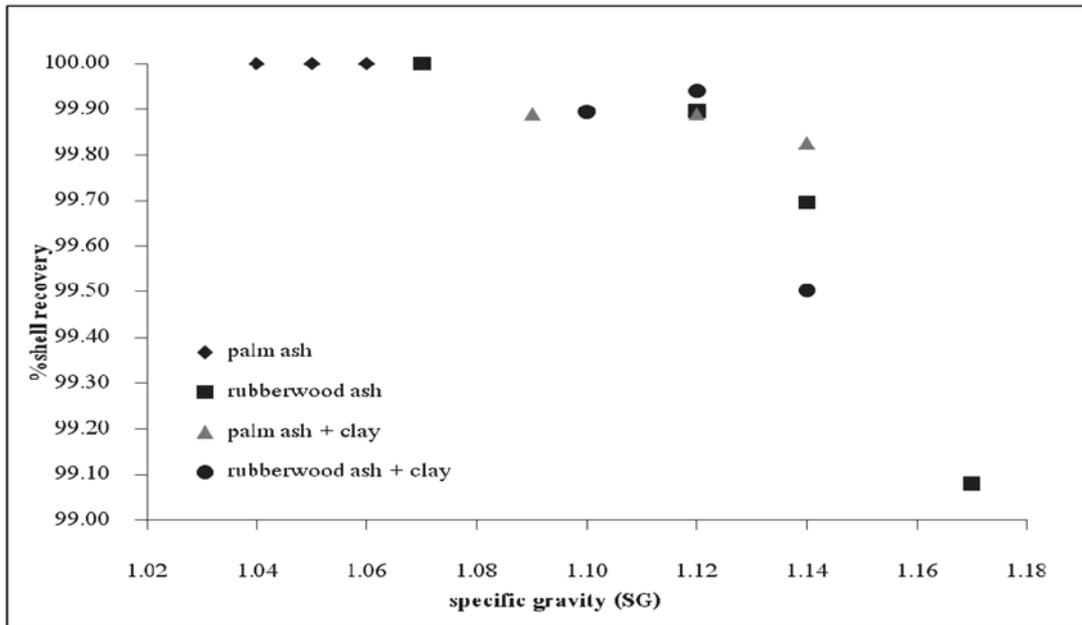
จากศึกษาพบว่าแนวโน้มของการแยกเมล็ดในปาล์ม น้ำมันจะสูงขึ้นเมื่อค่าความถ่วงจำเพาะของสาร ตัวกลางเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 แต่ในทางกลับกัน ค่าการแยกกะลาปาล์มน้ำมันจะลดลงหากค่า ความถ่วงจำเพาะของสารตัวกลางสูงเกินไป ดังแสดง ในรูปที่ 4 เนื่องจากกะลาจะลอยปนไปกับเมล็ดในซึ่ง จะส่งผลในค่าสิ่งเจือปนของเมล็ดในสูงขึ้นด้วย

- เมื่อมีการเติมสารช่วยกระจายตัวโซเดียม ซิลิเกต (Na_2SiO_3) ที่สัดส่วนเป็น 0.25 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณวัสดุตัวกลาง ลงในสาร แขนวลอยที่เตรียมจากขี้เถ้าปาล์มและขี้เถ้าไม้ยาง พาราที่สัดส่วนของวัสดุต่อน้ำเป็น 0.30:1 เพื่อเปรียบ เทียบกัน พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสาร

แขวนลอยในสัดส่วนของขี้เถ้าต่อสารตัวกลางใน สัดส่วนที่แยกเมล็ดในปาล์มได้น้อยให้มีประสิทธิภาพ สูงขึ้นได้ ซึ่งค่าประสิทธิภาพการแยกเมื่อเติมสารช่วย กระจายตัว 0.25 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ วัสดุตัวกลาง มีประสิทธิภาพการแยกที่แตกต่างกัน เพียงเล็กน้อย โดยสารช่วยกระจายตัวจะลดค่าความ หนักของสารแขวนลอยให้น้อยลงทำให้สารตัวกลาง แขนวลอยได้นานขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ค่า พีเอชของสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสารแขวนลอย ที่เตรียมจากขี้เถ้ามีค่าความเป็นเบสค่อนข้างสูงอยู่แล้ว จึงไม่ควรจะทำให้ระบบมีค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก ถ้าสารตัวกลางมีค่าความเป็นเบสสูงจะทำให้อุปกรณ์ หรือเครื่องแยกถูกกัดกร่อนได้ง่าย



รูปที่ 3. ประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในปาล์มต่อค่าความถ่วงจำเพาะของสารตัวกลาง



รูปที่ 4. ประสิทธิภาพการแยกกะลาปาล์มต่อค่าความถ่วงจำเพาะของสารตัวกลาง

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าเมื่อใช้ขี้เถ้าไม่ย่างพาราเป็นวัสดุในการเตรียมสารตัวกลางจะทำให้สารตัวกลางมีค่าพีเอชสูงกว่า 12 ในทุกสัดส่วน ซึ่งการที่พีเอชสูงเกินไปจะส่งผลต่อการกักคร่อนของอุปกรณ์จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานจริง (จะสามารถใช้ได้ดีหากมีอุปกรณ์ที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของด่าง) และเมื่อผสมดินขาวกับขี้เถ้าพบว่าสามารถใช้ร่วมกันได้และสัดส่วนของวัสดุต่อน้ำที่สามารถแยกเมล็ดในปาล์มได้ดีจะใช้ปริมาณวัสดุน้อยกว่าการใช้ขี้เถ้าเพียงอย่างเดียว ค่าพีเอชจะลดลงเล็กน้อย และสามารถลด

ค่าความหนืดของสารแขวนลอยให้น้อยลงโดยค่าความถ่วงจำเพาะจะสูงขึ้นและใกล้เคียงกับความถ่วงจำเพาะในกรณีการใช้ดินขาวซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบได้อีกด้วย แต่การผสมดินขาวกับขี้เถ้าก็ยังคงเป็นการใช้ขี้เถ้าทดแทนดินขาวอย่างไม่สมบูรณ์ที่สุด ดังนั้นการใช้ขี้เถ้าทดแทนดินขาวที่เหมาะสมที่สุดควรจะเป็นกรณีของการใช้ขี้เถ้าปาล์มต่อที่สัดส่วนต่อน้ำเป็น 0.35:1 โดยประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในปาล์มของสารแขวนลอยที่เตรียมจากวัสดุตัวกลางต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. คุณสมบัติของสารแขวนลอยต่อประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้วัสดุตัวกลาง แต่ชนิดที่สัดส่วนต่าง ๆ

Material	Material:Water (%dispersant)	SG.	pH	Viscosity (cP)	Separation efficiency	
					%kernel _{recovery}	%contaminant
Clay	0.25:1	1.14	9.23	3.50	99.79	0.10
Palm ash	0.20:1	1.04	10.12	8.50	7.01	0.00
	0.30:1	1.05	10.07	12.00	68.06	0.00
	0.35:1	1.06	10.05	19.00	95.82	0.00
	0.40:1	1.07	10.03	27.00	97.72	0.00
Rubberwood ash	0.20:1	1.07	12.29	6.50	43.23	0.00
	0.30:1	1.12	12.39	12.00	97.65	0.11
	0.35:1	1.14	12.34	16.00	100.00	0.30
	0.40:1	1.17	12.51	28.00	100.00	0.92
Palm ash + Clay (1:1)	0.20:1	1.09	10.09	4.00	86.64	0.13
Rubberwood ash + Clay (1:1)	0.30:1	1.12	9.98	5.50	97.93	0.11
	0.35:1	1.14	9.95	6.00	100.00	0.18
	0.20:1	1.10	12.01	6.50	91.30	0.11
Palm ash	0.25:1	1.12	12.09	8.00	99.38	0.06
	0.30:1	1.14	12.18	9.00	100.00	0.49
	0.30:1 (0.25 %Na ₂ SiO ₃)	1.06	10.16	11.00	93.65	0.00
Rubberwood ash	0.30:1 (0.50 %Na ₂ SiO ₃)	1.06	10.21	10.50	96.41	0.00
	0.30:1 (0.25 %Na ₂ SiO ₃)	1.12	13.08	10.50	99.10	0.12
	0.30:1 (0.50 %Na ₂ SiO ₃)	1.12	13.11	10.50	99.37	0.18

สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

องค์ประกอบหลักของซีเถ้าปาล์มมีปริมาณ SiO_2 สูงกว่า CaO ซึ่งต่างจากองค์ประกอบหลักของดินขาวที่นำมาเป็นตัวเปรียบเทียบ แต่จากงานวิจัยของเล็ก (2546) องค์ประกอบของดินขาวที่ใช้ในการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มก็มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบซีเถ้าอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัสดุ อุณหภูมิที่เผา เป็นต้น เพราะจากหลายงานวิจัยพบว่าซีเถ้ามีองค์ประกอบไม่คงที่แต่ส่วนใหญ่จะมี SiO_2 , CaO และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลัก (Moreno, 2005 ;Góra, 2005) และสำหรับซีเถ้าหนักเมื่อวิเคราะห์ระหว่างขนาดกับองค์ประกอบของซีเถ้าจากการเผาวัสดุหลายชนิดพบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคของซีเถ้าเพิ่มขึ้น (สูงกว่าช่วง 0-1000 ไมโครเมตร) ปริมาณ CaO จะลดลง แต่ SiO_2 จะสูงขึ้น (Chimenes, 2003 ;Shim, 2003) แต่ในงานวิจัยนี้ขนาดของอนุภาคซีเถ้าไม่ยาง(ซีเถ้าหนัก) มีอนุภาคน้อยกว่า 1000 ไมโครเมตร จึงประกอบด้วย CaO มากกว่า SiO_2 ซึ่งสารแขวนลอยจะมีความหนืดสูงกว่าเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า และยังมีจำนวนอนุภาควัสดุมาก สารแขวนลอยก็จะยิ่งมีความหนืดสูง (Boylu et al., 2003) เนื่องจากวัสดุที่ใช้ไม่ได้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงเดียวกันทั้งหมดจึงส่งผลต่อการเตรียมสารตัวกลาง ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของสารตัวกลางที่เตรียมจากวัสดุที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าที่เตรียมจากวัสดุที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าที่สัดส่วนเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้สารตัวกลางมีค่าความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมต่อการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มทำให้ต้องใช้ซีเถ้า (อนุภาคส่วนมากใหญ่กว่าดินขาว) ในปริมาณของมากกว่าปริมาณของดินขาว

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารตัวกลางสำหรับการแยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน โดยอาศัยหลักของความถ่วงจำเพาะให้ได้ประสิทธิภาพสูงๆ วัสดุตัวกลางควรมีอนุภาคเล็ก ๆ เพื่อให้แขวนลอยได้

นาน ต้องควบคุมค่าความถ่วงจำเพาะของสารตัวกลางให้มีค่าอยู่ระหว่างความถ่วงจำเพาะของเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.04-1.28 ตามลำดับ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติที่มีผลต่อการแยกสูงหากมีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงด้วย และเพื่อป้องกันการจับตัวกันตกตะกอนของอนุภาควัสดุตัวกลาง ควรให้สารตัวกลางมีค่าความหนืดต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และมีค่าพีเอชเป็นกลางก่อนไปทางเบส แต่ไม่ควรให้สูงเกินไปเนื่องจากจะส่งผลต่อการกัดกร่อนของอุปกรณ์ จากคุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมาการเลือกวัสดุชนิดใด ๆ มาใช้จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเตรียมสารตัวกลางให้มีความเหมาะสมสำหรับใช้แยกเมล็ดในกับกะลาปาล์มน้ำมันเนื่องจากการศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของซีเถ้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในโรงงานปาล์ม และอื่น ๆ ซึ่งมีจำนวนมากขึ้นทุกปีตามอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นและเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้ดินขาวเป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าสามารถนำซีเถ้าปาล์มค่อนน้ำที่สัดส่วน 0.35:1 มาใช้ทดแทนดินขาวได้ เพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตจากการซื้อดินขาวอีกด้วย ส่วนสารช่วยกระจายตัวก็มีผลต่อการช่วยในการแขวนลอยของอนุภาควัสดุตัวกลางทำให้วัสดุตัวกลางผลัดกันไม่จับตัวกันตกตะกอนอย่างรวดเร็ว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกเมล็ดในปาล์มน้ำมันของสารตัวกลางที่เตรียมจากสัดส่วนของวัสดุเท่ากันให้สูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมสารช่วยกระจายตัวได้ แต่ทั้งนี้ก็เป็นกรเพิ่มค่าพีเอชของระบบด้วยจึงไม่เหมาะกับกรณีการใช้วัสดุซีเถ้าซึ่งมีความเป็นเบสอยู่แล้ว

ประสิทธิภาพการแยกของเมล็ดในที่ได้จากการแยกด้วยกระบวนแยกแบบเปียกโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะในสัดส่วนของวัสดุตัวกลางค่อนน้ำที่มีความเหมาะสม หรือมีค่าความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมจะมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่ากระบวนแยกแบบแห้งโดยใช้เครื่องสั่นแยกซึ่งมีการรายงานไว้ (Akubuo and Eje, 2002) ประมาณร้อยละ 86

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท โมเดิร์นกรีนพาวเวอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ร่วมมือต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- เล็ก สีกง, มนูญ มาตรฐาน และสุขพงศ์ ศิริบุษยงค์. 2546. การแยกกะลาและเมล็ดในปาล์มน้ำมันโดยใช้ดินขาวเป็นมันขมิ้น. **ว. สงขลานครินทร์ วทท.** 25 (3): 341-349.
- Akubuo, C.O., Eje, B.E. 2002. Palm Kernel and Shell Separator. **Biosystems Engineering.** 81(2): 193-199.
- 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.
- Chimenos, J.M., Fernández, A.I., Miralles, L., Segarra, M., Espiell, F. 2003. Short-term natural weathering of MSWI bottom ash as a function of particle size. **Waste Management.** 23: 887-895.
- Góra, D., Anthony, E.J., Bulewicz, E.M., Jia, L. 2005. Steam reactivation of 16 bed and fly ashes from industrial-scale coal-fired fluidized bed combustors. **Fuel.** 85: 94-106.
- 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.

- Moreno, N., Querol, X., Andrés, J.M., Stanton, K., Towler, M. 2005. Physico-chemical characteristics of European pulverized coal combustion fly ashes. **Fuel.** 84: 1351-1363
- Nasser, M.S., James, A.E. 2005. Settling and sediment bed behaviour of kaolinite in aqueous media. **Separation and Purification Technology.** 51: 10-17.
- 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.
- 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).
- Shim, Y.S., Kim, Y.K., Kong, S.H., Rhee, S.W., Lee, W.K. 2003. The adsorption characteristics of heavy metals by various particle sizes of MSWI bottom ash. **Waste Management.** 23: 851-857.
- Weerachart Tangchirapat, Tirasit Saeting, Chai Jaturapitakkul, Kraiwood Kiattikomol, Anek Siripanichgorn. 2007. Use of waste ash from palm oil industry in concrete. **Waste Management.** 27: 81-88.
- Yin, C.Y., 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.