

การออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละ

Design of Sala Pulper-Finisher

คำนำ

สละ (Salacca sp.) เป็นพืชที่น่าสนใจและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีรสชาติหวานหรือหวานอมเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (กรมวิชาการเกษตร, 2547) สามารถนำผลไปใช้บริโภคเป็นผลสดและนำไปแปรรูปเป็นน้ำสละได้ และได้รับการยอมรับว่าเป็นพืชทดแทนไม้ผลที่มีราคาตกต่ำ เนื่องจากมีราคาสูง (สุพจน์, 2546) ที่ยังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ค่อนข้างเร็ว (กรมวิชาการเกษตร, 2547) พื้นที่ปลูกที่สำคัญอยู่ที่ภาคตะวันออกของประเทศ โดยเฉพาะจังหวัดจันทบุรีที่มีการปลูกสละมากที่สุดในประเทศไทย ประมาณว่าในปี พ.ศ. 2539 มีพื้นที่การประมาณ 4,000 ไร่ ส่วนจังหวัดอื่นๆที่มีการปลูกเป็นการค้าได้แก่ จังหวัดตราดและระยอง (รมย์รัฐ, 2542)

ในปี 2539 สละมีมูลค่าถึง 180-250 บาทต่อกิโลกรัม แต่ปัจจุบันราคาของสละลดลงเหลือ 35-80 บาทต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มว่าราคาจะลดลงอีกในอนาคตดังเช่นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ ที่มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นมากเกินความต้องการของผู้บริโภค (วรัญญา, 2545) ดังนั้นการแปรรูปน้ำสละจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อป้องกันปัญหาสละล้นตลาดและช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้ โดยมีขั้นตอนในการแปรรูปที่สำคัญคือ การปอกเปลือกด้วยมือ การแยกเนื้อออกจากเมล็ด และการตีปั่นเนื้อสละ ซึ่งในปัจจุบันขั้นตอนการแยกเนื้อออกจากเมล็ดยังไม่มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี โดยปัจจุบันทำการแปรรูปโดยการใช้มีดฝานเนื้อออกจากเมล็ดด้วยแรงงานคน (สุพจน์, 2546) จากนั้นจึงปั่นเนื้อสละสดด้วยเครื่องปั่นผลไม้ และกรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง (วรัญญา, 2545) การผลิตส่วนใหญ่เป็นการผลิตในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งขั้นตอนส่วนใหญ่ยังต้องอาศัยแรงงานคนอยู่ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องแยกเนื้อสละเพื่อให้ได้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพเพื่อรองรับผลผลิตที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องต้นแบบเพื่อการแยกเนื้อผลสละ

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของสละ

สละหรือสะละ (Sala, *Salacca* sp.) เป็นพืชในสกุลระกำ (*Salacca* spp.) (วรัญญา, 2545) อยู่ในวงศ์ Palmae Subfamily Salacca พบได้ตั้งแต่ทางตอนใต้ของมณฑลยูนนาน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ประเทศไทย ทางตอนใต้ของพม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ชนิดที่น่าสนใจและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่

1. *Salacca rumphii* Wall. (*Salacca wallichiana* Mart.) มีชื่อเรียกภาษาไทยว่า ระกำ และสละ
2. *Salacca edulis* Reinw. (*Salacca zalacca* (Gaertn,Vos)) มีชื่อเรียกภาษาไทยว่า สะลัก
3. *Eleiodoxa conferta* (Grith) Burr. (*Salacca conferta* Griff.) มีชื่อเรียกภาษาไทยว่า ส้มหลุมพี, กะหลุมพี, หลุมพี, กลูบี, ลูบี, กุมพี และลูกพี

ชื่อเรียกพืช 3 ชนิดดังกล่าวนี้ ภาษาอังกฤษมีได้หลายชื่อ เช่น *Salacca*, Snake fruit ใช้เรียกชื่อรวมของพืชทั้ง 3 ชนิด *Rakum* ใช้เรียกระกำ *Sala* หรือ *Sla* ใช้เรียกสละ ส่วนสะลัก (*Salak*) นั้นใช้เรียกชื่อสละของอินโดนีเซีย (สุพจน์, 2546)

สละ (ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน) เป็นชื่อต้นไม้ชนิดหนึ่งเหมือนระกำแต่ผลมีรสหวาน คำแปลนี้ทำให้ตีความได้ว่าถ้าต้นไม้ชนิดเดียวกันนี้ ถ้ารสไม่หวาน จะจัดหรือเปรี้ยวก็ตาม เรียกว่า ระกำ คำว่า สละ ในความหมายนี้ไม่ใช่ภาษาไทยเป็นคำที่เอามาจากภาษาอินโดนีเซียว่า สะลัก (SALAK) หมายถึง ต้นไม้คล้ายระกำ รสหวาน เนื้อกรอบ การเอารสหวานของสละอินโดนีเซีย หรือสละชวา มาใช้จำแนกว่า ระกำเปรี้ยวเรียกว่า ระกำ ระกำหวานเรียกว่า สละ เช่นนี้ทำให้เข้าใจว่าคนไทยจำนวนน้อยมากที่รู้จักสละของไทยเราเอง และทำให้คำว่าสละมีความหมายสับสน (ศูนย์วิจัยพืชสวนพริ้ว, 2547)

สายพันธุ์สละที่น่าสนใจมีอยู่ 3 พันธุ์ คือ

1. พันธุ์เนินวง

พันธุ์เนินวงเป็นพันธุ์สละที่นิยมปลูกมากที่สุด เนื่องจากผลมีรสชาติดี และให้ผลผลิตเร็ว และดี (สุพจน์, 2546) ขนาดตะโพกหรือลำต้นเล็กกว่าระกำ (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ทอดอยู่ใต้ดินหรือบนผิวดิน ขึ้นเป็นกอกคล้ายระกำ แต่ไม่แน่นเท่ากอระกำ (สุพจน์, 2546) บริเวณกาบใบมีสีน้ำตาลทอง (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ใบมีสีเขียวเข้ม ปลายใบยาว อ่อนนุ่มกว่าระกำ (สุพจน์, 2546) หนามของยอดที่ยังไม่คลี่มีสีขาว (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ทางใบมีหนามมาก หนามยาวแหลมคม ผลมีรูปร่างยาว หัวท้ายเรียวกคล้ายกระสวย ผลอ่อนเปลือกผลมีสีน้ำตาลไหม้ แต่เมื่อผลแก่สุกเปลือกคล้ำกว่าสีเปลือกสละหม้อคือเป็นสีน้ำตาลแดง หนามผลยาว อ่อนนุ่ม ปลายหนามงอนไปทางท้ายผล (สุพจน์, 2546) เนื้อมีสีเหลืองนวลคล้ายน้ำผึ้ง หนานุ่ม รสชาติหวานหรือหวานอมเปรี้ยว รับประทานแล้วรู้สึกชุ่มคอ มีกลิ่นหอม (กรมวิชาการเกษตร, 2547) เมล็ดเล็กใกล้เคียงกับเมล็ดมะขาม เจริญเติบโตได้ดีทั้งบนที่ดอนและที่ลุ่ม (สุพจน์, 2546) ในปี 2541 เฉพาะของสมาชิกชมรมผู้ปลูกสละปลูกอยู่จำนวน 207,483 กอ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2. พันธุ์หม้อ

พันธุ์หม้อเป็นพันธุ์ที่มีชื่อเสียงในด้านให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีพันธุ์หนึ่ง (สุพจน์, 2546) ขนาดตะโพกหรือลำต้นเล็ก และใบมีสีเขียวเข้มกว่าพันธุ์เนินวง ข้อทางใบถี่ สั้น หนามยาวเล็ก และอ่อนกว่าพันธุ์เนินวง ช่อดอกยาว ติดผลง่ายกว่าพันธุ์เนินวง (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ผลทรงรูปไข่ ขั้วแหลมคล้ายระกำแต่หนามที่เปลือกสั้นมาก (สุพจน์, 2546) ผลยาวกว่าระกำ ก้นผลเป็นจะงอย (วรวิญญา, 2545) เปลือกผลสีแดงเข้ม เนื้อสีน้ำตาลมีลาย เนื้อหนาแต่ไม่แน่น รสชาติหวาน มีกลิ่นเฉพาะ เมล็ดเล็ก ทนต่อสภาพแสงแดดจัดได้ดีกว่าพันธุ์เนินวง (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

3. พันธุ์สุมาลี

พันธุ์สุมาลีเป็นพันธุ์ใหม่ ลักษณะลำต้นคล้ายระกำ ทางใบยาวมีสีเขียวอมเหลือง ใบใหญ่กว้างและปลายใบสั้นกว่าพันธุ์เนินวง หนามของยอดอ่อนที่ยังไม่คลี่มีสีส้มอ่อน กานดอกยาว ช่อดอกใหญ่ ติดผลง่าย ผลมีรูปร่างป้อมสั้น สีเนื้อคล้ายสละเนินวง เนื้อหนากว่าระกำแต่บางกว่าพันธุ์

เนินวง รสชาติหวาน มีกลิ่นเฉพาะ เจริญเติบโตเร็วและทนต่อสภาพแสงแดดจัดได้ดีกว่าพันธุ์เนินวง (กรมวิชาการเกษตร, 2547)



ภาพที่ 1 ต้นและผลสด

ที่มา: รัชฎฐิติ (2547)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบลักษณะประจำพันธุ์ของสด

พันธุ์	เนินวง	หม้อ	สุมาลี
ลำต้นและหนาม	เล็กกว่าระกำ	เล็กกว่าพันธุ์เนินวง	ใหญ่กว่าระกำ
หนามของยอดอ่อน	หนามยังไม่คลี่มีสีขาว	หนามยาวเล็กกว่าและอ่อนกว่าพันธุ์เนินวง	หนามยังไม่คลี่มีสีส้มอ่อน
ใบ	ทางใบยาว กาบใบมีสีน้ำตาลทอง	ข้อทางใบสั้น ใบเข้มกว่าพันธุ์เนินวง	ทางใบยาว กาบใบมีสีเหลือง
ดอก	ช่อดอกยาว	ช่อดอกยาว	ช่อดอกยาวใหญ่
รูปร่างผล	ยาวหัวท้ายเรียวคล้ายกระสวย	คล้ายระกำ	ป้อมสั้น
เนื้อ	สีเหลืองนวลคล้ายน้ำผึ้ง เนื้อหนาและแน่น	สีน้ำตาลมีลาย เนื้อหนาแต่ไม่แน่น	สีเนื้อคล้ายพันธุ์เนินวง เนื้อหนากว่าระกำแต่บางกว่าพันธุ์เนินวง
เมล็ด	เล็ก	เล็ก	เล็ก
รสชาติ	หวานหรือหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอม	หวาน มีกลิ่นเฉพาะ	หวาน มีกลิ่นเฉพาะ
การเจริญเติบโต	ไม่ทนแดด	ทนแดด	โตเร็ว ทนแดด

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

การแยกน้ำสละในปัจจุบัน

ในการแปรรูปน้ำสละนั้น จะประกอบด้วยกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้

1. ปอกเปลือกที่มีหนามของสละออก โดยใช้มีดหั่นนิ้วแม่มือบิดเปลือกออก แล้วหมุนเปลือกไปทางขวา จากนั้นจึงดันเปลือกออก (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การปอกเปลือกผลสละ

2. การแยกเนื้อ โดยใช้มีดฝานเนื้อออกจากเมล็ด (สุพจน์, 2546) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การแยกเนื้อโดยใช้มีดฝานเนื้อออกจากเมล็ด

3. ปั่นเนื้อสละสดที่ได้จากการแยกเนื้อด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ แล้วกรองเอากากออก (วรัญญา, 2545) (ภาพที่ 4 และ 5)



ภาพที่ 4 การปั่นเนื้อสละสดที่ได้ด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้

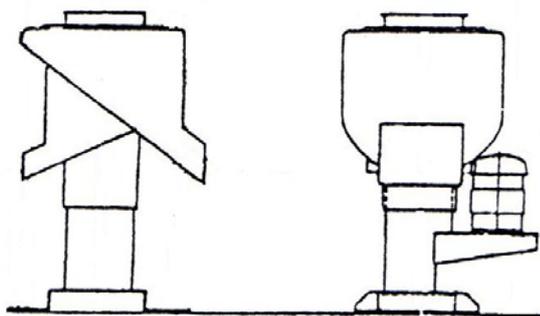


ภาพที่ 5 การกรองแยกกากด้วยผ้าขาวบาง

การทำงานของเครื่องแยกเนื้อแบบต่างๆ

1. เครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

Luh (1971a: 302-346, 1971b: 302-346); Jagtiani *et al.* (1988d, 1988e) ได้อธิบายถึงเครื่อง Centrifugal extractor ซึ่งใช้ในฮาวายว่าใช้ในการแยก Sac และเนื้อออกจากเปลือกของผลเสาวรศ โดยเครื่องนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตะกร้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.75 นิ้ว ผนังของตะกร้าทำมุมเอียง 16° และเจาะรูขนาด 0.25 นิ้วไว้รอบตะกร้า แต่ละรูห่างกัน 0.625 นิ้ว มีใบกวาดซึ่งมีรัศมี 0.75 นิ้ว จำนวน 4 ใบ ด้านหน้าใบกวาดติดตั้งด้วย Neoprene ตัวใบกวาดถูกเชื่อมติดกับผนังซึ่งทำให้ตะกร้าแบ่งออกเป็น 4 ช่อง ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่าผลเสาวรศที่ถูกตัดหมุนด้วยความเร็วรอบเดียวกับตะกร้า (800 รอบ/นาที) (Jagtiani *et al.*, 1988d, 1988e) แรงหนีศูนย์กลางขนาด $175 \times g$ ถูกกำหนดให้เป็นแรงที่เหมาะสมสำหรับแยกเมล็ดและเนื้อให้ออกไปทางรูของตะกร้า (Luh, 1971a: 302-346, 1971b: 302-346, 1971c: 302-346; Jagtiani *et al.*, 1988d, 1988e; Sheu and Wu, 1996d: 387-417; Wei *et al.*, 2005d: 679-705) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูขนาด 0.033 นิ้ว และใช้ตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 60-80 mesh ในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อแยกเศษเมล็ดที่แตกหักออก (Luh, 1971a: 302-346) ในขณะที่เปลือกจะเลื่อนไกลขึ้นไปตามผนังเอียงของตะกร้าและออกจากเครื่องเหวี่ยงไปยังสายพานลำเลียงของเสีย (Luh, 1971a: 302-346, 1971b: 302-346, 1971c: 302-346; Jagtiani *et al.*, 1988d, 1988e; Sheu and Wu, 1996d: 387-417; Wei *et al.*, 2005d: 679-705) เครื่อง Centrifugal extractor นี้มีกำลังผลิต 1,700 กิโลกรัม/ชั่วโมง (Sheu and Wu, 1996d: 387-417) และมีประสิทธิภาพการแยกถึง 94 % (Luh, 1971a: 302-346, 1971b: 302-346, 1971c: 302-346; Jagtiani *et al.*, 1988d, 1988e; Sheu and Wu, 1996d: 387-417) จะเห็นว่าหากเทียบประสิทธิภาพการแยกน้ำเสาวรศกับเครื่องแยกน้ำเสาวรศแบบชาญชัยและคณะ (2533) แล้วจะเห็นว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าค่อนข้างมาก แต่เครื่องนี้มีข้อเสียคือ เมล็ดบางส่วนจะถูกตัดในขั้นตอนของการตัด ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตะแกรงที่ละเอียดในเครื่อง Finisher (Jagtiani *et al.*, 1988d, 1988e) และมีกลิ่นของเปลือกถูกสกัดปนไปกับน้ำเสาวรศด้วย (Jagtiani *et al.*, 1988d, 1988e; Sheu and Wu, 1996d: 387-417)



ภาพที่ 6 เครื่อง Centrifugal extractor

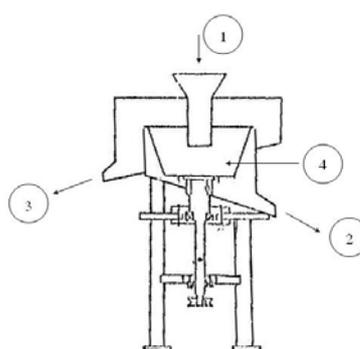
ที่มา: Jagtiani *et al.* (1988a)

Jagtiani *et al.* (1988a) ได้อธิบายวิธีการแยกเนื้อมะม่วงว่า ในประเทศเปอร์โตริโกใช้เครื่อง Pulper ซึ่งติดตั้งกับขนแปรงในล่อนหมุนที่ความเร็ว 650 รอบ/นาที เพื่อใช้แยกเนื้อจากเปลือกและเมล็ด ซึ่งรูตะแกรงมีขนาด 0.060 นิ้ว

Jagtiani *et al.* (1988c) ได้อธิบายวิธีการแยกน้ำเสาวรสออกจากเมล็ดและเนื้อโดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเนื้อจะถูกผ่านเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาดซึ่งติดตั้งบนแปรงในล่อนและตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีรูขนาด 0.033 นิ้ว ขั้นตอนต่อมาเนื้อและน้ำจะเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาดซึ่งติดตั้งพร้อมกับใบมีดยางและตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 60 mesh เพื่อแยกเศษเมล็ดที่แตกหักออก

Rudledge (1996: 70-96); Sheu and Wu (1996b: 387-417) ได้อธิบายถึงการแยกเนื้อมะม่วงออกจากผลที่ปอกเปลือกแล้วโดยเมล็ดไม่แตกหักด้วยเครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาด (Rudledge, 1996: 70-96; Sheu and Wu, 1996b: 387-417; Wei *et al.*, 2005b: 679-705) โดยตัวเครื่องประกอบด้วย เมล็ด เศษเปลือกที่ตกค้าง และเส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะถูกแยกจากเนื้อที่มีสภาพกึ่งของเหลวโดยการหมุนเหวี่ยง หรือโดยการกดอัดให้ผ่านไปบนชุดตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.8, 0.6 และ 0.5 มิลลิเมตร การเพิ่มใช้งานตะแกรงสุดท้ายซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร (Sheu and Wu, 1996b: 387-417; Wei *et al.*, 2005b: 679-705) เพื่อแยกเศษเส้นใย (Rudledge, 1996: 70-96; Sheu and Wu, 1996b: 387-417; Wei *et al.*, 2005b: 679-705) ซึ่งช่วยทำให้เนื้อมีความละเอียดขึ้นซึ่งง่ายต่อการให้ความร้อน (Sheu and Wu, 1996b: 387-417; Wei *et al.*, 2005b: 679-705)

ชาญชัย และคณะ (2533) ได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำเสาวรสีในการแยกเปลือกออกจาก Sac และรกโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในแนวตั้ง (Centrifugal extractor) ผลเสาวรสีที่ผ่านการตัดฝักร้างผลแล้ว จะถูกป้อนเข้าทางหมายเลข 1 ซึ่งผลจะตกสู่ตะกร้าหมุนรูปกรวยหมายเลข 4 ซึ่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตรไว้รอบตะกร้า น้ำและเมล็ดจะถูกแยกออกจากเปลือกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางผ่านออกทางรูรอบตะกร้า นั้น แล้วจะเคลื่อนที่ออกทางหมายเลข 2 ส่วนเปลือกจะเคลื่อนที่วิ่งขึ้นไปตามผนังตะกร้าโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยจะเคลื่อนที่ออกทางหมายเลข 3 เครื่องสกัดน้ำเสาวรสีนี้มีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อและเมล็ดออกจากเปลือกได้ประมาณร้อยละ 35-41



ภาพที่ 7 เครื่องสกัดน้ำเสาวรสีแบบชาญชัย และคณะ (2533)

ที่มา: ชาญชัย และคณะ (2533)

Tansakul (1990); Noomhorm and Tansakul (1992) ได้ศึกษาถึงขนาดรูตะแกรงและความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ซึ่งมีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมะเขือเทศ โดย Luh and Kean (1988) ได้อธิบายถึงเครื่อง Pulper-Finisher ว่าประกอบด้วยตะแกรงละเอียดรูปทรงกระบอกแนวนอนทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ภายในมีใบกวาดขนาดใหญ่ซึ่งสามารถหมุนได้เร็ว สามารถแยกเนื้อได้โดยทำให้เนื้อที่ละเอียดผ่านสู่รูตะแกรงโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ส่วนเปลือก, เมล็ด, เส้นใย และส่วนอื่นๆจะถูกส่งออกไปทางด้านท้ายของเครื่อง Tansakul (1990); Noomhorm and Tansakul (1992) ได้ออกแบบการทดลองโดยใช้ตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร หมุนด้วยความเร็ว 100, 300, 500 และ 700 รอบต่อนาที (Noomhorm and Tansakul, 1992) จากการทดลองพบว่า ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 43.90 เปอร์เซ็นต์เป็น 47.53 เปอร์เซ็นต์ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และเพิ่มจาก 72.53 เปอร์เซ็นต์เป็น 78.17 เปอร์เซ็นต์ที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาทีเมื่อเพิ่มขนาดของรูตะแกรงจาก 0.5

มิลลิเมตรเป็น 1.5 มิลลิเมตร (Tansakul, 1990) สรุปได้ว่าเมื่อใช้ขนาดของรูตะแกรงที่ใหญ่ขึ้น นอกจากส่วนของเนื้อมะเขือเทศที่ผ่านรูตะแกรงมาแล้วยังมีส่วนของเชรุ่มอีกด้วย ซึ่งมีผลทำให้ ปริมาณผลผลิตของน้ำมะเขือเทศสูงขึ้น (Tansakul, 1990; Noomhorm and Tansakul, 1992) และ จากการทดลอง ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 43.90 เปอร์เซ็นต์เป็น 72.53 เปอร์เซ็นต์ที่รูตะแกรง ขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพิ่มจาก 46.47 เปอร์เซ็นต์เป็น 73.57 เปอร์เซ็นต์ที่รูตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร และเพิ่มจาก 47.53 เปอร์เซ็นต์เป็น 78.17 เปอร์เซ็นต์ที่รูตะแกรงขนาด 1.5 มิลลิเมตร เมื่อ ความเร็วค้อยากถูกเพิ่มจาก 100, 300, 500 และ 700 รอบต่อนาที สรุปได้ว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบของ เครื่องสูงขึ้นมีผลทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากขึ้น ทำให้น้ำมะเขือเทศและเชรุ่มผ่านรูตะแกรง ได้มากขึ้นในทุกขนาดของรูตะแกรง ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณของผลผลิตที่สูงที่สุด อยู่ที่ขนาดของรูตะแกรงที่ใหญ่ที่สุด และความเร็วรอบที่สูงที่สุดที่ใช้ในการทดลองคือ ขนาดรู 1.5 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที (Noomhorm and Tansakul, 1992) นอกจากนี้ Tansakul (1990); Noomhorm and Tansakul (1992) ยังได้ทดลองปรับปรุงระบบกลไกการทำงานของ เครื่อง Pulper-Finisher เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ได้ปริมาณผลผลิตมากขึ้น โดยการ ปรับปรุงใบกวาด จำนวนของใบกวาดถูกเพิ่มจาก 2 ใบเป็น 3 ใบ และได้ปรับปรุงระยะห่างระหว่าง ใบกวาดให้แคบลงจากเดิมทำมุมระหว่างกัน 180° เหลือ 120° (Tansakul, 1990) เพื่อให้การ เคลื่อนที่ของมะเขือเทศราบรื่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Tansakul, 1990; Noomhorm and Tansakul, 1992) และทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่อยู่กับที่นานเกินไป การปรับช่องว่างระหว่างใบกวาดและ ตะแกรง และมุมโค้งของใบกวาดนั้นมีผลช่วยให้ทำงานได้ดีขึ้น ใบกวาดจะขับเคลื่อนมะเขือเทศที่ถูก ตัดแล้วไปตามพื้นผิวภายในของรูตะแกรงที่อยู่โดยรอบทั้งทิศทางตามแนวรัศมีและตามแนวแกน และส่งแรงเพื่อใช้ในการแยกเนื้อและน้ำผ่านรูตะแกรง ส่วนเมล็ดและเปลือกจะยังอยู่ภายในและถูก ขับดันออกทางด้านท้ายของเครื่อง (Tansakul, 1990) จากการทดลองสรุปได้ว่า การเพิ่มจำนวนของ ใบกวาดนั้นมีผลทำให้ใบกวาดสามารถช่วยดันผลิตภัณฑ์ให้สามารถรอดผ่านรูตะแกรงได้มากขึ้น จาก 78.17 เปอร์เซ็นต์เป็น 80.9 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดรู 1.5 มิลลิเมตรและความเร็วรอบ 700 รอบต่อ นาที (Noomhorm and Tansakul, 1992)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่อง Pulper-Finisher ก่อนและหลังการปรับปรุงเพิ่มจำนวนใบกวาดจาก 2 ใบเป็น 3 ใบ

ความเร็วรอบ (rpm)	ขนาดครู่ตะแกรง (mm)	ปริมาณผลผลิต (%)					
		ก่อนปรับปรุง			หลังปรับปรุง		
		0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
100		43.9	46.4	47.5	44.3	46.9	47.6
300		63.8	65.3	67.7	66.0	67.1	67.7
500		67.2	68.6	68.9	76.3	76.6	76.7
700		72.5	73.5	78.1	78.2	79.8	80.9

ที่มา: Noomhorm and Tansakul (1992)



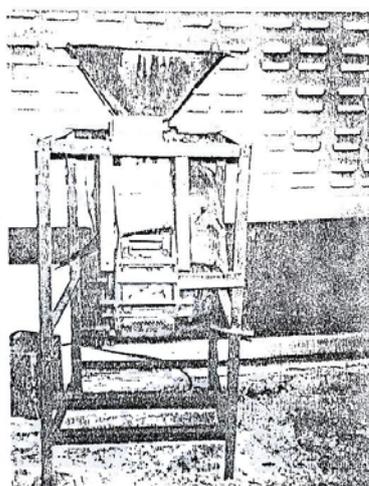
ภาพที่ 8 เครื่อง Pulper-Finisher แบบมีใบกวาด 2 ใบ

ที่มา: Jorgensen Engineering a/s (2005)

Sheu and Wu (1996a: 387-417); Wei *et al.* (2005a: 679-705) ได้อธิบายการแยกเมล็ดออกจากเนื้อและน้ำเสาวรศโดยการใช้เครื่อง Pulper-Finisher โดยการป้อนเนื้อที่ยังมีเมล็ดอยู่เข้าสู่เครื่องซึ่งติดตั้งขนแปรงไว้เพื่อทำให้ Sac ของเสาวรศที่ยังไม่แตกนั้นแตก และใช้ตะแกรงที่มีรูขนาดระหว่าง 0.3 ถึง 0.8 มิลลิเมตรเพื่อแยกวัตถุดิบปลอมปนออก (Sheu and Wu, 1996a: 387-417; Wei *et al.*, 2005a: 679-705) โดยสามารถแยกน้ำได้ 25-30% (Wei *et al.*, 2005a: 679-705)

2. เครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงกระแทก

โครงการหลวง อ.แม่จัน จ.เชียงราย ได้ทำเครื่องแยกน้ำเสาวรสที่ใช้หลักการของใบกวาดหมุนตี ผลเสาวรสที่ผ่านการตัดฝ่าครั้งแล้วจะถูกป้อนเข้าเครื่องทางด้านบน และถูกตีด้วยใบกวาดเพื่อแยกให้น้ำและเมล็ดแยกออกจากเปลือก ซึ่งมีชุดใบกวาดอยู่ 2 ชุดด้วยกัน โดยใบกวาดที่ใช้ในการแยกน้ำเสาวรสชุดแรกจะอยู่ด้านบนใบกวาดชุดที่ 2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำเสาวรสจากการตีด้วยใบกวาด 2 รอบ น้ำและเมล็ดที่ผ่านจากการแยกแล้วจะตกลงสู่ตะแกรงเพื่อกรองเอาเฉพาะน้ำ ส่วนเปลือกของผลเสาวรสจะถูกลำเลียงตกลงมาทางด้านหน้าของเครื่อง แต่จากการผลิตพบว่าประสิทธิภาพและกำลังการผลิตของเครื่องยังไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งเครื่องยังแยกน้ำและเมล็ดได้ไม่ดี (ชาญชัย และคณะ, 2533)



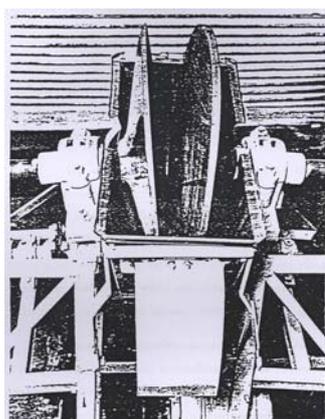
ภาพที่ 9 เครื่องสไลด์น้ำเสาวรสแบบโครงการหลวง อ.แม่จัน จ.เชียงราย (2533)

ที่มา: ชาญชัย และคณะ (2533)

3. เครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงบีบ

Jagtiani *et al.* (1988c, 1988g) ได้อธิบายถึงเครื่อง Converging cone extractor ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายในประเทศออสเตรเลียว่าประกอบด้วยแผ่นเหล็กซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปกรวยตื้นๆ ซึ่งหมุนได้จำนวน 2 แผ่น (Luh, 1971d: 302-346; Jagtiani *et al.*, 1988c, 1988g; Rutledge, 1996: 70-96; Sheu and Wu, 1996c: 387-417; Wei *et al.*, 2005c: 679-705) หันหน้าเข้าหากัน (Sheu and Wu, 1996c: 387-417; Wei *et al.*, 2005c: 679-705) ถูกติดตั้งให้ด้านล่างเบนเข้าหากัน ซึ่งทำให้เกิด

ช่องว่างกว้างที่ด้านบนสุดและตัวหนีบที่ด้านล่างสุด ผลเสาวรสจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องที่ด้านบนสุด และถูกลำเลียงลงมาจนกระทั่งถูกบีบที่ตัวหนีบ (Jagtiani *et al.*, 1988c, 1988g; Sheu and Wu, 1996c: 387-417; Wei *et al.*, 2005c: 679-705) ซึ่งเปลือกจะระเบิดแตกออกในขณะที่ส่วนกรวยหมุนไปทางด้านล่างของเครื่องมีผลทำให้ช่องว่างนั้นลดลงตามความหนาของเปลือกของเสาวรส (Rutledge, 1996: 70-96) เนื้อและเมล็ดจะถูกขับออกจากผลเสาวรสและหล่นลงระหว่างกรวยลงสู่ตะแกรงเขย่าหยาบๆซึ่งมีช่องขนาด 6.3 มิลลิเมตร เพื่อแยกเปลือก เมล็ด และเศษต่างๆ (Jagtiani *et al.*, 1988c; Sheu and Wu, 1996c: 387-417; Wei *et al.*, 2005c: 679-705) ส่วนเปลือกจะถูกลำเลียงเข้าไปในกรวยและแยกทิ้งออก (Jagtiani *et al.*, 1988c; Rutledge, 1996: 70-96; Sheu and Wu, 1996c: 387-417; Wei *et al.*, 2005c: 679-705) Casmir (1974) ได้พัฒนาการทำงานของเครื่อง Converging cone extractor ให้สามารถแยกผลผลิตได้ 83.7% ของผลผลิตที่เป็นไปได้ ซึ่งมีกำลังผลิต 500 กิโลกรัม/ชั่วโมง (Jagtiani *et al.*, 1988b; Sheu and Wu, 1996c: 387-417)



ภาพที่ 10 เครื่อง Converging cone extractor

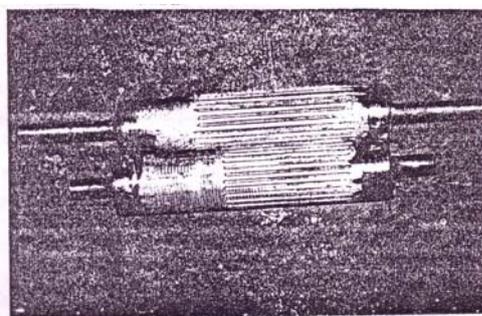
ที่มา: Rutledge (1996)

Brekke *et al.* (1975) ได้อธิบายวิธีการแยกเนื้อมะม่วงที่ปอกเปลือกและยังไม่ได้ปอกเปลือก ในการแยกเนื้อมะม่วงที่ปอกเปลือกแล้ว เริ่มจากการตัดส่วนแก้มของมะม่วงออกก่อน (ผ่าครึ่ง) และส่งผ่านเข้าเครื่องบดตัด (Cutting mill) และเครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาดเพื่อแยกเศษเปลือกจากเนื้อที่ถูกบด โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีรูขนาด 0.033 นิ้ว ซึ่งวิธีนี้อาจยังเหลือเศษเปลือกชิ้นเล็กๆอยู่ในเนื้อบ้างเล็กน้อย ส่วนวิธีการแยกเนื้อของมะม่วงที่ยังมีเปลือกอยู่นั้น จะเริ่มจากตัดส่วนแก้มของมะม่วงออกและวางเข้าสู่เครื่องขูดแบบหมุน (Rotary scraper) เพื่อแยกเปลือก ต่อจากนั้นเนื้อจะถูกผ่านเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อต่อไป

S.A. Bertuzzi ได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำเสาวรซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเครื่องสกัดน้ำส้มในเมืองมิลาน (Sheu and Wu, 1996a: 387-417; Wei *et al.*, 2005a: 679-705) ประเทศอิตาลี เรียกว่าเครื่อง Passypress (Jagtiani *et al.*, 1988c) ซึ่งมีหลักการทำงานโดยอาศัยแรงบีบเหมือนกับเครื่อง Converging-cone extractor ผลเสาวรจะถูกบีบระหว่างลูกกลิ้ง 2 ลูก ซึ่งลูกแรกจะมียางหุ้มไว้ (Jagtiani *et al.*, 1988c; Sheu and Wu, 1996a: 387-417; Wei *et al.*, 2005a: 679-705) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของแรงบีบอัดและป้องกันเมล็ดจากการแตกหัก ส่วนอีกลูกจะมีฟันซึ่งทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อช่วยในการจับผล โดยจะมี Diaphragm เป็นอุปกรณ์ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นลงเพื่อให้แน่ใจว่าผลเสาวรจะเข้าไปอยู่ระหว่างลูกกลิ้งเพื่อทำให้เปลือกฉีกขาด (Sheu and Wu, 1996a: 387-417; Wei *et al.*, 2005a: 679-705) ลูกกลิ้งที่มีฟันจะกดผลที่แตกหักแล้วกับตะแกรงซึ่งจะทำให้เนื้อไหลออกมา โดยเครื่องสกัดชนิดนี้มีกำลังผลิตประมาณ 1-4 ตัน/ชั่วโมง (Jagtiani *et al.*, 1988c; Sheu and Wu, 1996a: 387-417; Wei *et al.*, 2005a: 679-705) ประสิทธิภาพของการสกัดประมาณ 83% (Sheu and Wu, 1996a: 387-417)

สุทธิชัย (2531) ได้ออกแบบเครื่องแยกเนื้อมะม่วงโดยให้แรงกดบีบกระทำกับชิ้นแก้วและชิ้นเมล็ดของมะม่วง โดยใช้คนป้อนครั้งละ 1 ผล เมื่อผ่านการรีดแล้ว ชิ้นเปลือกและชิ้นเนื้อจะตกลงสู่ภาชนะรองรับด้วยน้ำหนักของตัวเอง ซึ่งได้ทดลองสร้างจากวัสดุ 2 ชนิดคือ

1. ลูกกลิ้งเหล็ก ซึ่งทำจากเหล็กกลวง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.375 นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.25 นิ้ว โดยที่ผิวลูกกลิ้งเหล็กจะทำเป็นร่องตามความยาวของลูกกลิ้ง ขนาดร่องกว้าง 3 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างร่อง 3 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร ยาวตลอดความยาวของท่อเหล็ก ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลูกกลิ้งเหล็กของเครื่องแยกเนื้อมะม่วงแบบสุทธิชัย (2531)
ที่มา: สุทธิชัย (2531)

2. ลูกกลิ้งยาง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 ลูกกลิ้งยางชั้นเดียว ซึ่งผิวของลูกกลิ้งทำจากยาง ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องลูกฟูก ใช้สำหรับรีดชิ้นส่วนของแก้มหลังการปาดออกจากผล

2.2 ลูกกลิ้งยางหลายชั้น ซึ่งผิวของลูกกลิ้งเสริมยางอ่อนให้หนาขึ้นกว่าลูกกลิ้งยางชั้นเดียว แต่ลักษณะของผิวเหมือนกัน กล่าวคือ มีลักษณะเป็นร่องลูกฟูก ใช้สำหรับรีดส่วนของเมล็ดที่มีเนื้อติดหลังจากปาดเอาชิ้นแก้มออกแล้ว

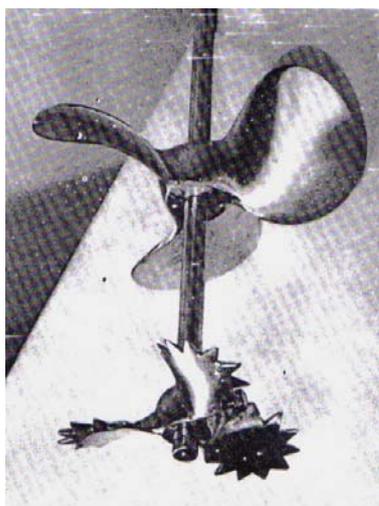
จากนั้นได้ทดลองแยกเนื้อมะม่วง โดยเริ่มจากการคัดระยะการสุกของมะม่วงแก่จัดสีเขียว แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะการสุกหนึ่งในสี่, หนึ่งในสอง และสามในสี่ตามลำดับ และได้ทดลองแยกเนื้อออกจากส่วนแก้มของมะม่วงโดยใช้คน, ลูกกลิ้งเหล็ก และลูกกลิ้งยางชั้นเดียว โดยทดลองแยกเนื้อกับมะม่วงทั้ง 3 ระยะการสุก ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ใช้ในการทดลองมีค่า 0 และ 1 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าคนปอกมีสัดส่วนการแยกเนื้อออกจากชิ้นแก้มสูงสุดมีค่า 0.64 กับมะม่วงที่มีระยะการสุกหนึ่งในสี่, ลูกกลิ้งเหล็กมีสัดส่วนการแยกเนื้อออกจากชิ้นแก้มสูงสุดมีค่า 0.54 โดยใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร กับมะม่วงที่มีระยะการสุกหนึ่งในสอง และลูกกลิ้งยางชั้นเดียวมีสัดส่วนการแยกเนื้อออกจากชิ้นแก้มสูงสุดมีค่า 0.45 โดยใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0 มิลลิเมตร กับมะม่วงที่มีระยะการสุกหนึ่งในสี่ จากการทดลองสรุปได้ว่าลูกกลิ้งเหล็กมีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อออกจากชิ้นแก้มได้ดีกว่าลูกกลิ้งยางชั้นเดียว นอกจากนั้นยังได้ทำการทดลองแยกเนื้อออกจากชิ้นเมล็ดโดยใช้คน, ลูกกลิ้งเหล็ก และลูกกลิ้งยางหลายชั้น โดยทดลองแยกเนื้อกับมะม่วงทั้ง 3 ระยะการสุก ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ใช้ในการทดลองมีค่า 0 และ 5 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าคนปอกมีสัดส่วนการแยกเนื้อออกจากชิ้นเมล็ดสูงสุดมีค่า 0.65 กับมะม่วงที่มีระยะการสุกสามในสี่, ลูกกลิ้งยางหลายชั้นมีสัดส่วนการแยกเนื้อออกจากเมล็ดสูงสุดมีค่า 0.45 โดยใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0 มิลลิเมตร กับมะม่วงที่มีระยะการสุกสามในสี่ และลูกกลิ้งยางหลายชั้นมีสัดส่วนการแยกเนื้อออกจากเมล็ดสูงสุดมีค่า 0.35 โดยใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 5 มิลลิเมตร กับมะม่วงที่มีระยะการสุกสามในสี่ จากการทดลองสรุปได้ว่าลูกกลิ้งยางหลายชั้นที่ใช้ในการแยกเนื้อออกจากเมล็ดซึ่งใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อออกจากเมล็ดได้ดีกว่าลูกกลิ้งยางหลายชั้นที่ใช้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 5 มิลลิเมตร

4. เครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงเฉือนหรือแรงตัด

Jagtiani *et al.* (1988f) ได้อธิบายวิธีการแยกเนื้อมะม่วงในช่วงต้นทศวรรษ 1930 ได้แยกเนื้อมะม่วงด้วยเครื่องแยกเนื้อ (Pulper) ที่ Government Agricultural College เมือง Lyallpur ประเทศอินเดีย โดยป้อนมะม่วงเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อซึ่งจะเฉือนเนื้อมะม่วงออกตามแนวยาวเป็น 4 ส่วน ซึ่งเนื้อก็จะออกมาทับตะแกรงทรงกลม ส่วนแกนและกากที่เหลือก็จะหล่นลงในช่องตรงกลาง

Jagtiani *et al.* (1988g) ได้อธิบายถึงการปรับปรุงเครื่องเอาเมล็ดในของผลแอฟริคอตออก (Apricot-Pitting Machine) เพื่อใช้ในการแยกน้ำเสาวรศ โดยผลเสาวรศจะตกลงไปในแถวของหลุมครึ่งทรงกลมซึ่งจะทำหน้าที่ยึดจับ ต่อจากนั้นจะทำการแทงจากข้างใต้เพื่อตัดเปลือกออกตามแนวทแยง จากนั้นเครื่องสูบจะเคลื่อนลงมาบนผลเสาวรศ และขีบน้ำเสาวรศ เมล็ด และเนื้อออกไปทางรูด้านล่างของหลุม ในการทำขั้นตอนนี้ให้สมบูรณ์นั้น เครื่องสูบจะต้องเป่าจากด้านในเปลือกออกไป ซึ่งวิธีการนี้จะต้องมีการเตรียมการเพื่อให้มีการสัมผัสกับพื้นผิวในการตัดของเปลือกให้น้อยที่สุด เพราะก่อให้เกิดการปนเปื้อนกับเอนไซม์ในสีของเปลือกได้ ซึ่งสำคัญมากในการผลิตเสาวรศสีม่วง (Jagtiani *et al.*, 1988g) จากการศึกษาพบว่า แม้ว่าเครื่องเอาเมล็ดในของผลแอฟริคอตออกนี้จะมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำและเมล็ดออกจากเปลือกได้ดีก็ตาม แต่ว่ากำลังในการผลิตนั้นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเครื่อง Centrifugal extractor

Brekke *et al.* (1975) ได้แยกเนื้อมะม่วงด้วยเครื่องกวน (Power stirrer) ขนาด 0.25 แรงม้า 220 โวลต์ 3 เฟส และติดตั้งใบมีดฟันเลื่อยหมุนได้ โดยจะถูกติดตั้งให้อยู่ใต้ใบมีดปกติ 5-6 นิ้ว สามารถผลิตได้ 200 ปอนด์/ครั้ง ใบมีดหมุนที่ความเร็ว 350 รอบ/นาที ซึ่งสามารถทำการแยกส่วนของเนื้อ เปลือก และเมล็ด โดยเมล็ดไม่แตกหัก เปลือกที่ชิ้นใหญ่ และเมล็ดจะถูกแยกออกจากเนื้อด้วยเครื่อง Continuous centrifuge ซึ่ง Kinch (1959) ออกแบบเพื่อใช้ในการสกัดน้ำเสาวรศ เนื้อมะม่วงจะถูกผ่านเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาดโดยใช้ตะแกรงที่มีรูขนาด 0.033 นิ้ว เพื่อแยกวัตถุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและเปลือกของมะม่วงที่มีขนาดเล็กๆ อื่นๆ

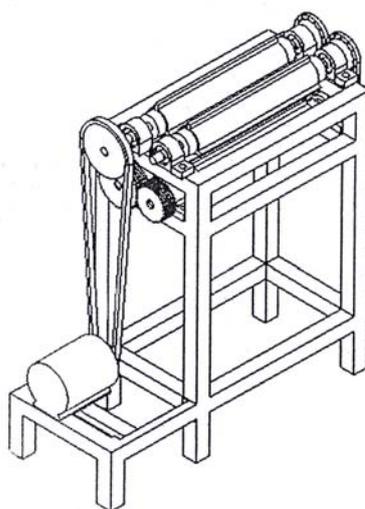


ภาพที่ 12 ไบมีดของเครื่องกวน

ที่มา: Brekke *et al.* (1975)

ขวัญชัย (2545) ได้พัฒนาเครื่องแยกเนื้อมะม่วงโดยอาศัยหลักการของการเหือน โดยออกแบบให้ไบมีดนั้นอยู่กับที่และใช้ลูกกลิ้งที่มีแรงเสียดทานที่ผิวมากมาดันผลมะม่วงเพื่อให้ไบมีดเหือนเนื้อออกไป ชุดลูกกลิ้งมีทั้งหมด 4 ชุด สร้างจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 60 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 57.5 มิลลิเมตร หุ้มด้วยพลาสติกหนา 5 มิลลิเมตร ที่ผิวโดยรอบท่อนั้นไม่เรียบเพื่อติดตั้งแท่งไม้ขนาดหน้าตัด 10×10 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตรไว้ ชุดละ 3 แท่ง และแต่ละแท่งนั้นจะมีลูมิเนียมรูปพื้นพลาสติกไว้เพื่อเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างลูกกลิ้งและมะม่วงในขณะที่ทำการแยกเนื้อ ที่ปลายท่อพีวีซีทั้งสองข้างฝังเหล็กตันขนาดพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อพีวีซี และต่อเพลานขนาด 0.375 นิ้ว ยื่นออกมาข้างละ 80 มิลลิเมตรเพื่อสวมเข้ากับแบริ่ง เฟือง และล้อสายพาน ส่วนไบมีดจะทำหน้าที่เหือนเนื้อมะม่วงออกจากแกน เพราะเนื้อมะม่วงนั้นมีเส้นใยอยู่มากจึงออกแบบให้ไบมีดเหือนทำจากเหล็กปลอดสนิมเพื่อป้องกันสนิมเนื่องจากไบมีดนั้นต้องสัมผัสกับความชื้นอยู่ตลอดเวลาในขณะที่แยกเนื้อมะม่วง โดยจะใช้ไบมีด 2 อัน ชุดส่งกำลังใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ขวัญชัย (2545) ได้ทดลองวัดความหนาของเมล็ดมะม่วง โดยสุ่มมะม่วงมา 9 กลุ่ม กลุ่มละประมาณ 1 กิโลกรัม พบว่ามีค่าเฉลี่ยความหนาของเมล็ดมะม่วง 10.78 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยความหนาของเมล็ดมะม่วงที่มีค่ามากที่สุดของแต่ละกลุ่มเท่ากับ 11.875 มิลลิเมตร ซึ่งขวัญชัย (2545) ได้นำค่าเฉลี่ยที่มากที่สุดนี้มาออกแบบเพื่อหาระยะห่างระหว่างไบมีดได้เท่ากับ 12 มิลลิเมตร และได้ทดลองแยกเนื้อมะม่วงที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ติดอยู่กับล้อสายพาน 5 ระดับคือ 40, 50, 60, 70 และ 80 รอบต่อนาที จากการทดลองสรุปได้ว่า

ความเร็วรอบที่ 40 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อดีที่สุดคือ 38.70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมะม่วงมีเวลาในการสัมผัสกับลูกกลิ้งนานที่สุดทำให้การบีบตัวของลูกกลิ้งที่กระทำต่อเนื้อมะม่วงเป็นไปอย่างทั่วถึง มีผลให้ง่ายต่อการเจียนของใบมีดและได้ปริมาณเนื้อมะม่วงที่มากกว่าความเร็วรอบที่สูงกว่านี้ แต่เมื่อใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า 40 rpm (ทดลองที่ 30 rpm) นั้น พบว่าเครื่องไม่สามารถดันผลมะม่วงให้ผ่านใบมีดได้ เนื่องจากเมื่อปรับความถี่ (f) ที่อินเวอร์เตอร์ให้ต่ำลงมีผลทำให้แรงดันที่จ่ายเข้าอินเวอร์เตอร์ลดลงด้วย



ภาพที่ 13 เครื่องแยกเนื้อมะม่วงแบบขั้วชัย (2545)

ที่มา: ขั้วชัย (2545)

ปัญหาในการแยกเนื้อสละ

จากการศึกษาถึงวิธีการที่ใช้ในการแยกเนื้อสละพบว่ายังไม่มีการพัฒนาเครื่องจักรที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ ซึ่งปัจจุบันยังต้องอาศัยแรงงานคนในการทำงานซึ่งให้กำลังในการผลิตต่ำ ไม่สามารถรองรับปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้นของตลาดได้ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาเครื่องแยกเนื้อสละเพื่อให้ได้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ และสามารถรองรับผลผลิตที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต เพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของสละ
 - 1.1 Vernier
 - 1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ซึ่งมีความละเอียดระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง
 - 1.3 เครื่อง Pulper-Finisher แบบแนวนอน
 - 1.4 อินเวอร์เตอร์
 - 1.5 Tachometer
 - 1.6 นาฬิกาจับเวลา

2. อุปกรณ์สำหรับการหาสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม
 - 2.1 แผ่นตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร
 - 2.2 ไม้โปรแทรกเตอร์

3. อุปกรณ์สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ
 - 3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ซึ่งมีความละเอียดระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง
 - 3.2 Tachometer
 - 3.3 อินเวอร์เตอร์
 - 3.4 เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

4. อุปกรณ์สำหรับการทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ
 - 4.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ซึ่งมีความละเอียดระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง

- 4.2 Tachometer
 - 4.3 อินเวอร์เตอร์
 - 4.4 เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ
 - 4.5 มิเตอร์สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า
 - 4.6 นาฬิกาจับเวลา
- 5. อุปกรณ์สำหรับการศึกษาคูณภาพของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ
 - 5.1 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical sieve shaker)
 - 5.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ซึ่งมีความละเอียดระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง
 - 5.3 บีกเกอร์
 - 5.4 กล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยาย 4 เท่า
 - 5.5 หลอดทดลอง
 - 5.6 นาฬิกาจับเวลา
 - 5.7 ไม้บรรทัด

วิธีการ

1. การออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละ

จากการศึกษาเครื่องแยกเนื้อแบบต่างๆ พบว่า เครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงกระแทก มีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสำหรับการใช้แยกเนื้อและน้ำของผลเสาวรสออกจากเปลือก หากนำเครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงกระแทก มาออกแบบสำหรับแยกเนื้อสละซึ่งเนื้อและเมล็ดยึดติดกันแน่น อาจทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละต่ำกว่าการใช้การแยกเนื้อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ส่วนการแยกเนื้อแบบใช้แรงบีบและแรงเฉือนนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากโดยหลักการทำงานของเครื่องแล้วมีโอกาที่จะทำให้เมล็ดของสละแตกก่อนข้างสูง ดังนั้นในการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละจึงออกแบบโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการแยกเนื้อสละ

จากการศึกษาเครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Kinch และ Shaw (1954), Boyle และคณะ (1955), Kinch (1959), Kinch (1960) และชาญชัย และคณะ (2533) ซึ่งเป็นเครื่อง

Centrifugal extractor แบบแนวตั้ง พบว่าหลักการทำงานของเครื่องที่ทำให้ตะกร้าหมุนนั้นทำให้มอเตอร์ต้องรับภาระมากขึ้น คือ น้ำหนักของตะกร้าหมุน, เพลลา และน้ำหนักของสละทำให้ต้องใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ นอกจากนั้น สมศักดิ์ (2537) ได้อธิบายถึงการไหลของวัสดุว่า ควรเป็นระบบที่ไม่วกวนหรือไหลย้อนกลับ ซึ่งเมื่อพิจารณาการทำงานเครื่อง Centrifugal extractor แบบแนวตั้งซึ่งมีการเคลื่อนที่ของผลเสาวรสซึ่งถูกป้อนทางด้านบนลงมาที่ตะกร้าหมุน แล้วเปลือกของผลเสาวรสที่ถูกแยกทิ้งมีทิศทางการเคลื่อนที่จากด้านล่างของตะกร้าขึ้นไปตามผนังเฉียงของตะกร้าจนออกไปที่ทางออกซึ่งมีลักษณะการไหลย้อนกลับ ทำให้ระบบควบคุมการผลิตมีความสับสน ทำให้การไหลในขบวนการผลิตไม่เป็นไปอย่างราบเรียบได้ ต่างจากเครื่องแยกเนื้อมะม่วงแบบ Askar (1986), Rudledge (1996), Sher และ Wu (1996b) และ Wei และคณะ (2005b) และเครื่องแยกเนื้อมะเขือเทศแบบ Tansakul (1990) และ Noomhorm และ Tansakul (1992) ซึ่งเป็นเครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแนวนอน มีการทำงานโดยใช้ใบกวาดหมุน ซึ่งแบบนี้มอเตอร์จะรับภาระเบากว่าแบบแนวตั้ง เนื่องจากน้ำหนักของใบกวาดมีน้ำหนักเบาว่าตะกร้าหมุน และการไหลของวัสดุมีทิศทางไม่วกวนหรือไหลย้อนกลับ

ด้วยเหตุผลข้างต้น และจากลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วงซึ่งมีลักษณะรูปร่างทางกายภาพที่ไม่สม่ำเสมอ คือ มีรูปร่างกลมรีไม่สมดุล (Mohsenin, 1980) และมีเมล็ดแข็งซึ่งคล้ายกับผลสละซึ่งมีรูปร่างกลมรีรูปไข่ไม่สมดุล (Mohsenin, 1980) และมีเมล็ดแข็งเหมือนกัน ดังนั้น ในการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละจึงเลือกออกแบบโดยใช้เครื่องแยกเนื้อแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแนวนอน (Pulper-Finisher)

การออกแบบและสร้างเครื่องแยกเนื้อสละนี้เป็นการปรับปรุงเครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาด (Paddle pulper) แบบ Luh และ Kean (1988), เครื่องแยกเนื้อแบบใบกวาดที่ใช้ในการแยกเนื้อมะม่วงแบบ Askar (1986) และ Rudledge (1996) และเครื่องแยกเนื้อและน้ำมะเขือเทศแบบ Tansakul (1990) และ Noomhorm และ Tansakul (1992) จากการศึกษาการแยกเนื้อและน้ำมะเขือเทศแบบ Tansakul (1990) และ Noomhorm และ Tansakul (1992) ทราบว่าจำนวนของใบกวาดที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ใบเป็น 3 ใบนั้น ช่วยคั้นให้ผลิตภัณฑ์สามารถรอดผ่านรูตะแกรงได้ดีขึ้น ทำให้ค่า Yield เพิ่มขึ้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงที่เพิ่มขึ้น (0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร) ทำให้ค่า Yield เพิ่มขึ้นด้วย ในการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละนั้นจึงออกแบบสร้างให้มีใบกวาดจำนวน 3 ใบโดยออกแบบให้ระยะห่างระหว่างใบกวาดทำมุมระหว่างกัน 120° โดยการออกแบบให้ Paddle spoke ซึ่งทำหน้าที่ยึดจับใบกวาดนั้นยึดจับใบกวาดได้ 3 ใบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการ

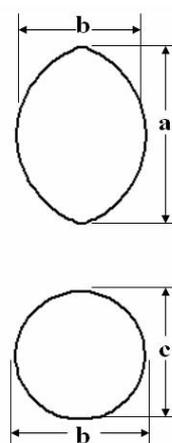
คั้นให้ผลิตภัณฑ์ผ่านรูตะแกรงได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณผลผลิตมากขึ้นด้วย (Tansakul, 1990; Noomhorm and Tansakul, 1992) และเนื่องจากจุดประสงค์ของเครื่องแยกเนื้อสละคือ การแยกเนื้อและน้ำเพื่อนำไปผลิตทำน้ำสละ ซึ่งต้องการน้ำสละที่ผ่านการกรองแยกเนื้อแล้ว จึงเลือกใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาดเล็กลงมาทดสอบ ซึ่งมีขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และมีความหนา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ตะแกรงสามารถขึ้นรูปและสามารถคงรูป ทำให้สามารถประกอบเข้ากับตัวเครื่องได้

1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ สละที่นำมาทำการวิจัยนี้เป็นพันธุ์เนินวง เนื่องจากสละพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุด เพราะผลมีรสชาติดี สามารถให้ผลผลิตได้เร็ว อีกทั้งยังเป็นพันธุ์ที่นิยมนำไปแปรรูปเป็นน้ำสละ ซึ่งในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของผลสละ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต, น้ำหนักเฉลี่ย, ปริมาตร, และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อนำมาออกแบบเครื่องแยกเนื้อผลสละต่อไป โดยทดลองด้วยเครื่อง Pulper-Finisher ซึ่งมีคุณลักษณะ ดังนี้ ตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กที่สุดและใหญ่ที่สุด 20.5 และ 25.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ยาว 70 เซนติเมตร มีใบกวาดจำนวน 2 ใบ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมุมตะแกรงมีค่า 88° ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของผลสละ ดังนี้

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลสละที่ยังไม่ได้ปอกเปลือกทั้ง 3 ด้าน คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด (a_1), เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a (b_1) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b (c_1) เพื่อศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของผลสละ ดังภาพที่ 14

2. ชั่งน้ำหนักของผลสละที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก (m_1)

3. ปอกเปลือกผลสละออก พร้อมทั้งแยกแต่ละกลีบออกจากกัน แล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วแต่ละกลีบ (a_2 , b_2 และ c_2) ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงวิธีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลสละ

4. ชั่งน้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วแต่ละกลีบ (m_2) ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การชั่งน้ำหนักผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและแยกกลีบออกจากกัน

5. คัดขนาดของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วแต่ละกลีบเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (7.01-11.0 กรัม), กลาง (11.01-15.00 กรัม) และใหญ่ (15.01-19.00 กรัม)

6. ตั้งความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher แบบแนวนอน โดยการปรับความถี่ของเครื่องอินเวอร์เตอร์ แล้วตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ด้วยเครื่อง Tachometer เพื่อให้ได้ความเร็วรอบ (N) 600, 700 และ 800 รอบต่อนาที



ภาพที่ 16 การวัดความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ด้วยเครื่อง Tachometer

7. ทดสอบการแยกเนื้อของผลสละแต่ละกลีบครั้งที่ 1 ด้วยเครื่อง Pulper-Finisher โดยใช้ความเร็วรอบ 600, 700 และ 800 rpm พร้อมจับเวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อครั้งที่ 1 (t_1)



ภาพที่ 17 เครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ

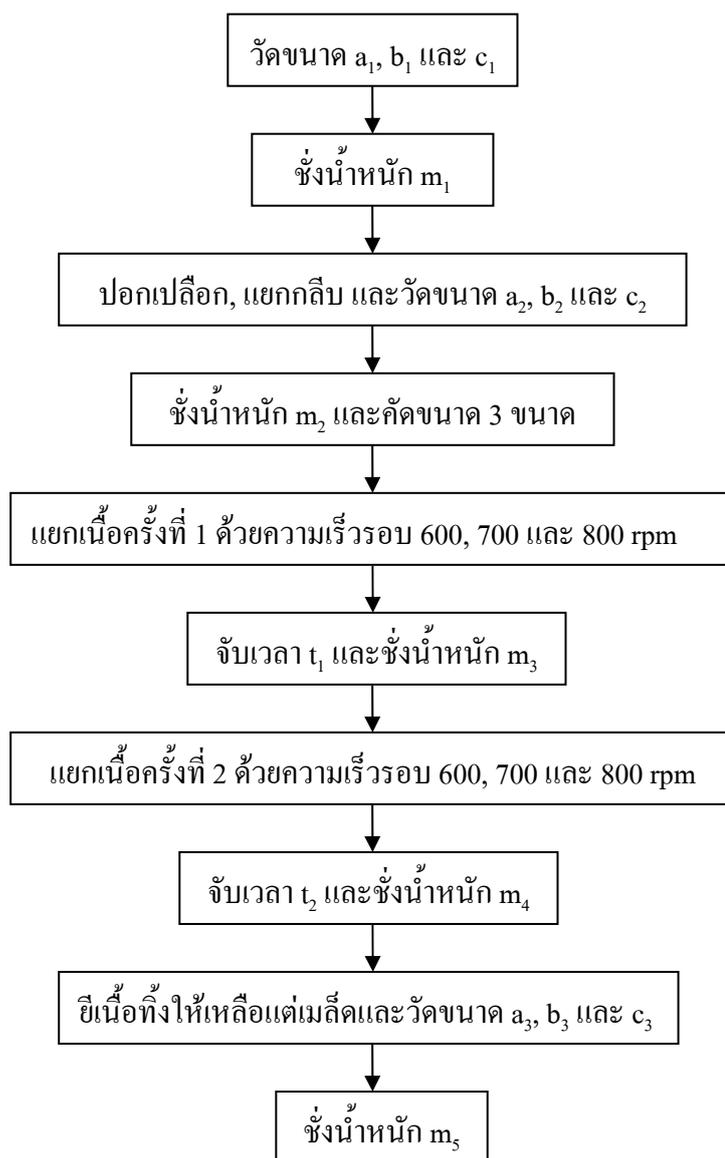
8. ชั่งน้ำหนักผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 1 แล้ว (m_3)

9. ทดสอบการแยกเนื้อของผลสละครั้งที่ 2 โดยการป้อนผลสละที่ผ่านการแยกครั้งที่ 1 มาแล้วด้วยความเร็วรอบเดิม พร้อมจับเวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อครั้งที่ 2 (t_2)

10. ชั่งน้ำหนักผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 2 (m_4)

11. นำผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 2 แล้วมายีเนื้อทิ้งออกให้หมดจนเหลือแต่เมล็ด แล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดสละแต่ละเมล็ด (a_3 , b_3 และ c_3) ดังภาพที่ 14

12. ชั่งน้ำหนักเมล็ดสละแต่ละเมล็ดที่ผ่านการยีเนื้อทิ้งออกหมดแล้ว (m_5)



ภาพที่ 18 การทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสละ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกเนื้อของสละ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

1.1.1 การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter หรือ GMD) ของผลสละที่ปอกเปลือกแล้ว (GMD_1) และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของเมล็ดสละ (GMD_2) เนื่องจากผลสละและเมล็ดมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม (ปานมนัส และคณะ, 2538) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) และ (2)

$$GMD_1 = (a_2 b_2 c_2)^{1/3} \quad (1)$$

$$GMD_2 = (a_3 b_3 c_3)^{1/3} \quad (2)$$

1.1.2 การคำนวณหาความเป็นทรงกลม (Sphericity) บ่งบอกความเป็นทรงกลมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้ว (Sp_1) และของเมล็ด (Sp_2) (ปานมนัสและคณะ, 2538) เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของรูปร่างของผลสละและเมล็ดที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละด้วยเครื่อง Pulper-Finisher โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) และ (4)

$$\text{ความเป็นทรงกลม} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด}}$$

ดังนั้น

$$Sp_1 = \frac{GMD_1}{a_2} \quad (3)$$

$$Sp_2 = \frac{GMD_2}{a_3} \quad (4)$$

1.1.3 การคำนวณหาปริมาตรของผลสละ (V_1) และปริมาตรของเมล็ด (V_2) เพื่อกำหนดความสามารถของอัตราการไหลโดยปริมาตรของเครื่องแยกเนื้อสละ (Volumetric flow rate) (ปานมนัสและคณะ, 2538) จากสมการ (5) และ (6)

$$V_1 = \frac{\pi}{6} \times a_2 b_2 c_2 \quad (5)$$

$$V_2 = \frac{\pi}{6} \times a_3 b_3 c_3 \quad (6)$$

1.1.4 การคำนวณหาความหนาแน่นของผลสละ (Density หรือ ρ_1) และความหนาแน่นของเมล็ด (ρ_2) เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของผลสละและเมล็ดที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกเนื้อ สามารถคำนวณได้จากสมการ (7) และ (8)

$$\rho_1 = \frac{m_2}{V_1} \quad (7)$$

$$\rho_2 = \frac{m_5}{V_2} \quad (8)$$

1.2 การศึกษาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ ในการแยกเนื้อสละออกจากเมล็ดนั้น วิไล (2543) ได้อธิบายถึงการลดขนาดอาหารแข็งว่า มีแรงอยู่ 3 ชนิดที่ใช้ในการลดขนาดของอาหาร ได้แก่ แรงอัดหรือแรงบีบ (Compression forces), แรงกระแทกหรือแรงทุบ (Impact forces) และแรงเฉือน (Shearing forces) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ทั้ง 3 แรง แต่แรงชนิดหนึ่งมักจะสำคัญกว่าแรงอีก 2 ชนิด เมื่ออาหารได้รับแรงเค้น อาหารจะดูดซับความตึงเครียดไว้ภายในจึงทำให้เนื้อเยื่อเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง โดยทั่วไปความเครียดนี้จะไม่เกินระดับวิกฤตที่เรียกว่า Elastic stress limit (E) เมื่อแรงเค้นหมดไป เนื้อเยื่อก็เข้าสู่รูปปกติและปล่อยพลังงานที่เก็บไว้ในรูปของความร้อน พลังงานที่ให้อาหารมีเพียง 1% เท่านั้นที่ใช้ไปในการลดขนาด อย่างไรก็ตาม ถ้าแรงเค้น 3 แรงนี้สูงกว่า Elastic stress limit อาหารจะเกิดการเปลี่ยนรูปโดยถาวร

การศึกษาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ มีจุดประสงค์เพื่อหาแรงรวมที่จำเป็นต้องใช้ในการแยกเนื้อสละ โดยจำลองจากการทำงานของเครื่องจักร และทฤษฎีเกี่ยวกับการลดขนาดอาหารแข็งของวิไล (2543) ซึ่งเครื่อง Pulper-Finisher มีหลักการทำงาน โดยใบกวาดซึ่งติดอยู่กับเพลาลูกขับเคลื่อนให้หมุนด้วยมอเตอร์ โดยใบกวาดจะทำการกวาดให้ผลสละนั้นเคลื่อนที่ไปตามตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมจนเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งมีทิศทางตามแนวรัศมีของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเสมอ และเกิดแรงเสียดสีขึ้นระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเนื่องจากแรงเสียดทาน ในขณะที่ผลสละถูกคั้นให้ติดกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้เนื้อสละจมเข้าไปในรูตะแกรง เมื่อผลสละเคลื่อนที่ไปตามแรงเหวี่ยงของใบกวาดจึงทำให้เนื้อแยกออกจากเมล็ดได้ โดยแรงเสียดทานนี้มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของผลสละเสมอ ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการแยกเนื้อสละก็คือน้ำหนักของผลสละ ซึ่งมีทิศทางตามความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเสมอ โดยในการศึกษาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อ

สละนี้ไม่ได้ทำการศึกษาถึงแรงอีก 2 แรง คือ แรงที่ใบกวาดกระทำต่อผลสละซึ่งเกิดจากมุมเอียงระหว่างใบกวาดกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม และแรงกระทำระหว่างผลสละด้วยกัน ซึ่งมีผลต่อการแยกเนื้อสละน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และแรงเสียดทาน ดังนั้น ในการคำนวณเพื่อหาแรงรวมที่ใช้ในการแยกเนื้อสละจึงไม่ได้รวม 2 แรงนี้ไว้ด้วย แต่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ จะทำการปรับมุมระหว่างใบกวาดกับตะแกรงเพื่อให้ผลสละแนบติดกับตะแกรงมากขึ้น ทำให้เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถให้แรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละได้สูงกว่าค่าที่คำนวณไว้ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาแรงต่างๆ ได้ดังนี้

1.2.1 การคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) ของผลสละ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_{CE} = \frac{mv^2}{r} \quad (9)$$

เมื่อ F_{CE} คือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (N)

m คือ น้ำหนักของผลสละ (kg)

v คือ ความเร็ว (m/s)

r คือ รัศมีของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม (m)

โดยที่ $v = \omega r$ (10)

และ $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ (11)

เมื่อ n คือ ความเร็วรอบที่ใช้หมุน (rpm)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

แทนสมการ (11) ในสมการ (10) ได้

$$v = \frac{2\pi nr}{60}$$

$$\therefore v = \frac{\pi nr}{30} \quad (12)$$

แทนสมการ (12) ในสมการ (9) ได้

$$F_{CE} = \frac{m \left(\frac{\pi nr}{30} \right)^2}{r}$$

$$F_{CE} = \frac{\pi^2 m n^2 r}{900} \quad (13)$$

จากสมการ (13) สามารถคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากการแยกเนื้อ
สละครั้งที่ 1 (F_{CE1}) และครั้งที่ 2 (F_{CE2}) ได้จากสมการ (14) และ (15) ตามลำดับ

$$F_{CE1} = \frac{\pi^2 m_2 n^2 r}{900} \quad (14)$$

$$F_{CE2} = \frac{\pi^2 m_3 n^2 r}{900} \quad (15)$$

1.2.2 การคำนวณน้ำหนัก (Weight) ของผลสละ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการ
คำนวณการแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (16)

$$W = mg \quad (16)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของผลสละ (N)

m คือ น้ำหนักของผลสละ (kg)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 m/s^2

1.2.3 การคำนวณหาแรงเสียดทาน (Friction force) ที่เกิดขึ้นระหว่างผลสละกับ
ตะแกรง เหล็กกล้าไร้สนิม สามารถคำนวณได้จากสมการ (17)

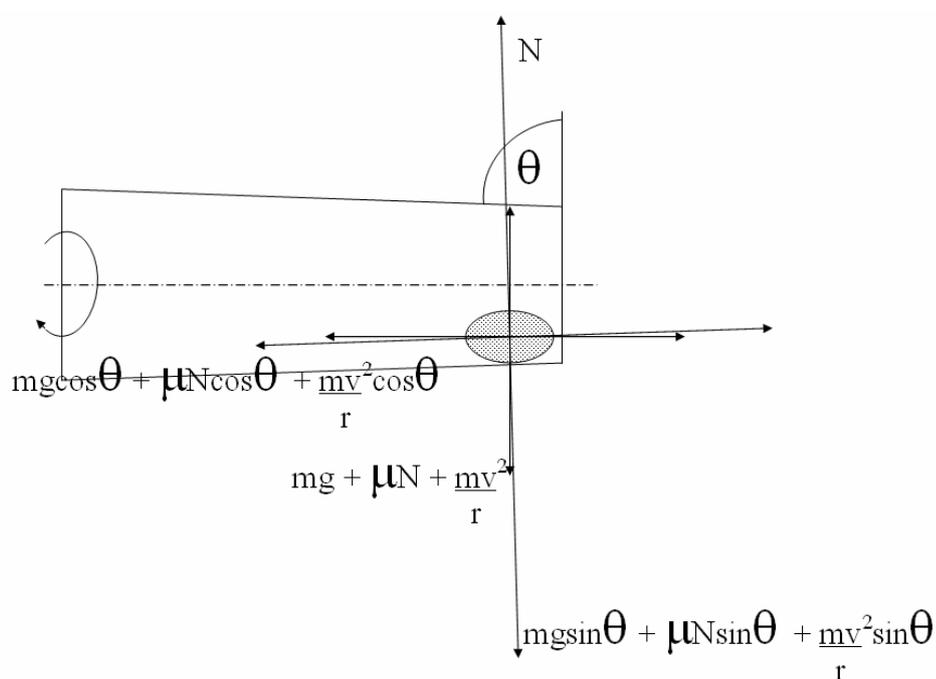
$$f = \mu N \quad (17)$$

เมื่อ f คือ แรงเสียดทาน (N)

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

N คือ แรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ (N)

1.2.4 การคำนวณหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ (N) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละ จากภาพที่ 19 พิจารณาตามสมดุลแรงได้



ภาพที่ 19 แรงต่างๆ ที่กระทำกับผลสละ

$$N = mg \sin \theta + \mu N \sin \theta + \frac{mv^2 \sin \theta}{r}$$

$$N - \mu N \sin \theta = mg \sin \theta + \frac{mv^2 \sin \theta}{r}$$

$$N(1 - \mu \sin \theta) = mg \sin \theta + \frac{mv^2 \sin \theta}{r}$$

$$N = \frac{mg \sin\theta + \frac{mv^2 \sin\theta}{r}}{1 - \mu \sin\theta} \quad (18)$$

จากสมการ (9) และ (13) ได้

$$F_{CE} = \frac{mv^2}{r} = \frac{\pi^2 mn^2 r}{900} \quad (19)$$

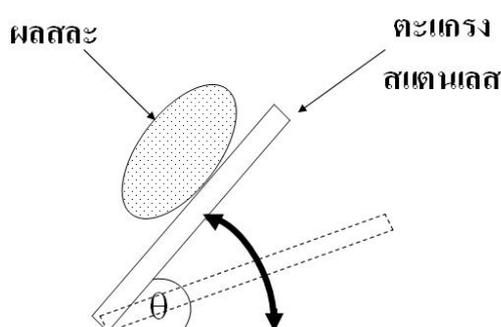
แทน (19) ใน (18) ได้

$$N = \frac{mg \sin\theta + \frac{\pi^2 mn^2 r \sin\theta}{900}}{1 - \mu \sin\theta} \quad (20)$$

1.3 การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสลับกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม

1.3.1 การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสลับกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม (Coefficient of friction หรือ μ) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ สามารถทดลองหาได้โดยนำผลสละที่ต้องการหาค่าความเสียดทานสถิตย์ไปวางลงบนแผ่นตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเอียงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 0.5, 1, และ 2 มิลลิเมตร แล้วค่อยๆ ยกแผ่นตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเอียงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งผลสละเริ่มเคลื่อนที่ดังภาพที่ 20 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะเป็นค่าแทนเจินท์ (Tangent) ของมุมที่แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเอียงทำกับพื้นราบ (ϕ) (ปานมนัส และคณะ, 2538) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ (21)

$$\mu = \tan \phi \quad (21)$$



ภาพที่ 20 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์

1.3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เมื่อใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาดต่างๆ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียวซึ่งมีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS โดยกำหนดให้ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง

1.4 การหาค่า % Yield ของผลสละ มีจุดประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิต เช่น ปัญหาในการสั่งซื้อสละ ข้อมูลของ % Yield สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการจะสั่งซื้อเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในการผลิต เป็นต้น สามารถคำนวณได้จากสมการ (22)

$$\% \text{ Yield} = \frac{\sum m_2 - \sum m_5}{m_1} \times 100 \quad (22)$$

เมื่อ $\sum m_2$ คือ น้ำหนักรวมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วทั้งผล (g)

$\sum m_5$ คือ น้ำหนักรวมของเมล็ดทั้งผล (g)

1.5 การศึกษาองค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ และมีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด จากนั้นจึงเลือกปัจจัยที่มีระดับความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละมากที่สุด เพื่อทำนายค่าของปัจจัยนั้นซึ่งจะทำให้เครื่อง Pulper-Finisher ที่ทดสอบเบื้องต้นมีประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละได้ 100% โดยการประมาณค่านอกช่วง แล้วคำนวณหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละจากสมการ (20) โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1.5.1 การศึกษาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ (η_{CEN}) ด้วยเครื่อง Pulper-Finisher มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์วัดประสิทธิภาพของเครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละและประสิทธิภาพของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta_{CEN} = \frac{\text{เนื้อที่แยกได้}}{\text{เนื้อทั้งหมด}} \times 100$$

$$= \frac{(\text{น้ำหนักผลสละก่อนแยกเนื้อ} - \text{น้ำหนักผลสละหลังแยกเนื้อ})}{(\text{น้ำหนักผลสละก่อนแยกเนื้อ} - \text{น้ำหนักเมล็ด})} \times 100$$

ดังนั้น สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละครั้งที่ 1 (η_{CEN1}) และครั้งที่ 2 (η_{CEN2}) และประสิทธิภาพรวมของการแยกเนื้อทั้ง 2 ครั้ง (η_{TOTAL}) ได้จากสมการ (23), (24) และ (25) ตามลำดับ

$$\eta_{CEN1} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_5} \times 100 \quad (23)$$

$$\eta_{CEN2} = \frac{m_3 - m_4}{m_3 - m_5} \times 100 \quad (24)$$

$$\eta_{TOTAL} = \frac{m_2 - m_4}{m_2 - m_5} \times 100 \quad (25)$$

1.5.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกลมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, ความหนาแน่นของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, เวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อ, น้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด และความเร็วรอบ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละ โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ และ

หาสมการความถดถอยเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละกับปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งมีทฤษฎีการคำนวณดังภาคผนวก ข.

$$\eta_{\text{CEN1}} \propto f(\text{Sp}_1, \text{Sp}_2, \rho_1, \rho_2, t_1, m_2, m_3, n)$$

$$\eta_{\text{CEN2}} \propto f(\text{Sp}_1, \text{Sp}_2, \rho_1, \rho_2, t_2, m_3, m_5, n)$$

1.5.3 การประมาณค่านอกช่วงฟังก์ชันพหุนาม จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ทำให้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ และมีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด จากนั้นจึงเลือกปัจจัยที่มีระดับความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละมากที่สุด เพื่อทำนายค่าของปัจจัยนั้นซึ่งจะทำให้เครื่อง Pulper-Finisher ที่ทดสอบเบื้องต้นมีประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละได้ 100% โดยการประมาณค่านอกช่วง ซึ่งมีทฤษฎีการคำนวณดังภาคผนวก ค.

2. การทดสอบการทำงานของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ ซึ่งตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมและใบกวาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดและใหญ่สุด 30 และ 35 เซนติเมตร, ยาว 1 เมตร และมีใบกวาดจำนวน 3 ใบ ที่ได้จากการคำนวณและออกแบบดังภาคผนวก ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละ, กำลังการผลิต และคุณภาพของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

2.1.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยการป้อนผลสละที่ปอกเปลือกแล้วที่ละกลีบ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเร็วรอบของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่ทำให้การแยกเนื้อออกจากเมล็ดของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ปอกเปลือกผลสละออก พร้อมทั้งแยกแต่ละกลีบออกจากกัน
2. ชั่งน้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วแต่ละกลีบ (m_2)

3. ตั้งความเร็วในการหมุนของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยการปรับความถี่ของเครื่อง อินเวอร์เตอร์ แล้วตรวจวัดความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบด้วยเครื่อง Tachometer เพื่อให้ได้ความเร็วรอบในการหมุน (N) 400, 450, 500 และ 550 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 16

4. ทดสอบการแยกเนื้อของผลสละที่ละกลีบด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ ด้วยความเร็วรอบ 400, 450 , 500 และ 550 รอบต่อนาที โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร

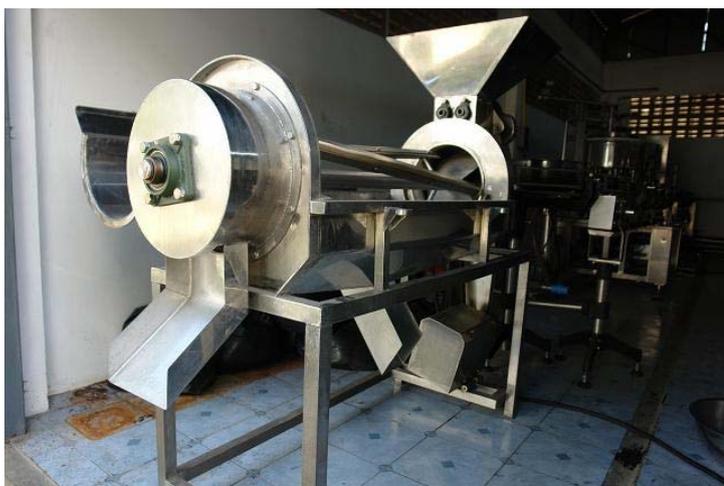
5. ชั่งน้ำหนักผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อแล้ว (m_3) ดังภาพที่ 21 (ซ้าย)

6. นำผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อแล้วมายีเนื้อทิ้งออกให้หมดจนเหลือแต่เมล็ด แล้วชั่งน้ำหนักเมล็ดสละที่ผ่านการยีเนื้อทิ้งออกหมดแล้ว (m_5) ดังภาพที่ 21 (ขวา)

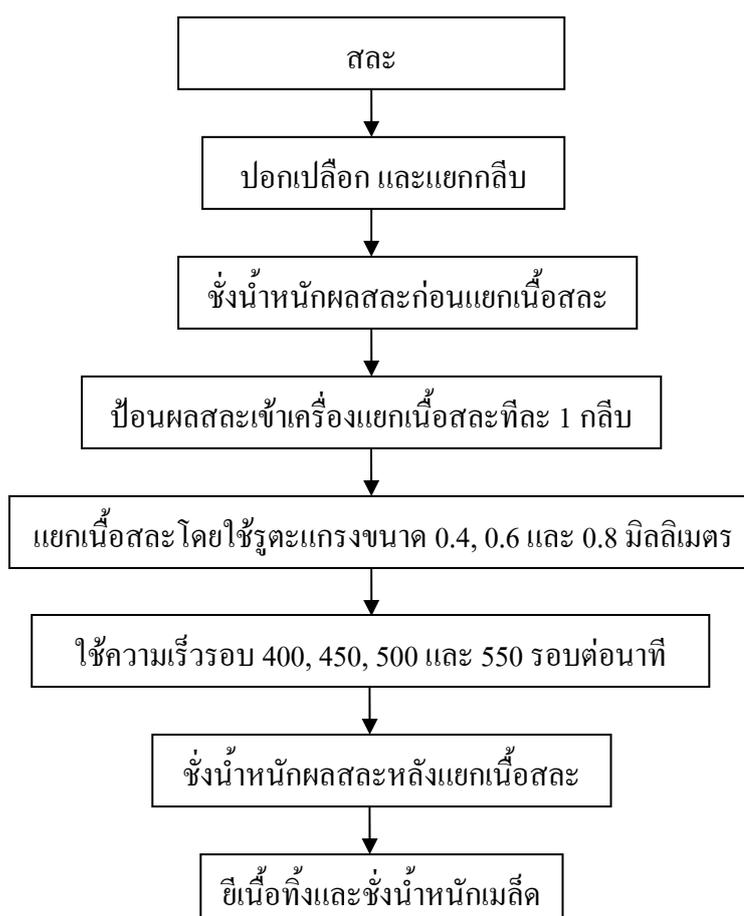
7. คำนวณหาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละจากสมการ (23)



ภาพที่ 21 การชั่งน้ำหนักผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อแล้ว (ซ้าย) และเมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งหมดแล้ว (ขวา)



ภาพที่ 22 เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

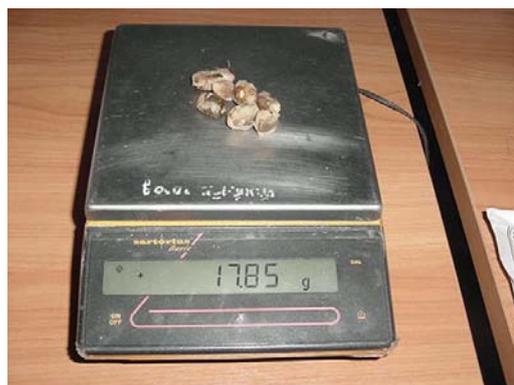


ภาพที่ 23 การทดสอบหาประสิทธิภาพการแยกเนื้อของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

2.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียว มีจุดประสงค์เพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการแยกเนื้อสละ โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนซึ่งมีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบที่ใช้ในการแยกเนื้อ โดยพิจารณาที่ละขนาดรูตะแกรง

2.2 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่า กำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ สามารถผลิตได้ตามค่ากำลังผลิตที่ออกแบบไว้ และหาอัตราการใช้ไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษากำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ และอัตราการใช้ไฟฟ้ามี่ดังนี้

1. ปอกเปลือกผลสละออก
2. ชั่งน้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วจำนวนประมาณ 0.1, 0.2 และ 0.3 กิโลกรัม (m_2) ดังภาพที่ 24 (ซ้ายบน)
3. ทดสอบแยกเนื้อด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงสแตนเลสซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร
4. ตั้งความเร็วในการหมุนของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยการปรับความถี่ของเครื่องอินเวอร์เตอร์ แล้วตรวจวัดความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบด้วยเครื่อง Tachometer เพื่อให้ได้ความเร็วรอบในการหมุน (N) ตามความเร็วรอบที่เหมาะสมซึ่งศึกษาได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียวตามข้อ 2.1.2
5. ทดสอบเดินเครื่องเปล่าและวัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์
6. ป้อนผลสละจำนวน 100, 200 และ 300 กรัมลงเครื่องแยกเนื้อสละ พร้อมทั้งวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ขณะทำการแยกเนื้อสละ และจับเวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ
7. ชั่งน้ำหนักผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อแล้ว (m_3) ดังภาพที่ 24 (ขวาบน)



ภาพที่ 24 การชั่งน้ำหนักผลสละที่ปอกเปลือกแล้ว น้ำหนักประมาณ 0.1 กิโลกรัม (ซ้ายบน), สละที่ผ่านการแยกเนื้อแล้ว (ขวาบน) และเมล็ดที่ยีเนื้อทิ้งแล้ว (ล่าง) ซึ่งมีน้ำหนักก่อนแยก 0.1 กิโลกรัม

8. นำผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อแล้วมายีเนื้อทิ้งออกให้หมดจนเหลือแต่เมล็ด แล้วชั่งน้ำหนักเมล็ดสละที่ผ่านการยีเนื้อทิ้งออกหมดแล้ว (m_s) ดังภาพที่ 24 (ล่าง)

9. คำนวณหาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละจากสมการ (23)

10. คำนวณหาค่าลังการผลิตได้ดังสมการ (26)

$$\text{ค่าลังการผลิต (kg/days)} = \frac{\text{น้ำหนักสละ (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้ (s)}} \times 28800 (\text{s/days}) \quad (26)$$

11. คำนวณหาอัตราการใช้ไฟฟ้าได้ดังสมการ (27)

$$\text{อัตราการใช้ไฟฟ้า (kW}\cdot\text{hr)} = \frac{VI t}{1000} \quad (27)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

t คือ เวลา (ชั่วโมง)

2.3 การศึกษาคุณภาพของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนน้ำสละ, หาขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละ และศึกษาการตกตะกอนของน้ำสละ โดยเปรียบเทียบน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ ซึ่งใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วแยกด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งเป็นวิธีการทำน้ำสละในปัจจุบัน

2.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนน้ำสละที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของตะกอนในน้ำสละ เมื่อใช้ตะแกรงร่อนขนาด 50, 80, 120, 170, 200 และ 270 mesh โดยทดสอบแยกตะกอนด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical sieve shaker) เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำตะกอนที่ค้างบนตะแกรงร่อนในแต่ละชั้น มาส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 4 เท่า

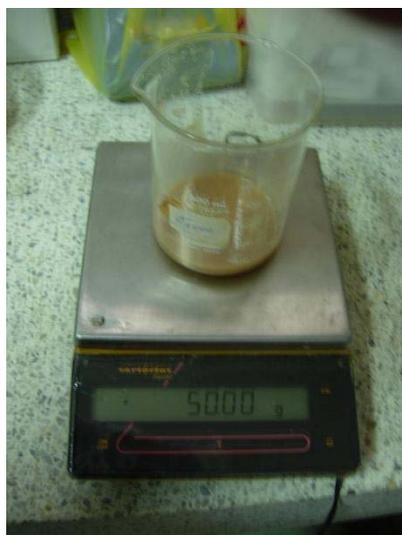
2.3.2 การหาขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละ และการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละ

ก. การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละ ซึ่งแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ไฟฟ้าแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน และการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละ

1) การทดสอบเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน มีจุดประสงค์เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการแยกตะกอนของน้ำสละปริมาณ 50 กรัม โดยมีปัจจัยที่ต้องควบคุมในการแยกตะกอนคือ ค่า Amplitude ของเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน และลักษณะคุณภาพของน้ำสละ โดยเลือกใช้น้ำสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่ใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรู

ขนาด 0.8 มิลลิเมตร เนื่องจากการแยกด้วยตะแกรงซึ่งมีขนาดของรูใหญ่ ทำให้ตะกอนขนาดใหญ่สามารถปนมากับน้ำสละได้ และมีตะกอนปนอยู่จำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการแยกตะกอนนานขึ้นด้วย ซึ่งขั้นตอนการทดลองเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการแยกตะกอนออกจากน้ำสละด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร้อน มีดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักของน้ำสละปริมาณ 50 กรัมลงในบีกเกอร์ ดังภาพที่ 25
2. เลือกใช้ตะแกรงร้อนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 50, 80, 120, 170, 200 และ 270 mesh ตามลำดับ ชั่งน้ำหนักตะแกรงร้อนในแต่ละชั้น และชั่งน้ำหนักถาดรับน้ำสละ



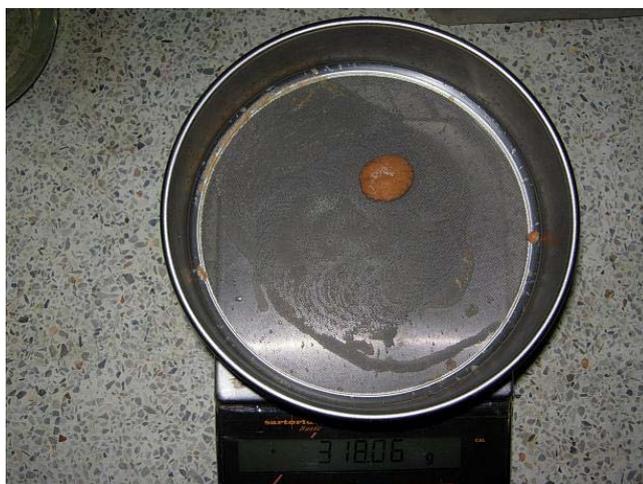
ภาพที่ 25 การชั่งน้ำหนักน้ำสละปริมาณ 50 กรัมในบีกเกอร์

3. เทน้ำสละปริมาณ 50 กรัม จากบีกเกอร์ลงในเครื่องเขย่าตะแกรงร้อน ดังภาพที่ 26
4. เลือกโหมดการสั่นให้สั่นแบบต่อเนื่อง, ตั้งค่า Amplitude เท่ากับ 50 และตั้งเวลาที่ใช้ในการสั่นแยกตะกอนเป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาทีตามลำดับ
5. กดปุ่มเริ่มทำงาน รอจนเครื่องหยุดทำงานตามเวลาที่ได้ตั้งไว้



ภาพที่ 26 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

6. ชั่งน้ำหนักของตะแกรงร่อนซึ่งมีตะกอนค้างอยู่ในแต่ละชั้นดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การชั่งน้ำหนักของตะแกรงร่อนและตะกอนบนตะแกรงร่อนขนาด 50 mesh

7. คำนวณหาน้ำหนักของตะกอนบนตาข่ายได้จากสมการ (28)

$$m_{\text{ตะกอน}} = m_{\text{ตะแกรง+ตะกอน}} - m_{\text{ตะแกรง}} \quad (28)$$

เมื่อ $m_{\text{ตะกอน}}$	คือ น้ำหนักของตะกอนบนตะแกรงร่อน (g)
$m_{\text{ตะแกรง+ตะกอน}}$	คือ น้ำหนักของตะแกรงร่อนและตะกอนบนตะแกรงร่อน (g)
$m_{\text{ตะแกรง}}$	คือ น้ำหนักของตะแกรงร่อน (g)

จากผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียว เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการแยกตะกอนออกจากน้ำสละ โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนซึ่งมีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้น้ำหนักของตะกอนเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ เวลาที่ใช้ในการแยกตะกอนออกจากน้ำสละ โดยแยกพิจารณาข้อมูลทีละชั้นของตะแกรงร่อน

2) การเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละซึ่งแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ไฟฟ้าแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง โดยทดสอบด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องควบคุมในการแยกตะกอนคือ ค่า Amplitude ของเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน และเวลาที่ใช้ในการแยกตะกอน ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละที่แยกได้จากวิธีต่างๆ มีดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่แยกด้วยผ้าขาวบาง ปริมาณ 50 กรัมลงในบีกเกอร์

2. เลือกใช้ตะแกรงร่อนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 50, 80, 120, 170, 200 และ 270 mesh ตามลำดับ ชั่งน้ำหนักตะแกรงร่อนในแต่ละชั้น และชั่งน้ำหนักถาดรับน้ำสละ

3. เทน้ำสละปริมาณ 50 กรัม จากบีกเกอร์ลงในเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

4. เลือกโหมดการสั่นให้สั่นแบบต่อเนื่อง, ตั้งค่า Amplitude เท่ากับ 50 และตั้งเวลาที่ใช้ในการสั่นแยกตะกอนมีค่าตามเวลาที่หาได้จากการทดสอบเครื่องเขย่าตะแกรงร่อนในข้อ 1)

5. กดปุ่มเริ่มทำงาน รอจนเครื่องหยุดทำงานตามเวลาที่เรากำหนดไว้

6. ชั่งน้ำหนักของตะแกรงร่อนซึ่งมีตะกอนค้างอยู่ในแต่ละชั้น
7. คำนวณหาปริมาณน้ำหนักของตะกอนบนภาคได้จากสมการ (28)

จากผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียวกับน้ำหนักตะกอนของน้ำสละ เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักตะกอนเฉลี่ยของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบโดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบาง โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนซึ่งมีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้น้ำหนักตะกอนเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ น้ำสละที่แยกได้ด้วยวิธีต่างๆ โดยแยกพิจารณาข้อมูลทีละชั้นของตะแกรงร่อน

จ. การคำนวณหาขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละ Baker และ Herrman (2002) ได้อธิบายถึงการคำนวณหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อน สามารถคำนวณให้อยู่ในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของรูตะแกรงร่อนในชั้น 2 ชั้นที่ติดกัน ดังสมการ (29)

$$D_i = (D_u \times D_o)^{0.5} \quad (29)$$

เมื่อ D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงร่อนชั้นที่ i (μm)

D_u คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงชั้นที่อนุภาคผ่านได้ (μm)

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงชั้นที่อนุภาคผ่านไม่ได้ (μm)

ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของอนุภาคที่อยู่บนตะแกรงร่อน ดังสมการ (30)

$$D_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum (W_i \log D_i)}{\sum W_i} \right] \quad (30)$$

เมื่อ D_{gw} คือ ขนาดของอนุภาคเฉลี่ย (μm)

W_i คือ น้ำหนักของตะกอนที่ค้างบนตะแกรงร่อนชั้นที่ i (g)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากสมการ (31)

$$S_{gw} = \log^{-1} \left[\frac{\sum W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2}{\sum W_i} \right]^{0.5} \quad (31)$$

จากผลการคำนวณหาขนาดอนุภาคเฉลี่ย ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียวกับขนาดตะกอนของน้ำสละ เพื่อเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบาง โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนซึ่งมีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้ขนาดของตะกอนเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ น้ำสละที่แยกได้ด้วยวิธีต่างๆ

2.3.3 การศึกษาการตกตะกอนของน้ำสละ ซึ่งแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ไฟฟ้าแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง ขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาการตกตะกอนของน้ำสละที่แยกได้จากวิธีต่างๆ มีดังนี้

1. ตวงวัดน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้แยกด้วยผ้าขาวบางปริมาตร 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในหลอดทดลอง
2. วัดระดับความสูงของน้ำสละเริ่มต้นในหลอดทดลอง ดังภาพที่ 28
3. วัดระดับของตะกอนที่แยกชั้นกับระดับของน้ำสละที่ใส ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของระดับตะกอนในหลอดทดลองจากสมการ (32)

$$\text{ระดับตะกอน (\%)} = \frac{\text{ระดับตะกอน}}{\text{ระดับน้ำสละเริ่มต้น}} \times 100 \quad (32)$$



ภาพที่ 28 การวัดระดับความสูงของน้ำสละเริ่มต้น

จากระดับของตะกอนที่คำนวณได้ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียวกับระดับการตกตะกอนของน้ำสละ เพื่อเปรียบเทียบการตกตะกอนของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบโดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบาง โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนซึ่งมีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์ของระดับตะกอนเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ น้ำสละที่แยกได้ด้วยวิธีต่างๆ โดยแยกพิจารณาข้อมูลที่ละช่วงเวลา

3. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนแต่ละโครงการที่มีอายุเท่ากัน โดยวิธีมูลค่าปัจจุบัน (Present worth-comparison of equal-lived alternatives) ซึ่งการลงทุนใช้เครื่องแยกเนื้อสละมีค่าใช้จ่าย ได้แก่ ค่าเครื่องแยกเนื้อสละ, ค่าไฟฟ้า, ค่าแรงงาน, ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเครื่อง เป็นต้น เทียบกับการแยกเนื้อสละด้วยแรงงานคนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน โดยในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้ง 2 โครงการนี้ จะ

ไม่รวมค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปกเปลือกผลสละ เพราะทั้งโครงการที่ใช้เครื่องแยกเนื้อสละ และใช้แรงงานคนต่างก็ต้องใช้แรงงานคนในการปกเปลือกผลสละเหมือนกัน

การหาค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยวิธีมูลค่าปัจจุบัน สามารถทำได้โดยคำนวณหามูลค่าสุดท้าย (F) และจำนวนเงินที่ต้องจ่ายเท่าๆ กันทุกๆ ช่วงเวลา (A) ให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (P) จากสมการ (33) และ (34) (ไพบูลย์, 2547) แล้วทำการรวมมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมซึ่งเป็นมูลค่าปัจจุบันของแต่ละโครงการเพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยเลือกจากโครงการที่มีค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด

$$P = F(P/F, i\%, n)$$

$$P = F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (33)$$

เมื่อ P คือ จำนวนเงินหรือมูลค่าเริ่มต้นหรือปัจจุบัน (บาท)

F คือ จำนวนเงินหรือมูลค่าสุดท้ายหรืออนาคต (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา (เปอร์เซ็นต์)

n คือ ระยะเวลาหรือช่วงเวลา (ปี)

$$P = A(P/A, i\%, n)$$

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (34)$$

เมื่อ A คือ จำนวนเงินที่รับหรือจ่ายเท่าๆ กันทุกๆ ช่วงเวลา (บาท)

ผลและวิจารณ์

1. ผลการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละ

1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ จากตารางผนวกที่ ก1 เป็นการวัดมิติต่างๆ และน้ำหนักของผลสละที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก, ปอกเปลือกแล้วแบ่งเป็นกลีบ และเมล็ด ซึ่งสามารถหาค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลสละด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักของสละที่วัด

	สละไม่ปอกเปลือก				สละปอกเปลือก				เมล็ด			
	a_1 (mm)	b_1 (mm)	c_1 (mm)	m_1 (g)	a_2 (mm)	b_2 (mm)	c_2 (mm)	m_2 (g)	a_3 (mm)	b_3 (mm)	c_3 (mm)	m_3 (g)
ค่าสูงสุด	92.8	46.6	44.1	56.33	58.3	36.6	29.1	27.32	27.9	18.8	15.2	5.19
ค่าต่ำสุด	64.9	26.2	21.8	10.78	16.2	11.6	7.6	0.69	8.6	6.5	3.2	0.09
ค่าเฉลี่ย	79.7	33.8	28.9	24.01	43.2	27.6	19.5	12.07	17.9	14.0	11.4	2.04

จากตารางที่ 3 ทำให้ทราบถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลสละที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก, ปอกเปลือกแล้ว และเมล็ดได้ ซึ่งสามารถนำข้อมูลของน้ำหนักเฉลี่ยของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วแบ่งเป็นกลีบ (m_2) มาใช้ในการคำนวณแรงต่างๆ ได้ และใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดที่มีค่าต่ำสุดซึ่งมีค่า 3.2 มิลลิเมตร มาเป็นข้อกำหนดในการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งต้องมีขนาดเล็กกว่า 3.2 มิลลิเมตร เพื่อให้เมล็ดที่ต้องการแยกทิ้งปะปนไปกับเนื้อและน้ำได้

จากตารางผนวกที่ ก2 และ ก5 เป็นการคำนวณหาสมบัติเชิงเรขาคณิต และ Yield ของผลสละ จากสมการ (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) และ (22) ซึ่งสามารถหาค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงเรขาคณิต และ Yield ของผลสละ

	สละปอกเปลือก				เมล็ด				Yield (%)
	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	ρ ₁ (kg/m ³)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	ρ ₂ (kg/m ³)	
ค่าสูงสุด	36.7	0.852	25895.65	1454.12	19.4	0.976	3817.47	1985.57	78.60
ค่าต่ำสุด	11.7	0.565	849.35	571.92	5.6	0.634	93.66	486.07	43.61
ค่าเฉลี่ย	28.5	0.663	12718.60	960.02	14.1	0.794	1552.97	1304.91	61.68

จากตารางที่ 4 แสดงค่าสมบัติเชิงเรขาคณิต ซึ่งนำไปศึกษาผลของคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ

1.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม จากตารางผนวกที่ ก3 เป็นการคำนวณหาความสัมพันธ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร (μ_1 , μ_2 และ μ_3) จากสมการ (21) ซึ่งสามารถหาค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว ด้วยโปรแกรม SPSS ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าสูงสุด, ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม

	μ_1	μ_2	μ_3
ค่าสูงสุด	2.904	2.356	2.475
ค่าต่ำสุด	0.231	0.344	0.364
ค่าเฉลี่ย	0.933 ± 0.448a	0.970 ± 0.402a	0.923 ± 0.393a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับ ตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูต่างกันทั้ง 3 ขนาดนั้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดนั้นก็มีความใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน คือในช่วง 2.356-2.904 และ 0.231-0.364 ตามลำดับ แต่ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีความต่างกันค่อนข้างมาก ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีค่าสูงถึง 50% ของค่าเฉลี่ย เนื่องจากรูปร่างของผลสละที่นำมาทดสอบนั้นมีความไม่แน่นอนทั้งขนาดและรูปร่างของผล คือ ผลสละที่มีหลายกลีบ เมื่อแยกกลีบออกจากกันแล้ว จะมีด้านที่ค่อนข้างเรียบ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่า ผลสละที่มี 1 กลีบ ซึ่งจะมีรูปร่างกลมมนและให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่า

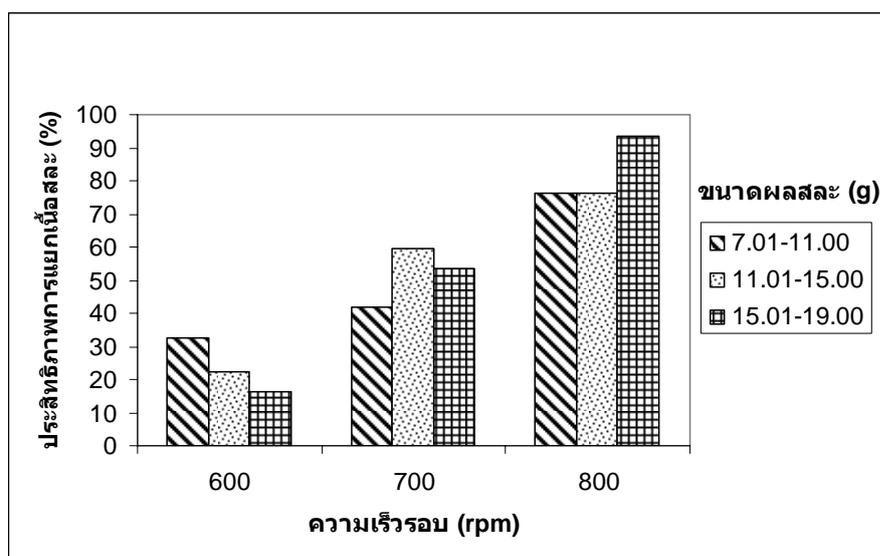
1.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละ

1.3.1 การศึกษาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ ด้วยการทดสอบแยกเนื้อผลสละกับ เครื่อง Pulper-Finisher แบบแนวนอน ซึ่งมีรัศมีของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเล็กสุด 10.25 เซนติเมตร และรัศมีใหญ่สุด 12.75 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีใบกวาด 2 ใบ จากตารางที่ 5 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยมีค่า 0.933 และจากการวัดมุมเอียงของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม (θ) ของเครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ทดสอบเบื้องต้นดังภาพที่ 19 มีค่า 88°

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ และข้อมูลรายละเอียดของ เครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ทดสอบเบื้องต้น สามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละได้จากสมการ (23), (24) และ (25) ได้ผลการคำนวณดังตารางผนวกที่ ก4 ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการแยกเนื้อที่ความเร็วรอบต่างๆ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการแยกเนื้อที่ความเร็วรอบ 600, 700 และ 800 rpm

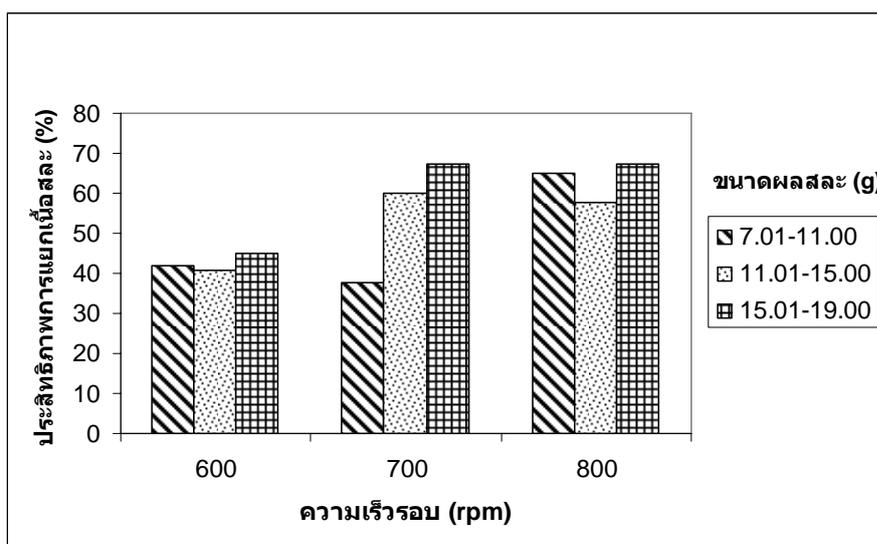
ช่วงน้ำหนักของผลสละ (g)	ความเร็วรอบ (rpm)	η_{CEN1} (%)	η_{CEN2} (%)	ประสิทธิภาพรวม (%)
7.01-11.00	600	32.40	42.07	60.58
11.01-15.00	600	22.15	40.73	51.81
15.01-19.00	600	16.23	44.82	52.93
7.01-11.00	700	41.93	37.86	67.86
11.01-15.00	700	59.71	60.06	77.82
15.01-19.00	700	53.71	67.28	91.22
7.01-11.00	800	76.29	65.01	93.34
11.01-15.00	800	76.14	57.58	90.86
15.01-19.00	800	93.72	67.18	98.36



ภาพที่ 29 แสดงประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละครั้งที่ 1 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากตารางที่ 6 และภาพที่ 29 พบว่าผลสละขนาดเล็ก (7.01-11.00 กรัม) มีประสิทธิภาพการแยกเนื้อสูงสุด เมื่อเทียบกับขนาดอื่นๆ เมื่อแยกเนื้อที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อ นาที แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 700 รอบต่อ นาที กลับเป็นขนาดที่มีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อ

ต่ำสุด และมีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสูงเป็นอันดับ 2 เมื่อแยกเนื้อที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อ นาที ซึ่งสรุปได้ว่าขนาดของผลสละไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 ส่วนความเร็วรอบที่ใช้ในการแยกเนื้อที่เพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อเพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจนเหมือนกับการแยกเนื้อมะเขือเทศซึ่ง Tansakul (1990) และ Noomhorm และ Tansakul (1992) ได้เคยศึกษาไว้มาก่อน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วรอบในการแยกเนื้อที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 เพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 30 แสดงประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละครั้งที่ 2 ที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากตารางที่ 6 และภาพที่ 30 พบว่าขนาดของผลสละไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 2 เหมือนกับการแยกเนื้อครั้งที่ 1 ส่วนความเร็วรอบที่ใช้ในการแยกเนื้อที่เพิ่มขึ้นนั้น กลับไม่สามารถส่งผลให้มีประสิทธิภาพการแยกเนื้อได้ชัดเจนเหมือนการแยกเนื้อครั้งที่ 1 เนื่องจากผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 1 ด้วยความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาทีนั้นมีลักษณะเนื้อที่นิ่มขาด และเนื้อถูกแยกออกจากเมล็ดได้เพียงเล็กน้อยดังภาพที่ 31 พอนำมาแยกเนื้อครั้งที่ 2 ที่ความเร็วรอบเดิม ผลสละที่เนื้อนิ่มขาดนั้นจะถูกแยกเนื้อได้ง่ายขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 2 สูงกว่าครั้งที่ 1 ส่วนที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาทีนั้นมีลักษณะของการแยกเนื้อที่เหมือนกับที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที แต่ต่างกันที่มีประสิทธิภาพการแยกเนื้อที่สูงกว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้นอีกเป็น 800 รอบต่อนาที ผลสละที่ผ่านการแยกครั้งที่ 1 มาแล้วจะมีปริมาณเนื้อเหลือติดอยู่กับเมล็ดน้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 600 และ 700 รอบต่อนาทีดังภาพที่ 32 ดังนั้น เมื่อ

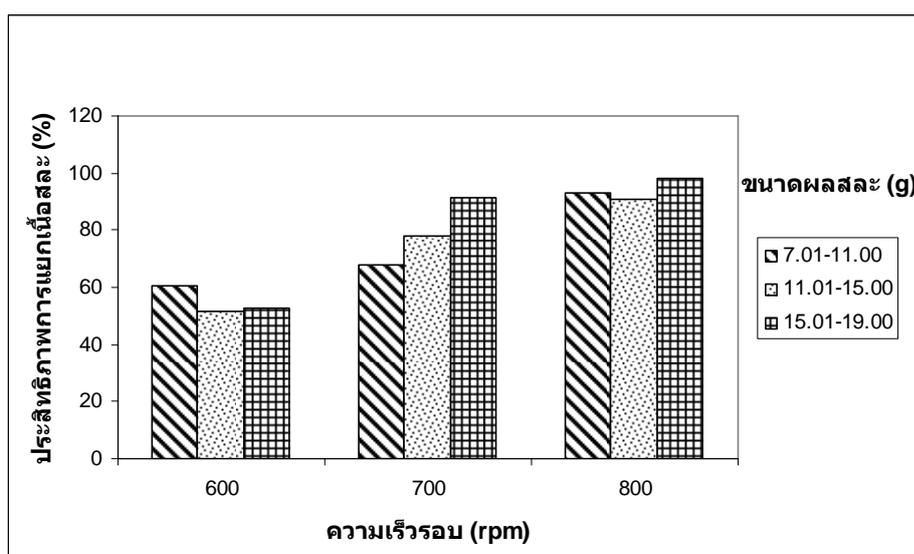
นำมาแยกเนื้อครั้งที่ 2 จึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 2 ลดลงได้ ซึ่งสรุปได้ว่าความเร็วรอบในการแยกเนื้อครั้งที่ 2 ยังมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 2 แต่มีระดับของความสัมพันธ์ที่ลดลง



ภาพที่ 31 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที



ภาพที่ 32 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที



ภาพที่ 33 แสดงประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละรวมทั้ง 2 ครั้ง ที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากตารางที่ 6 และภาพที่ 33 พบว่าขนาดของผลสละไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละรวมทั้ง 2 รอบ แต่ผลจากความเร็วยรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละรวมทั้ง 2 ครั้งเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การนำผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อครั้งที่ 1 มาทำการแยกเนื้อซ้ำ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกเนื้อได้ ในขณะที่เดียวกันทำให้ทราบว่าเครื่อง Pulper-Finisher ดังกล่าว ไม่สามารถแยกเนื้อออกจากเมล็ดได้ ในการผ่านเครื่องเพียง 1 ครั้ง แต่สามารถแยกได้เกือบหมดเมื่อทำการแยก 2 ครั้ง

1.3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกลมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, ความหนาแน่นของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, เวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อ, น้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด และความเร็วรอบ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละ โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Zero-order correlation (R)

การแยก ครั้งที่ 1	ความเป็น ทรงกลม		ความหนาแน่น		น้ำหนัก		ความเร็วรอบ	เวลา
	สละ	เมล็ด	สละ	เมล็ด	สละ	เมล็ด		
	R	-0.0956	0.0314	-0.2888	0.1246	0.0489		
α	0.568	0.852	0.079	0.456	0.771	0.781	0.000	0.490

การแยก ครั้งที่ 2	ความเป็น ทรงกลม		ความหนาแน่น		น้ำหนัก		ความเร็วรอบ	เวลา
	สละ	เมล็ด	สละ	เมล็ด	สละ	เมล็ด		
	R	0.1649	0.3896	0.0847	-0.2795	-0.2445		
α	0.322	0.016	0.613	0.089	0.139	0.640	0.026	0.403

หมายเหตุ α = ค่านัยสำคัญ

จากตารางที่ 7 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามทฤษฎีในภาคผนวก ข. พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 และความเป็นทรงกลมของผลสละเป็น -0.0956 หมายถึง ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 และความเป็นทรงกลมของผลสละมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก คือเป็น 0.0956 (เข้าใกล้ศูนย์) และมีค่าติดลบ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงข้าม คือถ้าความเป็นทรงกลมของผลสละลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 เพิ่มขึ้น และค่านัยสำคัญมีค่า 0.568 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 และความเป็นทรงกลมของผลสละไม่มีความสัมพันธ์กัน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 และความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ในการแยกเนื้อสละเป็น 0.6773 หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 และความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ในการแยกเนื้อสละเป็นบวก และมีความสัมพันธ์กันมากถึง 0.6773 ส่วนค่านัยสำคัญ = 0.000 เนื่องจาก $0.000 < 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 และความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ในการแยกเนื้อสละมีความสัมพันธ์กัน

จากตารางที่ 7 พบว่าประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 1 ไม่มีความสัมพันธ์กับความเป็นทรงกลมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, ความหนาแน่นของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, น้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด และเวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อ แต่มีความสัมพันธ์กับความเร็วยรอบในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลดังตารางผนวกที่ ฅู1 และ ฅู2 และสามารถเขียนในรูปสมการความถดถอยเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\eta_{\text{CEN1}} = -152.116 + 0.292n \quad ; R^2 = 0.486$$

ประสิทธิภาพการแยกเนื้อครั้งที่ 2 ไม่มีความสัมพันธ์กับความเป็นทรงกลมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้ว, ความหนาแน่นของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, น้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด และเวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อ แต่มีความสัมพันธ์กับความเป็นทรงกลมของเมล็ด และความเร็วยรอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเป็นทรงกลมของเมล็ดมากกว่าความเร็วยรอบเล็กน้อย ($0.3896 > 0.3603$) เนื่องจากผลสละเกิดการบิดงอของเนื้อจากการแยกเนื้อครั้งที่ 1 มาแล้ว ทำให้ไม่ต้องอาศัยความเร็วยรอบในการแยกเนื้อครั้งที่ 2 มากเท่ากับครั้งแรก และรูปร่างของเมล็ดนั้น ในการแยกเนื้อรอบแรกนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อ เนื่องจาก เมล็ดของผลสละยังถูกหุ้มด้วยเนื้ออยู่ แต่พอผ่านการแยกครั้งที่ 1 มาแล้ว ผลสละที่มีเมล็ดค่อนข้างกลมจะสามารถแยกเนื้อได้ง่ายกว่าเมล็ดที่มีรูปร่างไม่กลม เนื่องจากระหว่างการแยกเนื้อ เมล็ดที่ค่อนข้างกลมจะกลิ้งไปได้ทุกทิศทางทำให้แยกเนื้อได้ค่อนข้างเกลี้ยง ต่างกับเมล็ดที่มีรูปร่างยาวซึ่งมักจะกลิ้งไปทางด้านยาวซึ่งเป็นการวางตัวตามธรรมชาติ ทำให้ด้านสั้นมีการแยกเนื้อไม่ดี โดยสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลดังตารางผนวกที่ ฅู3 และ ฅู4 และสามารถเขียนในรูปสมการความถดถอยเชิงเส้นได้ดังนี้

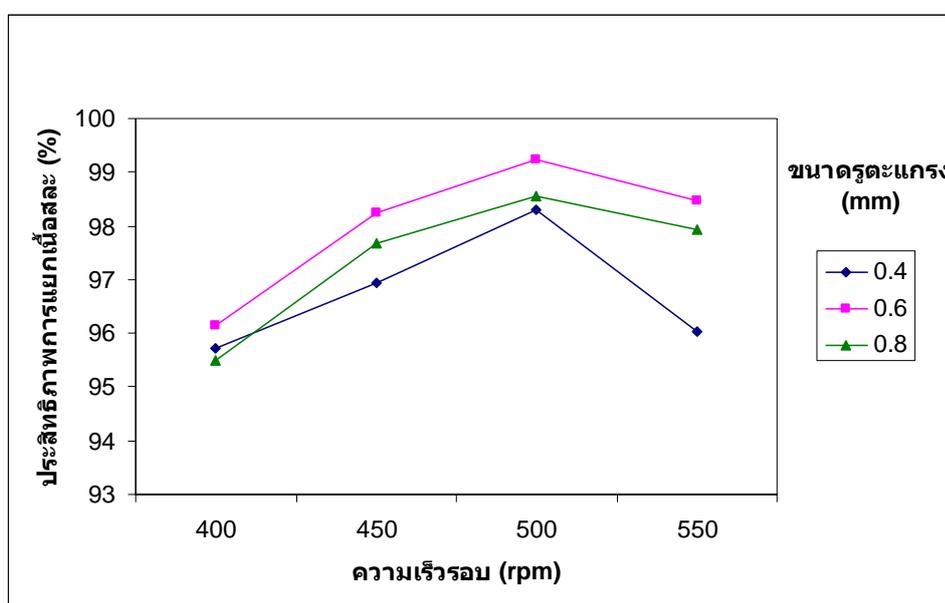
$$\eta_{\text{CEN2}} = -136.509 + 156.247Sp_2 + (9.428 \times 10^{-2})n \quad ; R^2 = 0.261$$

1.4 สรุปข้อมูลความสัมพันธ์ที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบ จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพในการแยกเนื้อครั้งที่ 1 มีความสัมพันธ์กับความเร็วยรอบที่ใช้มากที่สุด ดังนั้นจึงนำปัจจัยนี้มาใช้ในการทำนายหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ เพื่อให้ได้เครื่องแยกเนื้อสละที่สามารถแยกเนื้อสละได้อย่างมีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการประมาณค่านอกช่วงด้วยวิธีการใช้ผลต่างจากการแบ่งย่อยของนิวตัน ซึ่งแสดง

การคำนวณในภาคผนวก ง. ผลการคำนวณพบว่า หากต้องการให้เครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ทดสอบเบื้องต้น สามารถแยกเนื้อสละได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ความเร็วรอบ 941.273 รอบต่อ นาที หรือต้องใช้แรงในการแยกเนื้อสละมีค่า 222.907 นิวตัน

2. ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ ซึ่งมีรัศมีของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมเล็กสุด 15 เซนติเมตร, รัศมีใหญ่สุด 17 เซนติเมตร, ยาว 100 เซนติเมตร, เส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงมีขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และมีใบกวาดจำนวน 3 ใบ จากตารางผนวกที่ ฉ1 วิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียว โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่มีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อเป็นตัวแปรตามที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบที่ใช้ในการแยกเนื้อ โดยแยกพิจารณาประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละเฉลี่ยตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงที่ขนาดได้ผลการคำนวณดังภาพที่ 34 และตารางที่ 8



ภาพที่ 34 แสดงประสิทธิภาพการแยกเนื้อเฉลี่ย โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ตารางที่ 8 แสดงความแตกต่างของประสิทธิภาพการแยกเนื้อเฉลี่ยโดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	ประสิทธิภาพการแยกเฉลี่ย (%) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรง (mm)		
	0.4	0.6	0.8
400	95.72 ± 3.45a	96.16 ± 1.69a	95.50 ± 2.53a
450	96.94 ± 1.44ab	98.24 ± 1.75b	97.69 ± 1.34b
500	98.30 ± 0.75b	99.23 ± 0.83b	98.54 ± 0.58b
550	96.05 ± 2.20ab	98.46 ± 0.79b	97.92 ± 1.19b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากภาพที่ 34 และตารางที่ 8 พบว่า ในการทดสอบเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ สามารถทำการแยกเนื้อสละได้โดยมีประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละสูงสุดถึง $99.23 \pm 0.83\%$ โดยการแยกเนื้อเพียงครั้งเดียว เมื่อใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ทั้งนี้เนื่องจากความยาวของเครื่อง, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรง และจำนวนใบกวาดที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ใบเป็น 3 ใบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองและปรับปรุงเครื่องของ Tansakul (1990) และ Noomhorm และ Tansakul (1992) ทำให้เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบสามารถแยกเนื้อสละได้ดีกว่าเครื่อง Pulper-Finisher ที่มีใบกวาดจำนวน 2 ใบ ซึ่งใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ แม้ว่าความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ใช้จะมีความเร็วรอบที่ช้ากว่าก็ตาม แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 550 รอบต่อนาทีนั้น แม้จะทำให้เกิดแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละเพิ่มขึ้น ดังสมการ (20) แต่กลับทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละลดลงเนื่องจาก ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเร่งเพิ่มขึ้นด้วยดังสมการ (ง.5) และความเร่งที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ระยะเวลาที่สละอยู่ในเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบลดลงด้วยดังสมการ (ง.11) ดังนั้นที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาทีนั้น ผลสละจึงมีเวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อน้อยกว่าที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละลดลงด้วย

จากตารางที่ 8 พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงที่เพิ่มขึ้นนั้น ไม่ทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งขัดแย้งกับผลงานวิจัยของ Tansakul (1990) และ Noomhorm และ Tansakul (1992) ที่ใช้รูตะแกรงขนาด 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดต่างกันถึง 3 เท่า และการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสละ ที่ใช้รูตะแกรงขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดต่างกันถึง 4 เท่า เนื่องจากรูตะแกรงที่ใช้เหล่านี้มีขนาดต่างกันมาก มีผลให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ต่างจากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งใช้รูตะแกรงขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงที่ใช้มีขนาดใกล้เคียงกัน มีผลให้ไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการแยกเนื้อทางสถิติ

2.2 ผลการทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะเดินเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบขณะไม่ได้ป้อนสละมีค่า 2.3 A และสามารถคำนวณประสิทธิภาพในการแยกเนื้อสละได้จากสมการ (23) และกำลังการผลิตจากสมการ (26) ได้ผลดังตารางผนวกที่ ฉ2

จากตารางผนวกที่ ฉ2 สามารถหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของผลสละที่ยังไม่ได้ปอกเปลือก, เวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ, ประสิทธิภาพการแยกเนื้อ, กระแส และกำลังการผลิตได้ผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

น้ำหนักของสละที่ปอกเปลือกแล้ว (g)	เวลา (s)	ประสิทธิภาพการแยกเนื้อ (%)	กระแส (A)	กำลังการผลิต (kg/day)
100.70	9.05	97.23 ± 1.18	2.86	379.85
202.56	9.65	96.56 ± 2.08	2.83	640.31
301.60	5.57	93.57 ± 1.72	3.08	1563.80

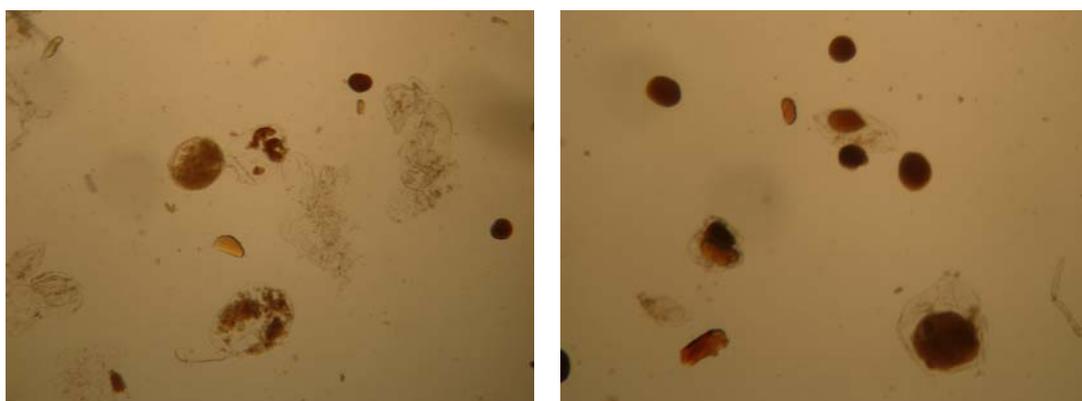
จากตารางที่ 9 พบว่าเมื่อป้อนสละมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละลดลง ซึ่งมีผลจากแรงกระทำของผลสละ และจากค่ากำลังการผลิตที่ได้ พบว่าเมื่อป้อนสละครั้งละประมาณ 300 กรัม สามารถทำกำลังการผลิตได้สูงกว่าค่ากำลังการผลิตที่ออกแบบซึ่งมีค่า 660 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบจะคิดการป้อนสละครั้งละ 1 ผล แต่ในการทดสอบ

กำลังการผลิตจะทำการป้อนในปริมาณที่มากกว่า 1 ผล ดังนั้น ค่ากำลังผลิตจริงที่ได้จึงสูงกว่าค่าที่ ออกแบบประมาณ 2.4 เท่า สามารถคำนวณหาอัตราการใช้ไฟฟ้าได้จากสมการ (27) โดยกำหนดให้ เครื่องแยกเนื้อสละทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{อัตราการใช้ไฟฟ้า} &= \frac{220 \times 3.08 \times 8}{1000} \\ &= 5.421 \text{ kW-hr/day} \\ &= 5.421 \text{ units/day}\end{aligned}$$

2.3 ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

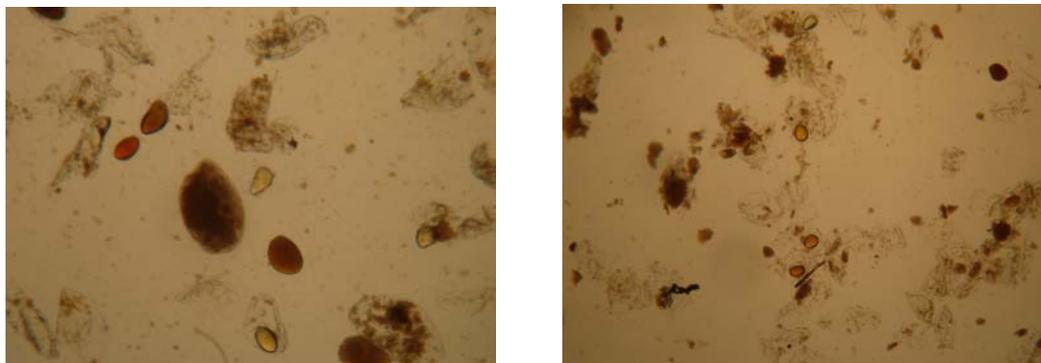
2.3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตะกอนน้ำสละที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด ต่างๆ ซึ่งทำการถ่ายภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 4 เท่า มีดังนี้



ภาพที่ 35 ตะกอนน้ำสละซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 50 mesh (ซ้าย) และ 80 mesh (ขวา) ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยาย 4 เท่า

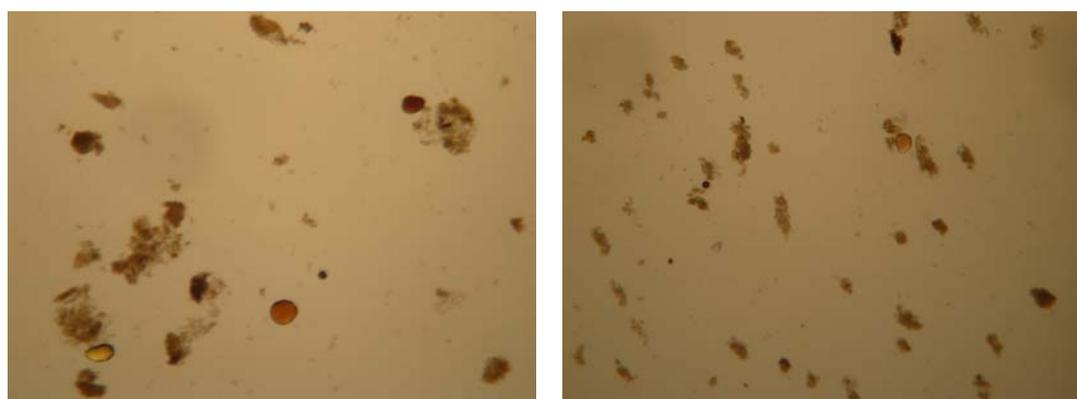
จากภาพที่ 35 เป็นตะกอนของน้ำสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 50 และ 80 mesh โดยใช้เวลาแยก 5 นาที จากภาพที่ 35 (ซ้าย) พบว่าตะกอนนั้นประกอบด้วยเนื้อสละซึ่งมีขนาด ที่แตกต่างกันมากทั้งเล็กและใหญ่ รวมทั้งมีเนื้อสละที่มีลักษณะเป็นเส้นใยปะปนอยู่บ้าง ซึ่งเป็น ตะกอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 300 ถึง 800 ไมโครเมตร และมีลักษณะคล้ายกับภาพที่

35 (ขวา) ซึ่งตะกอนนั้นประกอบด้วยเนื้อสละซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกันมากพอสมควร แต่มีเส้นใยปะปนมาเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นตะกอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 180 ถึง 300 ไมโครเมตร



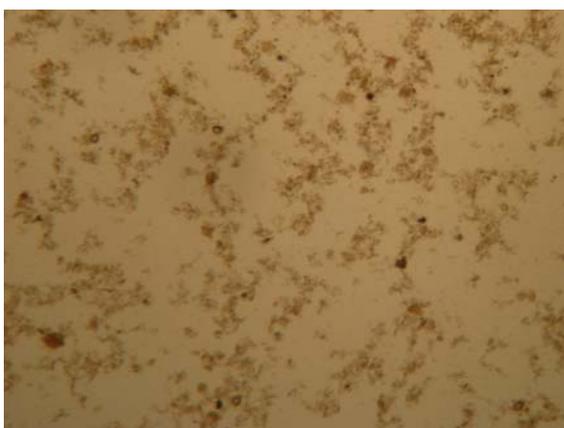
ภาพที่ 36 ตะกอนน้ำสละซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 120 mesh (ซ้าย) และ 170 mesh (ขวา) ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยาย 4 เท่า

จากภาพที่ 36 เป็นตะกอนของน้ำสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 120 และ 170 mesh โดยใช้เวลาแยก 5 นาที จากภาพที่ 36 (ซ้าย) พบว่าตะกอนนั้นประกอบด้วยเนื้อสละซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกันบ้าง และเริ่มมีอนุภาคขนาดเล็กๆ ของสละปะปนอยู่กับเส้นใยมากขึ้น ซึ่งเป็นตะกอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดระหว่าง 125 ถึง 180 ไมโครเมตร และจากภาพที่ 36 (ขวา) พบว่าความแตกต่างของอนุภาคนั้นลดน้อยลงมาก แต่มีเนื้อสละที่มีลักษณะเส้นใยปะปนอยู่มากขึ้น



ภาพที่ 37 ตะกอนน้ำสละซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh (ซ้าย) และ 270 mesh (ขวา) ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยาย 4 เท่า

จากภาพที่ 37 เป็นตะกอนของน้ำสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งค้างบนตะแกรงร้อนขนาด 200 และ 270 mesh โดยใช้เวลาแยก 5 นาที ซึ่งพบว่าตะกอนทั้งสองภาพมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีขนาดแตกต่างกันน้อยลงตามความละเอียดของตะแกรงร้อนที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 38 ตะกอนน้ำสละซึ่งค้างบนถาด ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยาย 4 เท่า

จากภาพที่ 38 เป็นน้ำสละที่ผ่านตะแกรงร้อนขนาด 270 mesh ซึ่งมีความใสกว่าน้ำสละเริ่มต้น เนื่องจากได้มีการแยกตะกอนออกไปแล้ว และเมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยาย 4 เท่าพบว่า ตะกอนของน้ำสละเป็นตะกอนขนาดเล็กละเอียดที่มีขนาดสม่ำเสมอมาก

จากการศึกษาตะกอนของน้ำสละโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าตะกอนสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร นั้น มีขนาดตะกอนที่ปะปนกันทั้งเล็กและใหญ่ซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกันมาก เช่นเดียวกับน้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 และ 0.6 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางเช่นกัน ดังนั้น การเปรียบเทียบคุณภาพจึงจำเป็นต้องมีการหาขนาดเฉลี่ยโดยการคำนวณหาขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละด้วยวิธีของ Baker และ Herrman (2002) เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบคุณภาพต่อไป

2.3.2 ผลการหาขนาดเฉลี่ยของตะกอนในน้ำสละ

ก. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละ ซึ่งแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ไฟฟ้าแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งมี 2 ชั้นตอน คือ

1) ผลการทดสอบเครื่องเขย่าตะแกรงร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกตะกอนของน้ำสละปริมาณ 50 กรัม พบว่าเมื่อตั้งค่า Amplitude ของเครื่องเขย่าตะแกรงร้อนมีค่า 50 และเลือกใช้น้ำสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่ใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ได้ผลการทดสอบดังตารางผนวกที่ ๗ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยกำหนดให้น้ำหนักของตะกอนที่แยกได้ในแต่ละชั้นตะแกรงเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ เวลาที่ใช้ในการแยกตะกอน โดยแยกพิจารณาน้ำหนักตะกอนเฉลี่ยตามขนาดรูของตะแกรงร้อนทีละขนาด ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงน้ำหนักตะกอนเฉลี่ย

ขนาดตะแกรงร้อน (mesh)	น้ำหนักตะกอนเฉลี่ยซึ่งถูกแยกด้วยตะแกรงร้อน (g)		
	เวลา (min)		
	3	5	7
50	9.26 ± 0.56a	8.72 ± 1.02ab	7.53 ± 0.58b
80	7.04 ± 0.37a	6.12 ± 1.01a	6.00 ± 1.54a
120	4.35 ± 0.77a	4.96 ± 0.77a	3.92 ± 1.65a
170	2.66 ± 0.56a	3.44 ± 0.93a	3.10 ± 0.51a
200	2.03 ± 1.07a	2.69 ± 1.47a	1.50 ± 0.25a
270	1.79 ± 0.45a	2.31 ± 0.95a	1.79 ± 0.90a
ถาด	21.36 ± 2.36a	20.24 ± 4.37a	22.36 ± 2.00a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 10 พบว่า มีเพียงค่าเฉลี่ยตามแนวนอนของตะแกรงร้อน ขนาด 50 mesh เท่านั้นที่มีความแตกต่างทางสถิติในการแยกตะกอนออกจากน้ำสละ เมื่อเทียบ น้ำหนักของตะกอนที่ใช้เวลาในการเขย่านาน 3 และ 7 นาที ดังนั้น สรุปได้ว่า ควรใช้เวลาในการแยกตะกอนด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร้อนเป็นเวลา 5 นาที เนื่องจาก ที่เวลา 5 และ 7 นาทีนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกขนาดของตะแกรง จึงเลือกใช้เวลาที่มีค่าน้อยในการแยกตะกอน

2) ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำสละซึ่งแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละ ต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละ ที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ไฟฟ้าแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง โดยทดสอบด้วยเครื่องเขย่า ตะแกรงร้อน ตั้งค่า Amplitude มีค่า 50 และใช้เวลาแยกตะกอนนาน 5 นาที ได้ผลการทดสอบดัง ตารางผนวกที่ ๑๒ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยกำหนดให้น้ำหนักของตะกอนที่แยกได้ในแต่ละชั้นตะแกรงเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ วิธีการที่ใช้ในการแยกน้ำสละ โดยแยกพิจารณาน้ำหนักตะกอนเฉลี่ยตามขนาดรูของตะแกรงร้อนทีละขนาด ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงน้ำหนักตะกอนเฉลี่ยของน้ำสละที่แยกด้วยวิธีต่างๆ

ขนาด ตะแกรง ร่อน (mesh)	น้ำหนักตะกอนเฉลี่ย (g)			
	แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ ซึ่งใช้รูตะแกรงขนาด (mm)			ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้ว แยกด้วยผ้าขาวบาง (g)
	0.4	0.6	0.8	
50	6.70 ± 0.97a	9.93 ± 0.18b	8.72 ± 1.02c	1.85 ± 0.20d
80	7.05 ± 1.75ab	8.43 ± 1.85a	6.12 ± 1.01b	3.29 ± 0.22c
120	5.74 ± 0.60a	5.67 ± 0.28a	4.96 ± 0.77a	2.37 ± 0.40b
170	3.62 ± 0.62a	2.95 ± 0.40a	3.44 ± 0.93a	1.85 ± 0.56b
200	2.15 ± 0.20ab	1.45 ± 0.39ab	2.69 ± 1.47a	1.27 ± 0.50b
270	2.23 ± 0.35a	1.30 ± 0.16b	2.31 ± 0.95a	4.05 ± 0.41c
ถาด	20.21 ± 0.91a	18.32 ± 1.52a	20.24 ± 4.37a	33.75 ± 1.20b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 11 พบว่า น้ำสละที่ผ่านการแยกเนื้อโดยใช้ตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร มีน้ำหนักตะกอนเฉลี่ยบนตะแกรงร่อนบางขนาด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และบางขนาดมีความแตกต่างทางสถิติ แต่ น้ำสละที่ผ่านการแยกเนื้อโดยใช้ตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร มีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำสละซึ่งกรองแยกด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าตะกอนของน้ำสละที่ผ่านการแยกด้วยตะแกรงที่ต่างกัน มีลักษณะของตะกอนที่แตกต่างกัน และมีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำสละที่แยกด้วยผ้าขาวบาง

ข. ผลการวิเคราะห์ขนาดตะกอนของน้ำสละ ที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ โดยใช้ตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบาง จากตารางผนวกที่ ข2 สามารถ

คำนวณหาขนาดตะกอนของน้ำสละได้ดังตารางผนวกที่ ๗17 ซึ่งแสดงการคำนวณดังกล่าวผนวก ๗. และตารางผนวกที่ ๗1 ถึง ๗16 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียวเกี่ยวกับขนาดตะกอนของน้ำสละ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ขนาดตะกอนเฉลี่ยจากน้ำสละที่ได้จากการแยกด้วยวิธีต่างๆ

ขนาดตะกอนเฉลี่ย (μm)			
แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งใช้รูตะแกรงขนาด (mm)	ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้		
0.4	0.6	0.8	แล้วแยกด้วยผ้าขาวบาง
$20.746 \pm 2.378a$	$29.244 \pm 5.564a$	$23.611 \pm 10.202a$	$4.487 \pm 0.702b$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

แม้ว่าผลการศึกษาคูณภาพของน้ำสละในตารางที่ 11 จะพบว่าตะกอนของน้ำสละที่ผ่านการแยกด้วยตะแกรงที่ต่างกัน มีลักษณะของตะกอนที่แตกต่างกัน แต่จากการหาขนาดของตะกอนซึ่งแสดงดังตารางที่ 12 พบว่าขนาดของตะกอนที่ได้จากการแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ค่าความเบี่ยงเบนของขนาดตะกอนซึ่งแยกด้วยตะแกรงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร นั้นมีค่าสูง แสดงว่าการกระจายของขนาดอนุภาคมีมาก จึงเป็นตะแกรงที่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพราะจะทำให้เกิดการตกตะกอนเมื่อนำไปทำน้ำผลไม้ และขนาดของตะกอนที่ได้จากการแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบแตกต่างกับน้ำสละที่ได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกกากด้วยผ้าขาวบางทางสถิติ โดยมีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละมีขนาดใหญ่กว่ารูของผ้าขาวบาง

2.3.3 ผลการวิเคราะห์การตกตะกอนของน้ำสละ ที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบโดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบาง ได้ผลการทดสอบดังตารางผนวกที่ ๗3 ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว หรือแบบมีปัจจัยเดียว โดย

การเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่มีเงื่อนไขว่า ค่าแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดต้องเท่ากัน โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์ของระดับตะกอนเป็นตัวแปรตาม ที่ขึ้นกับปัจจัยคงที่ ซึ่งได้แก่ น้ำสละที่แยกได้ด้วยวิธีต่างๆ โดยแยกพิจารณาข้อมูลทีละช่วงเวลา ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงเปอร์เซ็นต์ของระดับตะกอนน้ำสละที่แยกด้วยวิธีต่างๆ

เวลา (min)	การตกตะกอนของน้ำสละ (%)			
	แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งใช้รูตะแกรงขนาด (mm)			ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ แล้วแยกด้วยผ้าขาวบาง (%)
	0.4	0.6	0.8	
5	97.429 ± 0.562a	99.121 ± 1.125b	96.087 ± 0.652a	14.284 ± 1.434c
10	94.864 ± 1.919a	96.764 ± 1.993a	95.816 ± 0.498a	17.138 ± 2.015b
15	94.864 ± 1.919a	96.764 ± 1.993a	95.254 ± 0.510a	18.288 ± 1.621b
20	93.988 ± 1.748a	96.764 ± 1.993b	95.254 ± 0.510ab	18.288 ± 1.621c
25	93.423 ± 1.939a	95.276 ± 1.635a	94.970 ± 0.656a	18.288 ± 1.621b
30	93.142 ± 1.586a	95.276 ± 1.635a	93.874 ± 1.836a	18.288 ± 1.621b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว โดยใช้สถิติ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 13 และภาพที่ ข8 ถึง ข13 พบว่าน้ำสละที่แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบนี้มีลักษณะการตกตะกอนที่ขัดแย้งกับการตกตะกอนทั่วไป เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของน้ำสละมีปริมาณตะกอนปะปนอยู่มาก จนมองเห็นน้ำสละเริ่มต้นมีลักษณะเป็นตะกอนทั้งหมด หลังจากปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จะมีการทับถมของตะกอนที่หนาแน่นขึ้น ทำให้ระดับความสูงของระดับตะกอนที่วัดได้มีค่าลดลง ต่างจากน้ำสละที่กรองแยกด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งมีน้ำสละเริ่มต้นที่ค่อนข้างใส เมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเช่นกัน จะเห็นระดับของตะกอนที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการตกตะกอนทั่วไป

จากตารางที่ 13 พบว่าเมื่อเริ่มทำการตกตะกอนนาน 5 นาที เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของน้ำสละที่ได้จากการแยกด้วยเครื่องแยกน้ำสละต้นแบบซึ่งใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร มีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบมีความแตกต่างกับน้ำสละที่ได้จากการกรองด้วยผ้าขาวบาง เมื่อตกตะกอนนาน 10 และ 15 นาที พบว่าเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละซึ่งใช้ตะแกรงทั้ง 3 ขนาดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำสละที่ได้จากการกรองด้วยผ้าขาวบาง

หลังจากตกตะกอนนาน 20 นาที พบว่าตะกอนของน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 และ 0.6 มิลลิเมตรมีความแตกต่างทางสถิติ และน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบซึ่งใช้ตะแกรงทั้ง 3 ขนาด มีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำสละที่ได้จากการกรองด้วยผ้าขาวบาง แต่หลังจาก 20 นาทีไปแล้วเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนของน้ำสละของน้ำสละที่แยกจากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบโดยใช้ตะแกรงทั้ง 3 ขนาดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำสละที่ได้จากการกรองด้วยผ้าขาวบาง

3. ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยวิธีมูลค่าปัจจุบันของโครงการที่ใช้เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ และโครงการที่ใช้แรงงานคน โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้ง 2 โครงการนี้ จะไม่รวมค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปกเปลือกผลสละ เพราะทั้งโครงการที่ใช้เครื่องแยกเนื้อสละ และใช้แรงงานคนต่างก็ต้องใช้แรงงานคนในการปกเปลือกผลสละเหมือนกัน ซึ่งคิดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ประเภทเงินให้สินเชื่อเพื่อการอุปโภคบริโภคของธนาคารกรุงเทพซึ่งเริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 17 เมษายน 2549 มีค่า 12.50 เปอร์เซ็นต์ (ธนาคารกรุงเทพ, 2545) และอัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำปี 2549 วันละ 184 บาทต่อคน (กระทรวงแรงงาน, 2550)

3.1 โครงการที่ใช้เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ จากการทดสอบเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบเมื่อใช้คนงาน 1 คน จะมีความสามารถในการแยกเนื้อสละเฉลี่ย 1,563.80 กิโลกรัมต่อวันของ

น้ำหนักสละที่ป้อนเข้าเครื่อง เมื่อทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยการป้อนผลสละครั้งละประมาณ 300 กรัม สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบได้ดังนี้

1. ค่าเครื่องจักรราคา 126,579 บาท (จากตารางที่ 14)
2. ค่าบำรุงรักษา (Repair and Maintenance) สภาวิศวกร (2548) ได้แนะนำวิธีการคำนวณค่าบำรุงรักษาต่อวัน ดังนี้ โดยกำหนดให้ทำงาน 250 วันต่อปี และเครื่องจักรทำงานปานกลาง (เลือกค่า Repair factor มีค่า 0.1)

$$\text{ค่าบำรุงรักษาต่อวัน} = \frac{R \times P}{1000}$$

เมื่อ R คือ ค่า Repair factor ขึ้นกับชนิดเครื่องจักร ลักษณะการทำงานหนัก ปานกลาง เบา มีค่าตั้งแต่ 0.03 - 0.17

P คือ ราคาเครื่องจักรทั้งหมด (บาท)

$$\begin{aligned} \text{ค่าบำรุงรักษาต่อปี} &= \frac{0.1 \times 126,579}{1000} \times 250 \\ &= 3,164.475 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

3. ค่าไฟฟ้า จากการคำนวณพบว่า เครื่องแยกเนื้อสละมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 5.421 หน่วยต่อวัน คิดราคาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท ทำงาน 250 วันต่อปี

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 5.421 \times 3 \times 250 = 4,065.75 \text{ บาทต่อปี}$$

4. ค่าแรงงาน ใช้แรงงานในการควบคุมเครื่องจักร 2 คน อัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำปี 2549 วันละ 184 บาทต่อคน (กระทรวงแรงงาน, 2550) ทำงาน 250 วันต่อปี

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} = 184 \times 2 \times 250 = 92,000 \text{ บาทต่อปี}$$

ตารางที่ 14 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ราคา ต่อ หน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1. สแตนเลสกล่อง 1.5 × 1.5 นิ้ว ยาว 6 m หนา 1.2 mm	1	1,850	1,850
2. สแตนเลสแผ่น หนา 1.5 mm ขนาด 4 × 8 ฟุต	1	6,590	6,590
3. สแตนเลสแผ่น หนา 6 mm ขนาด 4 × 8 ฟุต	1/10	21,240	2,124
4. สแตนเลสแผ่น หนา 1/8 นิ้ว ขนาด 4 × 8 ฟุต	1/3	11,960	3,987
5. สแตนเลสกล่อง 1 × 1 นิ้ว ยาว 0.72 m หนา 1 mm	1	970	970
6. สแตนเลส เพลาดัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 1.7 m	1	3,200	3,200
7. สแตนเลส เพลาดัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 0.2 m	1	300	300
8. สแตนเลส เพลาดัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาว 0.3 m	1	100	100
9. ตะแกรงสแตนเลสขนาดรู 10 mm หนา 1 mm กว้าง 60 cm ยาว 1 m	1	1,000	1,000
10. ตะแกรงสแตนเลสขนาดรู 0.4 mm หนา 0.3 mm กว้าง 60 cm ยาว 1 m	1	1,900	1,900
11. ตะแกรงสแตนเลสขนาดรู 0.6 mm หนา 0.3 mm กว้าง 60 cm ยาว 1 m	1	1,800	1,800
12. ตะแกรงสแตนเลสขนาดรู 0.8 mm หนา 0.4 mm กว้าง 60 cm ยาว 1 m	1	1,700	1,700
13. แบริ่ง UCP208	2	570	1,140
14. แบริ่ง UCF570	2	570	1,140
15. สายพานขนาด B73	2	183	366
16. พูลเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว	1	200	200
17. พูลเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว	1	150	150
18. มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า 4 ขั้ว 380 V มีขาตั้ง	1	3,050	3,050
19. แผ่นยางเทปเลื่อน หนา 3 mm ยาว 3 m	1	2,000	2,000
20. น๊อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว จำนวน 37 ตัว	1	12	12
21. Inverter ขนาด 2 แรงม้า 380 V	1	11,000	11,000
22. ชุดกล่องไฟ + ขาตั้ง	1	1,200	1,200
23. เกล็ดขลิบล้างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	1	800	800
24. ค่าแรงงาน	1	50,000	50,000
25. ค่าวัสดุสิ้นเปลือง	1	30,000	30,000
ราคารวม		126,579	

5. มูลค่าซากของเครื่องแยกเนื้อสละหลังจากใช้งาน 10 ปี คิดเป็น 10% ของราคาเครื่อง

$$\text{มูลค่าซาก} = 0.1 \times 126,579 = 12,658 \text{ บาท}$$

สามารถคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสำหรับการแยกเนื้อสละด้วยเครื่องแยกเนื้อสละ
ต้นแบบ (P₁) ได้จากสมการ (33) และ (34) ดังนี้

$$\begin{aligned} P_1 &= -126,579 - (3,164.475 + 4,065.75 + 92,000)(P/A, 12.5\%, 10) + 12,658(P/F, 12.5\%, 10) \\ &= -126,579 - \left[99,230.225 \times \left[\frac{(1 + 0.125)^{10} - 1}{0.125 \times (1 + 0.125)^{10}} \right] \right] + \left[12,658 \times \left[\frac{1}{(1 + 0.125)^{10}} \right] \right] \\ &= -126,579 - (99,230.225 \times 5.536) + (12,658 \times 0.308) \\ &= -672,018.862 \text{ บาท} \end{aligned}$$

3.2 การแยกเนื้อสละโดยใช้แรงงานคน ซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณวันละ 660 กิโลกรัมต่อ
วัน

3.2.1 การคำนวณหาแรงงานคน และจำนวนเครื่องจักรในแต่ละกิจกรรม

1. การหาจำนวนแรงงานคนในขั้นตอนการแยกฝานเนื้อออกจากเมล็ด เมื่อคนงาน 1 คน
ใช้เวลาประมาณ 10 วินาทีในการใช้มีดฝานแยกเนื้อสละ 1 กีบซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 12.07 กรัม

$$\begin{aligned} \text{จำนวนแรงงาน} &= \frac{10}{0.01207} (\text{s/kg}) \times \frac{660(\text{kg/days})}{3,600(\text{s/hr}) \times 8(\text{hr/days})} \\ &= 18.986 \\ &\approx 19 \text{ คน} \end{aligned}$$

2. การคำนวณหาจำนวนเครื่องปั่นน้ำผลไม้ และจำนวนแรงงานคน เมื่อคนงาน 1 คนต้อง
ปั่นเนื้อสละที่ฝานแล้วด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ซึ่งสามารถปั่นได้น้ำหนักสละเฉลี่ย 300 กรัม ในเวลา
30 วินาที

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเครื่องปั่นน้ำผลไม้} &= \frac{30}{0.3} (\text{s/kg}) \times \frac{660(\text{kg/day})}{3,600(\text{s/hr}) \times 8(\text{hr/day})} \\ &= 2.292 \\ &\approx 3 \text{ เครื่อง} \end{aligned}$$

กำหนดให้คนงาน 1 คนใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้จำนวน 1 เครื่อง ดังนั้น ต้องใช้แรงงานคน
ในชั้นตอนนี้จำนวน 3 คน

3. การคำนวณหาจำนวนแรงงานคนที่ใช้ในการกรองน้ำสละ เมื่อคนงาน 1 คน สามารถ
กรองแยกกากของน้ำสละปริมาณ 300 กรัมด้วยผ้าขาวบางในเวลา 20 วินาที

$$\begin{aligned} \text{จำนวนแรงงาน} &= \frac{20}{0.3} (\text{s/kg}) \times \frac{660(\text{kg/day})}{3,600(\text{s/hr}) \times 8(\text{hr/day})} \\ &= 1.528 \\ &\approx 2 \text{ คน} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการแยกเนื้อสละด้วยแรงงานคน จำเป็นต้องใช้แรงงานรวม $19 + 3 + 2 = 24$ คน

3.2.2 การแยกเนื้อสละด้วยแรงงานคน มีค่าใช้จ่าย ดังนี้

1. ค่าถุงมือสำหรับคนงานจำนวน 24 คน ราคาถุงละ 90 บาท 1 ถุงมี 50 คู่ มีอายุการใช้งาน
1 วัน กำหนดให้ทำงาน 250 วันต่อปี

$$\text{ค่าถุงมือ} = \frac{24 \times 90}{50} \times 250 = 10,800 \text{ บาทต่อปี}$$

2. ค่ามัดสำหรับคนงานที่ผ่านแยกเนื้อสละ จำนวน 19 เล่ม ราคาเล่มละ 20 บาท กำหนดให้
มีคมีอายุการใช้งาน 2 ปี

$$\text{ค่ามัด} = 19 \times 20 = 380 \text{ บาท}$$

3. ค่าเครื่องปั้นน้ำผลไม้ ขนาด 250 วัตต์ ราคาเครื่องละ 750 บาท จำนวน 3 เครื่อง กำหนดให้เครื่องปั้นน้ำผลไม้มีอายุการใช้งาน 2 ปี

$$\text{ค่าเครื่องปั้นน้ำผลไม้} = 750 \times 3 = 2,250 \text{ บาท}$$

4. ค่าไฟฟ้า เครื่องปั้นน้ำผลไม้ขนาด 250 วัตต์ คิดราคาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท ใน 1 ปี ทำงาน 250 วัน วันละ 8 ชั่วโมง

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 0.25 \times 8 \times 3 \times 250 = 1,500 \text{ บาทต่อปี}$$

5. ค่าแรงงาน ใช้แรงงานในการผลิตรวม 24 คน อัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำปี 2549 วันละ 184 บาทต่อคน (กระทรวงแรงงาน, 2550) ทำงาน 250 วันต่อปี

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} = 184 \times 24 \times 250 = 1,104,000 \text{ บาทต่อปี}$$

สามารถคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสำหรับการแยกเนื้อสละด้วยแรงงานคน (P_2) ได้จาก สมการ (33) และ (34) ดังนี้

$$\begin{aligned} P_2 &= -(380 + 2,250) - (380 + 2,250)(P/F, 12.5\%, 2) - (380 + 2,250)(P/F, 12.5\%, 4) \\ &\quad - (380 + 2,250)(P/F, 12.5\%, 6) - (380 + 2,250)(P/F, 12.5\%, 8) \\ &\quad - (10,800 + 1,500 + 1,104,000)(P/A, 12.5\%, 10) \\ &= -2,630 - \left[2,630 \times \left[\frac{1}{(1 + 0.125)^2} \right] \right] - \left[2,630 \times \left[\frac{1}{(1 + 0.125)^4} \right] \right] \\ &\quad - \left[2,630 \times \left[\frac{1}{(1 + 0.125)^6} \right] \right] - \left[2,630 \times \left[\frac{1}{(1 + 0.125)^8} \right] \right] \\ &\quad - \left[1,116,300 \times \left[\frac{(1 + 0.125)^{10} - 1}{0.125 \times (1 + 0.125)^{10}} \right] \right] \\ &= -2,630 - (2,630 \times 0.790) - (2,630 \times 0.624) - (2,630 \times 0.493) - (2,630 \times 0.390) \\ &\quad - (1,116,300 \times 5.536) \end{aligned}$$

= - 6,188,507.91 บาท

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยวิธีมูลค่าปัจจุบัน

ประเภท เงินลงทุน	เครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ	การแยกเนื้อสละด้วยแรงงานคน
เงินลงทุนขั้นต้น (บาท)	126,579	2,630
ค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท/ปี)	99,230.225	1,116,300
ค่าใช้จ่ายปีที่ 2, 4, 6 และ 8 (บาท/2 ปี)	-	2,630
มูลค่าสุดท้าย (บาท)	12,658	-
รวมมูลค่าปัจจุบัน (บาท)	672,018.862	6,188,507.91

จากตารางที่ 15 พบว่าหากเลือกใช้วิธีการแยกเนื้อ โดยแรงงานคน ซึ่งสามารถแยกเนื้อสละได้ 660 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อลงทุนนาน 10 ปี ต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 6,190,000 บาท แต่เมื่อมีการนำเครื่องแยกเนื้อสละซึ่งสามารถแยกเนื้อสละได้ประมาณ 1,500 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อลงทุนนาน 10 ปีเท่ากัน จะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 673,000 บาท เนื่องจากการใช้เครื่องแยกเนื้อสละนั้นสามารถช่วยลดจำนวนคนงาน ซึ่งต้องใช้จำนวนมากในขั้นตอนการฟานแยกเนื้อสละด้วยมือ เมื่อทำการแยกเนื้อสละโดยวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลสละที่ปอกเปลือกแล้ว และเมล็ด มีเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิตเป็น 28.5 และ 14.1 มิลลิเมตร, น้ำหนักเฉลี่ย 12.07 และ 2.04 กรัม ตามลำดับ และ %Yield ของผลสละมีค่า 61.68%
2. องค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ คือ ความเร็วรอบ, ความเป็นทรงกลมของเมล็ด (ในกรณีที่แยกเนื้อด้วยเครื่องแยกเนื้อสละซ้ำตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป), จำนวนครั้งที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ และรัศมีของตะแกรงของเครื่องแยกเนื้อสละ
3. เครื่องแยกเนื้อสละมีประสิทธิภาพการแยกเนื้อเฉลี่ยสูงสุด 99.23 ± 0.83 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เมื่อใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 1,563.80 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อทำงานวันละ 8 ชั่วโมง และมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 5.421 หน่วยต่อวัน
4. จากการวัดขนาดอนุภาคของน้ำสละที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบโดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรงร้อนพบว่า น้ำสละที่ได้จากการแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบโดยใช้ตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และน้ำสละที่ได้จากการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางมีขนาดของตะกอนเฉลี่ยขนาด $20.746 \pm 2.378a$, $29.244 \pm 5.564a$, $23.611 \pm 10.202a$ และ $4.487 \pm 0.702b$ ไมโครเมตร ตามลำดับ
5. จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า การใช้เครื่องแยกเนื้อสละสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนระยะยาวได้ เนื่องจากสามารถช่วยลดจำนวนคนงาน ซึ่งต้องใช้จำนวนมากในขั้นตอนการผ่านแยกเนื้อสละด้วยมือ เมื่อทำการแยกเนื้อสละโดยวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

ในการใช้งานเครื่อง Pulper-Finisher ในอุตสาหกรรมการทำน้ำสละ มีความจำเป็นต้องศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละมีค่าสูงสุดก่อนเสมอ ในกรณีที่มีเครื่อง Pulper-Finisher อยู่แล้วนั้น และเครื่องที่มีอยู่มีขนาดรัศมีของตะแกรงเล็กเกินไป ทำให้ไม่สามารถแยกเนื้อสละออกได้หมดในครั้งเดียว สามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละได้โดยการเพิ่มจำนวนครั้งที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2547. **สละ**. ฐานความรู้ด้านพืช. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/data-agri/02_LOCAL/oard6/sala/main.html, 7 พฤศจิกายน 2547.

กระทรวงแรงงาน. 2548. **รมต. แรงงานเผยค่าแรงขั้นต่ำอาจจะเพิ่มขึ้น**. ข่าวประชาสัมพันธ์. แหล่งที่มา: http://www.mol.go.th/info_june0706_1.html, 9 กุมภาพันธ์ 2550.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2543. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี เค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ, กรุงเทพฯ.

ชาญชัย อรุณรักษ์วิลาส, ธนาวุธ สุวรรณหิรัญ, ประกิจ พนมรัตน์รักษ์ และ วิเชียร อุฬารเสถียร. 2533. **เครื่องสกัดน้ำเสาวรส**. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัยฉัตร มาแสง. 2547. **การผลิตสละที่ดี**. ห้องสมุดความรู้การเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.doae.go.th/library/html/detail/salacca/salaccaindex.html>, 7 พฤศจิกายน 2547.

ธนาคารกรุงเทพ. 2545. **อัตราดอกเบี้ยเงินกู้**. ดอกเบี้ย / อัตราแลกเปลี่ยน. แหล่งที่มา: <http://www.bangkokbank.com/Bangkok+Bank+Thai/Web+Services/Rates/Loan+Inter+Rates.htm>, 9 กุมภาพันธ์ 2550.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2538. **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปานมนัส สิริสมบุญ, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ สาทิปี รัตนภาสกร. 2538. **สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของซีวีสดู**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

- ไพบูลย์ แยมเพื่อน. 2547. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- รมย์ริณู ปิยามย์. 2542. อิทธิพลของการให้น้ำกระทบดอกต่อการถ่ายเรณูของสละพันธุ์เนินวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรัญญา โนนม่วง. 2545. การศึกษาคุณภาพสละแช่เย็นและการเตรียมชิ้นสละและเนื้อสละตีปั่นเพื่อการแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วริทธิ์ อิงภากรณ์ และ ชาญุ ถนัดงาน. 2541. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- _____ และ _____. 2544. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยพืชสวนปรีว. 2547. สละ. อาหาร: จันทบุรี. แหล่งที่มา: <http://kanchanapisek.or.th/kp8/chu/chu501c.html>, 7 พฤศจิกายน 2547.
- สภาวิศวกร. 2548. อัตราการลื่นเปลี่ยนน้ำมัน. เทคโนโลยีวิศวกรรม. แหล่งที่มา: http://www.coe.or.th/eservice/coe_webboard/coe_public/coe_show.php?wtype=6&wNo=14403, 23 พฤษภาคม 2550.
- สมศักดิ์ ตรีสัตย์. 2537. การออกแบบและวางผังโรงงาน. พิมพ์ครั้งที่ 5. บริษัท ส. เอเซียเพรส (1989) จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สมาน เจริญกิจพูลผล. ม.ป.ป. การออกแบบเครื่องจักรกล. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สุทธิชัย ชาญวิชิต. 2531. การออกแบบและสร้างเครื่องแยกเนื้อมะม่วง. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพจน์ ตั้งจตุพร. 2546. 8 เซียนสวนสละ & ระกำหวาน. นาคา อินเทอร์เน็ตมีเดีย, กรุงเทพฯ.

Atlas Steels Australia. 2005. **Stainless steel-grade 316-properties, fabrication and applications.** Physicals Properties. Available Source: <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=863>, January 4, 2006.

Baker, S. and T. Herrman. 2002. **Evaluating particle size.** Feed Manufacturing. Available Source: <http://www.oznet.ksu.edu/library/grsci2/mf2051.pdf>, November 24, 2006.

Brekke, J.E., C.G. Cavaletto, H.T. Chan, Jr. and A.E. Stafford. 1975. **Mango: Processed Products.** U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Western Region, 2850 Telegraph avenue, Berkeley, California.

Ecreativeworks. n.d. **Neoprene.** Elastomeric Materials. Available Source: <http://www.electro-coatings.com/elastomeric.html>, January 5, 2006.

Jagtiani, J., H.T. Chan and W.S. Sakai. 1988a. **Tropical Fruit Processing.** Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* J.R. Benero and A.J. Rodriquez. 1971. **J. Agr. Univ. P. R.** 55 (4): 513-515.

_____, _____ and _____. 1988b. **Tropical Fruit Processing.** Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* D.J. Casmir. 1974. **Technological Aspects of the Production of Concentrates of Passion Fruit-Passiflora Edulis.** Ph.D. Thesis. University of New South Wales, Sydney, Australia.

- _____, _____ and _____. 1988c. **Tropical Fruit Processing**. Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* D.J. Casmir, J.F. Kefford and F.B. Whitfield. 1981. **Adv. Food Res.** 27: 243-295.
- _____, _____ and _____. 1988d. **Tropical Fruit Processing**. Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* D.M. Kinch. 1959. **Trans. ASAE.** 2: 52-57.
- _____, _____ and _____. 1988e. **Tropical Fruit Processing**. Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* D.M. Kinch and T.N. Shaw. 1954. The development of a machine to extract juice from passion-fruit. **Hawaii Agr. Exp. Sta. Progress.** Notes 104.
- _____, _____ and _____. 1988f. **Tropical Fruit Processing**. Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* Gridharilal, Ishaq and Lal Singh. 1942. **Indian Farming**.
- _____, _____ and _____. 1988g. **Tropical Fruit Processing**. Academic Press Inc. (London) Ltd., London. *Cited* P.E. Seale. 1967. **Food Tech. Australia.** 19 (5): 235.
- Jorgensen Engineering a/s. 2005. **Pulper/Finisher**. Jorgensen-Complete Solutions. Available Source: <http://www.jorgensen.dk>, April 26, 2005.
- Luh, B.S. 1971a. Tropical fruit beverages, pp. 302-346. *In* M.A. Joslyn and D.K. Tressler, eds. **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology**. 2nd ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. *Cited* F.P. Boyle, G.D. Herman and T.N. Shaw. 1955. Wide uses for passion-fruit juice. **Food Eng.** 27 (9): 94.
- _____. 1971b. Tropical fruit beverages, pp. 302-346. *In* M.A. Joslyn and D.K. Tressler, eds. **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology**. 2nd ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. *Cited* D.M. Kinch. 1960. A passion fruit centrifuge. **C.S.I.R.O. Food Preservation Quart.** 20 (2): 34-39.

- _____. 1971c. Tropical fruit beverages, pp. 302-346. *In* M.A. Joslyn and D.K. Tressler, eds. **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology**. 2nd ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. *Cited* D.M. Kinch and T.N. Shaw.
1954. The development of a machine to extract juice from passion-fruit. **Hawaii Agr. Exp. Sta. Progress**. Notes 104.
- _____. 1971d. Tropical fruit beverages, pp. 302-346. *In* M.A. Joslyn and D.K. Tressler, eds. **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology**. 2nd ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. *Cited* P.E. Seale. 1967. Processing the rarer tropical fruits. **Food Tech. Australia**. 19 (5): 233-239.
- _____ and C.E. Kean. 1988. **Commercial Vegetable Processing**. 2nd ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Mohsenin, N.N. 1980. **Physical Properties of Plant and Animal Materials**. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York.
- Noomhorm, A. and A. Tansakul. 1992. Effect of pulper-finisher operation on quality of tomato juice and tomato puree. **Journal of Food Process Engineering**. 15: 229-239.
- Rutledge, P. 1996. Production of non-fermented fruit products, pp. 70-96. *In* D. Arthey and P.R. Ashurst, eds. **Fruit Processing**. First edition. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Wester Cleddens Road, Bishopbriggs, Glasgow.
- Sheu, M. and J.S. Wu. 1996a. Tropical fruits, 387-417. *In* D.M. Barrett, Y.H. Hui and L.P. Somogyi. **Processing Fruits: Science and Technology**. Vol. 2. Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Holland Avenue, Box 3535 Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.

- _____. 1996b. Tropical fruits, 387-417. *In* D.M. Barrett, Y.H. Hui and L.P. Somogyi. **Processing Fruits: Science and Technology**. Vol. 2. Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Holland Avenue, Box 3535 Lancaster, Pennsylvania, U.S.A. *Cited* A. Askar. 1986. New methods for processing of mango and guava juices. **IFFJP Reports**. 19: 273-283.
- _____. 1996c. Tropical fruits, 387-417. *In* D.M. Barrett, Y.H. Hui and L.P. Somogyi. **Processing Fruits: Science and Technology**. Vol. 2. Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Holland Avenue, Box 3535 Lancaster, Pennsylvania, U.S.A. *Cited* D.J. Casimir, J.F. Kefford and F.B. Whitfield. 1981. Technology and flavor chemistry of passion fruit juices and concentrates. **Adv. Food Res.** 27: 243-295.
- _____. 1996d. Tropical fruits, 387-417. *In* D.M. Barrett, Y.H. Hui and L.P. Somogyi. **Processing Fruits: Science and Technology**. Vol. 2. Technomic Publishing Company, Inc. 851 New Holland Avenue, Box 3535 Lancaster, Pennsylvania, U.S.A. *Cited* D.M. Kinch. 1959. **Trans. ASAE.** 2: 52-57.
- Tansakul, A. 1990. **Quality of Tomato Juice and Tomato Puree: Effect of Screen Size and Speed of Pulper-Finisher**. M.S. thesis, Asian Institute of Technology.
- The Hendrix Group. 2004. **Cold working properties**. A Corrosion and Materials Technology Site. Available Source: http://www.hghouston.com/ss_cwp.html, April 7, 2006.
- Wei, Y., J.S. Wu, and M. Wu. 2005a. Tropical fruits, 679-705. *In* D.M. Barrett, H. Ramaswamy and L. Somogyi. **Processing Fruits**. 2nd ed. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida.

- _____. 2005b. Tropical fruits, 679-705. *In* D.M. Barrett, H. Ramaswamy and L. Somogyi. **Processing Fruits**. 2nd ed. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida. *Cited* A. Askar. 1986. New methods for processing of mango and guava juices. **IFFJP Reports**. 19: 273.
- _____. 2005c. Tropical fruits, 679-705. *In* D.M. Barrett, H. Ramaswamy and L. Somogyi. **Processing Fruits**. 2nd ed. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida. *Cited* D.J. Casimir, J.F. Kefford and F.B. Whitfield. 1981. Technology and flavor chemistry of passion fruit juices and concentrates. **Adv. Food Res.** 27: 243.
- _____. 2005d. Tropical fruits, 679-705. *In* D.M. Barrett, H. Ramaswamy and L. Somogyi. **Processing Fruits**. 2nd ed. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida. *Cited* D.M. Kinch. 1959. A continuous-process centrifuge. **Trans. ASAE**. 2: 52.
- Woodroof, J.G. 1986. Other products and processes, pp. 423-480. *In* B.H. Luh and J.G. Woodroof, eds. **Commercial Fruit Processing**. 2nd ed. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลขนาดของผลสละที่วัดและผลการคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของผลสละ

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงข้อมูลขนาดและน้ำหนักของผลสละที่วัด

No. ¹	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	m ₁ (g)	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	m ₂ (g)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	m ₃ (g)
1	84.9	31.8	28.2	18.69	38.0	29.7	22.4	10.13	16.7	13.6	12.6	1.98
2/1	68.8	35.0	28.1	22.54	41.8	23.7	15.4	7.54	16.3	12.4	8.5	1.16
2/2	-	-	-	-	42.5	27.4	24.3	10.83	19.1	14.6	10.5	2.11
3	81.4	28.2	25.3	14.72	31.8	23.8	18.8	8.20	13.5	11.3	11.1	1.11
4	79.9	29.1	25.6	19.20	44.4	26.3	21.4	12.83	17.8	13.5	12.8	2.06
5	84.5	30.8	26.6	18.87	36.5	26.8	22.3	11.32	16.6	12.3	11.9	1.70
6	86.2	31.3	30.2	20.90	39.4	25.9	21.8	12.11	16.5	12.7	12.7	1.78
7/1	73.8	40.7	38.5	37.82	46.8	32.9	17.3	13.16	19.7	15.2	10.3	2.22
7/2	-	-	-	-	42.5	30.8	18.0	15.09	20.7	15.1	10.6	2.35
8	78.6	32.6	28.7	23.64	42.6	29.0	23.6	15.98	20.6	15.2	14.4	3.03
9	87.8	34.0	28.4	24.36	44.4	30.5	23.0	15.72	18.6	13.6	12.9	2.16
10	80.7	32.6	29.0	24.46	46.7	29.4	22.8	18.14	20.0	15.5	14.7	2.91
11/1	92.2	40.5	31.8	28.72	41.9	27.0	17.9	10.84	17.4	13.8	10.0	1.67
11/2	-	-	-	-	36.1	23.6	16.5	7.32	20.2	15.0	10.6	2.20
12/1	87.6	38.8	34.9	28.71	41.6	24.7	14.8	8.33	20.0	15.1	10.1	2.13
12/2	-	-	-	-	42.1	25.0	17.5	9.77	17.1	13.8	10.4	1.68
13	79.7	31.4	26.1	20.36	44.4	28.7	23.4	14.95	18.0	13.8	13.4	2.17
14/1	77.0	36.4	33.4	30.79	42.5	27.2	17.0	11.58	17.0	14.6	9.9	1.80
14/2	-	-	-	-	44.2	29.1	16.5	11.79	17.6	14.1	10.2	1.68
15	70.5	31.3	26.6	21.27	43.1	27.5	22.5	14.11	17.4	13.9	12.0	2.21
16	74.6	32.2	28.3	24.93	47.3	27.9	24.9	16.16	18.1	13.8	13.6	2.18
17	84.1	31.9	27.7	24.06	46.1	28.4	29.1	16.82	21.6	15.2	14.3	3.22
18/1	90.3	46.6	44.1	56.33	52.8	36.6	19.1	16.31	19.7	14.3	11.6	2.10
18/2	-	-	-	-	52.3	32.4	28.9	15.19	19.7	14.0	10.6	1.98
18/3	-	-	-	-	51.1	34.1	19.5	14.62	18.6	15.1	11.9	2.33
19	80.3	29.8	23.1	18.99	49.4	26.9	19.8	13.70	17.0	11.5	11.4	1.56
20	80.2	31.6	26.4	20.78	41.5	28.3	21.3	12.33	16.4	12.3	12.1	1.74
21	75.3	29.4	27.5	19.92	39.9	26.3	23.0	12.82	20.2	14.4	14.3	2.80
22	83.2	28.4	24.4	15.86	38.8	24.6	19.5	9.96	17.8	14.0	13.3	2.33
23	74.2	28.5	26.1	16.21	38.3	25.4	22.3	10.48	18.0	13.6	12.4	2.03

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No. ¹	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	m ₁ (g)	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	m ₂ (g)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	m ₃ (g)
24	73.0	29.0	24.0	15.57	37.4	25.2	20.0	9.92	14.5	12.2	12.1	1.26
25	64.9	26.2	21.8	12.13	35.2	23.4	18.3	7.91	11.7	11.0	9.9	0.82
26	82.3	35.8	27.0	24.09	42.1	33.1	23.6	16.84	18.6	14.5	13.5	2.44
27/1	83.5	43.5	35.0	42.89	55.0	33.8	20.2	18.30	19.5	15.5	11.7	2.29
27/2	-	-	-	-	53.9	32.0	23.3	17.65	22.2	16.1	11.1	2.75
28/1	83.1	39.1	35.7	34.78	49.1	31.8	18.5	15.01	20.0	14.2	11.7	2.20
28/2	-	-	-	-	46.6	29.4	16.3	11.40	12.0	13.8	9.7	1.67
29	77.8	30.7	27.0	17.42	37.6	26.7	21.2	10.22	15.6	13.2	12.3	1.70
30	87.5	32.5	28.1	27.73	56.9	28.5	25.9	20.24	-	-	-	-
31	78.8	35.2	28.3	28.95	48.7	31.7	24.4	20.70	19.9	14.9	14.2	2.86
32	71.3	34.2	26.2	22.50	44.9	31.9	23.4	16.76	18.5	14.8	14.1	2.57
33	72.1	29.1	25.7	18.35	41.8	26.0	22.2	12.53	17.3	13.9	12.7	2.15
34/1	78.3	36.6	35.6	29.43	45.1	29.7	16.3	11.57	20.3	15.8	11.6	2.73
34/2	-	-	-	-	43.4	28.3	12.0	10.57	18.4	14.9	9.4	1.74
35/1	90.2	41.8	36.4	42.77	51.9	29.7	18.7	12.49	-	-	-	-
35/2	-	-	-	-	52.6	35.0	24.3	20.55	20.6	16.3	14.1	3.19
36/1	85.2	34.0	31.5	32.54	48.1	26.6	21.6	13.06	17.9	14.2	13.8	2.31
36/2	-	-	-	-	47.7	27.4	17.3	11.09	-	-	-	-
37	88.3	31.8	25.8	22.43	45.0	28.2	21.2	14.67	17.4	14.4	13.5	2.35
38/1	73.9	41.2	36.0	36.39	50.8	31.1	21.2	14.23	20.5	16.1	11.1	2.56
38/2	-	-	-	-	50.4	32.4	18.5	13.87	19.5	15.2	10.1	2.08
38/3	-	-	-	-	16.2	14.1	11.5	2.00	-	-	-	-
39/1	81.7	31.6	28.9	22.01	45.1	28.5	20.2	13.96	18.2	11.9	11.9	1.80
39/2	-	-	-	-	18.4	11.6	7.6	0.69	-	-	-	-
40/1	75.6	40.0	33.2	33.01	49.0	31.4	19.5	13.94	21.4	15.8	11.1	2.54
40/2	-	-	-	-	45.4	29.5	19.0	11.70	19.2	15.6	9.9	2.06
41/1	82.9	37.8	35.5	31.68	48.2	31.7	17.8	13.96	20.9	15.6	11.1	2.73
41/2	-	-	-	-	45.8	28.5	16.2	9.92	17.1	14.3	9.7	1.60
42/1	77.4	39.6	31.8	27.98	43.7	28.5	19.7	11.53	18.1	15.8	10.3	2.06
42/2	-	-	-	-	41.6	29.3	17.9	10.16	18.0	15.3	10.6	2.03

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No. ¹	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	m ₁ (g)	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	m ₂ (g)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	m ₃ (g)
43/1	80.3	37.4	31.3	28.26	43.4	28.6	18.2	10.61	18.8	13.9	9.6	1.80
43/2	-	-	-	-	42.2	27.1	17.9	9.57	17.8	14.3	9.9	1.72
44/1	81.5	39.7	33.3	30.42	44.0	30.7	18.6	12.48	12.2	13.6	10.0	1.61
44/2	-	-	-	-	43.4	28.6	20.3	10.85	12.7	14.5	10.2	1.77
45/1	87.0	40.7	31.5	35.50	50.3	30.2	21.5	15.51	20.8	15.9	11.8	2.71
45/2	-	-	-	-	49.9	27.8	18.3	13.22	20.1	15.5	10.0	2.08
46/1	73.8	40.0	32.3	29.72	44.8	31.4	19.9	12.35	18.4	14.7	10.0	1.94
46/2	-	-	-	-	43.5	29.9	19.7	11.55	17.3	14.2	9.9	1.63
47/1	82.7	39.9	32.7	27.39	22.5	14.1	11.6	1.51	-	-	-	-
47/2	-	-	-	-	44.7	26.3	17.8	9.47	17.0	14.3	10.3	1.68
47/3	-	-	-	-	45.8	25.9	19.9	10.04	18.2	15.6	10.6	2.11
48	81.6	30.3	25.2	17.84	41.2	26.4	20.8	11.16	15.6	13.3	12.8	1.85
49	79.4	31.7	24.0	18.80	45.7	24.3	21.2	13.76	17.7	13.1	12.9	2.08
50	74.3	28.8	24.3	15.97	40.7	25.8	20.3	11.58	17.0	13.9	12.7	2.05
51	74.1	29.7	25.8	16.70	41.0	26.0	22.0	11.65	17.8	13.5	13.0	2.08
52/1	88.6	43.0	34.8	42.30	52.6	31.3	20.7	18.82	19.9	15.0	11.0	2.27
52/2	-	-	-	-	45.5	29.6	19.6	13.20	17.0	13.6	9.6	1.52
53/1	77.8	33.3	28.2	23.25	38.5	23.5	12.9	6.64	-	-	-	-
53/2	-	-	-	-	43.6	26.2	19.8	11.77	18.6	15.1	13.0	2.37
54	85.2	29.8	26.0	18.46	45.4	27.4	21.8	14.67	19.8	14.4	14.0	2.73
55	78.1	29.1	25.0	14.77	39.6	25.9	20.6	11.01	15.5	13.1	12.0	1.69
56	83.7	35.9	28.1	25.47	47.6	33.4	25.3	18.63	18.0	13.6	13.4	2.17
57	75.1	32.3	24.3	19.07	42.7	29.3	20.8	13.02	16.1	12.2	11.5	1.55
58	72.8	28.8	24.6	16.30	41.0	25.3	20.8	11.78	16.1	14.7	12.5	1.75
59/1	77.6	37.8	28.9	26.94	44.1	26.7	18.8	10.44	18.6	14.8	10.1	1.96
59/2	-	-	-	-	43.1	26.2	12.9	10.39	17.3	14.2	10.3	1.74
60	83.0	30.5	25.4	17.66	41.7	26.6	20.9	11.62	16.5	13.3	12.6	1.79
61/1	76.4	29.8	26.1	16.18	35.1	23.6	18.2	8.36	10.8	8.2	6.0	0.32
61/2	-	-	-	-	22.0	14.1	10.2	1.46	11.5	12.3	5.0	0.18
62/1	74.6	36.5	33.7	24.85	43.1	29.1	18.6	11.13	19.5	15.4	10.6	2.15

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No. ¹	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	m ₁ (g)	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	m ₂ (g)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	m ₃ (g)
62/2	-	-	-	-	40.1	26.8	15.4	8.90	16.2	13.5	10.0	1.46
63	86.1	32.7	26.1	19.94	40.7	29.3	22.4	12.29	15.9	13.6	12.6	1.92
64	74.1	27.8	24.3	13.75	38.8	25.8	20.7	10.21	16.5	13.2	12.5	1.82
65/1	80.1	36.6	28.4	24.35	44.1	26.6	19.6	10.62	20.7	15.2	10.7	2.48
65/2	-	-	-	-	38.8	23.4	16.2	7.42	14.4	12.0	8.1	0.90
66/1	81.3	38.3	34.9	32.04	46.1	30.9	17.8	11.99	19.7	14.7	10.1	1.98
66/2	-	-	-	-	45.2	29.2	18.0	12.01	18.5	15.2	10.4	1.95
67/1	84.6	38.2	32.2	28.98	45.9	28.2	17.2	10.99	18.1	14.7	10.2	1.75
67/2	-	-	-	-	46.1	30.2	19.3	12.16	18.2	14.6	10.5	1.90
68/1	74.7	37.2	31.7	27.32	43.3	27.7	17.4	10.79	16.2	12.5	8.6	1.15
68/2	-	-	-	-	43.9	28.1	18.8	11.06	18.8	14.6	10.5	2.03
69	72.2	28.3	23.7	13.84	39.6	26.4	20.4	11.19	16.4	14.3	13.4	2.21
70	86.0	30.8	23.6	18.53	43.4	27.8	20.3	12.00	17.4	13.6	12.9	2.13
71/1	92.8	36.2	35.3	39.47	51.7	30.0	22.2	19.19	23.0	16.1	15.2	4.07
71/2	-	-	-	-	43.4	28.6	16.9	10.52	-	-	-	-
72/1	74.8	35.9	30.4	24.04	39.8	27.2	17.6	9.66	17.1	14.1	10.0	1.56
72/2	-	-	-	-	45.2	28.6	17.8	11.18	19.3	14.8	10.9	2.23
73/1	65.7	31.4	29.5	19.03	44.2	27.9	20.4	12.86	16.7	15.0	14.7	2.39
73/2	-	-	-	-	28.9	20.7	11.8	3.69	8.6	6.5	3.2	0.09
74	78.1	29.9	27.0	19.78	42.0	26.1	21.8	12.76	19.2	14.5	13.6	2.45
75	80.6	30.3	26.4	18.59	41.2	26.0	22.2	11.62	17.3	13.9	13.1	2.14
76	76.3	31.4	25.3	18.47	42.2	29.7	22.2	12.92	17.3	12.9	12.6	1.99
77	72.3	27.4	27.3	15.66	36.3	24.7	22.7	10.45	11.7	10.3	7.1	0.62
78	86.6	29.4	23.4	15.77	42.9	26.1	20.0	11.29	17.9	14.6	12.1	2.03
79	86.0	30.7	26.1	19.11	42.9	27.3	21.4	12.67	17.3	13.0	11.9	1.86
80/1	82.1	34.1	31.7	26.84	48.0	27.8	19.4	12.98	18.5	13.7	12.8	2.18
80/2	-	-	-	-	40.5	26.1	15.2	8.17	-	-	-	-
81	83.8	34.8	28.7	21.86	45.3	32.3	24.1	17.04	18.8	15.2	14.4	2.80
82/1	76.9	36.1	31.2	28.42	44.7	28.6	16.6	11.68	18.5	14.0	9.8	1.72
82/2	-	-	-	-	46.5	29.0	18.3	12.30	19.0	13.1	8.6	1.67

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

No. ¹	a ₁ (mm)	b ₁ (mm)	c ₁ (mm)	m ₁ (g)	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	m ₂ (g)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	m ₃ (g)
83	78.3	29.8	25.8	16.97	41.2	27.1	22.2	12.73	18.5	14.9	13.4	2.58
84	70.5	28.0	24.0	14.87	41.0	25.7	21.1	11.03	16.8	12.7	12.2	1.76
85	72.0	28.4	22.9	15.51	39.8	25.5	20.2	11.28	17.0	13.2	12.6	2.05
86/1	86.9	43.2	36.2	47.90	58.3	35.2	24.1	27.32	27.9	18.8	13.9	5.19
86/2	-	-	-	-	50.0	32.3	28.2	14.96	19.1	15.5	10.7	2.06
87/1	86.4	39.3	32.8	27.48	45.1	28.7	18.2	11.01	18.6	15.0	10.4	2.03
87/2	-	-	-	-	46.9	29.1	19.4	12.36	21.0	16.2	12.0	2.83
88	81.6	29.0	23.4	15.26	42.6	26.7	21.0	12.83	19.7	14.9	13.2	2.45
89	74.4	30.0	25.2	14.91	41.4	26.6	19.3	12.29	16.5	12.7	12.6	1.80
90	81.5	30.8	25.7	14.69	42.0	27.5	19.6	11.70	15.9	13.1	12.9	1.86
91/1	73.0	35.1	31.6	23.40	43.1	28.0	19.0	10.90	18.5	14.7	10.3	1.93
91/2	-	-	-	-	43.1	27.4	15.6	9.39	18.0	14.1	10.5	1.86
92	82.5	31.0	25.9	16.76	41.0	28.3	18.8	11.25	15.7	13.6	12.3	1.83
93/1	86.7	38.6	34.0	31.80	53.9	29.1	20.8	14.99	24.8	16.9	12.0	3.47
93/2	-	-	-	-	45.2	27.1	17.7	10.06	19.5	16.4	11.2	2.53
94	66.6	27.7	21.8	10.78	37.9	25.1	18.4	8.16	15.5	13.3	12.7	1.87
95/1	87.7	37.3	31.5	29.77	48.3	30.4	20.5	16.15	22.7	15.0	10.3	2.39
95/2	-	-	-	-	46.6	26.7	15.3	9.73	18.6	14.6	10.4	1.87
96/1	74.8	36.8	33.1	27.43	42.8	25.7	17.5	9.66	17.3	10.4	7.7	0.79
96/2	-	-	-	-	41.5	24.1	17.1	8.85	16.2	9.4	7.1	0.61
96/3	-	-	-	-	35.4	27.8	15.1	4.45	-	-	-	-
97	83.8	31.4	28.2	21.93	46.9	28.8	25.6	17.80	19.5	14.1	14.0	2.45
98/1	71.7	35.4	30.0	24.65	44.5	28.3	17.7	11.75	18.0	14.5	10.2	1.83
98/2	-	-	-	-	43.4	27.2	16.3	10.41	16.8	13.8	9.1	1.45
99/1	88.5	33.7	28.7	23.33	47.8	29.3	22.6	16.47	18.8	14.4	13.3	2.52
99/2	-	-	-	-	28.0	20.4	11.6	3.22	-	-	-	-
100	78.6	32.6	23.7	17.88	40.0	29.9	20.3	13.84	18.1	13.1	12.4	2.11

หมายเหตุ – ไม่ได้ทำการวัด เพราะขนาดของผลสละที่ไม่ปอกเปลือกมีค่าเดียว หรือไม่มีเมล็ด

¹ ค่า 96/2 หมายความว่า ตัวอย่างที่ 96 กลีบที่ 2

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงผลการคำนวณสมบัติเชิงเรขาคณิตของผลสละ

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
1	38.0	29.7	22.4	29.3	0.772	13236.91	10.13	765.28	16.7	13.6	12.6	14.2	0.850	1498.39	1.98	1321.42
2/1	41.8	23.7	15.4	24.8	0.593	7988.11	7.54	943.90	16.3	12.4	8.5	12.0	0.735	899.55	1.16	1289.53
2/2	42.5	27.4	24.3	30.5	0.717	14816.46	10.83	730.94	19.1	14.6	10.5	14.3	0.749	1533.11	2.11	1376.28
3	31.8	23.8	18.8	24.2	0.762	7450.07	8.20	1100.66	13.5	11.3	11.1	11.9	0.883	886.61	1.11	1251.96
4	44.4	26.3	21.4	29.2	0.658	13084.32	12.83	980.56	17.8	13.5	12.8	14.5	0.817	1610.51	2.06	1279.10
5	36.5	26.8	22.3	27.9	0.766	11421.71	11.32	991.09	16.6	12.3	11.9	13.4	0.810	1272.21	1.70	1336.26
6	39.4	25.9	21.8	28.1	0.714	11647.99	12.11	1039.66	16.5	12.7	12.7	13.9	0.840	1393.45	1.78	1277.41
7/1	46.8	32.9	17.3	29.9	0.638	13947.18	13.16	943.56	19.7	15.2	10.3	14.6	0.739	1614.90	2.22	1347.70
7/2	42.5	30.8	18.0	28.7	0.675	12337.03	15.09	1223.15	20.7	15.1	10.6	14.9	0.720	1734.81	2.35	1354.62
8	42.6	29.0	23.6	30.8	0.722	15265.75	15.98	1046.79	20.6	15.2	14.4	16.5	0.802	2360.87	3.03	1283.43
9	44.4	30.5	23.0	31.5	0.709	16308.32	15.72	963.93	18.6	13.6	12.9	14.8	0.797	1708.60	2.16	1264.19
10	46.7	29.4	22.8	31.5	0.675	16390.71	18.14	1106.72	20.0	15.5	14.7	16.6	0.829	2386.04	2.91	1219.59
11/1	41.9	27.0	17.9	27.3	0.651	10603.02	10.84	1022.35	17.4	13.8	10.0	13.4	0.770	1257.27	1.67	1328.28
11/2	36.1	23.6	16.5	24.1	0.669	7360.41	7.32	994.51	20.2	15.0	10.6	14.8	0.730	1681.69	2.20	1308.20
12/1	41.6	24.7	14.8	24.8	0.596	7962.52	8.33	1046.15	20.0	15.1	10.1	14.5	0.725	1597.08	2.13	1333.68

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
12/2	42.1	25.0	17.5	26.4	0.627	9644.03	9.77	1013.06	17.1	13.8	10.4	13.5	0.789	1285.01	1.68	1307.38
13	44.4	28.7	23.4	31.0	0.698	15612.75	14.95	957.55	18.0	13.8	13.4	14.9	0.829	1742.83	2.17	1245.10
14/1	42.5	27.2	17.0	27.0	0.635	10289.76	11.58	1125.39	17.0	14.6	9.9	13.5	0.794	1286.58	1.80	1399.06
14/2	44.2	29.1	16.5	27.7	0.626	11112.14	11.79	1061.00	17.6	14.1	10.2	13.6	0.774	1325.35	1.68	1267.59
15	43.1	27.5	22.5	29.9	0.693	13963.40	14.11	1010.50	17.4	13.9	12.0	14.3	0.820	1519.65	2.21	1454.28
16	47.3	27.9	24.9	32.0	0.677	17205.34	16.16	939.24	18.1	13.8	13.6	15.0	0.831	1778.67	2.18	1225.64
17	46.1	28.4	29.1	33.6	0.730	19948.53	16.82	843.17	21.6	15.2	14.3	16.7	0.775	2458.28	3.22	1309.86
18/1	52.8	36.6	19.1	33.3	0.631	19326.22	16.31	843.93	19.7	14.3	11.6	14.8	0.753	1711.03	2.10	1227.33
18/2	52.3	32.4	28.9	36.6	0.700	25641.48	15.19	592.40	19.7	14.0	10.6	14.3	0.726	1530.73	1.98	1293.50
18/3	51.1	34.1	19.5	32.4	0.634	17791.33	14.62	821.75	18.6	15.1	11.9	15.0	0.804	1749.99	2.33	1331.44
19	49.4	26.9	19.8	29.7	0.602	13776.63	13.70	994.44	17.0	11.5	11.4	13.1	0.768	1166.94	1.56	1336.82
20	41.5	28.3	21.3	29.2	0.705	13098.23	12.33	941.35	16.4	12.3	12.1	13.5	0.821	1278.01	1.74	1361.50
21	39.9	26.3	23.0	28.9	0.724	12637.32	12.82	1014.46	20.2	14.4	14.3	16.1	0.796	2177.95	2.80	1285.61
22	38.8	24.6	19.5	26.5	0.683	9745.41	9.96	1022.02	17.8	14.0	13.3	14.9	0.838	1735.39	2.33	1342.63
23	38.3	25.4	22.3	27.9	0.728	11358.89	10.48	922.63	18.0	13.6	12.4	14.5	0.804	1589.39	2.03	1277.22

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
24	37.4	25.2	20.0	26.6	0.712	9869.63	9.92	1005.10	14.5	12.2	12.1	12.9	0.889	1120.76	1.26	1124.24
25	35.2	23.4	18.3	24.7	0.702	7892.38	7.91	1002.23	11.7	11.0	9.9	10.8	0.927	667.13	0.82	1229.14
26	42.1	33.1	23.6	32.0	0.761	17219.51	16.84	977.96	18.6	14.5	13.5	15.4	0.827	1906.40	2.44	1279.90
27/1	55.0	33.8	20.2	33.5	0.609	19662.08	18.30	930.73	19.5	15.5	11.7	15.2	0.781	1851.62	2.29	1236.76
27/2	53.9	32.0	23.3	34.3	0.635	21042.3	17.65	838.79	22.2	16.1	11.1	15.8	0.713	2077.31	2.75	1323.83
28/1	49.1	31.8	18.5	30.7	0.625	15124.43	15.01	992.43	20.0	14.2	11.7	14.9	0.746	1739.81	2.20	1264.50
28/2	46.6	29.4	16.3	28.2	0.604	11692.83	11.40	974.96	12.0	13.8	9.7	11.7	0.976	841.07	1.67	1985.57
29	37.6	26.7	21.2	27.7	0.737	11143.81	10.22	917.10	15.6	13.2	12.3	13.6	0.874	1326.18	1.70	1281.88
30	56.9	28.5	25.9	34.8	0.611	21991.53	20.24	920.35	-	-	-	-	-	-	-	-
31	48.7	31.7	24.4	33.5	0.688	19723.17	20.70	1049.53	19.9	14.9	14.2	16.1	0.811	2204.58	2.86	1297.30
32	44.9	31.9	23.4	32.2	0.718	17548.96	16.76	955.04	18.5	14.8	14.1	15.7	0.848	2021.39	2.57	1271.40
33	41.8	26.0	22.2	28.9	0.691	12632.85	12.53	991.86	17.3	13.9	12.7	14.5	0.839	1599.05	2.15	1344.54
34/1	45.1	29.7	16.3	27.9	0.620	11431.92	11.57	1012.08	20.3	15.8	11.6	15.5	0.763	1948.09	2.73	1401.37
34/2	43.4	28.3	12.0	24.5	0.565	7717.13	10.57	1369.68	18.4	14.9	9.4	13.7	0.745	1349.37	1.74	1289.49
35/1	51.9	29.7	18.7	30.7	0.591	15092.60	12.49	827.56	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
35/2	52.6	35.0	24.3	35.5	0.675	23423.87	20.55	877.31	20.6	16.3	14.1	16.8	0.815	2478.98	3.19	1286.82
36/1	48.1	26.6	21.6	30.2	0.629	14470.35	13.06	902.54	17.9	14.2	13.8	15.2	0.849	1836.62	2.31	1257.75
36/2	47.7	27.4	17.3	28.3	0.593	11838.96	11.09	936.74	-	-	-	-	-	-	-	-
37	45.0	28.2	21.2	30.0	0.666	14086.27	14.67	1041.44	17.4	14.4	13.5	15.0	0.863	1771.10	2.35	1326.86
38/1	50.8	31.1	21.2	32.2	0.635	17537.13	14.23	811.42	20.5	16.1	11.1	15.4	0.752	1918.23	2.56	1334.56
38/2	50.4	32.4	18.5	31.1	0.618	15817.79	13.87	876.86	19.5	15.2	10.1	14.4	0.739	1567.47	2.08	1326.98
38/3	16.2	14.1	11.5	13.8	0.852	1375.40	2.00	1454.12	-	-	-	-	-	-	-	-
39/1	45.1	28.5	20.2	29.6	0.657	13594.76	13.96	1026.87	18.2	11.9	11.9	13.7	0.753	1349.47	1.80	1333.85
39/2	18.4	11.6	7.6	11.7	0.639	849.35	0.69	812.38	-	-	-	-	-	-	-	-
40/1	49.0	31.4	19.5	31.1	0.634	15709.38	13.94	887.37	21.4	15.8	11.1	15.5	0.726	1965.14	2.54	1292.53
40/2	45.4	29.5	19.0	29.4	0.648	13323.86	11.70	878.12	19.2	15.6	9.9	14.4	0.748	1552.60	2.06	1326.81
41/1	48.2	31.7	17.8	30.1	0.624	14240.49	13.96	980.30	20.9	15.6	11.1	15.4	0.735	1894.93	2.73	1440.69
41/2	45.8	28.5	16.2	27.7	0.604	11071.95	9.92	895.96	17.1	14.3	9.7	13.3	0.780	1241.95	1.60	1288.30
42/1	43.7	28.5	19.7	29.1	0.665	12846.69	11.53	897.51	18.1	15.8	10.3	14.3	0.792	1542.31	2.06	1335.66
42/2	41.6	29.3	17.9	27.9	0.672	11423.85	10.16	889.37	18.0	15.3	10.6	14.3	0.794	1528.51	2.03	1328.09

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
43/1	43.4	28.6	18.2	28.3	0.651	11828.39	10.61	896.99	18.8	13.9	9.6	13.6	0.723	1313.54	1.80	1370.35
43/2	42.2	27.1	17.9	27.4	0.648	10718.48	9.57	892.85	17.8	14.3	9.9	13.6	0.764	1319.44	1.72	1303.58
44/1	44.0	30.7	18.6	29.3	0.666	13155.36	12.48	948.66	12.2	13.6	10.0	11.8	0.970	868.76	1.61	1853.23
44/2	43.4	28.6	20.3	29.3	0.676	13193.21	10.85	822.39	12.7	14.5	10.2	12.3	0.972	983.49	1.77	1799.71
45/1	50.3	30.2	21.5	32.0	0.635	17100.63	15.51	906.98	20.8	15.9	11.8	15.7	0.757	2043.34	2.71	1326.26
45/2	49.9	27.8	18.3	29.4	0.589	13292.14	13.22	994.57	20.1	15.5	10.0	14.6	0.727	1631.27	2.08	1275.08
46/1	44.8	31.4	19.9	30.4	0.678	14657.48	12.35	842.57	18.4	14.7	10.0	13.9	0.757	1416.23	1.94	1369.83
46/2	43.5	29.9	19.7	29.5	0.678	13416.07	11.55	860.91	17.3	14.2	9.9	13.4	0.777	1273.41	1.63	1280.03
47/1	22.5	14.1	11.6	15.4	0.686	1926.90	1.51	783.64	-	-	-	-	-	-	-	-
47/2	44.7	26.3	17.8	27.6	0.616	10956.75	9.47	864.31	17.0	14.3	10.3	13.6	0.799	1311.05	1.68	1281.41
47/3	45.8	25.9	19.9	28.7	0.626	12359.96	10.04	812.30	18.2	15.6	10.6	14.4	0.793	1575.80	2.11	1339.00
48	41.2	26.4	20.8	28.3	0.686	11845.76	11.16	942.11	15.6	13.3	12.8	13.8	0.888	1390.54	1.85	1330.41
49	45.7	24.3	21.2	28.7	0.627	12326.99	13.76	1116.25	17.7	13.1	12.9	14.4	0.814	1566.15	2.08	1328.10
50	40.7	25.8	20.3	27.7	0.681	11161.15	11.58	1037.53	17.0	13.9	12.7	14.4	0.848	1571.33	2.05	1304.63
51	41.0	26.0	22.0	28.6	0.698	12279.44	11.65	948.74	17.8	13.5	13.0	14.6	0.821	1635.67	2.08	1271.65

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
52/1	52.6	31.3	20.7	32.4	0.616	17844.28	18.82	1054.68	19.9	15.0	11.0	14.9	0.747	1719.24	2.27	1320.35
52/2	45.5	29.6	19.6	29.8	0.654	13821.58	13.20	955.03	17.0	13.6	9.6	13.0	0.767	1162.14	1.52	1307.93
53/1	38.5	23.5	12.9	22.7	0.589	6111.07	6.64	1086.55	-	-	-	-	-	-	-	-
53/2	43.6	26.2	19.8	28.3	0.649	11842.72	11.77	993.86	18.6	15.1	13.0	15.4	0.828	1911.75	2.37	1239.70
54	45.4	27.4	21.8	30.0	0.662	14199.12	14.67	1033.16	19.8	14.4	14.0	15.9	0.801	2090.04	2.73	1306.20
55	39.6	25.9	20.6	27.6	0.698	11062.69	11.01	995.24	15.5	13.1	12.0	13.5	0.868	1275.80	1.69	1324.66
56	47.6	33.4	25.3	34.3	0.720	21060.69	18.63	884.59	18.0	13.6	13.4	14.9	0.825	1717.57	2.17	1263.41
57	42.7	29.3	20.8	29.6	0.694	13625.66	13.02	955.55	16.1	12.2	11.5	13.1	0.815	1182.72	1.55	1310.54
58	41.0	25.3	20.8	27.8	0.679	11297.08	11.78	1042.75	16.1	14.7	12.5	14.4	0.892	1549.00	1.75	1129.76
59/1	44.1	26.7	18.8	28.1	0.637	11590.61	10.44	900.73	18.6	14.8	10.1	14.1	0.756	1455.78	1.96	1346.36
59/2	43.1	26.2	12.9	24.4	0.567	7627.23	10.39	1362.22	17.3	14.2	10.3	13.6	0.788	1324.86	1.74	1313.35
60	41.7	26.6	20.9	28.5	0.684	12138.43	11.62	957.29	16.5	13.3	12.6	14.0	0.851	1447.79	1.79	1236.37
61/1	35.1	23.6	18.2	24.7	0.704	7893.85	8.36	1059.05	10.8	8.2	6.0	8.1	0.750	278.22	0.32	1150.17
61/2	22.0	14.1	10.2	14.7	0.667	1656.69	1.46	881.28	11.5	12.3	5.0	8.9	0.775	370.32	0.18	486.07
62/1	43.1	29.1	18.6	28.6	0.663	12214.67	11.13	911.20	19.5	15.4	10.6	14.7	0.754	1666.71	2.15	1289.97

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
62/2	40.1	26.8	15.4	25.5	0.636	8665.6	8.90	1027.05	16.2	13.5	10.0	13.0	0.801	1145.11	1.46	1274.99
63	40.7	29.3	22.4	29.9	0.734	13986.49	12.29	878.71	15.9	13.6	12.6	14.0	0.878	1426.61	1.92	1345.85
64	38.8	25.8	20.7	27.5	0.708	10849.77	10.21	941.03	16.5	13.2	12.5	14.0	0.846	1425.50	1.82	1276.75
65/1	44.1	26.6	19.6	28.4	0.645	12038.57	10.62	882.16	20.7	15.2	10.7	15.0	0.724	1762.77	2.48	1406.87
65/2	38.8	23.4	16.2	24.5	0.631	7701.25	7.42	963.48	14.4	12.0	8.1	11.2	0.777	732.87	0.90	1228.05
66/1	46.1	30.9	17.8	29.4	0.637	13276.33	11.99	903.11	19.7	14.7	10.1	14.3	0.726	1531.45	1.98	1292.89
66/2	45.2	29.2	18.0	28.7	0.636	12439.20	12.01	965.50	18.5	15.2	10.4	14.3	0.773	1531.25	1.95	1273.47
67/1	45.9	28.2	17.2	28.1	0.613	11657.06	10.99	942.78	18.1	14.7	10.2	13.9	0.771	1421.00	1.75	1231.53
67/2	46.1	30.2	19.3	30.0	0.650	14069.02	12.16	864.31	18.2	14.6	10.5	14.1	0.774	1460.87	1.90	1300.59
68/1	43.3	27.7	17.4	27.5	0.636	10927.37	10.79	987.43	16.2	12.5	8.6	12.0	0.743	911.85	1.15	1261.18
68/2	43.9	28.1	18.8	28.5	0.650	12143.04	11.06	910.81	18.8	14.6	10.5	14.2	0.757	1509.03	2.03	1345.23
69	39.6	26.4	20.4	27.7	0.700	11166.78	11.19	1002.08	16.4	14.3	13.4	14.7	0.893	1654.38	2.21	1335.85
70	43.4	27.8	20.3	29.0	0.669	12824.17	12.00	935.73	17.4	13.6	12.9	14.5	0.834	1598.37	2.13	1332.61
71/1	51.7	30.0	22.2	32.5	0.629	18028.66	19.19	1064.42	23.0	16.1	15.2	17.8	0.773	2947.11	4.07	1381.02
71/2	43.4	28.6	16.9	27.6	0.635	10983.51	10.52	957.80	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
72/1	39.8	27.2	17.6	26.7	0.671	9976.16	9.66	968.31	17.1	14.1	10.0	13.4	0.784	1262.45	1.56	1235.69
72/2	45.2	28.6	17.8	28.4	0.629	12048.23	11.18	927.94	19.3	14.8	10.9	14.6	0.757	1630.21	2.23	1367.92
73/1	44.2	27.9	20.4	29.3	0.663	13172.11	12.86	976.31	16.7	15.0	14.7	15.4	0.925	1928.07	2.39	1239.58
73/2	28.9	20.7	11.8	19.2	0.664	3696.14	3.69	998.34	8.6	6.5	3.2	5.6	0.655	93.66	0.09	960.91
74	42.0	26.1	21.8	28.8	0.686	12512.52	12.76	1019.78	19.2	14.5	13.6	15.6	0.812	1982.47	2.45	1235.83
75	41.2	26.0	22.2	28.8	0.698	12451.51	11.62	933.22	17.3	13.9	13.1	14.7	0.847	1649.42	2.14	1297.43
76	42.2	29.7	22.2	30.3	0.718	14568.69	12.92	886.83	17.3	12.9	12.6	14.1	0.816	1472.33	1.99	1351.60
77	36.3	24.7	22.7	27.3	0.752	10656.83	10.45	980.59	11.7	10.3	7.1	9.5	0.811	448.00	0.62	1383.92
78	42.9	26.1	20.0	28.2	0.657	11725.37	11.29	962.87	17.9	14.6	12.1	14.7	0.820	1655.73	2.03	1226.04
79	42.9	27.3	21.4	29.3	0.682	13122.98	12.67	965.48	17.3	13.0	11.9	13.9	0.803	1401.31	1.86	1327.33
80/1	48.0	27.8	19.4	29.6	0.616	13554.59	12.98	957.61	18.5	13.7	12.8	14.8	0.800	1698.64	2.18	1283.38
80/2	40.5	26.1	15.2	25.2	0.623	8412.75	8.17	971.15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	45.3	32.3	24.1	32.8	0.724	18463.60	17.04	922.90	18.8	15.2	14.4	16.0	0.852	2154.58	2.80	1299.56
82/1	44.7	28.6	16.6	27.7	0.619	11111.69	11.68	1051.14	18.5	14.0	9.8	13.6	0.737	1329.00	1.72	1294.21
82/2	46.5	29.0	18.3	29.1	0.626	12921.13	12.30	951.93	19.0	13.1	8.6	12.9	0.678	1120.78	1.67	1490.03

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
83	41.2	27.1	22.2	29.2	0.708	12978.31	12.73	980.87	18.5	14.9	13.4	15.5	0.836	1934.02	2.58	1334.01
84	41.0	25.7	21.1	28.1	0.686	11641.21	11.03	947.50	16.8	12.7	12.2	13.8	0.819	1362.92	1.76	1291.34
85	39.8	25.5	20.2	27.4	0.688	10734.29	11.28	1050.84	17.0	13.2	12.6	14.1	0.832	1480.44	2.05	1384.72
86/1	58.3	35.2	24.1	36.7	0.630	25895.65	27.32	1055.00	27.9	18.8	13.9	19.4	0.695	3817.47	5.19	1359.54
86/2	50.0	32.3	28.2	35.7	0.714	23846.26	14.96	627.35	19.1	15.5	10.7	14.7	0.769	1658.62	2.06	1241.99
87/1	45.1	28.7	18.2	28.7	0.636	12334.70	11.01	892.60	18.6	15.0	10.4	14.3	0.767	1519.27	2.03	1336.16
87/2	46.9	29.1	19.4	29.8	0.636	13863.29	12.36	891.56	21.0	16.2	12.0	16.0	0.761	2137.54	2.83	1323.95
88	42.6	26.7	21.0	28.8	0.676	12506.59	12.83	1025.86	19.7	14.9	13.2	15.7	0.797	2028.73	2.45	1207.65
89	41.4	26.6	19.3	27.7	0.669	11128.53	12.29	1104.37	16.5	12.7	12.6	13.8	0.838	1382.47	1.80	1302.01
90	42.0	27.5	19.6	28.3	0.674	11853.23	11.70	987.07	15.9	13.1	12.9	13.9	0.874	1406.88	1.86	1322.08
91/1	43.1	28.0	19.0	28.4	0.659	12005.70	10.90	907.90	18.5	14.7	10.3	14.1	0.762	1466.64	1.93	1315.93
91/2	43.1	27.4	15.6	26.4	0.613	9646.08	9.39	973.45	18.0	14.1	10.5	13.9	0.770	1395.34	1.86	1333.01
92	41.0	28.3	18.8	27.9	0.681	11421.60	11.25	984.98	15.7	13.6	12.3	13.8	0.879	1375.13	1.83	1330.79
93/1	53.9	29.1	20.8	32.0	0.593	17082.20	14.99	877.52	24.8	16.9	12.0	17.1	0.691	2633.41	3.47	1317.68
93/2	45.2	27.1	17.7	27.9	0.617	11352.19	10.06	886.17	19.5	16.4	11.2	15.3	0.785	1875.41	2.53	1349.04

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

No. ¹	a ₂ (mm)	b ₂ (mm)	c ₂ (mm)	GMD ₁ (mm)	Sp ₁	V ₁ (mm ³)	m ₂ (g)	ρ ₁ (kg/m ³)	a ₃ (mm)	b ₃ (mm)	c ₃ (mm)	GMD ₂ (mm)	Sp ₂	V ₂ (mm ³)	m ₅ (g)	ρ ₂ (kg/m ³)
94	37.9	25.1	18.4	26.0	0.685	9164.93	8.16	890.35	15.5	13.3	12.7	13.8	0.889	1370.84	1.87	1364.13
95/1	48.3	30.4	20.5	31.1	0.644	15760.62	16.15	1024.71	22.7	15.0	10.3	15.2	0.669	1836.34	2.39	1301.50
95/2	46.6	26.7	15.3	26.7	0.573	9967.52	9.73	976.17	18.6	14.6	10.4	14.1	0.760	1478.76	1.87	1264.57
96/1	42.8	25.7	17.5	26.8	0.626	10078.91	9.66	958.44	17.3	10.4	7.7	11.1	0.644	725.39	0.79	1089.08
96/2	41.5	24.1	17.1	25.8	0.621	8954.88	8.85	988.29	16.2	9.4	7.1	10.3	0.634	566.11	0.61	1077.53
96/3	35.4	27.8	15.1	24.6	0.694	7780.79	4.45	571.92	-	-	-	-	-	-	-	-
97	46.9	28.8	25.6	32.6	0.695	18105.22	17.80	983.14	19.5	14.1	14.0	15.7	0.804	2015.49	2.45	1215.59
98/1	44.5	28.3	17.7	28.1	0.632	11671.28	11.75	1006.75	18.0	14.5	10.2	13.9	0.770	1393.92	1.83	1312.84
98/2	43.4	27.2	16.3	26.8	0.617	10075.00	10.41	1033.25	16.8	13.8	9.1	12.8	0.763	1104.66	1.45	1312.62
99/1	47.8	29.3	22.6	31.6	0.662	16573.06	16.47	993.78	18.8	14.4	13.3	15.3	0.815	1885.26	2.52	1336.69
99/2	28.0	20.4	11.6	18.8	0.671	3469.32	3.22	928.13	-	-	-	-	-	-	-	-
100	40.0	29.9	20.3	29.0	0.724	12712.35	13.84	1088.71	18.1	13.1	12.4	14.3	0.791	1539.47	2.11	1370.60

หมายเหตุ – ไม่ได้ทำการวัดเพราะผลสละกลีบนั้นไม่มีเมล็ด

¹ ค่า 96/2 หมายความว่า ตัวอย่างที่ 96 กลีบที่ 2

ตารางผนวกที่ ก3 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

No. ¹	มุม θ_1 ($^{\circ}$)	μ_1	มุม θ_2 ($^{\circ}$)	μ_2	มุม θ_3 ($^{\circ}$)	μ_3
1/1	52	1.280	38	0.781	42	0.900
1/2	37	0.754	53	1.327	34	0.675
2/1	24	0.445	28	0.532	31	0.601
2/2	13	0.231	20	0.364	20	0.364
2/3	20	0.364	33	0.649	25	0.466
3/1	50	1.192	50	1.192	54	1.376
3/2	43	0.933	42	0.900	45	1.000
4/1	51	1.235	49	1.150	54	1.376
4/2	52	1.280	52	1.280	55	1.428
5/1	46	1.036	46	1.036	47	1.072
5/2	33	0.649	28	0.532	30	0.577
6	31	0.601	29	0.554	36	0.727
7/1	23	0.424	21	0.384	32	0.625
7/2	54	1.376	66	2.246	65	2.145
8/1	33	0.649	30	0.577	40	0.839
8/2	45	1.000	35	0.700	37	0.754
9/1	26	0.488	36	0.727	37	0.754
9/2	34	0.675	50	1.192	43	0.933
9/3	40	0.839	35	0.700	37	0.754
10	32	0.625	28	0.532	34	0.675
11/1	42	0.900	39	0.810	51	1.235
11/2	45	1.000	50	1.192	36	0.727
12/1	36	0.727	45	1.000	44	0.966
12/2	39	0.810	47	1.072	39	0.810
13/1	35	0.700	19	0.344	22	0.404
13/2	34	0.675	33	0.649	36	0.727

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No. ¹	มุม θ_1 ($^{\circ}$)	μ_1	มุม θ_2 ($^{\circ}$)	μ_2	มุม θ_3 ($^{\circ}$)	μ_3
14/1	36	0.727	27	0.510	34	0.675
14/2	44	0.966	45	1.000	40	0.839
14/3	37	0.754	36	0.727	39	0.810
15/1	29	0.554	36	0.727	29	0.554
15/2	54	1.376	56	1.483	48	1.111
16/1	53	1.327	49	1.150	59	1.664
16/2	54	1.376	46	1.036	43	0.933
17/1	21	0.384	29	0.554	37	0.754
17/2	41	0.869	49	1.150	51	1.235
18	30	0.577	36	0.727	34	0.675
19	24	0.445	34	0.675	38	0.781
20/1	50	1.192	50	1.192	49	1.150
20/2	49	1.150	45	1.000	43	0.933
21/1	20	0.364	38	0.781	33	0.649
21/2	46	1.036	55	1.428	46	1.036
22/1	24	0.445	28	0.532	32	0.625
22/2	34	0.675	47	1.072	23	0.424
22/3	49	1.150	43	0.933	48	1.111
23/1	44	0.966	43	0.933	33	0.649
23/2	64	2.050	61	1.804	68	2.475
24/1	33	0.649	37	0.754	34	0.675
24/2	41	0.869	48	1.111	34	0.675
25/1	41	0.869	43	0.933	34	0.675
25/2	27	0.510	27	0.510	27	0.510
25/3	22	0.404	34	0.675	26	0.488
26/1	25	0.466	29	0.554	30	0.577

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No. ¹	มุม θ_1 ($^{\circ}$)	μ_1	มุม θ_2 ($^{\circ}$)	μ_2	มุม θ_3 ($^{\circ}$)	μ_3
26/2	43	0.933	53	1.327	48	1.111
27/1	71	2.904	67	2.356	64	2.050
27/2	54	1.376	46	1.036	43	0.933
28/1	39	0.810	36	0.727	29	0.554
28/2	27	0.510	32	0.625	25	0.466
29/1	50	1.192	52	1.280	55	1.428
29/2	58	1.600	61	1.804	48	1.111
30/1	28	0.532	30	0.577	29	0.554
30/2	30	0.577	36	0.727	38	0.781
30/3	36	0.727	38	0.781	42	0.900
31/1	35	0.700	30	0.577	25	0.466
31/2	64	2.050	56	1.483	53	1.327
32/1	58	1.600	55	1.428	53	1.327
32/2	61	1.804	54	1.376	44	0.966
33/1	54	1.376	53	1.327	54	1.376
33/2	43	0.933	25	0.466	40	0.839
34/1	61	1.804	57	1.540	57	1.540
34/2	39	0.810	58	1.600	54	1.376
35/1	45	1.000	29	0.554	32	0.625
35/2	38	0.781	46	1.036	40	0.839
36/1	29	0.554	37	0.754	41	0.869
36/2	28	0.532	39	0.810	34	0.675
36/3	49	1.150	58	1.600	54	1.376
37/1	51	1.235	45	1.000	38	0.781
37/2	40	0.839	44	0.966	46	1.036
38/1	29	0.554	38	0.781	27	0.510

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

No. ¹	มุม θ_1 ($^{\circ}$)	μ_1	มุม θ_2 ($^{\circ}$)	μ_2	มุม θ_3 ($^{\circ}$)	μ_3
38/2	39	0.810	40	0.839	33	0.649
38/3	30	0.577	29	0.554	28	0.532
39/1	50	1.192	47	1.072	43	0.933
39/2	29	0.554	42	0.900	35	0.700
40/1	50	1.192	53	1.327	53	1.327
40/2	41	0.869	48	1.111	45	1.000

หมายเหตุ ¹ ค่า 40/2 หมายความว่า ตัวอย่างที่ 40 กลีบที่ 2

ตารางผนวกที่ ก4 แสดงข้อมูลน้ำหนักของผลสละก่อนและหลังการแยกเนื้อ และประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ

No. ¹	n (rpm)	m ₂ (g)	t ₁ (s)	m ₃ (g)	η_{CEN1} (%)	t ₂ (s)	m ₄ (g)	m ₅ (g)	η_{CEN2} (%)	η_{CEN3} (%)
1	600	10.13	11.20	2.42	94.60	1.79	2.22	1.98	45.45	97.06
2/1	600	7.54	4.37	7.01	8.31	8.94	5.95	1.16	18.12	24.92
2/2	600	10.83	8.85	9.28	17.78	-	7.90	2.11	19.25	33.60
3	600	8.20	5.52	7.57	8.89	30.91	2.05	1.11	85.45	86.74
4	600	12.83	5.09	6.62	57.66	-	4.10	2.06	55.26	81.06
5	600	11.32	3.33	10.12	12.47	6.38	6.37	1.70	44.54	51.46
6	600	12.11	5.78	10.89	11.81	3.89	6.22	1.78	51.26	57.02
7/1	600	13.16	5.92	12.43	6.67	-	11.22	2.22	11.85	17.73
7/2	600	15.09	2.44	14.28	6.36	4.65	11.71	2.35	21.54	26.53
8	600	15.98	5.58	12.93	23.55	4.14	7.71	3.03	52.73	63.86
9	600	15.72	3.20	13.67	15.12	-	8.33	2.16	46.39	54.50
10	600	18.14	4.19	15.11	19.89	-	7.96	2.91	58.61	66.84
11/1	700	10.84	-	8.76	22.68	3.61	4.28	1.67	63.19	71.54
11/2	700	7.32	3.09	7.02	5.86	-	4.78	2.20	46.47	49.61
12/1	700	8.33	6.70	2.66	91.45	1.50	2.53	2.13	24.53	93.55
12/2	700	9.77	15.18	5.91	47.71	4.62	5.18	1.68	17.26	56.74
13	700	14.95	3.44	12.64	18.08	5.04	10.25	2.17	22.83	36.78
14/1	700	11.58	-	3.54	82.21	2.04	2.21	1.80	76.44	95.81
14/2	700	11.79	4.01	5.98	57.47	3.15	3.53	1.68	56.98	81.70
15	700	14.11	-	4.46	81.09	3.34	2.57	2.21	84.00	96.97
16	700	16.16	2.49	15.47	4.94	4.35	3.45	2.18	90.44	90.92
17	700	16.82	4.07	8.13	63.90	1.34	5.69	3.22	49.69	81.84
18/1	700	16.31	11.75	9.27	49.54	-	2.92	2.10	88.56	94.23
18/2	700	15.19	2.70	2.45	96.44	1.47	2.26	1.98	40.43	97.88
18/3	800	14.62	5.43	6.73	64.20	-	4.60	2.33	48.41	81.53

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

No. ¹	n (rpm)	m ₂ (g)	t ₁ (s)	m ₃ (g)	η_{CEN1} (%)	t ₂ (s)	m ₄ (g)	m ₅ (g)	η_{CEN2} (%)	η_{CEN3} (%)
19	800	13.70	4.02	5.24	69.69	2.58	2.27	1.56	80.71	94.15
20	800	12.33	6.31	2.85	89.52	1.28	2.49	1.74	32.43	92.92
21	800	12.82	1.77	4.69	81.14	0.87	3.39	2.80	68.78	94.11
22	800	9.96	2.07	3.19	88.73	1.55	2.77	2.33	48.84	94.23
23	800	10.48	13.58	3.55	82.01	0.97	2.60	2.03	62.50	93.25
24	800	9.92	5.49	5.34	52.89	3.98	1.92	1.26	83.82	92.38
25	800	7.91	3.11	2.13	81.52	2.61	1.28	0.82	64.89	93.51
26	800	16.84	4.65	5.09	81.60	2.05	2.95	2.44	80.75	96.46
27/1	800	18.30	4.73	2.36	99.56	0.67	2.32	2.29	57.14	99.81
27/2	800	17.65	7.63	2.92	98.86	0.98	2.78	2.75	82.35	99.80
28/1	800	15.01	3.77	2.86	94.85	3.41	2.54	2.20	48.48	97.35

หมายเหตุ – จับเวลาไม่ได้เนื่องจากเมล็ดค้างอยู่ในเครื่อง Pulper-Finisher

¹ ค่า 27/2 หมายความว่า ตัวอย่างที่ 27 กลีบที่ 2

ตารางผนวกที่ ก5 แสดงข้อมูลน้ำหนักของผลผลิตที่วัดและค่า %Yield

No. ¹	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Σ m ₂ (g)	m ₅ (g)	Σ m ₅ (g)	Yield (%)	No. ¹	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Σ m ₂ (g)	m ₅ (g)	Σ m ₅ (g)	Yield (%)
1	18.69	10.13	10.13	1.98	1.98	43.61	24	15.57	9.92	9.92	1.26	1.26	55.62
2/1	22.54	7.54	18.37	1.16	3.27	66.99	25	12.13	7.91	7.91	0.82	0.82	58.45
2/2	-	10.83	-	2.11	-	-	26	24.09	16.84	16.84	2.44	2.44	59.78
3	14.72	8.20	8.20	1.11	1.11	48.17	27/1	42.89	18.30	35.95	2.29	5.04	72.07
4	19.20	12.83	12.83	2.06	2.06	56.09	27/2	-	17.65	-	2.75	-	-
5	18.87	11.32	11.32	1.70	1.70	50.98	28/1	34.78	15.01	26.41	2.20	3.87	64.81
6	20.90	12.11	12.11	1.78	1.78	49.43	28/2	-	11.40	-	1.67	-	-
7/1	37.82	13.16	28.25	2.22	4.57	62.61	29	17.42	10.22	10.22	1.70	1.70	48.91
7/2	-	15.09	-	2.35	-	-	30	27.73	20.24	20.24	-	-	72.99
8	23.64	15.98	15.98	3.03	3.03	54.78	31	28.95	20.70	20.70	2.86	2.86	61.62
9	24.36	15.72	15.72	2.16	2.16	55.67	32	22.50	16.76	16.76	2.57	2.57	63.07
10	24.46	18.14	18.14	2.91	2.91	62.26	33	18.35	12.53	12.53	2.15	2.15	56.57
11/1	28.72	10.84	18.16	1.67	3.87	49.76	34/1	29.43	11.57	22.14	2.73	4.47	60.04
11/2	-	7.32	-	2.20	-	-	34/2	-	10.57	-	1.74	-	-
12/1	28.71	8.33	18.10	2.13	3.81	49.77	35/1	42.77	12.49	33.04	-	3.19	69.79
12/2	-	9.77	-	1.68	-	-	35/2	-	20.55	-	3.19	-	-
13	20.36	14.95	14.95	2.17	2.17	62.77	36/1	32.54	13.06	24.15	2.31	2.31	67.12
14/1	30.79	11.58	23.37	1.80	3.48	64.60	36/2	-	11.09	-	-	-	-
14/2	-	11.79	-	1.68	-	-	37	22.43	14.67	14.67	2.35	2.35	54.93
15	21.27	14.11	14.11	2.21	2.21	55.95	38/1	36.39	14.23	30.10	2.56	4.64	69.96
16	24.93	16.16	16.16	2.18	2.18	56.08	38/2	-	13.87	-	2.08	-	-
17	24.06	16.82	16.82	3.22	3.22	56.53	38/3	-	2.00	-	-	-	-
18/1	56.33	16.31	46.12	2.10	6.41	70.50	39/1	22.01	13.96	14.65	1.80	1.80	58.38
18/2	-	15.19	-	1.98	-	-	39/2	-	0.69	-	-	-	-
18/3	-	14.62	-	2.33	-	-	40/1	33.01	13.94	25.64	2.54	4.60	63.74
19	18.99	13.70	13.70	1.56	1.56	63.93	40/2	-	11.70	-	2.06	-	-
20	20.78	12.33	12.33	1.74	1.74	50.96	41/1	31.68	13.96	23.88	2.73	4.33	61.71
21	19.92	12.82	12.82	2.80	2.80	50.30	41/2	-	9.92	-	1.60	-	-
22	15.86	9.96	9.96	2.33	2.33	48.11	42/1	27.98	11.53	21.69	2.06	4.09	62.90
23	16.21	10.48	10.48	2.03	2.03	52.13	42/2	-	10.16	-	2.03	-	-

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

No. ¹	m ₁	m ₂	∑ m ₂	m ₅	∑	Yield	No. ¹	m ₁	m ₂	∑ m ₂	m ₅	∑	Yield
	(g)	(g)	(g)	(g)	m ₅	(%)		(g)	(g)	(g)	(g)	m ₅	(%)
					(g)							(g)	
43/1	28.26	10.61	20.18	1.80	3.52	58.95	62/2	-	8.90	-	1.46	-	-
43/2	-	9.57	-	1.72	-	-	63	19.94	12.29	12.29	1.92	1.92	52.01
44/1	30.42	12.48	23.33	1.61	3.38	65.58	64	13.75	10.21	10.21	1.82	1.82	61.02
44/2	-	10.85	-	1.77	-	-	65/1	24.35	10.62	18.04	2.48	3.38	60.21
45/1	35.50	15.51	28.73	2.71	4.79	67.44	65/2	-	7.42	-	0.90	-	-
45/2	-	13.22	-	2.08	-	-	66/1	32.04	11.99	24.00	1.98	3.93	62.64
46/1	29.72	12.35	23.90	1.94	3.57	68.41	66/2	-	12.01	-	1.95	-	-
46/2	-	11.55	-	1.63	-	-	67/1	28.98	10.99	23.15	1.75	3.65	67.29
47/1	27.39	1.51	21.02	-	3.79	62.91	67/2	-	12.16	-	1.90	-	-
47/2	-	9.47	-	1.68	-	-	68/1	27.32	10.79	21.85	1.15	3.18	68.34
47/3	-	10.04	-	2.11	-	-	68/2	-	11.06	-	2.03	-	-
48	17.84	11.16	11.16	1.85	1.85	52.19	69	13.84	11.19	11.19	2.21	2.21	64.88
49	18.80	13.76	13.76	2.08	2.08	62.13	70	18.53	12.00	12.00	2.13	2.13	53.26
50	15.97	11.58	11.58	2.05	2.05	59.67	71/1	39.47	19.19	29.71	4.07	4.07	64.96
51	16.70	11.65	11.65	2.08	2.08	57.31	71/2	-	10.52	-	-	-	-
52/1	42.30	18.82	32.02	2.27	3.79	66.74	72/1	24.04	9.66	20.84	1.56	3.79	70.92
52/2	-	13.20	-	1.52	-	-	72/2	-	11.18	-	2.23	-	-
53/1	23.25	6.64	18.41	-	2.37	68.99	73/1	19.03	12.86	16.55	2.39	2.48	73.94
53/2	-	11.77	-	2.37	-	-	73/2	-	3.69	-	0.09	-	-
54	18.46	14.67	14.67	2.73	2.73	64.68	74	19.78	12.76	12.76	2.45	2.45	52.12
55	14.77	11.01	11.01	1.69	1.69	63.10	75	18.59	11.62	11.62	2.14	2.14	51.00
56	25.47	18.63	18.63	2.17	2.17	64.63	76	18.47	12.92	12.92	1.99	1.99	59.18
57	19.07	13.02	13.02	1.55	1.55	60.15	77	15.66	10.45	10.45	0.62	0.62	62.77
58	16.30	11.78	11.78	1.75	1.75	61.53	78	15.77	11.29	11.29	2.03	2.03	58.72
59/1	26.94	10.44	20.83	1.96	3.70	63.59	79	19.11	12.67	12.67	1.86	1.86	56.57
59/2	-	10.39	-	1.74	-	-	80/1	26.84	12.98	21.15	2.18	2.18	70.68
60	17.66	11.62	11.62	1.79	1.79	55.66	80/2	-	8.17	-	-	-	-
61/1	16.18	8.36	9.82	0.32	0.50	57.60	81	21.86	17.04	17.04	2.80	2.80	65.14
61/2	-	1.46	-	0.18	-	-	82/1	28.42	11.68	23.98	1.72	3.39	72.45
62/1	24.85	11.13	20.03	2.15	3.61	66.08	82/2	-	12.30	-	1.67	-	-

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

No. ¹	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Σ m ₂ (g)	m ₅ (g)	Σ m ₅ (g)	Yield (%)	No. ¹	m ₁ (g)	m ₂ (g)	Σ m ₂ (g)	m ₅ (g)	Σ m ₅ (g)	Yield (%)
83	16.97	12.73	12.73	2.58	2.58	59.81	93/2	-	10.06	-	2.53	-	-
84	14.87	11.03	11.03	1.76	1.76	62.34	94	10.78	8.16	8.16	1.87	1.87	58.35
85	15.51	11.28	11.28	2.05	2.05	59.51	95/1	29.77	16.15	25.88	2.39	4.26	72.62
86/1	47.90	27.32	42.28	5.19	7.25	73.13	95/2	-	9.73	-	1.87	-	-
86/2	-	14.96	-	2.06	-	-	96/1	27.43	9.66	22.96	0.79	1.40	78.60
87/1	27.48	11.01	23.37	2.03	4.86	67.36	96/2	-	8.85	-	0.61	-	-
87/2	-	12.36	-	2.83	-	-	96/3	-	4.45	-	-	-	-
88	15.26	12.83	12.83	2.45	2.45	68.02	97	21.93	17.80	17.80	2.45	2.45	70.00
89	14.91	12.29	12.29	1.80	1.80	70.36	98/1	24.65	11.75	22.16	1.83	3.28	76.59
90	14.69	11.70	11.70	1.86	1.86	66.98	98/2	-	10.41	-	1.45	-	-
91/1	23.40	10.90	20.29	1.93	3.79	70.51	99/1	23.33	16.47	19.69	2.52	2.52	73.60
91/2	-	9.39	-	1.86	-	-	99/2	-	3.22	-	-	-	-
92	16.76	11.25	11.25	1.83	1.83	56.21	100	17.88	13.84	13.84	2.11	2.11	65.6
93/1	31.80	14.99	25.05	3.47	6.00	59.91							

หมายเหตุ - ไม่ได้ทำการวัดเพราะขนาดของผลสละแต่ละตัวอย่างมีค่าเดียว หรือผลสละกลีบนั้นไม่มีเมล็ด

¹ ค่า 91/2 หมายความว่า ตัวอย่างที่ 91 กลีบที่ 2

ภาคผนวก ข

ทฤษฎีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรมากกว่า 2 ตัวแปร

ทฤษฎีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรมากกว่า 2 ตัว

1. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป จะขึ้นกับชนิดของตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ ซึ่งในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละซึ่งขึ้นอยู่กับ ตัวแปรอิสระคือ ความเป็นทรงกลมของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, ความหนาแน่นของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด, เวลาที่ใช้ในการแยกเนื้อ, น้ำหนักของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วและเมล็ด และความเร็วรอบของเครื่อง Pulper-Finisher ที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ เนื่องจากตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ 1 ตัว และมีตัวแปรอิสระ (ทุกประเภท) อย่างน้อย 2 ตัว กัลยา (2543) ได้แนะนำให้วิเคราะห์ความสัมพันธ์นี้ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ไม่มีการควบคุมตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (Zero-order correlation) ซึ่งจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรทีละคู่ เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม และมีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด ส่วนการทดสอบนัยสำคัญ (Test of significance) เป็นการทดสอบแบบสองข้าง (Two-tailed) ซึ่งมีสมมุติฐาน ดังนี้

$H_0 : \beta = 0$ หรือ H_0 : ตัวแปรอิสระ X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น

$H_1 : \beta \neq 0$ H_1 : ตัวแปรอิสระ X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น

เมื่อ β คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สถิติทดสอบ

$$T = \frac{R}{\sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 + \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

เมื่อ R คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวอย่าง

N คือ จำนวนตัวอย่าง

เจตปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2; N-2}$

หรือ $t > t_{1-\alpha/2; N-2}$

หรือ $t < -t_{1-\alpha/2; N-2}$

โดยการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างที่จะทดสอบ คือสมมติฐานว่าง (H_0) และสมมติฐานแย้ง (H_1) และเนื่องจากตัวอย่างมีการแจกแจงแบบปกติ หรือขนาดตัวอย่างใหญ่ (ขนาดตัวอย่าง ≥ 30) โปรแกรม SPSS จะใช้สถิติทดสอบแบบ T โดยกำหนดความผิดพลาดของการทดสอบประเภทที่ 1 หรือระดับนัยสำคัญ (α) หรือระดับความเชื่อมั่น ($1-\alpha$) ให้มีค่า 0.5

ความหมายของค่า R

1. ค่า R เป็นลบ แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม คือถ้า X เพิ่ม Y จะลด แต่ถ้า X ลด Y จะเพิ่ม

2. ค่า R เป็นบวกแสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน คือ ถ้า X เพิ่ม Y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้า X ลด Y จะลดลงด้วย

3. ถ้า R มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก

4. ถ้า R มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามและมีความสัมพันธ์กันมาก

5. ถ้า $R=0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

6. ถ้า R เข้าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย (กัลยา, 2543)

2. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) กับตัวแปรอิสระ (X_1, X_2, \dots, X_k) อยู่ในรูปเชิงเส้น ดังสมการ (ข.1)

$$Y = a + b_1X_1 + \dots + b_kX_k \quad (\text{ข.1})$$

เมื่อ a คือ ส่วนหรือระยะตัดแกน Y

b_1, b_2, \dots, b_k คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

การเลือกตัวแปรอิสระโดยวิธี Stepwise เป็นวิธีที่ใช้ทั้งเกณฑ์ของวิธี Forward และวิธี Backward ผสมกัน โดยมีขั้นตอนการเลือกตัวแปรอิสระดังนี้

1. การเลือกตัวแปรอิสระตัวแรกเข้าสมการ โดยใช้เกณฑ์ของวิธี Forward ถ้าพบว่าไม่มีตัวแปรใดผ่านเกณฑ์ (Entry) จะหยุด และถือว่าไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม แต่ถ้ามีตัวแปรอิสระที่ผ่านเกณฑ์เข้าสมการ จะทำต่อไปในข้อที่ 2

2. จะใช้เกณฑ์ของ Backward และ Forward นั่นคือ จะพิจารณาเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ โดยกำหนดใน Entry และในขณะเดียวกันจะพิจารณาตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการว่าจะถูกเลือกออกจากสมการหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์ Remove ที่กำหนด และเพื่อป้องกันไม่ให้นำตัวแปรเดิมเข้า และออกจากสมการจะกำหนดให้ค่า F ใน Entry มากกว่าใน Remove หรือ F -probability ใน Entry น้อยกว่า F -probability ของใน Remove

3. กลับไปทำข้อที่ 2 จนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดเข้าหรือออกจากสมการอีกแล้ว

ภาคผนวก ค

ทฤษฎีการคำนวณการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสัตว์ต้นแบบ

ทฤษฎีการคำนวณการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

1. การประมาณค่านอกช่วงฟังก์ชันพหุนาม

ปราโมทย์ (2538) ได้กล่าวถึงการประมาณค่านอกช่วงโดยการใช้ผลต่างจากการแบ่งย่อยของนิวตัน (Newton's divided-difference interpolating polynomials) โดยลักษณะของฟังก์ชันในรูปแบบของฟังก์ชันพหุนาม สามารถเขียนได้ดังสมการ (ค.1)

$$f(x) = C_0 + C_1(x - x_0) + C_2(x - x_0)(x - x_1) + C_3(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) + \dots + C_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (\text{ค.1})$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ C_i เมื่อ $i = 0, 1, 2, \dots, n$ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (ค.2)

$$C_n = f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0] \quad (\text{ค.2})$$

ซึ่งผลต่างจากการแบ่งย่อย (Divided difference) ครั้งที่ n สามารถคำนวณได้ดังสมการ (ค.3)

$$f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0] = \frac{f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1] - f[x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_0]}{x_n - x_0} \quad (\text{ค.3})$$

หลังจากประมาณค่านอกช่วงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละมากที่สุด จึงทำการคำนวณเพื่อหาแรงที่จำเป็นต้องใช้ในการแยกเนื้อสละจากสมการ (20)

2. การหาขนาดมอเตอร์

ชาญชัย และคณะ (2533) ได้กล่าวถึงการคำนวณหากำลังงานของมอเตอร์ที่ส่งมาตามเพลาดังนี้

$$P = \frac{Mn}{975} \quad (\text{ค.4})$$

เมื่อ P คือ กำลังงาน (kW)

M คือ โมเมนต์บิด (N·m)

n คือ ความเร็วรอบ (rpm)

$$M = \frac{9.56Gv}{n} \quad (ค.5)$$

เมื่อ v คือ ความเร็ว (m/s)

G คือ น้ำหนักทั้งหมดที่กดลงบนเพลลา (kg)

3. การออกแบบสายพาน

วิธีธี และชาญ (2541) ได้กล่าวถึงการคำนวณหาขนาดแรงม้าที่ใช้ออกแบบ (Design horsepower) เพื่อนำมาเลือกขนาดของสายพานลิ้มได้จากสมการ (ค.6)

$$\text{ขนาดแรงม้าที่ใช้ออกแบบ} = W_p N_s \quad (ค.6)$$

เมื่อ W_p คือ กำลังที่ต้องการส่ง (Hp)

N_s คือ ตัวประกอบใช้งาน

ซึ่งสามารถเลือกตัวประกอบใช้งานได้จากตารางผนวกที่ ค1 และเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานได้จากภาพผนวกที่ ค1

ตารางผนวกที่ ค1 ตัวประกอบใช้งาน (Service factor) สำหรับสายพานลิ้ม

ชนิดเครื่องจักร	ชนิดตัวขับ					
It idlers are used, add the following to the service factor :	AC Motors: Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase.			AC Motors: High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring.		
	DC Motors: Shunt Wound.			DC Motors: Series Wound, Compound Wound.		
Idler on slack side (inside the belts).....None	Engines ¹ : Multiple Cylinder Internal Combustion			Engines ¹ : Single Cylinder Internal Combustion		
Idler on tight side (inside the belts).....0.1	Intermittent Service	Normal Service	Continuous Service	Intermittent Service	Normal Service	Continuous Service
(outside the belts)...0.2	<6 Hrs/Day	6-16 Hrs/Day	16-24 Hrs/Day	<6 Hrs/Day	6-16 Hrs/Day	16-24 Hrs/Day
Belt conveyors for sand, grain						
Dough mixers						
Fan over 10 HP						
Generators						
Line shafts	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Laundry machinery						
Machine tool						
Punches-presses-shears						
Printing machinery						
Positive displacement rotary pumps						
Revolving and vibrating screens						

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชนิดเครื่องจักร	ชนิดตัวขับ					
	AC Motors: Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase.			AC Motors: High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring.		
It idlers are used, add the following to the service factor :	DC Motors: Shunt Wound.			DC Motors: Series Wound, Compound Wound.		
Idler on slack side (inside the belts).....None (outside the belts)...0.1	Engines ¹ : Multiple Cylinder Internal Combustion			Engines ¹ : Single Cylinder Internal Combustion		
Idler on tight side (inside the belts).....0.1 (outside the belts)...0.2	Intermittent Service <6 Hrs/Day	Normal Service 6-16 Hrs/Day	Continuous Service 16-24 Hrs/Day	Intermittent Service <6 Hrs/Day	Normal Service 6-16 Hrs/Day	Continuous Service 16-24 Hrs/Day
Brick machinery						
Bucket elevators						
Exciters						
Piston compressors						
Conveyors (drag-pan-screw)						
Hammer mills	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Paper mill beaters						
Piston pumps						
Positive displacement blowers						
Pulverizers						
Saw mill and woodworking machinery						
Textile machinery						
Chokable equipment ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Fire hazard condition ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

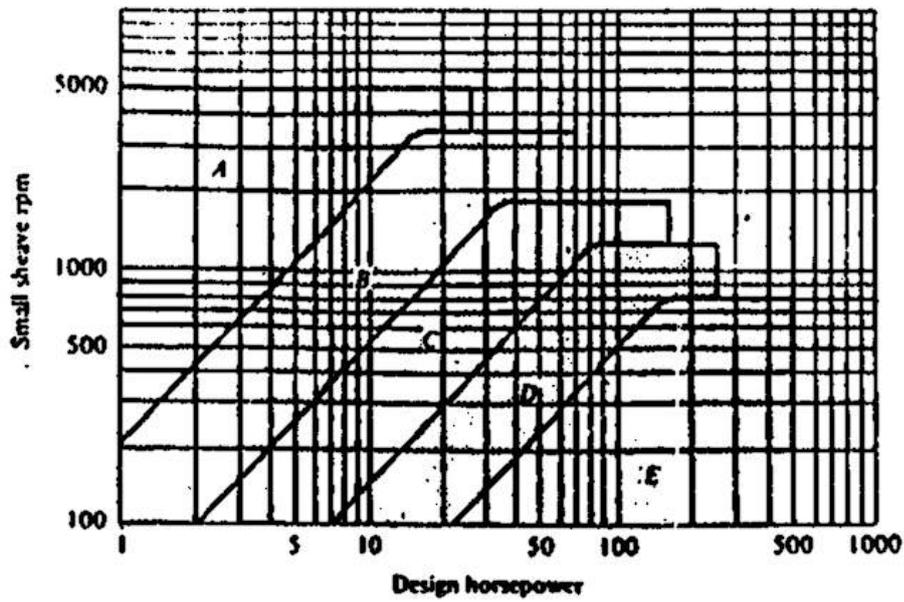
ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ชนิดเครื่องจักร	ชนิดตัวขับ					
	AC Motors: High Torque, High Slip,					
It idlers are used, add the following to the service factor :	AC Motors: Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase.			Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring.		
Idler on slack side (inside the belts).....None (outside the belts)...0.1	DC Motors: Shunt Wound. Engines ¹ : Multiple Cylinder Internal Combustion			DC Motors: Series Wound, Compound Wound. Engines ¹ : Single Cylinder Internal Combustion		
Idler on tight side (inside the belts).....0.1 (outside the belts)...0.2	Intermittent Service	Normal Service	Continuous Service	Intermittent Service	Normal Service	Continuous Service
	<6 Hrs/Day	6-16 Hrs/Day	16-24 Hrs/Day	<6 Hrs/Day	6-16 Hrs/Day	16-24 Hrs/Day
Agitators for liquids						
Blowers and exhausters						
Centrifugal pumps and Compressors	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Fan up to 10 HP						
Light duty conveyors						
Crushers (gyrotory-jaw-roll)						
Mills (ball-rod-tube)	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Hoists						
Rubber calenders-extruders-mills						

หมายเหตุ ¹ Apply indicated service factor to continuous service engine rating. Deduct 0.2 (with a Minimum service factor of 1.0) when applying to maximum engine rating.

² Where fire hazards are prevalent and fire prevention law apply, it is recommended that drives be designed using a service factor of 2.0 on the HP rating of the motor.

ที่มา: สمان (ม.ป.ป.)



ภาพผนวกที่ ค1 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกขนาดหน้าตัดของสายพานลิ้ม
ที่มา: ชาญชัย และคณะ (2533)

วริทธิ์ และชาญ (2541) ได้กล่าวถึงการคำนวณหาอัตราทดจากสมการ (ค.7) ซึ่งสามารถเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ของล้อสายพานลิ้มได้จากตารางผนวกที่ ค2

$$m_{\omega} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_{P2}}{D_{P1}} \quad (\text{ค.7})$$

เมื่อ m_{ω} คือ อัตราทด

n_1 คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)

n_2 คือ ความเร็วรอบของเพลา (rpm)

D_{P1} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ของล้อสายพานตัวเล็กที่ติดบนแกนของมอเตอร์ (in)

D_{P2} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ของล้อสายพานตัวใหญ่ที่ติดบนเพลา (in)

ตารางผนวกที่ ค2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อยาสายพานตามมาตรฐาน ISO 99-1975(E)

		ขนาดระบุ (นิ้ว)		
1.60	3.55	8.00	18.00	40.00
1.80	4.00	9.00	20.00	45.50
2.00	4.50	10.00	22.40	50.00
2.24	5.00	11.20	25.00	56.00
2.50	5.60	12.50	28.00	63.00
2.80	6.30	14.00	31.50	71.00
3.15	7.10	16.00	35.50	80.00

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ (2541)

วริทธิ์ และชาญ (2541) ได้กล่าวถึงการเลือกขนาดสายพานลีม ซึ่งใช้วิธีการคำนวณหารจำนวนเส้นของสายพานลีมที่ต้องการใช้งานจากกำลังงานที่ต้องการขับ และตัวประกอบที่ใช้แก้ไขต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลีมได้จากสมการ (ค.8)

$$z = \frac{W_P N_S}{P_R K_C K_L} \quad (\text{ค.8})$$

เมื่อ z คือ จำนวนเส้นของสายพานลีม (เส้น)

P_R คือ กำลังที่สายพานลีมหนึ่งเส้นส่งได้ (Hp)

K_L คือ ตัวประกอบแก้ไขความยาว หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค4

K_C คือ ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค5

ในการหาค่ากำลังที่สายพานลีมหนึ่งเส้นส่งได้จากภาพผนวกที่ ค2 นั้น จำเป็นต้องทราบค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า และความเร็วสายพาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (ค.9) และ (ค.10) ตามลำดับ

$$D_e = D_{Pl} \times K_d \quad (\text{ค.9})$$

เมื่อ D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (in)

K_d คือ ค่าตัวประกอบแก้ไขเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค3

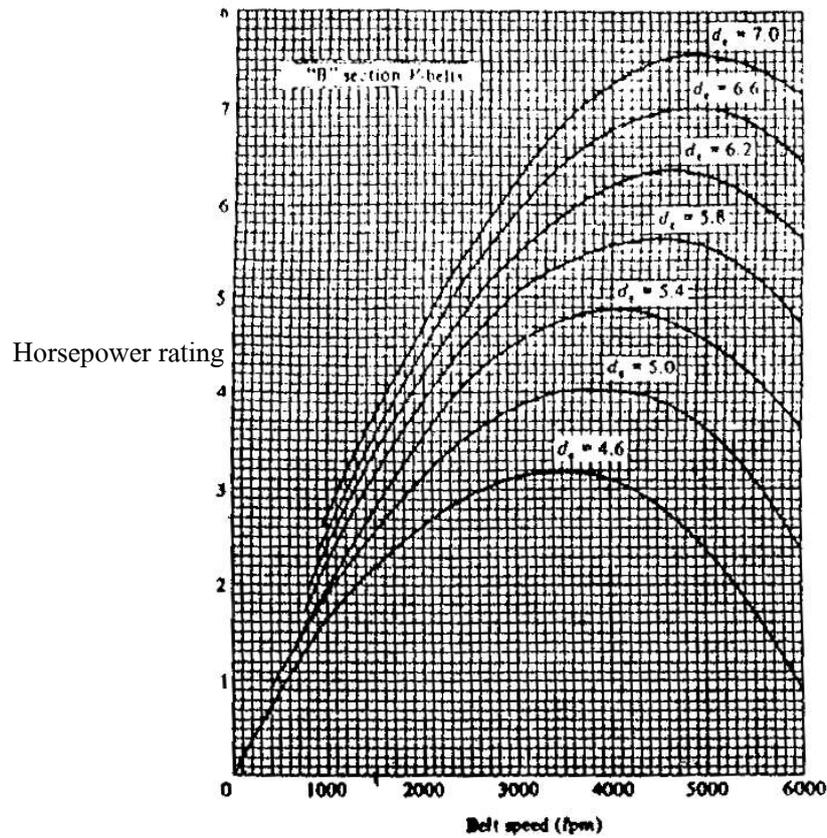
$$v_B = \frac{\pi D_{p1} n_1}{12} \quad (\text{ค.10})$$

เมื่อ v_B คือ ความเร็วของสายพาน (ft/min)

ตารางผนวกที่ ค3 ค่าตัวประกอบแก้ไขเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (Small diameter correction factors; K_d)

อัตราทด	K_d
1.000-1.019	1.00
1.020-1.032	1.01
1.033-1.055	1.02
1.056-1.081	1.03
1.082-1.109	1.04
1.110-1.142	1.05
1.143-1.178	1.06
1.179-1.222	1.07
1.223-1.274	1.08
1.275-1.340	1.09
1.341-1.429	1.10
1.430-1.562	1.11
1.563-1.814	1.12
1.815-2.948	1.13
≥ 2.949	1.14

ที่มา: สมาน (ม.ป.ป.)



ภาพผนวกที่ ค2 กำลังที่สายพานลิ้มหน้าตัด B หนึ่งเส้นส่งได้
ที่มา: ชายุชัย และคณะ (2533)

ในการหาค่าตัวประกอบแก้ไขความยาวจากตารางผนวกที่ ค4 จำเป็นต้องทราบค่าความยาวพิตซ์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (ค.11)

$$L_p \cong 2C_p + 1.57(D_{p2} + D_{p1}) + \frac{(D_{p2} - D_{p1})^2}{4C_p} \quad (\text{ค.11})$$

เมื่อ L_p คือ ความยาวพิตซ์โดยประมาณของสายพานลิ้ม (in)

C_p คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน (in)

ตารางผนวกที่ ๓4 ความยาวพิตช์ (L_P) และตัวประกอบแก้ไขความยาว (K_L) ของสายพานหน้าตัด

B

Belt No.	L_P (in)	K_L												
B22	23.8	.71	B44	45.8	.85	B66	67.8	.93	B88	89.8	1.00	B133	134.8	1.09
B23	24.8	.72	B45	46.8	.86	B67	68.8	.94	B89	90.8	1.00	B136	137.8	1.09
B24	25.8	.73	B46	47.8	.87	B68	69.8	.95	B90	91.8	1.00	B144	145.8	1.11
B25	26.8	.74	B47	48.8	.87	B69	70.8	.95	B91	92.8	1.00	B148	149.8	1.11
B26	27.8	.75	B48	49.9	.87	B70	71.8	.95	B92	93.8	1.00	B158	159.8	1.13
B27	28.8	.75	B49	50.8	.88	B71	72.8	.95	B93	94.8	1.01	B162	163.8	1.13
B28	29.8	.76	B50	51.8	.88	B72	73.8	.95	B94	95.8	1.01	B173	174.8	1.15
B29	30.8	.77	B51	52.8	.89	B73	74.8	.96	B95	96.8	1.01	B180	181.8	1.16
B30	31.8	.77	B52	53.8	.89	B74	75.8	.96	B96	97.8	1.01	B190	191.8	1.16
B31	32.8	.78	B53	54.8	.89	B75	76.8	.97	B97	98.8	1.02	B195	196.8	1.18
B32	33.8	.79	B54	55.8	.89	B76	77.8	.97	B99	100.8	1.02	B205	206.8	1.19
B33	34.8	.79	B55	56.8	.90	B77	78.8	.97	B100	101.8	1.02	B210	211.8	1.19
B34	35.8	.80	B56	57.8	.90	B78	79.8	.97	B101	102.8	1.03	B225	225.3	1.21
B35	36.8	.81	B57	58.8	.90	B79	80.8	.97	B103	104.8	1.03	B240	240.3	1.22
B36	37.8	.81	B58	59.8	.91	B80	81.8	.97	B105	106.8	1.04	B255	255.3	1.24
B37	38.8	.82	B59	60.8	.91	B81	82.8	.98	B108	109.8	1.04	B270	270.3	1.25
B38	39.8	.83	B60	61.8	.92	B82	83.8	.98	B111	112.8	1.05	B285	285.3	1.26
B39	40.8	.83	B61	62.8	.92	B83	84.8	.98	B112	113.8	1.05	B300	300.3	1.27
B40	41.8	.83	B62	63.8	.92	B84	85.8	.99	B116	117.8	1.06	B315	315.3	1.29
B41	42.8	.84	B63	64.8	.92	B85	96.8	.99	B120	121.8	1.07			
B42	43.8	.85	B64	65.8	.93	B86	87.8	.99	B124	125.8	1.07			
B43	44.8	.85	B65	66.8	.93	B87	88.8	.99	B128	129.8	1.08			

ที่มา: สมาน (ม.ป.ป.)

ในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพาน วิธีที่ และชาญ (2541) ได้กล่าว
ว่าบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$C_{\max} = 2(D_{P1} + D_{P2}) \quad (\text{ค.12})$$

$$C_{\min} = 0.7(D_{P1} + D_{P2}) \quad (\text{ค.13})$$

เมื่อ C_{\max} คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อยาสายพานสูงสุดที่ยอมรับได้ (นิ้ว)

C_{\min} คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อยาสายพานต่ำสุดที่ยอมรับได้ (นิ้ว)

เมื่อทราบค่าความยาวพิตช์แล้ว สามารถหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางได้จากสมการ
(ค.14)

$$C_p \cong p + \sqrt{p^2 - q} \quad (\text{ค.14})$$

เมื่อ $p = 0.25L_p - 0.393(D_{P2} + D_{P1})$

$q = 0.125(D_{P2} - D_{P1})^2$

ตารางผนวกที่ ค5 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส (K_C) สำหรับสายพานลิ้ม¹

$\frac{D_{P2} - D_{P1}}{C_p}$	ส่วนโค้งสัมผัส	K_C
0	180	1
0.15	170	0.98
0.35	160	0.95
0.5	150	0.92
0.7	140	0.89
0.85	130	0.86
1.0	120	0.82
1.15	110	0.78
1.3	100	0.73
1.45	90	0.68

หมายเหตุ¹ ค่าที่อยู่ระหว่างค่าในตาราง อาจหาค่าได้โดยการประมาณแบบเชิงเส้น

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2541)

วริทธิ์ และชาญ (2541) ได้กล่าวถึงการคำนวณแรงดึงชั้นต้นในสายพาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (ค.15)

$$F_i = \left(k_1 F + z k_2 v_B^2 \right) \sin \frac{\alpha_B}{2} \quad (\text{ค.15})$$

เมื่อ F_i คือ แรงดึงชั้นต้นในสายพาน (N)

k_1 คือ ตัวประกอบใช้งาน หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค6

F คือ แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง (N)

k_2 คือ ค่าตัวประกอบ หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค7

α_B คือ มุมสัมผัส (Angle of contact) ของสายพานกับล้อสายพานที่ติดบนมอเตอร์ ($^{\circ}$)

ตารางผนวกที่ ค6 ตัวประกอบใช้งาน

ตัวประกอบใช้งาน	สภาวะการทำงาน
1.3	งานเบา ทำงานคงที่
1.5	งานปานกลาง
2.0	งานหนัก แรงกระตุก เปิดปิดบ่อยครั้ง

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ (2541)

ตารางผนวกที่ ค7 ค่าตัวประกอบ k_2

หน้าตัดสายพาน	k_2
Y	0.049
Z	0.126
A	0.217
B	0.385
C	0.637
D	1.332

ที่มา: วริทธิ์ และชาญ (2541)

สามารถคำนวณหามุมสัมผัสของสายพานกับล้อสายพานที่ติดบนมอเตอร์ได้ดังนี้

$$\alpha_B = 180 - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_{P2} - D_{P1}}{2C_p} \right) \quad (\text{ค.16})$$

สามารถคำนวณหาแรงดึงในสายพานขณะส่งกำลังได้ดังนี้

$$F_B = \frac{W_p}{v_B} \quad (\text{ค.17})$$

เมื่อ W_p คือ กำลังที่ต้องการส่ง (W)

4. การออกแบบเพลลา

ในขณะที่เครื่องแยกเนื้อสละทำงานนั้น จะมีแรงที่กระทำกับเพลลาอยู่ 2 แรงคือ

1. แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของใบกวาดที่กระทำกับเพลลา
2. แรงที่สายพานกระทำกับเพลลา

ดังนั้น ในการออกแบบจะต้องทำการคำนวณหาค่าแรงทั้งสองที่กระทำกับเพลลา เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาความเค้นสูงสุดที่เกิดบนเพลลา

4.1 การคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของผลสละและใบกวาดที่กระทำกับเพลลา

ในขณะที่เครื่องทำงานจะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของใบกวาดและผลสละ และในการประกอบชุดเพลลาเข้ากับโครงนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้สมดุล แต่เนื่องจากการทำให้สมดุลนั้นไม่สามารถทำได้ 100% จึงมีผลทำให้เครื่องเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นได้ ซึ่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นทั้ง 2 กรณีที่กล่าวมานี้จะมีผลทำให้เกิดแรงกระทำต่อเพลลา ดังนั้น จึงต้องทำการประมาณค่าน้ำหนักเนื่องจากการไม่ได้ศูนย์ของชุดเพลลาและใบกวาด (m') ซึ่งชาญชัย และคณะ

(2533) ได้ประมาณค่านี้ว่ามีค่าไม่เกิน 1 กิโลกรัม สามารถคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของผลสละและใบกวาดที่กระทำต่อเพลลา (F_s') ได้จากสมการ (ค.18)

$$F_s' = m' \omega^2 r \quad (\text{ค.18})$$

เมื่อ F_s' คือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของผลเสาวรสและตะกร้าที่กระทำต่อเพลลา (N)

m' คือ น้ำหนักเนื่องจากการไม่ได้ศูนย์ของชุดเพลลาและใบกวาด มีค่าประมาณ 1 กิโลกรัม

r คือ รัศมีเฉลี่ยของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม (m)

แต่เนื่องจากใบกวาดมีการยึดติดกับเพลลาอยู่ 2 ตำแหน่ง ดังนั้นแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่อเพลลาจึงเกิดการกระจายแรงไปตามตำแหน่งที่ยึดเพลลา ดังนั้น จากสมการ (ค.18) สามารถคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของผลสละและใบกวาดที่กระทำต่อเพลลาที่มีจุดยึดหลายตำแหน่งได้ดังสมการ (ค.19)

$$F_s' = \frac{m' \omega^2 r}{\text{จำนวนจุดยึด}} \quad (\text{ค.19})$$

4.2 การคำนวณหาแรงที่สายพานกระทำกับเพลลา ซาญชัย และคณะ (2533) ได้กล่าวถึงการคำนวณหาโมเมนต์บิดเนื่องจากการส่งกำลังจากสายพานไว้ดังนี้

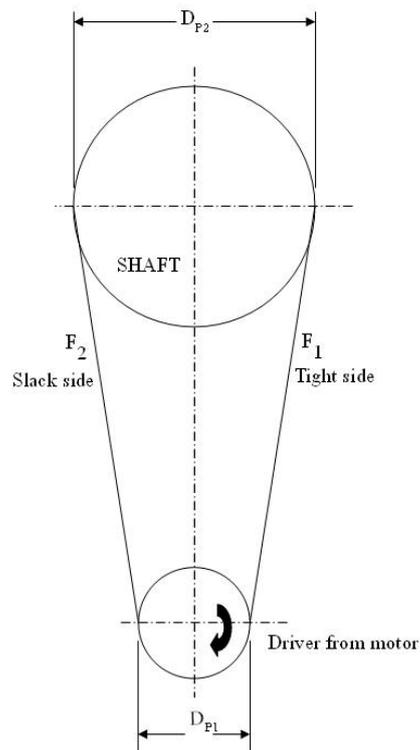
$$P = \frac{2\pi Tn}{60}$$

$$T = \frac{60P}{2\pi n} \quad (\text{ค.20})$$

เมื่อ P คือ กำลังงานของมอเตอร์ (W)

n คือ ความเร็วรอบ (rpm)

T คือ โมเมนต์บิดเนื่องจากการส่งกำลังจากสายพาน (N·m)



ภาพผนวกที่ ค3 แสดงแรงที่ใช้ในการขับล้อยางพานตัวใหญ่ที่ติดบนเพลลา

จากภาพผนวกที่ ค3 สามารถคำนวณหาแรงที่ต้องใช้ในการขับพูลเลย์ตัวใหญ่ที่ติดบนเพลลา (F) ได้จาก

$$F = \frac{T}{D_{P2}/2} \quad (\text{ค.21})$$

เมื่อ F คือ แรงที่ต้องใช้ในการขับพูลเลย์ตัวใหญ่ที่ติดบนเพลลา (N)

D_{P2} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิชของพูลเลย์ตัวใหญ่ (m)

วริทธิ์ และชาญ (2541) ได้กล่าวถึงการออกแบบเพลลาตามโค้ดของ ASME ว่าเป็นวิธีที่ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static design method) โดยเพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่

สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue factor) มาเกี่ยวข้องกับด้าย ซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของเพลาดันได้จากสมการ (ค.22)

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (\text{ค.22})$$

เมื่อ d คือ ขนาดของเพลาดัน (mm)

τ_d คือ ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน (kN/mm^2)

C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค8

C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด หาค่าได้จากตารางผนวกที่ ค8

M คือ โมเมนต์ค้ดสูงสุด ($\text{kN}\cdot\text{mm}$)

T คือ โมเมนต์บิด ($\text{kN}\cdot\text{mm}$)

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ ซึ่งหาได้จากตารางผนวกที่ ค8

ตารางผนวกที่ ค8 ค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลาม้วน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ที่มา: วรวิทย์ และชาญ (2541)

สามารถคำนวณหาค่าความเค้นเฉือนใช้งานได้จากสมการ (ค.23) เมื่อกำหนดวัสดุของเพลลา
ที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะ โดยเลือกใช้ค่าน้อยจากสมการ (ค.23) มา
คำนวณ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u \quad (\text{ค.23})$$

และถ้ามีเพลลาร่องลึ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่ (ค.23)

ภาคผนวก ง
การคำนวณการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสัตว์

การคำนวณการออกแบบเครื่องแยกเนื้อสละ

1. การประมาณค่านอกช่วงฟังก์ชันพหุนาม

จากผลการศึกษากลุ่มประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละพบว่า ประสิทธิภาพในการแยกเนื้อมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบที่ใช้มากที่สุด ดังนั้นจึงนำปัจจัยนี้มาใช้ในการทำนายเพื่อให้ได้เครื่องแยกเนื้อสละที่สามารถแยกเนื้อสละได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละครั้งที่ 1 ที่ความเร็วรอบ 600, 700 และ 800 รอบต่อนาที จากตารางผนวกที่ ก4 ได้ผลการคำนวณดังตารางผนวกที่ ง1

ตารางผนวกที่ ง1 แสดงประสิทธิภาพการแยกเนื้อเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่างๆ

n (rpm)	η_{CEN} (%)
600	23.592
700	51.781
800	82.047

จากตารางผนวกที่ ง1 สามารถประมาณค่าความเร็วรอบในการแยกเนื้อที่ให้ประสิทธิภาพในการแยกเนื้อ 100% ได้ด้วยการประมาณค่านอกช่วง โดยการใช้ผลต่างจากแบ่งย่อยของนิวตัน

เมื่อ $f(x_0 = 23.592) = 600$, $f(x_1 = 51.781) = 700$ และ $f(x_2 = 82.047) = 800$ จากนั้นจึงทำการคำนวณค่าฟังก์ชันของเบสเซลที่ $x = 100$ จากสมการ (ก.2) และ (ก.3) สามารถคำนวณหา C_0 , C_1 , C_2 ได้ดังนี้

$$C_0 = f[x_1, x_0] = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} = \frac{700 - 600}{51.781 - 23.592} = 3.547$$

$$C_1 = f[x_2, x_1] = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = \frac{800 - 700}{82.047 - 51.781} = 3.304$$

$$C_2 = f[x_2, x_1, x_0] = \frac{f[x_2, x_1] - f[x_1, x_0]}{x_2 - x_0} = \frac{3.304 - 3.547}{82.047 - 23.592} = -0.004157$$

จากสมการ (ค.1) สามารถคำนวณหา $f(x = 100)$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} f(x = 100) &= 600 + [3.547 \times (100 - 23.592)] - [0.004157 \times (100 - 23.592)(100 - 51.781)] \\ &= 855.703 \end{aligned}$$

ดังนั้น สรุปว่าหากต้องการให้เครื่องแยกเนื้อสละมีประสิทธิภาพในการแยกเนื้อ 100% จำเป็นต้องเพิ่มความเร็วรอบเป็น 855.703 รอบต่อนาที แต่เนื่องจากว่าการประมาณค่าออกช่วงนั้น อาจมีความผิดพลาดค่อนข้างมาก เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่นำมาประมาณมีน้อย และตำแหน่งค่าที่ทำการประมาณออกช่วงนั้นอยู่ห่างจากตำแหน่งของข้อมูลที่กำหนดมาให้ ดังนั้นเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดนี้ จึงเพิ่มความเร็วรอบที่ใช้ในการแยกเนื้ออีก 10% ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมในการแยกเนื้อจึงมีค่า

$$n = 855.703 \times 110\% = 941.273 \text{ rpm}$$

2. การคำนวณหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ

จากตารางที่ 3 และ 4 พบว่าผลสละมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อกลีบ 12.07 กรัม และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.5 มิลลิเมตรมีค่า 0.933 นำมาทดลองแยกเนื้อกับเครื่อง Pulper-Finisher ซึ่งมีรัศมีของตะแกรงใหญ่สุด 12.75 เซนติเมตร และมีมุม θ ที่แสดงในภาพที่ 19 มีค่า 88° ในการประมาณค่าออกช่วงพบว่าความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการแยกเนื้อมีค่า 941.273 รอบต่อนาที จากข้อมูลเหล่านี้ สามารถคำนวณหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละได้จากสมการ (20)

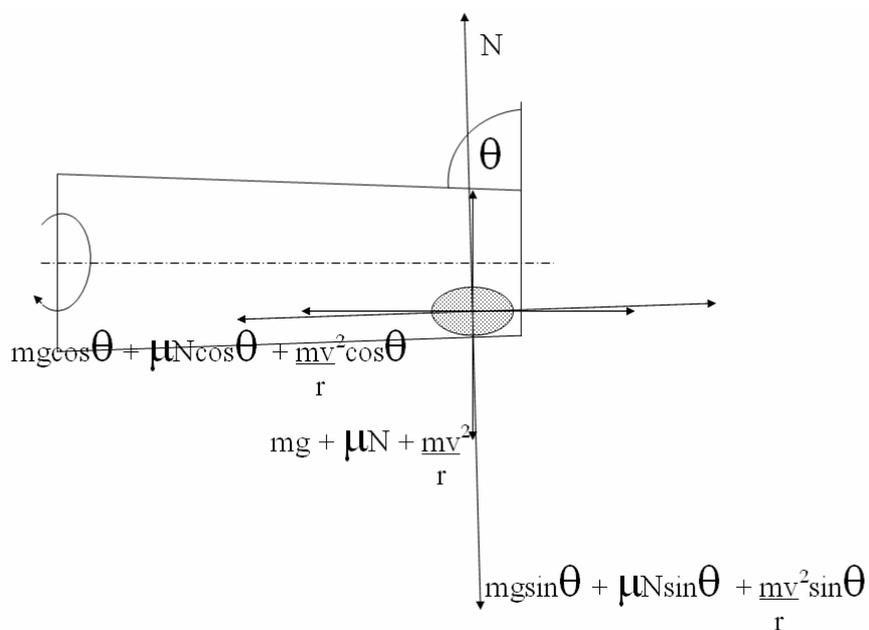
$$\begin{aligned} N &= \frac{mg \sin \theta + \frac{\pi^2 m n^2 r \sin \theta}{900}}{1 - \mu \sin \theta} \\ &= \frac{(12.07 \times 10^{-3} \times 9.81 \sin 88^\circ) + \left(\frac{\pi^2 \times 12.07 \times 10^{-3} \times (941.273)^2 \times 12.75 \times 10^{-2} \sin 88^\circ}{900} \right)}{1 - (0.933 \times \sin 88^\circ)} \\ &= 222.907 \text{ N} \end{aligned}$$

หมายเหตุ การเลือกใช้คาร์ซีของตะแกรงใหญ่สุดมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาแรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละ เนื่องจากค่านี้เป็นค่าที่ให้แรงที่ใช้ในการแยกเนื้อสละมากที่สุดของเครื่อง Pulper-finisher ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลสละ

3. การออกแบบตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมและใบกวาด

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในตารางที่ 3 พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดของเมล็ดมีขนาด 3.2 มิลลิเมตร ในการออกแบบตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการแยกเนื้อ จึงต้องออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงน้อยกว่า 3.2 มิลลิเมตร เนื่องจากหากใช้ตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูใหญ่กว่านี้ อาจทำให้เมล็ดปะปนไปกับเนื้อสละที่แยกได้

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตรมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 0.933, 0.970 และ 0.923 ตามลำดับ แม้จะมีขนาดรูใหญ่กว่ากันถึง 4 เท่า ในการออกแบบจึงเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียหายระหว่างผลสละกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 2.0 มิลลิเมตรซึ่งมีค่า 0.923 เพื่อใช้ในการออกแบบ เนื่องจากมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลทำให้ค่าแรงเสียหายที่คำนวณได้จากสมการ (17) มีค่าน้อยที่สุดด้วย ในการทดสอบเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ จะมีการเปลี่ยนมาใช้ตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.5 มิลลิเมตร และตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายและเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงไปแล้วว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติดังตารางที่ 4



ภาพผนวกที่ ง1 แรงต่างๆที่กระทำกับผลสละ

จากภาพผนวกที่ ง1 พิจารณาตามสมดุลแรงได้

$$N = mg \sin \theta + \mu N \sin \theta + \frac{mv^2 \sin \theta}{r} \quad (ง.1)$$

$$F = ma = mg \cos \theta + \mu N \cos \theta + \frac{mv^2 \cos \theta}{r} \quad (ง.2)$$

แทนสมการ (ง.1) ในสมการ (ง.2) ได้

$$N = mg \sin \theta + \mu N \sin \theta + \frac{\pi^2 mn^2 r \sin \theta}{900} \quad (ง.3)$$

$$ma = mg \cos \theta + \mu N \cos \theta + \frac{\pi^2 mn^2 r \cos \theta}{900} \quad (ง.4)$$

นำ m หารสมการ (ง.4) ทั้งสองข้างได้

$$a = g \cos \theta + \frac{\mu N \cos \theta}{m} + \frac{\pi^2 n^2 r \cos \theta}{900} \quad (ง.5)$$

จากสมการ (ง.5) ออกแบบให้ตะแกรงสแตนเลสมีรัศมีเล็กสุด (r) มีค่า 0.15 m แทนค่าต่างๆ ได้

$$\begin{aligned} a &= 9.81 \cos \theta + \left(\frac{0.923 \times 222.907 \cos \theta}{12.07 \times 10^{-3}} \right) + \left(\frac{0.15 \times \pi^2 n^2 \cos \theta}{900} \right) \\ &= 17055.639 \cos \theta + (1.645 \times 10^{-3} n^2 \cos \theta) \end{aligned} \quad (ง.6)$$

จากสมการ (ง.3) แทนค่าต่างๆ ได้

$$\begin{aligned} 222.907 &= (12.07 \times 10^{-3} \times 9.81 \sin \theta) + (0.923 \times 222.907 \sin \theta) \\ &\quad + \left(\frac{\pi^2 \times 12.07 \times 10^{-3} \times 0.15 n^2 \sin \theta}{900} \right) \\ 222.907 &= 205.862 \sin \theta + (1.985 \times 10^{-5} n^2 \sin \theta) \\ n^2 &= \frac{222.907 - 205.862 \sin \theta}{1.985 \times 10^{-5} \sin \theta} \\ &= 11229571.79 \operatorname{cosec} \theta - 10370881.61 \end{aligned} \quad (ง.7)$$

แทนสมการ (ง.7) ใน (ง.6) ได้

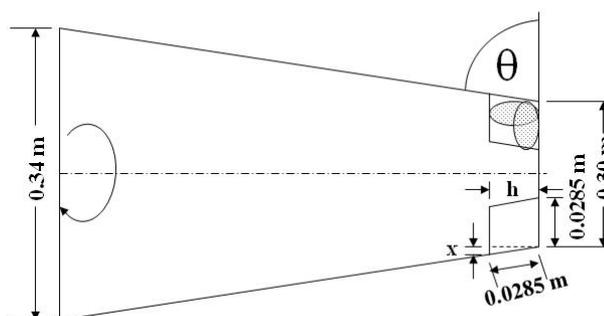
$$\begin{aligned} a &= 17055.639 \cos \theta + (1.645 \times 10^{-3} \cos \theta \times (11229571.79 \operatorname{cosec} \theta - 10370881.61)) \\ &= 17055.639 \cos \theta + 18472.646 \cot \theta - 17060.100 \cos \theta \\ &= 18483.833 \cot \theta - 4.461 \cos \theta \end{aligned} \quad (ง.8)$$

จากตารางที่ 4 พบว่าปริมาตรของกลีบผลสละเฉลี่ยมีค่า 12,718.60 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ต้องการให้สามารถทำการผลิตได้ 660 กิโลกรัมต่อวัน ด้วยเครื่องแยกเนื้อสละซึ่งมีใบกวาด 3 ใบ ผลิตวันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้น

$$\text{กำลังการผลิตต่อ 1 ไบกวาด} = \frac{660}{8 \times 60 \times 3} = 0.458 \text{ kg/min}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการผลิตต่อ 1 ไบกวาด} &= \frac{(0.458 \text{ kg/min})(12718.60 \times 10^{-9} \text{ m}^3 / \text{ผล})}{12.07 \times 10^{-3} \text{ kg/ผล}} \\ &= 4.826 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{min} \end{aligned}$$

จากตารางที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิตเฉลี่ยของผลสละมีค่า 28.5 มิลลิเมตร สมมุติว่าผลสละที่ปอกเปลือกแล้วตกลงสู่ก้นตะแกรงดังภาพผนวกที่ ๑ ซึ่งเป็นบริเวณที่เครื่องทำงานมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด เนื่องจากมีขนาดรัศมีต่ำสุด โดยออกแบบให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาด 30 เซนติเมตร และใหญ่สุดมีขนาด 34 เซนติเมตร

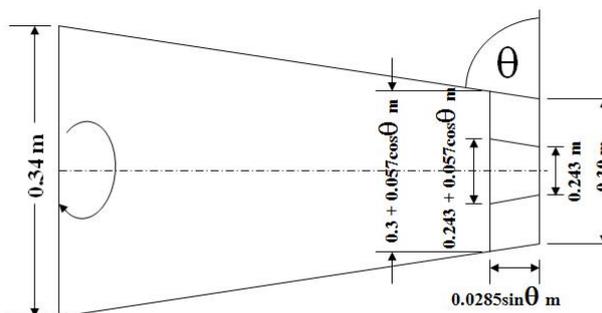


ภาพผนวกที่ ๑๒ แสดงตำแหน่งของผลสละเมื่ออยู่ในบริเวณที่เครื่องทำงานมีประสิทธิภาพต่ำสุด

จากภาพผนวกที่ ๑๒

$$x = 0.0285 \cos \theta$$

$$h = 0.0285 \sin \theta$$



ภาพผนวกที่ ง3 แสดงการหาปริมาตรของเครื่องในบริเวณที่เครื่องทำงานมีประสิทธิภาพต่ำสุด

จากภาพผนวกที่ ง3 สามารถคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดของปริมาตรรูปกรวยตัดในบริเวณพื้นที่แรงงาทั้งหมด (D_{V1}) และเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดของปริมาตรรูปกรวยตัดในบริเวณเฉพาะพื้นที่แรงงาทึบ (D_{V2}) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} D_{V1} &= 0.30 + 2x \\ &= 0.30 + (2 \times 0.0285 \cos \theta) \\ &= 0.30 + 0.057 \cos \theta \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{V2} &= 0.30 - (2 \times 0.0285) + 2x \\ &= 0.30 - (2 \times 0.0285) + (2 \times 0.0285 \cos \theta) \\ &= 0.243 + 0.057 \cos \theta \text{ m} \end{aligned}$$

สามารถคำนวณหาปริมาตรรูปกรวยตัดของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมบริเวณที่มีพื้นที่แรงงาทั้งหมด (V_1) กับปริมาตรรูปกรวยตัดบริเวณเฉพาะที่มีพื้นที่แรงงาทึบ (V_2) ได้จากสมการ (ง.9)

$$V = \frac{\pi h}{12} (D^2 + d^2 + Dd) \quad (\text{ง.9})$$

เมื่อ V คือปริมาตรของรูปกรวยตัดของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม (m^3)

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดของปริมาตรรูปกรวยตัด (m)

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดของปริมาตรรูปกรวยตัด (m)

h คือ ความสูงของปริมาตรรูปกรวยตัด (m)

$$V_1 = \frac{\pi \times 0.0285 \sin \theta}{12} \times [(0.3 + 0.057 \cos \theta)^2 + (0.3)^2 + \{(0.3 + 0.057 \cos \theta) \times 0.3\}]$$

$$= 2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times [0.09 + 0.0342 \cos \theta + (3.249 \times 10^{-3} \cos^2 \theta) + 0.09 + 0.09$$

$$+ 0.0171 \cos \theta]$$

$$= 2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times [0.27 + 0.0513 \cos \theta + (3.249 \times 10^{-3} \cos^2 \theta)]$$

$$V_2 = \frac{\pi \times 0.0285 \sin \theta}{12} \times [(0.243 + 0.057 \cos \theta)^2 + (0.3)^2 + \{(0.243 + 0.057 \cos \theta) \times 0.3\}]$$

$$= 2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times [0.0590 + 0.0277 \cos \theta + (3.249 \times 10^{-3} \cos^2 \theta) + 0.09 + 0.0729$$

$$+ 0.0171 \cos \theta]$$

$$= 2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times [0.222 + 0.0448 \cos \theta + (3.249 \times 10^{-3} \cos^2 \theta)]$$

สามารถคำนวณหาปริมาตรรูปกรวยบริเวณที่เครื่องทำงานมีประสิทธิภาพต่ำสุด (V_{\min}) ซึ่งคือผลต่างของปริมาตรบริเวณที่มีพื้นที่แรงงาทั้งหมด (V_1) กับปริมาตรบริเวณเฉพาะที่มีพื้นที่แรงงาทึบ (V_2) ได้ดังนี้

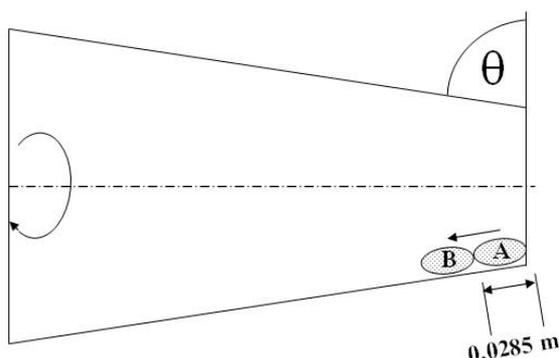
$$V_{\min} = V_1 - V_2$$

$$= [2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times [0.27 + 0.0513 \cos \theta + (3.249 \times 10^{-3} \cos^2 \theta)]] -$$

$$[2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times [0.222 + 0.0448 \cos \theta + (3.249 \times 10^{-3} \cos^2 \theta)]]$$

$$= 2.375 \times 10^{-3} \pi \sin \theta \times (0.048 + 0.0065 \cos \theta)$$

$$= (3.581 \times 10^{-4} \sin \theta) + (4.850 \times 10^{-5} \sin \theta \cos \theta) \text{ m}^3$$



ภาพผนวกที่ ๔ แสดงตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของผลสละขณะแยกเนื้อ

จากภาพผนวกที่ ๔ เวลาที่ผลสละใช้ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B จะเท่ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสละผลแรกออกไปจนกระทั่งสละผลถัดไปเคลื่อนที่มาแทนที่กันพอดี ตามระยะทางบนพื้นเอียงของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถหาเวลาที่ผลสละเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B ได้จากสมการ (ง.10)

$$t = \frac{V \text{ min}}{60Q} \quad (\text{ง.10})$$

เมื่อ t คือ เวลาที่ผลสละใช้ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B (s)

Q คือ อัตราการผลิตที่ต้องการ (m^3/min)

แทนค่า V_{min} และ Q ที่คำนวณได้ลงในสมการ (ง.10) ได้

$$\begin{aligned} t &= \frac{(3.581 \times 10^{-4} \sin \theta) + (4.850 \times 10^{-5} \sin \theta \cos \theta)}{60 \times 4.826 \times 10^{-4}} \\ &= (0.0124 \sin \theta) + (1.675 \times 10^{-3} \sin \theta \cos \theta) \text{ s} \end{aligned}$$

จากภาพผนวกที่ ๔ ระยะทางที่ผลสละเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B (S) มีค่า 0.0285 เมตร สามารถหาความเร่งของเปลือกที่เคลื่อนที่ตามพื้นเอียงของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม (a) จากสมการ (ง.11)

$$S = ut + \frac{1}{2}at^2 \quad (ง.11)$$

เริ่มคิดที่จุดต่ำสุด ความเร็วต้นในแนวพื้นเอียงของตะแกรง (u) มีค่าเป็นศูนย์ แทนค่าลงในสมการ (ง.11) ได้

$$\begin{aligned} 0.0285 &= (0 \times t) + \left[\frac{1}{2} \times a \times \left\{ (0.0124 \sin \theta) + (1.675 \times 10^{-3} \sin \theta \cos \theta) \right\}^2 \right] \\ a &= \frac{2 \times 0.0285}{\left\{ (0.0124 \sin \theta) + (1.675 \times 10^{-3} \sin \theta \cos \theta) \right\}^2} \\ &= \frac{2 \times 0.0285}{\sin^2 \theta \left\{ 0.0124 + (1.675 \times 10^{-3} \cos \theta) \right\}^2} \\ &= \frac{0.057 \operatorname{cosec}^2 \theta}{\left(1.538 \times 10^{-4} \right) + \left(4.154 \times 10^{-5} \cos \theta \right) + \left(2.806 \times 10^{-6} \cos^2 \theta \right)} \quad (ง.12) \end{aligned}$$

แทนสมการ (ง.8) ใน (ง.12) ได้

$$\begin{aligned} \frac{0.057 \operatorname{cosec}^2 \theta}{\left(1.538 \times 10^{-4} \right) + \left(4.154 \times 10^{-5} \cos \theta \right) + \left(2.806 \times 10^{-6} \cos^2 \theta \right)} &= 18483.833 \cot \theta \\ &\quad - 4.461 \cos \theta \\ \frac{0.057 \operatorname{cosec}^2 \theta}{\left(1.538 \times 10^{-4} \right) + \left(4.154 \times 10^{-5} \cos \theta \right) + \left(2.806 \times 10^{-6} \cos^2 \theta \right)} &- 18483.833 \cot \theta \\ &\quad + 4.461 \cos \theta = 0 \\ \theta &= 88.857^\circ \end{aligned}$$

สามารถหาความเร่งของผลสละที่เคลื่อนที่ไปตามพื้นเอียงของตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมได้ โดยแทนค่า θ ในสมการ (ง.8) ได้

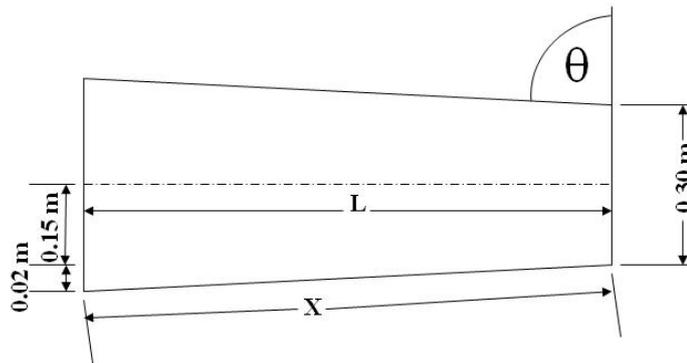
$$\begin{aligned} a &= 18483.833 \cot 88.857^\circ - 4.461 \cos 88.857^\circ \\ &= 368.696 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

สามารถหาความเร็วรอบของใบกวาดโดยแทนค่า θ ในสมการ (ง.7) ได้

$$\begin{aligned}
 n^2 &= 11229571.79 \operatorname{cosec} 88.857^\circ - 10370881.61 \\
 n &= \sqrt{860925.051} \\
 &= 927.860 \\
 &\approx 930 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

สามารถหาความเร็วต่ำสุดที่ต้องการของรัศมีนอกสุดที่ใช้หมุนแยกเนื้อของเครื่องแยกเนื้อ
สละจากสมการ (12) ได้

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{\pi \times 930 \times 0.15}{30} \\
 &= 14.608 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$



ภาพผนวกที่ ๖ แสดงการคำนวณหาความยาวและระยะทางพื้นเอียงของตะแกรง

จากภาพผนวกที่ ๖ สามารถหาความยาว (L) และระยะทางพื้นเอียงของตะแกรง (X) ได้
ดังนี้

$$\begin{aligned}
 L &= 0.02 \tan 88.857^\circ \\
 &= 1.002 \\
 &\approx 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$X = \sqrt{1^2 + (0.02)^2}$$

$$= 1.000 \text{ m}$$

สามารถหาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของผลสละจากทางเข้าถึงทางออก (t) ซึ่งมีระยะทาง 1 เมตร เมื่อความเร็วเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ได้จากสมการ (ง.11)

$$S = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1}{368.697}}$$

$$= 0.0737 \text{ s}$$

ความเร็วของผลสละ (v_f) ที่จะทำให้ผลสละเคลื่อนที่ไปตามพื้นเอียงของตะแกรงจากทางเข้าถึงทางออก เมื่อความเร็วเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ สามารถคำนวณได้จากสมการ (ง.13)

$$v_f = u + at \quad (\text{ง.13})$$

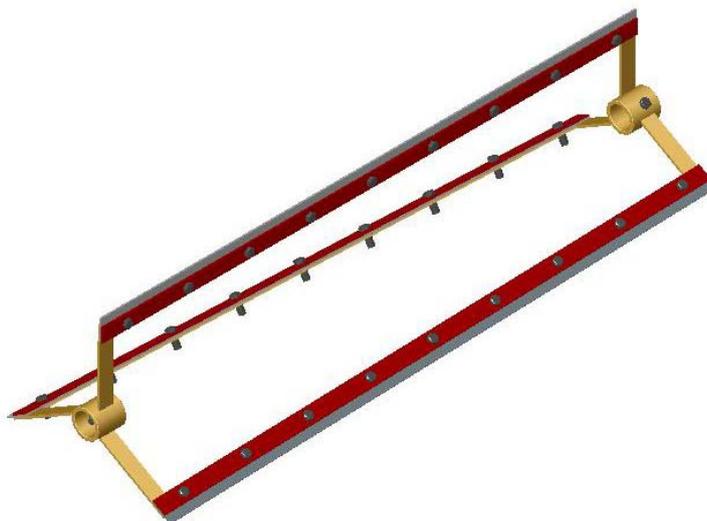
$$= 0 + (368.697 \times 0.0737)$$

$$= 27.173 \text{ m/s}$$

4. การหาขนาดมอเตอร์

4.1 การหาน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนเพลาน้ำหนักที่กดลงบนเพลาทันหมด ได้แก่ ชุดใบกวาด และผลสละที่ทำการแยกเนื้อ

4.1.1 การหาน้ำหนักชุดใบกวาด ซึ่งชุดใบกวาดมีส่วนประกอบคือ โครงของใบกวาด ซึ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (สีเหลือง), ใบกวาดซึ่งทำจากยาง Neoprene (สีเทา), แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อยึดเข้ากับโครง (สีแดง) และน็อต ดังภาพผนวกที่ 6



ภาพผนวกที่ ๖ ชุดใบกวาด

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยการป้อนค่าความหนาแน่นของ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 จากตารางผนวกที่ จ1 เท่ากับ 0.008 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร (8,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และจากตารางผนวกที่ จ2 ความหนาแน่นของยาง Neoprene เท่ากับ 0.0015 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร (1.35 – 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ทราบว่า

1. โครงมีปริมาตร 371,025.05 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 2,968.20 กรัม
2. ใบกวาดมีปริมาตร 112,179.89 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 168.27 กรัม
3. แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ยึดใบกวาดกับโครงมีปริมาตร 74,079.89 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และมีน้ำหนัก 592.64 กรัม

4. จากการชั่งน้ำหนักน็อตทราบว่า น็อต 1 ตัว มีน้ำหนักเฉลี่ย 14.2 กรัม ซึ่งชุดใบกวาด ประกอบด้วยน็อตจำนวน 9 ตัวเพื่อยึดใบกวาดแต่ละใบติดกับโครง และน็อต อีก 2 ตัว เพื่อยึดชุดใบกวาดติดกับเพลลา รวมเป็นจำนวนน็อตทั้งหมด 29 ตัว

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น น้ำหนักรวมของชุดใบกวาด} &= 2968.20 + (3 \times 168.27) + (3 \times 592.64) + (29 \times 14.2) \\
 &= 5662.73 \text{ g} \\
 &= 5.663 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.1.2 การหาน้ำหนักผลสละที่ทำการแยกเนื้อด้วยเครื่องแยกเนื้อสละซึ่งมีใบกวาด 3 ใบ จากการคำนวณเบื้องต้น ทราบว่าอัตราการผลิตต่อ 1 ใบกวาดมีค่า 4.826×10^{-4} ลูกบาศก์เมตรต่อ นาที และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของผลสละจากทางเข้าถึงทางออกมีค่า 0.0737 วินาที และจาก ตารางที่ 4 ทราบว่าความหนาแน่นของผลสละที่ปอกเปลือกแล้วมีค่า 960.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร สามารถคำนวณหาน้ำหนักของผลสละทั้งหมดขณะทำการแยกเนื้อได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของผลสละทั้งหมด} &= \frac{4.826 \times 10^{-4} (\text{m}^3 / \text{min} \cdot \text{ใบกวาด})}{60 (\text{s} / \text{min})} \times 3 (\text{ใบกวาด}) \times 0.0737 (\text{s}) \\ &\quad \times 960.02 (\text{kg} / \text{m}^3) \\ &= 1.707 \times 10^{-3} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนเพลลา} &= \text{น้ำหนักรวมของชุดใบกวาด} + \text{น้ำหนักของผลสละ} \\ &\quad \text{ทั้งหมด} \\ &= 5.663 + (1.707 \times 10^{-3}) \\ &= 5.665 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

4.2 การหาค่าโมเมนต์บิด จากการออกแบบตะแกรงเหล็กกड़ाไร้สนิม พบว่าความเร็วรอบของใบกวาดมีค่า 928.160 รอบต่อนาที สามารถคำนวณหาความเร็วที่รัศมีโตสุดของใบกวาด (0.17 เมตร) ได้จากสมการ (12)

$$\begin{aligned} v &= \frac{\pi \times 928.160 \times 0.17}{30} \\ &= 16.523 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ออกแบบให้เพลลาสามารถรับน้ำหนักทั้งหมดที่ตกลงบนเพลลาได้มีค่าไม่เกิน 6 กิโลกรัม ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จากสมการ (ก.5)

$$\begin{aligned} M &= \frac{9.56 \times 6 \times 16.523}{950} \\ &= 0.998 \text{ kg}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

4.3 การหาขนาดมอเตอร์ สามารถคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ในการขับมอเตอร์ได้จากสมการ (ก.4)

$$\begin{aligned} P &= \frac{0.998 \times 928.160}{975} \\ &= 0.950 \text{ kW} \times \frac{1 \text{ Hp}}{0.746 \text{ kW}} \\ &= 1.273 \text{ Hp} \end{aligned}$$

กำหนดใช้ค่าตัวคูณเพื่อความปลอดภัยมีค่า 1.3

∴ ต้องใช้มอเตอร์ที่มีต้นกำลัง = $1.273 \times 1.3 = 1.655 \text{ Hp}$

ดังนั้น เลือกใช้มอเตอร์ซึ่งมีแรงบิดปกติ (Normal torque AC Motor) ขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz. 1,450 รอบต่อนาที

5. การออกแบบสายพาน

จากการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ ทำให้ทราบค่ากำลังที่ต้องการส่งซึ่งมีค่า 2 แรงม้า จากตารางผนวกที่ ค1 กรณีใช้งานปานกลาง (Normal service) ซึ่งพบว่าการทำงานของใบกวาดในเครื่องแยกเนื้อสละมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมแป้ง (Dough mixers) จึงเลือกใช้ตัวประกอบใช้งานมีค่า 1.2 ดังนั้น สามารถคำนวณหาขนาดแรงม้าที่ใช้ออกแบบ (Design Horsepower) ได้จากสมการ (ก.6)

$$\text{ขนาดแรงม้าที่ใช้ออกแบบ} = 2 \times 1.2 = 2.4 \text{ Hp}$$

จากภาพผนวกที่ ค1 เมื่อขนาดแรงม้าที่ใช้ออกแบบมีค่า 2.4 แรงม้า และความเร็วรอบของเพลลาที่ต้องการมีค่าประมาณ 930 รอบต่อนาที สามารถเลือกใช้สายพานหน้าตัดตั้งแต่ขนาด A ขึ้นไป เลือกใช้สายพานหน้าตัด B ซึ่งมีขนาดหน้าตัดใหญ่กว่าเพื่อลดจำนวนเส้นของสายพานที่ใช้งาน และจากตารางผนวกที่ ค2 ออกแบบเลือกใช้ล้อสายพานตัวเล็กที่ติดบนแกนของมอเตอร์ (D_{p1})

และตัวใหญ่ที่ติดบนเพลลา (D_{P2}) ขนาด 4 และ 8 นิ้ว ตามลำดับ สามารถคำนวณหาความเร็วรอบของล้อสายพานตัวเล็กที่ติดบนแกนมอเตอร์ได้จากสมการ (ค.7)

$$\frac{n_1}{930} = \frac{8}{4}$$

$$n_1 = 1860 \text{ rpm}$$

จากการคำนวณหาความเร็วรอบของล้อสายพานตัวเล็กที่ติดบนแกนมอเตอร์ ทำให้ทราบว่าต้องเลือกใช้มอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,860 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถทำได้โดยต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับมอเตอร์เพื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 1,450 รอบต่อนาทีเป็น 1,860 รอบต่อนาทีตามที่ต้องการ และสามารถคำนวณหาอัตราทดได้จากสมการ (ค.7)

$$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1860}{930} = 2.000$$

จากตารางผนวกที่ ค3 เมื่ออัตราทรมีค่า 2.000 ได้ค่าตัวประกอบแก้ไขเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมีค่า 1.13 สามารถคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าได้จากสมการ (ค.9)

$$D_c = 4.0 \times 1.13$$

$$= 4.520 \text{ in}$$

สามารถคำนวณหาความเร็วสายพานได้จากสมการ (ค.10)

$$v_B = \frac{\pi \times 4.0 \times 1860}{12}$$

$$= 1,947.787 \text{ ft/min}$$

จากภาพผนวกที่ ค2 ได้ค่ากำลังที่สายพานลุ่มหนึ่งเส้นส่งได้มีค่า $\approx 2.2 \text{ Hp}$

จากสมการ (ค.12) และ (ค.13) สามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพานสูงสุดและต่ำสุดที่ยอมรับได้ ดังนี้

$$C_{\max} = 2 \times (3.2 + 4.8) = 16.0 \text{ in}$$

$$C_{\min} = 0.7 \times (3.2 + 4.8) = 5.6 \text{ in}$$

ทดลองเลือกใช้ค่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อยายพานมีค่า 27.559 นิ้ว (70 เซนติเมตร) ซึ่งมีค่าเกินกว่าค่า C_{\max} เพื่อให้เครื่องมีพื้นที่เพียงพอต่อการใช้งาน ในขั้นตอนเก็บน้ำสละที่แยกเนื้อเสร็จแล้ว ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังลดลง สามารถคำนวณหาความยาวพิตช์โดยประมาณจากสมการ (ค.11)

$$L_p \cong (2 \times 27.559) + \{1.57 \times (8.0 + 4.0)\} + \frac{(8.0 - 4.0)^2}{4 \times 27.559}$$

$$\cong 74.103 \text{ in}$$

จกตารางผนวกที่ ค4 เลือกใช้สายพานเบอร์ B73 ซึ่งมีค่าความยาวพิตช์เท่ากับ 74.8 นิ้ว และตัวประกอบแก้ไขความยาวมีค่า 0.96 เมื่อทราบค่าความยาวพิตช์แล้ว สามารถหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางได้จากสมการ (ค.14)

$$p = (0.25 \times 74.8) - \{0.393 \times (8.0 + 4.0)\}$$

$$= 13.984$$

$$q = 0.125 \times (8.0 - 4.0)^2$$

$$= 2.000$$

$$C_p \cong 13.984 + \sqrt{(13.984)^2 - 2.000}$$

$$\cong 27.896 \text{ in}$$

สามารถคำนวณหา $\frac{D_{P2} - D_{P1}}{C_p}$ เพื่อนำมาหาค่าตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัสได้

ดังนี้

$$\frac{D_{P2} - D_{P1}}{C_p} = \frac{8.0 - 4.0}{27.896} = 0.143$$

จากตารางผนวกที่ ค5 หาค่าตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัสโดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{K_C - 1}{0.98 - 1} = \frac{0.143 - 0}{0.15 - 0}$$

$$K_C = 0.981$$

สามารถคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ้มได้จากสมการ (ค.8)

$$z = \frac{2 \times 1.2}{2.2 \times 0.981 \times 0.96} = 1.158 \text{ เส้น}$$

ดังนั้น เลือกใช้สายพานเบอร์ B73 จำนวน 2 เส้น

สามารถคำนวณหามุมสัมผัสของสายพานกับล้อสายพานที่ติดบนมอเตอร์ได้จากสมการ (ค.16)

$$\alpha_B = 180 - 2 \sin^{-1} \left(\frac{8.0 - 4.0}{2 \times 27.896} \right)$$

$$= 171.777^\circ$$

สามารถคำนวณหาแรงดึงในสายพานขณะส่งกำลังได้จากสมการ (ค.17)

$$F_B = \frac{2(\text{Hp}) \times 746 (\text{W / Hp})}{1947.787 (\text{ft / min}) \times 3.048 \times 10^{-1} (\text{m / ft}) \times \frac{1}{60} (\text{min / s})}$$

$$= 150.787 \text{ N}$$

จากตารางผนวกที่ ค6 เลือกใช้ตัวประกอบใช้งานมีค่า 1.3 ที่สภาวะการทำงานคงที่ และจาก ตารางผนวกที่ ค7 เลือกใช้ค่าตัวประกอบมีค่า 0.385 สำหรับสายพานลิ่มหน้าตัด B และความเร็ว สายพานมีค่า 10.108 เมตรต่อวินาที (1,989.675 ฟุตต่อนาที) สามารถคำนวณหาแรงดึงขั้นต้นใน สายพานได้จากสมการ (ค.15)

$$F_i = \left[(1.3 \times 150.787) + \left\{ 2 \times 0.385 \times (10.108)^2 \right\} \right] \times \sin\left(\frac{171.777}{2}\right)$$

$$= 273.988 \text{ N}$$

6. การออกแบบเพลลา

6.1 การคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของผลสละและใบกวาดที่กระทำกับเพลลา จากการออกแบบใบกวาด ทราบว่าใบกวาดหมุนด้วยความเร็วรอบ 930 รอบต่อนาทีที่สามารถคำนวณหา ค่าความเร็วเชิงมุมได้จากสมการ (11)

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times 930}{60}$$

$$= 97.389 \text{ rad/s}$$

ในการออกแบบใบกวาดได้ยึดติดใบกวาดเข้ากับเพลลาที่รัศมีของตะแกรงช่วงที่เล็กและใหญ่สุดซึ่งมีค่า 0.15 และ 0.17 เมตรตามลำดับ สามารถคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของผล สละและใบกวาดที่กระทำต่อเพลลาที่จุดยึดซึ่งมีรัศมี 0.15 เมตร (F_{S1}') และ 0.17 เมตร (F_{S2}') ได้จาก สมการ (ค.19) ดังนี้

$$F_{S1}' = \frac{1(\text{kg}) \times (97.389)^2 (\text{rad}^2 / \text{s}^2) \times 0.15(\text{m})}{2}$$

$$= 711.346 \text{ N}$$

$$F_{S2}' = \frac{1(\text{kg}) \times (97.389)^2 (\text{rad}^2 / \text{s}^2) \times 0.17(\text{m})}{2}$$

$$= 806.192 \text{ N}$$

6.2 การคำนวณหาแรงที่สายพานกระทำกับเพลลาในการทำงานต้องการความเร็วรอบของเพลลาเท่ากับ 930 รอบต่อนาที และเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า สามารถคำนวณหาโมเมนต์บิดเนื่องจากการส่งกำลังจากสายพานได้จากสมการ (ค.20)

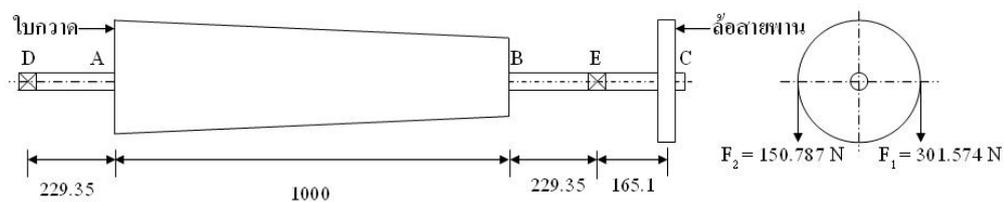
$$\begin{aligned} T &= \frac{60 \times 2 \times 746}{2 \times \pi \times 930} \\ &= 15.320 \text{ N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

สามารถคำนวณหาแรงที่ต้องใช้ในการขับพูลเลย์ตัวใหญ่ที่ติดบนเพลลาได้จากสมการ (ค.21)

$$\begin{aligned} F &= \frac{15.320}{(8 \times 0.0254) / 2} \\ &= 150.787 \text{ N} \end{aligned}$$

จากภาพผนวกที่ ค3 สามารถประมาณค่าได้ $F_1 = 2F$ และ $F_2 = F$ ดังนี้

$$\begin{aligned} F_1 &= 2 \times 150.787 \\ &= 301.574 \text{ N} \\ F_2 &= 150.787 \text{ N} \end{aligned}$$



ภาพผนวกที่ 7 ใบกวดและล้อสายพานบนเพลลา

จากการหาขนาดมอเตอร์ ทราบว่าน้ำหนักรวมทั้งหมดของชุดใบกวดและผลสละมีค่า 5.665 กิโลกรัม และล้อสายพานขนาด 8 นิ้วมีน้ำหนัก 2.94 กิโลกรัม

$$\text{น้ำหนักของล้อยาสพาน} = 2.94 \times 9.81 = 28.841 \text{ N}$$

$$\text{ดังนั้น แรงที่จุด C ในแนวดิ่ง คือ } 150.787 + 301.574 + 28.841 = 481.202 \text{ N}$$

$$\text{น้ำหนักของชุดใบกวาดและผลสละ} = 5.665 \times 9.81 = 55.574 \text{ N}$$

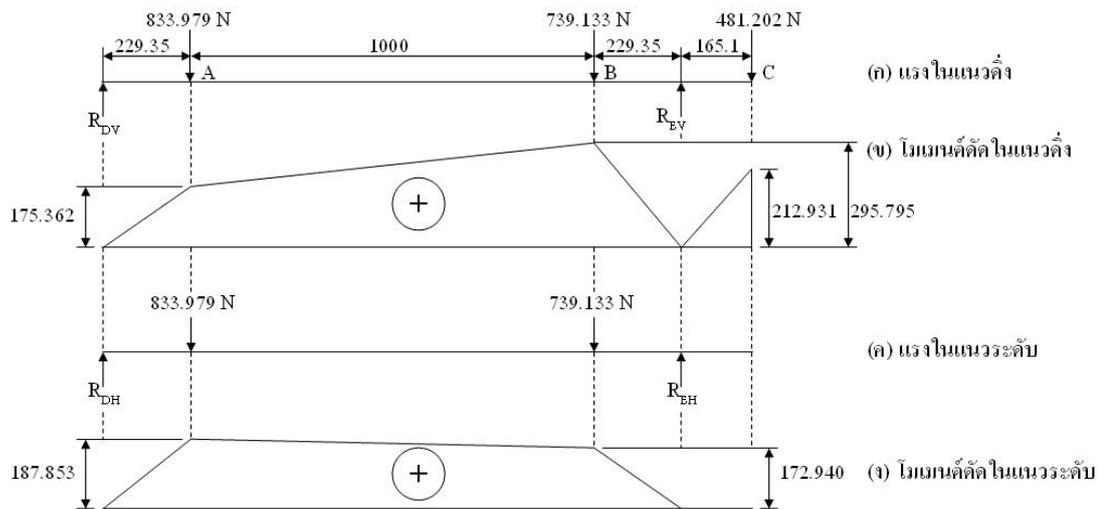
เนื่องจากชุดใบกวาดถูกยึดกับเพลลาที่จุด A และ B ดังนั้น สามารถประมาณน้ำหนักของชุดใบกวาด

$$\text{และผลสละที่กระทำที่จุด A และ B} = \frac{55.574}{2} = 27.787 \text{ N}$$

$$\text{ดังนั้น แรงที่จุด A ในแนวดิ่ง คือ } F_{S2}' + 27.787 = 806.192 + 27.787 = 833.979 \text{ N}$$

$$\text{และ แรงที่จุด B ในแนวดิ่ง คือ } F_{S1}' + 27.787 = 711.346 + 27.787 = 739.133 \text{ N}$$

เนื่องจากแรงทั้งหมดไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์แรงและโมเมนต์ที่ระนาบดังแสดงในภาพผนวกที่ ๖8 ดังนี้



ภาพผนวกที่ ๖8 แรงและโมเมนต์ตัดในแนวดิ่งและแนวระดับ

จากภาพผนวกที่ ๖8 รวม โมเมนต์ที่ปลาย D

$$\begin{aligned}
 0 &= (229.35 \times 833.979) + [(229.35 + 1000) \times 739.133] - [(229.35 + 1000 + 229.35)R_{EV}] \\
 &\quad + [(229.35 + 1000 + 229.35 + 165.1) \times 481.202] \\
 R_{EV} &= \frac{1881302.045}{1458.7} \\
 &= 1289.711 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{DV} &= 833.979 + 739.133 + 481.202 - 1289.711 \\
 &= 764.603 \text{ N}
 \end{aligned}$$

จะนั่นโมเมนต์ดัดในแนวตั้งที่จุด A B และ C คือ

$$\begin{aligned}
 M_{AV} &= 229.35R_{DV} \\
 &= 229.35 \times 764.603 \\
 &= 175,361.698 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \\
 &= 175.362 \text{ kN}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{BV} &= 229.35R_{EV} \\
 &= 229.35 \times 1289.711 \\
 &= 295,795.218 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \\
 &= 295.795 \text{ kN}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{CV} &= 165.1R_{EV} \\
 &= 165.1 \times 1289.711 \\
 &= 212,931.286 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \\
 &= 212.931 \text{ kN}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

ซึ่งเขียนเป็นรูปได้ดังภาพผนวกที่ 8

แรงที่จุด A และ B ในแนวระดับ คือ F_{S2}' และ F_{S1}' ซึ่งมีค่า 833.979 และ 739.133 นิวตัน ตามลำดับ เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีทิศทางตามแนวรัศมีของเพลลา ซึ่งกระทำต่อ

เพลาทั้งแนวราบและตั้ง จากการรวมโมเมนต์ที่ปลาย D ดังภาพผนวกที่ 8 สามารถคำนวณหาแรงปฏิกิริยา ณ ที่รองรับในแนวระดับได้ดังนี้

$$0 = (229.35 \times 833.979) + [(229.35 + 1000) \times 739.133] - [(229.35 + 1000 + 229.35)R_{EV}]$$

$$R_{EH} = \frac{1099926.237}{1458.7}$$

$$= 754.046 \text{ N}$$

$$R_{DH} = 833.979 + 739.133 - 754.046$$

$$= 819.066 \text{ N}$$

ฉะนั้น โมเมนต์ในแนวระดับที่จุด A และ B คือ

$$M_{AH} = 229.35R_{DH}$$

$$= 229.35 \times 819.066$$

$$= 187,852.787 \text{ (N}\cdot\text{mm)}$$

$$= 187.853 \text{ kN}\cdot\text{mm}$$

$$M_{BH} = 229.35R_{EH}$$

$$= 229.35 \times 754.046$$

$$= 172,940.450 \text{ (N}\cdot\text{mm)}$$

$$= 172.940 \text{ kN}\cdot\text{mm}$$

จากการพิจารณาภาพผนวกที่ 8 จะเห็นว่าโมเมนต์ตัดสูงสุดอาจเกิดขึ้นที่ A หรือ B จึงต้องรวมโมเมนต์ด้วยวิธีเวกเตอร์ทั้งสองตำแหน่งดังนี้

$$M_A = \sqrt{M_{AV}^2 + M_{AH}^2}$$

$$= \sqrt{(175.362)^2 + (187.853)^2}$$

$$= 256.984 \text{ kN}\cdot\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_B &= \sqrt{M_{BV}^2 + M_{BH}^2} \\
 &= \sqrt{(295.795)^2 + (172.940)^2} \\
 &= 342.641 \text{ kN}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น โมเมนต์ดั่งสูงสุดเกิดที่ตำแหน่ง B

จากตารางผนวกที่ ค8 เนื่องจากลักษณะการใช้งานของเครื่องแยกเนื้อสละเป็นแบบเพลาหมุน แรงสม่ำเสมอ จึงเลือกใช้ค่า $C_m = 1.5$ และ $C_t = 1.0$ จากตารางผนวกที่ จ3 ออกแบบให้เพลาทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 แบบ 10% cold reduction ซึ่งมีค่า Tensile strength (σ_u) = 98 ksi และค่า Yield strength (σ_y) = 69 ksi สามารถคำนวณหาค่าความเค้นเนื่องใช้งานได้จากสมการ (ค.23)

$$\begin{aligned}
 \tau_d &= 0.3 \times 69 \times 10^3 \left(\text{lb}/\text{in}^2\right) \times \frac{6895 \left(\text{N}/\text{m}^2\right)}{1 \left(\text{lb}/\text{in}^2\right)} \times \frac{1 \left(\text{m}^2\right)}{10^6 \left(\text{mm}^2\right)} \\
 &= 142.727 \text{ N}/\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned}
 \tau_d &= 0.18 \times 98 \times 10^3 \left(\text{lb}/\text{in}^2\right) \times \frac{6895 \left(\text{N}/\text{m}^2\right)}{1 \left(\text{lb}/\text{in}^2\right)} \times \frac{1 \left(\text{m}^2\right)}{10^6 \left(\text{mm}^2\right)} \\
 &= 121.628 \text{ N}/\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

เลือกใช้ค่าความเค้นเนื่องใช้งานที่มีค่าน้อย คือ 121.628 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร แต่เนื่องจากเพลามีร่องลิ้ม ค่าความเค้นเนื่องใช้งานจะใช้เพียง 75%

ดังนั้น $\tau_d = 0.75 \times 121.628 = 91.221 \text{ N}/\text{mm}^2$

สามารถคำนวณหาขนาดของเพลได้จากสมการ (ค.22)

$$\begin{aligned}
 d^3 &= \frac{16 \times 10^3}{91.221 \pi} \left[(1.0 \times 15.320)^2 + (1.5 \times 342.641)^2 \right]^{1/2} \\
 &= 28707.721
 \end{aligned}$$

$$d = 30.620 \text{ mm}$$

เลือกใช้เพลาด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.1 มิลลิเมตร หรือ 1.5 นิ้ว

ภาคผนวก จ
มาตรฐานและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ตารางผนวกที่ จ1 คุณสมบัติทางกายภาพสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316

Grade	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Co-eff of Thermal Expansion ($\mu\text{m/m}/^{\circ}\text{C}$)			Thermal Conductivity (W/m \cdot K)		Specific Heat 0-100 $^{\circ}\text{C}$ (J/kg \cdot K)	Elec Resistivity (n $\Omega\cdot$ m)
			0-100 $^{\circ}\text{C}$	0-315 $^{\circ}\text{C}$	0-538 $^{\circ}\text{C}$	ที่ 100 $^{\circ}\text{C}$	ที่ 500 $^{\circ}\text{C}$		
316/L/H	8000	193	15.9	16.2	17.5	16.3	21.5	500	740

ที่มา: Atlas Steels Australia (2005)

ตารางผนวกที่ จ2 คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ของ Neoprene

Density (g/cm ³)	Hardness	Tensile Strength, Ultimate (MPa)	Elongation at Break (%)
1.35 - 1.5	35 - 95	28	100 - 800

ที่มา: Ecreativeworks (n.d.)

ตารางผนวกที่ จ3 คุณสมบัติแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม Austenitic เกรด 304 ที่ขึ้นรูปเป็นแบบ
ต่างๆ

Alloy	Strength in ksi for % cold reduction shown						
	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Tensile	86	98	113	130	146	158	169
Yield	34	69	97	120	135	145	152
Elong.	53%	36%	25%	16%	13%	10%	6%

ที่มา: The Hendrix Group. (2004)

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดสอบการทำงานของเครื่องแยกเนื้อสัตว์ต้นแบบ

ตารางผนวกที่ ๑1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละ และ
ประสิทธิภาพการแยกเนื้อสละด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

ตัวอย่างที่	D _{ตะแกรง} (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	m ₅ (g)	ประสิทธิภาพการแยกเนื้อ (%)
1	0.4	400	14.05	2.07	1.79	97.72
2	0.4	400	17.02	0.21	0.19	99.88
3	0.4	400	16.43	2.48	2.02	96.81
4	0.4	400	10.30	1.13	0.76	96.12
5	0.4	400	16.10	3.78	2.30	89.28
6	0.4	400	9.90	2.05	1.94	98.62
7	0.4	400	10.73	1.92	1.43	94.73
8	0.4	400	15.72	3.23	2.23	92.59
9	0.4	450	14.80	2.47	2.04	96.63
10	0.4	450	15.12	2.97	2.28	94.63
11	0.4	450	13.02	2.28	1.96	97.11
12	0.4	450	18.50	3.18	2.83	97.77
13	0.4	450	15.04	3.37	2.75	94.96
14	0.4	450	14.84	3.04	2.82	98.17
15	0.4	450	13.45	2.67	2.45	98.00
16	0.4	450	12.62	2.49	2.31	98.25
17	0.4	500	13.50	2.00	1.78	98.12
18	0.4	500	11.43	1.39	1.19	98.05
19	0.4	500	13.02	1.86	1.71	98.67
20	0.4	500	14.82	2.94	2.62	97.38
21	0.4	500	10.71	1.64	1.57	99.23
22	0.4	500	14.01	1.25	1.09	98.76
23	0.4	500	12.70	1.63	1.52	99.02
24	0.4	500	9.59	1.28	1.04	97.19
25	0.4	550	11.55	1.71	1.57	98.60

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	D _{ตะแกรง} (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	m ₅ (g)	ประสิทธิภาพการแยกเนื้อ (%)
26	0.4	550	10.67	1.66	1.24	95.55
27	0.4	550	12.61	2.37	2.13	97.71
28	0.4	550	11.40	1.79	1.17	93.94
29	0.4	550	13.54	2.32	1.92	96.56
30	0.4	550	14.78	3.03	2.13	92.89
31	0.4	550	10.87	1.86	1.74	98.69
32	0.4	550	10.62	1.95	1.44	94.44
33	0.6	400	19.23	4.77	3.96	94.70
34	0.6	400	16.9	3.34	3.01	97.62
35	0.6	400	14.31	3.1	2.53	95.16
36	0.6	400	9.53	1.59	1.48	98.63
37	0.6	400	15.77	2.92	2.13	94.21
38	0.6	400	17.97	2.56	2.17	97.53
39	0.6	400	10.95	2.15	1.86	96.81
40	0.6	400	14.69	2.78	2.1	94.60
41	0.6	450	26.77	1.28	1.08	99.22
42	0.6	450	20.23	2.65	2.17	97.34
43	0.6	450	10.6	1.94	1.44	94.54
44	0.6	450	11.7	1.86	1.69	98.30
45	0.6	450	13.54	2.01	1.98	99.74
46	0.6	450	11.99	1.79	1.75	99.61
47	0.6	450	12.31	2.19	1.95	97.68
48	0.6	450	16.68	1.53	1.45	99.47
49	0.6	500	14.37	2.15	2.06	99.27
50	0.6	500	10.31	1.3	1.29	99.89

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	D _{ตะแกรง} (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	m ₂ (g)	m ₃ (g)	m ₅ (g)	ประสิทธิภาพการแยกเนื้อ (%)
51	0.6	500	12.96	2.25	2.24	99.91
52	0.6	500	18.63	2.85	2.72	99.18
53	0.6	500	13.02	2.43	2.35	99.25
54	0.6	500	9.54	2.47	2.46	99.86
55	0.6	500	14.21	2.46	2.14	97.35
56	0.6	500	12.84	2.13	2.04	99.17
57	0.6	550	7.32	0.93	0.75	97.26
58	0.6	550	14.26	3.01	2.83	98.43
59	0.6	550	16.14	1.75	1.36	97.36
60	0.6	550	10.97	2.12	1.97	98.33
61	0.6	550	10	2.24	2.15	98.85
62	0.6	550	13.25	2.79	2.7	99.15
63	0.6	550	10.3	1.7	1.65	99.42
64	0.6	550	14.17	1.67	1.53	98.89
65	0.8	400	14.64	2.54	2.33	98.29
66	0.8	400	10.35	2.39	1.77	92.77
67	0.8	400	12.96	2.78	2.03	93.14
68	0.8	400	12.96	3.22	2.40	92.23
69	0.8	400	17.13	3.40	2.69	95.08
70	0.8	400	11.57	2.39	2.16	97.56
71	0.8	400	14.25	1.24	1.00	98.19
72	0.8	400	13.21	2.12	1.75	96.77
73	0.8	450	10.36	1.72	1.25	94.84
74	0.8	450	16.51	2.71	2.54	98.78
75	0.8	450	17.15	2.70	2.28	97.18

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	$D_{\text{ตะแกรง}}$ (mm)	ความเร็วรอบ (rpm)	m_2 (g)	m_3 (g)	m_5 (g)	ประสิทธิภาพการแยกเนื้อ (%)
76	0.8	450	13.62	1.87	1.67	98.33
77	0.8	450	17.51	3.02	2.59	97.12
78	0.8	450	13.41	2.12	1.88	97.92
79	0.8	450	12.72	2.25	2.15	99.05
80	0.8	450	11.81	1.99	1.82	98.30
81	0.8	500	12.28	2.51	2.36	98.49
82	0.8	500	12.19	1.57	1.48	99.16
83	0.8	500	12.37	2.47	2.29	98.21
84	0.8	500	19.37	2.96	2.70	98.44
85	0.8	500	17.64	2.91	2.86	99.66
86	0.8	500	12.50	2.17	1.96	98.01
87	0.8	500	14.49	2.67	2.43	98.01
88	0.8	500	15.74	2.50	2.28	98.37
89	0.8	550	25.42	4.92	4.49	97.95
90	0.8	550	15.50	2.54	2.42	99.08
91	0.8	550	19.71	4.80	4.14	95.76
92	0.8	550	16.27	2.22	1.79	97.03
93	0.8	550	15.21	2.44	2.06	97.11
94	0.8	550	17.18	2.62	2.46	98.91
95	0.8	550	17.75	3.00	2.80	98.66
96	0.8	550	15.87	2.45	2.30	98.89

หมายเหตุ $D_{\text{ตะแกรง}}$ = ขนาดเส้นผ่านของรูตะแกรง



ภาพผนวกที่ ๑1 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑2 เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑3 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๓4 เมล็ดสละที่ขี้นี้ทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๓5 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๓6 เมล็ดสละที่ขี้นี้ทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๗ ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๘ เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๙ ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑๑๐ เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑๑๑ ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑๑๒ เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑๑๓ ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑๑๔ เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑๑๕ ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑16 เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑17 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ๑18 เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ19 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ20 เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ21 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ22 เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ23 ผลสละที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ24 เมล็ดสละที่ยีเนื้อทิ้งแล้วที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 550 รอบต่อนาที

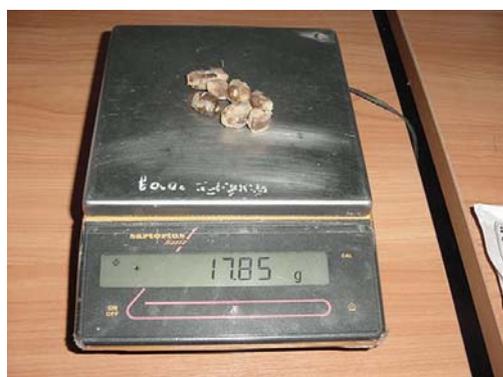
ตารางผนวกที่ ๒ แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

ตัวอย่างที่	m_2 (g)	m_3 (g)	m_5 (g)	I_{\min} (A)	I_{\max} (A)	t (s)	η_{CEN} (%)	กำลังการผลิต (kg/day)	I_{ave} (A)
1	100.11	13.80	12.75	2.6	3.4	6.62	98.8	435.52	3.00
2	100.76	18.19	16.00	2.4	3.5	16.67	97.42	174.08	2.95
3	100.15	20.29	17.49	2.3	3.3	5.77	96.61	499.88	2.80
4	101.77	17.85	14.44	2.4	3.0	7.15	96.1	409.93	2.70
5	200.82	32.09	28.48	2.4	3.2	7.92	97.91	730.25	2.80
6	203.96	30.35	27.69	2.3	3.2	8.2	98.49	716.35	2.75
7	202.91	40.48	29.94	2.3	3.4	14.16	93.91	412.70	2.85
8	202.54	32.87	25.69	2.3	3.5	8.31	95.94	701.94	2.90
9	301.65	55.20	43.35	2.3	3.8	5.96	95.41	1457.64	3.05
10	303.16	56.48	42.29	2.3	3.8	5.1	94.56	1711.96	3.05
11	301.14	63.30	41.66	2.3	3.9	5.6	91.66	1548.72	3.10
12	300.44	78.50	60.90	2.3	3.9	5.63	92.65	1536.89	3.10

หมายเหตุ I_{\min} = กระแสไฟฟ้าต่ำสุด, I_{\max} = กระแสไฟฟ้าสูงสุด, I_{ave} = กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย



ภาพผนวกที่ ฉ25 ผลสละที่ปอกเปลือกแล้วน้ำหนักประมาณ 100 กรัม



ภาพผนวกที่ ฉ26 สละน้ำหนัก 100 กรัม ที่ผ่านการแยกเนื้อสละด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



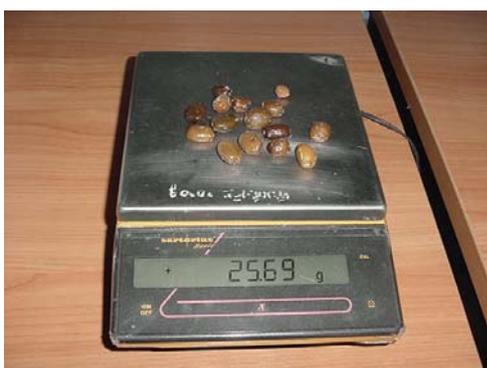
ภาพผนวกที่ ฉ27 เมล็ดของสละซึ่งมีน้ำหนัก 100 กรัม ที่ผ่านการแยกเนื้อสละด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ จ28 ผลสละที่ปอกเปลือกแล้วน้ำหนัก 200 กรัม



ภาพผนวกที่ จ29 สล่น้ำหนัก 200 กรัม ที่ผ่านการแยกเนื้อสละด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



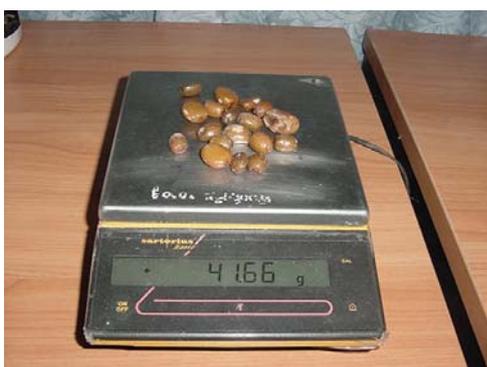
ภาพผนวกที่ จ30 เมล็ดของสละซึ่งมีน้ำหนัก 200 กรัม ที่ผ่านการแยกเนื้อสละด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ฉ31 ผลสละที่ปอกเปลือกแล้วน้ำหนัก 300 กรัม



ภาพผนวกที่ ฉ32 สละน้ำหนัก 300 กรัม ที่ผ่านการแยกเนื้อสละด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที



ภาพผนวกที่ ฉ33 เมล็ดของสละซึ่งมีน้ำหนัก 300 กรัม ที่ผ่านการแยกเนื้อสละด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการศึกษาคุณภาพของน้ำสะอาดที่แยกได้จากเครื่องแยกเนื้อสะอาดต้นแบบ

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงข้อมูลน้ำหนักของตะกอนที่แยกด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร้อนที่เวลาต่างๆ

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
1	3	50	310.15	319.42	9.27
2	3	50	314.49	323.10	8.61
3	3	50	311.61	321.59	9.98
4	3	50	312.35	321.54	9.19
1	3	80	299.23	306.81	7.58
2	3	80	300.84	307.83	6.99
3	3	80	303.06	309.85	6.79
4	3	80	301.28	308.07	6.79
1	3	120	293.89	297.34	3.45
2	3	120	297.13	302.45	5.32
3	3	120	296.04	300.49	4.45
4	3	120	295.74	299.92	4.18
1	3	170	284.19	286.39	2.20
2	3	170	286.43	289.81	3.38
3	3	170	285.57	288.38	2.81
4	3	170	285.62	287.85	2.23
1	3	200	283.21	284.77	1.56
2	3	200	283.75	287.34	3.59
3	3	200	284.85	286.63	1.78
4	3	200	285.32	286.49	1.17
1	3	270	275.88	277.27	1.39
2	3	270	277.03	278.92	1.89
3	3	270	277.81	280.19	2.38
4	3	270	277.47	278.98	1.51
1	3	ถัด	261.90	284.34	22.44

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
2	3	ถาด	262.23	280.65	18.42
3	3	ถาด	262.49	283.17	20.68
4	3	ถาด	262.47	286.38	23.91
5	5	50	312.65	320.03	7.38
6	5	50	312.14	321.04	8.90
7	5	50	312.42	322.28	9.86
8	5	50	312.00	320.74	8.74
5	5	80	303.05	308.50	5.45
6	5	80	301.01	307.09	6.08
7	5	80	301.20	306.58	5.38
8	5	80	301.22	308.77	7.55
5	5	120	297.11	301.91	4.80
6	5	120	296.70	301.05	4.35
7	5	120	297.44	303.53	6.09
8	5	120	296.24	300.85	4.61
5	5	170	285.50	288.86	3.36
6	5	170	286.34	290.25	3.91
7	5	170	286.34	290.66	4.32
8	5	170	285.47	287.65	2.18
5	5	200	284.77	286.25	1.48
6	5	200	284.87	288.04	3.17
7	5	200	285.05	289.60	4.55
8	5	200	284.82	286.37	1.55
5	5	270	277.00	278.71	1.71
6	5	270	277.15	279.76	2.61

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
7	5	270	277.54	281.04	3.50
8	5	270	277.42	278.82	1.40
5	5	ถาด	262.25	287.07	24.82
6	5	ถาด	262.37	281.10	18.73
7	5	ถาด	262.35	277.22	14.87
8	5	ถาด	262.38	284.90	22.52
9	7	50	312.20	320.27	8.07
10	7	50	312.11	319.02	6.91
11	7	50	312.42	320.39	7.97
12	7	50	312.95	320.12	7.17
9	7	80	300.65	305.92	5.27
10	7	80	301.27	306.70	5.43
11	7	80	301.21	306.22	5.01
12	7	80	301.21	309.50	8.29
9	7	120	296.47	298.01	1.54
10	7	120	295.81	300.56	4.75
11	7	120	296.31	300.43	4.12
12	7	120	295.94	301.19	5.25
9	7	170	285.24	288.06	2.82
10	7	170	285.72	288.28	2.56
11	7	170	285.80	289.51	3.71
12	7	170	285.67	288.97	3.30
9	7	200	284.72	285.97	1.25
10	7	200	285.09	286.43	1.34
11	7	200	285.28	286.89	1.61

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
12	7	200	284.58	286.37	1.79
9	7	270	277.26	280.16	2.9
10	7	270	277.78	279.87	2.09
11	7	270	277.59	278.94	1.35
12	7	270	277.83	278.65	0.82
9	7	ขาด	262.31	285.54	23.23
10	7	ขาด	262.32	287.09	24.77
11	7	ขาด	262.26	283.05	20.79
12	7	ขาด	262.47	283.11	20.64

ตารางผนวกที่ ข2 แสดงข้อมูลน้ำหนักของตะกอนที่แยกด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร้อนที่ได้จากน้ำ
สละซึ่งแยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ หรือกรองด้วยผ้าขาวบาง

ตัวอย่างที่	วิธีการ	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
1	0.4	50	310.37	317.22	6.85
2	0.4	50	312.37	320.29	7.92
3	0.4	50	312.34	318.76	6.42
4	0.4	50	312.27	317.87	5.60
1	0.4	80	299.37	304.09	4.72
2	0.4	80	300.96	307.84	6.88
3	0.4	80	301.32	310.16	8.84
4	0.4	80	301.25	309.00	7.75
1	0.4	120	294.00	300.15	6.15
2	0.4	120	295.63	300.93	5.30
3	0.4	120	295.25	300.40	5.15
4	0.4	120	295.40	301.75	6.35
1	0.4	170	284.29	283.78	4.49
2	0.4	170	286.10	289.18	3.08
3	0.4	170	285.39	288.66	3.27
4	0.4	170	284.82	288.44	3.62
1	0.4	200	283.32	285.22	1.90
2	0.4	200	285.01	287.26	2.25
3	0.4	200	284.74	287.09	2.35
4	0.4	200	283.90	286.01	2.11
1	0.4	270	276.03	277.79	1.76
2	0.4	270	277.77	280.09	2.32
3	0.4	270	276.62	279.22	2.60
4	0.4	270	276.90	279.12	2.22

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	วิธีการ	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
1	0.4	ถาด	262.00	283.08	21.08
2	0.4	ถาด	262.53	282.04	19.51
3	0.4	ถาด	262.88	282.22	19.34
4	0.4	ถาด	262.36	283.27	20.91
5	0.6	50	311.33	321.16	9.83
6	0.6	50	312.19	322.37	10.18
7	0.6	50	312.33	322.12	9.79
8	0.6	50	312.25	322.17	9.92
5	0.6	80	300.61	307.63	7.02
6	0.6	80	301.03	311.93	10.9
7	0.6	80	301.12	308.13	7.01
8	0.6	80	301.16	309.94	8.78
5	0.6	120	295.43	301.08	5.65
6	0.6	120	295.60	301.26	5.66
7	0.6	120	296.11	301.44	5.33
8	0.6	120	295.60	301.62	6.02
5	0.6	170	285.32	288.67	3.35
6	0.6	170	285.54	288.26	2.72
7	0.6	170	285.54	288.76	3.22
8	0.6	170	285.53	288.04	2.51
5	0.6	200	284.50	285.99	1.49
6	0.6	200	284.54	286.27	1.73
7	0.6	200	284.73	286.41	1.68
8	0.6	200	285.15	286.04	0.89

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	วิธีการ	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
5	0.6	270	277.28	278.54	1.26
6	0.6	270	277.09	278.20	1.11
7	0.6	270	277.69	279.02	1.33
8	0.6	270	277.48	278.98	1.50
5	0.6	ถาด	262.44	282.62	20.18
6	0.6	ถาด	262.64	279.14	16.50
7	0.6	ถาด	263.29	281.90	18.61
8	0.6	ถาด	262.66	280.66	18.00
9	0.8	50	312.65	320.03	7.38
10	0.8	50	312.14	321.04	8.90
11	0.8	50	312.42	322.28	9.86
12	0.8	50	312.00	320.74	8.74
9	0.8	80	303.05	308.50	5.45
10	0.8	80	301.01	307.09	6.08
11	0.8	80	301.20	306.58	5.38
12	0.8	80	301.22	308.77	7.55
9	0.8	120	297.11	301.91	4.80
10	0.8	120	296.70	301.05	4.35
11	0.8	120	297.44	303.53	6.09
12	0.8	120	296.24	300.85	4.61
9	0.8	170	285.50	288.86	3.36
10	0.8	170	286.34	290.25	3.91
11	0.8	170	286.34	290.66	4.32
12	0.8	170	285.47	287.65	2.18

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	วิธีการ	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
9	0.8	200	284.77	286.25	1.48
10	0.8	200	284.87	288.04	3.17
11	0.8	200	285.05	289.60	4.55
12	0.8	200	284.82	286.37	1.55
9	0.8	270	277.00	278.71	1.71
10	0.8	270	277.15	279.76	2.61
11	0.8	270	277.54	281.04	3.50
12	0.8	270	277.42	278.82	1.40
9	0.8	ถาด	262.25	287.07	24.82
10	0.8	ถาด	262.37	281.10	18.73
11	0.8	ถาด	262.35	277.22	14.87
12	0.8	ถาด	262.38	284.90	22.52
13	ผ้า	50	310.21	312.23	2.02
14	ผ้า	50	311.77	313.35	1.58
15	ผ้า	50	311.55	313.36	1.81
16	ผ้า	50	311.68	313.65	1.97
13	ผ้า	80	299.26	302.77	3.51
14	ผ้า	80	300.55	303.59	3.04
15	ผ้า	80	300.29	303.46	3.17
16	ผ้า	80	301.04	304.49	3.45
13	ผ้า	120	294.02	296.55	2.53
14	ผ้า	120	295.32	297.31	1.99
15	ผ้า	120	295.24	297.35	2.11
16	ผ้า	120	295.77	298.63	2.86

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ตัวอย่าง ที่	วิธีการ	ขนาดตะแกรง (mesh)	น้ำหนักตะแกรง (g)	น้ำหนักตะแกรง และตะกอน (g)	น้ำหนักตะกอน (g)
13	ผ้า	170	284.22	286.39	2.17
14	ผ้า	170	285.24	286.25	1.01
15	ผ้า	170	285.38	287.52	2.14
16	ผ้า	170	285.67	287.75	2.08
13	ผ้า	200	283.22	284.72	1.50
14	ผ้า	200	284.60	285.13	0.53
15	ผ้า	200	284.89	286.55	1.66
16	ผ้า	200	284.64	286.02	1.38
13	ผ้า	270	275.89	280.45	4.56
14	ผ้า	270	276.91	281.00	4.09
15	ผ้า	270	277.37	280.92	3.55
16	ผ้า	270	277.40	281.38	3.98
13	ผ้า	ถาด	252.04	284.88	32.84
14	ผ้า	ถาด	252.45	287.81	35.36
15	ผ้า	ถาด	252.17	286.14	33.97
16	ผ้า	ถาด	252.21	285.02	32.81

หมายเหตุ วิธีการ = วิธีที่ใช้ในการแยกน้ำสะอาด ได้แก่ แยกด้วยตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง



ภาพผนวกที่ ข1 ตะกอนน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้ำงบน ตะแกรงร่อนขนาด 50 mesh โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ข2 ตะกอนน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้ำงบน ตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ข3 ตะกอนน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้ำงบน ตะแกรงร่อนขนาด 120 mesh โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ข4 ตะกอนน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 170 mesh โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ข5 ตะกอนน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ข6 ตะกอนน้ำสละที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้ำบนตะแกรงร่อนขนาด 270 mesh โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ๗7 ตะกอนน้ำสะอาดที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองแยกด้วยผ้าขาวบางซึ่งค้างบน
ถาด โดยใช้เวลาแยกนาน 5 นาที

ตารางผนวกที่ ข3 แสดงข้อมูลระดับความสูงของตะกอนในหลอดทดลอง

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	วิธีการ	ระดับการแยกชั้น (cm)	% การตกตะกอน (%)
1	0	0.4	8.4	100.00
2	0	0.4	8.9	100.00
3	0	0.4	8.9	100.00
4	0	0.4	8.8	100.00
5	0	0.6	8.2	100.00
6	0	0.6	8.6	100.00
7	0	0.6	8.5	100.00
8	0	0.6	8.5	100.00
9	0	0.8	9.2	100.00
10	0	0.8	8.8	100.00
11	0	0.8	8.7	100.00
12	0	0.8	9.1	100.00
13	0	ฟ้า	8.8	0.00
14	0	ฟ้า	8.8	0.00
15	0	ฟ้า	8.8	0.00
16	0	ฟ้า	8.6	0.00
1	5	0.4	8.2	97.62
2	5	0.4	8.7	97.75
3	5	0.4	8.7	97.75
4	5	0.4	8.5	96.59
5	5	0.6	8.2	100.00
6	5	0.6	8.5	98.84
7	5	0.6	8.3	97.65
8	5	0.6	8.5	100.00
9	5	0.8	8.9	96.74
10	5	0.8	8.4	95.45

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	วิธีการ	ระดับการแยกชั้น (cm)	% การตกตะกอน (%)
11	5	0.8	8.4	96.55
12	5	0.8	8.7	95.60
13	5	ผ้า	1.4	15.91
14	5	ผ้า	1.1	12.50
15	5	ผ้า	1.3	14.77
16	5	ผ้า	1.2	13.95
1	10	0.4	8.0	95.24
2	10	0.4	8.6	96.63
3	10	0.4	8.2	92.13
4	10	0.4	8.4	95.45
5	10	0.6	8.1	98.78
6	10	0.6	8.3	96.51
7	10	0.6	8.3	97.65
8	10	0.6	8.0	94.12
9	10	0.8	8.8	95.65
10	10	0.8	8.4	95.45
11	10	0.8	8.4	96.55
12	10	0.8	8.7	95.60
13	10	ผ้า	1.7	19.32
14	10	ผ้า	1.3	14.77
15	10	ผ้า	1.6	18.18
16	10	ผ้า	1.4	16.28
1	15	0.4	8.0	95.24
2	15	0.4	8.6	96.63
3	15	0.4	8.2	92.13
4	15	0.4	8.4	95.45

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	วิธีการ	ระดับการแยกชั้น (cm)	% การตกตะกอน (%)
5	15	0.6	8.1	98.78
6	15	0.6	8.3	96.51
7	15	0.6	8.3	97.65
8	15	0.6	8.0	94.12
9	15	0.8	8.8	95.65
10	15	0.8	8.4	95.45
11	15	0.8	8.3	95.40
12	15	0.8	8.6	94.51
13	15	ฝ้า	1.7	19.32
14	15	ฝ้า	1.4	15.91
15	15	ฝ้า	1.7	19.32
16	15	ฝ้า	1.6	18.60
1	20	0.4	7.8	92.86
2	20	0.4	8.5	95.51
3	20	0.4	8.2	92.13
4	20	0.4	8.4	95.45
5	20	0.6	8.1	98.78
6	20	0.6	8.3	96.51
7	20	0.6	8.3	97.65
8	20	0.6	8.0	94.12
9	20	0.8	8.8	95.65
10	20	0.8	8.4	95.45
11	20	0.8	8.3	95.40
12	20	0.8	8.6	94.51
13	20	ฝ้า	1.7	19.32
14	20	ฝ้า	1.4	15.91

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	วิธีการ	ระดับการแยกชั้น (cm)	% การตกตะกอน (%)
15	20	ผ้า	1.7	19.32
16	20	ผ้า	1.6	18.60
1	25	0.4	7.8	92.86
2	25	0.4	8.5	95.51
3	25	0.4	8.1	91.01
4	25	0.4	8.3	94.32
5	25	0.6	7.9	96.34
6	25	0.6	8.2	95.35
7	25	0.6	8.2	96.47
8	25	0.6	7.9	92.94
9	25	0.8	8.8	95.65
10	25	0.8	8.3	94.32
11	25	0.8	8.3	95.40
12	25	0.8	8.6	94.51
13	25	ผ้า	1.7	19.32
14	25	ผ้า	1.4	15.91
15	25	ผ้า	1.7	19.32
16	25	ผ้า	1.6	18.60
1	30	0.4	7.8	92.86
2	30	0.4	8.4	94.38
3	30	0.4	8.1	91.01
4	30	0.4	8.3	94.32
5	30	0.6	7.9	96.34
6	30	0.6	8.2	95.35
7	30	0.6	8.2	96.47
8	30	0.6	7.9	92.94

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เวลา (min)	วิธีการ	ระดับการแยกชั้น (cm)	% การตกตะกอน (%)
9	30	0.8	8.7	94.57
10	30	0.8	8.3	94.32
11	30	0.8	8.3	95.40
12	30	0.8	8.3	91.21
13	30	ผ้า	1.7	19.32
14	30	ผ้า	1.4	15.91
15	30	ผ้า	1.7	19.32
16	30	ผ้า	1.6	18.60

หมายเหตุ วิธีการ = วิธีที่ใช้ในการแยกน้ำสละ ได้แก่ แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง



ภาพผนวกที่ ข8 น้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6, 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) ชนิดละ 2 ตัวอย่าง ตกตะกอนนาน 5 นาที



ภาพผนวกที่ ข9 น้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6, 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) ชนิดละ 2 ตัวอย่าง ตกตะกอนนาน 10 นาที



ภาพผนวกที่ ข10 น้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6, 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) ชนิดละ 2 ตัวอย่าง ตกตะกอนนาน 15 นาที



ภาพผนวกที่ ข11 น้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6, 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) ชนิดละ 2 ตัวอย่าง ตกตะกอนนาน 20 นาที



ภาพผนวกที่ ข12 น้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6, 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) ชนิดละ 2 ตัวอย่าง ตกตะกอนนาน 25 นาที



ภาพผนวกที่ ข13 น้ำสละที่แยกด้วยตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูขนาด 0.4, 0.6, 0.8 มิลลิเมตร และแยกด้วยผ้าขาวบาง ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) ชนิดละ 2 ตัวอย่าง ตกตะกอนนาน 30 นาที

ภาคผนวก ซ
การวิเคราะห์ขนาดตะกอนของน้ำใส

การคำนวณการวิเคราะห์ขนาดตะกอนของน้ำสละ

จากตารางที่ 11 เมื่อทำการแยกเนื้อสละด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร แล้วนำน้ำสละที่ได้ปริมาณ 50 กรัม มาทำการวิเคราะห์หาขนาดตะกอนด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน พบว่ามีน้ำหนักตะกอนเฉลี่ยซึ่งค้างอยู่ดังตารางผนวกที่ ซ1 โดยสมมุติว่ามีตะแกรงร่อนขนาด 20 mesh วางอยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 50 mesh

ตารางผนวกที่ ซ1 การวิเคราะห์ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 1)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (μm)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	20	841				
1	50	300	6.85	502.295	18.502	14.309
2	80	180	4.72	232.379	11.168	5.821
3	120	125	6.15	150.000	13.383	5.210
4	170	90	4.49	106.066	9.095	2.662
5	200	75	1.90	82.158	3.638	0.825
6	270	53	1.76	63.048	3.167	0.521
7	ถัด	0	21.08	0.000		
	รวม		46.95		58.953	29.348

จากตารางผนวกที่ ซ1 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงชั้นที่อนุภาคผ่านได้ (D_u) = 841 μm และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงชั้นที่อนุภาคผ่านไม่ได้ (D_o) = 300 μm สามารถคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงร่อนชั้นที่ 1 (D_1) จากสมการ (29)

$$D_1 = (841 \times 300)^{0.5}$$

$$= 502.295 \mu\text{m}$$

จากตารางผนวกที่ ซ1 น้ำหนักของตะกอนที่ค้างบนตะแกรงร่อนชั้นที่ 1 (W_1) = 6.85 g สามารถคำนวณหาค่า $W_1 \log D_1$ ของชั้นที่ 1 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} W_1 \log D_1 &= 6.85 \times \log 502.295 \\ &= 18.502 \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาค่า D_1 และ $W_1 \log D_1$ ของชั้นที่ 2-7 ด้วยวิธีการข้างต้น ได้ผลการคำนวณดังตารางผนวกที่ ซ1 แล้วหาผลรวมของ $W_1 \log D_1$ และ W_1 มีค่า 58.953 และ 46.95 ตามลำดับ สามารถคำนวณหาขนาดของตะกอนเฉลี่ยได้จากสมการ (30)

$$\begin{aligned} D_{gw} &= \log^{-1} \left[\frac{58.953}{46.95} \right] \\ &= 18.016 \mu\text{m} \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาค่า $W_1 (\log D_1 - \log D_{gw})^2$ ของชั้นที่ 1 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} W_1 (\log D_1 - \log D_{gw})^2 &= 6.85 \times (\log 502.295 - \log 18.016)^2 \\ &= 14.309 \end{aligned}$$

ทำการคำนวณหาค่า $W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$ ของชั้นที่ 2-7 ด้วยวิธีการข้างต้น ได้ผลการคำนวณดังตารางผนวกที่ ซ1 แล้วหาผลรวมของ $W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$ ได้มีค่า 29.348 สามารถคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากสมการ (31)

$$\begin{aligned} S_{gw} &= \log^{-1} \left[\frac{29.348}{46.95} \right]^{0.5} \\ &= 6.175 \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดตะกอนเฉลี่ยของน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร มีขนาด $18.016 \pm 6.175 \mu\text{m}$

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 2)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	20	841			
1	50	300	7.92	502.295	21.392
2	80	180	6.88	232.379	16.279
3	120	125	5.30	150.000	11.533
4	170	90	3.08	106.066	6.239
5	200	75	2.25	82.158	4.308
6	270	53	2.32	63.048	4.175
7	ถาด	0	19.51		
	รวม	47.26		63.926	27.628

ตารางผนวกที่ ข3 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 3)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	20	841			
1	50	300	6.42	502.295	17.340
2	80	180	8.84	232.379	20.917
3	120	125	5.15	150.000	11.207
4	170	90	3.27	106.066	6.624
5	200	75	2.35	82.158	4.499
6	270	53	2.60	63.048	4.679
7	ถาด	0	19.34		
	รวม	47.97		65.266	26.568

ตารางผนวกที่ ข4 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.4 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 4)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	20	841			
1	50	300	502.295	15.125	11.146
2	80	180	232.379	18.338	8.974
3	120	125	150.000	13.818	4.984
4	170	90	106.066	7.333	1.958
5	200	75	82.158	4.040	0.823
6	270	53	63.048	3.995	0.576
7	ถัด	0	20.91		
	รวม	48.56		62.649	28.461

ตารางผนวกที่ ข5 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.6 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 1)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	20	841			
1	50	300	502.295	26.550	17.128
2	80	180	232.379	16.611	6.815
3	120	125	150.000	12.295	3.572
4	170	90	106.066	6.786	1.392
5	200	75	82.158	2.853	0.424
6	270	53	63.048	2.268	0.221
7	ถัด	0	20.18		
	รวม	48.78		67.362	29.553

ตารางผนวกที่ ข6 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.6 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 2)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	20	841			
1	50	300	10.18	502.295	27.496
2	80	180	10.9	232.379	25.792
3	120	125	5.66	150.000	12.317
4	170	90	2.72	106.066	5.510
5	200	75	1.73	82.158	3.312
6	270	53	1.11	63.048	1.998
7	ถาด	0	16.5		
	รวม	48.80		76.424	23.042

ตารางผนวกที่ ข7 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.6 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 3)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	6	3360			
1	50	300	9.79	1003.992	26.442
2	80	180	7.01	232.379	16.587
3	120	125	5.33	150.000	11.599
4	170	90	3.22	106.066	6.522
5	200	75	1.68	82.158	3.217
6	270	53	1.33	63.048	2.394
7	ถาด	0	18.61		
	รวม	46.97		66.761	27.099

ตารางผนวกที่ ข8 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.6 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 4)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	6	3360			
1	50	300	9.92	1003.992	26.794
2	80	180	8.78	232.379	20.775
3	120	125	6.02	150.000	13.100
4	170	90	2.51	106.066	5.084
5	200	75	0.89	82.158	1.704
6	270	53	1.5	63.048	2.700
7	ถาด	0	18		
	รวม	47.62		70.157	26.025

ตารางผนวกที่ ข9 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 1)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	6	3360			
1	50	300	7.38	1003.992	19.933
2	80	180	5.45	232.379	12.896
3	120	125	4.8	150.000	10.445
4	170	90	3.36	106.066	6.806
5	200	75	1.48	82.158	2.834
6	270	53	1.71	63.048	3.077
7	ถาด	0	24.82		
	รวม	49.00		55.991	35.445

ตารางผนวกที่ ข10 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 2)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	6	3360			
1	50	300	8.9	1003.992	24.039
2	80	180	6.08	232.379	14.386
3	120	125	4.35	150.000	9.466
4	170	90	3.91	106.066	7.920
5	200	75	3.17	82.158	6.069
6	270	53	2.61	63.048	4.697
7	ถัด	0	18.73		
	รวม	47.75		66.578	26.443

ตารางผนวกที่ ข11 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 3)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	6	3360			
1	50	300	9.86	1003.992	26.631
2	80	180	5.38	232.379	12.730
3	120	125	6.09	150.000	13.252
4	170	90	4.32	106.066	8.750
5	200	75	4.55	82.158	8.712
6	270	53	3.5	63.048	6.299
7	ถัด	0	14.87		
	รวม	48.57		76.375	19.765

ตารางผนวกที่ ข12 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงขนาด 0.8 มิลลิเมตร (การทดสอบครั้งที่ 4)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$	
0	6	3360				
1	50	300	8.74	1003.992	23.606	18.027
2	80	180	7.55	232.379	17.865	9.159
3	120	125	4.61	150.000	10.032	3.828
4	170	90	2.18	106.066	4.416	1.262
5	200	75	1.55	82.158	2.968	0.655
6	270	53	1.4	63.048	2.520	0.401
7	ถัด	0	22.52			
	รวม	48.55		61.406		33.331

ตารางผนวกที่ ข13 การวิเคราะห์ห้ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง (การทดสอบครั้งที่ 1)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$	
0	6	3360				
1	50	300	2.02	1003.992	5.456	8.030
2	80	180	3.51	232.379	8.305	9.661
3	120	125	2.53	150.000	5.506	5.459
4	170	90	2.17	106.066	4.396	3.772
5	200	75	1.5	82.158	2.872	2.187
6	270	53	4.56	63.048	8.206	5.443
7	ถัด	0	32.84			
	รวม	49.13		34.741		34.554

ตารางผนวกที่ ข14 การวิเคราะห์ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรอง
ด้วยผ้าขาวบาง (การทดสอบครั้งที่ 2)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (μm) (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$	
0	6	3360				
1	50	300	1.58	1003.992	4.268	7.305
2	80	180	3.04	232.379	7.193	10.020
3	120	125	1.99	150.000	4.330	5.257
4	170	90	1.01	106.066	2.046	2.197
5	200	75	0.53	82.158	1.015	0.986
6	270	53	4.09	63.048	7.361	6.380
7	ถาด	0	35.36			
	รวม		47.60		26.212	32.146

ตารางผนวกที่ ข15 การวิเคราะห์ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรอง
ด้วยผ้าขาวบาง (การทดสอบครั้งที่ 3)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	W_i (μm) (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$	
0	6	3360				
1	50	300	1.81	1003.992	4.889	7.703
2	80	180	3.17	232.379	7.501	9.468
3	120	125	2.11	150.000	4.592	4.992
4	170	90	2.14	106.066	4.335	4.121
5	200	75	1.66	82.158	3.178	2.706
6	270	53	3.55	63.048	6.389	4.791
7	ถาด	0	33.97			
	รวม		48.41		30.883	33.781

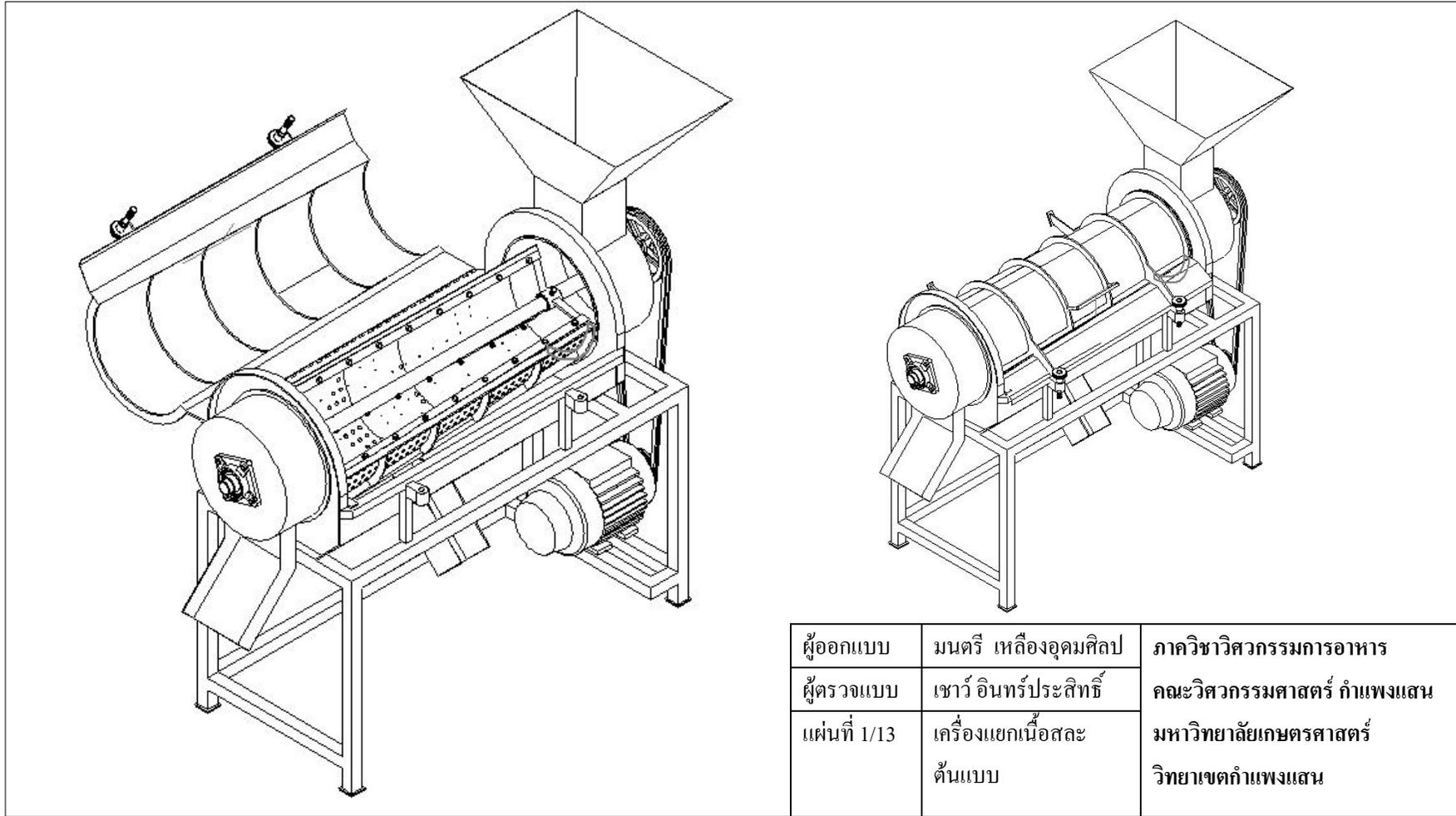
ตารางผนวกที่ ข16 การวิเคราะห์ขนาดตะกอนจากน้ำสละที่ได้จากเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง (การทดสอบครั้งที่ 4)

ชั้น ที่	ขนาดตะแกรง (mesh)	ขนาดตะแกรง (μm)	W_i (g)	D_i (μm)	$W_i \log D_i$	$W_i (\log D_i - \log D_{gw})^2$
0	6	3360				
1	50	300	1.97	1003.992	5.321	7.927
2	80	180	3.45	232.379	8.163	9.636
3	120	125	2.86	150.000	6.224	6.274
4	170	90	2.08	106.066	4.213	3.683
5	200	75	1.38	82.158	2.642	2.053
6	270	53	3.98	63.048	7.163	4.857
7	ถาด	0	32.81			
	รวม		48.53		33.726	34.431

ตารางผนวกที่ ข17 ขนาดตะกอนเฉลี่ยจากน้ำสละที่ได้จากการแยกด้วยวิธีต่างๆ

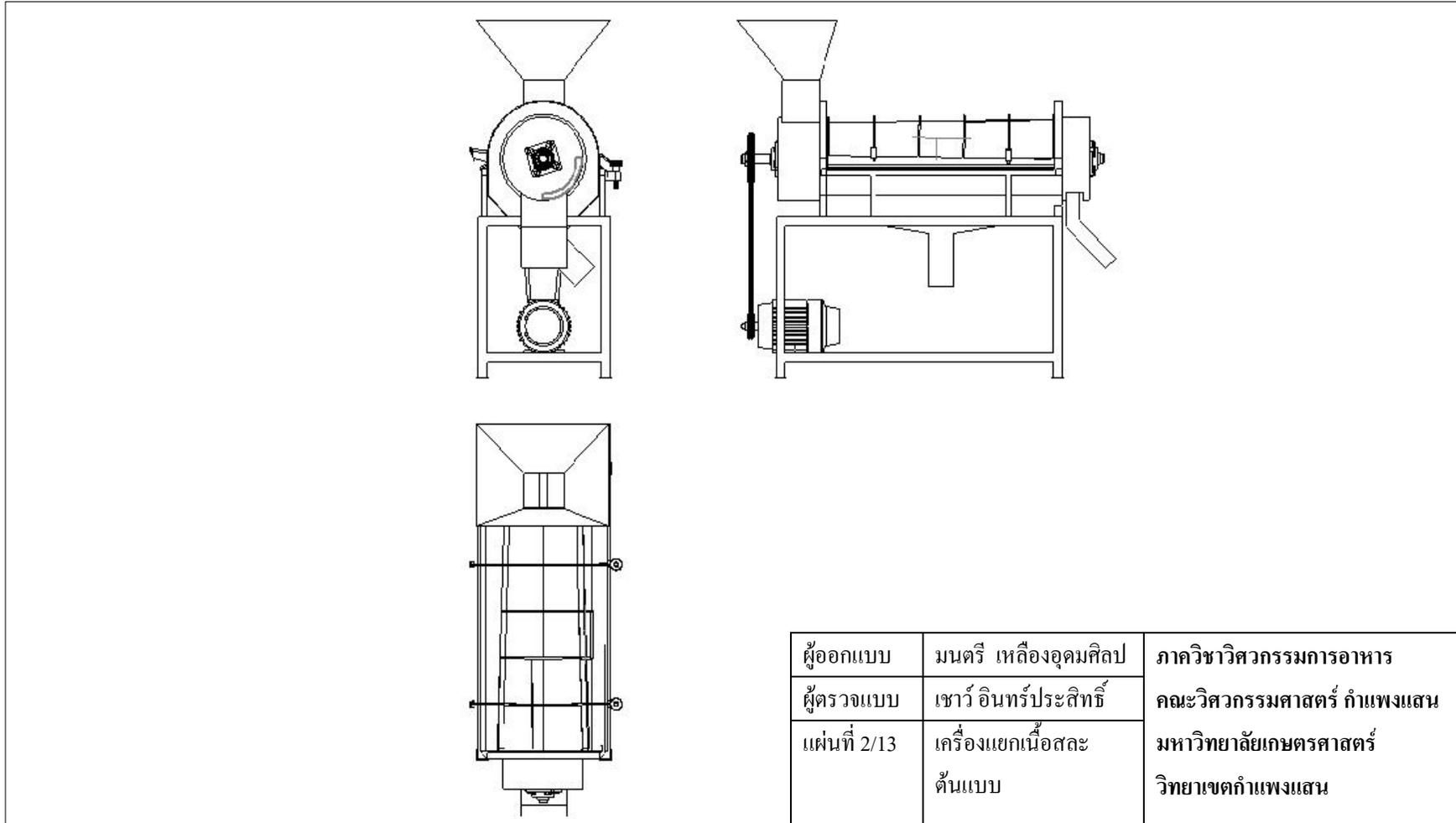
การ ทดลอง ที่	ขนาดตะกอนเฉลี่ย (μm)			
	แยกด้วยเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบที่มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางของรูขนาด			ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้แล้ว แยกด้วยผ้าขาวบาง
	0.4 mm	0.6 mm	0.8 mm	
1	18.016 \pm 6.175	24.040 \pm 6.003	13.889 \pm 7.088	5.095 \pm 6.897
2	22.524 \pm 5.816	36.818 \pm 4.866	24.791 \pm 5.548	3.554 \pm 6.634
3	22.939 \pm 5.549	26.384 \pm 5.749	37.366 \pm 4.344	4.345 \pm 6.845
4	19.505 \pm 5.829	29.734 \pm 5.486	18.399 \pm 6.739	4.954 \pm 6.955

ภาคผนวก ฅ
แบบเครื่องแยกเนื้อสัตว์ต้นแบบ

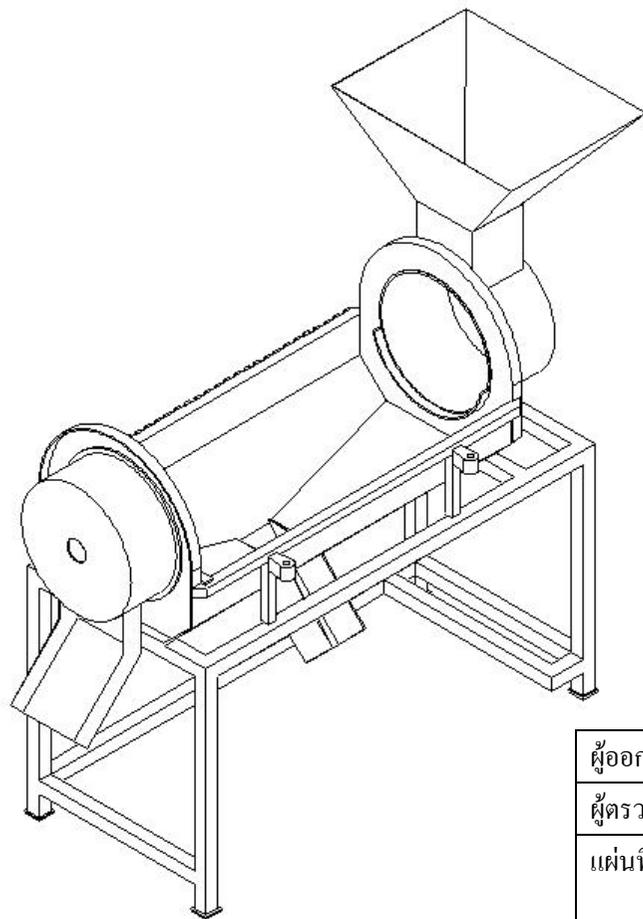


ผู้ออกแบบ	มนตรี เหลืองอุดมศิลป์	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผู้ตรวจแบบ	เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์	
แผ่นที่ 1/13	เครื่องแยกเนื้อสละ ต้นแบบ	

ภาพผนวกที่ ฅ1 แบบ Isometric Assembly แสดงรายละเอียดเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

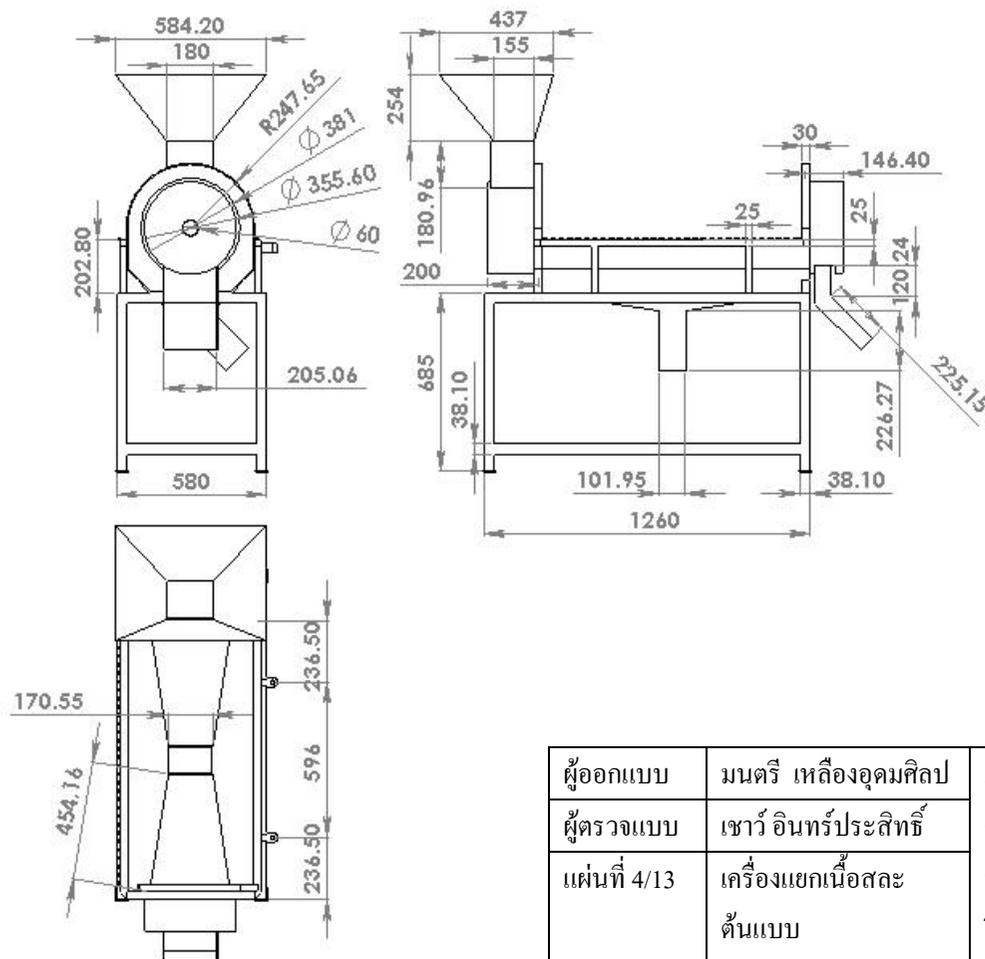


ภาพผนวกที่ ๓ แบบ 3 views standard แสดงรายละเอียดเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ



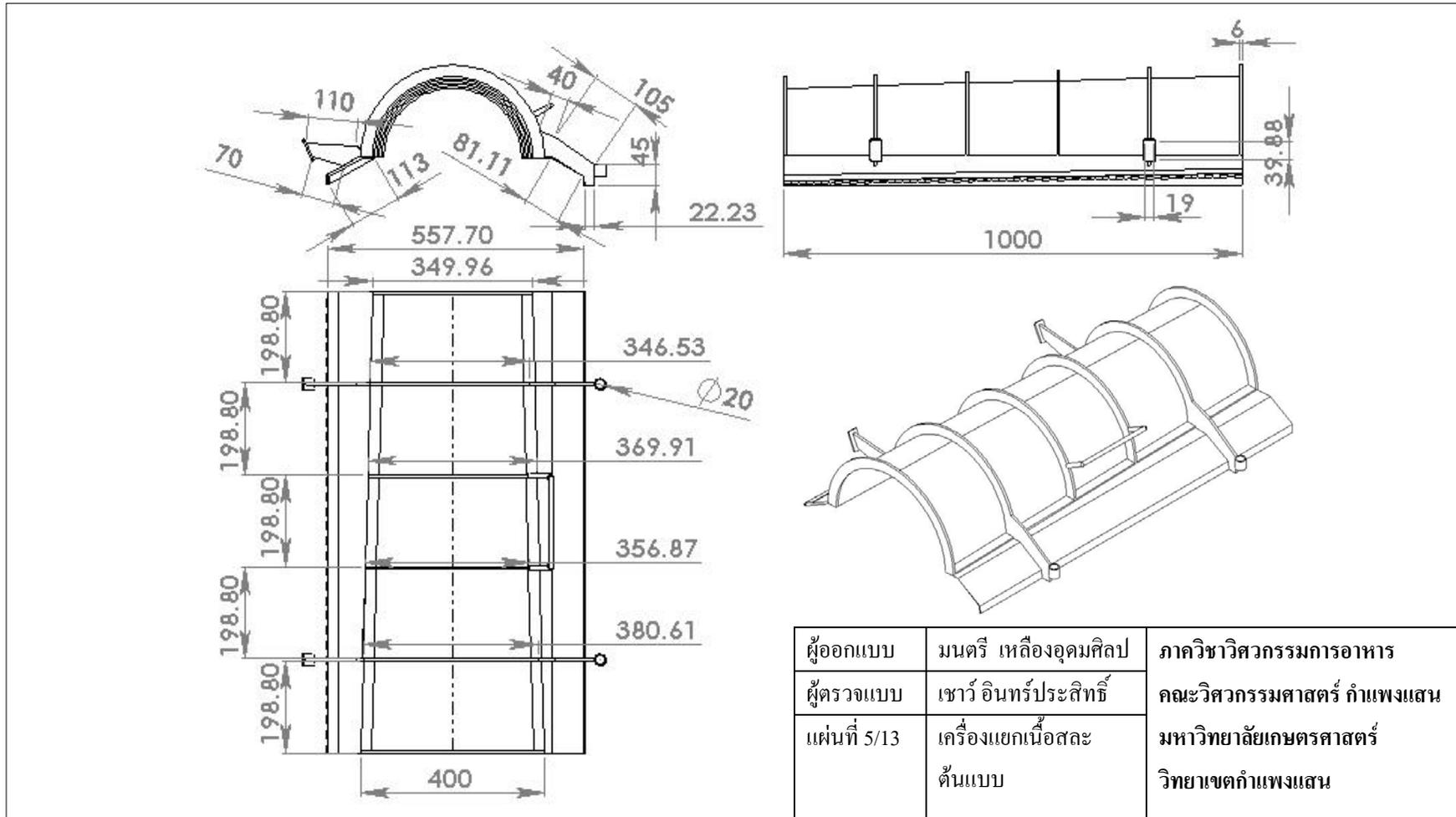
ผู้ออกแบบ	มนตรี เหลืองอุดมศิลป์	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
ผู้ตรวจแบบ	เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
แผ่นที่ 3/13	เครื่องแยกเนื้อสละ ต้นแบบ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ภาพผนวกที่ ๓ แบบ Isometric แสดงรายละเอียด โครงสร้างเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ

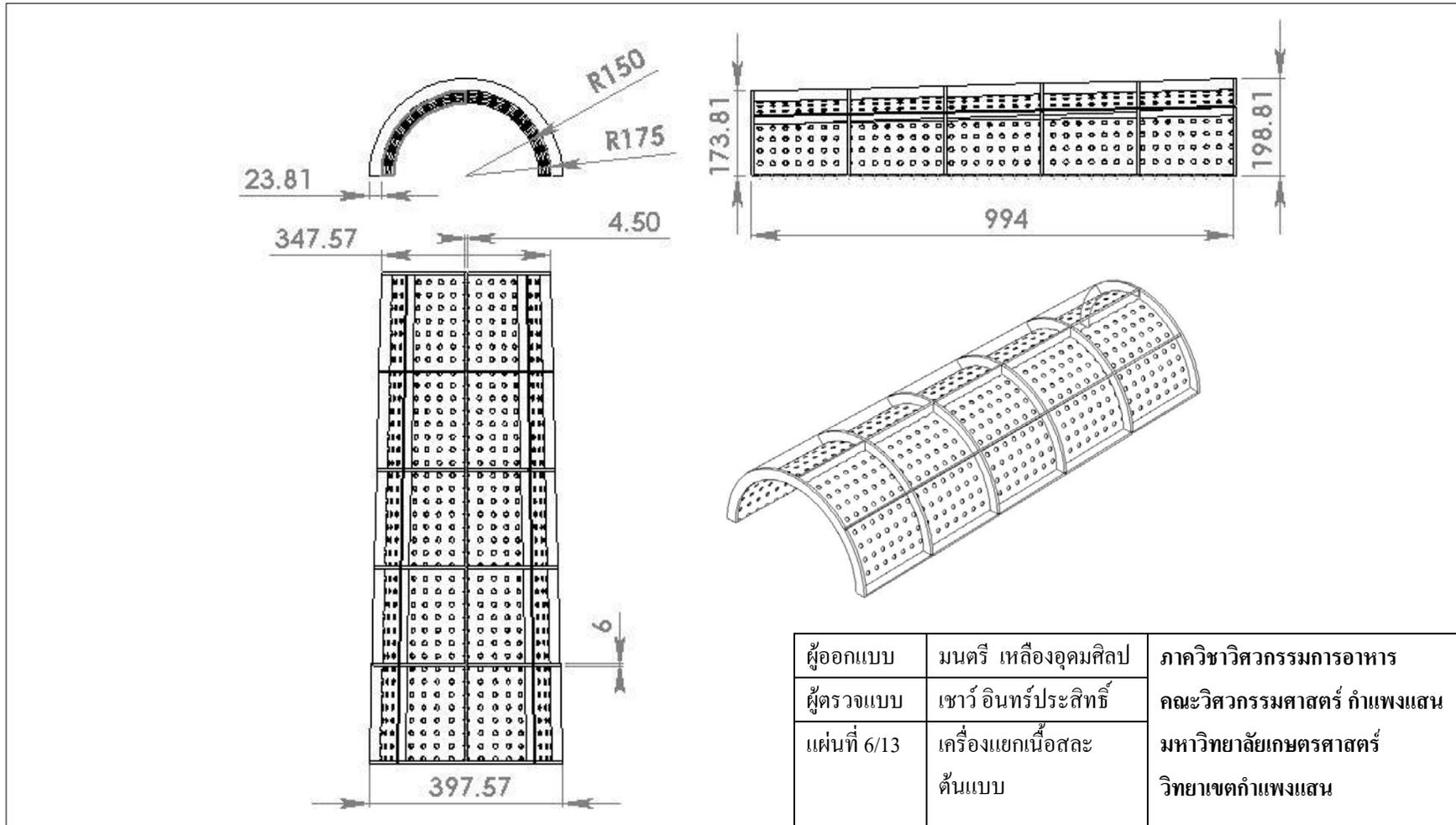


ผู้ออกแบบ	มนตรี เหลืองอุดมศิลป์	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
ผู้ตรวจแบบ	เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
แผ่นที่ 4/13	เครื่องแยกเนื้อสละ ต้นแบบ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

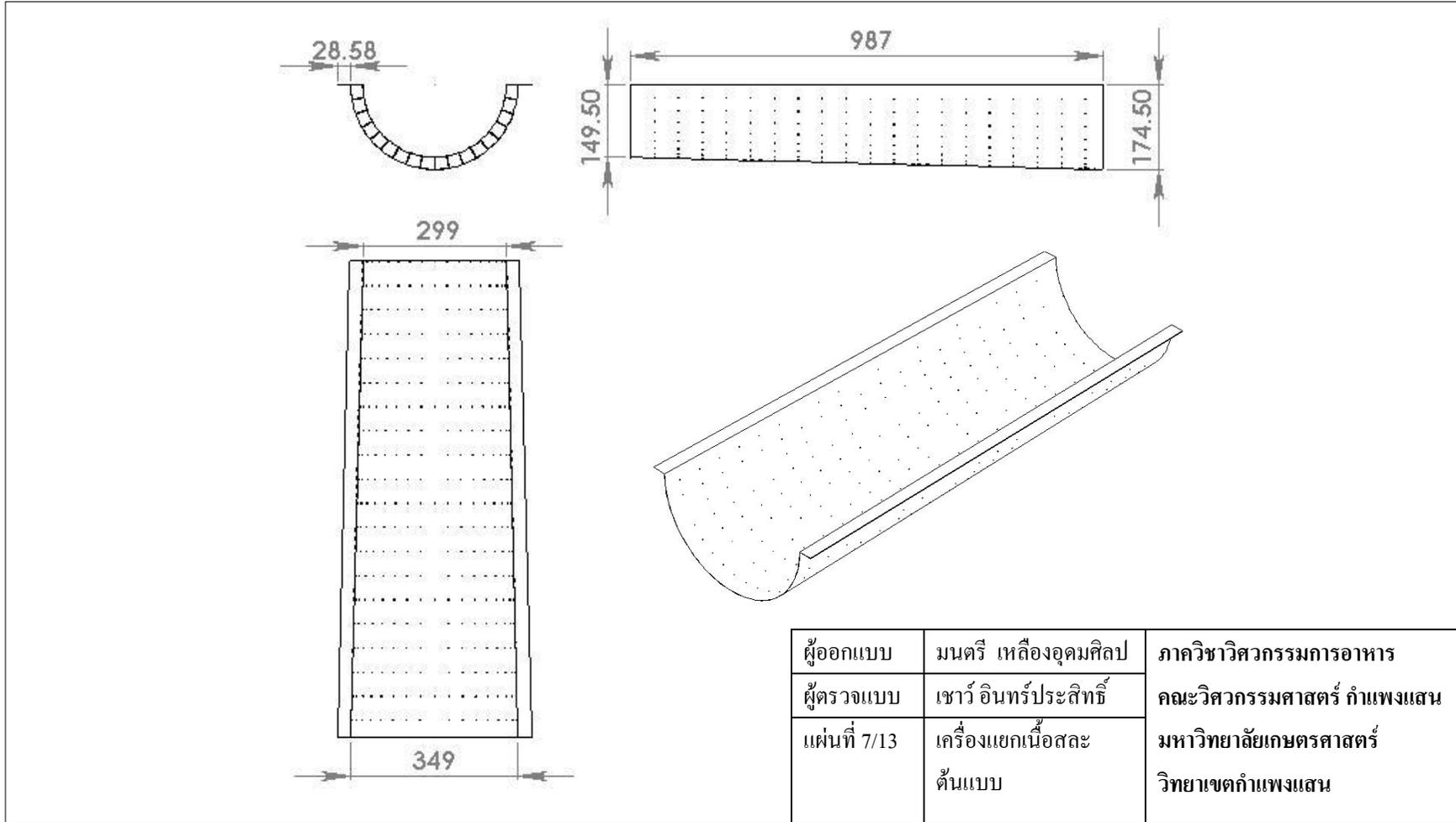
ภาพผนวกที่ ๓ แบบ 3 views standard แสดงรายละเอียดโครงสร้างเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ



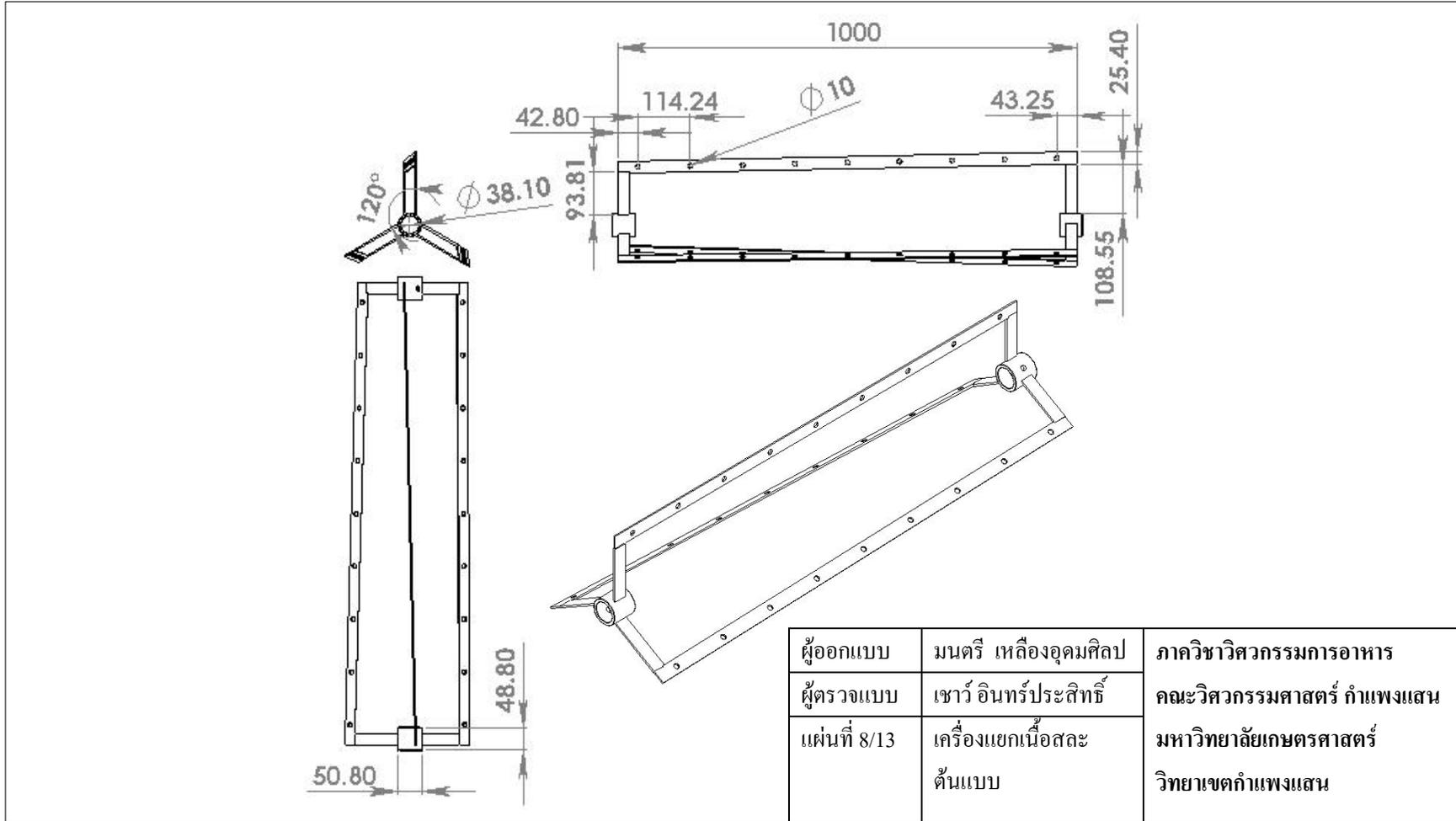
ภาพผนวกที่ ๓5 แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดฝาปิดเครื่องแยกเนื้อสละต้นแบบ



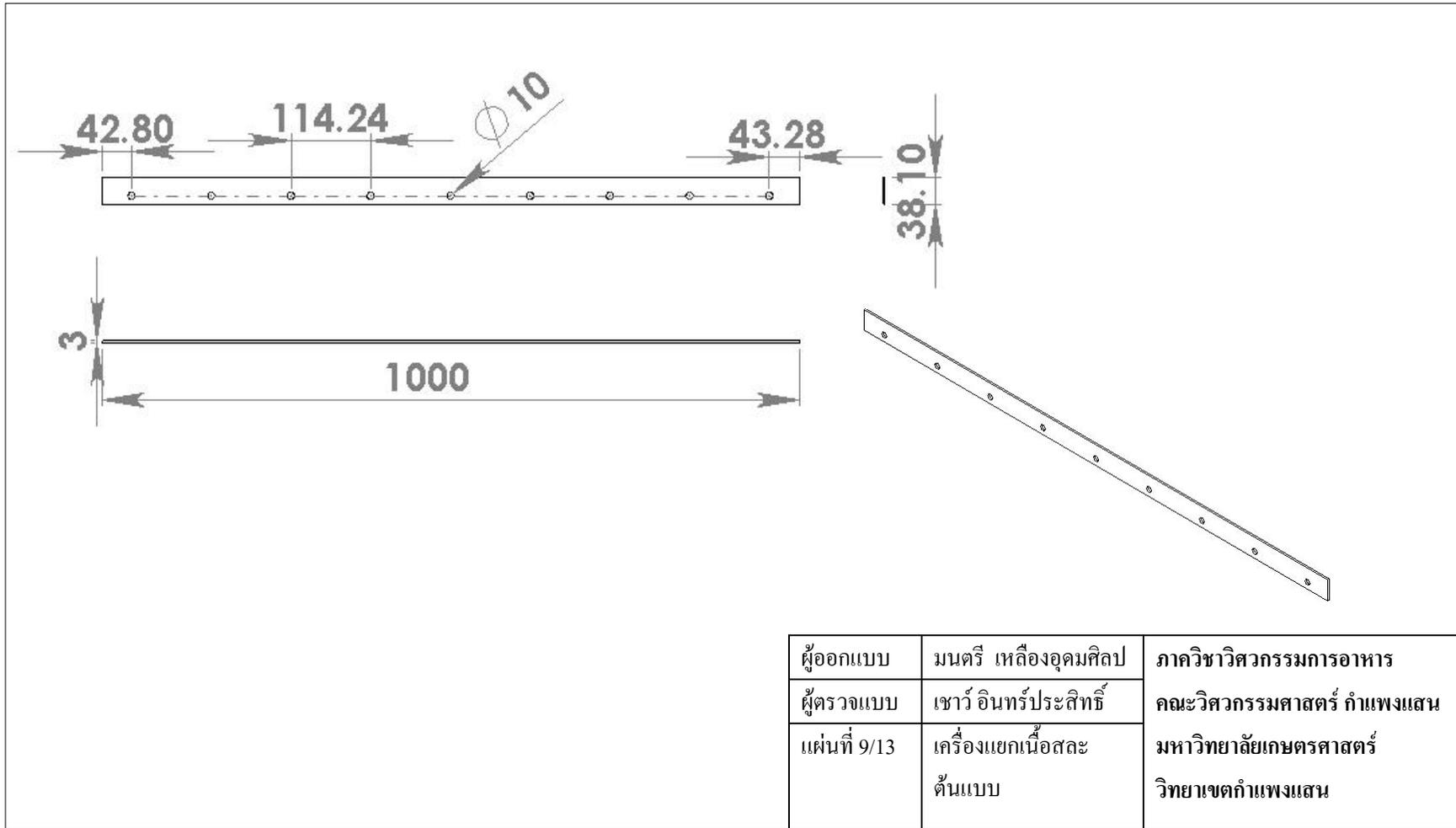
ภาพผนวกที่ ๓6 แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดโครงตะแกรง



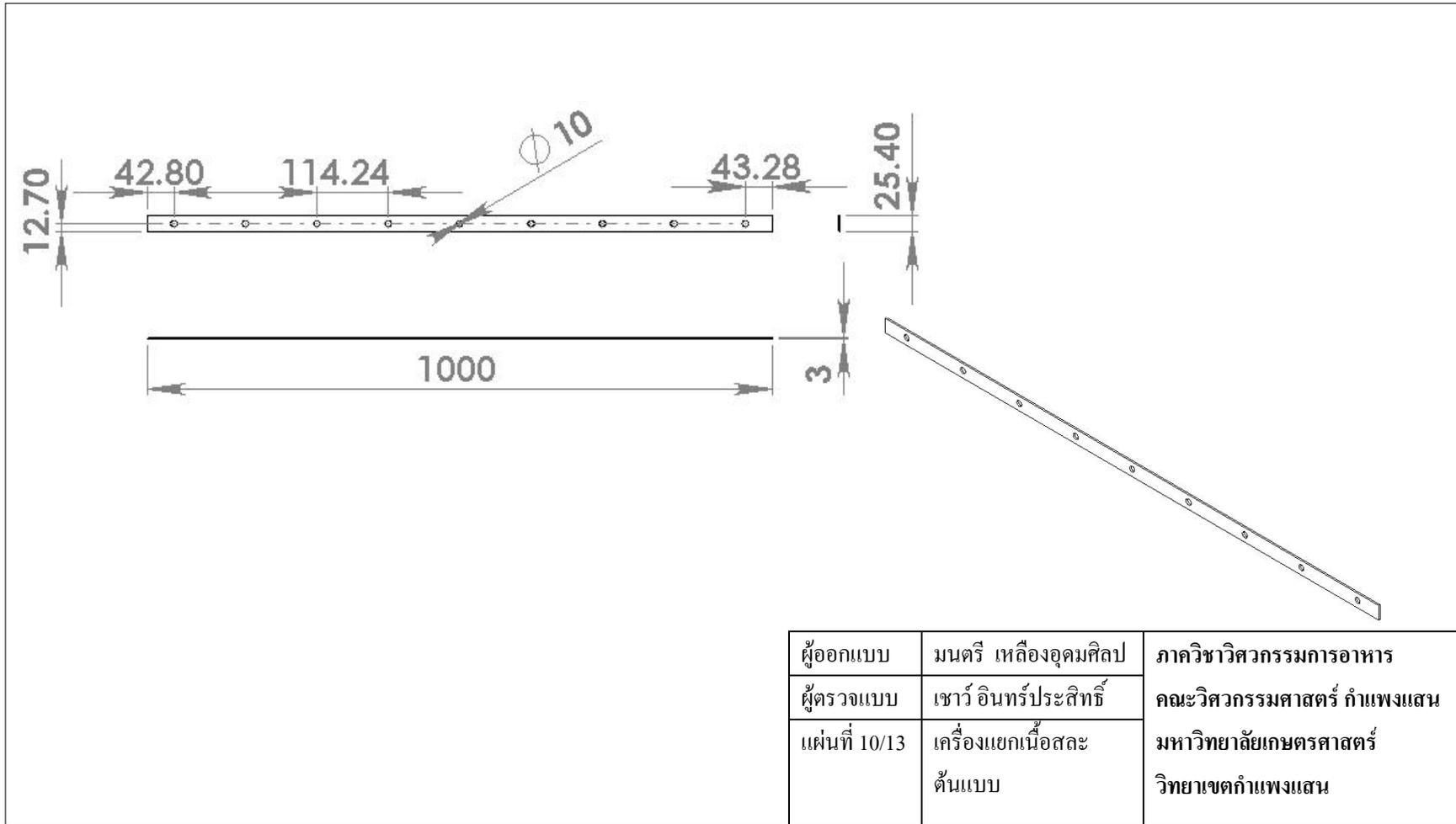
ภาพผนวกที่ ๗ แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม



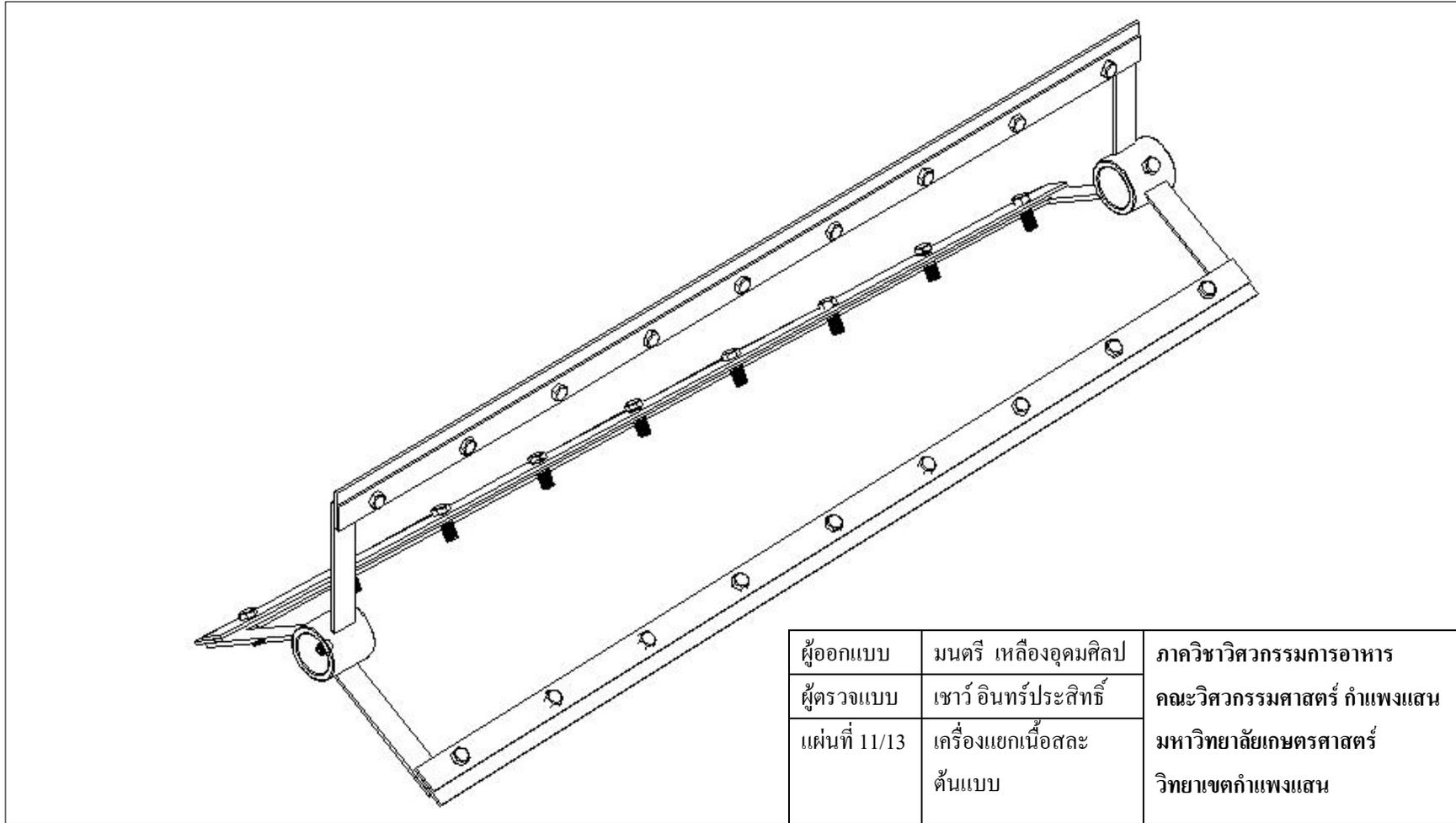
ภาพผนวกที่ ๘ แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดโครงของใบกวาด



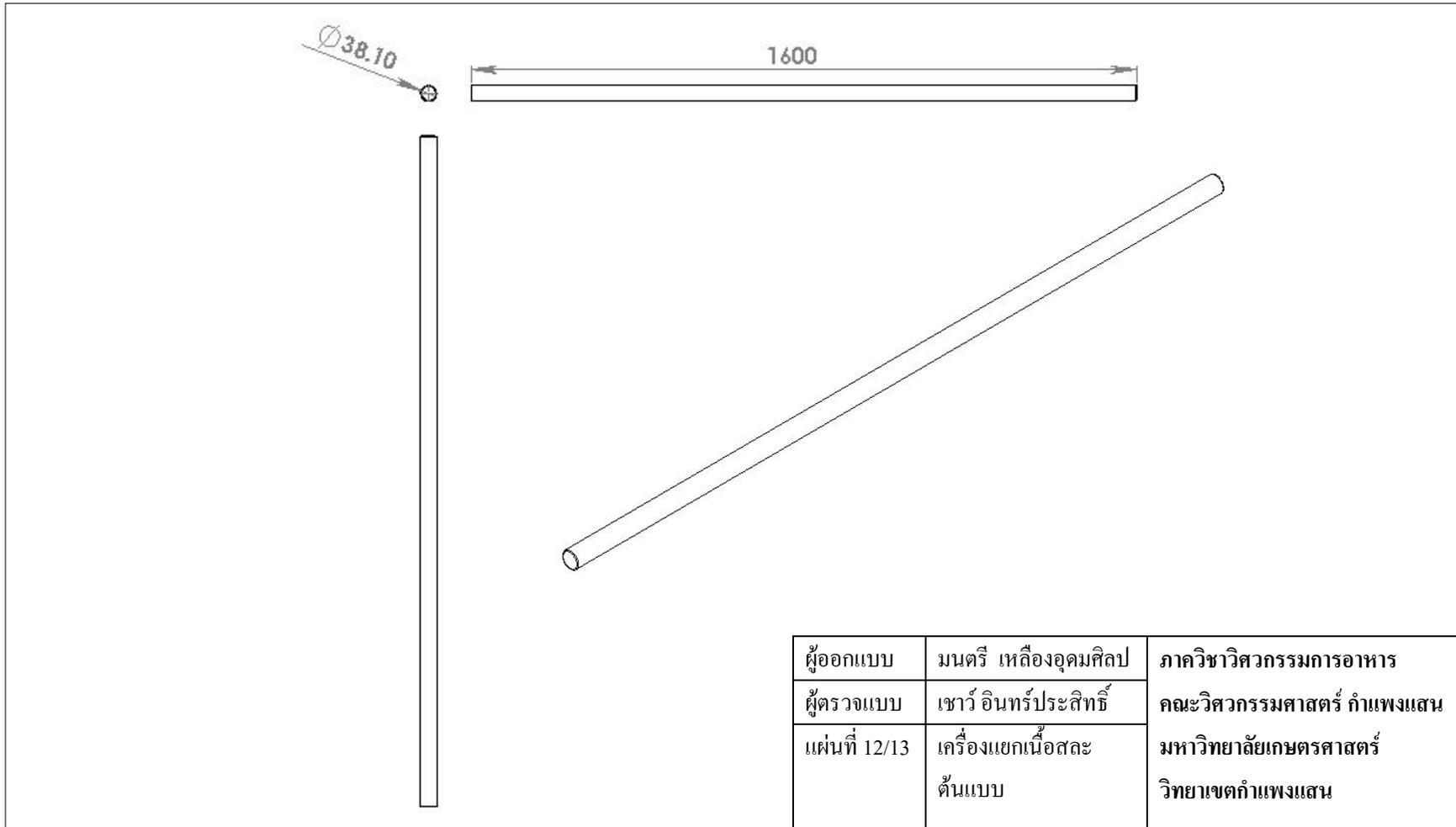
ภาพผนวกที่ ๑๑ แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดใบกวาดซึ่งทำจากยางเทปลอน



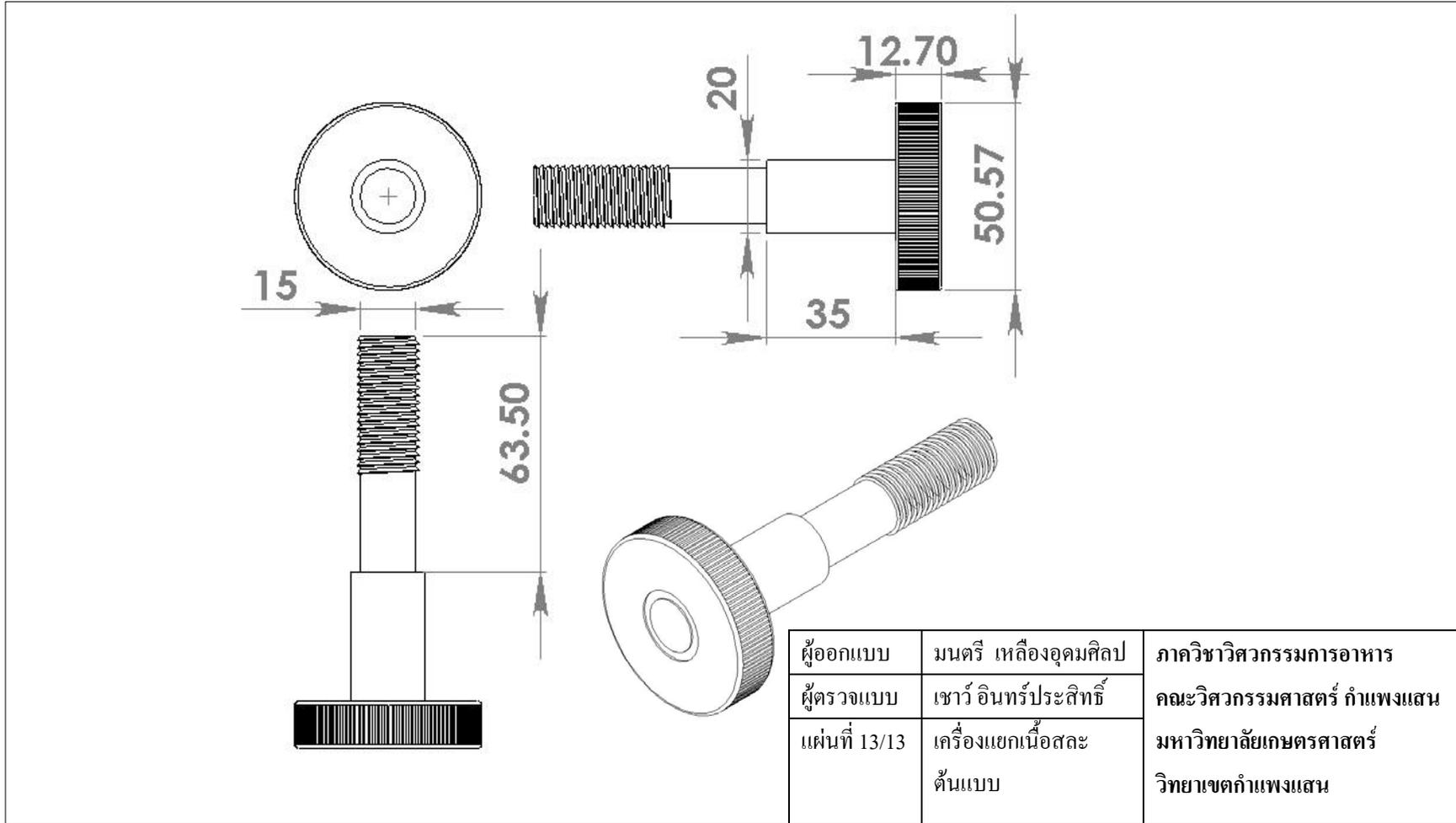
ภาพผนวกที่ ๑๑๐ แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อยึดขางเทปลอนกับโครงใบกวาด



ภาพผนวกที่ ๑๑ แบบ Isometric แสดงรายละเอียดชุดใบกาวัด



ภาพผนวกที่ ๑๒ แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดเพลลา



ภาพผนวกที่ ๑๓ แบบ Isometric และ 3 views standard แสดงรายละเอียดตัวล็อก

ภาคผนวก ฅ

ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นด้วยวิธี Stepwise

ตารางผนวกที่ ๑๑ แสดงสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ด้วยวิธี Stepwise สำหรับการแยกเนื้อสละครั้งที่ 1 ด้วยเครื่อง Pulper-Finisher

Model	Independent variables	Unstandardized Coefficients		Significant	R ²
		B	Standard Error		
1	Constant	-152.116	36.295	0.000	0.486
	n	0.292	0.052	0.000	

หมายเหตุ B = ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

ตารางผนวกที่ ๑๒ แสดงปัจจัยที่ถูกตัดทิ้ง สำหรับการแยกเนื้อสละครั้งที่ 1 ด้วยเครื่อง Pulper-Finisher

Model	Independent variables	Significant
1	Sp ₁	0.841
	m ₂	0.697
	ρ ₁	0.081
	t ₁	0.278
	Sp ₂	0.719
	ρ ₂	0.076
	m ₅	0.428

ตารางผนวกที่ ๓ แสดงสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ด้วยวิธี Stepwise สำหรับการแยกเนื้อสละครั้งที่ 2 ด้วยเครื่อง Pulper-Finisher

Model	Independent variables	Unstandardized Coefficients		Significant	R ²
		B	Standard Error		
1	Constant	-82.559	56.949	0.156	0.144
	Sp ₂	171.407	71.540	0.022	
2	Constant	-136.509	58.698	0.026	0.261
	Sp ₂	156.247	67.814	0.028	
	n	9.428×10^{-2}	0.041	0.029	

หมายเหตุ B = ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

ตารางผนวกที่ ๓๔ แสดงปัจจัยที่ถูกตัดทิ้ง สำหรับการแยกเนื้อสละครั้งที่ 2 ด้วยเครื่อง Pulper-Finisher

Model	Independent variables	Significant
1	Sp_1	0.628
	ρ_1	0.874
	ρ_2	0.335
	m_3	0.240
	m_5	0.491
	t_2	0.307
	n	0.029
2	Sp_1	0.881
	ρ_1	0.637
	ρ_2	0.429
	m_3	0.613
	m_5	0.515
	t_2	0.920