



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

เทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุเกษตรให้เป็นวัสดุขัดผิวในผลิตภัณฑ์สปา

**Processing Technology of Agricultural Products as Scrub Materials in
Spa Products**

โดย

พนิดา บุษปฤกษ์

อัญชดี สงวนพงษ์

โครงการวิจัยได้รับเงินสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน
คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๓

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการบดลดขนาดวัสดุเกษตร 3 ชนิด ได้แก่เมล็ดถั่วเขียว ใบสะเดา และดอกกระเจี๊ยบ ให้เป็นวัสดุขุดผิวในผลิตภัณฑ์สปา โดยใช้ขนาดและปริมาณของอนุภาคที่บดได้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา เครื่องมือบดลดขนาดที่ใช้มี 4 แบบ ได้แก่ เครื่องบดแตก เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง เครื่องบดแบบโมหิน และเครื่องปั่นผสม สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดและสี ทั้งก่อนและหลังการบดลดขนาด วัสดุเกษตรทั้ง 3 ชนิดถูกนำมาบดแล้ววิเคราะห์หาขนาดโดยใช้การร่อน

จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องบดแตกสามารถใช้ในการบดลดขนาดกับวัสดุเกษตรทั้ง 3 ชนิดได้ดี โดยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก สามารถบดเมล็ดถั่วเขียวให้มีขนาดเล็กกว่า 850, 600, 425 และ 300 ไมครอน ได้ร้อยละ 93, 80, 72 และ 62 ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก (d_{50}) เท่ากับ 231 ± 228 ไมครอน สามารถบดใบสะเดาให้มีขนาดเล็กกว่า 850, 600, 425 และ 300 ไมครอน ได้ร้อยละ 99, 94, 70 และ 44 ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก เท่ากับ 290 ± 182 ไมครอน และสามารถบดดอกกระเจี๊ยบแห้งให้มีขนาดเล็กกว่า 850, 600, 425 และ 300 ไมครอน ได้ร้อยละ 98, 89, 67 และ 45 ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก เท่ากับ 289 ± 206 ไมครอน

ABSTRACT

The objective of this research is to give a comparative data with regard to the particle size and yield on size reduction of mungbean, neem leaves and rosella as scrub material for spa product. The four types of size reduction machines/equipments were used; beater mill, roller mill, stone mill and blender. The physical characteristics as size and color were also examined before and after grinding. The fineness of ground materials were analysed by sieving.

The results indicated beater mill to be suitable for grinding those materials resulting in higher yield at specific range of sizing. Beater millings with 1.0 mm screen yield 93, 80, 72 and 62% for ground mungbean, 99, 94, 70 and 44% for ground neem leaves and 98, 89, 67 and 45% for ground rosella finer than 850, 600, 425 and 300 μm respectively. The geometric mean diameters of particle by mass (d_{gw}) comminuted by beater mill with 1.0 mm screen were 231 ± 228 , 290 ± 182 and 289 ± 206 μm for ground mungbean, neem leaves and rosella respectively.

สารบัญ

	หน้า	
บทนำ	1	
ตรวจเอกสาร	2	
อุปกรณ์และวิธีการ	5	
วัสดุอุปกรณ์	5	
วิธีการ	7	
ผลและวิจารณ์	9	
สมบัติทางกายภาพของวัตถุคิบ	9	
ชนิดของเครื่องมือวัดขนาดที่มีผลต่อขนาดของผลิตภัณฑ์	10	
สรุปผล	38	
เอกสารอ้างอิง	39	
ภาคผนวก	41	
ภาคผนวก ก	ข้อมูลการร่อนแยกขนาดและการคำนวณเพื่อดูการกระจายขนาด และหาขนาดเฉลี่ยของเกลือ	42
ภาคผนวก ข	ข้อมูลการร่อนแยกขนาดและการคำนวณเพื่อดูการกระจายขนาด และหาขนาดเฉลี่ยของเมล็ดถั่วเขียวบด	48
ภาคผนวก ค	ข้อมูลการร่อนแยกขนาดและการคำนวณเพื่อดูการกระจายขนาด และหาขนาดเฉลี่ยของใบสะเดาบด	79
ภาคผนวก ง	ข้อมูลการร่อนแยกขนาดและการคำนวณเพื่อดูการกระจายขนาด และหาขนาดเฉลี่ยของดอกกระเจี๊ยบบด	93

บทนำ

ในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในสถานบริการสปา ผลิตภัณฑ์สปา นับเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพในการให้บริการเป็นอย่างมาก รูปแบบโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์สปา มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะการให้บริการ เช่น ผลิตภัณฑ์สปาเพื่อการบำบัดรักษา การผ่อนคลาย การบำรุงสุขภาพ และความงาม จากรายงานการสำรวจรูปแบบผลิตภัณฑ์สปาที่นิยมในประเทศไทย พบว่าสถานบริการสปา มีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ประเภททำความสะอาด หรือขัดผิวมากที่สุด องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ล้วนนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาแพง ทำให้ระบบการผลิตต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศปีละหลายร้อยล้านบาท ในทางตรงกันข้ามการส่งเสริมให้ใช้วัตถุดิบในประเทศทดแทนการนำเข้า ยังไม่สามารถทำได้ตรงตามความต้องการของภาคการผลิต ทั้งนี้พบว่ายังขาดการศึกษาวิจัยถึงศักยภาพของพืชหรือวัสดุเกษตรที่มีภายในประเทศ ตลอดจนยังขาดข้อมูลในการผลิตและการจัดการผลผลิตเกษตรเพื่อแปรรูปให้เป็นวัตถุดิบเพื่ออุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์และผลิตภัณฑ์สปา

ดังนั้นการนำส่วนของพืชมาใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุขัดผิว นับเป็นทางเลือกแก่เกษตรกรอีกทางเลือกหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาศักยภาพของพืชท้องถิ่นที่มีกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่อชุมชนเพราะพืชท้องถิ่นหลายชนิดมีบทบาทต่อชุมชน ไม่ใช่เพราะเพียงเป็นพืชอาหารประจำวันเท่านั้น บางชนิดอาจใช้เป็นยารักษาโรคที่มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์หรือเป็นพืชยาในระบบสาธารณสุขมูลฐาน ตลอดจนใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมหรือเป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์สปา อย่างไรก็ตามการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อผลิตสินค้าให้มีคุณภาพนับเป็นหัวใจสำคัญอย่างยิ่งของการผลิตและสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ในการศึกษาจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมต่างๆ ทั้งด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ความสิ้นเปลืองพลังงาน ต้นทุนการผลิตซึ่งจะต้องทำการศึกษาหาขั้นตอน วิธีการ ตลอดจนเครื่องมือที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพสูง และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไปเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสามารถผลิตวัสดุเกษตรที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ และสามารถพัฒนาสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการแปรรูปวัสดุเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ เมล็ดถั่วเขียว ใบสะเดา และดอกกระเจี๊ยบ ให้เป็นวัสดุขัดผิวในผลิตภัณฑ์สปา ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปในขั้นตอนการบดลดขนาด รวมถึงการศึกษาสมบัติทางกายภาพทั้งก่อนและหลังการบดลดขนาด เพื่อใช้เป็นดัชนีคุณภาพของวัตถุดิบประเภทวัสดุขัดผิวในผลิตภัณฑ์สปา เพื่อจัดทำคู่มือมาตรฐานในระดับต่อไป

ตรวจเอกสาร

ถั่วเขียว (*Vigna radiata*) เป็นพืชปุ๋ยสด (พืชที่ปลูกแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด) ที่เหมาะกับพื้นที่นาดอน มีข้อดีคือเมล็ดพันธุ์หาง่าย ราคาไม่แพงแต่ได้น้ำหนักสดน้อยเมื่อเทียบกับพืชปุ๋ยสดชนิดอื่น พันธุ์ใช้พันธุ์อะไรก็ได้ แต่หากใช้ถั่วเขียวผิวดำมักจะได้น้ำหนักสดสูงกว่าถั่วเขียวผิวมัน การปลูกควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน (ก่อนปลูกข้าว) เช่นปลายเดือนเมษายน-เดือนพฤษภาคม การเตรียมดินทำการไถเตรียมดิน 1 ครั้งเพื่อกำจัดวัชพืช และทำให้ดินร่วนซุย เหมาะกับการงอกของเมล็ด การเตรียมเมล็ดพันธุ์ ควรคัดเลือกเมล็ดดีและเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออกให้เหลือแต่เมล็ดที่สมบูรณ์ ควรคลุกเมล็ดถั่วเขียวด้วยโรโซเนียมสำหรับถั่วเขียวก่อนปลูกเพื่อช่วยให้ถั่วเขียว เจริญเติบโตได้ดี โดยใช้ถั่วเขียว 5 กิโลกรัมต่อโรโซเนียม 1 ถุง ใช้น้ำมันพืชหรือน้ำซาวข้าว หรือน้ำธรรมชาติผสมในขณะคลุกโรโซเนียม เพื่อให้ติดเมล็ดดีขึ้นการปลูกปลูกโดยวิธีหว่านใช้เมล็ดถั่วเขียว 5 กิโลกรัม หว่านให้ทั่วใน 1 ไร่การดูแลรักษาโดยปกติไม่ต้องมีการดูแลรักษาหากมีความชื้นเพียงพอ ถั่วเขียวไม่ชอบน้ำขังการไถกลบเมื่อถั่วเขียวอายุได้ประมาณ 45 วันซึ่งเป็นช่วงดอกต้นมีความสมบูรณ์และมีธาตุอาหารสูงสุด ให้ทำการไถกลบ ในขณะที่ไถกลบ ดินควรมีความชื้น หรือเอาน้ำเข้านาเพื่อลดการสูญเสียน้ำในโตรเจน แล้วทิ้งไว้ประมาณ 5-7 วันก็ทำการปลูกหรือปักดำข้าวได้ การตรวจเอกสารสรรพคุณทางยาของเมล็ดถั่วเขียวพบข้อมูลน้อยมาก มีเพียงการบันทึกไว้ว่า เมล็ดถั่วเขียวมีเป็นตัวยารสมัน แก้อ่อนภายใน แก้อึดข้อ บำรุงเนื้อและกระดูก บำรุงกำลัง (กองการประกอบโรคศิลปะ, มปป.)

สะเดา (*Azadirachta indica*) มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามท้องถิ่นเช่น เคา กระเคา (ชื่อท้องถิ่นในภาคใต้) สะเลียม (ชื่อท้องถิ่นในภาคเหนือ) นอกจากนี้ยังมีชื่อสามัญทั่วไปว่า Neem แต่กลุ่มประเทศลาตินอเมริกาเรียกว่า Nim และ Margosa (โปรตุเกส) (Schmutterer, 1995) ส่วนสะเดาที่พบทั่วไปในประเทศไทย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Azadirachta indica* var. *Siamensis* Valetton หรือสะเดาไทย นอกจากนี้ยังพบสะเดาอีกชนิดหนึ่งซึ่งพบกระจายอยู่ทั่วไปในแถบภาคใต้ของไทยและแหลมมลายูในประเทศมาเลเซีย คือ เทียมสะเดาเทียม หรือสะเดาช้าง *Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs สะเดาเป็นไม้ยืนต้นวงศ์เดียวกับมะฮอกกานี (Family Meliaceae) ซึ่งเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดและแพร่กระจายอยู่ในเขตทวีปเอเชีย โดยเฉพาะบริเวณประเทศอินเดีย พม่า เรื่อยลงมาจนถึงไทยและมาเลเซีย นอกจากนี้ยังพบว่ามีการปลูกในเขตทวีปอื่นๆ เช่น อเมริกาใต้ อเมริกากลาง ออสเตรเลียตลอดจนแอฟริกาตะวันตกอีกด้วย ประโยชน์ของสะเดาเป็นที่รู้จักกันในหลายประการ เช่น ต้นสะเดานำมาปลูกที่อยู่อาศัย ทำยุง ข้าว ข้าวโพด และถั่วเขียว ใช้เป็น ฟืน และเผาถ่าน ใช้เป็นเครื่องเรือน ประดับตกแต่งบ้านให้สวยงาม สะเดาให้ความร่มรื่น เป็นที่อยู่อาศัยของนกชนิดต่างๆ เพราะลูกสะเดาเป็นอาหารนก ช่วยจับแมลงที่มาทำลายพืชผัก ใบอ่อนและช่อสะเดา ใช้ประกอบอาหารรับประทาน สรรพคุณทางยาของสะเดา ปรากฏในตำรายารักษาโรคแผนโบราณของชาวฮินดูหรือตำรายาอายุเวท (Ayurveda) ที่กล่าวถึงประสิทธิภาพของสารสกัดสะเดาในการบำบัดรักษาโรคของมนุษย์

มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเอาส่วนของใบและกิ่งมาผสมปรุงแต่งยาเพื่อบำบัดโรคชนิดต่างๆ ได้แก่ โรคทางผิวหนัง โรคผิวหนัง โรคเรื้อรัง โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจในเด็ก โรคพยาธิในลำไส้ โรครูมาตอยด์ ตลอดจนใช้เป็นยาระบายอาการท้องผูก ยาสีฟัน และยาเจริญอาหาร นอกจากนี้ส่วนของน้ำมันจากเมล็ดสะเดา ยังมีตำรับยาปรุงแต่งใช้เป็นยารักษาอาการโรคทางผิวหนังและป้องกันพยาธิหรือพาราสิตทางผิวหนังได้อีกด้วย นอกจากนี้ตำรับยาแผนโบราณอายุรเวทของฮินดูแล้ว ตำรับยาทางมุสลิมซึ่งเรียกว่า Unani Tibb ซึ่งมีลักษณะแบบแผนการรักษาคล้ายกับ Homeopathy ของเยอรมันได้กล่าวถึงคุณสมบัติของสะเดาในด้านการรักษาโรคมมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้รักษาโรคทางผิวหนัง โรคเรื้อน แผลพุพอง ผื่นคัน และรักษาผิวหนังของเปลือกกรากยังพบว่า เป็นยาฟอกเลือดได้อีกด้วย (Sharma, 1991; Ketkar and Ketkar, 1993) จากพื้นฐานข้อมูลแต่โบราณ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้นักวิทยาศาสตร์ นักเภสัชศาสตร์ในปัจจุบันพัฒนาตำรับหรือสูตรยาต่าง ๆ จากสะเดามากมายหลายชนิดดังจะเห็นได้จากรายละเอียดตัวอย่างผลิตภัณฑ์สะเดาในประเทศอินเดีย นอกจากนี้ในประเทศยุโรปหรืออเมริกาเองนักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับสูตรของผลิตภัณฑ์จากสะเดาเพื่อใช้ประโยชน์ด้านยารักษาโรคกันอย่างกว้างขวาง

กระเจี๊ยบแดง (Rosella, Red Sorrel, Jamaica Sorrel) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* (Family Malvaceae) ชื่อท้องถิ่น ภาคเหนือเรียก ผักกึ่งตั้ง ส้มกึ่งตั้ง เฌียว แม่ฮ่องสอนเรียก ส้มปู จังหวัดตากเรียก ส้มตะแลงแครง ภาคกลางเรียก กระเจี๊ยบ กระเจี๊ยบเปรี้ยว ทั่วไปเรียก กระเจี๊ยบแดง ลักษณะทั่วไป กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชสมุนไพรที่เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 3-6 ศอก ลำต้นและกิ่งก้านมีสีม่วงแดง ใบมีหลายแบบด้วยกัน ขอบใบเรียบ บางทีก็มีรอยหยักเว้า 3 หยัก สีของดอกเป็นสีชมพู ตรงกลางดอกมีสีเข้มมากกว่าขอบนอกของกลีบ กลีบดอกร่วงโรยไป กลีบรองดอกและกลีบเลี้ยงก็จะเจริญเติบโตขึ้นอีกเกิดเป็นสีม่วงแดงเข้มหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายในการปลูก ใช้เมล็ดปลูก ควรปลูกในหน้าฝน พรวนดินก่อนปลูก ขุดหลุมปลูกหลุมละ 2-3 เมล็ด ระยะห่างของหลุมประมาณ ½-1 เมตร พอต้นอ่อนงอกออกมาแล้ว ให้ถอนต้นที่อ่อนแอกว่าออกไปเอาต้นที่แข็งแรงไว้ รดน้ำ ใส่ปุ๋ย พรวนดิน กำจัดวัชพืชออกให้หมด กระเจี๊ยบจัดเป็นพืชสมุนไพรที่เป็นพืชเศรษฐกิจตามตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเภสัชกรรม (กองการประกอบโรคศิลปะ, มปป.) สรรพคุณทางยาของกระเจี๊ยบแดง ได้แก่ ใบ มีรสเปรี้ยว ใช้รับประทาน กัดเสมหะ ทำให้โลหิตไหลเวียนดี ช่วยย่อยอาหาร ขับปัสสาวะ ใช้ตำพอกฝีหรือตำชะบวดแผล **กลีบเลี้ยง** (ภาษาการค้าเรียก ดอกกระเจี๊ยบ) มีรสเปรี้ยวทำให้ชุ่มคอ ช่วยย่อยอาหาร หล่อลื่นลำไส้ นำกลีบเลี้ยงและกลีบรองมาตากแห้ง บดเป็นผงละเอียด ชงกับน้ำร้อนครั้งละ 1 ช้อนชา ดื่ม 3 เวลา เช้า กลางวันและเย็น แก้อาการขัดเบา เป็นยากัดเสมหะ นอกจากนี้ยังสามารถลดไขมันในเลือดได้อีกด้วย ขับปัสสาวะ ขับน้ำดี ลดไข้ แก้ไอ ขับนิ่วในไต นิ่วในกระเพาะปัสสาวะ แก้กะหายน้ำ ขับเมือกมันให้ลงสู่ทวารหนัก (กองการประกอบโรคศิลปะ, มปป.) **เมล็ด** รสเมา ขับเหงื่อ ลดไขมันในโลหิต บำรุงโลหิต บำรุงธาตุ ขับน้ำดี ขับปัสสาวะ แก้โรคทางเดินปัสสาวะอักเสบ เป็นยาระบาย กระตุ้นความรู้สึกทางเพศ

ผล รสจืด แก้อ่อนเพลีย บำรุงกำลัง บำรุงธาตุ ลดไขมันในโลหิต แก้กระหายน้ำ รักษาแผลในกระเพาะอาหาร (ยุพราชวิทยาลัย, 2549)

จากการตรวจค้นเอกสารสูตรตำรับของผลิตภัณฑ์สปาในต่างประเทศหลายตำรับ พบว่ามีการใช้วัสดุเกษตรเป็นวัสดุขัดผิวทดแทนสารอินทรีย์ประเภทเกลือ น้ำตาล ฯลฯ เช่น ใช้เปลือกแข็งของถั่ววอลนัท (Walnut husk) เมล็ดอัลมอนต์ เมล็ดข้าวโอ๊ต เมล็ดถั่วลิสง ฯลฯ (Putz and Niklas, 1990) ตลอดจนใช้พืชเมืองร้อนอีกหลายชนิดเช่น เมล็ดถั่ว (Anonymous (a), (b), 2006) เมล็ดทานตะวัน (Cox, 2002) ดอกกระเจี๊ยบ (Anonymous (c), 2006) นอกจากนี้ยังมีการใช้สารสกัดจากพืช น้ำมันหอมระเหย (พิมพ์, 2547) เพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น การใช้สารสกัดจากพืช เพื่อการชำระล้าง (Cleanser) เช่น ชิกวีด (Chick weed) โซฟเวิร์ด (Soap wort) ยุกคา (Yucca) การใช้สารสกัดจากพืชเพื่อดำเนินการอักเสบ (Anti inflammatory) เช่น คาโมไมล์ (Chamomile) แป๊ะก๊วย (Ginkgo) ฯลฯ การใช้น้ำมันหอมระเหยเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Antiseptic) เช่น ลาเวนเดอร์ (Lavender) เบอร์กามอท (Bergamot) เฟินเนล (Fennel) ทีทรี (Tea tree) ฯลฯ (Hopkins, 1996) ตลอดจนยังมีการใช้พืชสมุนไพรในตำรับยาอายุรเวทเพื่อใช้เป็นวัสดุขัดผิวและเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นสารสมุนไพรอีกด้วย พืชที่นิยมใช้กันมาก เช่น เหง้าขมิ้น ใบสะเดา (Zeringe and Bhanthnagar, 1994; Anonymous (d), 2006) อย่างไรก็ตามการนำมาประยุกต์ใช้ ในส่วนผสมผลิตภัณฑ์สปาในประเทศไทย พบรายงานการใช้ในสูตรตำรับน้อยมาก ส่วนใหญ่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในสถานบริการสปา ทั่วไป ตลอดจนสูตรตำรับที่ทำเอง (Home-made products) สถานภาพข้อมูลการวิจัยในปัจจุบันจึงยังขาดการศึกษาและข้อมูลสนับสนุนที่ชัดเจนอีกหลายด้านทั้งด้านการผลิตวัตถุดิบ ด้านการแปรรูปวัตถุดิบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์สปา ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ไม่สามารถพัฒนาระดับคุณภาพสินค้าเกษตรให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดได้ ดังนั้นการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศโดยใช้ฐานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรมเพื่อส่งเสริมการต่อยอดภูมิปัญญา และความเป็นไทยที่สอดคล้องกับ ความต้องการของสาขาการผลิตและบริการที่มีศักยภาพ เช่น บริการสปาจะช่วยพัฒนาคุณภาพและเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้าเกษตร รวมทั้งการพัฒนาตามทิศทางที่กล่าวมานี้ยังสามารถสร้างตราสัญลักษณ์สินค้าเกษตรไทยได้อีกทางหนึ่งด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเขียว
2. ใบสะเดา
3. ดอกกระเจี๊ยบ
4. เกลือปรงทิพย์
5. เครื่องบดแตก (Beater mill) ยี่ห้อ RETSCH รุ่น SK100
6. เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (Roller mill) ยี่ห้อ BARBENDER รุ่น Laboratory Mill
SEDIMAT
7. เครื่องบดแบบ โม่หิน (Stone mill) ยี่ห้อ SAMAP รุ่น F100
8. เครื่องปั่นผสม (Blender) ยี่ห้อ WARING รุ่น 8010
9. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น CP3202S
10. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น BP301S พร้อมชุดอุปกรณ์หาความ
หนาแน่น
11. เครื่องวัดสีและความแตกต่างของสี ยี่ห้อ JUKI รุ่น JC801
12. ชุดตะแกรงร่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 mm (8 in.) โดยมีขนาดรูเปิด 2.36, 1.70,
1.18, 0.850, 0.600, 0.425, 0.300, 0.212, 0.150, 0.106, 0.075 และ 0.053 มิลลิเมตร
13. เครื่องเขย่า (Sieve shaker) ยี่ห้อ ENDECOTTS รุ่น OCTAGON DIGITAL
14. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ BINDER
15. เวอร์เนียคาลิเปอร์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 เครื่องมือบดลดขนาดที่ใช้ (ก) เครื่องบดแตก (Beater mill) (ข) เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (Roller mill) (ค) เครื่องบดแบบไม่หิน (Stone mill) (ง) เครื่องปั่นผสม (Blender)

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 เมล็ดถั่วเขียวและดอกกระเจี๊ยบ

ใช้เมล็ดถั่วเขียวและดอกกระเจี๊ยบแห้งที่วางจำหน่ายในท้องตลาด มาอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อนเพื่อไล่ความชื้นที่ผิว ก่อนนำไปบด สำหรับดอกกระเจี๊ยบจำเป็นต้องบดให้แตกหรือตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องบด เนื่องจากมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ไม่สามารถป้อนเข้าเครื่องได้โดยตรง

1.2 ใบสะเดา

ใบสะเดาสดที่เก็บมาทั้งก้าน จะนำมา รูดก้านและใบอ่อนที่ปลายยอดออกทิ้ง จากนั้นนำไปที่เหลือไปบดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง (สังเกตเมื่อเอามือขยี้จะแตกร่วนได้ง่าย) ก่อนนำไปบด

2. การหาขนาดก่อนบด

ทำการสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบแต่ละชนิดจำนวนอย่างน้อย 20 ตัวอย่าง มาวัดขนาดใน 3 มิติคือ กว้าง ยาว และหนา โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. การหาน้ำหนัก และความหนาแน่น

วัตถุดิบจะถูกสุ่มออกมา เพื่อหาน้ำหนักและความหนาแน่น โดยทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมไปกับการหาความหนาแน่น โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์หาความหนาแน่น ซึ่งความหนาแน่นนั้นหาได้โดยอาศัยหลักการวัดแรงลอยตัวที่เกิดขึ้น แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรของชิ้นตัวอย่างวัตถุดิบก่อน จึงนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของวัตถุดิบ ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดแรงลอยตัวของวัตถุดิบที่เกิดขึ้นในน้ำ แล้วนำค่าแรงลอยตัวที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาตร และความหนาแน่นของวัตถุดิบตามลำดับ ผลที่ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. การวัดค่าสี

ตัวอย่างวัตถุดิบก่อนบด และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่บดได้ จะถูกนำมาวัดค่าสี ในระบบ CIELab (L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่องวัดสีและความแตกต่างของสี ตัวอย่างที่นำมาวัด จะถูกบรรจุลงในตลับแก้วจนเต็ม แล้ววัดค่าการสะท้อนของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน Illuminant C ที่ตกกระทบตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในตลับแก้วด้วยมุม 2° Observer

5. การบดลดขนาด

วัตถุประสงค์จะถูกบดลดขนาดด้วยเครื่องมือลดขนาด 4 แบบ ได้แก่ เครื่องบดแตก เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง เครื่องบดแบบ โม่หิน และเครื่องปั่นผสม ที่สภาวะต่างๆ รวมทั้งสิ้น 6 การทดลอง โดยที่

- การทดลองที่ 1 บดด้วยเครื่องบดแตก ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก
- การทดลองที่ 2 บดด้วยเครื่องบดแตก ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก
- การทดลองที่ 3 บดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง
- การทดลองที่ 4 บดด้วยเครื่องบดแบบ โม่หิน ที่ระดับการบดหยาบ
- การทดลองที่ 5 บดด้วยเครื่องบดแบบ โม่หิน ที่ระดับการบดละเอียด
- การทดลองที่ 6 บดด้วยเครื่องปั่นผสม

6. การวิเคราะห์ขนาดด้วยชุดตะแกรงร่อน

ผลิตภัณฑ์ที่บดได้ในแต่ละซ้ำของการทดลอง จะถูกนำมาวิเคราะห์หาความละเอียด (Fineness) และการกระจายขนาด (Size distribution) ตามมาตรฐาน ANSI/ASAE S319.3 JUL97 โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ใส่ในตะแกรงร่อนชั้นบนสุดของชุดตะแกรงร่อน เขย่าในเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 นาที บันทึกน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงร่อนแต่ละชั้น คิดเทียบเป็นร้อยละ แสดงข้อมูลการกระจายขนาด และการกระจายขนาดสะสมในรูปของกราฟ และคำนวณหาความละเอียดหรือขนาดของอนุภาคในทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต (Geometric mean diameter, d_{gw}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (Geometric standard deviation, S_{gw}) โดยน้ำหนัก ดังสมการต่อไปนี้

$$d_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \log \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (1)$$

$$S_{\log} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i (\log \bar{d}_i - \log d_{gw})^2}{\sum_{i=1}^n W_i} \right]^{1/2} = \frac{S_{ln}}{2.3} \quad (2)$$

$$S_{gw} \approx \frac{1}{2} d_{gw} [\log^{-1} S_{\log} - (\log^{-1} S_{\log})^{-1}] \quad (3)$$

โดยที่ W_i = สัดส่วนของน้ำหนักที่อยู่บนตะแกรงร่อนที่ i

\bar{d}_i = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคบนตะแกรงร่อนที่ i , $(d_i d_{i+1})^{1/2}$

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ

วัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เมล็ดถั่วเขียว ใบสะเดา และดอกกระเจี๊ยบ ถูกนำมาหาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา น้ำหนักเมล็ด (หรือดอก หรือใบ) ความหนาแน่น และสี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด

Physical properties	Mungbean	Neem leaves ⁽¹⁾	Rosella
Dimensions			
Width (mm)	3.94±0.20	45.93±4.51	22.27±2.52
Length (mm)	5.51±0.66	109.08±10.70	30.75±2.19
Thickness (mm)	4.04±0.24	0.25±0.02	18.78±4.91
Geometric mean size (mm)	4.43±0.23	10.78±0.82	23.31±1.87
Weight (g)	0.0723±0.0132	0.5376±0.1588	0.9510±0.2523
Density (g/cm ³)	1.3383±0.1111	0.9595±0.0248	0.8174±0.1446
Color			
L*	41.37±0.34	34.41±0.53	27.69±1.66
a*	-7.27±0.31	-13.40±0.46	0.19±1.01
b*	22.12±1.73	11.41±0.65	6.71±1.47

(1) Fresh leaves

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ถั่วเขียวมีลักษณะเป็นเมล็ดค่อนข้างกลม สะเดาใช้ส่วนของใบย่อยที่มีลักษณะแบนบาง ส่วนกระเจี๊ยบแดงใช้ส่วนของดอกแห้งมีรูปทรงไม่แน่นอนและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในการวัดขนาดจะทำการวัดความยาวใน 3 แกนที่ตั้งฉากกัน แล้วนำมาคำนวณหาขนาดเป็นขนาดเฉลี่ยเรขาคณิต ส่วนค่าสีทำการวัดในระบบ CIELab โดยค่า L* แสดงถึงความสว่างของสี ค่า a* แสดงความเป็นสีเขียวสีแดง ค่าเป็นบวก หมายถึงมีสีแดง ค่าเป็นลบ หมายถึงมีสีเขียว และค่า b* แสดงความเป็นสีเหลืองสีน้ำเงิน ค่าเป็นบวก หมายถึงมีสีน้ำเงิน ค่าเป็นลบ หมายถึงสีเหลือง สีของวัตถุดิบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือสีเขียวจากเมล็ดถั่วเขียวและใบสะเดา และสีแดง

จากดอกกระเจี๊ยบแดง จากลักษณะดังกล่าวทำให้วัตถุดิบแต่ละชนิด จะมีการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรสภาพด้วยการบดที่แตกต่างกันออกไป ถั่วเขียวหลังจากการเก็บเกี่ยว เมล็ดที่ได้จากการนวดให้หลุดจากฝัก นำมาผ่านการลดความชื้นเพื่อการเก็บรักษา เมื่อจะนำมาใช้ก็เพียงอบไล่ความชื้นที่ผิวก่อนบดเท่านั้น โดยไม่ต้องกะเทาะเปลือก เพราะต้องการผงสีเขียวของเปลือกด้วย สำหรับใบสะเดา มีลักษณะเป็นใบประกอบ เราจะใช้ใบย่อยโดยไม่ใช้ก้าน ล้างทำความสะอาด และนำมาตากแดดหรืออบจนแห้ง กรอบร่วน จึงนำไปบดให้ได้ขนาดที่ต้องการ ส่วนดอกกระเจี๊ยบที่ทำการเก็บเกี่ยวมา แท้จริงแล้วเป็นส่วนของกลีบเลี้ยงที่มีลักษณะอวบน้ำสีแดงเข้มถึงม่วง จะต้องล้างทำความสะอาด แหว่งไส้ และนำไปอบหรือตากแดดจนแห้ง ดอกที่แห้งแล้วจะมีสีที่ไม่สดใสเหมือนดอกสด แต่สารสีม่วงแดงหรือแอนโทไซยานินยังคงมีอยู่ภายใน ขนาดก็จะหดเล็กลงจากเดิม เนื่องจากสูญเสียน้ำออกไป มีรูปทรงที่ไม่แน่นอน ในการบดต้องทำการลดขนาด 2 ขั้นตอน เนื่องจากดอกกระเจี๊ยบมีขนาดใหญ่ จำเป็นต้องลดขนาดแบบหยาบโดยการหั่น ตัด สับ มาชิ้นหนึ่งก่อน จะนำไปบดให้ได้ขนาดที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง

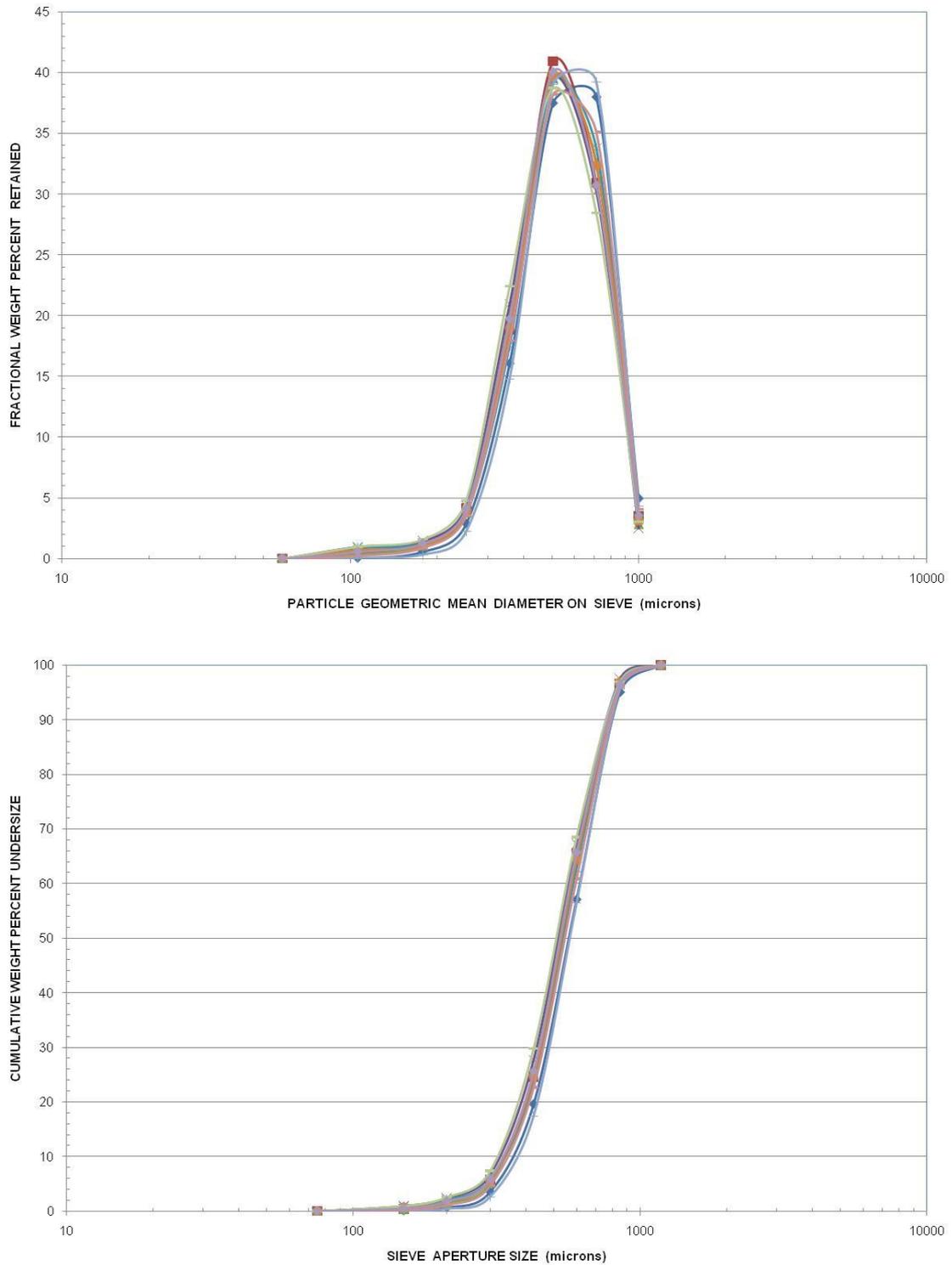
2. ชนิดของเครื่องมือลดขนาดที่มีผลต่อขนาดของผลิตภัณฑ์

ในการทดลองขนาดวัสดุเกษตรเพื่อนำไปทำเป็นวัสดุขัดผิวในผลิตภัณฑ์สปา ได้ทำการทดสอบลดขนาดด้วยเครื่องมือลดขนาด 4 แบบ ได้แก่ เครื่องบดแตก เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง เครื่องบดแบบโมหิน และเครื่องปั่นผสม เครื่องมือทั้ง 4 แบบ มีหลักการในการลดขนาดที่แตกต่างกัน เครื่องบดแตกใช้หลักการตีกระแทก (Impact) เครื่องบดแบบลูกกลิ้งใช้หลักการบีบแตก (Compression) เครื่องบดแบบโมหินใช้หลักการขัดสี (Attrition) และเครื่องปั่นผสมใช้หลักการหั่นสับ (Cutting) (รุ่งนภา, 2551; McCabe and Smith, 1956) ด้วยหลักการที่แตกต่างกันนี้ จึงได้ถูกนำมาทดสอบว่า เครื่องมือแบบใดที่จะให้ขนาดความละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการทำวัสดุขัดผิวในผลิตภัณฑ์สปามากที่สุด และเนื่องจากต้องผสมกับเกลือในสูตรตำรับ จึงตั้งสมมุติฐานว่าผลิตภัณฑ์ควรมีขนาดและการกระจายขนาดใกล้เคียงกับเกลือ อันจะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการลดขนาดที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับเครื่องบดแตกนั้น ขนาดของช่องทางออกจากห้องบดมีผลต่อขนาดของอนุภาคที่บดได้ ดังนั้นจึงมีการทดสอบที่ 2 สภาวะคือใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 และตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก โดยตะแกรงเบอร์ 3.0 มีรูขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 1.0 เครื่องบดแบบโมหินก็มีการทดสอบ 2 สภาวะเช่นกันคือบดหยาบ และบดละเอียด โดยการตั้งระยะห่างระหว่างจานไม้ทั้งสอง ซึ่งการบดหยาบจะมีระยะห่างมากกว่าการบดละเอียดประมาณ 170 ไมครอน

การทำวัสดุขัดผิวในผลิตภัณฑ์สปาสำหรับชุดโครงการวิจัยนี้ ได้ใช้เกลือปรงทิพย์เป็นส่วนประกอบหลักที่จะนำไปผสมกับวัสดุเกษตรชนิดต่างๆ จึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาขนาดความละเอียดของเกลือปรงทิพย์โดยการร่อนวิเคราะห์ขนาดเช่นเดียวกับวัสดุเกษตรที่บดได้ ข้อมูลการร่อนแยกขนาด และการคำนวณ

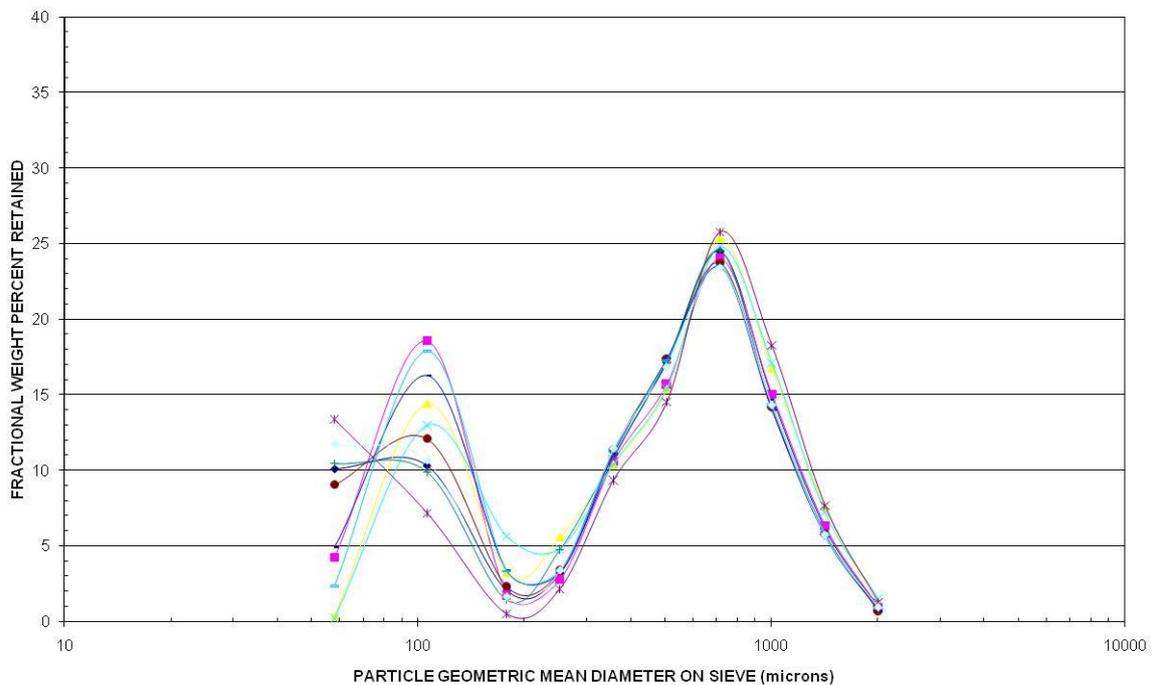
เพื่อดูการกระจายขนาด และหาขนาดเฉลี่ยของเกลือได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก โดยพบว่าเกลือปรงทิพย์มีขนาดเฉลี่ย ($d_{gw} \pm S_{gw}$) เท่ากับ 520 ± 183 ไมครอน มีการกระจายขนาดที่แคบและสมมาตร โดยเกลือปริมาณร้อยละ 80 สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 710 ไมครอนได้ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟการกระจายขนาดและขนาดสะสมของเกลือปรงทิพย์

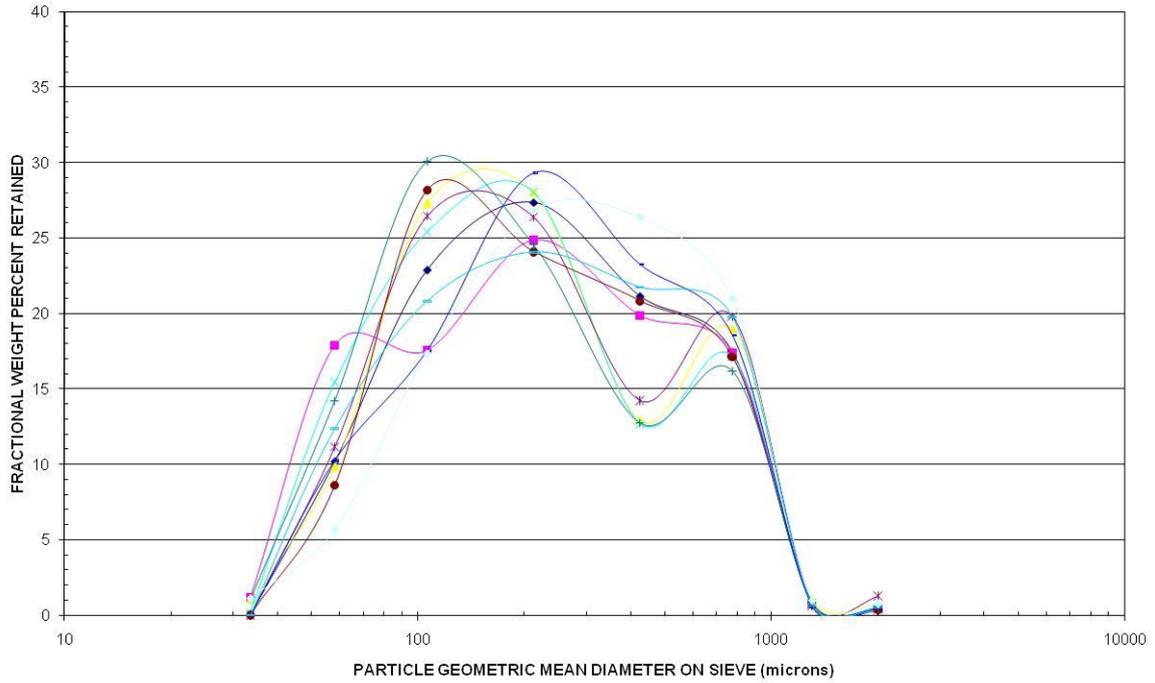
2.1 เมล็ดถั่วเขียว

ในการบดเราต้องการได้อนุภาคที่มีขนาดเท่า ๆ กัน แต่ไม่มีเครื่องมือใด ๆ ที่สามารถบดให้มีขนาดอนุภาคที่เท่ากันทั้งหมดได้ (Indira and Bhattacharya, 2006) ดังนั้นจึงต้องการการกระจายขนาดที่น้อยที่สุดแทน เมื่อพิจารณารูปการกระจายขนาดของถั่วเขียวที่บดได้จากเครื่องมือทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 3-8 จะเห็นได้ว่าการบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง และแบบโมหิน (ภาพที่ 5-7) จะให้การกระจายขนาดในช่วงแคบ เกิดเป็นพีกที่แคบและสูง อันแสดงถึงการมีอนุภาคขนาดใดขนาดหนึ่งเป็นหลัก โดยมีจำนวนมากกว่าขนาดอื่นๆ ที่มีขนาดเล็กและใหญ่กว่า จำนวนมาก อนุภาคส่วนใหญ่นี้มีประมาณเฉลี่ยร้อยละ 30-35 ส่วนการบดด้วยเครื่องบดแตก กราฟการกระจายขนาดที่ได้เกิดพีกที่กว้างและเตี้ยกว่า โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 25-30 (ภาพที่ 3-4) ส่วนการบดด้วยเครื่องปั่นผสม กราฟการกระจายขนาดที่ได้เกิดพีกที่กว้างและเตี้ยที่สุด โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีปริมาณเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 20 (ภาพที่ 8)

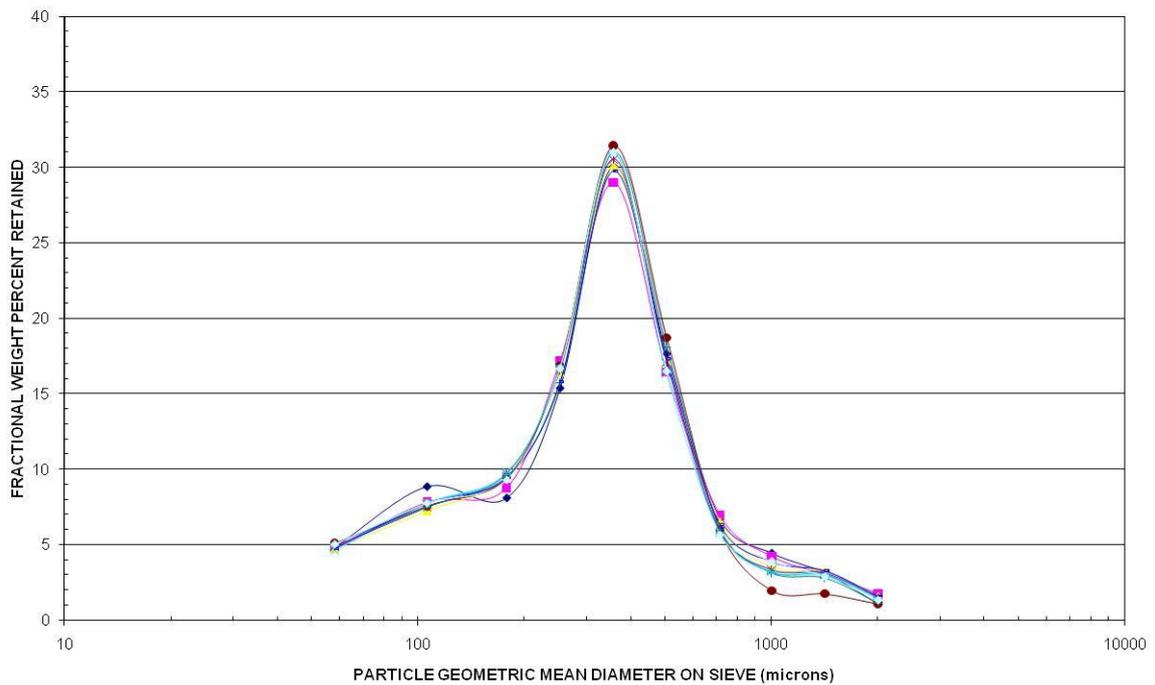


ภาพที่ 3 กราฟการกระจายขนาดของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก

อนุภาคส่วนใหญ่ที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก มีขนาดราว 700 ไมครอน โดยมีอยู่ประมาณร้อยละ 25 ส่วนสภาวะที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก มีขนาดราว 250 ไมครอน โดยมีอยู่ประมาณร้อยละ 30

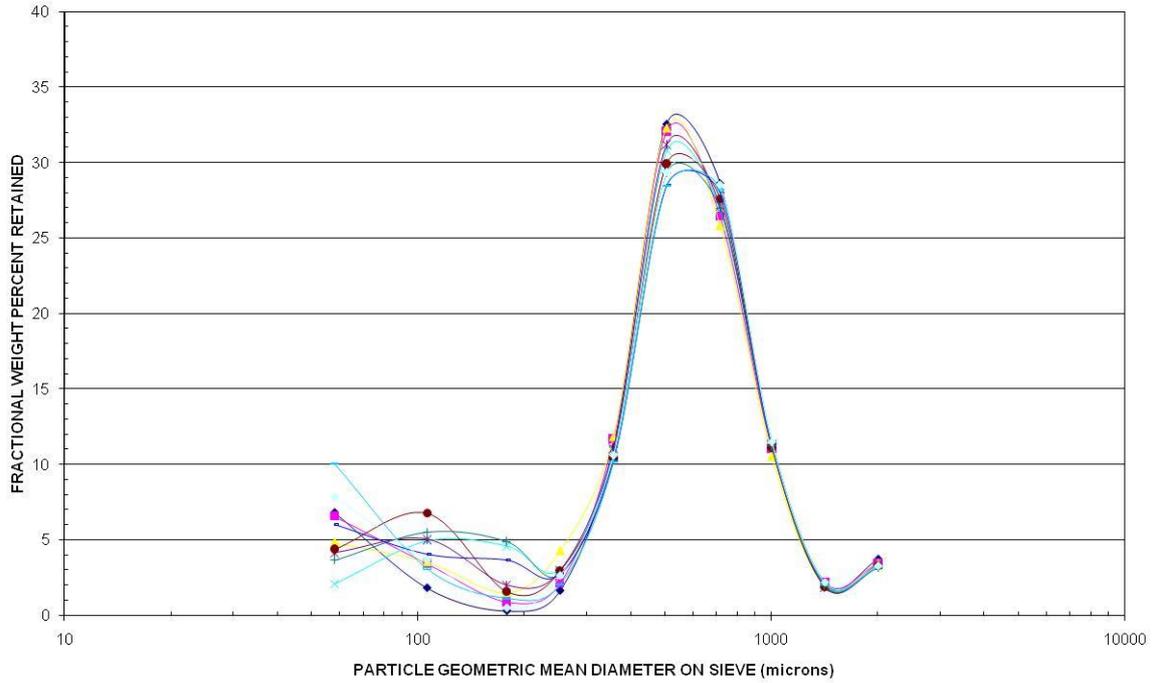


ภาพที่ 4 กราฟการกระจายขนาดของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก

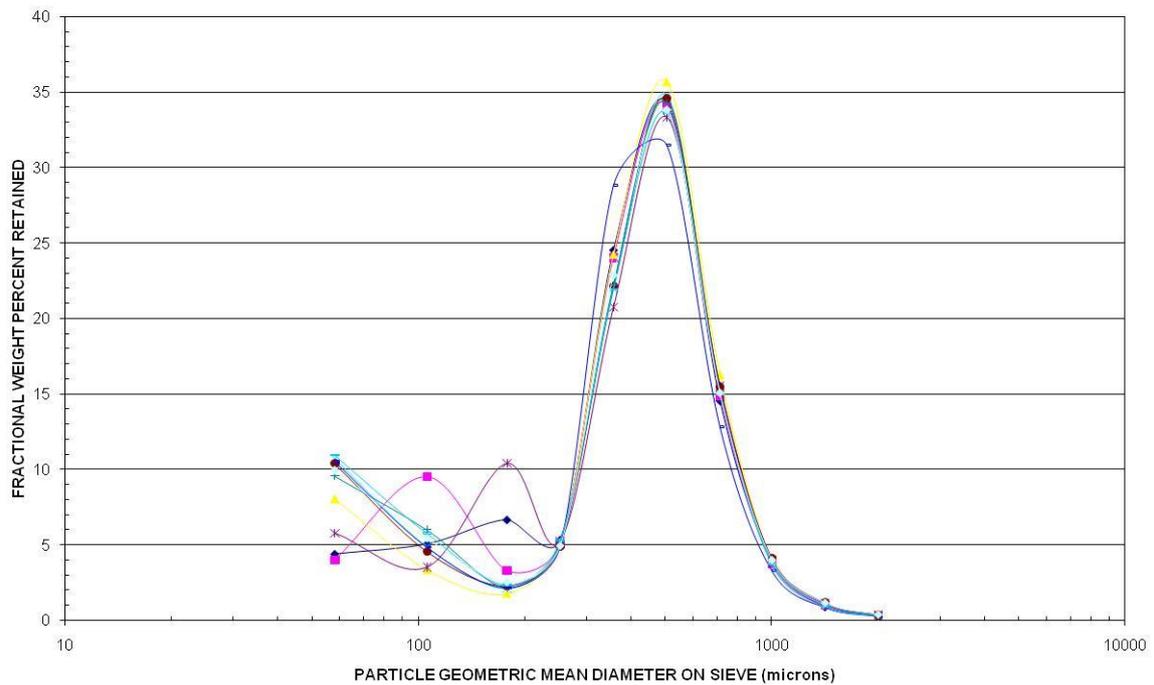


ภาพที่ 5 กราฟการกระจายขนาดของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง

จากภาพที่ 5 อนุภาคส่วนใหญ่นี้ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง มีขนาดราว 350 ไมครอน โดยมีอยู่ประมาณร้อยละ 30

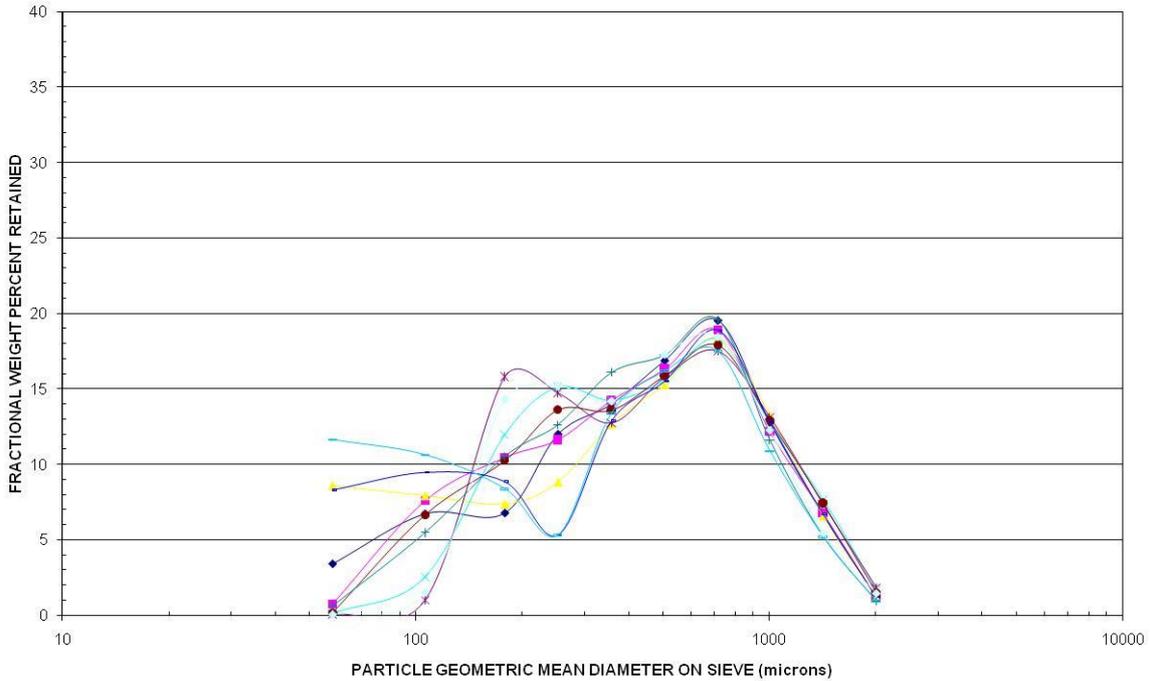


ภาพที่ 6 กราฟการกระจายขนาดของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดหยาบ



ภาพที่ 7 กราฟการกระจายขนาดของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด

ส่วนการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หิน อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดราว 500 ไมครอน โดยมีอยู่ประมาณ ร้อยละ 30 ที่ระดับการบดหยาบ และร้อยละ 35 ที่ระดับการบดละเอียด



ภาพที่ 8 กราฟการกระจายขนาดของเมล็ดถั่วเขียวที่ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม

การลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดราว 700 ไมครอน เช่นเดียวกับการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก แต่มีปริมาณน้อยกว่า คือประมาณร้อยละ 18

ดังนั้นหากพิจารณาขนาดจากอนุภาคส่วนใหญ่ที่บดได้ จะพบว่า การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด ถัดขึ้นมาคืออนุภาคที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง ส่วนการบดที่ให้ขนาดอนุภาคที่โตที่สุดคือ เครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก และเครื่องปั่นผสม ในขณะที่การบดด้วยเครื่องบดแบบโมหินให้ขนาดอยู่ระหว่างกลาง และใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคส่วนใหญ่ของเกลือ

แต่หากพิจารณาในภาพรวมของอนุภาคทั้งหมดที่บดได้ โดยคิดเป็นขนาดเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก (d_{gw}) จะได้ผลเป็นดังตารางที่ 2 ซึ่งจะแบ่งขนาดอนุภาคที่บดได้ออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก ถัดขึ้นมาคืออนุภาคที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง และเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดละเอียด ตามลำดับ การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก และเครื่องปั่นผสมให้ขนาดในกลุ่มเดียวกัน ส่วนการบดด้วยเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดหยาบให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และใกล้เคียงกับขนาดเฉลี่ยของเกลือมากที่สุด

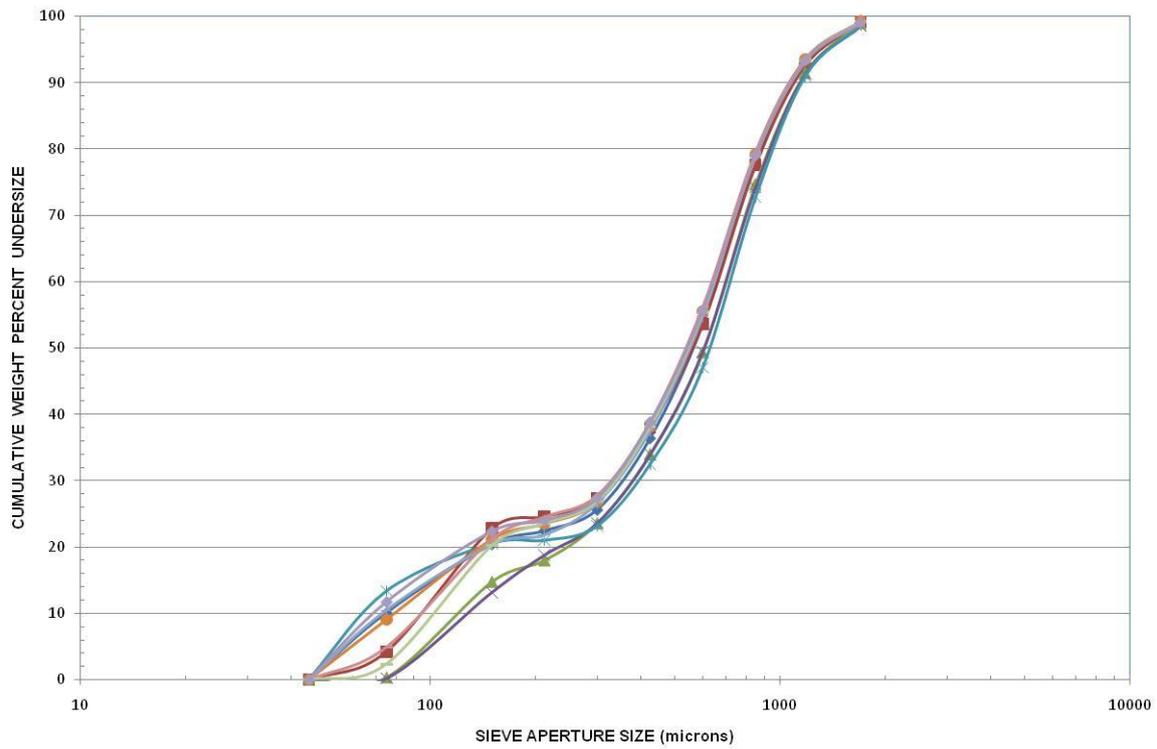
ตารางที่ 2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเมล็ดถั่วเขียวที่บดได้

Type of Size Reduction Equipment	d_{gw} (microns)	S_{gw} (microns)
Beater Mill		
Screen no. 3.0	428d	447f
Screen no. 1.0	231a	228a
Roller Mill	322b	251b
Stone Mill		
Coarse	492e	412e
Fine	365c	299c
Blender	429d	368d

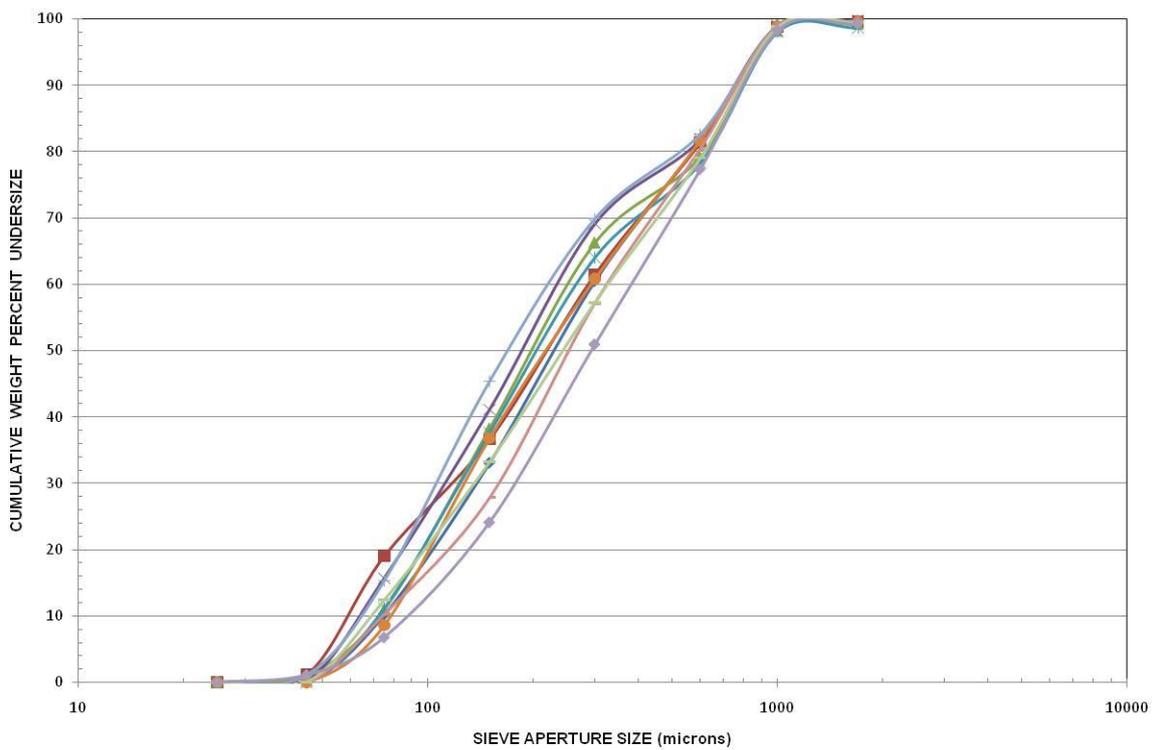
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในทางปฏิบัติเรามักนำอนุภาคที่ผ่านการบด มาร่อนแยกขนาดอีกครั้งก่อนนำไปใช้งาน โดยมักจะพบว่าควรมีขนาดไม่เกินกี่ไมครอน ซึ่งต้องพิจารณาจาก การกระจายขนาดสะสมของขนาดที่เล็กกว่า (Undersize) ดังกราฟในภาพที่ 9-14

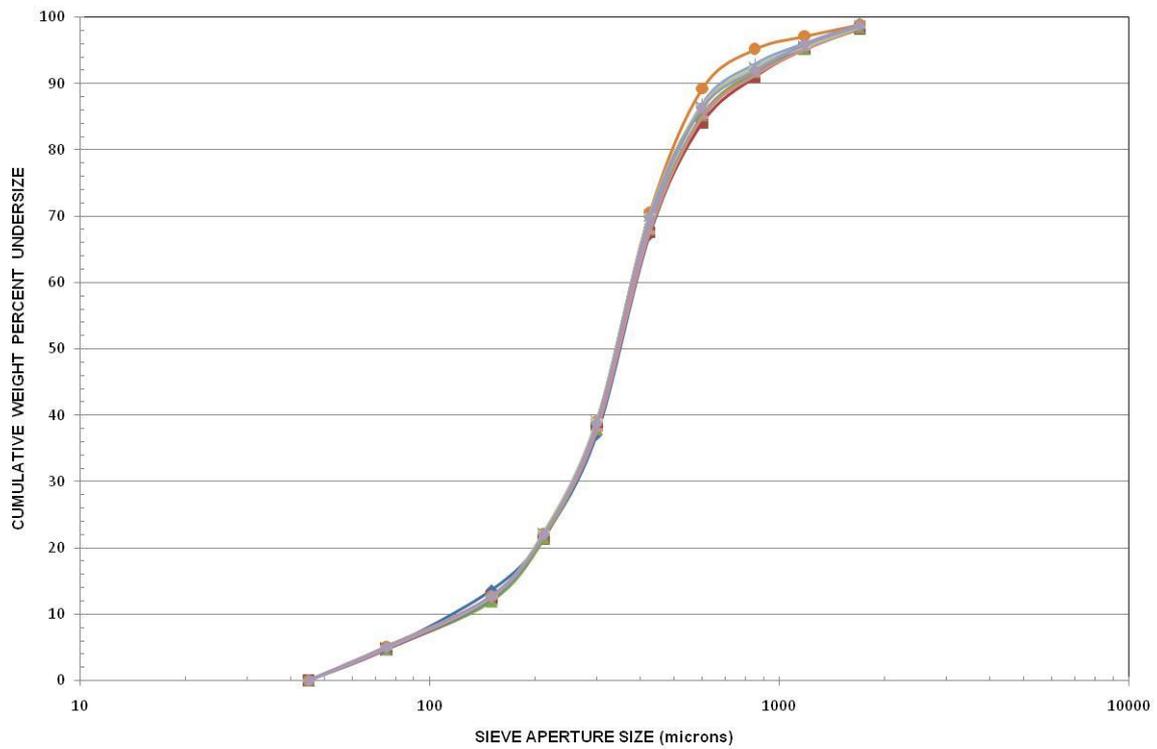
เมื่อนำกราฟการกระจายขนาดสะสมของอนุภาคเมล็ดถั่วเขียว ที่บดด้วยเครื่องมือบดลดขนาดแบบต่างๆ ไปเปรียบเทียบกับกราฟการกระจายขนาดสะสมของเกลือ จะพบว่าอนุภาคของเกลือมากกว่าร้อยละ 95 มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน ในขณะที่อนุภาคของเมล็ดถั่วเขียวที่บดได้ที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนที่มีจำนวนมากที่สุด คือร้อยละ 95 ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบโม่หินที่ระดับการบดละเอียด รองลงมาคือ อนุภาคที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก มีอยู่ร้อยละ 93 และบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง มีอยู่ร้อยละ 92 การบดเมล็ดถั่วเขียวด้วยเครื่องบดแบบโม่หินที่ระดับการบดหยาบ มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนอยู่ร้อยละ 83 การลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนอยู่ร้อยละ 80 ส่วนการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก มีขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนอยู่น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 77



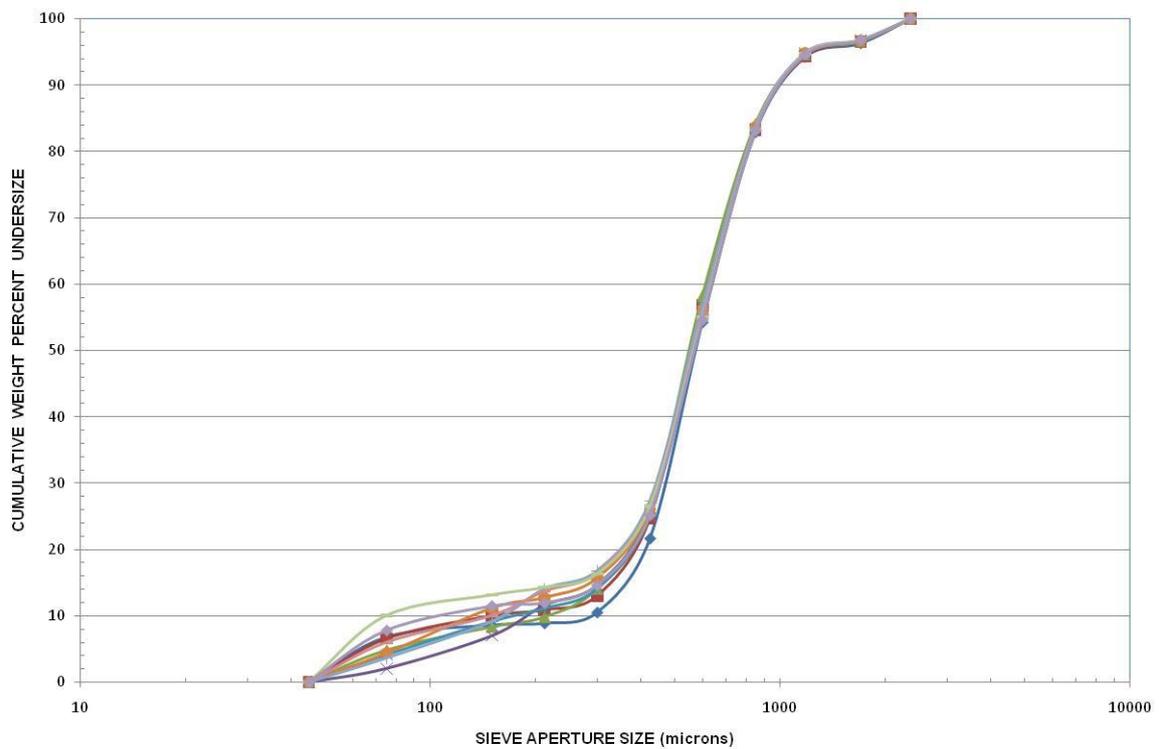
ภาพที่ 9 กราฟการกระจายขนาดผสมของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแตก
ที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก



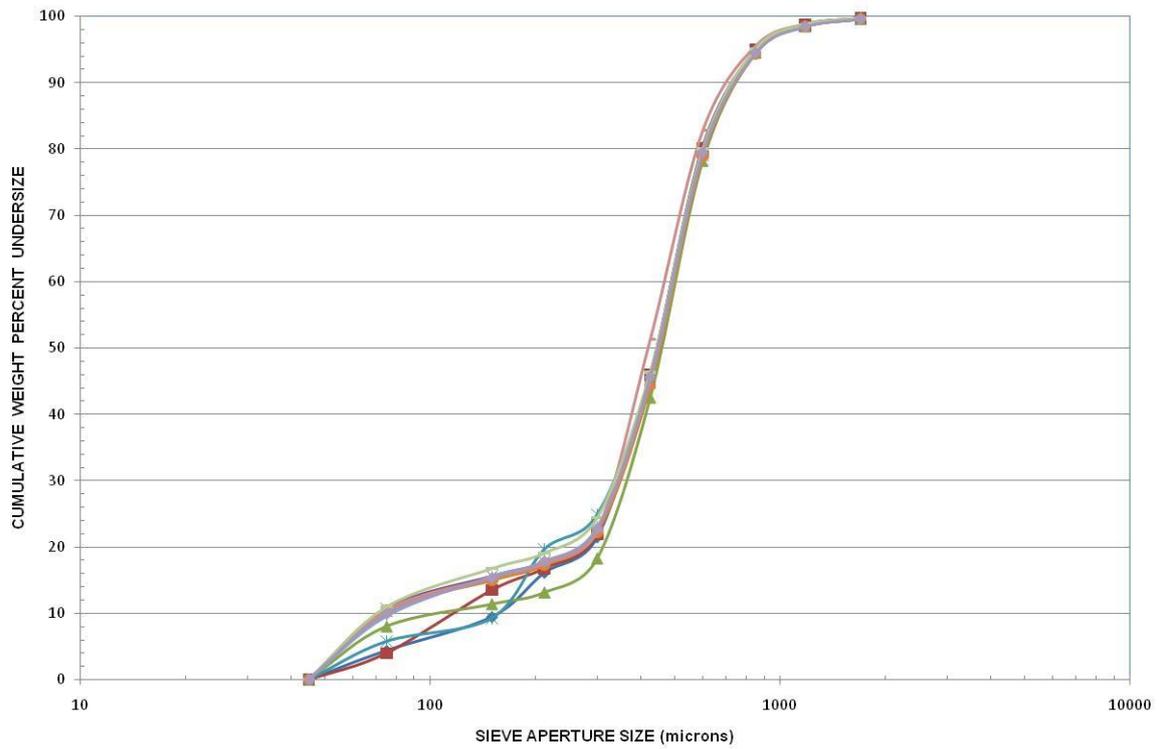
ภาพที่ 10 กราฟการกระจายขนาดผสมของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแตก
ที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก



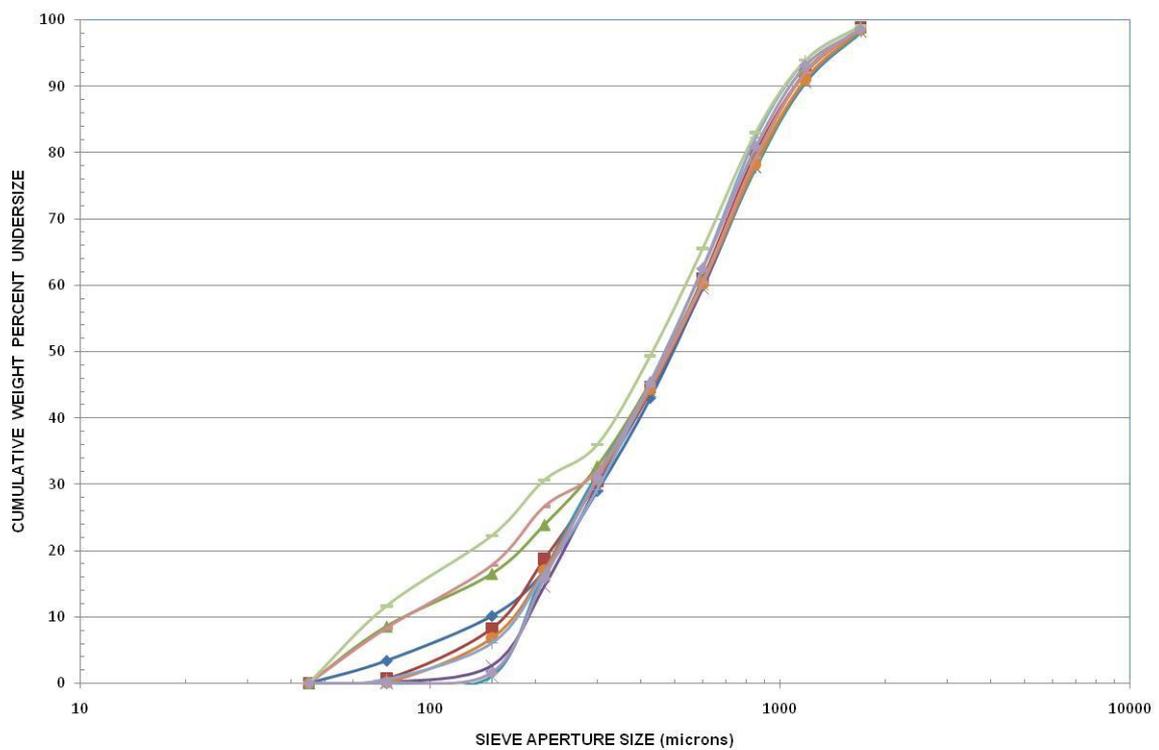
ภาพที่ 11 กราฟการกระจายขนาดสะสมของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง



ภาพที่ 12 กราฟการกระจายขนาดสะสมของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดหยาบ



ภาพที่ 13 กราฟการกระจายขนาดสะสมของเมล็ดถั่วเขียวที่บดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดละเอียด



ภาพที่ 14 กราฟการกระจายขนาดสะสมของเมล็ดถั่วเขียวที่ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม

ในการทดสอบนำอนุภาคที่บดได้ไปเข้าสู่ตัวรับ พบว่าอนุภาคจะเกิดการพองตัวขึ้น ในขณะที่เกลือเกิดการละลายมีขนาดเล็กลง ดังนั้นจึงอาจต้องพิจารณาเลือกใช้อุณหภูมิที่มีขนาดเล็กกว่าที่ตั้งสมมุติฐานไว้ จึงทำการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของน้ำที่สะสมของอนุภาคที่บดได้จากเครื่องมือบดลดขนาดแบบต่างๆ ที่มีขนาดเล็กกว่า 600, 425 และ 300 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณร้อยละของน้ำที่สะสมของอนุภาคเมล็ดถั่วเขียวที่บดได้ขนาดต่างๆ

Type of Size Reduction Equipment	Cumulative Weight Percent Undersize		
	600 microns	425 microns	300 microns
Beater Mill			
Screen no. 3.0	53.06	36.65	25.89
Screen no. 1.0	80.33	72.44	61.76
Roller Mill	86.07	68.89	38.38
Stone Mill			
Coarse	55.96	25.50	14.63
Fine	79.78	45.78	22.42
Blender	61.25	45.04	31.24

โดยพบว่าอนุภาคที่บดได้ที่มีขนาดเล็กกว่า 600 ไมครอน จะได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้งมากที่สุด คือ ร้อยละ 86 รองลงมาคือการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก และการบดด้วยเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดละเอียด มีอยู่ร้อยละ 80 ส่วนเครื่องอื่นๆ ให้ปริมาณค่อนข้างน้อย ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

เครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก และเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง สามารถบดได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอน ในจำนวนมากกว่าเครื่องมือแบบอื่นๆ คือ ได้ร้อยละ 72 และ 69 ตามลำดับ แต่หากว่าต้องการขนาดที่เล็กกว่า 300 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก น่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เพราะให้ปริมาณสูงที่สุด (ร้อยละ 62)

นอกจากนี้แล้วการเลือกใช้อุณหภูมิในช่วงขนาดใดขนาดหนึ่ง เช่น ขนาดอนุภาคที่อยู่ระหว่าง 425-600 ไมครอนจะมีปริมาณสูงสุดจากการบดด้วยเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดละเอียด รองลงมาคือเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดหยาบ โดยมีอยู่ร้อยละ 34 และ 30 ตามลำดับ ส่วนขนาดอนุภาคที่อยู่ระหว่าง 300-425 ไมครอนจะมีปริมาณสูงสุดจากการบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง รองลงมาคือ เครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดละเอียด โดยมีอยู่ร้อยละ 31 และ 23 ตามลำดับ

สำหรับค่าสีของอนุภาคเมล็ดข้าวที่บดได้นั้น จะแตกต่างจากสีของวัตถุดิบ เนื่องจากเมล็ดข้าว
 ข้าวซึ่งมีเปลือกสีเขียวเข้มจนถึงคล้ำ แต่มีเนื้อในเป็นสีเหลืองอ่อน การบดจึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสีต่าง
 จากเดิมมาก โดยปรากฏสีของเนื้อในเมล็ดเป็นหลัก สีของเปลือกเมล็ดเป็นรอง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผงสี
 เหลืองอ่อน แชนด้วยผงสีเขียว โดยมีค่าสี $L^* = 79.78 \pm 4.47$ $a^* = -2.62 \pm 1.05$ และ $b^* = 21.04 \pm 3.74$

2.2 ไบสะเดา

ไบสะเดาที่ผ่านการอบแห้งจนกรอบแตกร่วน จะนำมาทดสอบบดลดขนาดด้วยเครื่องบดลดขนาด 3
 ชนิด ได้แก่ เครื่องบดแตก เครื่องบดแบบโมหิน และเครื่องปั่นผสม ที่สภาวะต่างๆ รวม 5 การทดลองๆ ละ 5
 ซ้ำ โดยข้อมูลการร่อนแยกขนาด และการคำนวณเพื่อดูการกระจายขนาดและหาขนาดเฉลี่ยของแต่ละการ
 ทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค เมื่อนำข้อมูลขนาดอนุภาคเฉลี่ยทางเรขาคณิตของไบสะเดาแห้งที่บดได้
 จากทั้ง 5 การทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดความละเอียดของไบ
 สะเดาที่บดได้จากแต่ละการทดลอง พบว่าเป็นดังตารางที่ 4

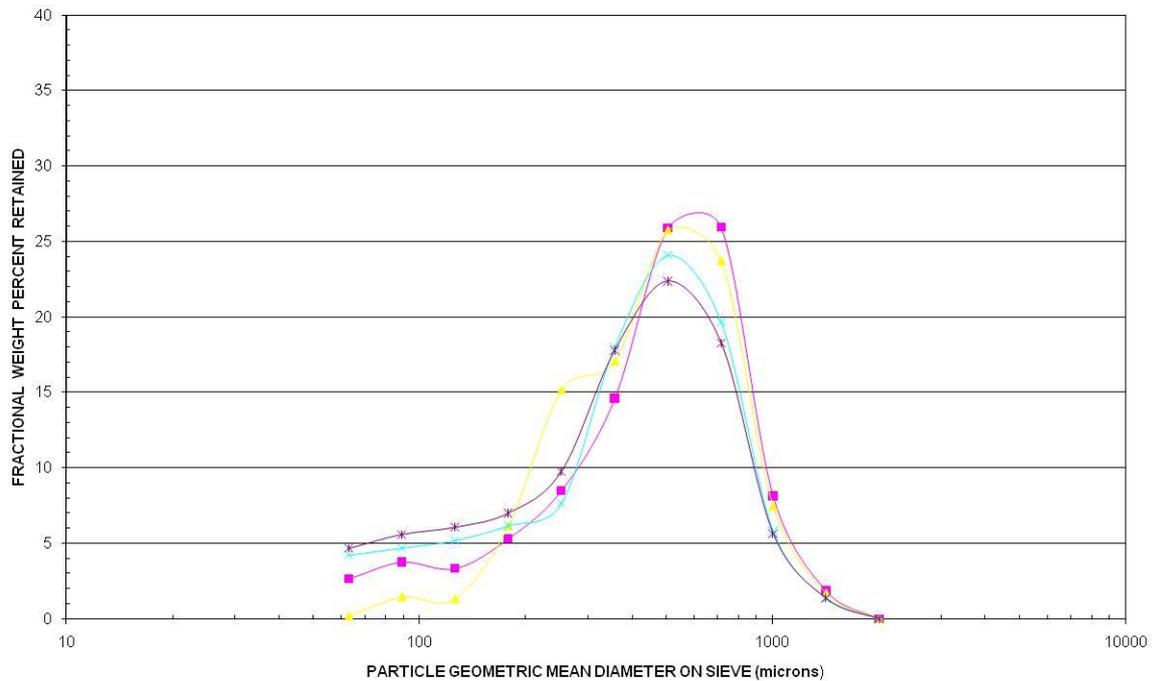
ตารางที่ 4 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไบสะเดาที่บดได้

Type of Size Reduction Equipment	d_{gw} (microns)	S_{gw} (microns)
Beater Mill		
Screen no. 3.0	382b	290c
Screen no. 1.0	290a	182a
Stone Mill		
Coarse	1278d	951e
Fine	1082c	830d
Blender	330a	241b

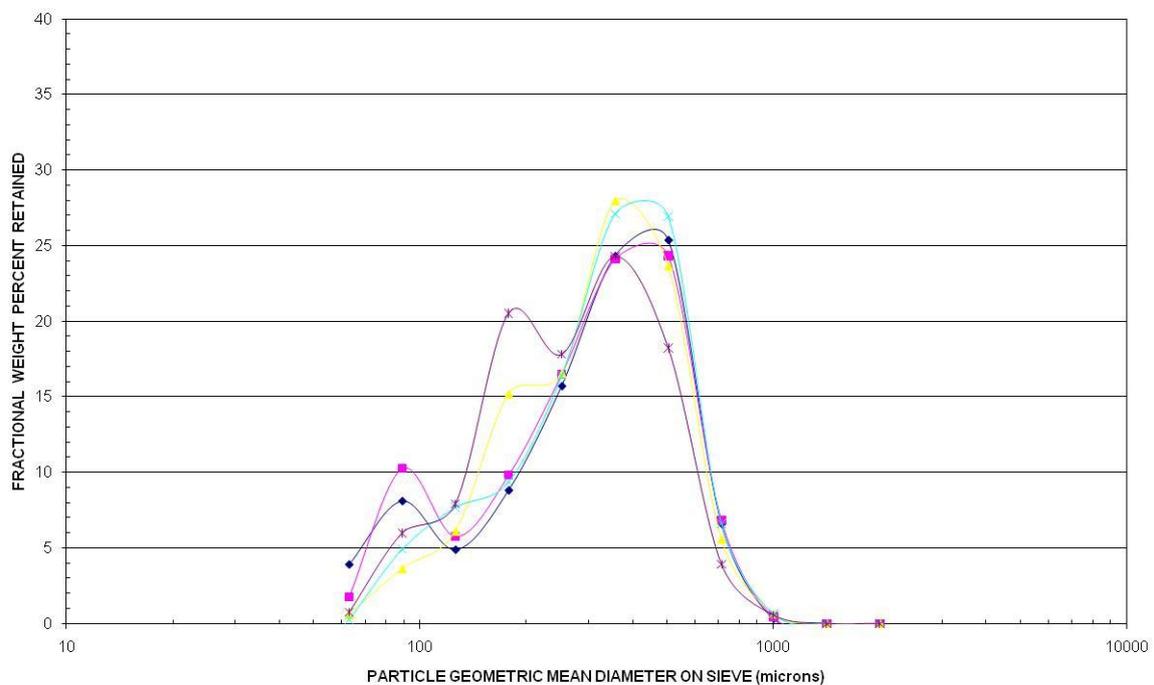
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการ
 วิเคราะห์แบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออกได้ขนาด
 ความละเอียดของไบสะเดามากที่สุด แต่มีขนาดความละเอียดไม่แตกต่างจากการบดด้วยเครื่องปั่นผสม
 ขนาดที่หยาบขึ้นมาได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก ไบสะเดาที่บดได้
 จากทั้ง 3 สภาวะมีขนาดเฉลี่ยทางเรขาคณิตต่ำกว่าขนาดเฉลี่ยของเกลือทั้งหมด ส่วนการบดด้วยเครื่องบด
 แบบโมหินทั้งการบดละเอียด และบดหยาบ ให้ขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ และใหญ่กว่าเกลือถึง 2 เท่า ที่เป็น
 เช่นนี้เพราะ เครื่องบดแบบโมหินที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้ลมเป็นตัวพาวัวสดที่บดแล้วออกมาจากห้องบด

วัสดุที่ถูกบดจนมีขนาดเล็กลงก็จะมีน้ำหนักเบา ทำให้ลมพัดพาออกมาได้ ในขณะที่ใบเสเดาที่ยังถูกบดไม่ละเอียด แต่ก็มีน้ำหนักเบา จึงปลิวออกมาแม้จะยังไม่ละเอียดก็ตาม เมื่อดูที่การกระจายขนาดของใบเสเดาที่บดได้ พบว่าเป็นดังภาพที่ 15 - 19

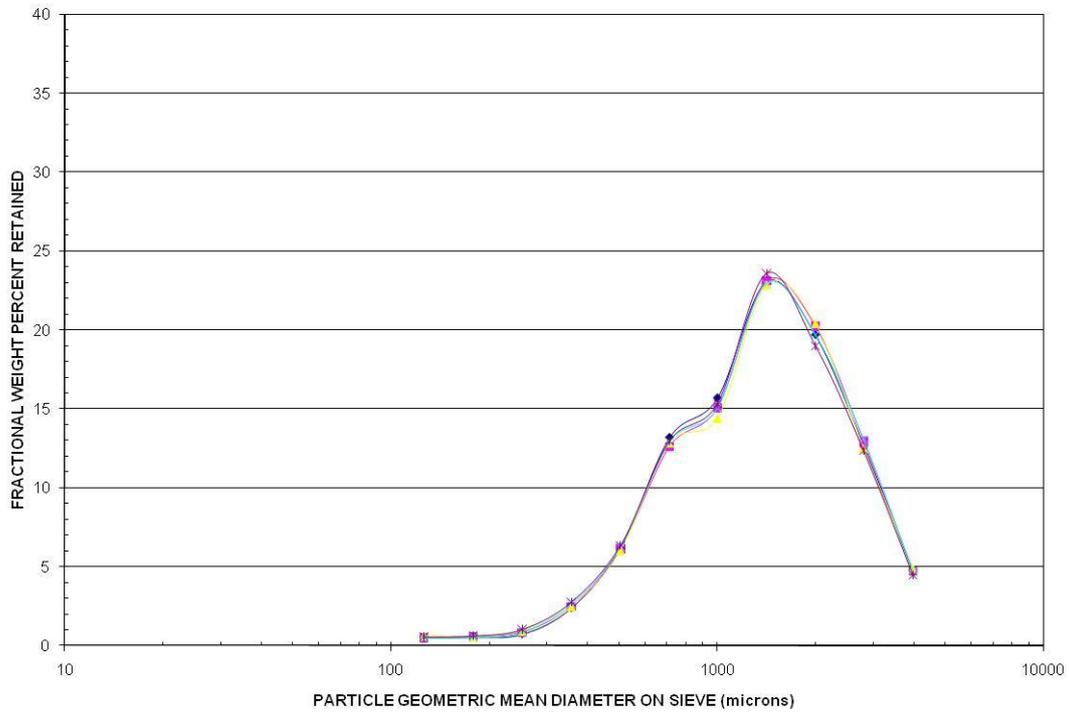


ภาพที่ 15 กราฟการกระจายขนาดของใบเสเดาที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก

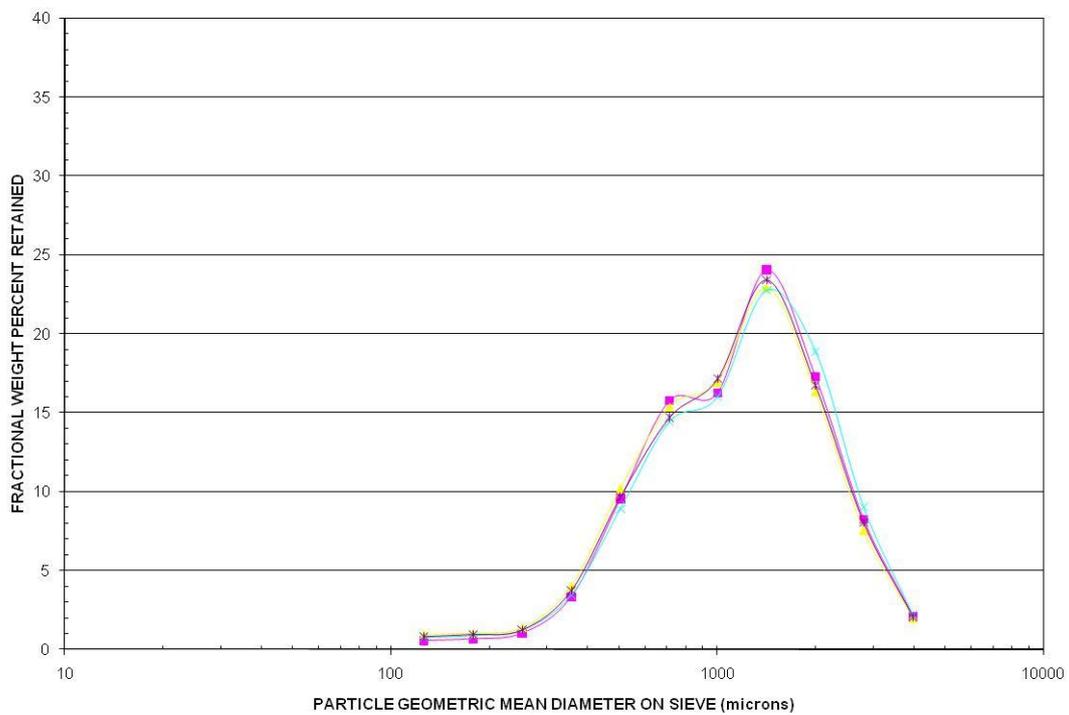


ภาพที่ 16 กราฟการกระจายขนาดของใบเสเดาที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก

ตำแหน่งยอดกราฟของการกระจายขนาดอนุภาคที่บดด้วยเครื่องบดแตก ที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 (ภาพที่ 15) และ เบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก (ภาพที่ 16) ซึ่งแสดงถึงกลุ่มของขนาดที่มีมากที่สุดนั่นคือ ขนาด ประมาณ 500 และ 400 ไมครอนตามลำดับ โดยมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือประมาณร้อยละ 25

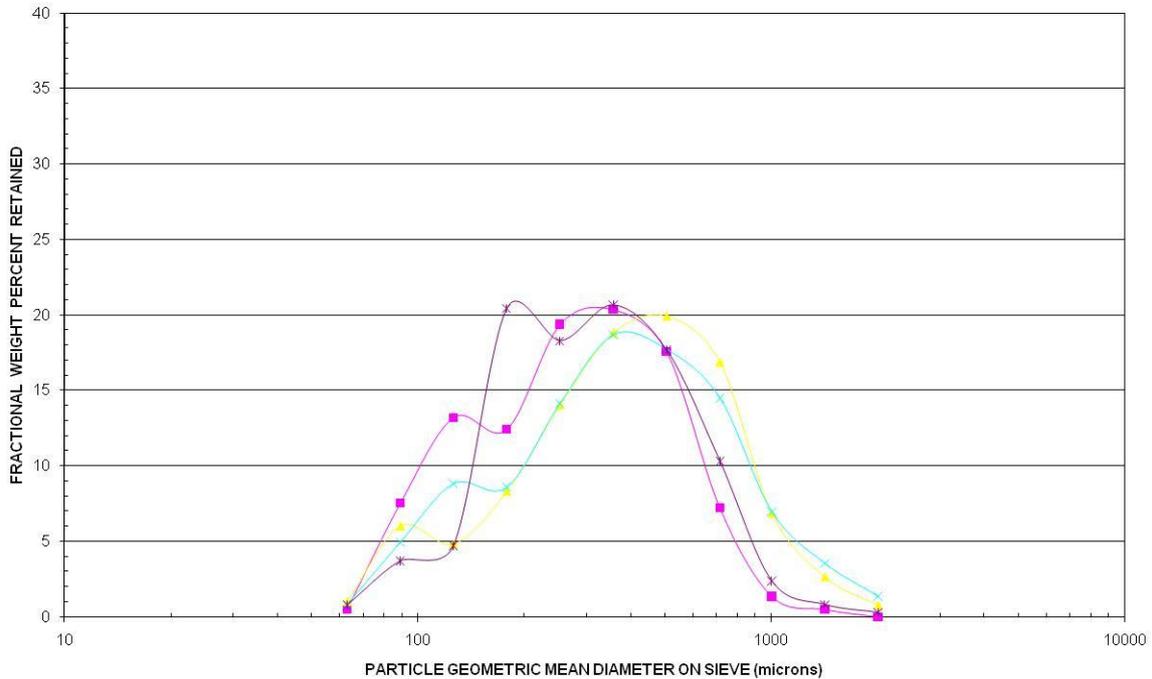


ภาพที่ 17 กราฟการกระจายขนาดของไบสเดคาที่บดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดหยาบ



ภาพที่ 18 กราฟการกระจายขนาดของไบสเดคาที่บดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด

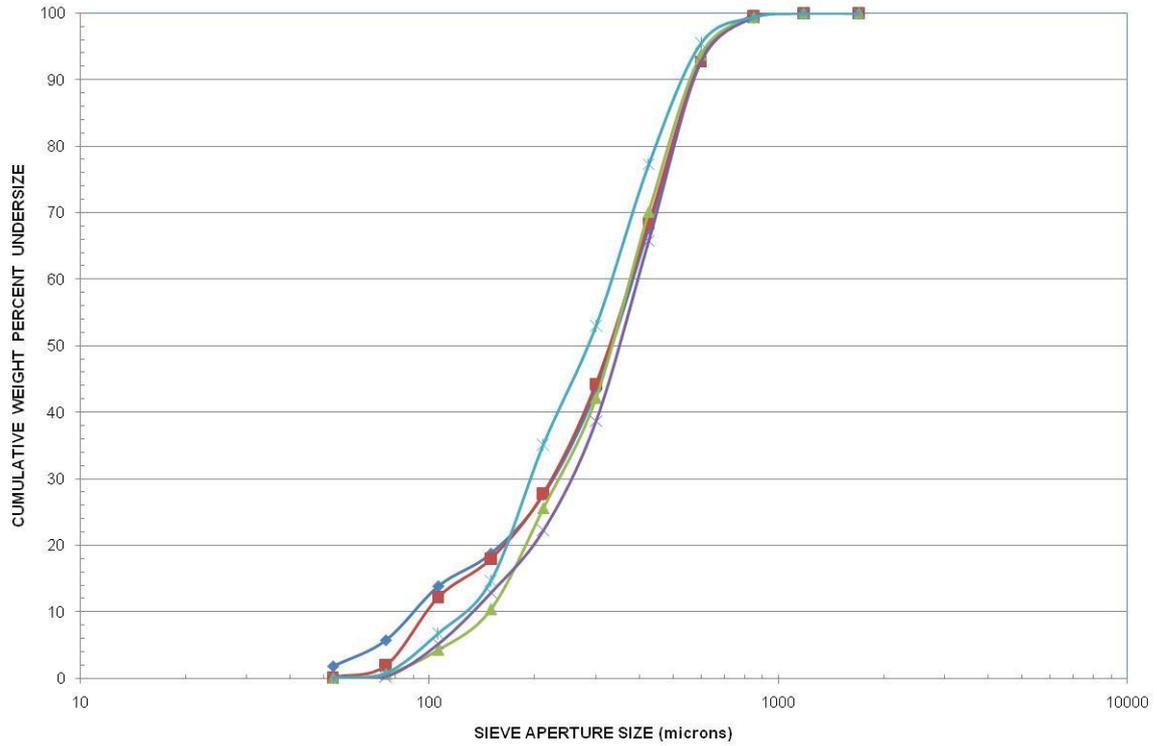
การกระจายขนาดของใบสะเดาที่บดด้วยเครื่องบดแบบโม่หินได้แสดงในภาพที่ 17 และ 18 กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน รวมถึงตำแหน่งยอดของกราฟ ซึ่งแสดงถึงกลุ่มของขนาดที่มีมากที่สุดก็ใกล้เคียงกันทั้งระดับการบดหยาบและบดละเอียด โดยมีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร



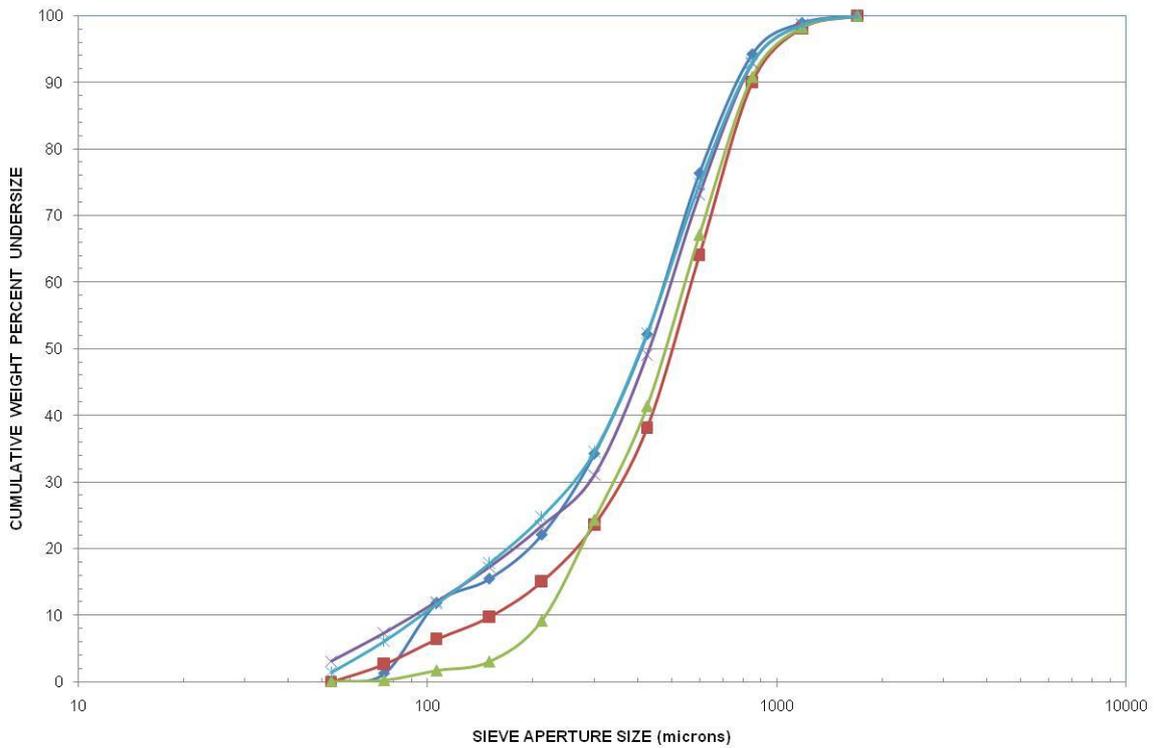
ภาพที่ 19 กราฟการกระจายขนาดของใบสะเดาที่บดด้วยเครื่องปั่นผสม

การกระจายขนาดของใบสะเดาที่บดด้วยเครื่องปั่นผสมได้แสดงในภาพที่ 19 เห็นได้ว่ากราฟจะมีลักษณะเป็นทรงป้าน คือมีการกระจายขนาดที่กว้าง ยอดกราฟไม่สูง ขนาดที่มีมากที่สุดคือ 400 ไมครอนโดยมีปริมาณร้อยละ 20

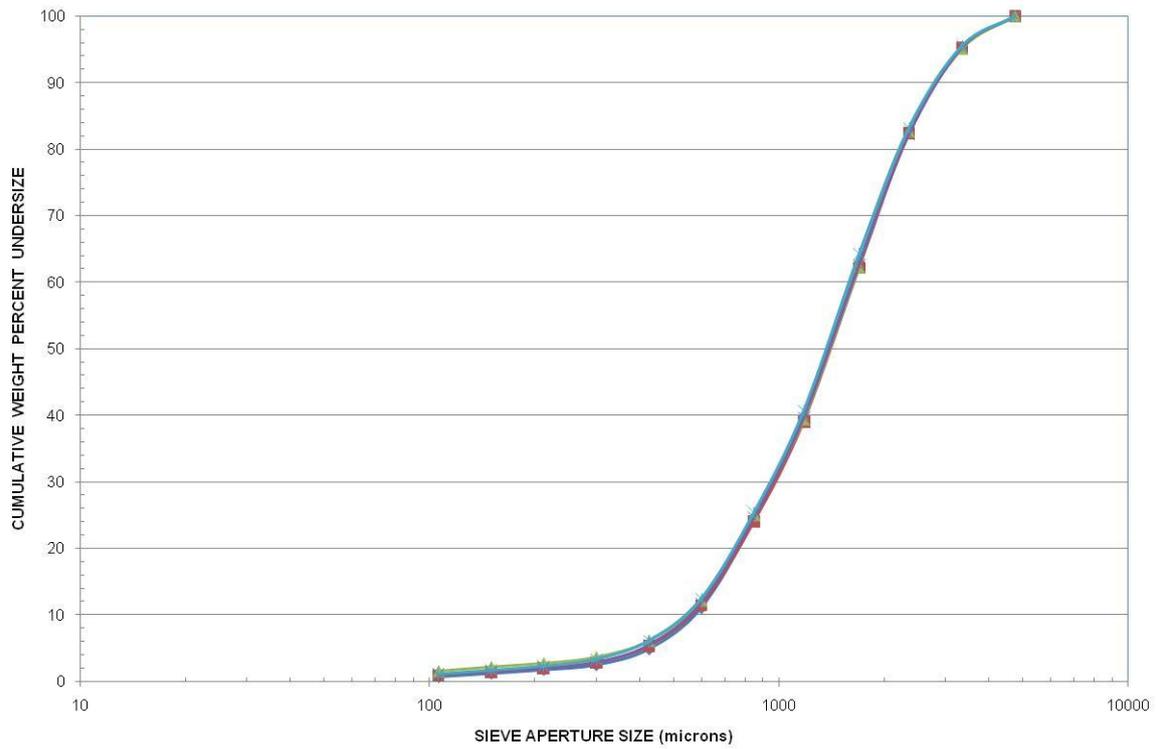
เมื่อทำการพล็อตกราฟ ร้อยละของน้ำหนักสะสมของวัสดุที่ละเอียดกว่าขนาดของตะแกรงร่อนเฉพาะค่าหนึ่งกับค่าลือกของช่องเปิดของตะแกรง จะได้กราฟเป็นรูปซิกมอยด์ (Sigmoid) สำหรับทั้ง 5 สภาวะการทดลอง ดังภาพที่ 20-24 และจากกราฟ นำมาหาปริมาณร้อยละของน้ำหนักสะสมของอนุภาคใบสะเดาที่ละเอียดกว่า 600, 425 และ 300 ไมครอน แสดงไว้ในตารางที่ 5 เพื่อนำมาใช้พิจารณาในการเลือกสภาวะการบดที่เหมาะสม เพราะนอกจากจะดูขนาดเฉลี่ยทางเรขาคณิตแล้ว ปริมาณวัสดุที่ได้ในช่วงขนาดที่ต้องการเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งโดยปกติจะกำหนดค่าขนาดที่โตที่สุดที่ยอมรับได้ และเนื่องจากวัสดุเกษตรจะมีการขยายขนาดขึ้นเมื่อได้รับความชื้น และเมื่อดูดซับของเหลวเข้าไปในตัว ดังนั้นจึงได้ทำการพิจารณาในขนาดที่เล็กกว่าขนาดเฉลี่ยของเกลือด้วย



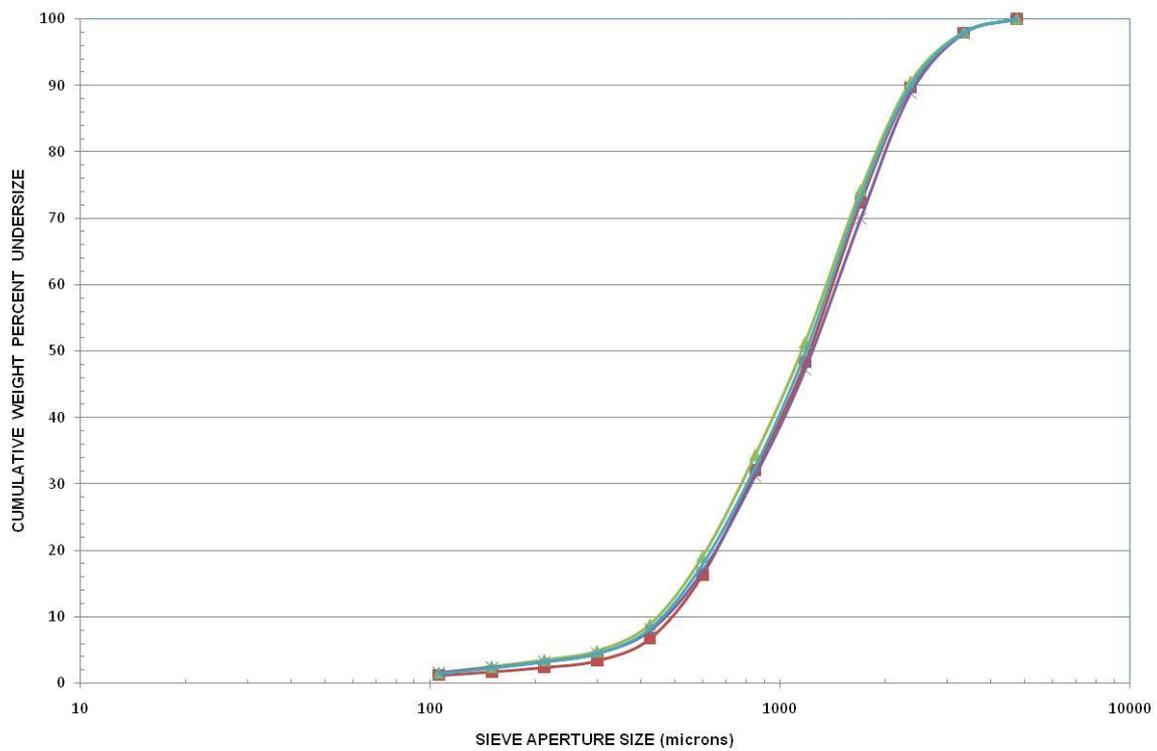
ภาพที่ 20 กราฟการกระจายขนาดสะสมของโบสเสดาที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก



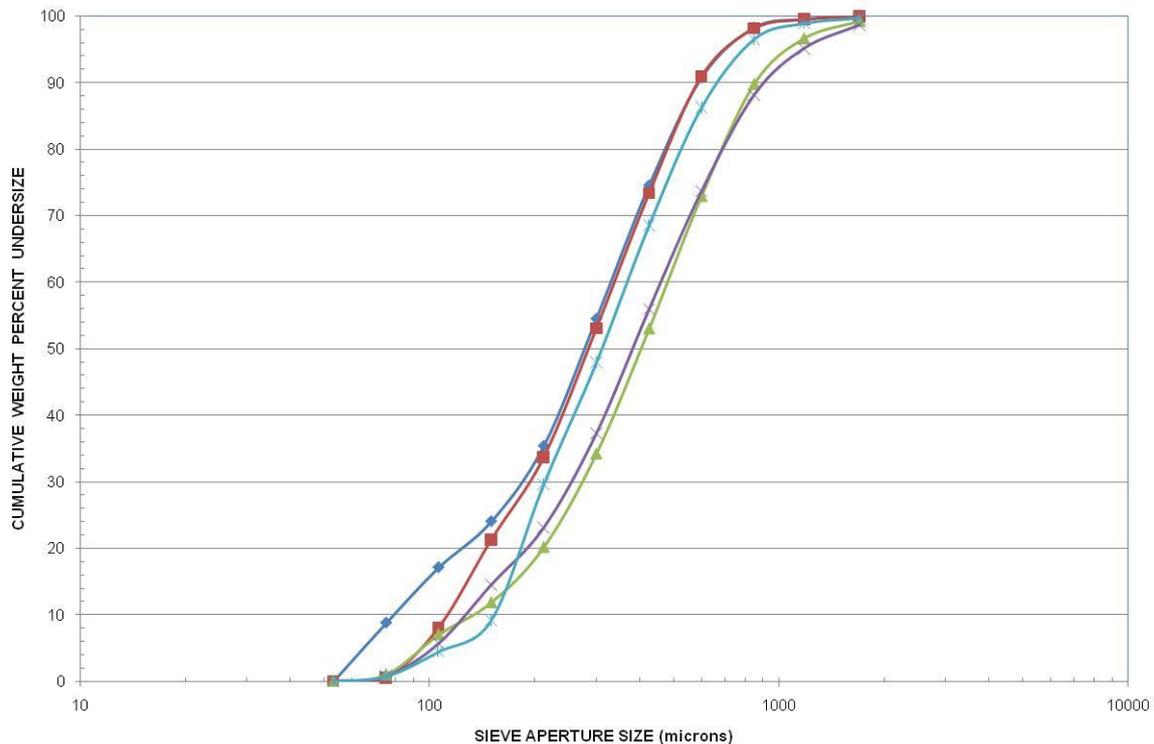
ภาพที่ 21 กราฟการกระจายขนาดสะสมของโบสเสดาที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก



ภาพที่ 22 กราฟการกระจายขนาดสะสมของใบเสมาที่บดด้วยเครื่องบดแบบ โม้หินที่ระดับการบดหยาบ



ภาพที่ 23 กราฟการกระจายขนาดสะสมของใบเสมาที่บดด้วยเครื่องบดแบบ โม้หินที่ระดับการบดละเอียด



ภาพที่ 24 กราฟการกระจายขนาดสะสมของโบสเดาที่บดด้วยเครื่องปั่นผสม

เกลือที่นำมาใช้ มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน อยู่ร้อยละ 96 ในขณะที่อนุภาคของโบสเดาที่บดได้ที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน ที่มีจำนวนมากที่สุด คือร้อยละ 99 ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก รองลงมาคือ อนุภาคที่ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม มีอยู่ร้อยละ 94 และบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก มีอยู่ร้อยละ 92

ส่วนการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินทั้งระดับการบดหยาบและบดละเอียด มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนอยู่น้อยมาก คือร้อยละ 25 และ 33 ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการบดโบสเดาแห้ง เนื่องจากอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่เกินไป และส่วนที่ละเอียดที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ได้ก็มีเพียงจำนวนน้อย

เมื่อตัดการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินออกไป เหลือเพียงเครื่องบดแตก และเครื่องปั่นผสม จากตารางที่ 5 พบว่าหากต้องการอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 600 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก จะมีปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 94 รองลงมาคือการลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสมได้ร้อยละ 83 และการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก มีอยู่ร้อยละ 71

ตารางที่ 5 ปริมาณร้อยละของน้ำหนักสะสมของอนุภาคไบอะเตาที่บดได้

Type of Size Reduction Equipment	Cumulative Weight Percent Undersize		
	600 microns	425 microns	300 microns
Beater Mill			
Screen no. 3.0	71.07	46.62	29.52
Screen no. 1.0	93.55	69.83	44.27
Stone Mill			
Coarse	11.71	5.53	2.98
Fine	17.51	7.94	4.31
Blender	82.90	65.09	45.38

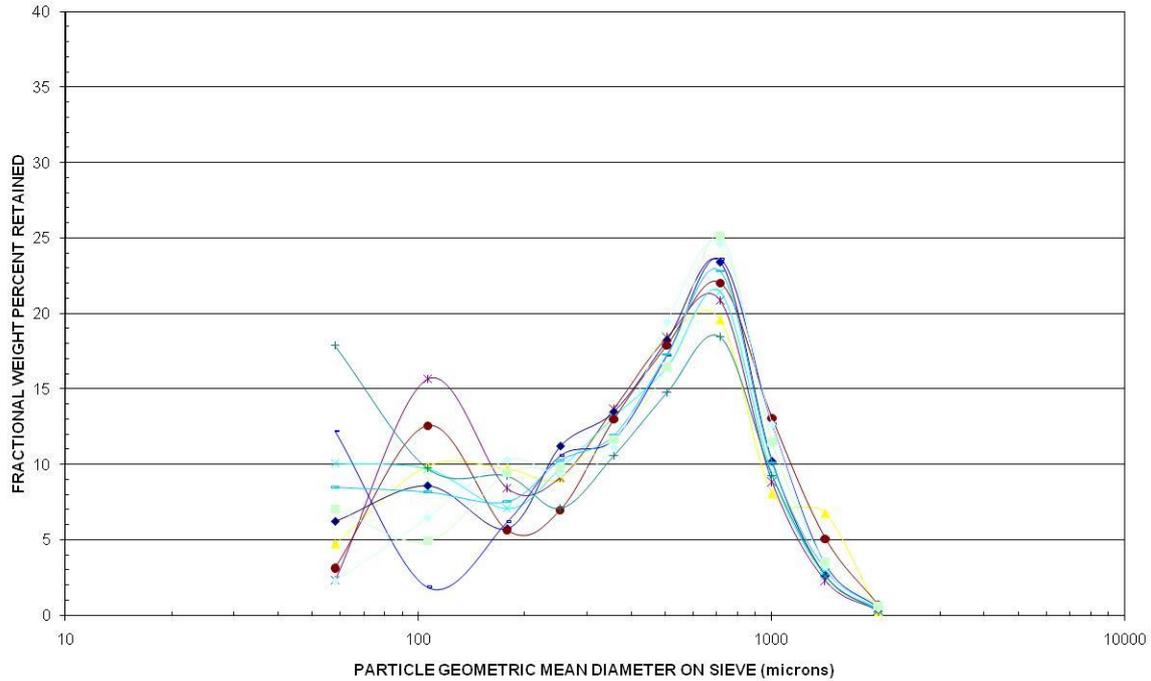
หากต้องการละเอียดกว่านั้นอีก เครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก จะสามารถบดให้อนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอน ได้ร้อยละ 70 ในขณะที่เครื่องปั่นผสมทำได้ร้อยละ 65 แต่อย่างไรก็ตามเครื่องปั่นผสม และเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก สามารถบดให้อนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 300 ไมครอน ได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 45 และ 44 ตามลำดับ

ส่วนการเลือกใช้อนุภาคในช่วงขนาดใดขนาดหนึ่ง เครื่องบดแตกจะมีความเหมาะสมกว่าเครื่องปั่นผสม เพราะบดได้ปริมาณที่มากกว่า กล่าวคือ มีอนุภาคขนาดระหว่าง 425-600 ไมครอนอยู่ร้อยละ 24 และมีอนุภาคขนาดระหว่าง 300-425 ไมครอน อยู่ร้อยละ 26 สำหรับเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก

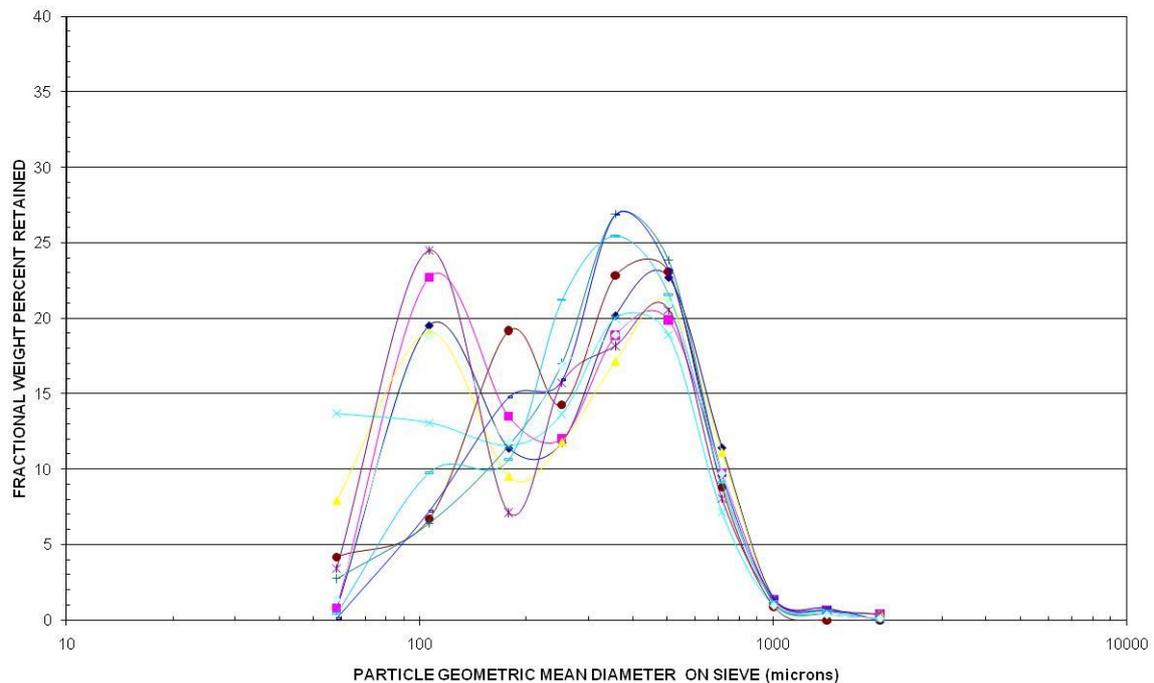
สำหรับค่าสีของอนุภาคไบอะเตาที่บดได้ซึ่งเป็นผงสีเขียว มีค่าสี $L^* = 49.04 \pm 0.68$ $a^* = -16.21 \pm 0.51$ และ $b^* = 23.72 \pm 0.48$

2.3 ดอกกระเจี๊ยบ

การบดลดขนาดสำหรับดอกกระเจี๊ยบนั้น ต้องทำการลดขนาดขั้นต้นก่อนนำไปบดด้วยเครื่องบดแตก และเครื่องบดแบบโม้หิน เพราะดอกกระเจี๊ยบแห้งมีขนาดเฉลี่ยใหญ่กว่าเมล็ดถั่วเขียวเกือบ 5 เท่า จึงใช้การตัดให้เป็นชิ้นสั้นๆ ที่มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 5 มิลลิเมตรก่อนนำไปบด



ภาพที่ 25 กราฟการกระจายขนาดของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก

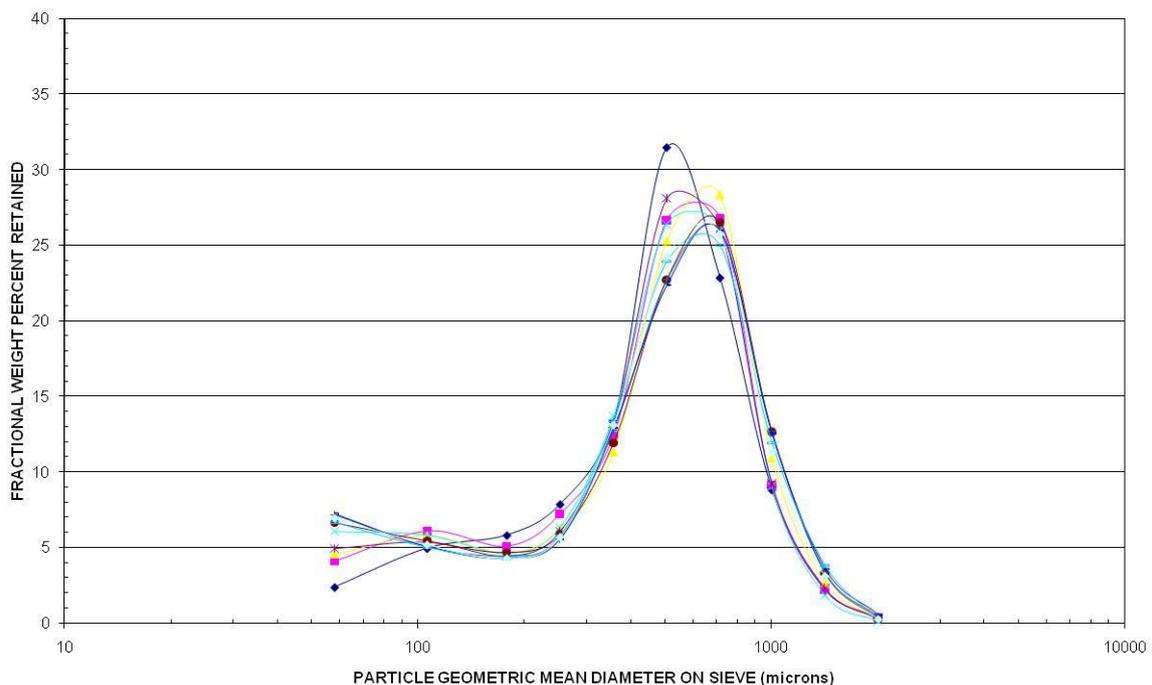


ภาพที่ 26 กราฟการกระจายขนาดของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก

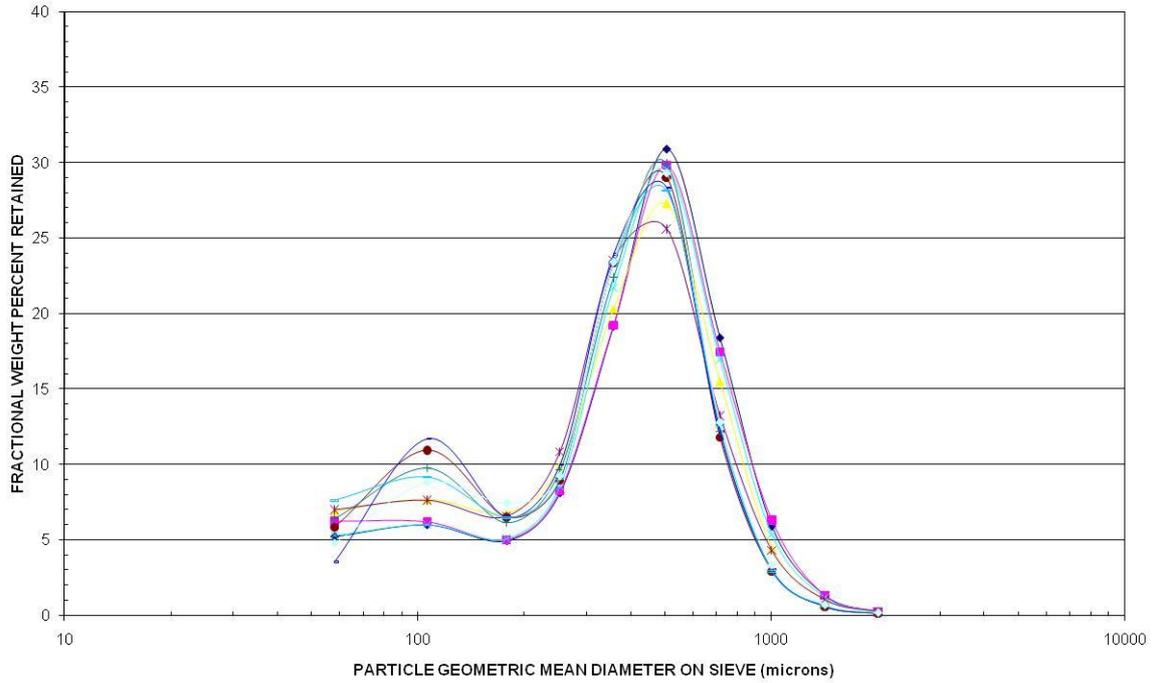
ภาพที่ 25 เป็นกราฟที่ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตก ที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก อนุภาคส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 20 - 25 จะมีขนาดอยู่ระหว่าง 600 - 850 ไมครอน ส่วนขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 150 ไมครอน จะมีปริมาณไม่แน่นอนตั้งแต่ร้อยละ 2 - 15 ส่วนการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่

ช่องทางออก พบว่ามีการกระจายขนาดอนุภาคแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 26 โดยมีปริมาณใกล้เคียงกันราวร้อยละ 22 – 23 ที่ขนาดเฉลี่ย 100 และ 400 ไมครอน เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ การลดขนาดที่เกิดขึ้นของดอกกระเจี๊ยบ เกิดในลักษณะการหักเป็นท่อนสั้น ๆ ตามเส้นใย และหรือเกิดในส่วนที่มีความหนา และมีความแข็งน้อยกว่าก่อน เมื่อใช้เครื่องบดแตกนี้ ชิ้นส่วนที่หักบางท่อนที่ไหลวางลงมาจะถูกตีซ้ำจนเป็นผง แต่บางท่อนที่ไหลตั้งลงมาจะสามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างใบตีกับผนัง และไหลผ่านช่องทางออกไปได้ จึงทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม เกิดเป็นกราฟ 2 ยอด แต่เมื่อใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก ทำให้ได้อนุภาคในกลุ่มที่มีขนาดเล็กเพิ่มขึ้น กล่าวคือเพิ่มจากปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 25 และได้กลุ่มของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีขนาดเล็กกว่า กล่าวคือขนาดอนุภาคลดลงจาก 700 มาเป็น 400 ไมครอน

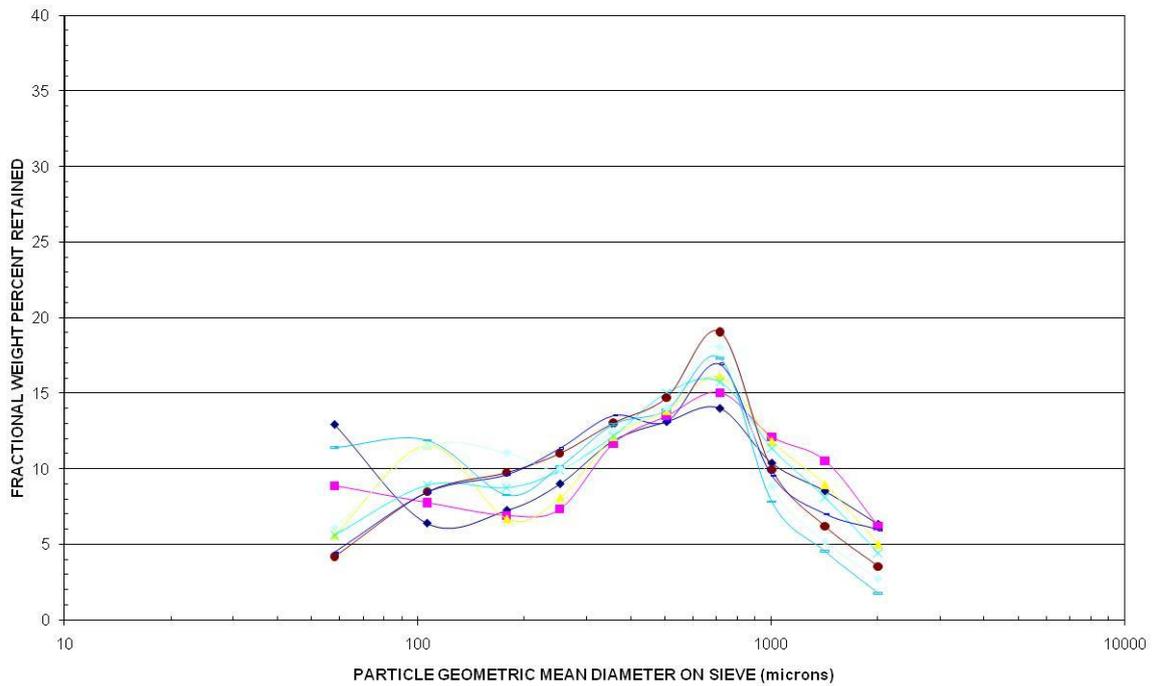
นอกจากนี้แล้วยังสังเกตได้ว่า ลักษณะของดอกกระเจี๊ยบที่บดได้ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีลักษณะเป็นท่อนๆ จึงปรากฏเป็นชิ้นขนาดใหญ่ การบดขนาดที่วิเคราะห์ด้วยการร่อน จึงให้ค่าที่น้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นถ้านำเอาอนุภาคของดอกกระเจี๊ยบและถั่วเขียวที่วิเคราะห์ได้ขนาดเดียวกัน มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่าอนุภาคของดอกกระเจี๊ยบที่บดได้จะมีขนาดที่ใหญ่กว่า



ภาพที่ 27 กราฟการกระจายขนาดของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแบบ หม้อหินที่ระดับการบดหยาบ



ภาพที่ 28 กราฟการกระจายขนาดของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแบบ โมหินที่ระดับการบดละเอียด



ภาพที่ 29 กราฟการกระจายขนาดของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องปั่นผสม

กราฟการกระจายขนาดของการบดดอกกระเจี๊ยบแห้งด้วยเครื่องบดแบบ โมหิน (ภาพที่ 27 และ 28) เกิดเป็นฟิลที่แคบและสูงกว่าการบดด้วยเครื่องบดแตก โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเฉลี่ย 500 ไมครอน และ

มีปริมาณเฉลี่ยเกือบร้อยละ 30 ทั้งสองสภาวะของการบด แต่ที่ระดับการบดละเอียดจะให้อนุภาคขนาด 100 ไมครอนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 ในขณะที่การลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม จะเกิดการกระจายขนาดในช่วงกว้าง เกิดเป็นพีคเดี่ยวๆ ที่ขนาดเฉลี่ย 700 ไมครอน โดยมีปริมาณไม่ถึงร้อยละ 20

ข้อมูลการร่อนแยกขนาด และการคำนวณเพื่อดูการกระจายขนาดและหาขนาดเฉลี่ยของอนุภาคดอกกระเจี๊ยบที่บดได้ แสดงไว้ในภาคผนวก ง เมื่อนำข้อมูลขนาดอนุภาคเฉลี่ยทางเรขาคณิตของดอกกระเจี๊ยบแห้งที่บดได้จากทั้ง 5 การทดลองไปวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดความละเอียดของดอกกระเจี๊ยบที่บดได้จากแต่ละการทดลอง พบว่าเป็นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของดอกกระเจี๊ยบที่บดได้

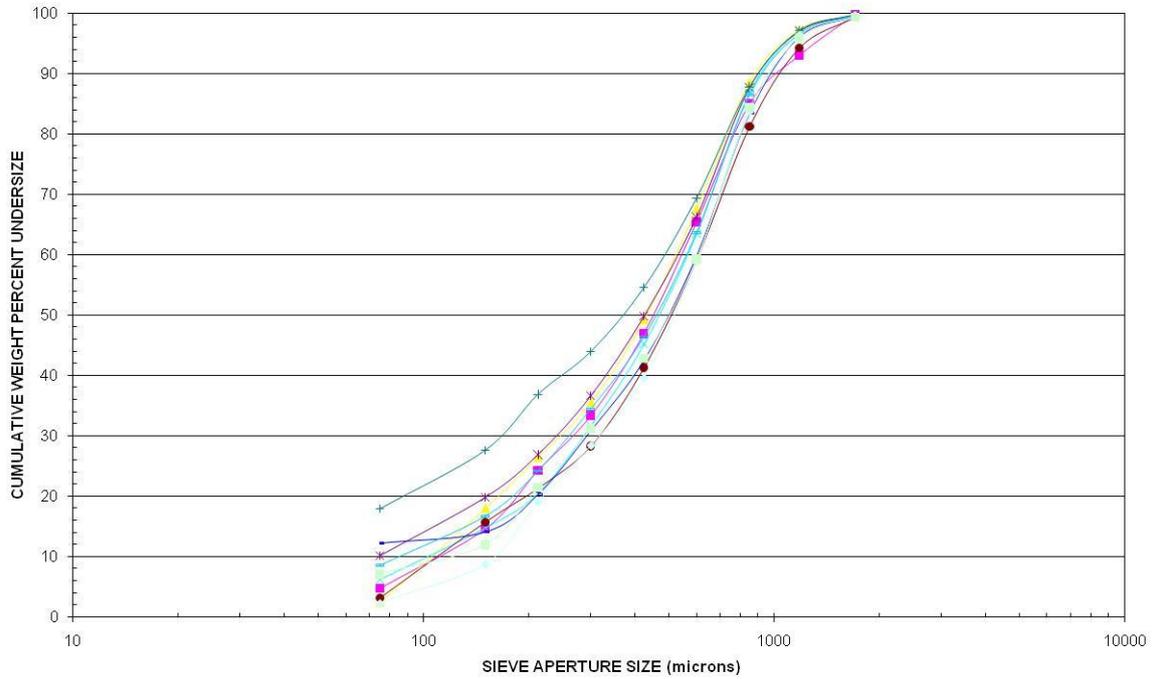
Type of Size Reduction Equipment	d_{gw} (microns)	S_{gw} (microns)
Beater Mill		
Screen no. 3.0	378c	359c
Screen no. 1.0	289a	206a
Stone Mill		
Coarse	437e	368c
Fine	348b	274b
Blender	408d	429d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

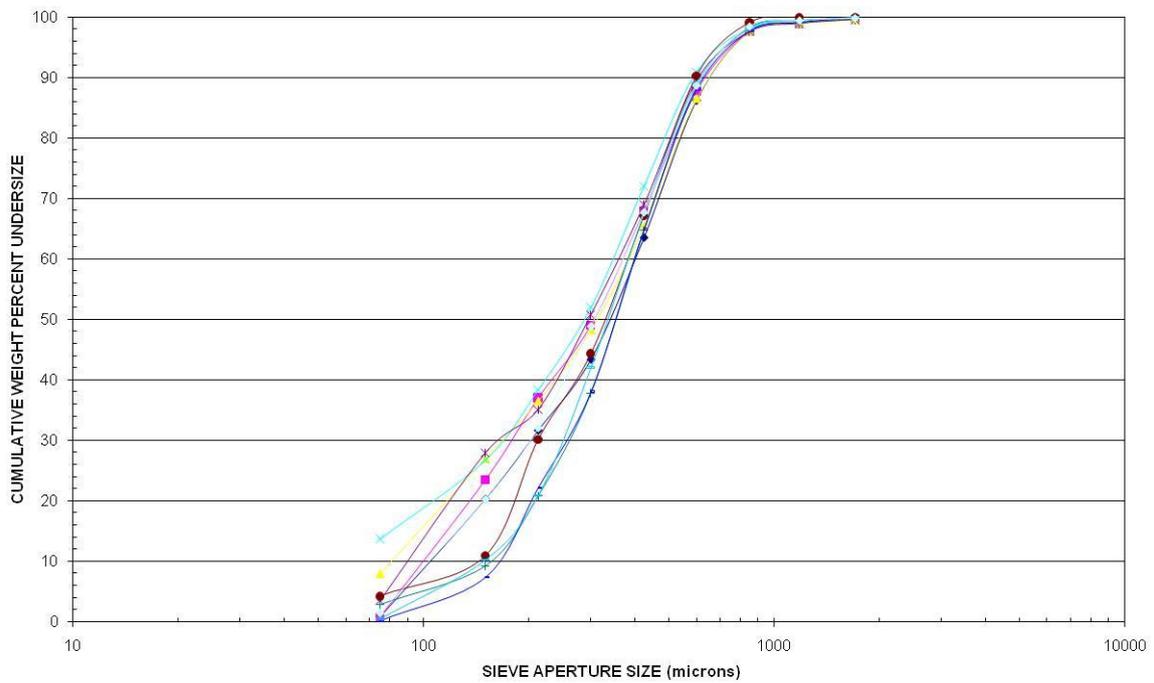
จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_{gw}) ของดอกกระเจี๊ยบแห้งที่บดด้วยเครื่องบดแบบที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก มีขนาดละเอียดที่สุด คือ 289 ไมครอน ถัดไปได้จากเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด เครื่องบดแบบที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก และเครื่องปั่นผสม ตามลำดับ ส่วนขนาดที่หยาบที่สุดได้จากเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดหยาบ คือ 437 ไมครอน เมื่อพิจารณาลำดับของขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่บดได้จากเครื่องมือลดขนาดชนิดต่างๆ ของดอกกระเจี๊ยบแห้งกับเมล็ดถั่วเขียว พบว่ามีลำดับที่คล้ายคลึงกัน

ส่วนขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่บดได้จากเครื่องมือลดขนาดชนิดเดียวกัน พบว่าอนุภาคของดอกกระเจี๊ยบแห้งจะมีขนาดเฉลี่ยเล็กกว่าของเมล็ดถั่วเขียว ทั้งนี้เนื่องจากดอกกระเจี๊ยบแห้งมีความแข็งน้อยกว่าเมล็ดถั่วเขียว แรงที่กระทำที่เท่ากันจึงทำให้เกิดการลดขนาดที่มากกว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งน้อยกว่า

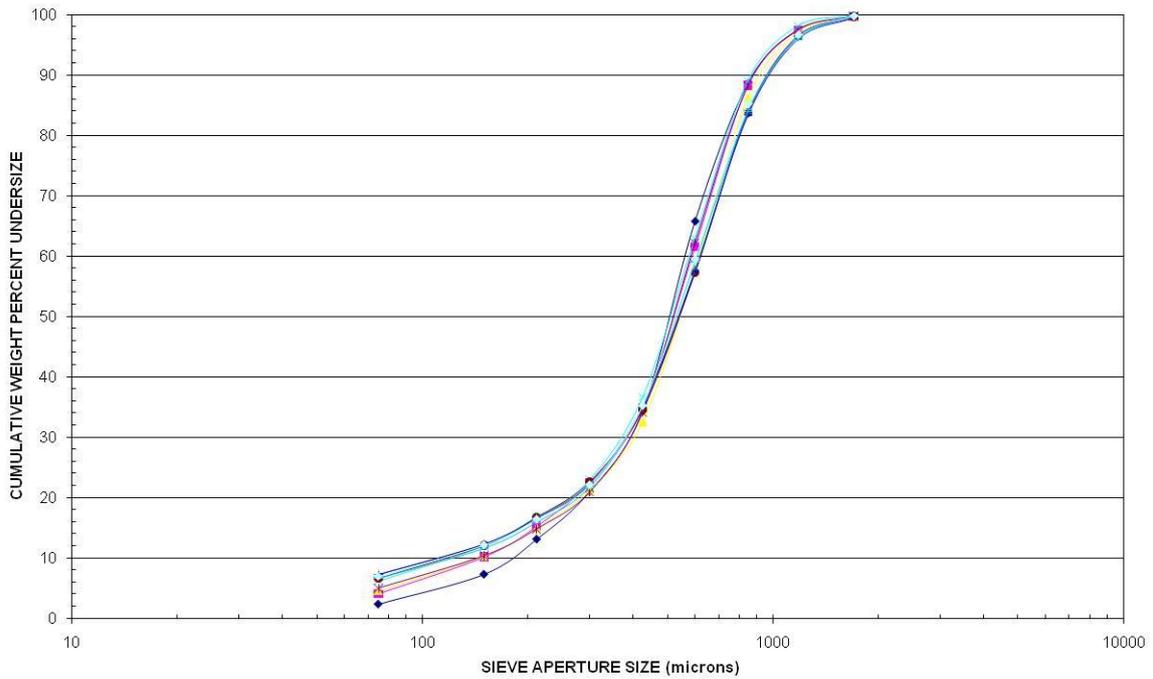
กราฟการกระจายขนาดสะสมของดอกกระเจี๊ยบแห้ง ซึ่งเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างร้อยละของน้ำหนักสะสมของวัสดุที่ละเอียดกว่าขนาดของตะแกรงร่อนเฉพาะค่าหนึ่ง กับค่าลือกของช่องเปิดของตะแกรง ถูกนำมาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของอนุภาคที่บดได้ สำหรับขนาดที่ต้องการขนาดต่างๆ



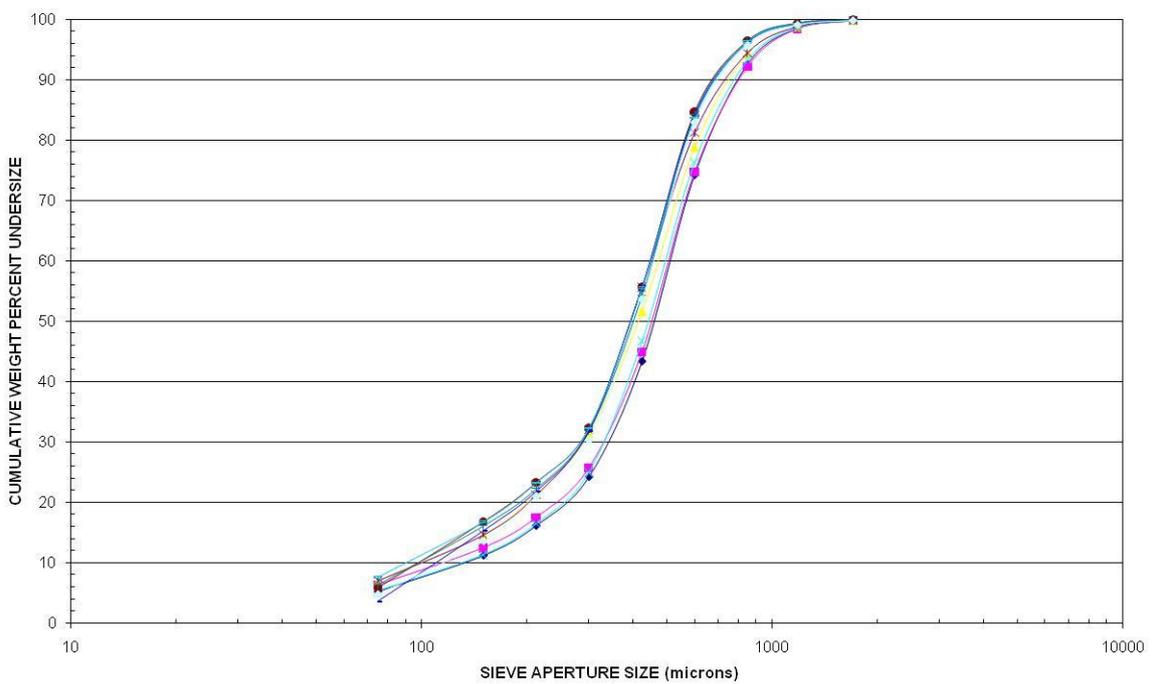
ภาพที่ 30 กราฟการกระจายขนาดสะสมของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก



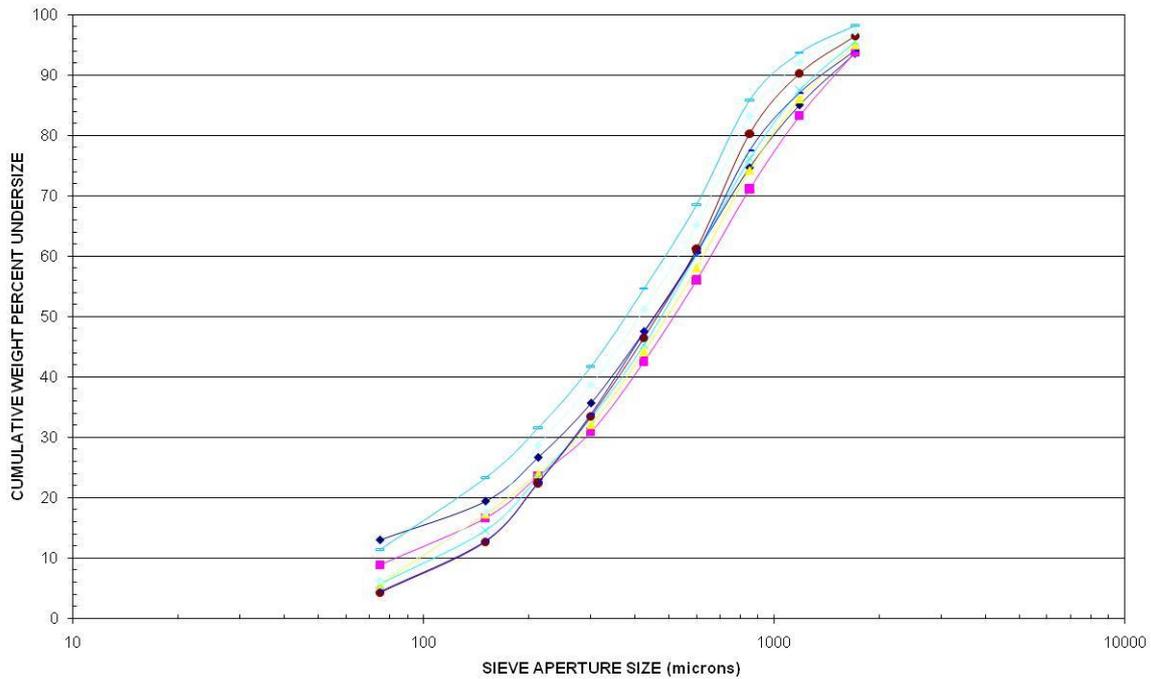
ภาพที่ 31 กราฟการกระจายขนาดสะสมของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก



ภาพที่ 32 กราฟการกระจายขนาดสะสมของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแบบไม่หิน
ที่ระดับการบดหยาบ



ภาพที่ 33 กราฟการกระจายขนาดสะสมของดอกกระเจี๊ยบที่บดด้วยเครื่องบดแบบไม่หิน
ที่ระดับการบดละเอียด



ภาพที่ 34 กราฟการกระจายขนาดสะสมของดอกกระเจียบที่บดด้วยเครื่องปั่นผสม

จากภาพที่ 30 - 34 อนุภาคของดอกกระเจียบแห้งที่บดได้ที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน ที่มีจำนวนมากที่สุด คือร้อยละ 98 ได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก รองลงมาคืออนุภาคที่บดด้วยเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดละเอียด มีอยู่ร้อยละ 95 การบดดอกกระเจียบแห้งด้วยเครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดหยาบ และการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนอยู่ร้อยละ 86 ส่วนการลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม มีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอนอยู่น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 78

แต่จากที่เคยกล่าวมาก่อนหน้านี้ ทั้งในเรื่องของขนาดอนุภาคของดอกกระเจียบที่มีขนาดใหญ่กว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ และการพองตัวของวัสดุเกษตรเมื่อนำไปผสมเข้าสู่สูตร จึงทำการพิจารณาในขนาดที่ลงไปอีก คือ ที่ 600, 400 และ 300 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณร้อยละของน้ำหนักสะสมของอนุภาคคอกกระเจี๊ยบที่บดได้

Type of Size Reduction Equipment	Cumulative Weight Percent Undersize		
	600 microns	425 microns	300 microns
Beater Mill			
Screen no. 3.0	63.31	45.84	33.44
Screen no. 1.0	88.58	66.99	45.46
Stone Mill			
Coarse	60.10	34.71	21.92
Fine	80.48	51.69	29.68
Blender	61.28	47.03	34.03

โดยพบว่าอนุภาคที่บดได้ที่มีขนาดเล็กกว่า 600 ไมครอน จะได้จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก มากที่สุด คือ ร้อยละ 89 รองลงมาคือ และการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด มีอยู่ร้อยละ 80 ส่วนสภาวะการบดอื่นๆ ให้ปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 60 – 63 แต่ถ้าต้องการอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอน จะพบว่าปริมาณที่บดได้จะลดลงไปมาก เหลือเพียงร้อยละ 67 สำหรับการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก และร้อยละ 52 สำหรับการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด และเหลือร้อยละ 45 สำหรับขนาดที่เล็กกว่า 300 ไมครอนจากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก

นอกจากนี้แล้วการเลือกใช้อุณหภูมิในช่วงขนาดใดขนาดหนึ่ง เช่น ขนาดอนุภาคที่อยู่ระหว่าง 425-600 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หิน จะได้ปริมาณมากกว่าการบดด้วยเครื่องบดแตก กล่าวคือ ได้ร้อยละ 29 จากการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด ร้อยละ 25 จากการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดหยาบ และร้อยละ 22 จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก ส่วนขนาดอนุภาคที่อยู่ระหว่าง 300-425 ไมครอนจะมีอยู่ร้อยละ 22 เท่ากันจากการบดด้วยเครื่องบดแบบไม่หินที่ระดับการบดละเอียด และเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก

สำหรับค่าสีของผงกระเจี๊ยบแดงที่ได้จากการบด พบว่ามีสีแดงมากกว่าก่อนบดมากในทุกสภาวะการทดลอง โดยมีค่าสีเฉลี่ยดังนี้ $L^* = 42.36 \pm 2.42$ $a^* = 11.54 \pm 1.93$ และ $b^* = 12.22 \pm 1.28$

ในการทดสอบบดลดขนาดวัสดุเกษตรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เมล็ดถั่วเขียว ใบสะเดา และดอกกระเจี๊ยบ ด้วยเครื่องมือบดลดขนาด 4 แบบ ได้แก่ เครื่องบดแตก เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง เครื่องบดแบบโมหิน และเครื่องปั่นผสม เมื่อมองในภาพรวมจะเห็นได้ว่า เครื่องบดแตกสามารถใช้ในการบดลดขนาดวัสดุเกษตรทั้ง 3 ชนิดได้ดี คือ บดได้ขนาดที่จะนำไปใช้ในการทำวัสดุขั้วผิวได้ในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Bitra et al. (2009) ซึ่งกล่าวว่าเครื่องบดแบบแฮมเมอร์มีลล์ มีข้อดีที่สามารถบดวัสดุได้หลากหลายชนิดกว่าเครื่องบดแบบอื่นๆ แม้ว่าเครื่องบดแบบลูกกลิ้งจะบดได้อนุภาคที่มีการกระจายขนาดที่แคบ แต่ใช้ได้เฉพาะกับเมล็ดถั่วเขียว ไม่สามารถใช้กับวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น หรือเป็นชิ้นได้ ในขณะที่ใบสะเดาแห้งใช้การบดด้วยเครื่องบดแบบโมหิน ที่ใช้แรงลมในการคัดแยกขนาดไม่ได้ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา แต่เครื่องบดแบบโมหินที่ระดับการบดละเอียด สามารถบดเมล็ดถั่วเขียว และดอกกระเจี๊ยบแห้ง ให้ได้ขนาดที่มีความละเอียดมาก ๆ ในปริมาณใกล้เคียงกับการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก ความสามารถในการบดที่เทียบเคียงกันได้นี้ ถูกพบเช่นเดียวกันในการบด bulgur (ผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี) จากงานของ Bayram and Öner (2005) ส่วนเครื่องปั่นผสมเหมาะกับการใช้เป็นเครื่องมือลดขนาดขั้นปฐมภูมิเท่านั้น เนื่องจากอนุภาคที่บดได้มีการกระจายขนาดที่กว้างมาก ซึ่งอาจใช้ในการลดขนาดดอกกระเจี๊ยบแห้งก่อนนำไปบดด้วยเครื่องบดแตกอีกครั้ง

สรุปผล

ผลการทดสอบสรุปแยกตามชนิดของวัสดุเกษตรที่นำมาทดสอบได้ดังนี้

1. การบดลดขนาดเมล็ดข้าวด้วยเครื่องมือลดขนาด 4 แบบ ที่สภาวะต่างๆ 6 การทดลอง การบดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดหยาบ ให้ขนาดเฉลี่ยและการกระจายขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดและการกระจายขนาดของเกลือมากที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต 492 ไมครอน ในขณะที่เกลือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต 520 ไมครอน การบดลดขนาดที่สภาวะอื่นๆ ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิตที่เล็กลงมา เรียงลำดับ ดังนี้ การลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม 429 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก 428 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดละเอียด 365 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง 322 ไมครอน และการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก 231 ไมครอน โดยมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน จำนวนร้อยละ 95, 93 และ 92 จากการบดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดละเอียด เครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก และเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง ตามลำดับ
2. การบดลดขนาดใบสะเดาด้วยเครื่องมือลดขนาด 3 แบบ ที่สภาวะต่างๆ 5 การทดลอง การบดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินทั้งระดับการบดหยาบและบดละเอียดให้ขนาดที่โตมาก กล่าวคือมีขนาดเฉลี่ยทางเรขาคณิตเท่ากับ 1278 และ 1082 ไมครอน ตามลำดับ ส่วนการบดลดขนาดที่สภาวะอื่นๆ ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิตที่เล็กกว่าของเกลือลงมา เรียงลำดับ ดังนี้ การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก 382 ไมครอน การลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม 330 ไมครอน และการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก 290 ไมครอน โดยมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน จำนวนร้อยละ 99, 94 และ 92 จากการบดด้วย เครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก เครื่องปั่นผสม และเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก ตามลำดับ
3. การบดลดขนาดดอกกระเจี๊ยบด้วยเครื่องมือลดขนาด 3 แบบ ที่สภาวะต่างๆ 5 การทดลอง ขนาดเฉลี่ยที่ได้จากการบดในทุกสภาวะ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิตเล็กกว่าขนาดของเกลือ เรียงลำดับดังนี้ การบดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดหยาบ 437 ไมครอน การลดขนาดด้วยเครื่องปั่นผสม 408 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 3.0 ที่ช่องทางออก 378 ไมครอน การบดด้วยเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดละเอียด 348 ไมครอน และการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก 289 ไมครอน โดยมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 850 ไมครอน จำนวนร้อยละ 98 และ 95 จากการบดด้วยเครื่องบดแตกที่ใช้ตะแกรงเบอร์ 1.0 ที่ช่องทางออก และเครื่องบดแบบโม้หินที่ระดับการบดละเอียด ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร, 2549. ถั่วเขียว (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.doae.go.th/library/html/detail/paddy/d3.htm>. วันที่เข้าถึง 23 ตุลาคม 2549.

พิมพ์พร, 2547. เครื่องสำอางธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหน้า พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์

โอเดียนสโตร์ วังบูรพา กรุงเทพฯ ISBN 974-276-225-2. 360 หน้า.

รุ่งนภา, 2551. วิศวกรรมอาหาร: หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ISBN 978-974-9934-90-6. 272 หน้า.

อัญชลี สงวนพงษ์, 2543. เทคโนโลยีการผลิตสารสกัดสะเดา, บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น (มหาชน) จำกัด. 136 น.

ISBN : 974-85960-7-9.

Anonymous (a), 2006. Elms Exotic Coconut Rub and Milk Ritual Wrap (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

http://yuspa.apexhotels.co.uk/html/spa_treatments, วันที่เข้าถึง 23 ตุลาคม 2549.

(b), 2006. Exotic Coconut Rub and Milk Ritual Wrap. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.brownessbeauty.com/spasmoothoperator.html>, วันที่เข้าถึง 23 ตุลาคม 2549.

(c), 2006. Skin Care (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.geocities.com/heartland/prairie/8088/skin.html>, วันที่เข้าถึง 23 ตุลาคม 2549.

(d), 2006. Herbal Skin Care : Shankara Facial Cleanser. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:

<http://www.Ayurbalance.com/shop/shankbodyscrub.htm>, วันที่เข้าถึง 23 ตุลาคม 2549.

ASAE, 1998. Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving. In *ASAE Standards*. p. 547-550.

Bayram, M. and Öner, M.D., 2005. Stone, disc and hammer milling of bulgur. *Journal of Cereal Science*, 41 (2005), p. 291-296.

Bitra, V.S.P., Womac, A.R., Chevanan, N., Miu, P.I., Igathinathane, C., Sokhansanj, S. and Smith, D.R., 2009. Direct mechanical energy measures of hammer mill comminution of switchgrass, wheat straw, and corn stover and analysis of their particle size distributions. *Powder Technology*, 193(2009), p. 32-45.

Cox, J., 2002. Natural Beauty on a budget: whip up this 15 simple products to get great skin, hair and nails. *Natural Health*. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0NAH/s_5_32/ai_87854531, วันที่เข้าถึง 23 ตุลาคม 2549.

Hopkins, C., 1996. *Principle of Aromatherapy*. Thorsons Publishing, London. ISBN 0722532636, 176 p.

- Indira, T.N. and Bhattacharya, S., 2006. Grinding Characteristics of Some Legumes. *Journal of Food Engineering*, 76 (2006), p. 113-118.
- Ketkar and Ketkar, 1993. . Azadirachtin contents of neem and its by-products from different parts of India. *World Neem Conf. Bangalore, India. Abstr.* p. 54.
- McCabe, W.L. and Smith, J.C., 1956. *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill Book Company Inc.
- Putz, J. and Niklas, C., 1990. *Die 5 Minuten Kosmetik : Neue Rezepte fuer sanfte Cremes*. 8 th Edition. VGS Verlagsgesellschaft, Koeln, 1990. ISBN3-8025-6165-1.
- Schmutterer, H.. 1995. The Tree and Its Characteristics. *In Schmutterer, H. (Eds.), 1995. The Neem Tree*, VCH Weinheim, Germany, p. 1-34.
- Sharma, U. 1991. *Complementary Medicine Today, Practioners and Patients*. Tavistock / rontledge, London, UK. pp. 219-220.
- Zeringe and Bhanthnagar, 1994. Effects of Neem Leaf Volatiles on Submerged Culture of Aflatoxigenic *Aspergillus parasiticus*. *Appl environ Microbiol*, 60 (10), p. 3543-3547.