

การศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพ  
การคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว

THE STUDY OF DESIGN PARAMETERS INFLUENCING  
THE PRESSING EFFICIENCY OF COCONUT MILK SCREW PRESS

นางสาวบี๋ชญา สุโกศล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพ  
การคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว

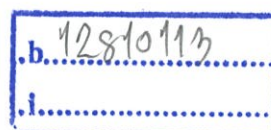
THE STUDY OF DESIGN PARAMETERS INFLUENCING  
THE PRESSING EFFICIENCY OF COCONUT MILK SCREW PRESS



T143873

นางสาวปิยชญา สุโกศล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 143873  
วัน,เดือน,ปี 04 มี.ค. 2559



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

THE STUDY OF DESIGN PARAMETERS INFLUENCING  
THE PRESSING EFFICIENCY OF COCONUT MILK SCREW PRESS

Ms. Pee-Chana Sukosol

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

ปริญญาโทปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว  
The study of design parameters influencing the pressing efficiency of coconut milk  
screw press

ผู้จัดทำ

นางสาวปิยชนา สุโกศล

รหัสนักศึกษา 55010779



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว
	The study of design parameters influencing the pressing efficiency of coconut milk screw press
นักศึกษา	นางสาวปิยชนา สุโกศล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	ปีการศึกษา 2558

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบซึ่งมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว (Screw press) โดยใช้เครื่องคั้นแบบเกลียวเดี่ยวของบริษัทเอเซียติค อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด เป็นตัวอย่างเครื่องจักรในงานวิจัย ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความลึกร่องเกลียว ( $h$ ) ที่เกิดความดันสูงสุด เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ( $D_m$ ) องศาเกลียว ( $\theta$ ) และองศาครีบกเกลียว ( $\theta_n$ ) โดยเปรียบเทียบกับค่าความดันที่เกิดจากเกลียวตามความยาวเกลียวอัด ( $P_r$ ) เนื่องจากความดันดังกล่าวทำให้เกิดการแยกไขมันออกจากเนื้อมะพร้าวชุด ความดันที่สูงขึ้นส่งผลให้สามารถแยกไขมันได้มากขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรโดยเปรียบเทียบความดันที่เกิดจากเกลียวตามความยาวเกลียวอัดที่ส่วนปลายของเกลียวอัด (Plug section) พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย และความลึกร่องเกลียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันตามความยาวเกลียวอัดมีค่าลดลง ในทางกลับกันองศาเกลียวและองศาครีบกเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันตามความยาวเกลียวอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ความลึกเกลียวจะส่งผลต่อความดันมากที่สุดเมื่อมีค่าต่ำกว่า 5 mm เมื่อความลึกเกลียวมีค่ามากกว่า 5 mm มุมเกลียวจะมีอิทธิพลต่อความดันที่เกิดจากเกลียวมากที่สุด

**คำสำคัญ:** เครื่องคั้นแบบเกลียวเดี่ยว ความดันซึ่งเกิดจากเกลียวอัด องศาเกลียว องศาครีบกเกลียว ความลึกร่องเกลียว เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย

**Report title** The study of design parameters influencing the pressing efficiency of coconut milk extruder

**By** Miss Pee-Chana Sukosol

**Advisor** Asst. Prof. Dr.Kiattisak Roonprasang

**Report for** Bachelor's Degree of Food Engineering  
Department of Food Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This research is to study design parameters influencing the pressing efficiency of the coconut milk screw press. The prototype machine is the screw press from the factory of Asiatic Agro Industry Co., Ltd. Parameters for the study are screw depth at the maximum pressure ( $h$ ), mean thread diameter ( $D_m$ ), helix angle ( $\theta$ ) and thread angle ( $\theta_n$ ). When compare the pressured developed by screw thread from all parameters, it gave the result that the pressing behaviour, the pressure developed by screw thread cause the compression of material until it rupture the material cells making the oil escape from grated coconut meat. The variations of studied parameters at plug section present that increment of screw depth and mean thread diameter decrease the pressure developed by screw thread. On the other hand, increasing of helix angle and thread angle rise the pressure developed by screw thread. In conclusion, for screw having screw depth at 5 mm and shallower, the screw depth is the most parameter affecting the pressure developed by screw thread. Conversely, for screw having screw depth more than 5 mm, the helix angle is the most parameter affecting the pressure developed by screw thread.

Keywords: Screw press, Pressure developed by screw thread, Helix angle, Thread angle, Screw depth, Mean thread diameter

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านซึ่งไม่อาจนำมากล่าวได้หมด ผู้มีพระคุณท่านแรกที่ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณคืออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆแก่ข้าพเจ้า

ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านผู้ให้ความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าการศึกษา เพื่อนำความรู้ดังกล่าวมาประกอบการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบพระคุณบริษัท เอเชียติคอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ผู้สนับสนุนด้านวัตถุดิบ เครื่องจักร และข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวผู้ให้โอกาสในการศึกษาและสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดจนสำเร็จการศึกษา

นักศึกษาผู้จัดทำโครงการ

นางสาวปิยชนา สุโกศล

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกนอก (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอพนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญภาพ	IX
สารบัญตาราง	XI
รายการสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้อมูลเบื้องต้น	3
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว	3
2.1.2 ประโยชน์ของกะทิ	4
2.2 การสกัด	4
2.2.1 การสกัดด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียว	6
2.2.2 สมการการออกแบบ	10
บทที่ 3 การตรวจวัด	14
3.1 การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา	14
3.2 เครื่องมือในการศึกษา	14
3.3 ขั้นตอนการตรวจวัด	14

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	15
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	17
4.1 สภาวะการทำงานปัจจุบัน	17
4.2 การศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการออกแบบ	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	26
เอกสารอ้างอิง	27
ภาคผนวก	29

## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงปริมาณการส่งออกกะทิสำเร็จรูป (ร้อยตัน) และมูลค่าของกะทิสำเร็จรูปส่งออก (ล้านบาท) ในปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2557	1
2.1 แสดงกระบวนการคั้นกะทิในอุตสาหกรรมด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียว	6
2.2 แสดงเครื่องคั้นแบบเกลียวแนวนอน	6
2.3 แสดงเครื่องคั้นแบบเกลียวแนวลาดเอียง	7
2.4 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องคั้นแบบเกลียว	7
2.5 แสดงการไหลของวัตถุดิบผ่านส่วนเล็กๆของช่องว่างระหว่างเกลียวและบารเรล	8
2.6 แสดงลักษณะการบีบอัดวัตถุดิบเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียว	9
2.7 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัตถุดิบตามความยาวเกลียวอัด	9
2.8 แสดงลักษณะเกลียว	10
2.9 แสดงการทำสมดุลมวลของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว	11
2.10 แสดงขนาดของเกลียวที่ใช้ในการคำนวณ	11
3.1 แสดงลักษณะของเครื่องต้นแบบของงานวิจัย	14
4.1 แสดงบริเวณที่เกิดการคั้นเมื่อเริ่มต้นเดินเครื่องจักร	17
4.2 แสดงบริเวณที่เกิดการคั้นเมื่อเครื่องจักรทำงานคนที่	18
4.3 แสดงบริเวณที่เกิดปัญหาการไหม้ของกากและกะทิ	19
4.4 แสดงลักษณะเกลียวอัดของเครื่องคั้นแบบเกลียว	19
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระเกลียว (N) และจำนวนรอบเกลียว (rev)	20
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่เกิดการบีบอัด ( $\text{mm}^2$ ) และจำนวนรอบเกลียว (rev)	21
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และจำนวนรอบเกลียว (rev)	22
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และระดับความลึกเกลียว (mm)	24
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย (mm)	24
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และองศาเกลียว ( $^{\circ}$ )	25

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และองศาครีปเกลียว (°)	25

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าจากการตรวจวัดการทำงานของเครื่องจักร	15
4.1 แสดงค่าตัวแปรของเครื่องคั้นที่ได้จากการวัดขณะทำการผลิต	20
4.2 แสดงค่าตัวแปรในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร	23

## รายการสัญลักษณ์

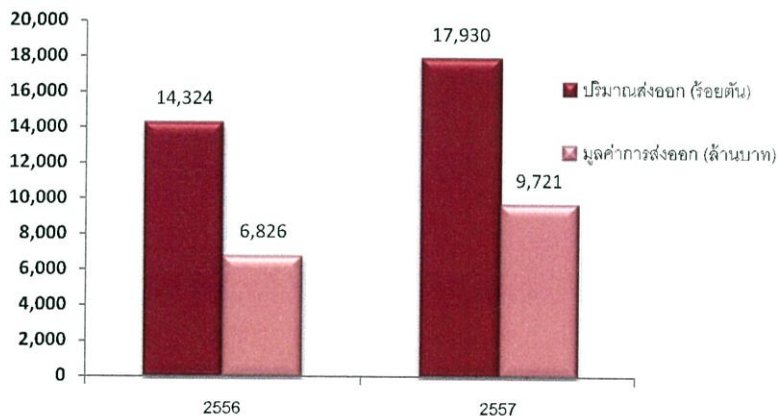
$m_{in}$	น้ำหนักของเนื้อมะพร้าวขูดและน้ำ (kg)
$m_{out}$	น้ำหนักของกะทิและกาก (kg)
$\eta$	ประสิทธิภาพของเครื่องจักร
$d_s$	เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (mm)
$T$	ทอร์กที่ส่งผ่านเกลียว (N)
$\delta_0$	ค่าความเค้นจุดคราก ( $N/mm^2$ )
$D_m$	เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย (mm)
$\mu$	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
$\alpha$	Tapering angle ( $^\circ$ )
$\theta_n$	Thread angle ( $^\circ$ )
$\theta$	Helix angle ( $^\circ$ )
$A_p$	พื้นที่ที่เกิดการบีบอัด ( $mm^2$ )
$h$	ความลึกของเกลียวที่เกิดความดันสูงสุด (mm)
$n$	จำนวนเกลียว
$D_s$	เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (mm)
$P_s$	ระยะห่างระหว่างเกลียว (mm)
$N_s$	ความเร็วรอบของเกลียว (rpm)
$\emptyset$	Filling factor
$\rho$	ความหนาแน่นรวม ( $kg/m^3$ )
$W_e$	ภาระเกลียว (N)
$P_r$	ความดันที่เกิดจากเกลียว (Mpa)
$Q_e$	ความจุ (kg/hr)
$Q_v$	ปริมาตรของเกลียว (kg/hr)
$l_s$	ความยาวเกลียว (mm)
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก = $9.81 \text{ m/s}^2$
$F$	Material factor
$P_e$	กำลังที่ต้องการ (kW)
$P_b$	ความดันที่บารเรลรับได้ (Mpa)
$t$	ความหนาของบารเรล (mm)
$\delta_a$	ค่าความเค้นจุดครากที่ใช้ในการออกแบบบารเรล ( $N/mm^2$ ) = $0.27 \delta_0$
$D_i$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในบารเรล (mm)

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

กะทิเป็นวัตถุดิบสำคัญในการประกอบอาหารคาวและหวานหลายชนิดในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปัจจุบัน ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกกะทิสำเร็จรูปอันดับ 1 ของโลกในปี พ.ศ. 2555 มีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 80 ตามมาด้วยประเทศอินโดนีเซีย และประเทศศรีลังกาตามลำดับ (กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556) และมีการจดทะเบียนผู้ประกอบการแปรรูปกะทิสำเร็จรูปและเครื่องดื่มกะทิทั้งหมด 27 แห่ง (สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555) ในปี พ.ศ. 2556 มีการส่งออกกะทิสำเร็จรูป 143.24 พันตัน คิดเป็นมูลค่า 6,826 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2557 มีการส่งออกกะทิสำเร็จรูป 179.30 พันตัน คิดเป็นมูลค่า 9,721 ล้านบาท (ณัฐธิดา ห้าวหาญ, 2558) ถึงแม้ตลาดการส่งออกกะทิจะมีการขยายตัวแต่ผู้ผลิตกลับต้องนำเข้ามะพร้าวเนื่องจากพื้นที่ปลูกมะพร้าวที่ลดลง ส่งผลให้มะพร้าวไม่เพียงพอต่อความต้องการ (กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556) การนำเข้ามะพร้าวส่งผลกระทบต่อราคามะพร้าวในท้องตลาดที่เพิ่มสูงขึ้น และต้นทุนในการผลิตที่มากขึ้น



รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณการส่งออกกะทิสำเร็จรูป (ร้อยตัน) และมูลค่าของกะทิสำเร็จรูปส่งออก (ล้านบาท) ในปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2557

ขั้นตอนการทำน้ำกะทิในอุตสาหกรรมเริ่มจากการทำความสะอาดมะพร้าวแก่ ผ่าแยกน้ำและของแข็ง (เปลือกนอก, ใบมะพร้าว และกะลามะพร้าว) ออกจากกัน แยกเนื้อจากกะลามะพร้าว ล้างเนื้อมะพร้าวแก่แล้ว จึงขูดเป็นฝอย คั้นกะทิจากเนื้อมะพร้าวขูดฝอยโดยบีบเนื้อมะพร้าวขูดฝอยในน้ำอุ่น กะทิจากการคั้นครั้งแรก

จะเรียกว่า หัวกะทิ มีปริมาณไขมันสูง หลังจากนั้นนำกากจากการคั้นครั้งแรกไปคั้นครั้งต่อไปในน้ำอุ่นได้กะทิที่มีปริมาณไขมันลดลงเรียกว่า หางกะทิ กรองกะทิจากการคั้นแล้วจึงฆ่าเชื้อเตรียมรอการบรรจุ ในระดับอุตสาหกรรมได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องคั้นแบบเกลียว (Screw press) ในขั้นตอนการคั้นกะทิซึ่งมีประสิทธิภาพในการคั้นกะทีย้อยละ 65 - 70 ขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการคั้น ปริมาณน้ำมากประสิทธิภาพในการคั้นสูงในขณะที่กะทิที่ได้มีคุณภาพต่ำเนื่องจากปริมาณไขมันในกะทิต่ำ

เนื่องจากเครื่องคั้นแบบเกลียวที่นำมาใช้ในกระบวนการมาจากการประยุกต์ใช้เครื่องคั้นที่ออกแบบมาสำหรับการคั้นจากวัตถุดิบชนิดอื่นซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน หรือมาจากประสบการณ์ของผู้ผลิตเครื่องจักรจากการสังเกตและปรับปรุงโดยไม่มีการศึกษาถึงลักษณะการทำงานและตัวแปรในการออกแบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลงและไม่แน่นอน ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องคั้นน้ำกะทิเกลียวโดยใช้ปริมาณน้ำที่เท่าเดิมหรือน้อยลงเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องคั้นกะทิเกลียวเดี่ยวในอุตสาหกรรมกะทิ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องต้นแบบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและรูปแบบการทำงาน
2. ศึกษาปัจจัย ได้แก่ ความลึกร่องเกลียว ( $h$ ) องศาเกลียว ( $\theta$ ) องศาครีบกเกลียว ( $\theta_n$ ) และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ( $D_m$ ) ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคั้นของเครื่องคั้นแบบเกลียว
3. ศึกษาความเกี่ยวข้องและความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัย ได้แก่ ความลึกร่องเกลียว ( $h$ ) องศาเกลียว ( $\theta$ ) องศาครีบกเกลียว ( $\theta_n$ ) และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ( $D_m$ ) ที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียว
2. แนวทางในการออกแบบเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
3. ทราบสภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องต้นแบบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบเป็นเนื้อมะพร้าวแก่ชุดฝอย
2. การศึกษาใช้เครื่องคั้นแบบเกลียวเดี่ยว

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

##### 2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว

มะพร้าว (กรมวิทยาศาสตร์และบริการ, 2558)

ชื่อทางวิทยาศาสตร์: *Cocos nucifera* L.

วงศ์: ARECACEAE (ชื่อเดิม: PALMAE)

ชื่อสามัญ: Coconut

ชื่อพื้นเมือง: ดุง (จันทบุรี), โพล (กาญจนบุรี), คอสำ (แม่ฮ่องสอน), เอี้ยจี้ (จีน), หมากอูน, หมากอูน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์: พรรณไม้ยืนต้น ตั้งตรง สูงชะลูด ไม่แตกกิ่งก้านสาขา ลำต้นมีความสูง 20-30 เมตร เปลือกมีลักษณะแข็ง สีเทา ขรุขระ มีรอยแผล ลักษณะใบออกเป็นใบรวม มีใบประกอบ ใบย่อยเป็นแผ่นแคบยาว ปลายใบแหลม ผิวเรียบเป็นมัน สีเขียวแก่ โคนก้านใบใหญ่แผ่เป็นกาบหุ้มลำต้น เรียงสลับในลักษณะขนนกยาว 2-3 ฟุต กว้าง 1-2.5 นิ้ว ใบรวมก้านมีความยาว 3-7 เมตร กว้าง 1-1.4 เมตร ออกดอกเป็นช่อแขนงตามซอกใบ ดอกมีขนาดเล็ก ในหนึ่งช่อมีดอกเพศผู้อยู่บริเวณปลายช่อดอก และดอกเพศเมียอยู่บริเวณโคนช่อดอก ไม่มีก้านดอก ส่วนผลมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือรี ความยาวเฉลี่ย 8-14 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 8-9.5 นิ้ว เปลือกนอกเรียบเกลี้ยง ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใย เปลือกชั้นในเป็นกะลาแข็ง เนื้อผลมีสีขาว นุ่ม ภายในมีน้ำใส มีรสจืดหรือหวาน

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ผลแก่มีอัตราส่วนไขมันในเนื้อสูง นิยมนำมาคั้นเป็นน้ำกะทิ ใช้ในการประกอบอาหารในประเทศแถบเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จีนตอนใต้ แคริบเบียน และอเมริกาตอนใต้ ในอินโดนีเซียมีชื่อเรียกว่า Santan และ Gata ในมาเลเซีย กะทิที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น ลักษณะคล้ายนมวัว ได้จากการสกัดเนื้อมะพร้าวแก่ เนื้อมะพร้าวแก่ที่ใช้ในการคั้นกะทิมีสองชนิด ได้แก่ เนื้อมะพร้าวชุดธรรมดาซึ่งมีส่วนกะลาสีน้ำตาลติดมาด้วย นิยมนำมาคั้นกะทิประกอบอาหารคาว และเนื้อมะพร้าวชุดขาวซึ่งจะไม่มีส่วนกะลาติดมากับเนื้อ นิยมนำมาคั้นกะทิใช้สำหรับขนม หรืออาหารที่ต้องการกะทิที่มีความขาวมากๆ กะทิประกอบด้วยน้ำ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และซีเถ้า โดยมีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำร้อยละ 55 และไขมันร้อยละ 35 ในลักษณะของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion) ส่วนประกอบ

ร้อยละ 10 เป็นของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (Solid non-fat) เมื่อทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้นของน้ำและไขมัน สำหรับกะทิสำเร็จรูปที่วางขายในท้องตลาดจะมีอัตราส่วนไขมันร้อยละ 20-35 (Ampawan Tansakul, Pawinee Chaisawang, 2006) มีการเพิ่มสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) หรือสารให้ความคงตัว (Stabilizer) และผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (Homogenization) เพื่อป้องกันการแยกชั้นของน้ำและน้ำมัน (Jaruwat Simuang, Naphaporn Chiewchan, Ampawan Tansakul, 2004)

### 2.1.2 ประโยชน์ของกะทิ

ในกะทิมีส่วนประกอบของกรดลอริก (Lauric acid) เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอน 12 อะตอม จัดเป็นกรดไขมันสายกลาง (Medium chain fatty acid) สูตรโมเลกุล  $C_{12}H_{24}O_6$  เมื่อกรดลอริกเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนให้เป็น Monolaurin และยังมีส่วนประกอบของกรดคาโปรอิก (Caproic acid) กรดคาปริก (Capric acid) และกรอคาปริลิก (Caprylic acid) มีคุณสมบัติด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค จึงมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันการติดเชื้อและไวรัสต่างๆ และเพิ่มภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551) ขณะเดียวกันกรดไขมันสายกลางจะเกิดการเผาผลาญเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็วที่ตับ กรดไขมันสายกลางจะถูกนำมาใช้อย่างรวดเร็ว มีแนวโน้มต่ำที่จะเกิดการสะสมเป็นไขมันซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเป็นโรคหัวใจ (Jo Lewin, 2015) และมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของต่อมธัยรอยด์ให้ดีขึ้น เกิดความร้อนจาก Thermogenesis ส่งผลให้ร่างกายสามารถเผาผลาญอาหารที่บริโภคเปลี่ยนเป็นพลังงานแทนไขมัน ความร้อนที่เกิดขึ้นช่วยในการสลายไขมันที่สะสมในร่างกาย

เนื่องจากในกะทิประกอบด้วยไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นไขมันลักษณะเดียวกับน้ำมันมะพร้าว ไขมันอิ่มตัวเป็นไขมันอยู่ตัวที่ไม่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน และประกอบด้วยสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ (Antioxidant) ได้แก่วิตามินอี, สารฟีนอล (Phenolic compounds) และสารไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551) กะทิไม่มีส่วนประกอบของโคเลสเตอรอล ซึ่งเมื่อร่างกายได้รับเกินความจำเป็นจะเกิดการสะสมที่บริเวณผนังเส้นเลือดส่งผลให้เกิดสภาวะเส้นโลหิตตีบ โรคหัวใจขาดเลือด หรือความดันโลหิตสูง (ปริยานุช แยมวงศ์)

### 2.2 การสกัด

การสกัดเป็นกระบวนการแยกสารบางชนิดที่ต้องการออกมาจากของผสมโดยใช้ของเหลวชนิดหนึ่งเป็นตัวทำละลาย ละลายสารที่ต้องการออกมาในตัวทำละลาย สามารถแบ่งการสกัดได้ 3 ลักษณะได้แก่ Solid/Liquid Extraction, Liquid/Liquid Extraction และ Acid/Base Extraction

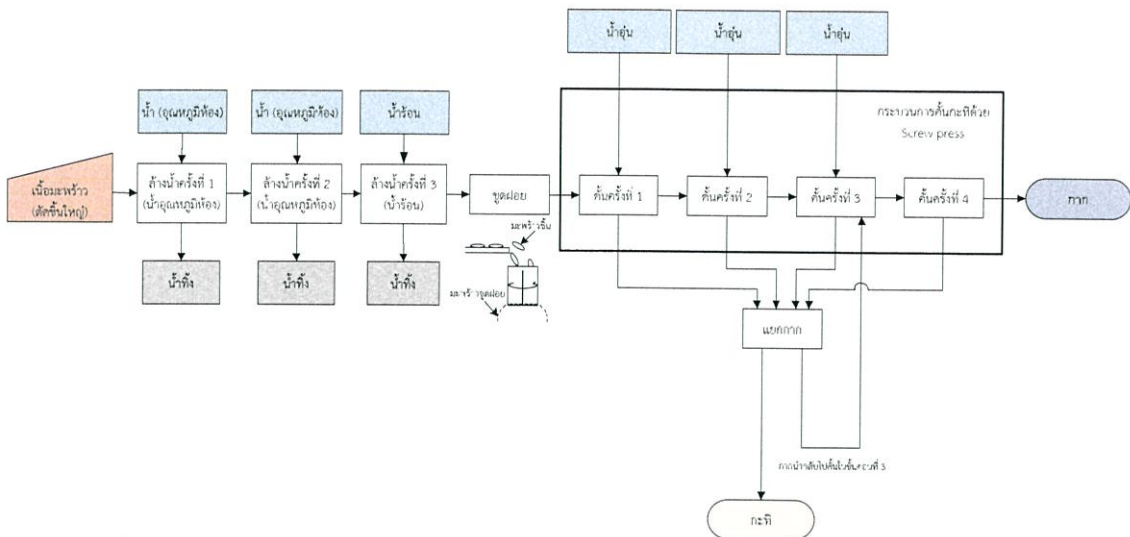
Solid/Liquid Extraction เป็นกระบวนการแยกสารโดยใช้ตัวทำละลายที่มีสถานะเป็นของเหลวที่เหมาะสมสกัดสารที่ต้องการจากสารผสมที่เป็นของแข็ง

Liquid/Liquid Extraction เป็นกระบวนการแยกสารโดยใช้ตัวทำละลายสถานะของเหลวสกัดสารที่ต้องการจากสารผสมที่มีสถานะเป็นของเหลว ตัวทำละลายที่เหมาะสมไม่ควรทำปฏิกิริยากับสารผสมหรือสารสกัด

Acid/Base Extraction กระบวนการที่ใช้ปฏิกิริยากรด-เบสเพื่อแยกสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ กรดกลาง กรดอ่อน และเบสออกจากกัน สารโดยปกติจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกต่างกัน ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดหรือเบสที่เหมาะสมจะเกิดเป็นเกลือในรูปไอออน สามารถละลายน้ำได้ดี สามารถแยกสารที่ไม่แตกตัวอื่น ๆ ได้

โดยการคั่นกะทิเป็นลักษณะการสกัดของเหลวจากของแข็ง เป็นการสกัดน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวขูด ขั้นตอนการคั่นกะทิแบบดั้งเดิมเริ่มจากการนำเนื้อมะพร้าวแก่มาขูดฝอย คั้นครั้งแรกโดยบีบเนื้อมะพร้าวจะได้กะทิที่มีปริมาณไขมันสูง ต่อมาจึงนำมะพร้าวขูดที่ผ่านการบีบแล้วมาคั้นน้ำกะทิอีกครั้งในน้ำอุ่น น้ำอุ่นจะช่วยสกัดไขมันออกจากเนื้อมะพร้าวขูดได้มากขึ้นโดยการเติมน้ำอุ่นในอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อมะพร้าวต่อน้ำหนักน้ำ 2:1 คั้นโดยการใช้มือบีบ และขย่ำสลับกันจนรู้สึกกะทิที่ได้มีความข้น กรองได้กะทิที่มีปริมาณไขมันลดลง มะพร้าวขูดสามารถคั้นน้ำได้ 3-4 ครั้งขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันและน้ำที่ใช้ในการคั้น

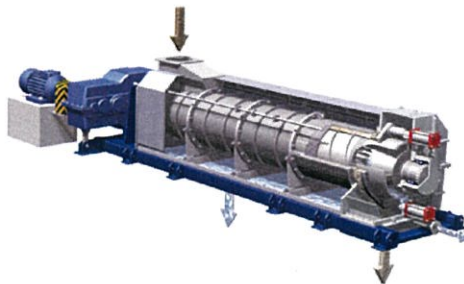
ในปัจจุบันได้มีการออกแบบและประยุกต์ใช้เครื่องจักรในการคั้นน้ำกะทิเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ และลดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานคน เครื่องคั้นน้ำกะทิมี 3 ลักษณะ ได้แก่ หลักการอัดของเกลียว (Screw press) หลักการอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic) และหลักการบีบคั้นด้วยสายพาน (Belt press) คั้นกะทิออกมาจากเนื้อมะพร้าวขูดฝอย เครื่องคั้นกะทิที่ได้รับความนิยมใช้หลักการของเกลียวอัดเนื่องด้วยความสามารถในการผลิตที่ต่อเนื่อง และราคาต่ำกว่า Belt press ในรูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการคั้นกะทิในอุตสาหกรรมโดยใช้เครื่องคั้นแบบเกลียว เริ่มจากการนำเนื้อมะพร้าวซึ่งมีขนาดใหญ่มาทำความสะอาดโดยการล้าง การล้างน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นการล้างสิ่งสกปรก เช่น เศษกะลามะพร้าว ออก การล้างน้ำร้อนเป็นการฆ่าเชื้อเนื้อมะพร้าว ต่อมาเนื้อมะพร้าวจะถูกส่งไปยังเครื่องขูดซึ่งจะทำการขูดเนื้อมะพร้าวให้เป็นฝอยขนาดเล็ก เนื้อมะพร้าวขูดฝอยจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องคั้นแบบเกลียว เครื่องคั้นจะบีบอัดได้กะทิออกมาตามช่องเก็บกะทิ กากยังมีปริมาณไขมันที่มากจะถูกส่งไปคั้นต่อไป ในการคั้นจะมีการเติมน้ำอุ่นเพื่อให้ละลายและพาสารออกจากเนื้อมะพร้าวได้มากขึ้น เนื้อมะพร้าวขูด 1 ขูดจะทำการคั้น 3-5 ครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันที่ต้องการแล้วจึงส่งต่อไปสู่กระบวนการต่อไป



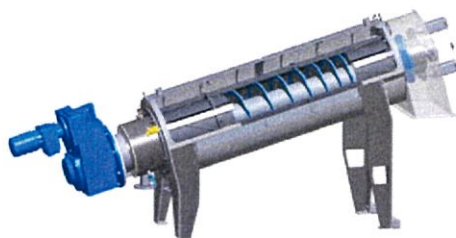
รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการคั้นกะทิในอุตสาหกรรมด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียว

### 2.2.1 การสกัดด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียว

เครื่องคั้นแบบเกลียว (Screw press) มีบาร์เรล (Barrel) ทรงกระบอกกลวงวางตัวในแนวนอน ภายในมีเกลียวอัด (Pressing screw) หมุนโดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง มีครีบกวาดเกลียว (Flight) ในช่วงต้น Flight จะมีความสูงและองศามาก ส่งผลต่อความสามารถในการลำเลียง ความสูงจะลดลงตามลักษณะการทำงาน วัตถุประสงค์จะถูกลำเลียงมายังบริเวณที่ความสูงและองศาครีบกวาดเกลียวลดลงหมายถึงช่องว่างที่น้อยลง ความดันจึงสูงขึ้นทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างผิววัตถุประสงค์ และระหว่างผิววัตถุประสงค์กับพื้นผิวผนังและเกลียว เกิดการบีบอัดขึ้น เนื่องด้วยความดันที่สูงขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับอาหาร ปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างและคุณลักษณะต่างๆ เมื่อวัตถุประสงค์เคลื่อนที่มายังปลายของเกลียวจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านหน้าแปลน (Die) ซึ่งเป็นรูเปิดทางออก สามารถแบ่งส่วนของเกลียวอัดออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ Feed section, Ram section และ Plug section

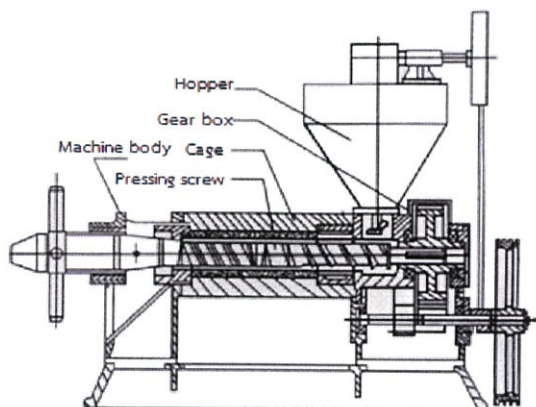


รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องคั้นแบบเกลียวแนวนอน (ANDRITZ GROUP, 2016)



รูปที่ 2.3 แสดงเครื่องคั้นแบบเกลียวแนวลาดเอียง (Hydroflux Huber Pty Ltd, 2016)

เครื่องคั้นแบบเกลียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการวางตัวของบารเรล ได้แก่ เครื่องคั้นแบบเกลียวแนวนอน (Horizontal screw press) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเครื่องคั้นแบบเกลียวแบบลาดเอียง (Huber inclined screw press) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องคั้นแบบเกลียว (Zhengzhou alliance machinery co. Ltd, 2016)

รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องคั้นแบบเกลียว 5 ส่วน คือ เกลียวอัด (Pressing screw) บารเรลหรือตะแกรง (Barrel หรือ Cage) ช่องป้อนวัตถุดิบ (Feed hopper) โครงเครื่องจักร (Machine body) และชุดส่งกำลัง (Power transmitter unit)

ช่องป้อนวัตถุดิบ: รับวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องคั้น อยู่เหนือเกลียวอัด อาจมีอุปกรณ์ป้อน (Feeding device) ช่วยในการควบคุมปริมาณการป้อนวัตถุดิบให้ต่อเนื่องเพื่อรักษาระดับการผลิต

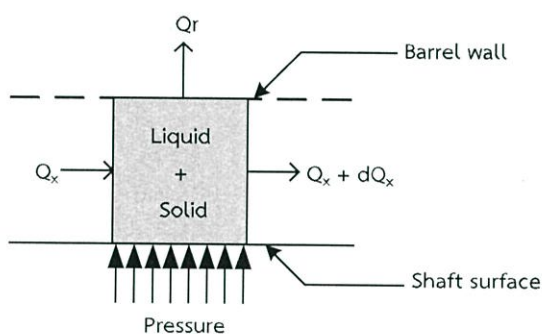
ชุดส่งกำลัง: ทำหน้าที่ส่งกำลังที่ใช้ในการบีบอัดวัตถุดิบเพื่อให้เกิดการคั้นโดยการหมุนเกลียวอัด ควบคุมด้วยความเร็วรอบของเกลียวอัด

ตัวเครื่องจักร: เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักของเครื่องจักร รวมถึงผลิตภัณฑ์จากการคั่น

ตะแกรงหรือบารเรล: ทำหน้าที่รับแรงดันที่เกิดจากเกลียวอัด มีลักษณะเป็นรูตะแกรงให้ของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กสามารถออกมาได้

เกลียวอัด: สร้างแรงดันภายในบารเรลจากการหมุนและบีบอัดปริมาตรของวัตถุดิบ

เมื่อป้อนวัตถุดิบเข้าเกลียวอัดวัตถุดิบจะถูกบีบอัดภายในความดันสูงส่งผลให้เซลล์ถูกทำลาย ของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กสามารถออกจากเซลล์ได้ ในรูปที่ 2.5 แสดงการไหลของวัตถุผ่านส่วนเล็กๆของช่องระหว่างเกลียวและบารเรล เมื่อเกลียวหมุนจะเกิดการลำเลียงวัตถุดิบจากส่วนป้อนไปสู่หน้าแปลน (Die) ระหว่างการหมุนวัตถุจะถูกบีบอัดด้วยเกลียวอัดและผนังบารเรล บอเรลที่ออกจากเซลล์จะถูกแรงดันบังคับให้ไหลในทิศทางมีไปที่บารเรล สารที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่ารูของผนังบารเรลจะไหลออกสู่ช่องรับผลิตภัณฑ์ในขณะที่สารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าจะถูกลำเลียงและบีบอัดภายในแรงดันจนถึงหน้าแปลนแล้วจึงปล่อยออกจากเครื่องจักร

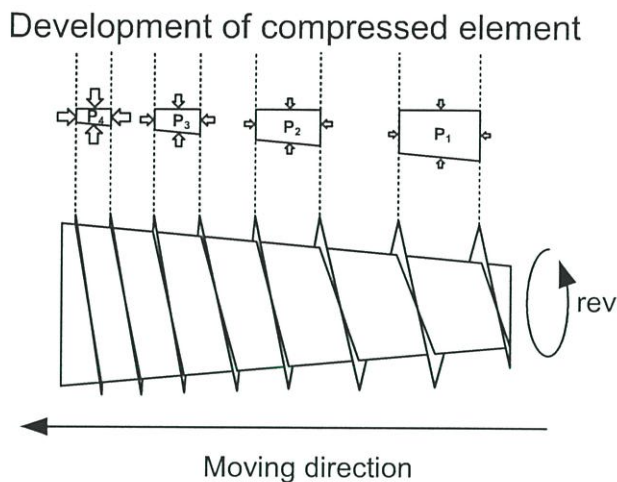


รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของวัตถุผ่านส่วนเล็กๆของช่องว่างระหว่างเกลียวและบารเรล

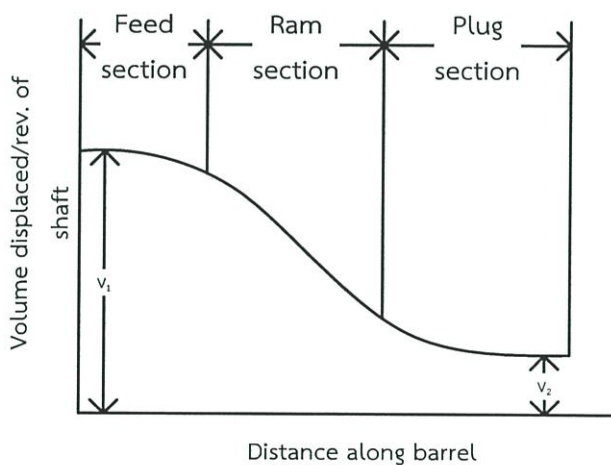
(ดัดแปลงจาก Vadke, V. S., Sosulski, F.W. and Shook, C.A., 1988)

จากรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการบีบอัดวัตถุตามความยาวของเกลียวอัด เมื่อความยาวเกลียวเพิ่มขึ้นเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ความลึกเกลียวแล้วองศาครีบเกลียว (Thread angle) ลดลง ทำให้ช่องว่างระหว่างเกลียวและบารเรลมีขนาดเล็กลง และความดันเพิ่มสูงขึ้น เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปตามความยาวเกลียวจะถูกบีบอัดทำให้ปริมาตรที่ลดลงและความดันที่เพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งสุดท้ายก่อนที่จะถูกปล่อยออกทางหน้าแปลนจะมีความดันสูงสุดและปริมาตรน้อยสุด รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการลดลงของปริมาตรวัตถุตามความยาวของเกลียวอัด ในส่วนแรก (Feed section) จะเกิดการบีบอัดน้อยเนื่องจากมีช่องว่างอากาศระหว่างชิ้นวัตถุดิบ ส่วนนี้จึงมีจุดประสงค์หลักเพื่อลำเลียงวัตถุเข้าสู่เครื่องจักร ส่วนที่สอง (Ram section) จะเกิดการบีบอัดมากเนื่องจากช่องว่างอากาศถูกบีบอัดจนวัตถุติดกัน และถูกบีบอัดต่อเนื่องจนเกิดการทำลายเซลล์ขึ้น

ในส่วนนี้ยังไม่เกิดการค้ำขึ้น เมื่อวัตถุเข้าสู่ส่วนสุดท้าย (Plug section) จะเกิดการค้ำขึ้นเนื่องจากเซลล์ที่ถูกทำลายทำให้ช่องว่างในเซลล์ลดลง และถูกบีบอัดต่อเนื่องภายใต้แรงดันสูงจนกระทั่งเป็นของแข็งที่มีลักษณะค่อนข้างแข็งจึงถูกปล่อยออกที่หน้าแปลน



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการบีบอัดวัตถุดิบเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียว

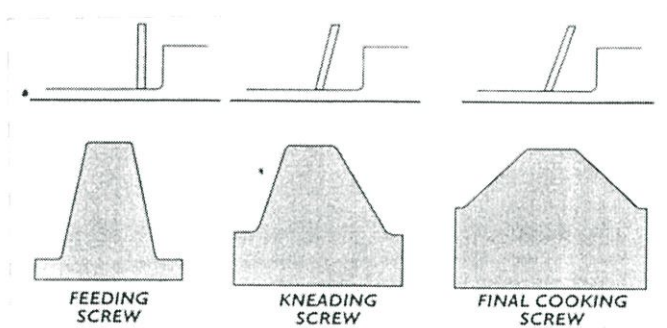


รูปที่ 2.7 แสดงการลักษณะเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัตถุดิบตามความยาวของเกลียวอัด

(Singh, J. and Bargale, P.C., 2000)

ในการออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียว ลักษณะของเกลียวส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นส่วนที่สร้างความดันที่ใช้ในการคั้น ความดันที่ไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถทำลายเซลล์ของวัตถุดิบ หรือสามารถทำลายได้ที่บริเวณส่วนปลายของเกลียว ส่งผลให้ไม่สามารถคั้นหรือ

สามารถคั้นได้น้อย ต้องนำวัตถุดิบผ่านการอัดหลายครั้งเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ต้องการ เครื่องจักรจึงมีประสิทธิภาพต่ำ ลักษณะเกลียวของเครื่องคั้นแบบเกลียวคล้ายลักษณะเกลียวของเครื่องดันผ่านเกลียว (Extruder) เนื่องจากมีหลักการในการทำงานที่ใช้ความแตกต่างของความดันเช่นเดียวกัน รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะเกลียวของเครื่องดันผ่านเกลียวในส่วนแรก (feed section) ส่วนที่สอง (Knead section) และ ส่วนสุดท้าย (Final section) เกลียวในส่วนแรกจะมีความลึกมากที่สุด เกลียวตื้น ระยะห่างระหว่างครีบกเกลียวมาก สามารถลำเลียงวัตถุดิบได้ดี เกลียวในส่วนที่สองจะมีความลึกน้อยลง องศาครีบกเกลียวลดลง วัตถุดิบจะถูกอัด และมีความหนาแน่นสูงขึ้น เกลียวในส่วนนี้มีความสามารถในการผสมมากขึ้น และระยะห่างระหว่างครีบกเกลียวลดลง ในส่วนสุดท้ายเกลียวจะตื้นมากที่สุด องศาเกลียวน้อย ระยะห่างระหว่างครีบกเกลียวน้อยที่สุด วัตถุดิบมีความหนาแน่นมากที่สุดในช่วงสุดท้ายและถูกปล่อยออกทางหน้าแปลน



รูปที่ 2.8 ลักษณะเกลียว (Main N. Raiz., 2000)

### 2.2.2 สมการการออกแบบ

ในการออกแบบเครื่องจักรจำเป็นต้องทำสมดุลมวลเพื่อประเมินกำลังการผลิต ปริมาณวัตถุดิบ และประสิทธิภาพของเครื่องจักร รูปที่ 2.9 แสดงการทำสมดุล

สมการสมดุลมวลของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว

$$m_{in} = m_{out} \quad [1]$$

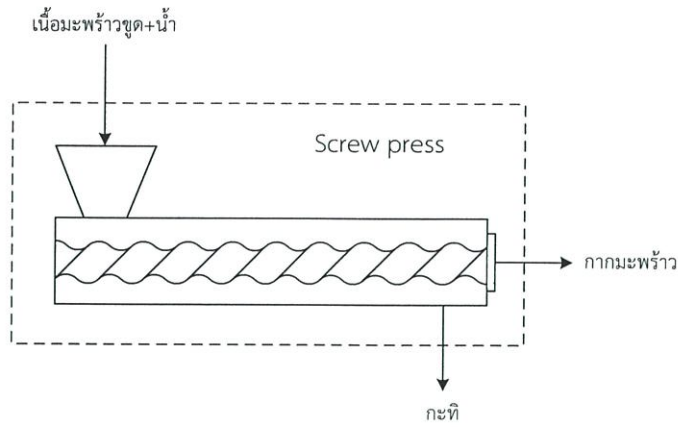
เมื่อ  $m_{in}$  หมายถึง น้ำหนักของเนื้อมะพร้าวขูดและน้ำ (kg)

$m_{out}$  หมายถึง น้ำหนักของกะทิและกาก (kg)

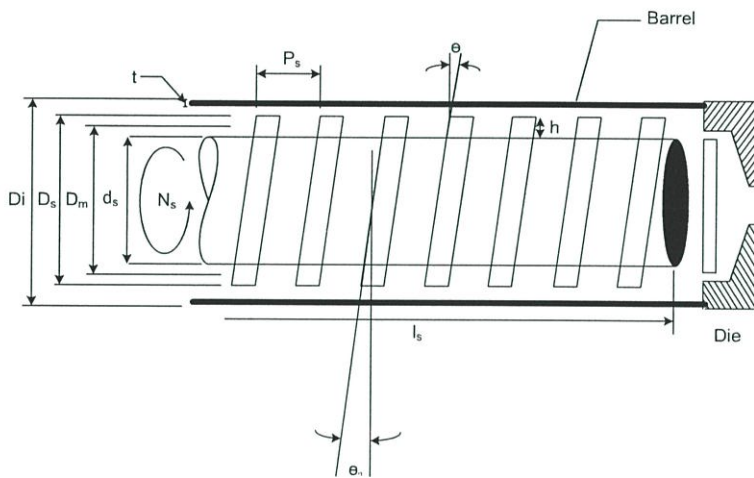
สมการประสิทธิภาพของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว

$$\eta = \frac{m_{in}}{m_{out}} \quad [2]$$

เมื่อ  $\eta$  หมายถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักร



รูปที่ 2.9 แสดงการทำสมดุลมวลของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว



รูปที่ 2.10 แสดงขนาดของเกลียวที่ใช้ในการคำนวณ

รูปที่ 2.10 แสดงขนาดของเกลียวที่ใช้ในการคำนวณสมการในการออกแบบโดยมีตัวแปรสำคัญดังต่อไปนี้

- $d_s$  หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (mm)
- $T$  หมายถึง ทอร์กที่ส่งผ่านเกลียว (N)
- $\delta_0$  หมายถึง ค่าความเค้นจุดคราก ( $N/mm^2$ )
- $D_m$  หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย (mm)
- $\mu$  หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
- $\alpha$  หมายถึง Tapering angle ( $^\circ$ )
- $\theta_n$  หมายถึง Thread angle ( $^\circ$ )
- $\theta$  หมายถึง Helix angle ( $^\circ$ )
- $A_p$  หมายถึง พื้นที่ที่เกิดการบีบอัด ( $mm^2$ )
- $h$  หมายถึง ความลึกของเกลียวที่เกิดความดันสูงสุด (mm)

$n$	หมายถึง จำนวนเกลียว
$D_s$	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (mm)
$P_s$	หมายถึง ระยะห่างระหว่างเกลียว (mm)
$N_s$	หมายถึง ความเร็วรอบของเกลียว (rpm)
$\emptyset$	หมายถึง Filling factor
$\rho$	หมายถึง ความหนาแน่นรวม ( $\text{kg/m}^3$ )
$W_e$	หมายถึง ภาระเกลียว (N)
$P_r$	หมายถึง ความดันที่เกิดจากเกลียว (Mpa)
$Q_e$	หมายถึง กำลังการผลิต (kg/hr)
$Q_v$	หมายถึง ปริมาตรของเกลียว (kg/hr)
$l_s$	หมายถึง ความยาวเกลียว (mm)
$g$	หมายถึง ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก = $9.81 \text{ m/s}^2$
$F$	หมายถึง Material factor
$P_e$	หมายถึง กำลังที่ต้องการ (kW)
$P_b$	หมายถึง ความดันที่บารเรลรับได้ (Mpa)
$t$	หมายถึง ความหนาของบารเรล (mm)
$\delta_a$	หมายถึง ค่าความเค้นจุดครากที่ใช้ในการออกแบบบารเรล ( $\text{N/mm}^2$ ) = $0.27 \delta_0$
$D_i$	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในบารเรล (mm)

การออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียวมีสมการในการออกแบบซึ่งสามารถคำนวณค่าทางวิศวกรรมต่างๆที่ส่งผลต่อการสร้างเครื่องจักรดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวที่เหมาะสมเมื่อมีทอร์คขนาด  $T$  ส่งผ่านเกลียวซึ่งทำจากวัสดุที่มีค่าความเค้นจุดครากเท่ากับ  $\delta_0$  โดยมอเตอร์

$$d_s = 16T/(0.27\pi \delta_0) \quad [3]$$

ภาระเกลียว (Load lifted by screw) หมายถึงภาระที่เกลียวสามารถรับได้เมื่อใช้มอเตอร์ที่มีการส่งกำลัง (ทอร์ค) ขนาด  $T$  เกลียวมีสัมประสิทธิ์ความฝืด  $\mu$  มีมุมครีบกเกลียวเท่ากับ  $\theta$  และมุมเกลียวเท่ากับ  $\theta_n$  ซึ่งทำให้เกิด Tapering angle เท่ากับ  $\alpha$  และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย  $D_m$

$$W_e = T \frac{\frac{D_m}{2} \tan \theta + \frac{\mu}{\cos \alpha}}{1 - \mu \tan \theta \cos \alpha} \quad [4]$$

$$\text{เมื่อ} \quad \alpha = \tan^{-1}(\tan \theta_n \cos \theta) \quad [5]$$

พื้นที่ที่เกิดการบีบอัดทั้งหมดเมื่อเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย  $D_m$  มีจำนวนรอบเกลียวเท่ากับ  $n$  และร่องเกลียวมีความลึก  $h$  เมื่อองศาเกลียว และองศาครีบเกลียวมีค่าคงที่

$$A_p = \pi D_m n h \quad [6]$$

ความดันที่เกิดจากเกลียวที่ภาระเกลียว  $W_e$  และมีพื้นที่ที่เกิดการบีบอัดทั้งหมด  $A_p$

$$P_r = W_e / A_p \quad [7]$$

ปริมาณการผลิตของเครื่องจักรในทางทฤษฎีที่เกลียวเริ่มต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว  $d_s$  และปลายเกลียวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว  $D_s$  เกลียวมีระยะห่างระหว่างเกลียว  $P_s$  ทำงานที่ความเร็วรอบ  $N_s$  วัสดุเติมมี Filling factor เท่ากับ  $\phi$  และความหนาแน่นเท่ากับ  $\rho$

$$Q_e = 60 \frac{\pi}{4} (D_s^2 - d_s^2) P_s \phi \rho \quad [8]$$

กำลังที่ต้องใช้ในการคั้น หมายถึงกำลังที่มอเตอร์ต้องการในการทำงานของเครื่องที่มีปริมาตรเกลียว  $Q_v$  ความยาวเกลียว  $l_s$  วัสดุที่บีบอัดมีความหนาแน่น  $\rho$  และ Material factor เท่ากับ  $F$

$$P_e = 4.5 Q_v l_s \rho g F \quad [9]$$

ความดันที่บาเรลต้องรับ หมายถึงความดันที่ใช้ในการออกแบบบาเรลโดยที่ไม่เกิดความเสียหาย

$$P_b = 2t \delta_a / D_i \quad [10]$$

## บทที่ 3

### การตรวจวัด

#### 3.1 การกำหนดตัวแปรที่ศึกษา

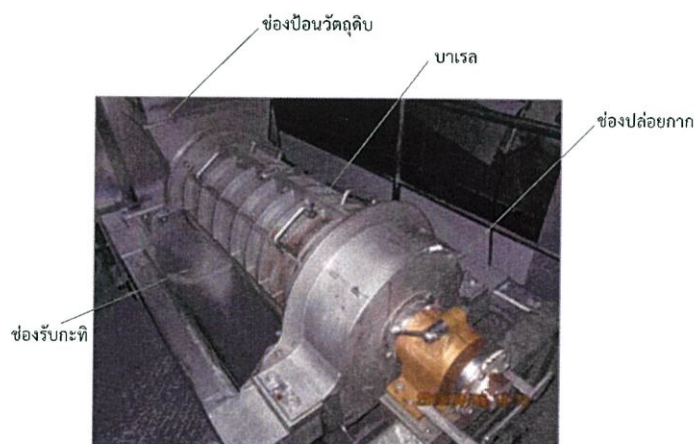
การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษากำหนดจากสมการทางทฤษฎี (สมการที่ [1] ถึง สมการที่ [10]) โดยตัวแปรที่เลือกใช้ในการศึกษาได้แก่ ความลึกร่องเกลียว ( $h$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ( $D_m$ ) องศาเกลียว ( $\theta$ ) และองศาครีบกเกลียว ( $\theta_n$ ) เพราะตัวแปรดังกล่าวมีผลต่อพื้นที่ในการบีบอัด ซึ่งส่งผลต่อความดันที่เกลียวสามารถสร้างได้ และเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงอัตราส่วนการอัดซึ่งใช้ในการออกแบบ

#### 3.2 เครื่องมือในการศึกษา

3.2.1 เนื้อมะพร้าวขูดฝอย

3.2.2 เครื่องคันกะทิต้นแบบ โรงงานผลิตกะทิสำเร็จรูปอัมพวา บริษัทเอเชีย อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด

#### 3.3 ขั้นตอนการตรวจวัด



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของเครื่องต้นแบบของงานวิจัย

เข้าตรวจวัดเครื่องต้นแบบซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 เครื่องจักรมีช่องป้อนวัตถุดิบอยู่ด้านข้างเหนือเกลียวอัด เนื้อมะพร้าวขูดจะถูกลำเลียงด้วยเกลียวและเกิดการบีบอัดขึ้น เกลียวอัดจะหมุนอยู่ภายในบาเรล กะทิจะออกจากบาเรลซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรงและไหลตามแรงโน้มถ่วงเข้าสู่ช่องรับกะทิ กากจะถูกปล่อยออกที่ช่องปล่อยกากเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป การตรวจวัดเริ่มจากการสังเกตลักษณะการทำงานของเครื่องจักร และ

วัดค่าตัวแปรที่จำเป็น ได้แก่ องศาเกลียว ( $\theta$ ) องศาครีบเกลียว ( $\theta_n$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวภายนอก ( $D_s$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว ( $d_s$ ) ความลึกร่องเกลียว ( $h$ ) ทอร์คที่ส่งผ่านเกลียว ( $T$ ) ความยาวเกลียว ( $l_s$ ) และ ความเร็วรอบเกลียว ( $N_s$ ) เพื่อใช้ในการคำนวณและเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อหาความดันที่เกิดจากเกลียวอัด การวัด จะทำเมื่อเครื่องจักรกำลังทำงานเพื่อให้สามารถวิเคราะห์สภาวะการทำงานปัจจุบันได้ใกล้เคียงมากที่สุด

### 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 3.5.1 การวิเคราะห์สภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องจักร

ในการวิเคราะห์สภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องจักรเพื่อประเมินและนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรต่อไป โดยหาความดันที่เกิดขึ้นจากเกลียวอัด และสังเกตลักษณะการค้ำของเครื่องจักร ค่าที่ได้จากการเข้าตรวจวัดแสดงใน ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการตรวจวัดการทำงานของเครื่องจักร

มอเตอร์	ขนาด	60 Hp
	Voltage	380 – 400 V
	Power factor	0.9-0.95
เครื่องจักร	ความเร็วรอบเกลียว	380 rpm
	Helix angle	10 °
	Thread angle	21 °
	เส้นผ่านศูนย์กลางต้นเกลียว	200 mm
	เส้นผ่านศูนย์กลางปลายเกลียว	325 mm
	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในบารเรล	345 mm
	จำนวนเกลียว	8 เกลียว
	ความยาวเกลียว	1350 mm
	ความลึกร่องเกลียวต้นเกลียว	30 mm
	ความลึกร่องเกลียวปลายเกลียว	5 mm
อัตราการผลิต	การค้ำครั้งที่ 1	2000 kg/hr.
	การค้ำครั้งที่ 2	1000 kg/hr.
	การค้ำครั้งที่ 3	700-800 kg/hr.
	การค้ำครั้งที่ 4	700-800 kg/hr.

### 3.5.2 การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษาต่อการทำงานของเครื่องจักร

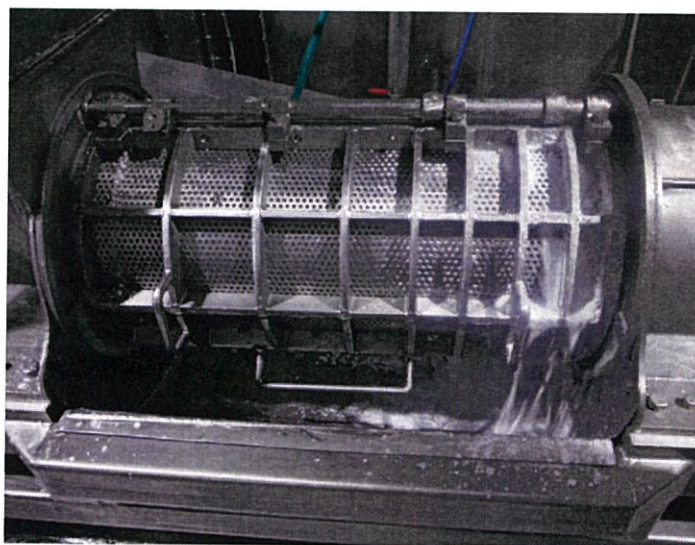
วิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ศึกษา โดยเลือกช่วงสุดท้ายของเกลียว (Plug section) ในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเนื่องจากตัวแปรในช่วงดังกล่าวมีค่าคงที่ เป็นช่วงที่เกิดการคั่น และเกิดความดันสูงสุดในเครื่องจักร โดยเปรียบเทียบค่าความดันที่เกิดจากเกลียวอัดซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการบีบอัดและการคั่นในเครื่องคั่นแบบเกลียว

## บทที่ 4

## การวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 4.1 สถานะการทำงานปัจจุบัน

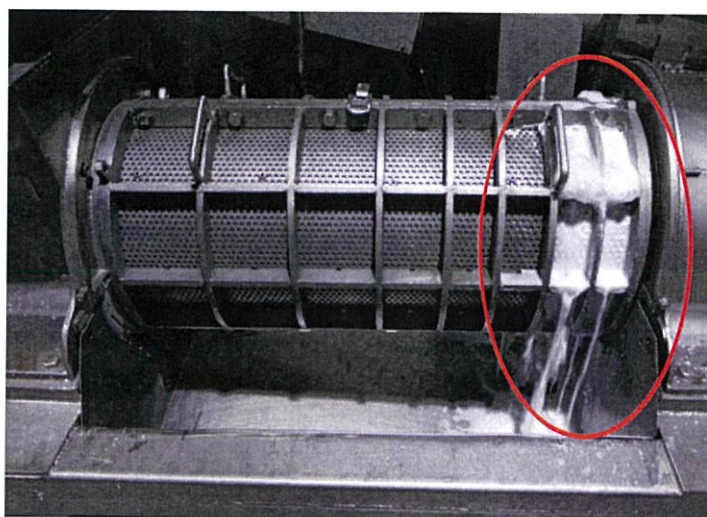
จากการเข้าตรวจวัดในโรงงานและได้สังเกตการทำงานของเครื่องคั่นกะทิขณะผลิต รูปที่ 4.1 แสดงการทำงานของเครื่องคั่นในระยะเวลาเริ่มต้น ในช่วงแรกของการคั่นกะทิจะสามารถคั่นได้น้อยเนื่องจาก เครื่องคั่นแบบเกลียวจะเริ่มการคั่นเมื่อป้อนวัตถุดิบจนเต็มการลำเลียงของเกลียวและเกิดการบีบอัดจนกระทั่งระดับความดันที่เกลียวสร้างขึ้นเพียงพอในการทำลายเซลล์ของวัตถุดิบ เมื่อเริ่มเดินเครื่องจักรจึงมีเนื้อมะพร้าวชูดส่วนหนึ่งสูญเสียบไปเพื่อสร้างความดันให้เพียงพอ ความดันที่สร้างได้ในช่วงแรกต่ำทำให้สามารถคั่นกะทิออกจากเนื้อมะพร้าวชูดได้น้อย จากการสังเกตลักษณะโครงสร้างของเครื่องจักรพบว่าบารेलมีลักษณะเป็นรูปตะแกรงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm กรองเนื้อมะพร้าวชูดที่มีขนาดใหญ่ไม่ให้ออกจากบารेल ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของกะทิ และบริเวณที่เกิดความดันสูงสุดจะอยู่ช่วงปลายบารेलเพราะมีการเพิ่มโครงสร้างเสริมความแข็งแรงป้องกันไม่ให้บารेलเสียหายจากความดันที่เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงบริเวณที่เกิดการคั่นเมื่อเริ่มเดินเครื่องจักร

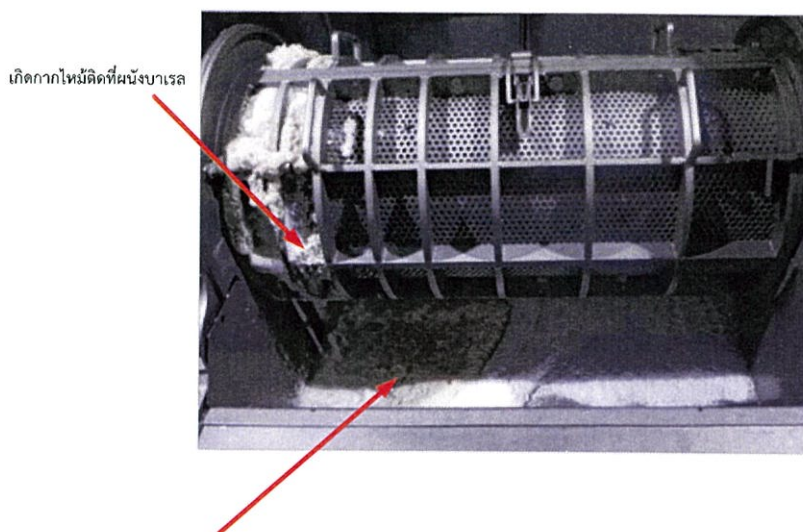
เมื่อเดินเครื่องจักรไปจนถึงระยะเวลาหนึ่ง ความดันที่เกลียวสร้างขึ้นภายในบารेलจะคงที่ทำให้เกิดการคั่นอย่างสม่ำเสมอในช่วงระยะความยาวที่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สามารถสังเกตได้ว่าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพในการคั่นต่ำ เนื่องจากตะแกรงมีตลอดทั้งความยาวเกลียว แต่ส่วนที่เกิดการคั่นออกมามีเพียงช่วงปลายของเกลียว แสดงให้เห็นว่าช่วงเกลียวก่อนที่จะเกิดการคั่นสร้างความดันไม่เพียงพอ จากประสิทธิภาพที่

ลดลงทำให้ต้องนำเนื้อมะพร้าวชูดไปผ่านการคั้นหลายครั้งเพื่อให้ได้ผลผลิตสกัดกลับ (Recovery yield) ที่ต้องการ ซึ่งเป็นข้อเสียเปรียบของเครื่องจักร ปัญหาดังกล่าวเกิดจากการประยุกต์ใช้เครื่องคั้นที่ออกแบบมาเพื่อคั้นน้ำผลไม้ประเภทส้มซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เนื้อของผลไม้ประเภทส้มมีโครงสร้างเซลล์ที่แข็งแรงน้อยกว่าโครงสร้างเซลล์ของเนื้อของมะพร้าวชูด ในกระบวนการคั้นผลไม้ประเภทส้มจึงต้องการความดันที่ต่ำกว่าการคั้นกะทิจากเนื้อมะพร้าวชูด



รูปที่ 4.2 แสดงบริเวณที่เกิดการคั้นเมื่อเครื่องจักรทำงานคงที่

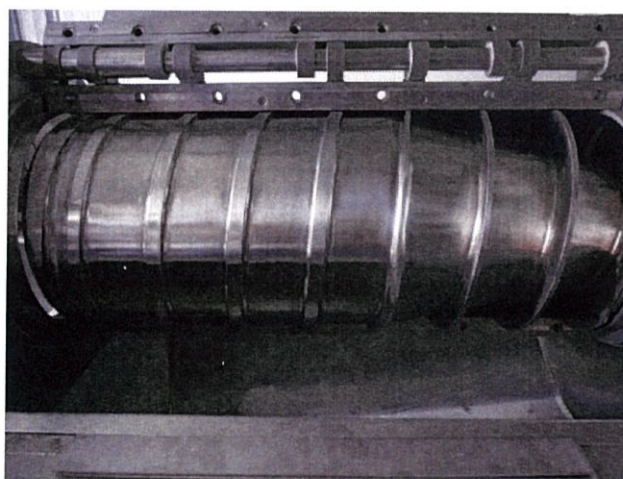
เพื่อแก้ปัญหากำลังการผลิตที่น้อย ใช้ระยะเวลาและพลังงานที่มาก ซึ่งเป็นต้นทุนการผลิต ทางโรงงานจึงปรับระยะหน้าแปลน และความเร็วรอบของเครื่องคั้น ระยะหน้าแปลนที่น้อยลงและความเร็วรอบที่สูงขึ้นส่งผลให้สามารถสร้างความดันภายในบารเรลได้สูงขึ้น เพราะอัตราการปล่อยกากน้อยลง และอัตราการบีบอัดเพิ่มขึ้น ทำให้การคั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการปรับดังกล่าวส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานซึ่งเพิ่มความร้อนให้แก่วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวมีความไวต่ออุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากแรงเสียดทานส่งผลให้เกิดการไหม้ของเนื้อมะพร้าวชูดและกะทิดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื้อมะพร้าวชูดที่ไหม้จะเกาะติดกับผิวบารเรล ในระยะแรกกะทิจะสามารถออกมาได้น้อย และผสมกับส่วนที่ไหม้ลงไปสู่ช่องรับกะทิ และผสมกับกะทิที่คั้นไว้ก่อนหน้าทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพลดลงจนถึงอาจเสียทั้งชุดการผลิต ต่อมาเนื้อที่เกิดการไหม้ที่เกาะติดบริเวณบารเรลจะให้กะทิไม่สามารถไหลออกมาได้ และความดันภายในบารเรลจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเครื่องจักรทำงานต่อไปเรื่อย ๆ อาจทำให้เครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหายได้



เกิดการผสมของกะทิไหม้ลงในช่องรับกะทิ

รูปที่ 4.3 แสดงบริเวณที่เกิดปัญหาการไหม้ของกากและกะทิ

รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเกลียวของเครื่องคั้นแบบเกลียว ในช่วงแรกเกลียวจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวที่น้อย และค่อยๆ เพิ่มจนคงที่ที่บริเวณส่วนสุดท้ายของเกลียวซึ่งเกิดการคั้น ความลึกร่องเกลียวจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ที่เกลียวส่วนสุดท้ายเช่นกัน ในการออกแบบเกลียวอัดที่เหมาะสมควรออกแบบเกลียวที่สร้างความดันเพียงพอในการคั้นตั้งแต่ช่วงกลางของเกลียว เนื่องจากยังต้องมีระยะที่ใช้เพิ่มความดันจนถึงระดับที่เหมาะสมจึงไม่สามารถให้การคั้นเกิดตั้งแต่ช่วงแรกของเกลียวอัด



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเกลียวอัดของเครื่องคั้นแบบเกลียว

ในการเข้าตรวจวัดเครื่องจักรในโรงงานโดยวัดค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาขณะเครื่องจักรทำการผลิต เพื่อวิเคราะห์สภาวะการทำงานปัจจุบันได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.1

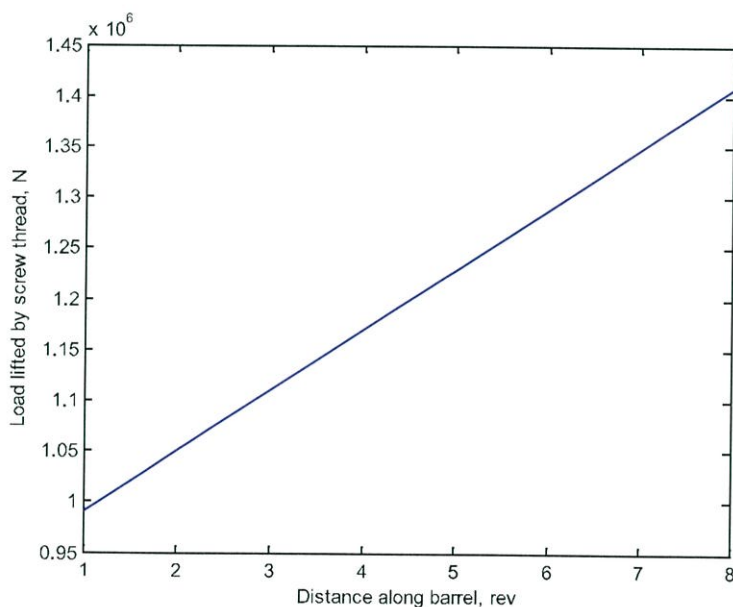
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าตัวแปรของเครื่องคั้นที่ได้จากการวัดขณะทำการผลิต

ตัวแปร	ค่า
ขนาดมอเตอร์	60 Hp
Helix angle	10 °
Thread angle	21 °
เส้นผ่านศูนย์กลางต้นเกลียว	200 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางปลายเกลียว	325 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในบาร์เรล	345 mm
จำนวนเกลียว	8 เกลียว
ความยาวเกลียว	1350 mm
ความลึกร่องเกลียวที่ต้นเกลียว	30 mm
ความลึกร่องเกลียวที่ปลายเกลียว	5 mm
ความเร็วรอบเกลียว	380 rpm

จากการคำนวณในสมการที่ [5]

$$\alpha = \tan^{-1}(\tan\theta_n \cos\theta)$$

เมื่อ  $\theta$  มีค่า  $10^\circ$  และ  $\theta_n$  มีค่า  $21^\circ$  จะได้  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ  $20.71^\circ$



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระเกลียว (N) และความยาวเกลียวตามบาร์เรล (rev)

รูปที่ 4.5 แสดงผลของการคำนวณภาระเกลียวตามสมการที่ [4]

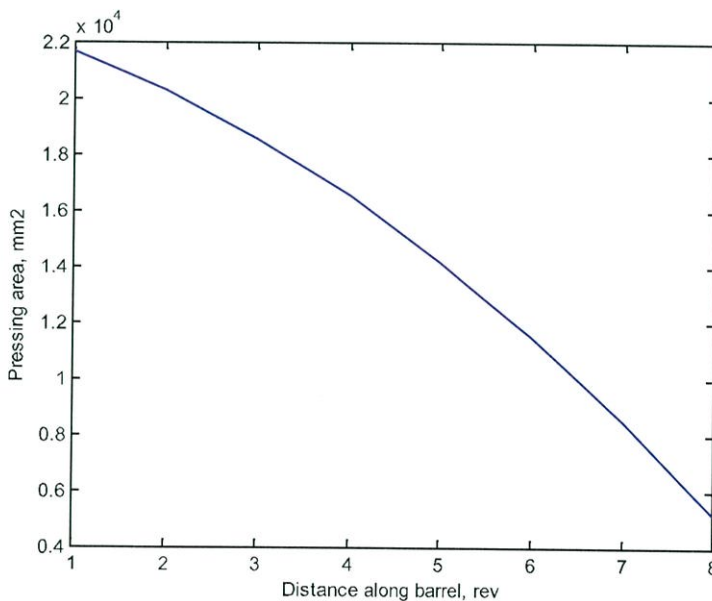
$$W_e = T \frac{\frac{D_m \tan \theta + \mu}{2 \cos \alpha}}{1 - \mu \tan \theta \cos \alpha}$$

เมื่อ T มีค่า 60 Hp  $D_m$  มีค่าเปลี่ยนแปลงเพราะเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียว และระดับความลึกร่องเกลียวลดลงจากตำแหน่งเริ่มต้นไปถึงตำแหน่งสุดท้าย  $\theta$  มีค่า  $10^\circ$   $\theta_n$  มีค่า  $21^\circ$  ค่า  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ  $20.71^\circ$  จากการคำนวณสมการที่ [5] และค่า  $\mu$  มีค่า 0.58 เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทำเกลียวเป็นสแตนเลสเพราะมีการสัมผัสอาหารโดยตรง ค่าภาระเกลียวที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นเพราะในการทำงานของเกลียว ที่ความยาวเกลียวอัดเพิ่มขึ้นเกลียวจะรับภาระแรงดันเพิ่มขึ้น ภาระเกลียวที่เกลียวสามารถรับได้มีความสัมพันธ์กับขนาดของมอเตอร์ ที่ตำแหน่งสุดท้ายของเกลียวก่อนปล่อยกากออกจากหน้าแปลนมีภาระเกลียว 1,408.29 kN หมายถึงที่ตำแหน่งปลายของเกลียวที่สภาวะการทำงานปัจจุบันซึ่ง T มีค่า 60 Hp และ  $D_m$  มีค่า 330 mm ภาระที่เกลียวสามารถรับได้ หรือยกได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1,408.29 kN

รูปที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณพื้นที่บีบอัดตามสมการที่ [6] ของร่องเกลียว 1 ร่องตามความยาวเกลียวที่เพิ่มขึ้น

$$A_p = \pi D_m h$$

เมื่อ h มีค่าลดลงตามความยาวเกลียว และ  $D_m$  มีค่าเปลี่ยนแปลงเพราะเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียว และระดับความลึกร่องเกลียวลดลงจากตำแหน่งเริ่มต้นไปถึงตำแหน่งสุดท้าย ทำให้พื้นที่บีบอัดของเกลียว 1 ร่องลดลงตามความยาวของเกลียวเพื่อลดปริมาตรวัตถุดิบให้เกิดการบีบอัดและสร้างความดันที่ใช้ในการสกัดของเหลวออกจากระบบ

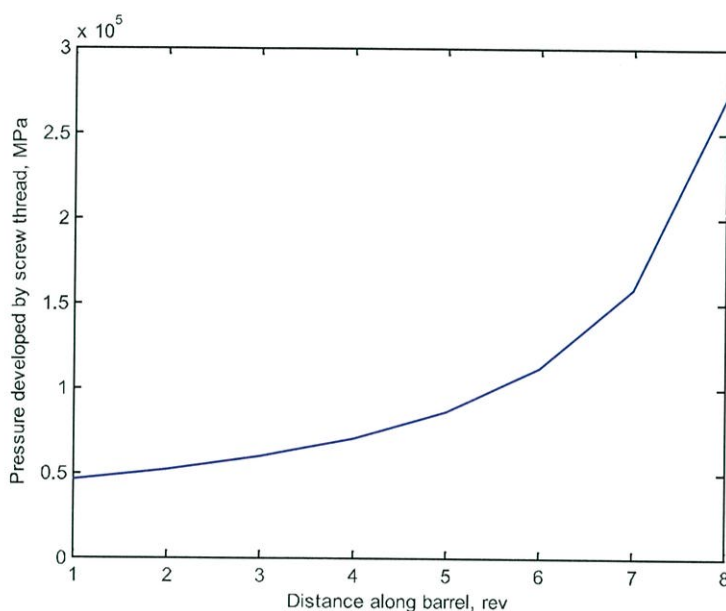


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่เกิดการบีบอัด ( $\text{mm}^2$ ) และจำนวนรอบเกลียว (rev)

รูปที่ 4.7 แสดงความดันที่เกลียวสร้างขึ้นตามความยาวจากสมการที่ [7]

$$P_r = W_e/A_p$$

จากกราฟพบว่าความดันจะเพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียว ในช่วงแรกความดันจะเพิ่มขึ้นน้อย เพราะเกลียวถูกออกแบบมาเพื่อการลำเลียงวัสดุเข้าไปสู่เครื่องจักร เกลียวสามารถสร้างความดันได้สูงขึ้นเมื่อความยาวเกลียวเพิ่มขึ้น และสร้างความดันได้มากที่สุดที่ส่วนปลายเกลียวซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการคั่นขึ้น ความดันที่เพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียวอ้างอิงจากสมการที่ [7] ภาวะเกลียวเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 และพื้นที่การบีบอัดต่อ 1 ร่องเกลียวที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.6 ส่งผลให้เมื่อป้อนวัสดุเข้าไปสู่เครื่องจักร วัสดุจะเกิดการบีบอัดอย่างต่อเนื่องภายใต้แรงดันที่สูงขึ้นจนกระทั่งถูกปล่อยออกที่หน้าแปลน



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และจำนวนรอบเกลียว (rev)

ที่สภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องจักรพบว่า ความดันสุดท้ายที่เกลียวสร้างก่อนปล่อยวัสดุออกไปที่หน้าแปลนคือ 271.11 GPa มีอัตราส่วนการอัดซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความลึกร่องเกลียวของตำแหน่งเริ่มต้นต่อความลึกร่องเกลียวที่ตำแหน่งปลายเกลียวเท่ากับ 6

จากการสังเกตการณ์ทำงานของเครื่องจักรพบว่าเกลียวที่เริ่มมีการคั่นกะที่ได้คือตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 ซึ่งจากรูปที่ 4.5 ที่ตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 มีการรับภาระ 1,288.88 kN จากรูปที่ 4.6 ที่ตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 มีพื้นที่ในการบีบอัด 11,506.45 mm<sup>2</sup> และจากรูปที่ 4.7 ที่ตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 มีความดันที่เกิดจากเกลียวอัด 112.01 GPa จากค่าที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ในตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 ซึ่ง

เริ่มมีการค้ำกันที่เกิดขึ้นมีอัตราส่วนการอัตราความถี่ของเกลียวที่ตำแหน่งเริ่มต้นต่อความถี่ของเกลียวที่ตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 เท่ากับ 2.47

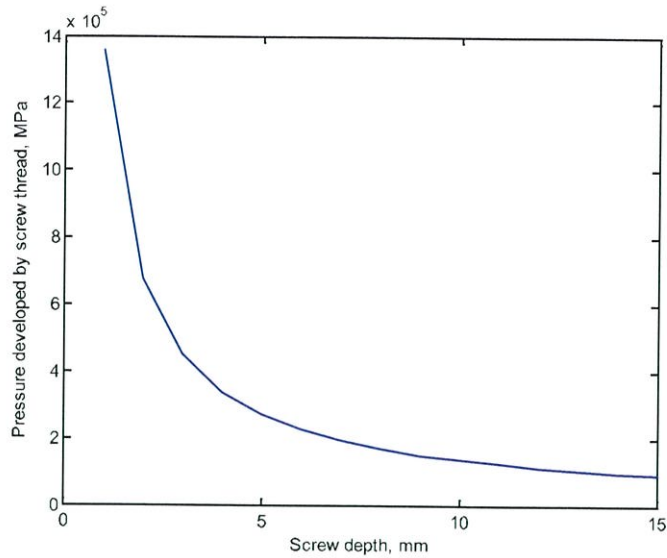
#### 4.2 การศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการออกแบบ

ในการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการออกแบบ ได้แก่ องศาเกลียว ( $\theta_n$ ) องศาครีบเกลียว ( $\theta$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ( $D_m$ ) และความถี่ของเกลียว ( $h$ ) เพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อความดันที่สร้างตามความยาวเกลียวอัด โดยช่วงเกลียวที่เลือกศึกษาคือช่วงสุดท้ายของเกลียว เนื่องจากช่วงดังกล่าวเกลียวมีค่าตัวแปรดังกว่าคงที่ และเป็นช่วงที่มีความดันสูง เกิดการบีบอัดมาก ทำให้เป็นช่วงที่เกิดการค้ำกันขึ้น โดยกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ศึกษาแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวแปรในการคำนวณการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการออกแบบ

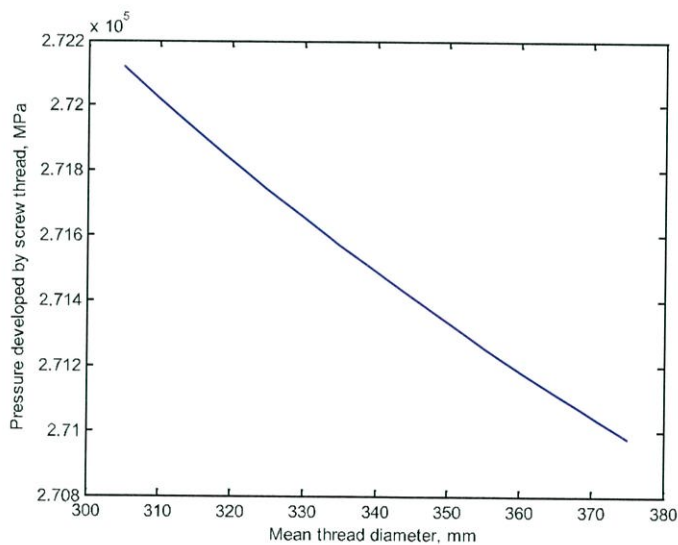
ตัวแปร	ค่า
ขนาดมอเตอร์	60 Hp
Helix angle	10 °
Thread angle	21 °
เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย	330 mm
ความถี่ของเกลียว	5 mm

จากรูปที่ 4.8 พบว่าในช่วงสุดท้ายของเกลียว ความถี่ของเกลียวที่มากขึ้นทำให้แนวโน้มความดันที่เกลียวสร้างขึ้นลดลง ลักษณะการลดลงของความดันจะมีมากในช่วงแรกจนกระทั่งถึงระดับความถี่ที่ 5 mm ความชันของกราฟจึงลดลง เมื่อความถี่ของเกลียวลดลง ความสามารถในการค้ำกันของเครื่องจักรจึงลดลงตามไปด้วย จากสมการที่ [6] เมื่อร่องเกลียวมีความถี่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่ในการบีบอัดเพิ่มขึ้น จากสมการที่ [7] เมื่อพื้นที่บีบอัดของเกลียวเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความดันที่สามารถสร้างได้ลดลงที่ภาระเกลียวคงที่ และจากการพิจารณากราฟ ที่ระดับความถี่ของเกลียวตั้งแต่ 5 mm ลงไป ความถี่ของเกลียวมีอิทธิพลต่อระดับความดันที่เกลียวสามารถสร้างได้มาก ที่ระดับความถี่ของเกลียวมากกว่า 5 mm อิทธิพลของตัวแปรต่อความดันจะลดลง



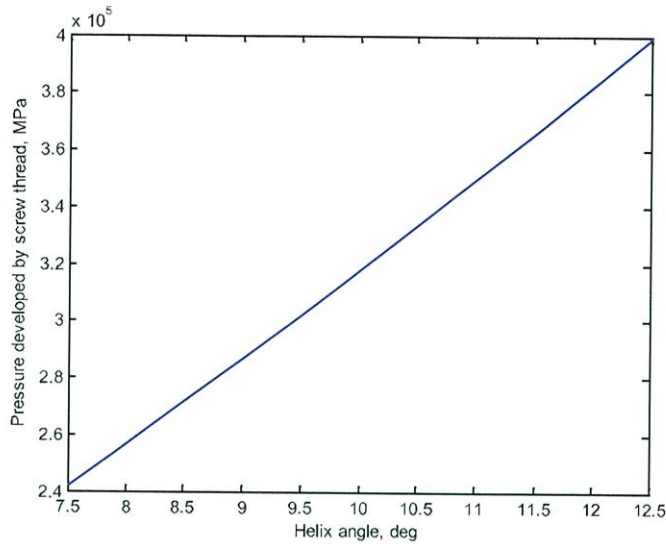
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และระดับความลึกเกลียว (mm)

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ที่ส่วนสุดท้ายของเกลียวอัด เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น ทำให้แนวโน้มความดันที่เกิดจากเกลียวอัดลดลง โดยลักษณะการลดลงของกราฟจะค่อนข้างคงที่ เมื่อพิจารณาสมการที่ [4] และสมการที่ [6] พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ยส่งผลให้ภาวะเกลียวและพื้นที่บีบอัดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาสมการที่ [7] และกราฟที่มีแนวโน้มของความดันลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่บีบอัดมากกว่าภาวะเกลียว



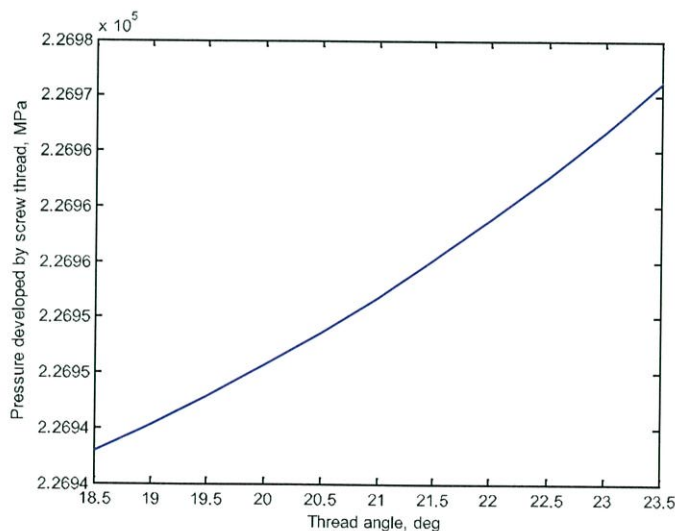
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย (mm)

ในรูปที่ 4.10 ที่ส่วนสุดท้ายของเกลียวอัด เมื่อองศาเกลียวเพิ่มมากขึ้น ความดันที่เกิดจากเกลียวอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาสมการที่ [4] และสมการที่ [5] พบว่าองศาเกลียวมีผลต่อ Tapering angle และภาวะเกลียว เมื่อมุมเกลียวเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ภาวะเกลียวเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาสมการที่ [7] ภาวะเกลียวส่งผลต่อความดันที่เกลียวสร้างขึ้นโดยการเพิ่มภาวะเกลียวทำให้ความดันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพื้นที่บีบอัดคงที่



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และองศาเกลียว (°)

ในรูปที่ 4.11 ที่ส่วนสุดท้ายของเกลียวอัด การเพิ่มขึ้นของมุมครีบกเกลียวส่งผลให้ความดันที่เกิดจากเกลียวอัดเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาสมการที่ [4] และสมการที่ [5] มุมครีบกเกลียวส่งผลต่อ Tapering angle ซึ่งส่งผลต่อภาวะเกลียว ทำให้เกลียวรับภาวะมากขึ้น เมื่อพิจารณาสมการที่ [7] ที่พื้นที่บีบอัดคงที่ ภาวะเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันที่เกลียวอัดสร้างขึ้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เกิดจากเกลียวอัด (MPa) และองศาครีบกเกลียว (°)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องจักรพบว่า ที่ขนาดมอเตอร์ 60 Hp องศาเกลียว  $10^{\circ}$  องศาครีบกเกลียว  $21^{\circ}$  เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวตำแหน่งเริ่มต้น 200 mm เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวตำแหน่งปลายเกลียว 325 mm ความลึกร่องเกลียวเริ่มต้น 30 mm ความลึกร่องเกลียวปลายเกลียว 5 mm จำนวนรอบเกลียวทั้งหมด 8 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในบาริล 345 mm และเกลียวทำงานที่มีความเร็วรอบ 380 rpm มี Tapering angle ( $\alpha$ ) เท่ากับ  $20.71^{\circ}$  เริ่มมีการคั่นกะที่ตำแหน่งเกลียวรอบที่ 6 มีภาระเกลียว ( $W_e$ ) 1,288.88 kN และความดันที่สร้างจากเกลียวอัด ( $P_r$ ) 112.01 GPa ที่ตำแหน่งปลายเกลียว มีภาระเกลียว ( $W_e$ ) 1,408.29 kN มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $D_m$ ) 330 mm และความดันที่สร้างจากเกลียวอัด ( $P_r$ ) 271.11 GPa สรุปได้ว่าการคั่นกะต้องการความดันไม่ต่ำกว่า 112.01 GPa

จากการศึกษาผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการออกแบบ ได้แก่ ความลึกร่องเกลียว ( $h$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ( $D_m$ ) องศาเกลียว ( $\theta_n$ ) และองศาครีบกเกลียว ( $\theta$ ) พบว่าความลึกร่องเกลียวและเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันที่เกิดจากเกลียวอัด ( $P_r$ ) มีค่าลดลง โดยในช่วงค่าความลึกร่องเกลียวตั้งแต่ 5 mm ลงไป ความลึกร่องเกลียวจะส่งผลต่อความดันมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย ที่ความลึกร่องเกลียวมากกว่า 5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ยจะส่งผลต่อความดันมากกว่า ในทางตรงกันข้าม องศาเกลียวและองศาครีบกเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันที่เกิดจากเกลียวอัดเพิ่มขึ้น โดยองศาเกลียวส่งผลต่อความดันมากกว่าองศาครีบกเกลียว เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมดพบว่า ที่ความลึกร่องเกลียวตั้งแต่ 5 mm ลงไป ความลึกร่องเกลียวมีอิทธิพลต่อความดันที่เกิดจากเกลียวอัดมากที่สุด ในขณะที่ความลึกร่องเกลียวมากกว่า 5 mm องศาเกลียวจะมีอิทธิพลต่อความดันที่เกิดจากเกลียวอัดมากที่สุด

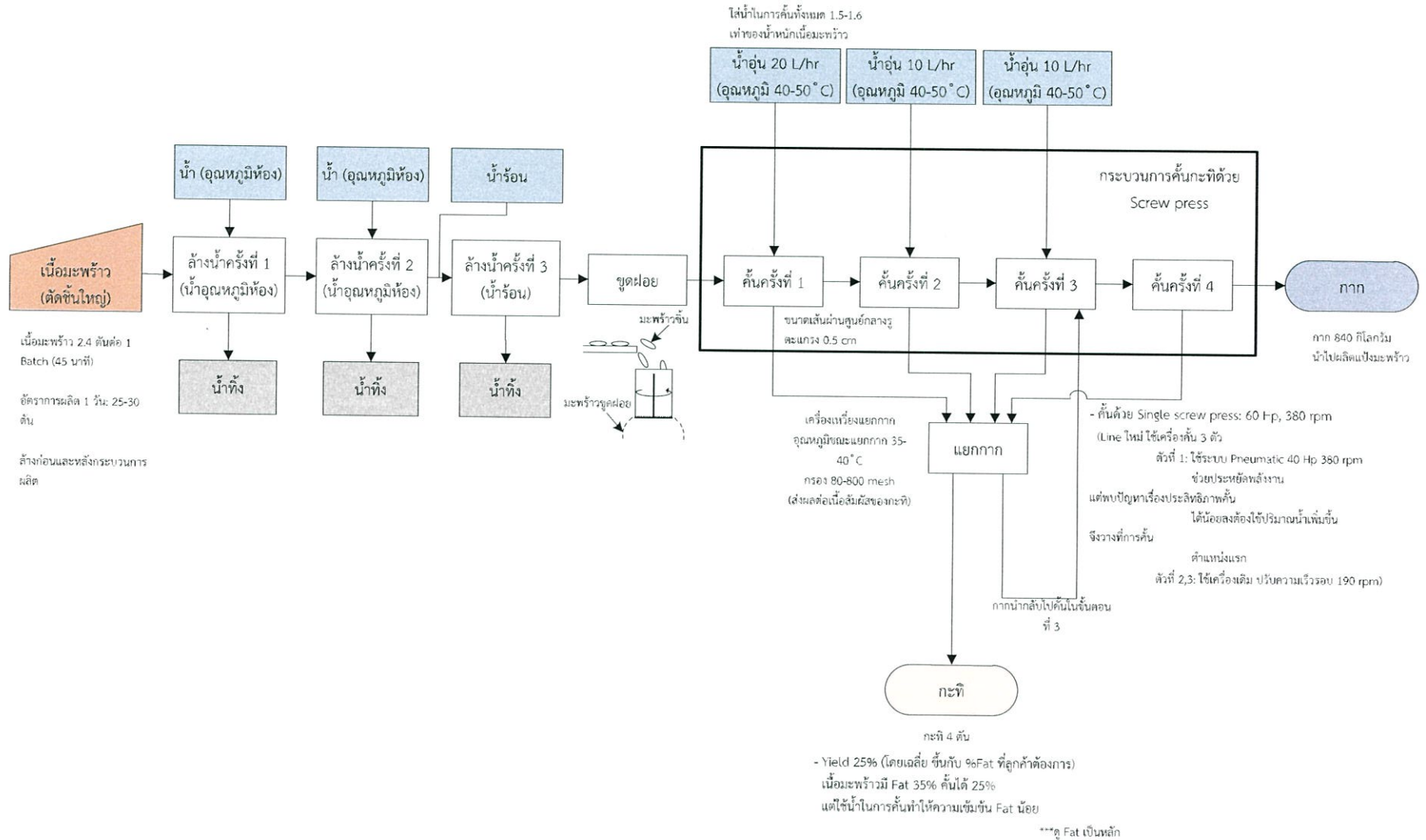
จากการสังเกตลักษณะการทำงานของเครื่องจักรพบว่าควรมีการปรับปรุงให้เครื่องจักรมีช่วงเกลียวที่เกิดการคั่นกว้างขึ้นโดยการออกแบบให้เกลียวสร้างความดันให้เพียงพอจากการลดระดับความลึกร่องเกลียวและเพิ่มองศาเกลียวให้เหมาะสม ออกแบบควรให้การคั่นเริ่มจากบริเวณกลางเกลียวเนื่องจากบริเวณช่วงต้นเกลียวต้องใช้ในการลำเลียงวัตถุดิบและสร้างความดันให้เพียงพอในการบีบอัด เนื่องจากกะทิมมีความไวต่ออุณหภูมิซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงควรออกแบบเกลียวที่ความเร็วรอบต่ำเพื่อลดแรงเสียดทานที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

## อ้างอิง

- กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556. ยุทธศาสตร์งานวิจัยและพัฒนามะพร้าวปี 2559 – 2564. สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. รายชื่อผู้ประกอบการแปรรูปกะทิสำเร็จรูปและเครื่องต้มน้ำกะทิ. ญัฐธิดา ห้าวหาญ. 2558. มะพร้าว.
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2558. “มะพร้าว”. [online]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/index.php/en/home/20-plants-for-shade/21-cocos-nucifera-l>.
- Tansakul, A. and Chaisawang, P. “Thermophysical properties of coconut milk”. *Journal of Food Engineering*, vol. 73, 2006. pp. 276-280.
- Simuang, J., Chiewchan N. and Tansakul A. “Effect of fat content and temperature on apparent viscosity of coconut milk”. *Journal of Food Engineering*, vol. 64, 2004. pp. 193-197.
- โหมเฉลา, ณรงค์. 2551. มาใช้กะทิแทนนมกันเถอะ. เอกสารวิชาการฉบับที่3/2551 ชมรมอนุรักษ์และพัฒนา น้ำมันมะพร้าวแห่งประเทศไทย ณ.สถาบันพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.
- Lewin, Jo. 2015. “The health benefits of... coconut milk”. [online]. Accessed at:  
<http://www.bbcgoodfood.com/howto/guide/ingredient-focus-coconut-milk>.
- แย้มวงศ์, ปรียานุช. 2553. “ตายแล้ว! ไขมันในเลือดสูง”. [online]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/articledetail.asp?id=519>.
- Primary Information. 2015. “Coconut Milk”. [Online]. Accessed at:  
<http://www.primaryinfo.com/coconut-milk.htm>.
- Zhengzhou allance machinery co. ltd. “Screw Oil Press Structure”. [Online]. Available:  
<http://oil-expeller.net/product/screw-oil-press.html>. 2005.
- Riaz, M.N. *Extruders in Food Applications*. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 2000.
- Vadke, V. S., Sosulski, F.W. and Shook, C.A. “Mathematical simulation of an oilseed press”. *Journal of the American Oil Chemist’s Society*, vol. 65, no.7, 1988. Pp. 1610-1616.
- Singh, J. and Bargale, P.C. “Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression”. *Journal of Food Engineering*, vol.43, 2000. pp. 75-82.
- O. A. Adetola, J. O. Olajide and A. P. Olalusi. “Development of a Screw Press for Palm Oil Extraction”. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol.5, no.7, Jul. 2014. pp. 1416-1422.
- Allen S. Hall, Alfred R. Holowenko and Herman G. Laughlin. *SHAUM’S OUTLINE OF THEORY AND PROBLEMS OF MACHINE DESIGN*. New York: McGraw-Hill, Inc. 1961.

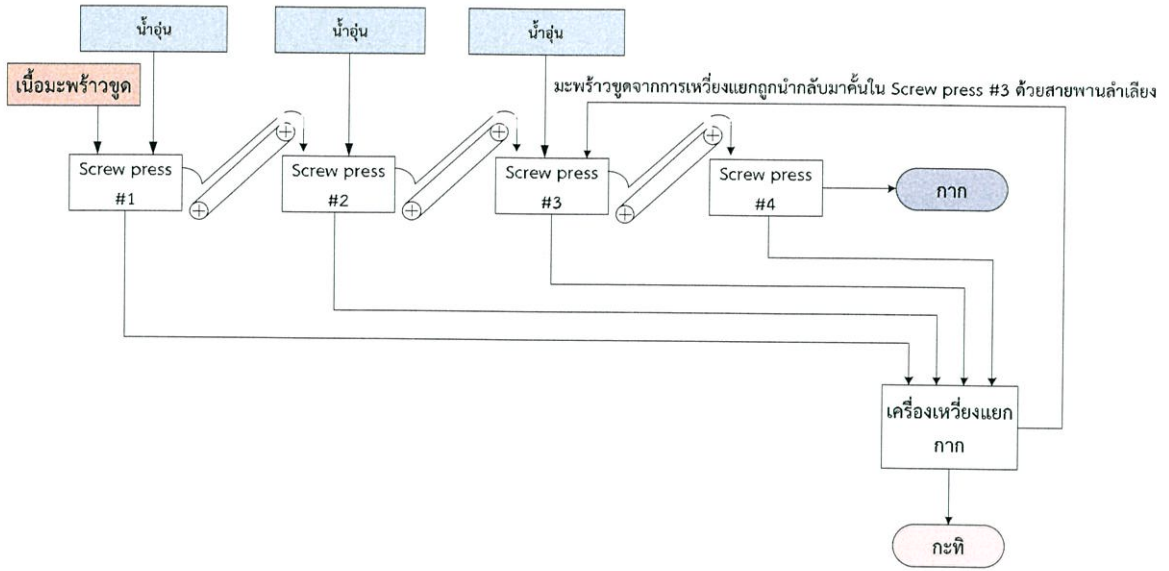
T.W. Womer. Basic Screw Geometry “Things Your Screw Designer Never Told You About Screws!!”. Xaloy, Inc.

ภาคผนวก

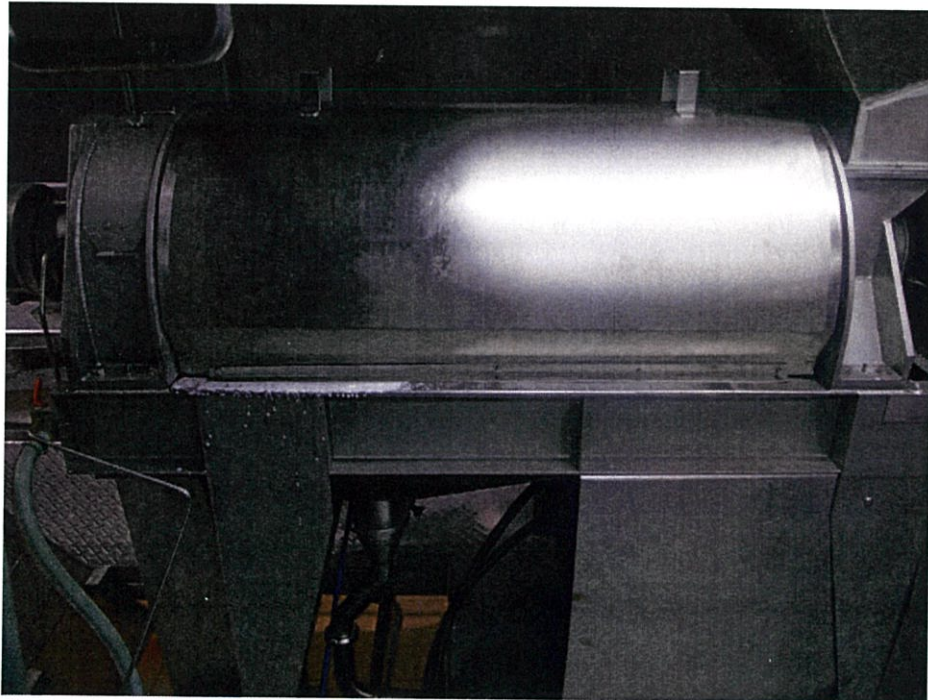


รูป ก แสดงรายละเอียดกระบวนการคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียวในอุตสาหกรรม

กระบวนการคั้นกะทิด้วย Screw press



รูป ข แสดงลักษณะการคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวในรูป ก



รูป ค แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องต้นแบบในงายวิจัย



รูป ง แสดงลักษณะรูตะแกรงของเครื่องต้นแบบในงายวิจัย