

โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด :
กรณีศึกษาเครื่องคั้นน้ำกะทิ

PROGRAMMING FOR SCREW PRESS DESIGN :
CASE STUDY OF COCONUT MILK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-EN-M-270-004

โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด :
กรณีศึกษาเครื่องคั้นน้ำกะทิ

PROGRAMMING FOR SCREW PRESS DESIGN :
CASE STUDY OF COCONUT MILK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-X270-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING FOR SCREW PRESS DESIGN :
CASE STUDY OF COCONUT MILK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-M-X270-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

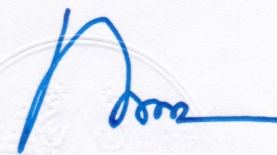
หัวข้อวิทยานิพนธ์ โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด : กรณีศึกษาเครื่องคั้นน้ำกะทิ
Thesis Title Programming for Screw Press Design : Case Study of Coconut Milk
นักศึกษา นางสาวปิยชนา สุโกศล
รหัสประจำตัว 59601300
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-270-004

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.สาทิป	รัตนภาสกร	
รศ.ดร.นวกัทรာ	หนูนา	
ดร.เจษฎา	ชัยโณม	
ดร.เอกพงษ์	ชีวิตโสภณ	
ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์	รุ่งพระแสง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด: กรณีศึกษาเครื่องคั้นน้ำกะทิ
นักศึกษา	นางสาวปีย์ชนา สุโกศล
รหัสประจำตัว	59601300
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของขนาดความถี่ร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกนที่มีผลต่อกำลังการผลิตน้ำกะทิของเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัด โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายกำลังการผลิต จากกรณีศึกษาเครื่องคั้นน้ำกะทิพบว่าอิทธิพลของความถี่ร่องเกลียวอัดมีผลต่อกำลังการผลิตมากกว่าอิทธิพลขององศาเกลียวอัดในแนวแกน และพบว่าผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการทดลอง (ความคลาดเคลื่อน 11.5%) จึงนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาพัฒนาเป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัดเบื้องต้น โปรแกรมออกแบบเกลียวอัดคำนวณผลที่เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 385 mm และกำลังการผลิต 46 m³/h เทียบเท่ากรณีศึกษาได้ผลว่า ความยาวเกลียวอัดทั้งหมด 1,925 mm (ส่วนป้อน 481 mm ส่วนแรม 770 mm และส่วนอื่น 674 mm) องศาเกลียวอัดในแนวแกน 82° ความกว้างร่องเกลียวอัด 96 mm ความถี่ร่องเกลียวอัดส่วนป้อน 73 mm ส่วนอื่น mm และความถี่ร่องเกลียวอัดส่วนแรมแสดงเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้น 5° ตามความยาวในแนวแกน

Thesis Title	Programming for screw press design: case study of coconut milk
Student	Ms. Pee-Chana Sukosol
Student ID.	59601300
Degree	Master of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Kiattisak Roonprasang

ABSTRACT

This research aims to the influence of screw depth and helix angle on the production capacity of coconut milk from screw press. The mathematical models were performed and their verification done, using experimental result comparison. It could be analogized that a variation of screw depth affects on the production capacity is much more significant than that of helix angle as expected with 11.5% of error. Therefore, these models were programmed as algorithm, with a user interface for machine capacity prediction. The program calculated at screw diameter of 385 mm and capacity of 46 m³/h, same as the case study. The results show that the machine has screw length of 1,925 mm: 481 mm for feed section, 770 mm for ram section and 674 mm for plug section. The helix angle is 82°. The screw width is 96mm. And for the screw depth in feed section is 73 mm, plug section is 5 mm and the ram section increase 5° from screw root diameter.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา และคณาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ให้ความรู้และสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท เอเชียติคอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ในการสนับสนุนทุนวิจัยในเรื่องของเครื่องจักรต้นแบบ วัสดุดิบในงานวิจัย และการสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้เขียนขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน และขอให้ทุกๆ ท่านจงมีแต่ความสุขความเจริญตลอดไป

ปิยชนา สุโกศล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
1.5 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	4
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อมะพร้าวและน้ำกะทิ	6
2.1.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อมะพร้าว	6
2.1.2 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของน้ำกะทิ	7
2.2 การคั้นน้ำกะทิในอุตสาหกรรม	9
2.2.1 กรรมวิธีการคั้นน้ำกะทิ	9
2.2.2 เครื่องจักรสำหรับการคั้นน้ำกะทิในอุตสาหกรรม	9
2.2.2.1 เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบไฮดรอลิก	10
2.2.2.2 เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัด	11
2.2.2.3 เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบสายพาน	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัด	14
2.3.1 ชนิดของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด	17
2.3.1.1 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยว	18
2.3.1.2 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่	22
2.3.1.3 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดสามเกลียว	22
2.3.2 สมการออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด	23
2.3.2.1 โปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด ...	23
1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคุณสมบัติน้ำกะทิ	25
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบ เกลียวอัด	26
2.3.2.2 โปรแกรมออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด	31
บทที่ 3 การทดลอง	33
3.1 การศึกษาเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้ในกรณีศึกษา	33
3.1.1 อุปกรณ์การวัดตัวแปรมิติขนาด	33
3.1.2 วิธีการวัดตัวแปรมิติขนาด	33
3.1.3 ผลการทดลองวัดตัวแปรมิติขนาด	34
3.2 การทดลองวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรในกรณีศึกษา.....	39
3.2.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	39
3.2.2 วิธีการทดลองการวัดอัตราการไหล	39
3.2.3 ผลการทดลองการวัดอัตราการไหล	40
3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	47
4.1 โปรแกรมออกแบบเกลิยว้อด	47
4.2 ผลการคำนวณจากโปรแกรม	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก ผลการทดลองการวัดขนาดและการทดลองวัดอัตราการใช้ของเครื่องจักร กรณีศึกษา	65
ภาคผนวก ข โปรแกรมออกแบบเกลิยว้อด	69
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลิยว้อด	84
ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	87
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบโดยเฉลี่ยของเนื้อมะพร้าว	7
2.2 แสดงองค์ประกอบโดยมวลเฉลี่ยของน้ำกะทิจากการคั้นโดยไม่เติมน้ำ	7
2.3 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องคั้นแบบไฮดรอลิก เครื่องคั้นแบบเกลียวอัด และเครื่องคั้นแบบสายพาน	13
3.1 ตัวแปรที่มีค่าคงที่ตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด	35
3.2 อัตราการไหลของเครื่องจักรในกรณีศึกษา	40
4.1 ผลการคำนวณตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัดจากโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด และผลจากการวัดขนาดเกลียวอัดของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัดต้นแบบ	55



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงพื้นที่ที่เกิดการคั่นของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา	2
1.2 เครื่องคั่นแบบเกลียวอัดในกระบวนการคั่นน้ำสับปรด	2
1.3 เครื่องคั่นแบบเกลียวอัดในกระบวนการคั่นน้ำแครนเบอร์รี่	3
2.1 เครื่องคั่นด้วยหลักการแบบไฮดรอลิก	10
2.2 เครื่องคั่นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยวแบบเกลียวอัดวางตัวในแนวลาดเอียง	11
2.3 ลักษณะของเครื่องคั่นแบบสายพาน	12
2.4 ลักษณะความดันของเครื่องคั่นแบบสายพาน	12
2.5 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องคั่นแบบเกลียว	14
2.6 ลักษณะเกลียวในแต่ละส่วนของเกลียวอัด	15
2.7 แสดงลักษณะการบีบอัดของวัตถุดิบเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียวอัด	16
2.8 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัตถุดิบเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียวอัด	16
2.9 แสดงเครื่องคั่นแบบเกลียวแนวนอน	17
2.10 แสดงเครื่องคั่นแบบเกลียวแนวลาดเอียง	17
2.11 เครื่องสกัดน้ำมันขนาดเล็กแบบเกลียวอัดสองชั้นตอน ประกอบด้วย (1) ช่องป้อนวัตถุดิบ (2) ชุดลดความเร็ว (3) โครงสร้างเครื่องจักร (4) ถาดเก็บกากจากการสกัด (5) เพลากลางเกลียวอัด (6) บารเรล (7) ตัวคั่น (8) ถาดเก็บน้ำมันจากการสกัด (9) ชุดปรับขนาด ช่องเปิด (10) มอเตอร์ไฟฟ้า (11) กลไกช่องเปิด	19
2.12 การเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรของวัตถุดิบภายในช่องเกลียวอัดของเครื่อง สกัดน้ำมันขนาดเล็กแบบเกลียวอัดสองชั้นตอน	20
2.13 เครื่องสกัดน้ำมันจากผลปาล์มน้ำมันในงานวิจัยของ Adetola et al.	21
2.14 เครื่องคั่นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่	22
2.15 ภาพตัดตามขวางของเครื่องคั่นแบบเกลียวอัดชนิดสามเกลียว	23
2.16 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของ เครื่องคั่นแบบเกลียวอัด	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.17 แผนภาพการคำนวณคุณสมบัติของกะทิ	26
2.18 แผนภาพแสดงระบบของเกลียวอัดที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	27
2.19 แสดงการไหลของวัตถุคืบผ่านพื้นที่ส่วนเล็ก ๆ ของช่องว่างระหว่างเกลียวอัดและผนัง ภายในบาเรล	27
2.20 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวในงานวิจัย	28
2.21 แผนภาพกระแสรายการคำนวณพฤติกรรมภายในเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดของแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์	31
2.22 แผนภาพการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด	32
3.1 โครงสร้างอย่างง่ายและตัวแปรมิติขนาดในการทดลองวัดขนาดของเครื่องคั้นกะทิแบบ เกลียวในกรณีศึกษา	34
3.2 ผลจากการวัดองศาเกลียวอัดในแนวแกนและผลจากการคำนวณของสมการแสดง แนวโน้มของเครื่องจักรกรณีศึกษาตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน	36
3.3 ผลจากการวัดความถี่ร่องเกลียวอัดและผลจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้มของ เครื่องจักรกรณีศึกษาตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน	37
3.4 ผลจากการวัดความกว้างร่องเกลียวอัดและผลจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้ม ของเครื่องจักรกรณีศึกษาตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน	38
3.5 ชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์	39
3.6 ตำแหน่งการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา	40
3.7 การเปรียบเทียบการคำนวณอัตราการไหลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการ ทดลองการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา	42
3.8 ผลการคำนวณความดันภายในบาเรลที่ความถี่ร่องเกลียวอัดในเกลียวอัดช่วงอัน 5 6 7 8 และ 9 mm ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอัน 80 mm องศาเกลียวอัดในแนวแกน 85° และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ผลการคำนวณอัตราการไหลที่ความลึกร่องเกลียวอัดในเกลียวอัดช่วงอื่น 5 6 7 8 และ 9 mm ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm องศาเกลียวอัดในแนวแกน 85° และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm	44
3.10 ผลการคำนวณความดันภายในบารเรลที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 70 75 80 และ 85° ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm ความลึกร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 7 mm และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm	45
3.11 ผลการคำนวณอัตราการไหลที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 70 75 80 และ 85° ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm ความลึกร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 7 mm และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm	46
4.1 แผนภาพการคำนวณของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด..	47
4.2 ขอบเขตการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด	50
4.3 ตัวแปรที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด (ก) และตัวแปรที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด (ข)	50
4.4 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด	52
4.5 รูปลักษณ์โปรแกรมคำนวณเกลียวอัด	53
4.6 รูปลักษณ์แสดงข้อกำหนดของโปรแกรมคำนวณเกลียวอัด	54
4.7 การคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดภายใต้เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด และอัตราการไหลที่กำหนด	54
4.8 การเปรียบเทียบค่าความยาวเกลียวอัดในแนวแกนกับดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดที่อัตราการไหล 46 m ³ /h และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 1825, 1875, 1925, 1975 และ 2025 mm	56

บทที่ 1

บทนำ

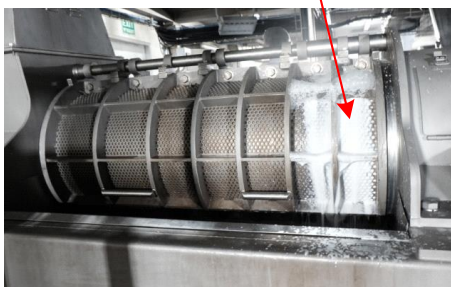
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและสร้างโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดเพื่อเป็นเครื่องมือในการออกแบบเกลียวอัดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำกะทิเบื้องต้น โดยเครื่องจักรมีกำลังการผลิต 46 kg/h มีตัวแปรมิติขนาดที่สามารถคำนวณได้คือ ความลึกร่องเกลียวอัด ความกว้างร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกน โดยกำหนดค่ากำลังการผลิตต่อชั่วโมง และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดที่ต้องการ

อุตสาหกรรมการคั้นน้ำกะทิของประเทศไทยได้มีการนำเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องจักรดังกล่าวได้รับการออกแบบสำหรับการคั้นวัตถุดิบต่าง ๆ เช่น ส้ม สับปะรด โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรมิติขนาดของเครื่องจักร เช่น ความเร็วรอบเกลียวอัด และระยะช่องเปิด เพื่อให้สามารถทำงานกับวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ได้โดยมักไม่ได้คำนึงถึงตัวแปรที่เป็นโครงสร้างของเกลียวอัด เช่น ความลึกร่องเกลียวอัด องศาเกลียวอัดในแนวแกน และความกว้างร่องเกลียวอัด [1, 2, 3] สำหรับเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังสูงพบว่าทั้งหมดใช้ความเร็วรอบเกลียวอัดคงที่ที่เหมาะสมกับชนิดวัตถุดิบและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่มีราคาสูงและต้องการกำลังการผลิตที่คงที่ ความเร็วรอบเกลียวอัดจึงถูกกำหนดให้คงที่ด้วยชุดเกียร์ทดกำลังซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในขณะทำงาน กระบวนการผลิตน้ำกะทิในอุตสาหกรรมจึงนิยมปรับเปลี่ยนระยะช่องเปิดเพื่อปรับคุณภาพของน้ำกะทิ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในโรงงานผลิตพบว่าเครื่องจักรมีประเด็นซึ่งต้องปรับปรุงเนื่องจากช่วงระยะที่เกิดการคั้นและการไหลออกของน้ำกะทิมียังมีส่วนปลายของเกลียวอัดเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะช่องเปิด สาเหตุดังกล่าวมาจากข้อจำกัดทางด้านมิติขนาดของการออกแบบเกลียวอัด ได้แก่ ความลึกร่องเกลียวอัด องศาเกลียวอัดในแนวแกน และความกว้างร่องเกลียวอัด ที่ออกแบบมาไม่เหมาะสมต่อการคั้นเนื้อมะพร้าวชุดส่งผลให้เครื่องจักรสร้างความดันได้ไม่เพียงพอต่อการคั้นทำให้ช่วงระยะการคั้นจำกัด ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เหตุการณ์ที่กล่าวมาส่งผลต่อคุณภาพและต้นทุนของกระบวนการผลิต [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงพื้นที่ที่เกิดการคั้น



รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ที่เกิดการคั้นของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา

จากการศึกษาเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดที่ใช้งานในอุตสาหกรรมอาหารพบว่าเครื่องจักรที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมมีพื้นที่การคั้นตลอดช่วงความยาวเกลียวอัด ดังแสดงในรูปที่ 1.2 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดสำหรับการคั้นน้ำสับปะรด และรูปที่ 1.3 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดสำหรับการคั้นน้ำแครนเบอร์รี่ ส่งผลให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาสาเหตุของพื้นที่ที่เกิดการคั้นจำกัดเพียงส่วนปลายของเกลียวอัดเนื่องจากเกลียวอัดไม่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับการคั้นน้ำกะทิจากเนื้อมะพร้าวขูดฝอยความสามารถในการคั้นจึงถูกจำกัดด้วยตัวแปรทางด้านมิติขนาดของเกลียวอัดต่าง ๆ เช่น ความลึกร่องเกลียวอัดที่เปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของเกลียวอัด องศาเกลียวอัดในแนวแกนที่ทำหน้าที่ลำเลียงเนื้อมะพร้าวขูดตามความยาวเกลียวอัด และความกว้างร่องเกลียวอัดซึ่งมีผลต่อความดันที่เกิดขึ้นจากเกลียวอัด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมีการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรมิติขนาดต่าง ๆ ของเกลียวอัดที่มีผลต่อกำลังการผลิตของวัตถุดิบ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือเนื้อมะพร้าวขูด หลังจากนั้นจึงสร้างโปรแกรมเพื่อเป็นเครื่องมือในการคำนวณตัวแปรมิติขนาดดังกล่าวเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการสร้างเกลียวอัดต้นแบบ ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้จะสิ้นสุดที่ค่าตัวแปรมิติขนาดที่คำนวณได้จากโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดที่พร้อมนำไปสร้างเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 1.2 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดในกระบวนการคั้นน้ำสับปะรด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดในกระบวนการคั้นน้ำแครนเบอร์รี่ [6]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของตัวแปรมิติขนาดในการออกแบบของเกลียวอัด ได้แก่ ความลึกร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกน ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำกะทิที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมซึ่งเป็นเครื่องมือในการคำนวณตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัด ได้แก่ ความยาวเกลียวอัด ความลึกร่องเกลียวอัด และความกว้างร่องเกลียวอัด ที่สามารถทำงานได้ปริมาณน้ำกะทิที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาตามต้องการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เครื่องจักรที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัดของกระบวนการผลิตกะทิในโรงงานบริษัท เอเชียติคอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด กำลังการผลิตเฉลี่ย 2,000 kg/h ขนาดมอเตอร์ 40 HP

1.3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในกรณีศึกษาเป็นเนื้อมะพร้าวขาวชุดฝอย ไม่ติดกะลา มีปริมาณไขมันเริ่มต้น 35% โดยมวล มีการผสมน้ำในอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเนื้อมะพร้าวขาวชุดต่อน้ำในกระบวนการเท่ากับ 1:1

1.3.3 อุณหภูมิของกะทิที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 70 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของกระบวนการผลิต

1.3.4 ปริมาณไขมันในกะทิเท่ากับ 30 % โดยมวล ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยที่ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบชนิดตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการผลิตกะทิของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัดเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องจักร

1.4.2 โปรแกรมออกแบบเกลียวอัดซึ่งใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบเกลียวอัดของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดเบื้องต้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาการทำงานและปัญหาจากกรณีศึกษา

1.5.2 ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกะทิ หลักการทำงานและออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

1.5.3 กำหนดจุดประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย

1.5.4 สร้างโปรแกรมช่วยจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

1.5.5 ทดลองวัดขนาดและอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา

1.5.6 วิเคราะห์ผลจากการทดลองการวัดอัตราการไหลและผลจากการคำนวณของโปรแกรมช่วยจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

1.5.7 วิเคราะห์ผลการคำนวณอัตราการไหลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรมิติขนาด ได้แก่ ความถี่ร่อนเกลียว และองศาเกลียวอัดในแนวแกน ที่ค่าต่าง ๆ

1.5.8 สร้างโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดและสรุปผลการวิจัย

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาเป็น 5 บท มีเนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงหลักการ และทฤษฎีของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลองเบื้องต้นกับเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาของงานวิจัย การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณของโปรแกรมช่วยจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคันแบบเกลียว้อด

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างและการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงาน และโปรแกรมออกแบบเกลียว้อดของเครื่องคันแบบเกลียว้อด

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งาน และแนวทางในการทำวิจัยต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อมะพร้าวและน้ำกะทิ การคั้นน้ำกะทิในอุตสาหกรรม และเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

2.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อมะพร้าวและน้ำกะทิ

2.1.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเนื้อมะพร้าว

มะพร้าว [7]

ชื่อทางวิทยาศาสตร์: *Cocos nucifera* L.

วงศ์: ARECACEAE (ชื่อเดิม: PALMAE)

ชื่อสามัญ: Coconut

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

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

เนื้อมะพร้าวมีส่วนประกอบโดยมวลเฉลี่ยได้แก่ ความชื้น 47.0% ไขมัน 33.5% คาร์โบไฮเดรต 15.2% โปรตีน 3.3% และเถ้า 1.0% ดังแสดงในตารางที่ 2.1 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยเฉลี่ยของเนื้อมะพร้าว [8]

	ความชื้น	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	เถ้า
% น้ำหนักโดยเฉลี่ย	47.0	33.5	15.2	3.3	1.0

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย น้ำจากผลอ่อนมีส่วนประกอบของฮอร์โมนจากพืชซึ่งมีแนวโน้มในการเพิ่มระดับฮอร์โมนเพศหญิง มีเกลือแร่สูงโดยเฉพาะโปแตสเซียมซึ่งมีผลในการป้องกันโรคหัวใจ มีสารประกอบของโคเอนตินช่วยชะลอความแก่จากการชะลอการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ [9] เนื้อของผลแก่มีอัตราส่วนไขมันสูงนิยมคั้นเป็นน้ำกะทิใช้ในการประกอบอาหารในประเทศแถบเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จีนตอนใต้ แคริบเบียน และอเมริกาตอนใต้ เนื้อมะพร้าวที่นำมาคั้นน้ำกะทิแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ เนื้อมะพร้าวชุดธรรมดาซึ่งมีส่วนกะลาสีน้ำตาลติดมาด้วย นิยมนำมาคั้นกะทิประกอบอาหารคาว และเนื้อมะพร้าวชุดขาวซึ่งจะไม่มีส่วนกะลาติดมากับเนื้อ นิยมนำมาคั้นกะทิใช้สำหรับขนม หรืออาหารที่ต้องการกะทิที่มีความขาวมาก

2.1.2 ส่วนประกอบแล้วคุณสมบัติของน้ำกะทิ

น้ำกะทิเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวมีลักษณะสีขาวขุ่นทึบแสง ลักษณะคล้ายนมวัว ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวชุดโดยเติมหรือไม่เติมน้ำในการคั้น เป็นอิมัลชันน้ำมันในน้ำ องค์ประกอบโดยมวลของน้ำกะทิจากการคั้นโดยไม่เติมน้ำประกอบด้วย ความชื้น 50-54% ไขมัน 32-40% คาร์โบไฮเดรต 5.5-8.3% โปรตีน 2.8-4.4% และเถ้า 1.0-1.5% แสดงในตารางที่ 2.2 [10, 11, 12, 13, 14] สำหรับปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์กะทิของประเทศไทยมีค่าระหว่าง 15-30% [15]

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบโดยมวลเฉลี่ยของน้ำกะทิจากการคั้นโดยไม่เติมน้ำ

องค์ประกอบโดยน้ำหนัก	Nathaneal	Popper et al.	Jeganathan	Anon	Seow and Gwee
ความชื้น (%)	50.0	54.1	50.0	53.9	50.0
ไขมัน (%)	39.8	32.2	40.0	34.7	39.8
คาร์โบไฮเดรต (%)	6.2	8.3	5.5	6.6	6.2
โปรตีน (%)	2.8	4.4	3.0	3.6	2.8
เถ้า (%)	1.2	1.0	1.5	1.2	1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตที่พบในน้ำกะทิส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส เกลือแร่ที่พบมากคือฟอสฟอรัส แคลเซียม และโปแตสเซียม [14] องค์ประกอบโปรตีนในน้ำกะทิส่วนมากคือชนิดอัลบูมิน และโกลบูลิน ไขมันที่พบในน้ำกะทิ ประกอบด้วยกรดลอริก เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอน 12 อะตอม จัดเป็นกรดไขมันสายกลาง มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{24}O_6$ และมีส่วนประกอบของกรดคาโปรอิก กรดคาปริก และกรดคาปริลิก [16]

น้ำกะทิประกอบด้วยไขมันอิ่มตัวซึ่งเป็นไขมันลักษณะเดียวกับน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนใหญ่ ไขมันอิ่มตัวเป็นไขมันอยู่ตัวที่ไม่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน และประกอบด้วยสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ ได้แก่ วิตามินอี, สารประกอบฟีนอล และสารไฟโตสเตอรอล [16] น้ำกะทิไม่มีส่วนประกอบของโคเลสเตอรอลไม่ที่เมื่อร่างกายได้รับเกินความจำเป็นจะเกิดการสะสมที่บริเวณผนังเส้นเลือดส่งผลให้เกิดภาวะเส้นโลหิตตีบ โรคหัวใจขาดเลือด หรือความดันโลหิตสูง [17]

Simuang et al. [15] Peamprasart และ Chiewchan [18] Jirapaengtong et al. [19] และ Chaisawang และ Tansakul [20] ได้วิจัยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ พบว่าน้ำกะทิมีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียนแบบซูโดพลาสติก สามารถอธิบายโดยใช้สมการกฎการยกกำลังโดยมีค่าดัชนีการไหล (Flow behaviour index) และค่าดัชนีความชันเหลว (Consistency index) ในการอธิบายความหนืดปรากฏของน้ำกะทิ ผลจากการวิจัยพบว่าหนืดปรากฏของน้ำกะทิมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณไขมันและอุณหภูมิของน้ำกะทิ ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความหนืดปรากฏสามารถอธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ของ Arrhenius [15] การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันและอุณหภูมิของน้ำกะทิส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนืดปรากฏ เมื่ออุณหภูมิและปริมาณไขมันมากขึ้นส่งผลให้น้ำกะทิมีความหนืดปรากฏสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณไขมันที่มากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคไขมันในน้ำกะทิเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างอนุภาคไขมันสั้นลง และแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้อยลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้โปรตีนภายในน้ำกะทิเกิดการเสียสภาพทำให้อนุภาคไขมันบางส่วนจับตัวเป็นก้อนอนุภาคไขมันจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เกิดความต้านทานการไหลของน้ำกะทิมากขึ้น ค่าดัชนีความหนืดจึงสูงขึ้น ค่าดัชนีการไหลขึ้นกับปริมาณไขมัน เมื่อปริมาณไขมันสูงขึ้นทำให้ค่าดัชนีการไหลลดลงในขณะที่อุณหภูมิไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีการไหล กระบวนการโฮโมจีไนซ์ทำให้อนุภาคมีขนาดไขมันมีขนาดเล็กลงและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น มวลรวมของอนุภาคไขมันมากขึ้น เมื่อน้ำกะทิมีอุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นจะเกิดการจับตัวเป็นก้อนมากขึ้นเปรียบเทียบกับน้ำกะทิที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ ส่งผลให้ความต้านทานการไหลของน้ำกะทิสุงขึ้น เมื่อปริมาณไขมันของน้ำกะทิสุงขึ้นความสามารถในการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ค่าการแพร่ความร้อน และความหนาแน่นของน้ำกะทิลดลง ในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิของน้ำกะทิสุงขึ้น การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ และค่าการแพร่ความร้อนสูงขึ้นในขณะที่ความหนาแน่นของน้ำกะทิลดลง

2.2 การคั้นน้ำกะทิในอุตสาหกรรม

2.2.1 กรรมวิธีการคั้นน้ำกะทิ

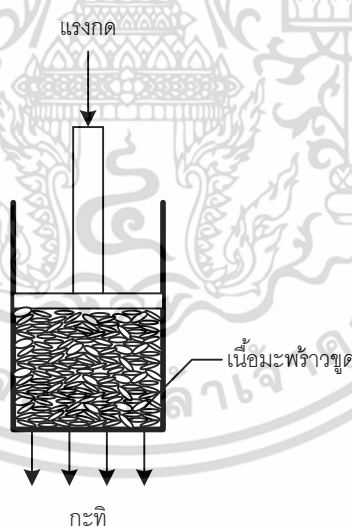
การคั้นน้ำกะทิเป็นลักษณะการสกัดของเหลวจากของแข็งโดยสกัดน้ำมันหรือไขมันออกจากเนื้อมะพร้าวชูดด้วยวิธีทางกล มีน้ำอุ่น (อุณหภูมิ 30-50 °C) เป็นตัวทำละลาย กรรมวิธีการคั้นน้ำกะทิแบบดั้งเดิมเริ่มจากการชูดเนื้อมะพร้าวเป็นฝอยหรือสับเป็นชิ้นขนาดเล็ก นำเนื้อมะพร้าวชูดมาบิบบหรือขยาดด้วยมือเพื่อให้ได้น้ำออกมา การบิบบหรือขยาดทำให้เกิดการบิบบอัดขึ้นกับเนื้อมะพร้าวชูดและทำลายเซลล์ทำให้ของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก (น้ำกะทิ) แยกออกจากของแข็ง (เนื้อมะพร้าวชูด) น้ำกะทิที่ได้จากการคั้นครั้งแรกจะมีปริมาณไขมันสูงเรียกว่า หัวกะทิ ในการคั้นครั้งต่อไปจะมีการเติมน้ำอุ่นในอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำหนักน้ำอุ่นเท่ากับ 1:1 เป็นอย่างน้อย น้ำอุ่นจะนำไขมันในเนื้อมะพร้าวชูดออกมาได้มากขึ้น น้ำกะทิจากการคั้นครั้งต่อไปจะมีปริมาณไขมันลดลง เรียกว่า หางกะทิ ในการคั้นน้ำกะทิจากเนื้อมะพร้าวชูดสามารถคั้นได้ 3-4 ครั้งขึ้นกับปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าวชูดและปริมาณน้ำที่ใช้ [21] อย่างไรก็ตามการแยกชั้นของน้ำกะทิเป็นชั้นครีมกะทิและชั้นน้ำมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์กับน้ำกะทิที่ผ่านการคั้นด้วยมือหรือการคั้นจากตลาดหลังจากการพักทิ้งไว้ในระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง เนื่องจากน้ำกะทิมีน้ำและไขมันเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งเป็นสารที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน การแยกชั้นส่งผลต่อคุณสมบัติในเชิงกายภาพ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการผสมสารคงตัวหรืออิมัลซิไฟเออร์ลงไป [19, 22]

2.2.2 เครื่องจักรสำหรับการคั้นน้ำกะทิในอุตสาหกรรม

ในการคั้นน้ำกะทิปริมาณมากระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องจักรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ควบคุมคุณภาพน้ำกะทิและต้นทุนในการผลิต เครื่องจักรที่นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะตามหลักการทำงาน ได้แก่ หลักการบิบบอัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบไฮดรอลิก หลักการบีบอัดด้วยเกลียวอัด และหลักการบีบคั้นด้วยสายพาน เครื่องคั้นน้ำกะทิที่ใช้หลักการบีบอัดด้วยเกลียวอัดได้รับความนิยมเนื่องจากความสามารถในการผลิตที่ต่อเนื่อง ช่วงกำลังการผลิตที่กว้าง ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งาน และบำรุงรักษา [1, 4, 23] กระบวนการคั้นของโรงงานคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดเริ่มจากการนำเนื้อมะพร้าวซึ่งมีขนาดใหญ่มาทำความสะอาดโดยการล้างน้ำ ขั้นแรกคือการล้างน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นการล้างสิ่งสกปรกออก เช่น เศษกะลามะพร้าว และล้างด้วยน้ำร้อน (อุณหภูมิ 95 °C) เพื่อฆ่าเชื้อเนื้อมะพร้าว ต่อมาเนื้อมะพร้าวจะถูกส่งไปยังเครื่องขูดซึ่งจะทำการขูดเนื้อมะพร้าวให้เป็นฝอยขนาดเล็ก เนื้อมะพร้าวขูดฝอยจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องคั้นแบบเกลียว เครื่องคั้นจะบีบอัดได้น้ำกะทิออกมาตามช่องเก็บน้ำกะทิ กากที่ยังมีปริมาณไขมันมากจะถูกลำเลียงและคั้นต่อไปตามความยาวเกลียวอัด ระหว่างการคั้นจะมีการเติมน้ำอุณหภูมิเฉลี่ย 70 °C เพื่อให้การทำละลายและพาสารออกจากเนื้อมะพร้าวให้มากขึ้น เนื้อมะพร้าวขูด 1 ชุดจะทำการคั้นซ้ำ 3-5 ครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันที่ต้องการแล้วจึงส่งไปสู่กระบวนการต่อไป

2.2.2.1 เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบไฮดรอลิก



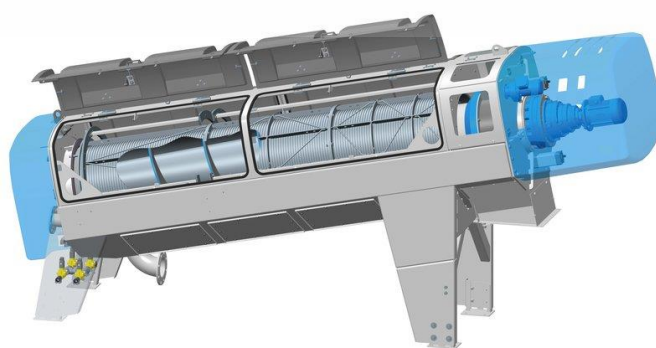
รูปที่ 2.1 เครื่องคั้นด้วยหลักการแบบไฮดรอลิก [26]

เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) เป็นกระบวนการคั้นทางกลโดยใช้กระบอกลไฮดรอลิกสร้างแรงดันให้เกิดการบีบอัดขึ้น เครื่องลักษณะนี้ใช้หลักการของพาสคาล เมื่อมีแรงกดกระทำต่อแป้นไฮดรอลิกเกิดการลดปริมาตรของกระบอกลไฮดรอลิกสร้างแรงดันขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในกระบอก เมื่อแรงดันภายในกระบอกสูงมากเพียงพอเซลล์ของเนื้อมะพร้าวจะถูกทำลาย ส่งผลให้ช่องเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กแยกออกจากเนื้อมะพร้าวของแข็งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าช่องเปิดจะอยู่ภายในกระบอกไฮดรอลิกเป็นส่วนนากจากการคั้น การทำงานของเครื่องคั้นกะทิแบบไฮดรอลิกมีลักษณะเป็นชุดไม่ต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัดและแบบสายพานพบว่าจะมีกำลังการผลิตต่ำกว่าเนื่องจากข้อจำกัดในการผลิตกระบอกไฮดรอลิกและแรงกดที่ใช้ในการสร้างความดัน [24, 25, 26]

2.2.2.2 เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัด

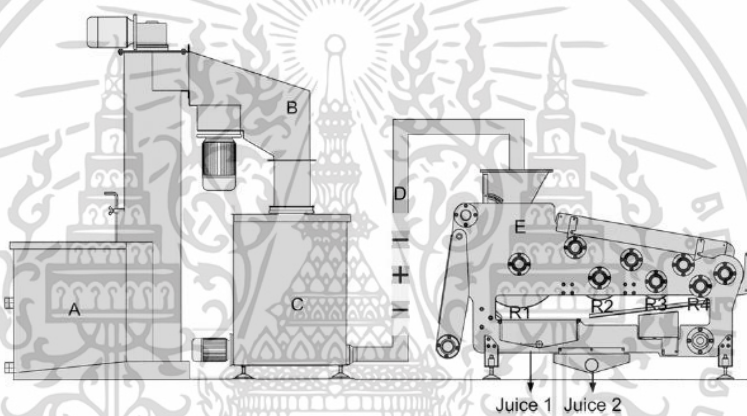
เครื่องคั้นแบบเกลียวอัด (Screw press) มีใบเรลทรงกระบอกกลวงวางตัวในแนวนอนหรือแนวลาดเอียง ภายในมีเกลียวอัดหมุนโดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง เกลียวอัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนป้อน (Feed section), ส่วนแรม (Ram section) และส่วนอัน (Plug section) ในช่วงป้อนของเกลียวอัดจะมีความลึกร่องเกลียวอัดและองศาเกลียวอัดในแนวแกนมากซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการลำเลียง ความลึกร่องเกลียวอัดและองศาเกลียวอัดในแนวแกนจะลดลงตามลักษณะการทำงานในส่วนแรมและคงที่ในส่วนอัน วัตถุประสงค์ของป้อนและลำเลียงมายังบริเวณที่ความลึกร่องเกลียวอัดและองศาเกลียวอัดในแนวแกนลดลงหมายถึงช่องว่างที่น้อยลง ความดันจึงสูงขึ้นทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างผิววัตถุกับและระหว่างผิววัตถุกับพื้นผิวใบเรลและเกลียวอัดเกิดการบีบอัด เนื่องจากความดันสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับอาหารปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างและคุณลักษณะต่างๆ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่มายังปลายของเกลียวอัดจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านช่องเปิด เครื่องจักรมีลักษณะการทำงานที่ต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบไฮดรอลิกและสายพานพบว่ามีความสามารถในการผลิตมากกว่าเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบไฮดรอลิกแต่น้อยกว่าเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบสายพาน [27, 28, 29, 30, 31]



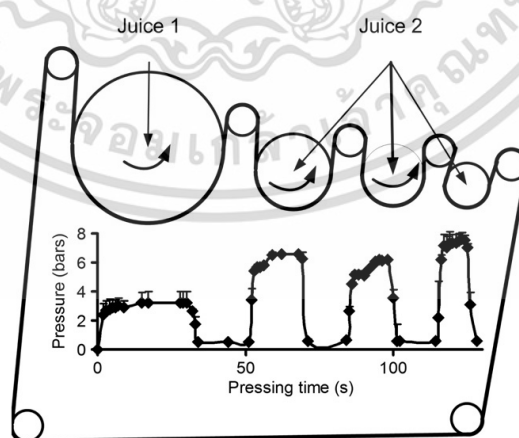
รูปที่ 2.2 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยวแบบเกลียวอัดวางตัวในแนวลาดเอียง [32]

2.2.2.3 เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบสายพาน

เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบสายพาน (Belt press) ทำงานโดยอาศัยการบีบอัดเนื้อมะพร้าวชูดระหว่างสายพาน การบีบอัดดังกล่าวเกิดจากแรงกดระหว่างสายพานจากการปรับระยะห่างของลูกกลิ้ง เมื่อชุดลูกกลิ้งทำงานจะเกิดการเคลื่อนที่ทำให้สายพานเกิดความตึงและการบีบอัดจนได้กากแห้งออกมาติดกับสายพานและปาดออกที่ปลายของเครื่องจักร น้ำจะถูกคั้นและออกด้านล่างของเครื่องจักร [33] ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ลักษณะความตึงภายในเครื่องจักรสูงขึ้นตามตำแหน่งลูกกลิ้งและระยะของสายพานโดยจะมีค่าสูงที่สุดที่ตำแหน่งของลูกกลิ้งชุดสุดท้าย (รูปที่ 2.4) [33]



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องคั้นแบบสายพาน [33]



รูปที่ 2.4 ลักษณะความตึงของเครื่องคั้นแบบสายพาน [33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องคั้นแบบไฮดรอลิก เครื่องคั้นแบบเกลียวอัด และเครื่องคั้นแบบสายพาน

Hydraulic press	Screw press	Belt press
1. แรงในการคั้นมาจากแรงกดของกระบอกสูบ กระบอกสูบจะกดลงบนอาหารและคั้นน้ำออกมา	1. แรงในการคั้นมาจากแรงอัดของเกลียวและบาเรล เมื่อเกลียวเกิดการเคลื่อนที่จะเกิดแรงเฉือนขึ้น บีบอัดเนื้ออาหารและได้น้ำออกมา	1. แรงในการคั้นเกิดจากลูกกลิ้งและสายพานอาหารจะถูกป้อนระหว่างสายพานสองเส้น ลูกกลิ้งจะทำการหมุนทำให้สายพานถูกบีบและน้ำออกมาจากอาหาร
2. ลักษณะการทำงานเป็นชุดกำลังการผลิตจำกัดตามขนาดของกระบอกไฮดรอลิก	2. ลักษณะการทำงานอย่างต่อเนื่อง กำลังการผลิตขึ้นกับขนาดเกลียว ขนาดบาเรล และรอบเกลียว	2. ลักษณะการทำงานอย่างต่อเนื่อง กำลังการผลิตขึ้นกับระยะระหว่างสายพาน และอัตราเร็วในการหมุนของลูกกลิ้ง
3. ราคาเครื่องต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องคั้นหลักการ Screw press และ Belt press	3. ราคาเครื่องสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องคั้นหลักการ Hydraulic press	3. ราคาเครื่องสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องคั้นหลักการ Screw press
4. เหมาะสมสำหรับกำลังการผลิตต่ำกว่าเครื่องคั้นหลักการ Screw press และ Belt press	4. เหมาะสมสำหรับกำลังการผลิตมากกว่าเครื่องคั้นหลักการ Hydraulic press แต่น้อยกว่าเครื่องคั้นหลักการ Belt press	4. เหมาะสมสำหรับกำลังการผลิตสูงกว่าเครื่องคั้นหลักการ Hydraulic press และ Screw press
5. สามารถสกัดไขมันได้ประมาณ 50-60%	5. สามารถสกัดไขมันได้ 60-80%	5. สามารถสกัดไขมันได้ 70-90% ของการหมุนของลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วนได้แก่ ช่องป้อนวัตถุดิบ ชุดส่งกำลัง ตัวเครื่องจักร ตะแกรงหรือบารล และเกลียวอัด ดังแสดงในรูปที่ 2.5

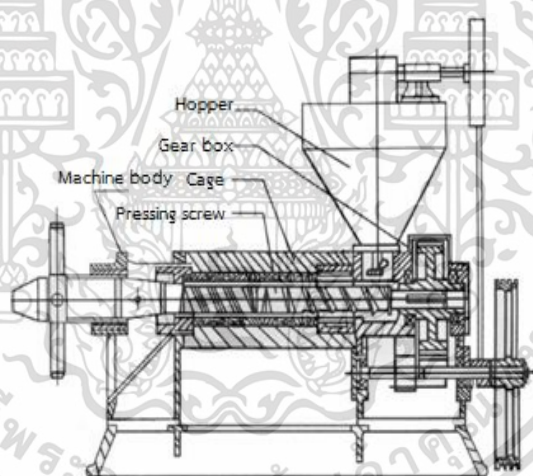
ช่องป้อนวัตถุดิบ รับวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องคั้น อยู่เหนือเกลียวอัด อาจมีอุปกรณ์ป้อนช่วยในการควบคุมปริมาณการป้อนวัตถุดิบให้ต่อเนื่องเพื่อรักษาระดับการผลิต

ชุดส่งกำลัง ทำหน้าที่ส่งกำลังที่ใช้ในการบีบอัดวัตถุดิบเพื่อให้เกิดการคั้นโดยการหมุนเกลียวอัด ควบคุมด้วยความเร็วรอบของเกลียวอัด

ตัวเครื่องจักร เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักของเครื่องจักร รวมถึงผลิตภัณฑ์จากการคั้น

ตะแกรงหรือบารล ทำหน้าที่รับแรงดันที่เกิดจากเกลียวอัด มีลักษณะเป็นรูตะแกรงให้ของเหลว และอนุภาคของแข็งขนาดเล็กสามารถออกมาได้

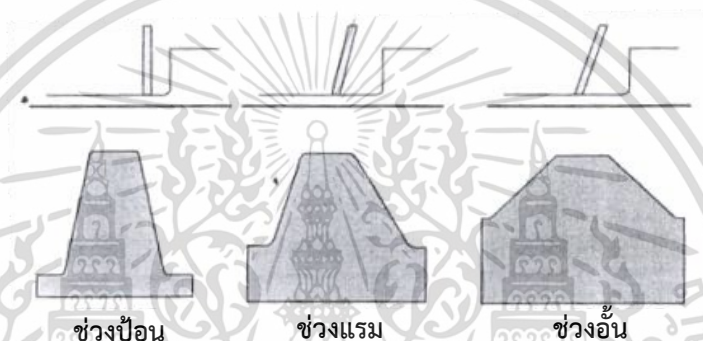
เกลียวอัด สร้างแรงดันภายในบารลจากการหมุนและบีบอัดปริมาตรของวัตถุดิบ [27, 34]



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องคั้นแบบเกลียว [34]

เกลียวอัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ ช่วงป้อน (Feed section) ช่วงแรม (Ram section) และช่วงอั้น (Plug section) ลักษณะของเกลียวอัดในแต่ละช่วงจะแตกต่างกัน เกลียวอัดส่วนป้อนทำหน้าที่ในการลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องจักรและผสมให้วัตถุดิบมีความเป็นของผสมเนื้อเดียวกัน ลักษณะเกลียวในช่วงนี้จะมีความถี่ของเกลียวมาก องศาเกลียวอัดในแนวแกนมาก (ใกล้เคียงหรืออาจตั้งฉากกับแนวแกน) ส่วนที่สองคือส่วนของแรมซึ่งมีหน้าที่ในการลดปริมาตรของวัตถุดิบเพื่อให้เกิดความดันโดยการลดปริมาตรของเกลียวอัดลงจากเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และองศาเกลียวอัดในแนวแกนที่ถูกทำให้เพิ่มขึ้นในขณะที่ความถี่ร่องเกลียวอัดจะลดลง เมื่อวัตถุถูกกำเลียงมาถึงส่วนที่สามของเกลียวอัดซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายคือส่วนอื่น จะเกิดการคั่นและมีความดันในเครื่องจักรสูงสุดที่บริเวณเกลียวอัดก่อนถึงปลายช่องเปิดสำหรับปล่อยอากาศจากการคั่นของเครื่องจักร ส่วนอื่นเป็นส่วนที่เกิดการลดปริมาตรของวัตถุคั่นน้อยมากเนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัด ความถี่ร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกนจะคงที่ เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากของเหลวที่ถูกคั่นออกจากวัตถุคั่น สำหรับลักษณะของเกลียวอัดในส่วนป้อน ส่วนแรม และส่วนอื่น แสดงในรูปที่ 2.6 เรียงจากด้านซ้ายตามลำดับ [27, 35]

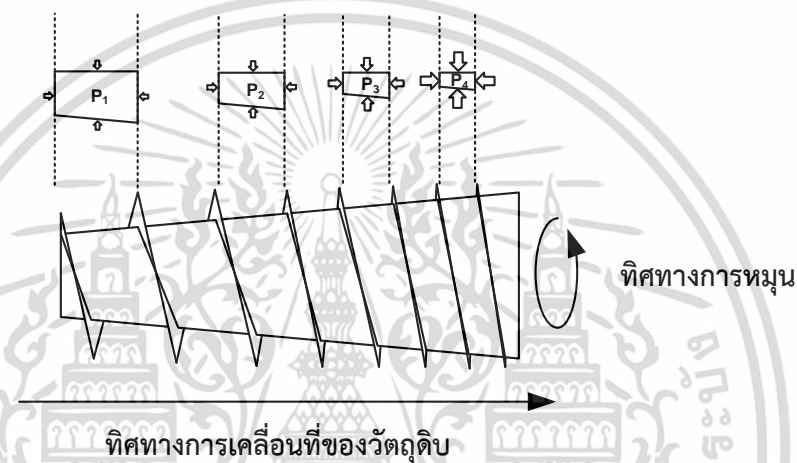


รูปที่ 2.6 ลักษณะเกลียวในแต่ละส่วนของเกลียวอัด [27]

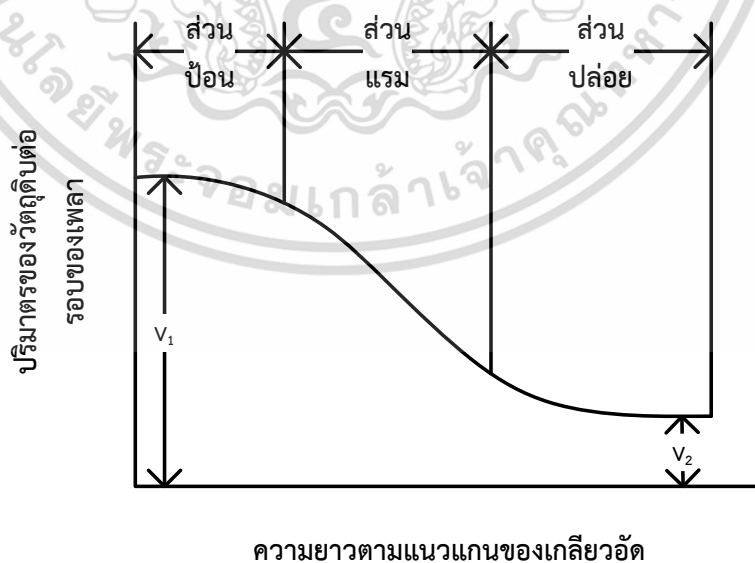
เมื่อวัตถุคั่นถูกป้อนเข้าสู่ช่องป้อนวัตถุคั่นและไหลเข้าสู่เกลียวอัดส่วนป้อน เกลียวอัดจะหมุนเพื่อกำเลียงและผสมให้วัตถุคั่นเป็นของผสมของแข็ง-ของเหลวที่มีความความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น ในช่วงแรกของผสมจะมีช่องว่างอากาศระหว่างชิ้นวัตถุคั่นและช่องว่างภายในเซลล์ของของผสม เมื่อเกลียวอัดกำเลียงของผสมเข้าสู่ส่วนที่สองคือส่วนแรม ช่องว่างเกลียวอัดจะถูกกดลงเพื่อลดช่องว่างอากาศและช่องว่างในเซลล์ของของผสมเพื่อเตรียมให้เกิดการคั่นขึ้น ในส่วนนี้ปริมาตรของร่องเกลียวจะถูกทำให้ลดลง ความดันจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อช่องว่างของอากาศลดลงและเริ่มมีการบีบอัดของเซลล์ของผสม เมื่อมาถึงส่วนสุดท้ายของเกลียวอัดคือส่วนอื่นพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรไม่มากเนื่องจากช่องว่างอากาศระหว่างชิ้นของผสมและช่องว่างในเซลล์ถูกแทนที่ในส่วนของแรมแล้ว ความดันจะเกิดขึ้นเนื่องจากการบีบอัดต่อเนื่องภายหลังการลดช่องว่างจนกระทั่งความดันที่เกิดขึ้นทำลายเซลล์ของของผสมทำให้ของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กไหลออกจากเซลล์ในแนวรัศมีออกมาทางบารเรล การไหลของของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กส่งผลให้ปริมาตรของของผสมในร่องเกลียวเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อของผสมถูกบีบอัดจนกระทั่งถึงปลายเกลียวอัดจะถูกปล่อยที่ปลายช่องเปิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงลักษณะการลดปริมาตรของของผสมในร่องเกลียวในส่วนแรมแสดงในรูปที่ 2.7 และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของผสมในแต่ละช่วงของเกลียวอัดสามารถสรุปได้ว่าช่วงที่เกิดการลดลงของปริมาตรมากที่สุดคือช่วงแรม ในขณะที่ช่วงป้อนและช่วงอันมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของผสมน้อยมาก รูปแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของของผสมในแต่ละช่วงของเกลียวอัดแสดงในรูปที่ 2.8 [27, 31 35]

ลักษณะการบีบอัดของวัสดุบิดตามความยาวเกลียวอัด



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการบีบอัดของวัสดุบิดเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียวอัด [27]

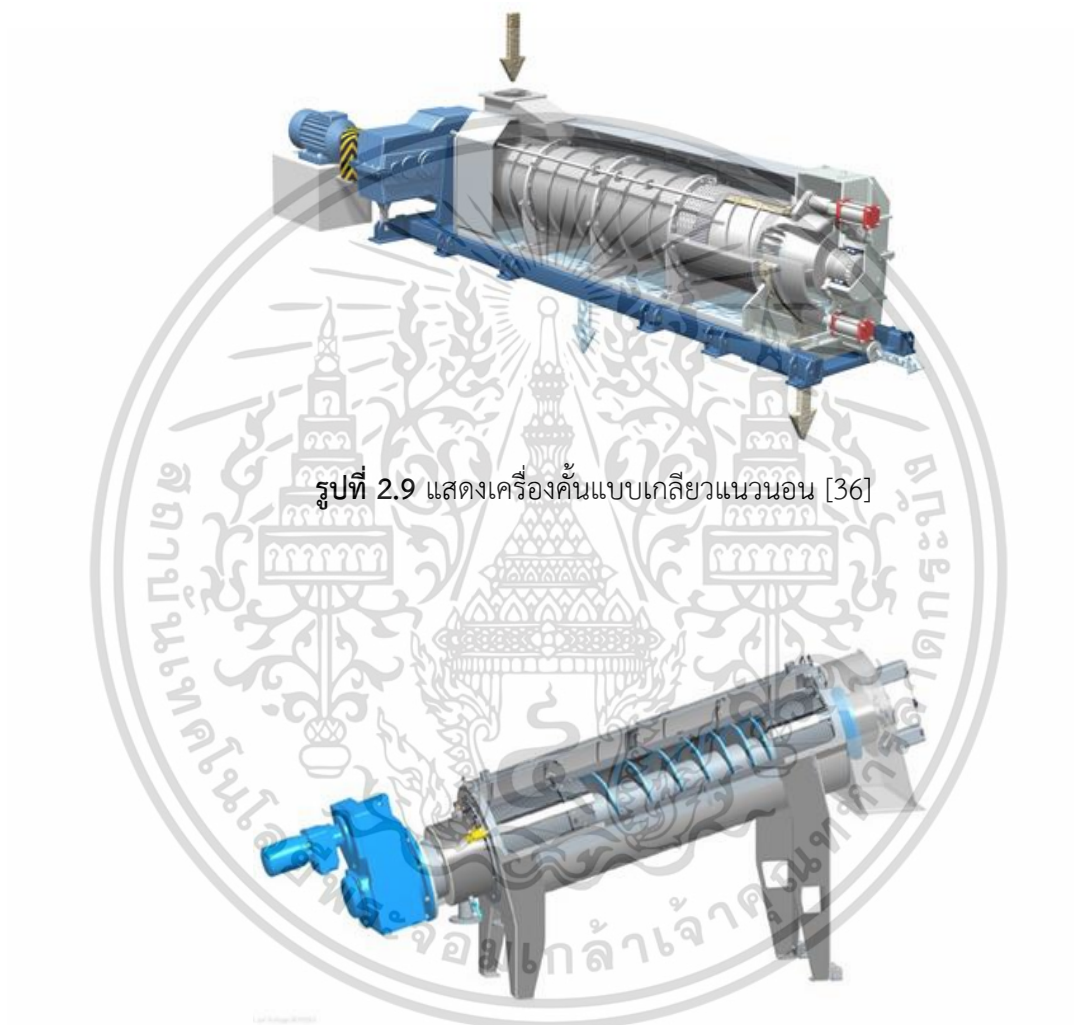


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุบิดเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียวอัด [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ชนิดของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

เครื่องคั้นแบบเกลียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการวางตัวของบารเรล ได้แก่ เครื่องคั้นแบบเกลียวแนวนอนดังแสดงในรูปที่ 2.9 และเครื่องคั้นแบบเกลียวแบบลาดเอียงดังแสดงในรูปที่ 2.10 [36, 37]



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องคั้นแบบเกลียวแนวนอน [36]

รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องคั้นแบบเกลียวแนวลาดเอียง [37]

นอกจากการแบ่งประเภทตามการวางตัวของบารเรล การแบ่งตามจำนวนเกลียวอัดก็เป็นที่ยอมรับเช่นกัน โดนจะแบ่งได้ 3 ประเภทหลัก ได้แก่ เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยว (Single screw) เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่ (Twin screw) และเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดสามเกลียว (Triple screw)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยว

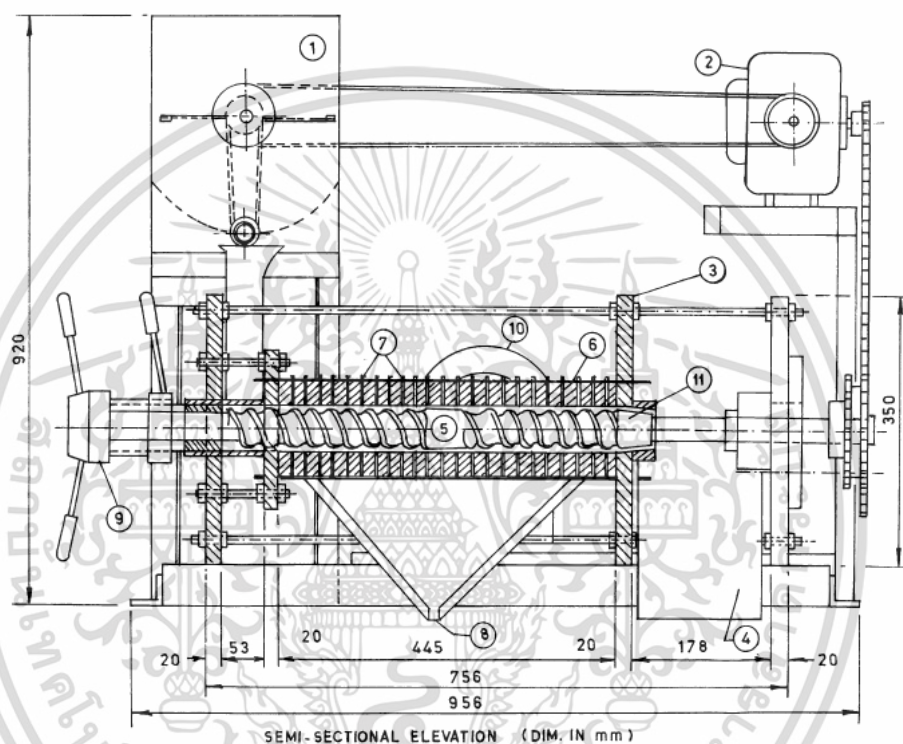
เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยวจะประกอบด้วยเกลียวอัดภายในบารเลทหนึ่งเกลียว เป็นเครื่องที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากการบำรุงรักษาที่ง่ายและซับซ้อนน้อยกว่า รวมไปถึงราคาเครื่องจักรในตลาดที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่กำลังการผลิตเท่ากัน

ในปี ค.ศ. 1988 (พ.ศ. 2531) Vadke et al. [31] ได้ทำการวิจัยการคำนวณอัตราน้ำมันที่ได้จากการสกัดและปริมาณน้ำมันที่เหลือในกากจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยว จากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวอัดโดยใช้หลักการการซ้อนทับ (Superimposition) และการวิเคราะห์การกรองของทฤษฎีเกลียวอัดของเครื่องเอ็กทรูเดอร์ (Screw extrusion theory) ภายใต้วัดแปรมิติขนาดและคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืชน้ำมันที่กำหนด ผลจากการวิจัยพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายประสิทธิภาพการสกัดที่สูงขึ้น อัตราน้ำมันจากการสกัดมากขึ้น และปริมาณน้ำมันที่เหลือในกากลดลงหากเครื่องจักรได้รับการระบายความร้อนระหว่างกระบวนการสกัด ระยะเวลาการสกัดที่มากขึ้นส่งผลให้อัตราน้ำมันจากการสกัดสูงขึ้นและปริมาณไขมันในกากลดลง ผลจากการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเพลลาและการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องเปิดพบว่า ที่ขนาดช่องเปิดลดลงส่งผลให้ปริมาณน้ำมันในกากน้อยลงเนื่องจากความดันสุดท้ายในการสกัดสูงขึ้นจากความต้านทานอัตราไหลที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับการลดความเร็วรอบเพลลาส่งผลให้ปริมาณน้ำมันในกากน้อยลงเนื่องจากเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจากการลำเลียงวัตถุดิบของเกลียวอัดที่ช้าลงและความหนืดของของผสมที่เพิ่มสูงขึ้นจากการลำเลียงที่ช้าลงส่งผลให้ความดันสุดท้ายในการสกัดสูงขึ้น สำหรับอัตราน้ำมันที่สกัดได้พบว่าลดลงเมื่อขนาดช่องเปิดมากขึ้นหรือความเร็วรอบเพลลาลดลง การจำลองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องเปิดในระดับที่มีนัยสำคัญได้เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของวัตถุดิบระหว่างกระบวนการสกัด ในงานวิจัยดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของมวลเมล็ดพืชน้ำมันที่เกิดขึ้นระหว่างการลำเลียงในกระบวนการสกัดส่งผลให้วัตถุดิบมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันขึ้น ผู้วิจัยได้เสนอแนะว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถทำนายได้มีความแม่นยำสูงขึ้นเมื่อใช้การวิเคราะห์หีนพจน์ (Expression analysis) แทนการวิเคราะห์การกรองอย่างง่าย

การสกัดด้วยวิธีการอัดทางกลด้วยเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยวเป็น

กรรมวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการสกัดน้ำมัน แต่มีปริมาณไขมันหลงเหลือในกาก 8-10% ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

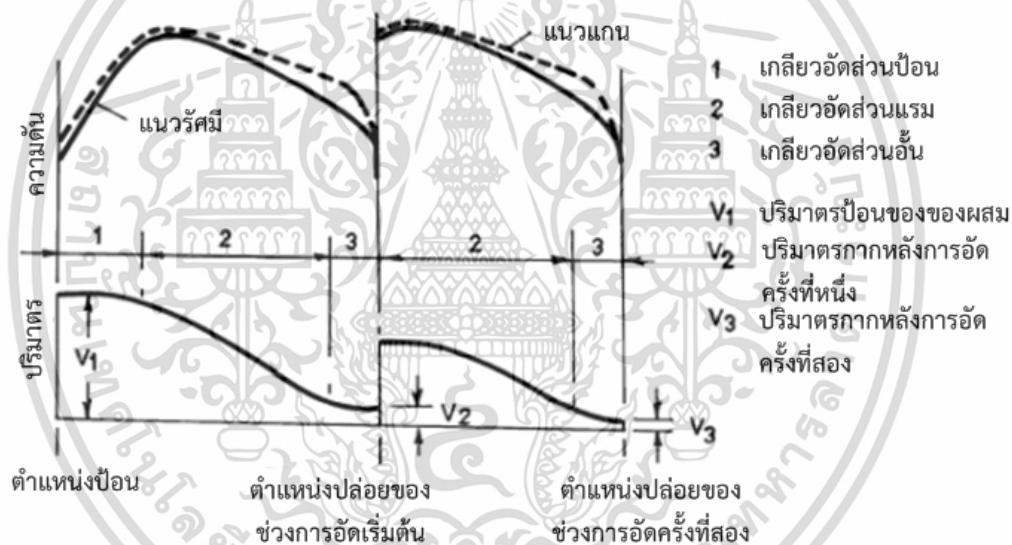
14% Singh และ Bargale [1] ได้นำงานวิจัยของ Vadke et al. มาใช้ในการออกแบบพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวอัดสองชั้นตอนขนาดเล็กสำหรับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน เกลียวอัดของเครื่องจักรมีการแบ่งเป็นสองช่วงคือ ช่วงการอัดเริ่มต้นและช่วงการอัดครั้งที่สองโดยจะมีเพลากลางเกลียวอัดคั่นระหว่างสองช่วงเพื่อลดจำนวนครั้งในการสกัดซ้ำของวัตถุดิบ (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 เครื่องสกัดน้ำมันขนาดเล็กแบบเกลียวอัดสองชั้นตอน ประกอบด้วย (1) ช่องบ่อนวัตถุดิบ (2) ชุดลดความเร็ว (3) โครงสร้างเครื่องจักร (4) ถาดเก็บกากจากการสกัด (5) เพลากลางเกลียวอัด (6) บารเรล (7) ตัวคั่น (8) ถาดเก็บน้ำมันจากการสกัด (9) ชุดปรับขนาดช่องเปิด (10) มอเตอร์ไฟฟ้า (11) กลไกช่องเปิด [1]

จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่าในช่วงการอัดเริ่มต้นและช่วงการอัดครั้งที่สองมีความดันในการอัดใกล้เคียงกัน แต่ปริมาตรของวัตถุดิบในช่องเกลียวอัดของช่วงการอัดเริ่มต้นมีมากกว่าปริมาตรของวัตถุดิบในช่องเกลียวอัดของช่วงการอัดครั้งที่สองประมาณหนึ่งเท่า (รูปที่ 2.12) ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันของเครื่องจักรขนาดเล็กที่ผ่านการพัฒนาให้เกลียวอัดมีลักษณะการอัดเอกสารถึงเป็นเอกสารถึงที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

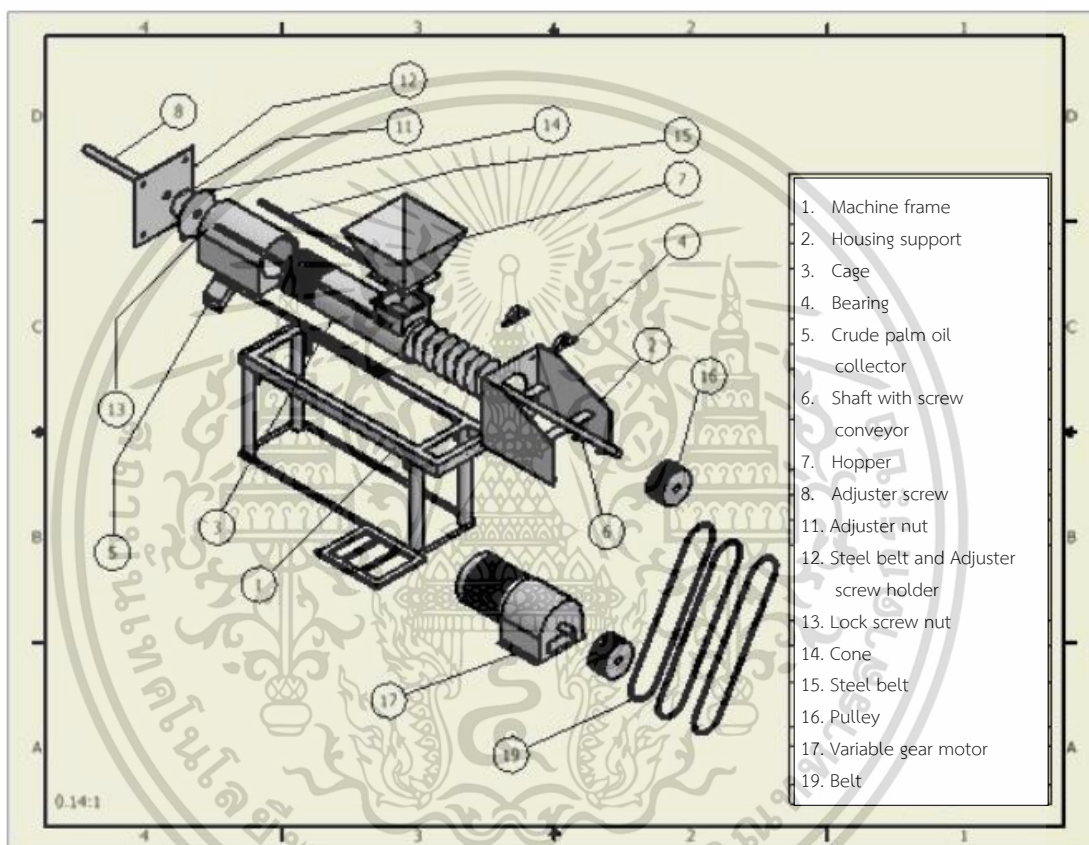
สองขั้นตอนภายใต้การทดลองสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันตัวอย่าง คือ เมล็ดผักกาดก้านขาว (*Brassica campestris* L.) ที่ควบคุมความชื้นพบว่าการสกัดด้วยตัวถูบสองครั้งสามารถสกัดน้ำมันได้มากกว่า 90% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด ที่ระดับความชื้นของเมล็ดผักกาดก้านขาว 7.5% เปรียบเทียบกับเครื่องสกัดน้ำมันทั่วไปซึ่งต้องมีการสกัดด้วยตัวถูบ 3-5 ครั้งเพื่อให้สกัดน้ำมันได้ประมาณ 80% ของเมล็ดผักกาดก้านขาว จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของผู้วิจัยชี้ให้เห็นว่าเครื่องจักรในงานวิจัยมีความเหมาะสมในการใช้งานกับกระบวนการสกัดน้ำมันขนาดเล็กเนื่องจากลักษณะของเกลียวอัดสองขั้นตอนส่งผลให้ความยาวของเกลียวอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องสกัดน้ำมันทั่วไป เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันและติดขัดของเครื่องจักรจากความยาวเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้นจึงได้ปรับเปลี่ยนอัตราการอัด ของเกลียวจากการออกแบบเกลียวอัดของเครื่องสกัดน้ำมันทั่วไป



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรของวัตถุบีบภายในช่องเกลียวอัดของเครื่องสกัดน้ำมันขนาดเล็กแบบเกลียวอัดสองขั้นตอน [1]

Adetola et al. [38] ทำการพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันสำหรับกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็กถึงขนาดกลางเพื่อนำเครื่องจักรมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตและเพิ่มกำลังการผลิต การสกัดน้ำมันจากผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) ของเครื่องจักรต้นแบบ ซึ่งมีบาริลความยาว 650 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 166 mm ความหนาบาริล 10 mm เกลียวอัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 mm และความยาว 900 mm โดยมีการออกแบบให้ระยะห่างระหว่างเกลียวอัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความถี่ร่องเกลียวลดลงตามความยาวในแนวนอนของเกลียวอัด ระยะห่างระหว่างครีบกเกลียวและผนังภายในบาเรลเท่ากับ 1.5 mm กำลังของเครื่องจักรได้จากมอเตอร์สามเฟสขนาด 5 HP และมีกรวิเคราะห์ความแข็งแรงและพลังงานของเครื่องจักร โครงสร้างเครื่องจักรแสดงในรูปที่ 2.13 ผลจากการทดลองของเครื่องจักรต้นแบบพบว่าอัตราส่วนการสกัดน้ำมันสูงสุด 17.90% ที่ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน 79.56% ที่ความเร็วรอบเกลียวอัด 10 rpm



รูปที่ 2.13 เครื่องสกัดน้ำมันจากผลปาล์มน้ำมันในงานวิจัยของ Adetola et al. [38]

Koshevoy and Meretukov [39] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการไหลของของไหลนอนนิวโตเนียนภายในช่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวเดี่ยวสำหรับกระบวนการสกัด Phosphatide เข้มข้นจากเมล็ดดอกทานตะวันโดยใช้เอชซีโตนในการสกัด ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์การกรองร่วมกับทฤษฎีเกลียวอัดของเอ็กซ์ทรูเดอร์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองการไหลในแนวแกนของของไหลนอนนิวโตเนียนภายในช่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เช่นเดียวกับ Vadke et al. [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่

เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่จะประกอบด้วยเกลียวอัดภายในบารเรลสองเกลียว ครั้งแรกที่มีการพัฒนาและนำเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันในช่วยทศวรรษที่ 90 โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยตามลักษณะการหมุนของเกลียวอัด คือ หมุนไปในทิศทางเดียวกัน และหมุนในทิศสวนทางกัน ส่งผลให้เกิดการลำเลียงวัตถุดิบอย่างเป็นอิสระและไม่ขึ้นกับความเร็วรอบเกลียวอัดและความดัน รวมไปถึงประสิทธิภาพในการผสมที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น [2, 28]



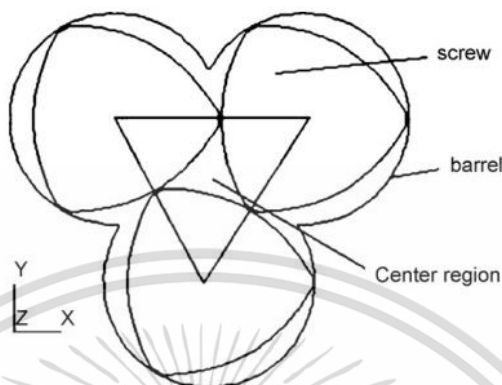
รูปที่ 2.14 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่ [40]

2.3.1.3 เครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดสามเกลียว

ในปี พ.ศ. 2552 Zhu et al. ได้ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีโดยใช้สามเกลียวอัดวางตัวในลักษณะสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ลักษณะการไหลและการผสมที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างจากสองประเภทข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอีกมากเนื่องจากความซับซ้อนของรูปทรงทางเลขาคณิต ในการจำลองการไหลของของไหลที่เกิดขึ้นภายในบารเรล Zhu et al. ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และในส่วนกลางระหว่างเกลียวอัด (Center region) ใช้วิธีการวิเคราะห์การกระจายความเร็ว การกระจายความดัน และเวลาที่ของเหลวอยู่ในเครื่องจักร ผลการศึกษาพบว่าบริเวณส่วนกลางระหว่างเกลียวอัดมีความปั่นป่วนสูงแต่ไม่พบการหยุดนิ่งของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของความดันและความเร็วค่อนข้างน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วมีกำลังการผลิตที่สูงกว่าเกลียวเดี่ยวและเกลียวคู่ [41]



รูปที่ 2.15 ภาพตัดตามขวางของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดชนิดสามเกลียว [41]

2.3.2 สมการออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

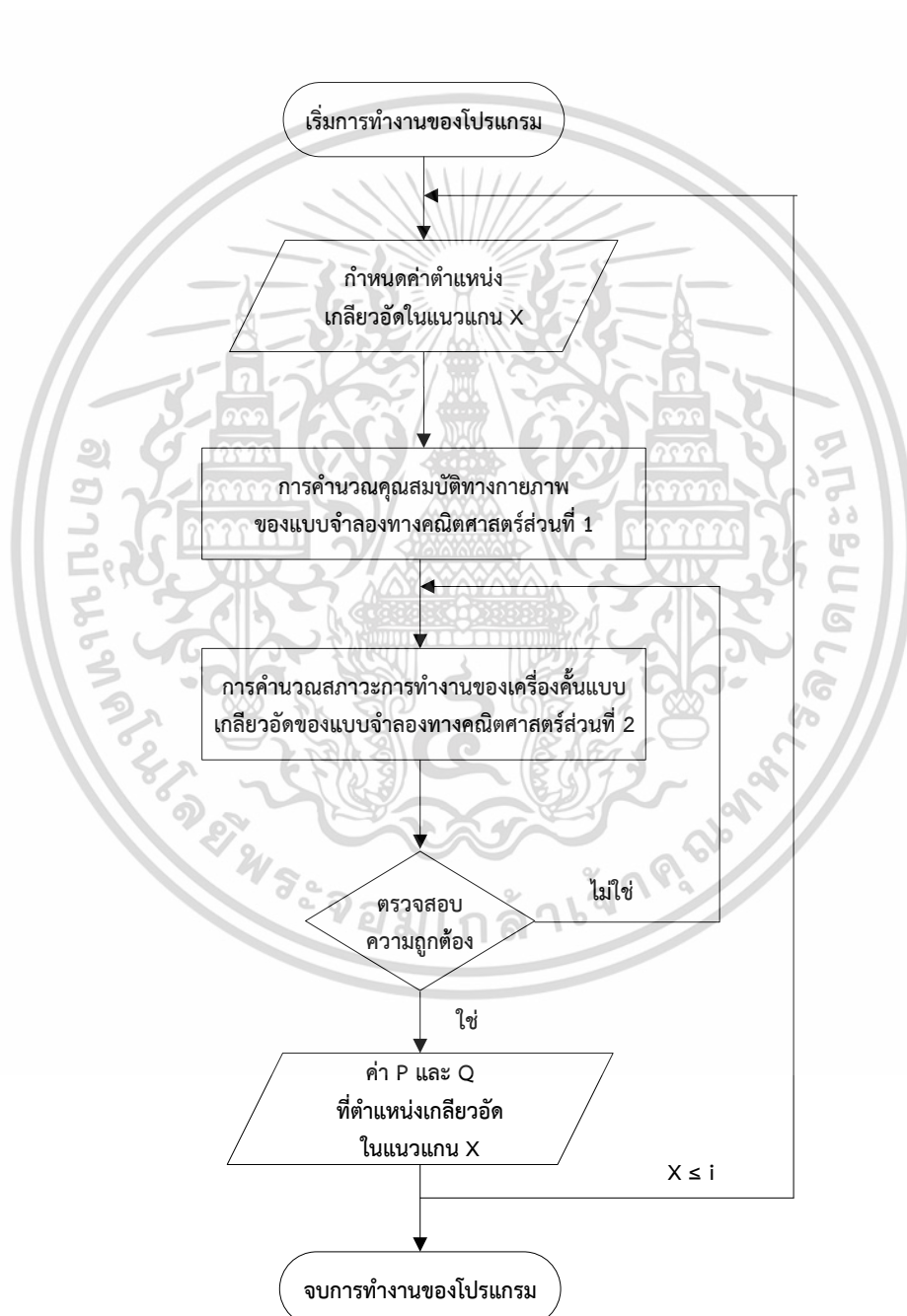
โปรแกรมในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองส่วนคือ โปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด และโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด

2.3.2.1 โปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

ในส่วนของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดแบ่งออกเป็นสองส่วนตามลำดับการคำนวณ ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคุณสมบัติของน้ำกะทิ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัดซึ่งเป็นแบบจำลองหลักในการคำนวณ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประสบความสำเร็จในการจำลองการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดให้เหมาะสม โปรแกรมเริ่มจากการกำหนดระยะเริ่มต้น X สำหรับการคำนวณ จากระยะที่กำหนดให้คำนวณหาคุณสมบัติด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนที่หนึ่ง แล้วจึงคำนวณหาความดันและอัตราการไหลของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดที่ตำแหน่งระยะเกลียวอัด X ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนที่ 2 ต่อมาจึงตรวจสอบผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการเปรียบเทียบค่าความ

ดันจากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนที่ 2 กับผลการคำนวณความดันจากอัตราการไหลเอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลที่ได้ในตำแหน่งเดียวกัน หากไม่ถูกต้องโปรแกรมจะส่งกลับไปคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนที่ 2 ใหม่ หากผลการคำนวณถูกต้องจะได้ค่าอัตราการไหลและความดันภายในเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดที่ระยะเกลียวอัด X แล้วจึงคำนวณขั้นตอนซ้ำที่ตำแหน่งระยะเกลียวอัดต่อไปจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ i ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายของเกลียวอัด แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมช่วยออกแบบในงานวิจัยแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคุณสมบัติของน้ำกะทิ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคุณสมบัติของน้ำกะทิมาจากการศึกษาสมการในการคำนวณคุณสมบัติของน้ำกะทิ ในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กำหนดให้คำนวณจากค่ากลางของน้ำกะทิและเนื้อมะพร้าวชูดเนื่องจากงานวิจัยต้องการมุ่งเน้นในการศึกษาผลกระทบของตัวแปรมิติขนาดและตัวแปรในการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดต่อกำลังการผลิต (ปริมาตรน้ำกะทิที่คั้นได้ต่อหน่วยเวลา) ของเครื่องจักร ค่ากลางของน้ำกะทิและเนื้อมะพร้าวชูดซึ่งเป็นค่าเบื้องต้นในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กำหนดให้ปริมาณไขมันของน้ำกะทิ 30% โดยมวล ปริมาณไขมันในเนื้อมะพร้าว 35% โดยมวล อุณหภูมิของน้ำกะทิ 70 °C จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทที่พบว่าความหนาแน่นของกะทิ ρ (kg/m³) เป็นฟังก์ชันของปริมาณไขมัน X_F (g fat/g product) และอุณหภูมิ T (°C) ของน้ำกะทิ สามารถคำนวณจากสมการ (2.1) ที่ $R^2=0.974$ และ $SE=0.715$ [20]

$$\rho = 1018 - 31X_F - 0.465T \quad (2.1)$$

น้ำกะทิมีพฤติกรรมเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนแบบซูโดพลาสติกสามารถอธิบายได้ด้วยสมการกฎการยกกำลัง [18, 19, 20] เมื่อ τ คือความเค้นเฉือน (Shear stress) K_c คือค่าดัชนีความข้นเหลว (Pa.sⁿ) γ คืออัตราเฉือน (Shear rate) (s⁻¹) n คือค่าดัชนีการไหล และ μ_t คือความหนืด (Pa.s) สมการ (2.2) แสดงในรูปของความเค้นเฉือน และสมการ (2.3) แสดงในรูปของความหนืด จากงานวิจัยพบว่าความหนืดของน้ำกะทิขึ้นกับความเข้มข้นของไขมันภายในน้ำกะทิ C (%) ซึ่งแสดงในสมการ (2.4) โดย R คือค่าคงที่ของก๊าซ (Gas constant) เท่ากับ 8.314 kJ/mole·K [18]

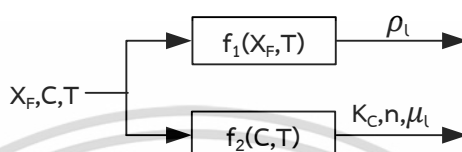
$$\tau = K_c \gamma^n \quad (2.2)$$

$$\mu_t = K_c \gamma^{n-1} \quad (2.3)$$

$$\mu_t = 0.0294C^{-0.743} \exp((0.240C^{2.854})/(R(T+273))) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าคุณสมบัติของ น้ำกะทิเริ่มจากการป้อนข้อมูลปริมาณไขมันของน้ำกะทิ ความเข้มข้นของไขมันในน้ำกะทิ และ อุณหภูมิของน้ำกะทิใน f_1 และ f_2 การคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ค่าความหนาแน่น ของน้ำกะทิ ค่าดัชนีความข้นเหลว ค่าดัชนีการไหล และความหนืดของน้ำกะทิดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แผนภาพการคำนวณคุณสมบัติของกะทิ

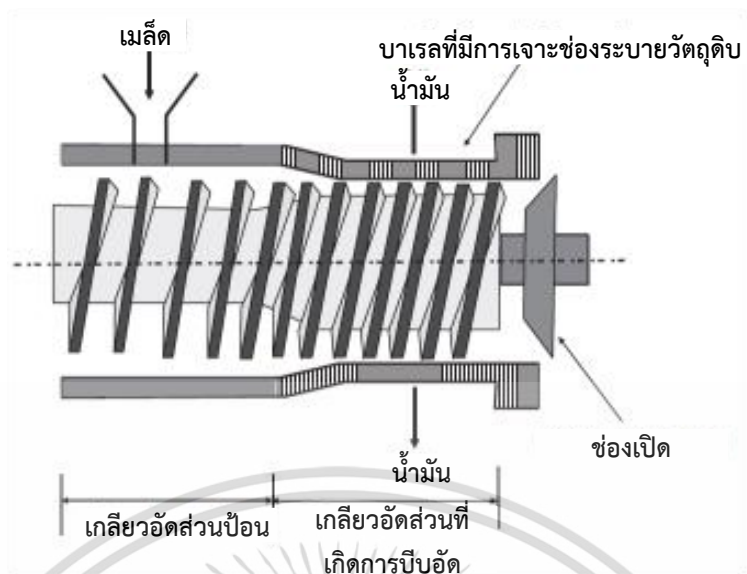
2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัดมาจากการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Vadke et al. [31] ซึ่งมาจากการวิเคราะห์การกรองและทฤษฎีเกลียวอัดของเครื่องเอ็กซ์ทราเตอร์เกลียวเดี่ยวที่มีลักษณะดังแสดงในแผนภาพเครื่องจักรรูปที่ 2.18

งานวิจัยของ Vadke et al. [31] ตั้งบนสมมติฐานซึ่งนำมาปรับให้เหมาะสมกับกระบวนการคั้นน้ำกะทิได้ดังต่อไปนี้

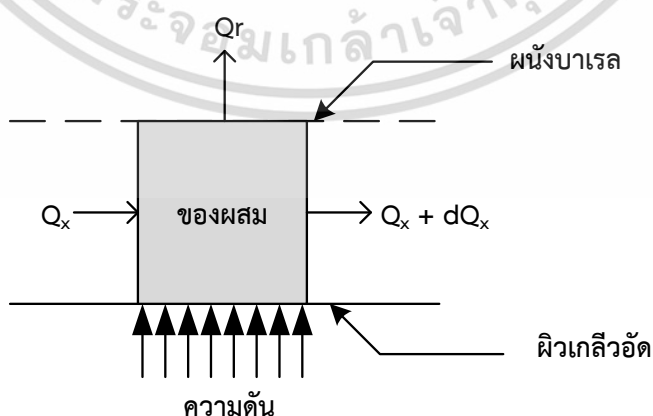
1. น้ำมันพร้าวชุดและน้ำมีการผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ในเกลียวอัดส่วนป้อน และเกิดการบีบอัดในส่วนต่อไป พฤติกรรมของของผสมในร่องเกลียวเป็นลักษณะของของไหลแบบนอนนิวโตเนียน
2. การบีบอัดที่เกิดขึ้นในเกลียวอัดส่วนป้อนมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเกลียวอัดส่วนอื่น ๆ จึงถือว่าไม่เกิดความดันขึ้น ความดันจะเพิ่มขึ้นเมื่อของผสมเข้าสู่เกลียวอัดส่วนต่อจากเกลียวอัดส่วนป้อน
3. อุณหภูมิในกระบวนการคั้นในส่วนที่เกิดความดันมีค่าคงที่ ในความเป็นจริงจะเกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากแรงเฉือนจากการบีบอัด แต่เราละเลยคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี ส่งผลให้อุณหภูมิมีความสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แผนภาพแสดงระบบของเกลียวอัดที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [31]

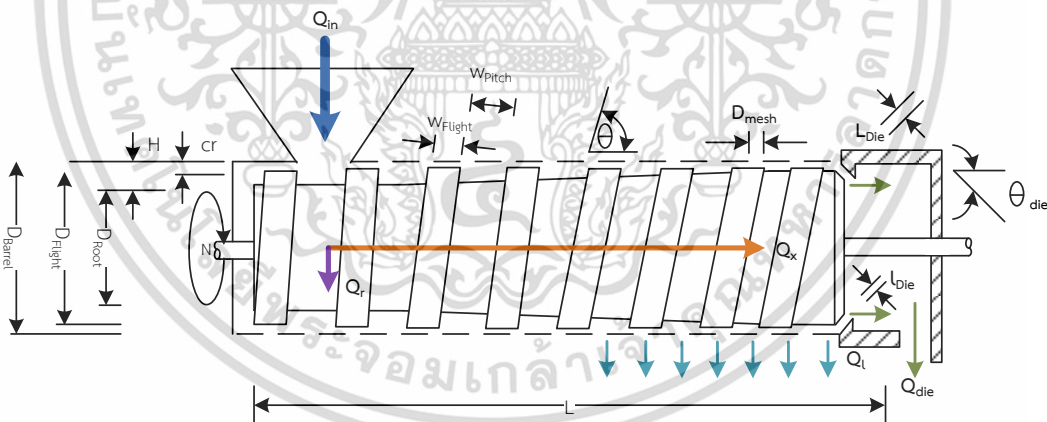
ในการคั้นของเครื่องคั้นแบบเกลียว เมื่อของผสมไหลผ่านส่วนเล็ก ๆ ระหว่างเกลียวอัดและผนังบาเรลด้วยอัตราการไหลในแนวแกน Q_x ของผสมจะได้รับความดันจากผิวเกลียวซึ่งสร้างจากเกลียวอัดกระทำต่อของผสม ความดันที่มากเพียงพอทำลายเซลล์ของของผสมส่งผลให้เกิดการไหลในแนวรัศมีขึ้นด้วยอัตราการไหล Q_r ผ่านผนังของบาเรล (Barrel wall) ทำให้ปริมาตรของของผสมเกิดการเปลี่ยนแปลง ของผสมจะไหลออกจากพื้นที่ด้วยอัตราการไหล $Q_x + dQ_x$ โดยที่ dQ_x สัมพันธ์กับอัตราการไหลในแนวรัศมีซึ่งจะมีค่าเป็นลบเนื่องจากเกิดการถ่ายเทมวลออกจากกระบวนการไหลของของผสมผ่านส่วนเล็ก ๆ ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.19 [31, 35]



รูปที่ 2.19 แสดงการไหลของวัตถุบดผ่านพื้นที่ส่วนเล็ก ๆ ของช่องว่างระหว่างเกลียวอัดและผนังภายในบาเรล [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัดต้นแบบในกรณีศึกษาทำงานที่ความเร็วรอบเกลียวอัด N คงที่ มีองศาเกลียวอัดในแนวแกน θ ความกว้างครีบกเกลียว W_{Flight} ความกว้างร่องเกลียวอัด W_{Pitch} เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัด D_{Root} เส้นผ่านศูนย์กลางครีบกเกลียวอัด D_{Flight} ความลึกร่องเกลียวอัด H และความยาวเกลียวอัด L บารเรลของเครื่องจักรมีเส้นผ่านศูนย์กลางบารเรล D_{Barrel} ความกว้างช่องของบารเรล D_{mesh} และมีระยะระหว่างครีบกเกลียวอัดและผนังภายในของบารเรล Cr ที่บริเวณช่องเปิดของเครื่องจักรมีองศาช่องเปิด θ_{die} ความยาวช่องเปิด L_{Die} และความกว้างช่องเปิด l_{Die} เมื่อป้อนวัตถุดิบ ได้แก่ เนื้อมะพร้าวขูดฝอยและน้ำเข้าสู่เครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัดด้วยอัตราการไหล Q_{in} ของผสมจะถูกถล่มและบีบอัดด้วยเกลียวอัดจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัดตามความยาวในแนวแกนส่งผลให้เกิดการไหลของกะทิในแนวรัศมีเท่ากับ Q_r และการไหลของของผสมในแนวแกนเท่ากับ Q_x ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั้นจะไหลออกจากบารเรลที่บริเวณส่วนปลายของเกลียวอัดด้วยอัตราการไหล Q_t และจากจากการคั้นจะถูกปล่อยออกที่ปลายช่องเปิดของเครื่องจักรด้วยอัตราการไหล Q_{die} โครงสร้างของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัดซึ่งใช้เป็นกรณีศึกษาในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวในงานวิจัย

ในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มจากการทำสมดุลมวลของระบบรอบบริเวณเล็ก ๆ ของช่องว่างระหว่างเกลียวอัดและผนังภายในบารเรล (รูปที่ 2.19) เมื่อสมมติให้ความหนาแน่นของของผสมคงที่ ρ ณ ตำแหน่งที่กำหนด ได้สมการ 2.5 [31]

$$-dQ_x \rho c = Q_r \rho l \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลในแนวแกนของของไหลแบบนอนนิวโตเนียนของเครื่องขึ้นแบบเกลียว
 อัดมาจากสมการการไหลของของไหลนอนนิวโตเนียนภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เนื่องจากมีลักษณะ
 โครงสร้างเครื่องจักรและลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งสมการการไหลในแนวแกนที่ตำแหน่ง
 X บนเกลียวอัดดังกล่าวแสดงในสมการ (2.6) โดยมี f_d คือ Shape factor for drag flow สามารถ
 คำนวณจากสมการ (2.7) f_{ps} คือ Shape factor for pressure flow สามารถคำนวณได้จากสมการ
 (2.8) และ f_{pd} คือ Correction factor for average viscosity in pressure flow สามารถคำนวณ
 ได้จากสมการ (2.9) [31]

$$Q_x = (\pi f_d D_{\text{Barrel}} W_{\text{Pitch}} (H - Cr) N \cos \theta) / 2 - (H^3 W_{\text{Pitch}} f_{pd} f_{ps}) / (12 n \mu_c) \cdot dP/dX \quad (2.6)$$

$$f_d = 1 - (0.487n^2 - 0.948n + 0.972)x(H/W) \quad (2.7)$$

$$f_{ps} = 1 - (0.949n^2 - 1.87n + 1.59)x(H/W) \quad (2.8)$$

$$f_{pd} = 0.98 \quad (2.9)$$

จากลักษณะการไหลของของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กผ่านบารเรลซึ่ง
 มีลักษณะเป็นช่องตะแกรงจึงนำอัตราการไหลในแนวแกนรัศมีมาเขียนในรูปของสมการการกรองได้ใน
 สมการ (2.10) เมื่อ u_r คือ ความเร็วของอัตราการไหลของกะทิที่ผนังบารเรล α_s คือ Specific
 filtration resistance และ m_s คือ มวลของของแข็งในช่องเกลียวต่อหน่วยพื้นที่ของบารเรล [31]

$$Q_r = \pi D_{\text{Barrel}} dX u_r$$

$$Q_r = \pi D_{\text{Barrel}} dX (P / (\alpha_s \mu m_s)) \quad (2.10)$$

เมื่อแทนสมการ (2.10) ในสมการ (2.5) และจัดรูปสมการได้สมการแสดงอัตรา
 การไหลในแนวแกนต่อความยาวตามแนวแกนของเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้น แสดงในสมการ (2.11) [31]

$$(dQ_x/dX) = (\pi D_{\text{Barrel}} P) / (\alpha_s \mu m_s) \cdot (\rho_l / \rho_s) \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.11) ใช้ในการจำลองปริมาณผลผลิตที่ได้และ อัตราการคั่นจากการเพิ่มขึ้นของความดันภายในเกลียวอัด ในการคำนวณความดันสุดท้ายที่บริเวณ ช่องเปิดของเครื่องคั่นแบบเกลียวอัดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.12) เมื่อ K_d คือ Choke geometric constant [31]

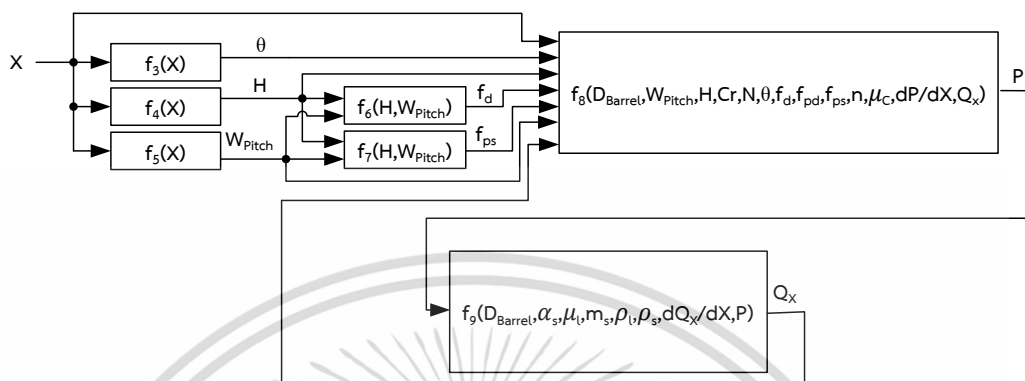
$$P = K_c K_d (Q_{die})^n \quad (2.12)$$

ในการคำนวณปริมาณน้ำมัน (F) ในของผสมที่ตำแหน่ง X ใด ๆ ตามความยาว ในแนวแกนของเกลียวอัดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.13) เมื่อ F_0 คือ ปริมาณน้ำมันเริ่มต้นของ ของผสม สำหรับเนื้อมะพร้าวขาวชุดฝอยมีค่าเท่ากับ 0.35 (จากการกำหนดขอบเขตของงานวิจัย) Q_0 คือ อัตราการไหลที่ตำแหน่งเริ่มต้น ρ_{c0} คือ ความหนาแน่นของของผสมที่ตำแหน่งเริ่มต้น Q_x คือ อัตราการไหลที่ตำแหน่ง X และ ρ_{cx} คือ ความหนาแน่นของของผสมที่ตำแหน่ง X [31]

$$F = 1 - (1-F_0) \left(\frac{Q_0 \rho_{c0}}{Q_x \rho_{cx}} \right) \quad (2.13)$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั่น แบบเกลียวอัดเป็นการจำลองพฤติกรรมของวัตถุติดภายในเครื่องจักร ค่าคุณสมบัติของวัตถุติดคือเนื้อ มะพร้าวชุดฝอยและน้ำกะทิจากกรณีศึกษาได้จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วน ของการจำลองคุณสมบัติของน้ำกะทิ ค่าตัวแปรมิติขนาดของเครื่องจักรในการคำนวณได้จากการ ทดลองวัดขนาดกับเครื่องจักรกรณีศึกษา การคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มจากการใส่ ตำแหน่ง X เริ่มต้นของเกลียวอัด แทนค่าในสมการ f_3 f_4 และ f_5 เพื่อคำนวณองศาเกลียวอัดใน แนวแกน ความถี่ร่องเกลียวอัด และความกว้างร่องเกลียวอัด ณ ตำแหน่งเกลียวที่ X ตามลำดับ ความถี่ร่องเกลียวอัดและความกว้างร่องเกลียวอัดใช้ในการคำนวณ Shape factor of drag flow (f_d) และ Shape factor for pressure flow (f_{ps}) ในสมการ f_6 และ f_7 ตามลำดับ จากนั้นจึงสมมติ ค่าความดัน P และอัตราการไหลในแนวแกน Q_x เพื่อใช้ในการคำนวณรอบแรกอัตราการไหลใน แนวแกนใช้ในการคำนวณในสมการ f_8 เพื่อคำนวณต่อในสมการ f_9 แทนค่ากลับในสมการ f_8 เพื่อ คำนวณความดันแทนความดันที่ตำแหน่งต่อไป ความดันจะแทนค่าในสมการ f_9 เพื่อคำนวณอัตราการ ไหล การคำนวณใช้ระเบียบวิธีรุ่งเง - คุดตาลำดับที่ 4 จากตำแหน่งเกลียวอัดเริ่มต้นถึงตำแหน่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้าย แผนภาพกระแสการคำนวณพฤติกรรมภายในเครื่องคั่นแบบเกลียวอัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนที่สองแสดงในรูปที่ 2.21

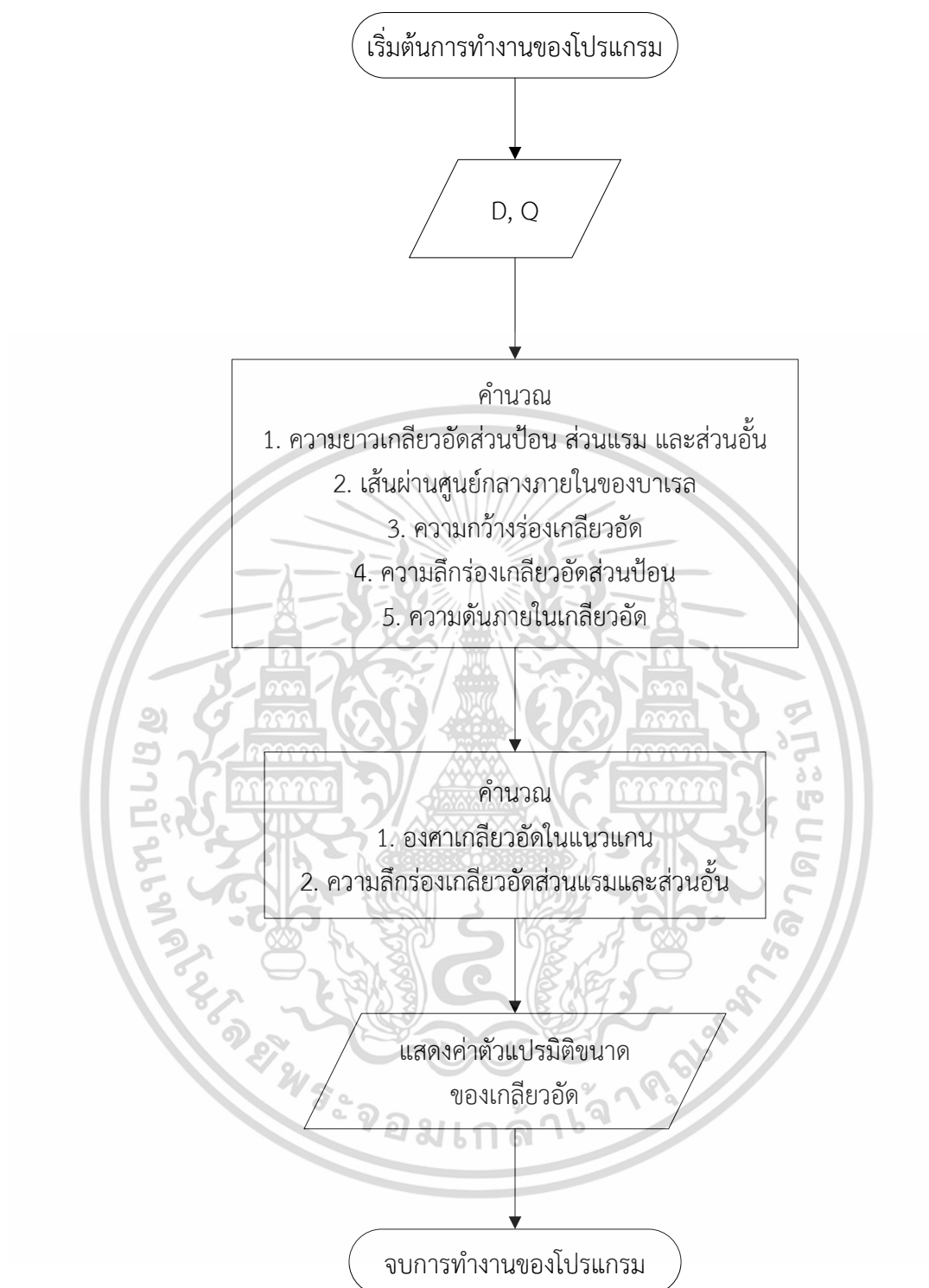


รูปที่ 2.21 แผนภาพกระแสการคำนวณพฤติกรรมภายในเครื่องคั่นแบบเกลียวอัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3.2.2 โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด

สำหรับโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดเริ่มจากการใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด และกำลังการผลิตที่ต้องการ ต่อมาจึงคำนวณความยาวของเกลียวอัดทั้งหมด ความยาวเกลียวอัดส่วนป้อน ส่วนแรม และส่วนอื่น เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของบารเรล ความกว้างร่องเกลียวอัด ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนป้อน และความดันที่เกิดขึ้นภายในเกลียวอัด โดยความดันนี้เป็นความดันสูงสุด ต่อมาจึงนำค่าจากการคำนวณมาใช้ในการคำนวณองศาเกลียวอัดในแนวแกนและความลึกร่องเกลียวอัดส่วนแรมและส่วนอื่น แล้วจึงคำนวณค่าความเร็วรอบในการทำงานของเกลียวอัด เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณจะแสดงผลตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัด ได้แก่ ความยาวเกลียวอัดทั้งหมด ส่วนป้อน ส่วนแรม และส่วนอื่น องศาเกลียวอัดในแนวแกน ความกว้างร่องเกลียวอัด ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนป้อน ส่วนแรม และส่วนอื่น โดยในส่วนแรมจะแสดงเป็นองศาที่เพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัด รวมไปถึงความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในบารเรล ความเร็วรอบในการทำงานของเกลียวอัด ลำดับการทำงานของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดแสดงในรูปที่ 2.22 โปรแกรมออกแบบเกลียวอัดมีจุดประสงค์ คือ กำหนดค่าเบื้องต้นในการออกแบบเกลียวอัดของเครื่องคั่นแบบเกลียวอัดสำหรับนำไปสร้างเครื่องจักรต้นแบบเพื่อทำการศึกษาและปรับค่าตัวแปรในการออกแบบอย่างละเอียดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แผนภาพการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

การทดลองเบื้องต้นกับเครื่องจักรในกรณีศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องจักรต้นแบบ การกำหนดขอบเขตและแนวทางในการศึกษาวิจัย และการกำหนดค่าเริ่มต้นในการคำนวณและตรวจสอบผลการคำนวณของโปรแกรมช่วยออกแบบเครื่องต้นแบบเกลียวอัด การทดลองประกอบด้วย การทดลองวัดขนาดของเครื่องจักรต้นแบบ และการทดลองวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบ ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองกับเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา รวมไปถึงการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 การศึกษาเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้ในกรณีศึกษา

การวัดขนาดของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาแบบมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการทำงานปัจจุบันของเครื่องจักรต้นแบบ และกำหนดค่าตัวแปรมิติขนาดและสภาวะการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น ความเร็วรอบเกลียวอัด และใช้เป็นค่าเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1.1 อุปกรณ์การวัดตัวแปรมิติขนาด

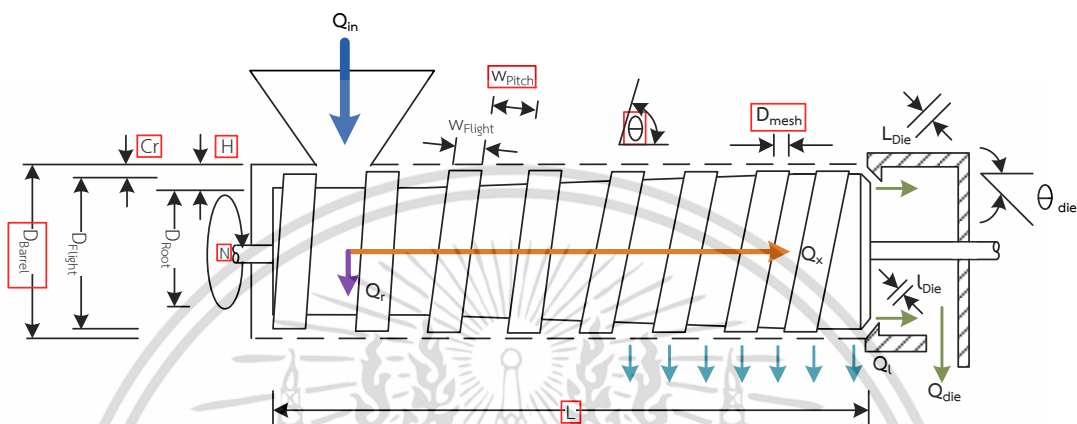
ในการวัดตัวแปรมิติขนาดของเครื่องจักรต้นแบบมีอุปกรณ์ได้แก่ เวอร์เนียคาลิเปอร์ Mitutoyo Series No. 530-104 ขนาด 0-150 mm ค่าความละเอียด 0.05 mm ค่าความคลาดเคลื่อน 0.05 mm ตลับเมตร Stanley รุ่น Global Tape 5M. และเครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ และวัดระดับดิจิตอล Bosch รุ่น GLM 80 ใช้แบตเตอรี่รีลีเทียมไอออน ขนาด 3.7 V เลเซอร์ไดโอด แบบ Class 2 630-670 nm ค่าความแม่นยำ ± 1.5 mm ค่าความแม่นยำในการวัดระดับ $\pm 0.2^\circ$ ค่าความแม่นยำในการวัดระยะ ± 1.5 mm ช่วงการวัดระยะ 50 mm - 80 m

3.1.2 วิธีการวัดตัวแปรมิติขนาด

ทดลองวัดตัวแปรมิติขนาดของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาโดยการหยุดกระบวนการผลิตและเข้าตรวจวัดตัวแปรมิติขนาด ตัวแปรมิติขนาดที่ตรวจวัดได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บารเรล (D_{Barrel}) ระยะห่างระหว่างครีบกะเทียวและผนังภายในบารเรล (C_r) ความยาวเกลียวอัด (L) ความกว้างของช่องบารเรล (D_{mesh}) ความเร็วรอบเกลียวอัด (N) ความลึกร่องเกลียวอัด (H) ความกว้างร่องเกลียวอัด (W_{Pitch}) และองศาเกลียวอัดในแนวแกน (θ) แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างอย่างง่ายและตัวแปรมิติขนาดในการทดลองวัดขนาดของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวในกรณีศึกษา

3.1.3 ผลการวัดตัวแปรมิติขนาด

ผลจากการวัดขนาดของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรมิติขนาดตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด ส่วนแรกคือตัวแปรมิติขนาดที่มีค่าคงที่ตลอดความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของบารเรล เส้นผ่านศูนย์กลางกลางครีบกะเทียวอัด ระยะห่างระหว่างครีบกะเทียวและผนังภายในบารเรล ความกว้างของช่องบารเรล ความยาวเกลียวอัดในแนวแกน และความเร็วรอบของเกลียวอัด ส่วนที่สองคือตัวแปรมิติขนาดที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด ได้แก่ ความลึกร่องเกลียวอัด ความกว้างร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกน

ผลการวัดขนาดของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาแสดงตัวแปรมิติขนาดและสภาวะการทำงานที่มีค่าคงที่ตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน ประกอบด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของบารเรล 395 mm เส้นผ่านศูนย์กลางกลางครีบกะเทียวอัด 391.7 mm ระยะห่างระหว่างครีบกะเทียวและผนังภายในบารเรล 3.3 mm ความกว้างของรูบารเรล 5 mm ความยาวเกลียวอัด 845 mm และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm แสดงผลในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่มีค่าคงที่ตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด

ตัวแปร	ผลจากการวัด
D_{Barrel} (mm)	395.0 ± 0.79
D_{Flight} (mm)	391.7 ± 0.79
Cr (mm)	3.3 ± 0.75
D_{mesh} (mm)	5.0 ± 0.10
L (mm)	845.0 ± 13.27
N (rpm)	200

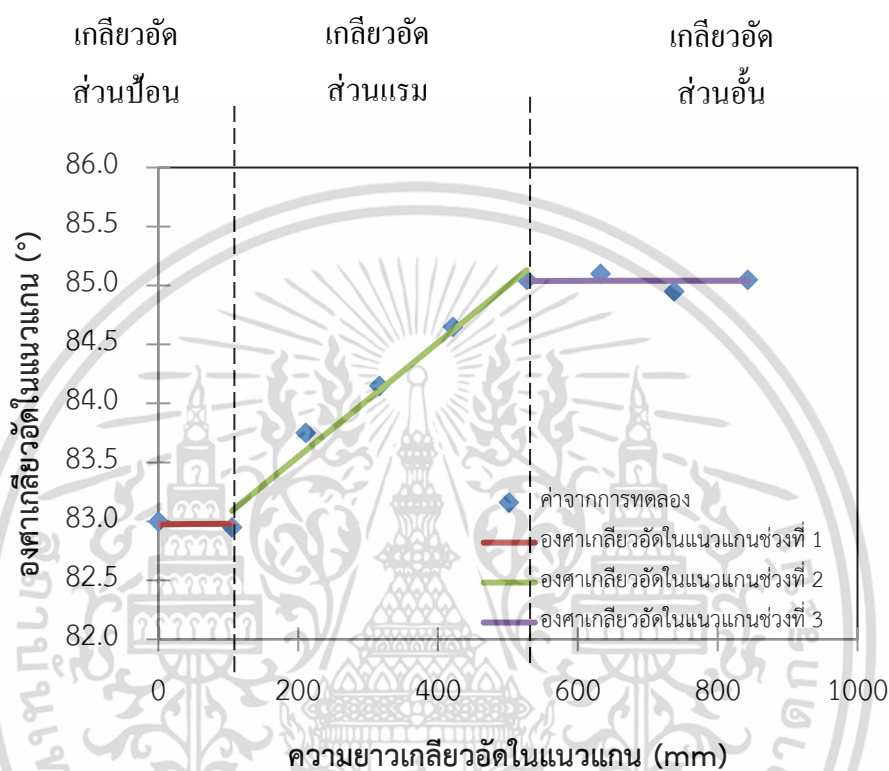
ผลการวัดขนาดของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาแสดงตัวแปรมิติขนาดที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกนของเกลียวอัด ซึ่งแสดงในรูปของสมการแสดงแนวโน้มเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องและแม่นยำในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากขึ้น เนื่องจากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นการคำนวณค่าที่ตำแหน่ง X บนความยาวในแนวแกนของเกลียวอัดโดย สำหรับองศาเกลียวอัดในแนวแกนพบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าตามความยาวในแนวแกน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการแบ่งช่วงของเกลียวอัดได้แก่ ช่วงป้อน ช่วงแรม และช่วงอื่น ตามลำดับ ช่วงที่ 1 คือระยะความยาวในแนวแกน 0-105 mm พบว่า องศาเกลียวอัดในแนวแกนมีค่าคงที่ เท่ากับ 82.98° ดังแสดงในสมการ (3.1) สามารถเปรียบเทียบเป็นช่วงป้อนของเกลียวอัด ช่วงที่ 2 ที่ระยะความยาวในแนวแกน 105-527 mm พบว่า องศาเกลียวอัดในแนวแกนมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรงโดยมีความชัน 4.84×10^{-3} แนวโน้มการเพิ่มขึ้นขององศาเกลียวอัดในแนวแกนช่วงที่ 2 แสดงในสมการ (3.2) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2=0.9808$ สามารถเปรียบเทียบเป็นช่วงแรมของเกลียวอัด และในช่วงที่ 3 ระยะความยาวในแนวแกน 527-845 mm พบว่าองศาเกลียวอัดในแนวแกนมีค่าคงที่ เท่ากับ 85.04° ดังแสดงในสมการ (3.3) สามารถเปรียบเทียบเป็นช่วงอื่นของเกลียวอัด รูปแสดงผลการทดลองวัดองศาเกลียวอัดในแนวแกนเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้มของเครื่องจักรต้นแบบเกลียวอัดกรณีศึกษาตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัดแสดงในรูปที่ 3.2

$$\theta_1 = 82.98 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_2 = (4.84 \times 10^{-3})X + 82.58 \quad (3.2)$$

$$\theta_3 = 85.04 \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.2 ผลจากการวัดองศาเกลียวอัดในแนวแกนและผลจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้มของเครื่องจักรกรณีศึกษาตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน

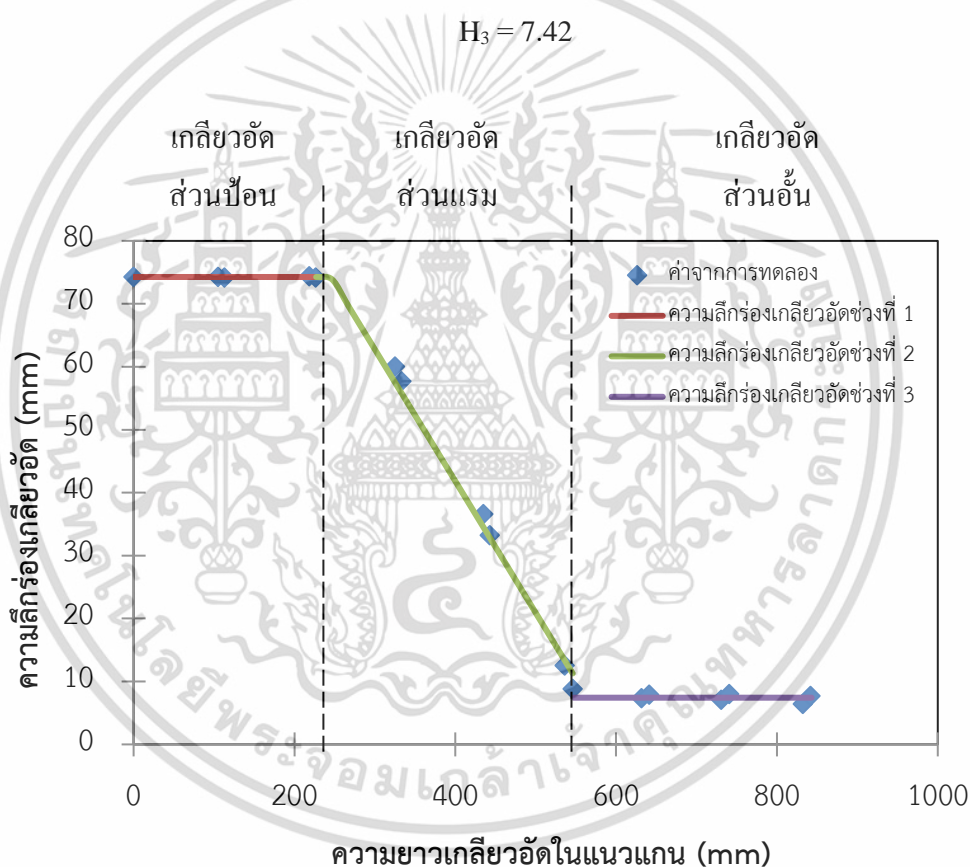
จากการทดลองพบว่าความลึกร่องเกลียวอัดสามารถแบ่งได้ 3 ช่วงตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด สอดคล้องกับทฤษฎีการแบ่งช่วงของเกลียวอัด ช่วงที่ 1 (ความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 0-226 mm) ความลึกร่องเกลียวอัดมีค่ามากที่สุดและมีค่าคงที่ 74.26 mm ดังแสดงในสมการ (3.4) สอดคล้องกับเกลียวอัดช่วงป้อนในทฤษฎี ช่วงที่ 2 (ความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 226-546 mm) ความลึกร่องเกลียวมีค่าลดลงในลักษณะเป็นเส้นตรง ความชัน -0.2093 สามารถแสดงในรูปสมการแสดงแนวโน้มตามสมการที่ (3.5) โดยมีค่า $R^2=0.9898$ สอดคล้องกับเกลียวอัดช่วงแรมตามทฤษฎี และในช่วงที่ 3 (ความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 546-845 mm) ความลึกร่องเกลียวมีค่าคงที่ และมีค่าน้อยที่สุด คือ 7.42 mm ดังแสดงในสมการ (3.6) เป็นค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลียวอัดที่ใช้ในการสร้างความดันเพื่อให้เกิดการคั้นของเครื่องจักรขึ้น สอดคล้องกับเกลียวอัดช่วงอื่น ตามทฤษฎี การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองและค่าจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้มแสดง ในรูปที่ 3.3

$$H_1 = 74.26 \quad (3.4)$$

$$H_2 = -0.21X + 125.5 \quad (3.5)$$

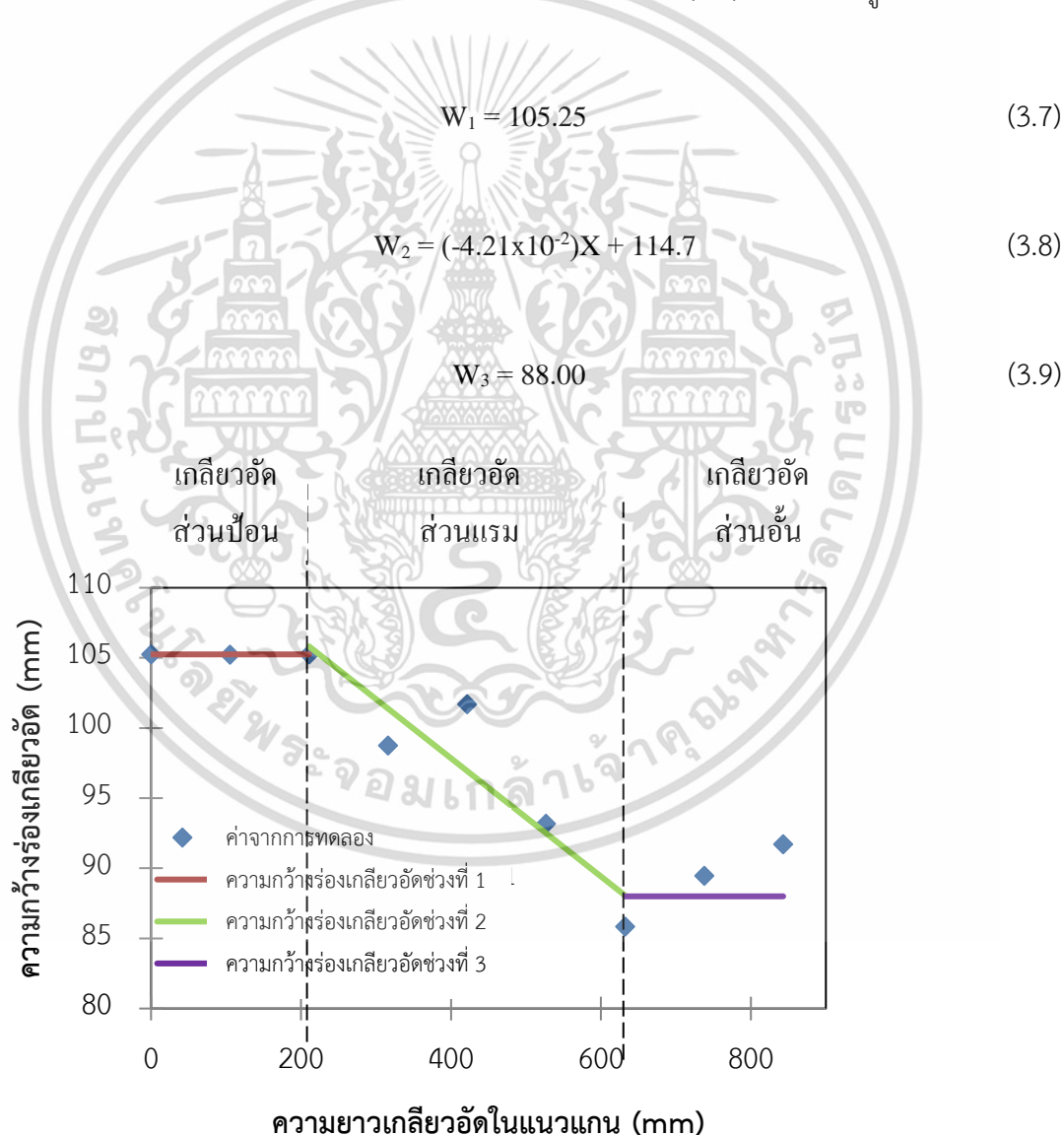
$$H_3 = 7.42 \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.3 ผลจากการวัดความลึกร่องเกลียวอัดและผลจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้มของ เครื่องจักรกรณีศึกษาตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน

จากการทดลองพบว่าความกว้างร่องเกลียวอัดสามารถแบ่งได้ 3 ช่วงตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน สอดคล้องกับช่วงเกลียวอัดตามทฤษฎี ช่วงที่ 1 ที่ ระยะความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 0-211 mm พบว่าความกว้างร่องเกลียวอัดมีค่าคงที่ เท่ากับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

105.25 mm ดังแสดงในสมการ (3.7) สอดคล้องกับเกลียวอัดช่วงป้อนตามทฤษฎี ช่วงที่ 2 ที่ระยะความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 211-632 mm พบว่าความกว้างร่องเกลียวอัดมีค่าลดลงตามความยาวในแกน โดยแสดงในรูปสมการแสดงแนวโน้มสมการ (3.8) จากการคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างร่องเกลียวอัดในช่วงที่ 2 คาดว่าเป็นการลดลงเชิงเส้นซึ่งมีความชัน 4.21×10^{-2} ที่ค่า $R^2=0.8484$ ในช่วงที่ 3 ระยะความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 632-845 mm พบว่า สอดคล้องกับช่วงอื่นตามทฤษฎี ความกว้างร่องเกลียวอัดมีค่าคงที่สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าขององศาเกลียวอัดในแนวแกนและความลึกร่องเกลียวอัด จากการคาดการณ์ว่าความกว้างร่องเกลียวอัดในช่วงที่ 3 มีค่า 88.00 mm ดังแสดงในสมการ (3.9) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผลจากการวัดความกว้างร่องเกลียวอัดและผลจากการคำนวณของสมการแสดงแนวโน้ม

ของเครื่องจักรกรณีศึกษาตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

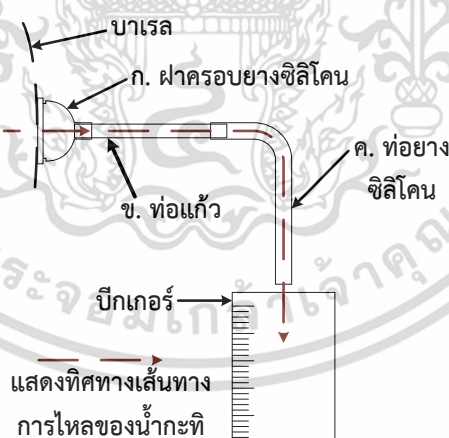
3.2 การทดลองวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรในกรณีศึกษา

การทดลองวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษามีจุดประสงค์เพื่อใช้ค่าอัตราการไหลของน้ำกะทิจากการค้นของเครื่องจักรต้นแบบในการตรวจสอบความถูกต้อง ความน่าเชื่อถือ และความแม่นยำของผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2.1 อุปกรณ์การวัดอัตราการไหล

ชุดทดลองสำหรับการวัดอัตราการไหลของกรณีศึกษาประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ชุดท่อสำหรับผลิตภัณฑ์ และบีกเกอร์รองรับผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

ชุดท่อสำหรับผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย ฝาครอบยางซิลิโคน พื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 mm ซึ่งมีความยืดหยุ่นสำหรับแนบกับผิวนั่งบาเรลซึ่งมีความโค้ง ท่อแก้วใส เพื่อให้สามารถเห็นการไหลของผลิตภัณฑ์ภายในท่อและกดฝาครอบยางซิลิโคนให้แนบกับผิวนั่งบาเรลได้ และท่อยางซิลิโคนที่มีความยืดหยุ่นให้สามารถควบคุมตำแหน่งการไหลของผลิตภัณฑ์ได้สะดวกขึ้น สำหรับบีกเกอร์รองรับผลิตภัณฑ์จะรับผลิตภัณฑ์จากชุดท่อตามปริมาตรที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ไหลจากผิวนั่งบาเรลเข้าสู่ฝาครอบยางซิลิโคน ไปสู่ท่อแก้ว ท่อยางซิลิโคน และไหลเข้าสู่บีกเกอร์ตามลำดับ



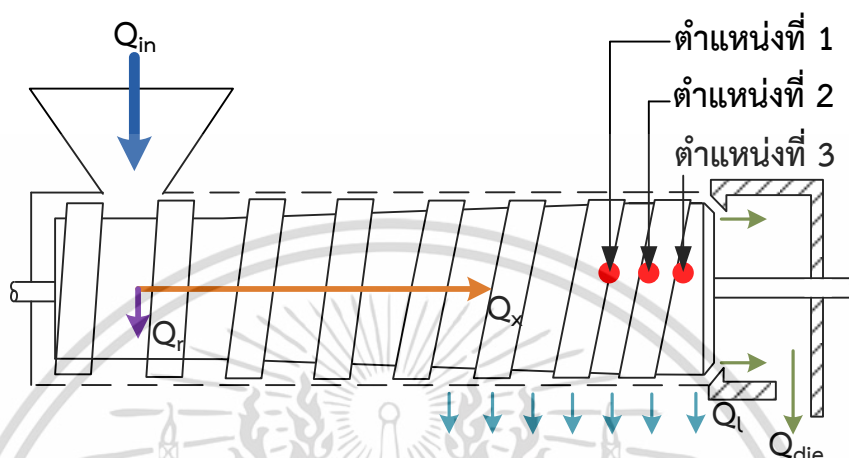
รูปที่ 3.5 ชุดทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์

3.2.2 วิธีการทดลองการวัดอัตราการไหล

การทดลองวัดอัตราการไหลของกรณีศึกษาทำการวัดบริเวณที่เกิดการค้นขึ้น ซึ่งเป็นบริเวณส่วนปลายของเกลียวอัด ตำแหน่งในการวัดมี 3 ตำแหน่งแสดงในรูปที่ 3.6 ในการทดลองทำ

การวัดซ้ำ 5 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง ตัวแปรที่วัดในการทดลองได้แก่ ปริมาตรของกะทิ และระยะเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการไหลของกะทิ การทดลองเริ่มจากการนำชุดท่อแนบกับผนังบารเรล กะทิไหลออกจากบารเรลสู่ฝาคออบยางซิลิโคน ท่อแก้ว ท่อยาวซิลิโคน และไหลเข้าสู่บีกเกอร์ เริ่มจับเวลาเมื่อกะทิไหลเข้าสู่บีกเกอร์ และหยุดเวลาเมื่อได้ปริมาตรกะทิที่ต้องการ



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา

3.2.3 ผลการทดลองการวัดอัตราการไหล

จากการทดลองการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา 3 ตำแหน่งบนบารเรล พบว่า ตำแหน่งที่ 1 (ระยะเกลียววัดตำแหน่งที่ 740 mm) มีอัตราการไหล $0.2119 \text{ m}^3/\text{min}$ ตำแหน่งที่ 2 (ระยะเกลียววัดตำแหน่งที่ 790 mm) มีอัตราการไหล $0.4304 \text{ m}^3/\text{min}$ และตำแหน่งที่ 3 (ระยะเกลียววัดตำแหน่งที่ 845 mm) มีอัตราการไหล $0.7720 \text{ m}^3/\text{min}$ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราการไหลของเครื่องจักรในกรณีศึกษา

ตำแหน่งความยาวเกลียวในแนวแกน (mm)	อัตราการไหล (m^3/min)
740	0.2119 ± 0.27
790	0.4304 ± 0.25
845	0.7720 ± 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

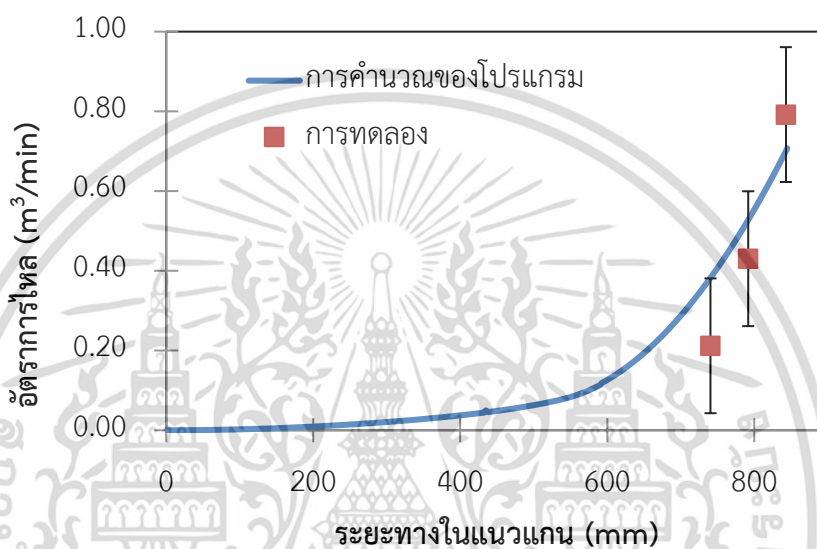
ในการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดประกอบด้วย ข้อมูลที่ป้อนเข้าสองลักษณะซึ่งได้จากการเข้าตรวจวัดขนาดเครื่องจักรต้นแบบกรณีศึกษา คือ ข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน ได้แก่ ตำแหน่งเกลียวอัด องศาเกลียวอัดในแนวแกน ความลึกร่องเกลียวอัด และความกว้างร่องเกลียวอัด และข้อมูลลักษณะที่สองคือข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนไปตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด ได้แก่ ความยาวเกลียวอัด ระยะระหว่างครีบกเกลียวและผนังภายในบารเรล เส้นผ่านศูนย์กลางบารเรล ความเร็วรอบเกลียวอัด รวมไปถึงคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบซึ่งสมมติให้มีความสม่ำเสมอตลอดกระบวนการคั้น ในส่วนของการคำนวณของโปรแกรมแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ และส่วนที่สองคือส่วนที่ใช้ในการคำนวณความดันและอัตราการไหล

ผลจากการคำนวณของโปรแกรมได้ความดันที่เกิดขึ้นภายในบารเรลจากเกลียวอัด และอัตราการไหลของเครื่องคั้นแบบเกลียวซึ่งเป็นผลจากความดันภายในบารเรลที่ตำแหน่ง X เริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย โดยความดันและอัตราการไหลสูงที่บริเวณปลายช่องเปิดของเครื่องจักร

นำผลจากการคำนวณอัตราการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลจากการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ามีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน ตำแหน่งเริ่มการคั้นของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษาที่ความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 740 mm สามารถคำนวณความดันภายในบารเรลที่ตำแหน่งดังกล่าวได้ 53.53 kPa และที่ตำแหน่งสุดท้ายที่เกิดการคั้นสามารถคำนวณความดันภายในบารเรลได้ 130.25 kPa ผลการเปรียบเทียบแสดงในรูปที่ 3.7 การคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ 11.5% ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 0.13 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ในการประมาณค่าความดันภายในบารเรลและอัตราการไหลของกะทิตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัดเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัด จึงสามารถนำผลดังกล่าวมาใช้ในการสร้างโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดต่อไปได้

จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าตำแหน่งที่เริ่มมีการคั้นที่ความยาวเกลียวอัด 546 mm เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดความลึกร่องเกลียวอัดตามความยาวของเกลียวอัดในแนวแกน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เป็นตำแหน่งที่ความลึกร่องเกลียวอัดคงที่ที่ระดับความลึกร่องเกลียวอัด

น้อยที่สุด เนื่องจากเกลียวอัดในช่วงความยาวเกลียวอัดในแนวแกน 546-845 mm เป็นเกลียวอัดช่วงปล่อยซึ่งตามทฤษฎีการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดเป็นช่วงที่วัตถุดิบถูกบีบอัดลดช่องว่างระหว่างชิ้นวัตถุดิบและสร้างความดันเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงเพียงพอ (ความดันภายในบารเรล 53.53 kPa ที่ตำแหน่งเกลียวอัดในแนวแกน 740 mm) เซลล์ของวัตถุดิบถูกทำลายส่งผลให้ของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กสามารถไหลออกจากเซลล์ได้

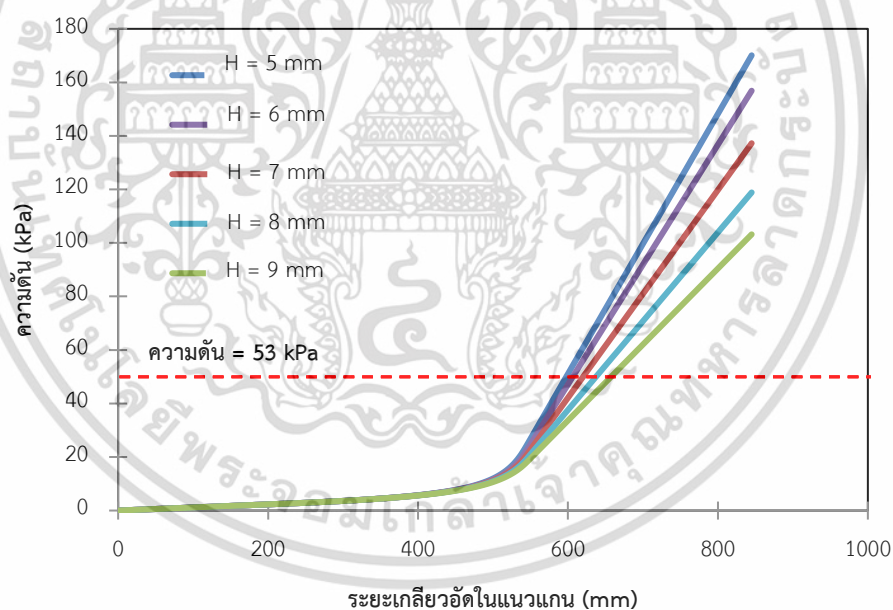


รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบการคำนวณอัตราการไหลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา (Error bar = Standard error)

จากการวิเคราะห์กำลังของมอเตอร์ที่ต้องใช้ในการดำเนินงานของเครื่องจักรพบว่า ในทางทฤษฎีสามารถความต้องการกำลังของมอเตอร์ที่ 38.67 HP ซึ่งเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษามีการใช้มอเตอร์ขนาด 40 HP ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน 3.32%

การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรมิติขนาด ได้แก่ ความลึกร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกน เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความดันภายในบารเรลและอัตราการไหลของน้ำกะทิที่เกิดขึ้น ในการคำนวณของโปรแกรมพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความดันภายในบารเรลมีทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความยาวเกลียวอัดในแนวแกนเพิ่มขึ้น ความลึกร่องเกลียวอัดมีค่าลดลงส่งผลเกิดการลดลงของปริมาตรร่องเกลียวอัด วัตถุดิบภายในร่องเกลียวอัดถูกลดปริมาตรและเกิดการบีบอัดสร้างความดันภายในบารเรล เมื่อความดันภายในบารเรลเพิ่มจนกระทั่งเพียงพอในการทำลายเซลล์ของวัตถุดิบ ของเหลวและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

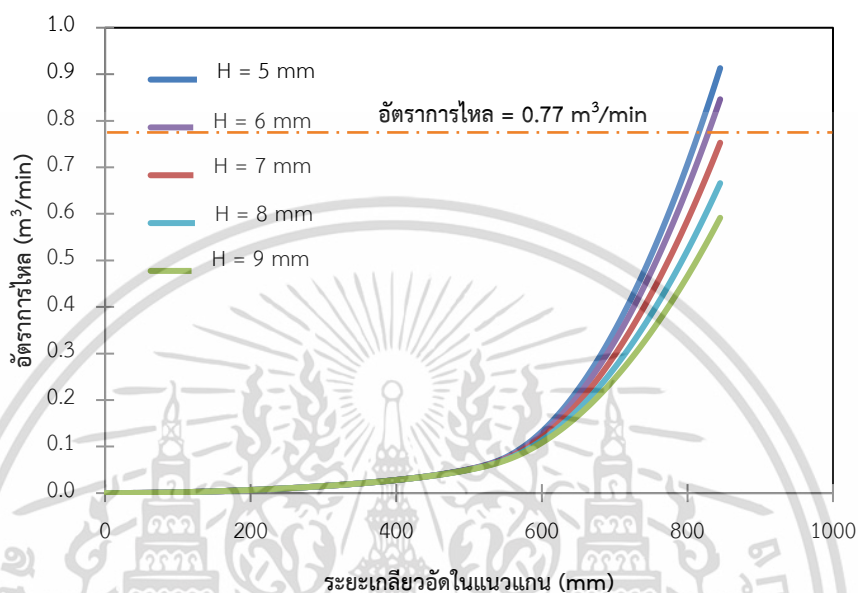
อนุภาคของแข็งขนาดเล็กออกจากเซลล์ทำให้เกิดการคั่นขึ้น ความดันภายในบาเรลเป็นแรงดันให้เกิดการไหลในแนวรัศมี ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นตามความยาวในแนวแกนเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความดัน ที่ระดับความดันเริ่มต้นในการคั่นของกรณีศึกษาคือ 53 kPa พบว่าที่ความลึกร่องเกลียวอัด 5 6 7 8 และ 9 mm ตำแหน่งบนระยะเกลียวอัดในแนวแกนมีค่ามากขึ้นตามลำดับ โดยที่ระดับความลึกร่องเกลียวอัด 5 mm ตำแหน่งที่เริ่มเกิดการคั่นบนเกลียวอัดคือเท่ากับ 607 mm และที่ระดับความลึกร่องเกลียวอัด 9 mm ตำแหน่งที่เริ่มเกิดการคั่นบนเกลียวอัดเท่ากับ 672 mm ซึ่งมีความแตกต่างกัน 65 mm คิดเป็น 8% ของความยาวเกลียวอัดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นเมื่อความลึกร่องเกลียวอัดเปลี่ยนแปลงจาก 9 mm เป็น 5 mm ผลการคำนวณความดันภายในบาเรลที่ความลึกร่องเกลียวอัดในเกลียวอัดช่วงอื่น 5 6 7 8 และ 9 mm ที่ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm องศาเกลียวอัดในแนวแกน 85° คงที่ตลอดความยาวเกลียวอัด และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm คงที่ตลอดการทำงานของเครื่องจักร แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผลการคำนวณความดันภายในบาเรลที่ความลึกร่องเกลียวอัดในเกลียวอัดช่วงอื่น 5 6 7 8 และ 9 mm ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm องศาเกลียวอัดในแนวแกน 85° และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm

ที่อัตราการไหลของน้ำกะทิ 0.77 m³/min ตามเครื่องจักรต้นแบบพบว่า ที่ความลึกร่องเกลียวอัด 5 และ 6 mm มีอัตราการไหลสูงกว่าเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา ในขณะที่ความลึกร่องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลียวอัด 7 8 และ 9 mm มีอัตราการไหลต่ำกว่าแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะการทำงานเดียวกัน ความลึกร่องเกลียวอัดที่ไม่เพียงพอส่งผลให้ไม่สามารถสร้างความดันเพื่อให้เครื่องจักรได้กำลังการผลิตที่ต้องการได้ ผลการคำนวณอัตราการไหลในสภาวะการทำงานเดียวกันแสดงในรูปที่ 3.9

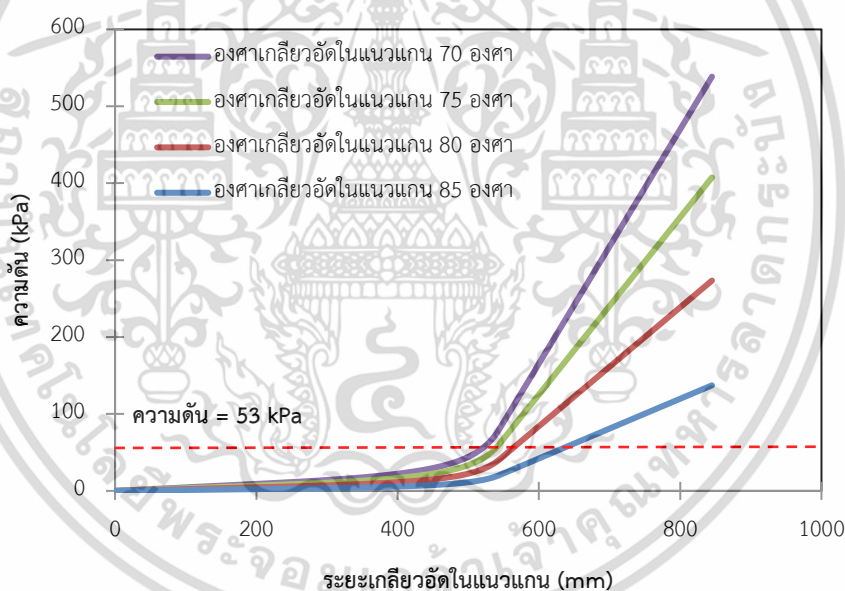


รูปที่ 3.9 ผลการคำนวณอัตราการไหลที่ความลึกร่องเกลียวอัดในเกลียวอัดช่วงอื่น 5 6 7 8 และ 9 mm ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm องศาเกลียวอัดในแนวแกน 85° และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm

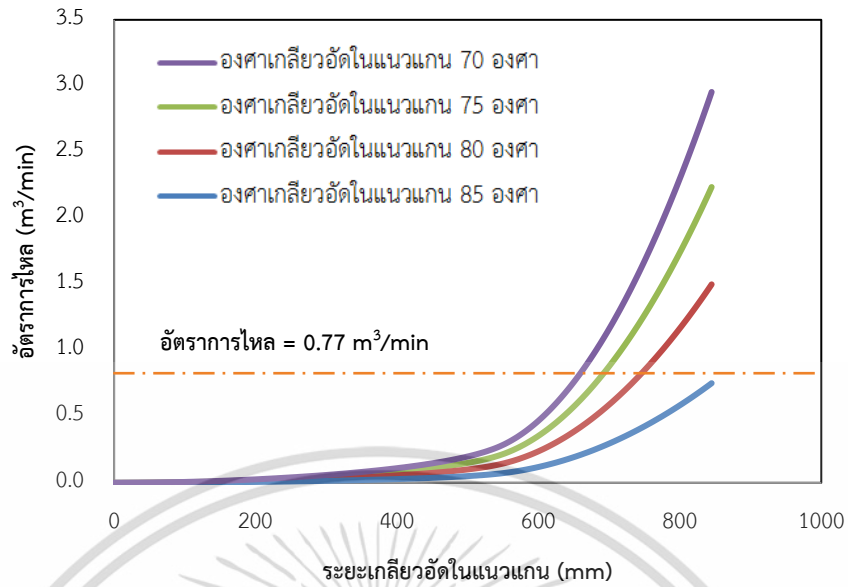
ในการคำนวณของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความดันภายในบารลมีทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความยาวเกลียวอัดในแนวแกนความดันภายในบารลเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดลงของปริมาตรร่องเกลียวอัด ที่องศาเกลียวอัดในแนวแกนลดลงส่งผลให้ความดันภายในบารลที่สร้างจากเกลียวอัดเพิ่มขึ้นเพราะองศาเกลียวอัดในแนวแกนส่งผลต่อแรงจากเกลียวอัดที่บีบอัดวัตถุดิบ อัตราการไหลมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลของความดันภายในบารล เนื่องจากการคั้นเกิดจากความดันซึ่งทำลายเซลล์ของวัตถุดิบและทำให้เกิดการไหลในแนวรัศมีขึ้น ที่ระดับความดันเริ่มต้นในการคั้นของกรณีศึกษาคือ 53 kPa พบว่าที่ความองศาเกลียวอัดในแนวแกน 70 75 80 และ 85° ตำแหน่งบนระยะเกลียวอัดในแนวแกนมีค่ามากขึ้นตามลำดับ โดยที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 70° ตำแหน่งที่เริ่มเกิดการคั้นบนเกลียวอัดคือเท่ากับ 525.4 mm และที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 85° ตำแหน่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มเกิดการคืบบนเกลียวอัดเท่ากับ 642.3 mm ซึ่งมีความแตกต่างกัน 116.9 mm คิดเป็น 14% ของความยาวเกลียวอัดทั้งหมด ในขณะที่อัตราการไหลของน้ำกะทิ 0.77 m³/min ตามกำลังการผลิตของเครื่องจักรต้นแบบพบว่า ที่องศาเกลียวอัดในแนวแกนเท่ากับ 70° ได้ความยาวเกลียวอัดเท่ากับ 671.4 mm และที่องศาเกลียวอัดในแนวแกนเท่ากับ 85° ต้องการความยาวเกลียวอัดมากกว่า 845 mm เพื่อให้สามารถผลิตได้ตามต้องการ องศาเกลียวอัดในแนวแกนที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เครื่องจักรไม่สามารถสร้างความดันเพื่อให้เกิดการคืบขึ้นได้ตามความต้องการ ผลการคำนวณความดันภายในบารเรลที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 70 75 80 และ 85° คงที่ตลอดความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm ความลึกร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 7 mm และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm คงที่ตลอดการทำงานของเครื่องจักรแสดงในรูปที่ 3.10 ผลการคำนวณอัตราการไหลภายใต้สภาวะการทำงานดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ผลการคำนวณความดันภายในบารเรลที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 70 75 80 และ 85° ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm ความลึกร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 7 mm และความเร็วรอบเกลียวอัด 200 rpm



รูปที่ 3.11 ผลการคำนวณอัตราการผลิตที่องศาเกลียวอัดในแนวแกน 70 75 80 และ 85° ความกว้างร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 80 mm ความลึกร่องเกลียวอัดช่วงอื่น 7 mm และความเร็รรอบเกลียวอัด 200 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านการสอบเทียบจากบทที่ 3 มาทำการประยุกต์เป็นโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบเกลียวอัดเบื้องต้น ในการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดเริ่มจากการป้อนค่าตัวแปร ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด และอัตราการไหลที่ต้องการ ผลจากการคำนวณจะได้ค่าความยาวรวมของเกลียวอัด ความยาวเกลียวอัดส่วนป้อน ส่วนแรม และส่วนอื่น ความกว้างร่องเกลียวอัด ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนป้อน ส่วนแรม และส่วนอื่น องศาเกลียวอัดในแนวแกน ความเร็วรอบในการทำงานของเกลียวอัด ความดันที่เกลียวอัดสร้าง และขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในการทำงานของเครื่องจักร ผลของงานวิจัยที่จะอธิบายในบทที่ 4 จะเป็นโครงสร้างและลำดับการคำนวณในโปรแกรม การใช้งาน ผลของการคำนวณ และการวิเคราะห์ผลของการคำนวณของโปรแกรม

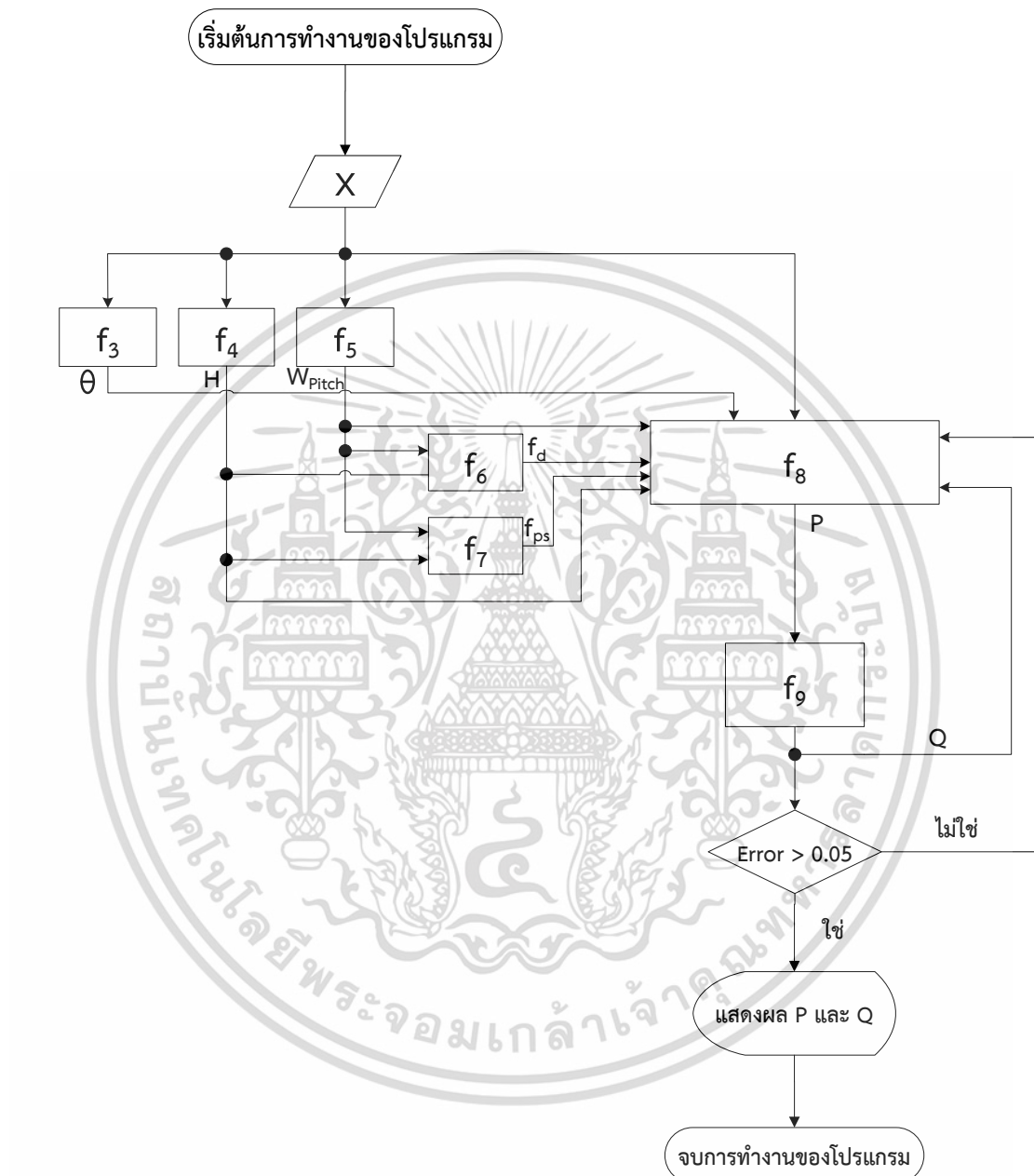
4.1 โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด

ในการสร้างโปรแกรมจำลองสถานะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดจากการประยุกต์ใช้สมการการไหลของของไหลนอนนิวโตเนียนภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์และสมการการทรงค้ำความดันที่เกิดขึ้นภายในบาร์เรลและอัตราการไหลของเครื่องจักรจากบทที่สอง โดยใช้ MATLAB เป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณ

กระแสน้ำวนพฤติกรรมภายในเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมได้ดังรูป 4.1 โดยเริ่มจากการใส่ค่าตัวแปรตำแหน่งในการคำนวณ X เพื่อให้สามารถทราบค่าตัวแปรซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน ได้แก่ องศาเกลียวอัดในแนวแกน θ ความลึกร่องเกลียวอัด H และความกว้างร่องเกลียวอัด W_{Pitch} โดยได้จากสมการทำนายแนวโน้ม f_3 f_4 และ f_5 จากการวัดขนาดเครื่องจักรอุตสาหกรรมต้นแบบ ความลึกร่องเกลียวอัดและความกว้างร่องเกลียวอัดจะถูกส่งไปคำนวณที่ f_6 และ f_7 เพื่อหาค่าตัวแปร f_d และ f_{ps} ตามลำดับ ตัวแปรทั้งหมดจากการคำนวณ ได้แก่ X , θ , H , W_{Pitch} , f_d และ f_{ps} จะถูกส่งไปคำนวณที่สมการหลัก ได้แก่ f_8 และ f_9 เพื่อคำนวณหาความดันภายในบาร์เรล P และอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของเครื่องจักร Q ที่ตำแหน่ง X ใด ๆ เมื่อสิ้นสุดการคำนวณที่ตำแหน่งสุดท้ายจะทำการเปรียบเทียบผลอัตราการไหลกับสมการ (3.12) โดยมีความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ไม่มากกว่า 0.05



รูปที่ 4.1 แผนภาพการคำนวณของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัด

ในการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวอัดประกอบด้วยข้อมูลที่ป้อนเข้าสองลักษณะซึ่งได้จากการตรวจวัดขนาดเครื่องจักรต้นแบบกรณีศึกษา คือ ข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน ได้แก่ ตำแหน่งเกลียวอัด องศาเกลียวอัดในแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

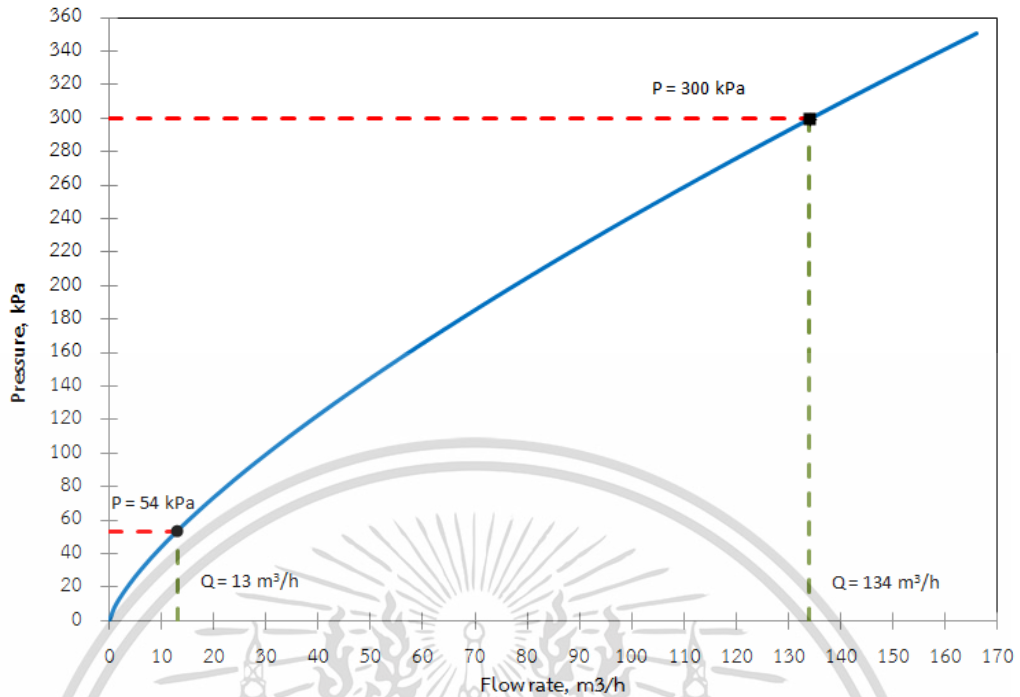
ความถี่ร่องเกลียวอัด และความกว้างร่องเกลียวอัด และข้อมูลลักษณะที่สองคือข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวในแนวแกนของเกลียวอัด ได้แก่ ความยาวเกลียวอัด ระยะระหว่างครีบกเกลียวและผนังภายในบารเรล เส้นผ่านศูนย์กลางบารเรล ความเร็วรอบเกลียวอัด รวมไปถึงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุซึ่งสมมติให้มีความสม่ำเสมอตลอดกระบวนการขึ้น ในส่วนของการคำนวณของโปรแกรมแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ และส่วนที่สองคือส่วนที่ใช้ในการคำนวณความดันและอัตราการไหล

ผลจากการคำนวณของโปรแกรมได้ความดันที่เกิดขึ้นภายในบารเรลจากเกลียวอัด และอัตราการไหลของเครื่องขึ้นแบบเกลียวซึ่งเป็นผลจากความดันภายในบารเรลที่ตำแหน่ง X เริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย โดยความดันและอัตราการไหลจะสูงที่บริเวณปลายช่องเปิดของเครื่องจักร

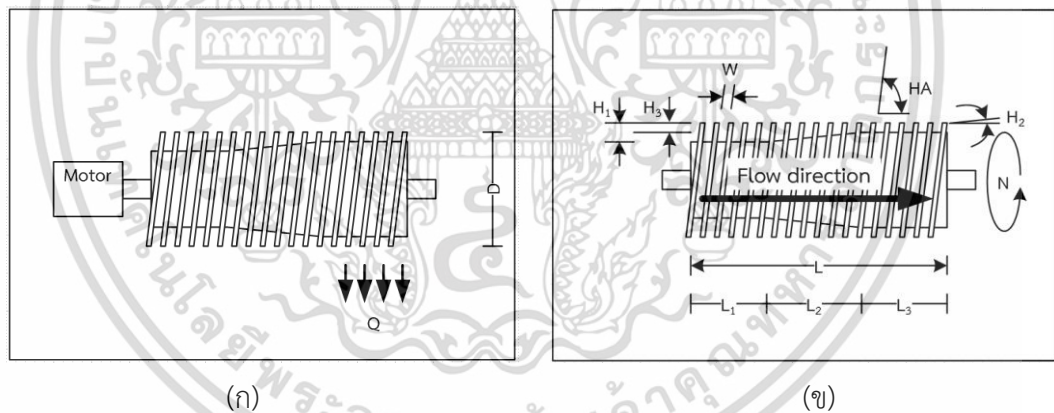
ในการออกแบบเกลียวอัดของเครื่องขึ้นแบบเกลียวชนิดเกลียวเดี่ยวจะคำนึงถึง 2 ค่าหลัก ได้แก่ อัตราส่วนความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด และ อัตราส่วนการอัด

อัตราส่วนความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดของเครื่องขึ้นแบบเกลียวอัดชนิดเกลียวเดี่ยวควรอยู่ในช่วง 1.4:1-30:1 เนื่องจากเกลียวอัดที่ยาวไม่เพียงพอส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำหรืออาจไม่เกิดการขึ้นขึ้นได้ ในขณะที่ความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดที่มากส่งผลต่อความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการทำงานของเกลียวอัด ในการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดใช้อัตราส่วนความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 5:1 โดยอ้างอิงจากเครื่องขึ้นน้ำผลไม้แบบเกลียวอัด [1, 42, 43, 44, 45, 46, 47] สำหรับอัตราส่วนการอัดของเกลียวอัดขึ้นอยู่กับวัสดุในการบีบอัด [42] อัตราส่วนการอัดในกระบวนการอาหารพบว่ามีค่าตั้งแต่ 4:1-30:1 ตามลักษณะวัสดุและการทำงานของเครื่องจักร โดยนิยมใช้อัตราส่วนการอัด 5:1 เนื่องจากข้อจำกัดของมอเตอร์ของเครื่องจักร [45, 46, 47]

ในการทำงานของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดได้นำช่วงอัตราส่วนความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดมาเป็นของเขตในการคำนวณโดยกำหนดให้คงที่ที่ 5:1 และกำหนดช่วงความดันในการคำนวณที่ 54 kPa ถึง 300 kPa คิดเป็นช่วงกำลังการผลิต 13 m³/h ถึง 134 m³/h ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขอบเขตการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดอยู่ในช่วง 54-300 kPa



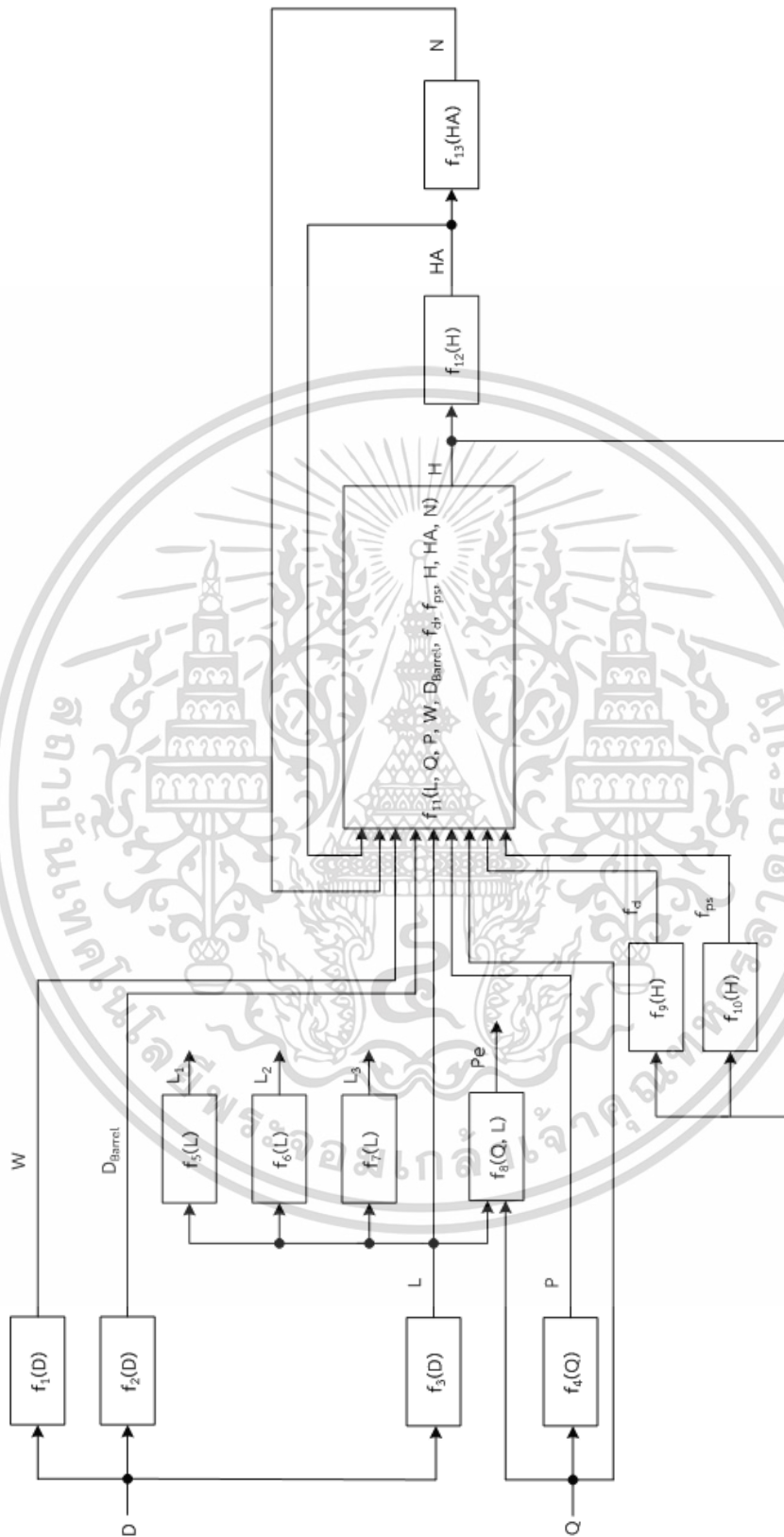
รูปที่ 4.3 ตัวแปรที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมออกแบบเกลียวอัด (ก) และตัวแปรที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด (ข)

การคำนวณของโปรแกรมเริ่มจากการใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด D และกำลังการผลิต Q ผลจากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด ได้แก่ ความยาวรวมของเกลียวอัด L ความยาวเกลียวอัดส่วนป้อน L_1 ส่วนแรม L_2 และส่วนอื่น L_3 ความกว้างร่องเกลียวอัด W องศาเกลียวอัดในแนวแกน HA ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนป้อน H_1 ส่วนแรม H_2 และส่วนอื่น H_3 รวมไปถึงกำลังของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ที่ใช้ในการทำงานของเครื่องจักร P_e ความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักร P และความเร็วรอบในการทำงานของเกลียวอด N ตัวแปรดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.3

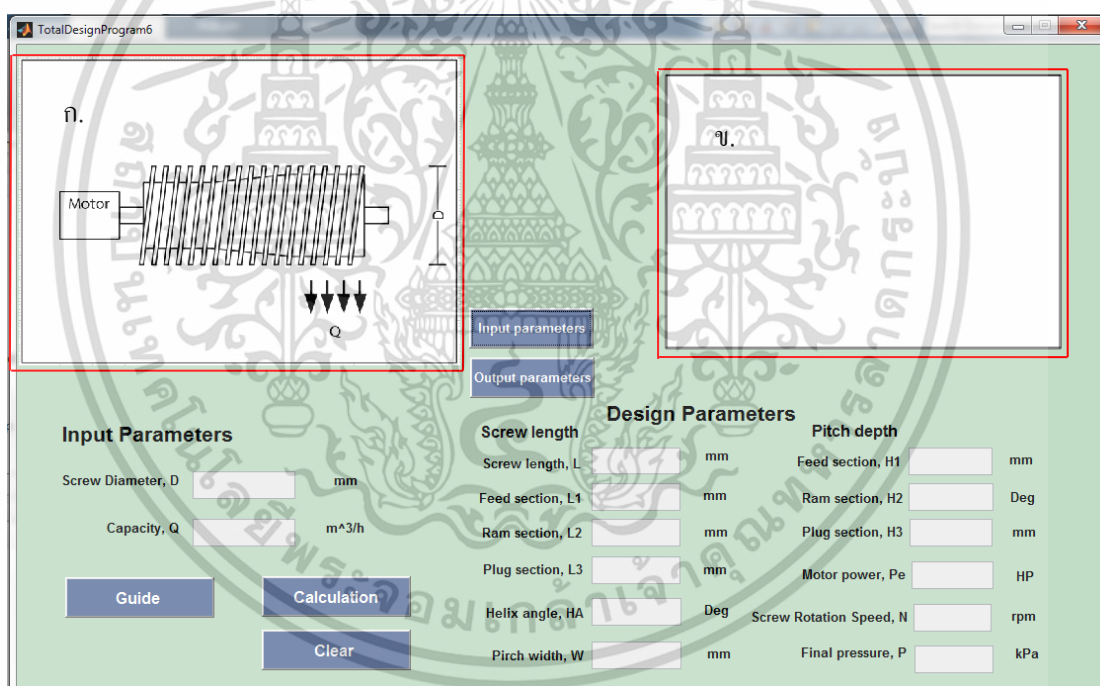
ลำดับขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมออกแบบเกลียวอดแสดงในรูปที่ 4.4 โดยเริ่มจากการป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอด และอัตราการไหลที่ต้องการ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอดถูกส่งไปที่ f_1 f_2 และ f_3 เพื่อคำนวณ W , D_{Barrel} และ L ตามลำดับ สำหรับค่าอัตราการไหลจะถูกส่งไปที่ f_4 เพื่อคำนวณความดัน P ที่เกิดจากการทำงานของเกลียวอด ความยาวรวมของเกลียวอดจะถูกส่งไปคำนวณความยาวในส่วนต่างๆของเกลียวอด ได้แก่ L_1 , L_2 และ L_3 ที่ f_5 , f_6 และ f_7 ตามลำดับ P_e คำนวณโดยใช้ L และ Q ใน f_8 ในการคำนวณความลึกร่องเกลียวอดจะรับค่า Q , D_{Barrel} , L , P และ Q ร่วมกับค่าที่สมมติขึ้นสำหรับการคำนวณครั้งแรก คือ f_d , f_{ps} , HA และ N ใน f_{11} ได้ H กลับมาแทนใน f_9 และ f_{10} เพื่อคำนวณค่า f_p และ f_{ps} กลับมาแทนใน f_{11} เมื่อได้ค่า H ที่เหมาะสมจากการคำนวณแล้วจึงนำค่า H ส่งไปยัง f_{12} เพื่อคำนวณค่า HA กลับมาแทนใน f_{11} จนกระทั่งได้ค่า H และ HA ที่เหมาะสม แทนค่าจากการคำนวณใน f_{12} เพื่อหาค่า N ที่เหมาะสม แล้วจึงแสดงผลจากการคำนวณของโปรแกรม



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัตโนมัติ

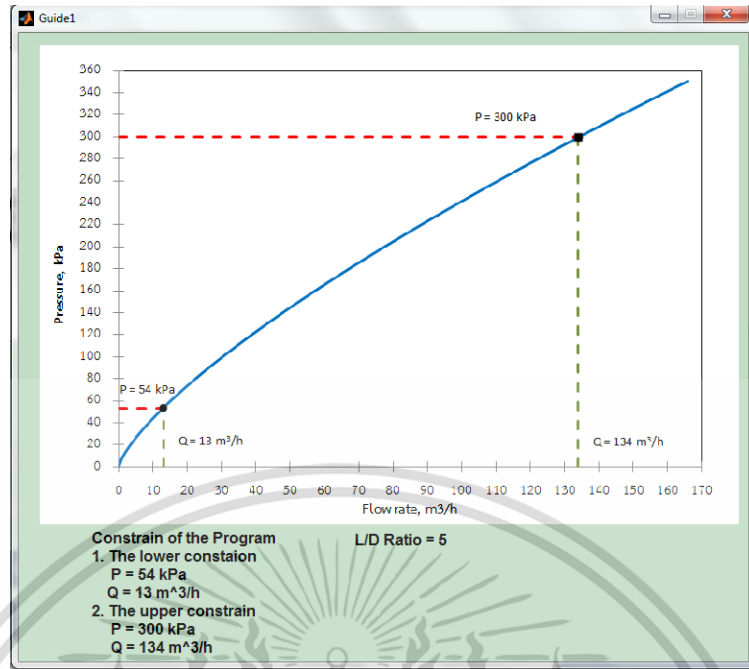
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปลักษณะของโปรแกรมที่ออกแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ในส่วน ก. แสดงตัวแปรในการคำนวณของโปรแกรมแบ่งเป็นตัวแปรที่ต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรมเพื่อการคำนวณ และตัวแปรจากการคำนวณ เมื่อกดปุ่ม "Input parameters" จะแสดงรูปตัวแปรที่ต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรม และเมื่อกดปุ่ม "Output parameters" จะแสดงรูปตัวแปรจากการคำนวณของโปรแกรม ปุ่ม "Guide" สำหรับแสดงขอบเขตการทำงานของโปรแกรม เมื่อกดปุ่มจะแสดงรูปลักษณะในรูปที่ 4.6 บอกถึงขอบเขตความดันในการคำนวณของโปรแกรม และอัตราส่วนความยาวรวมของเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด โปรแกรมจะคำนวณเมื่อกดปุ่ม "Calculation" หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงค่าจากการคำนวณ และสร้างกราฟเปรียบเทียบความยาวเกลียวอัดต่อดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตในหน่วย kJ/m^3 ซึ่งจะแสดงในส่วน ข. ในรูปที่ 4.5 สำหรับปุ่ม "Clear" จะทำให้โปรแกรมกลับไปเริ่มต้นใหม่ก่อนการคำนวณ สามารถป้อนค่าการคำนวณครั้งใหม่ได้



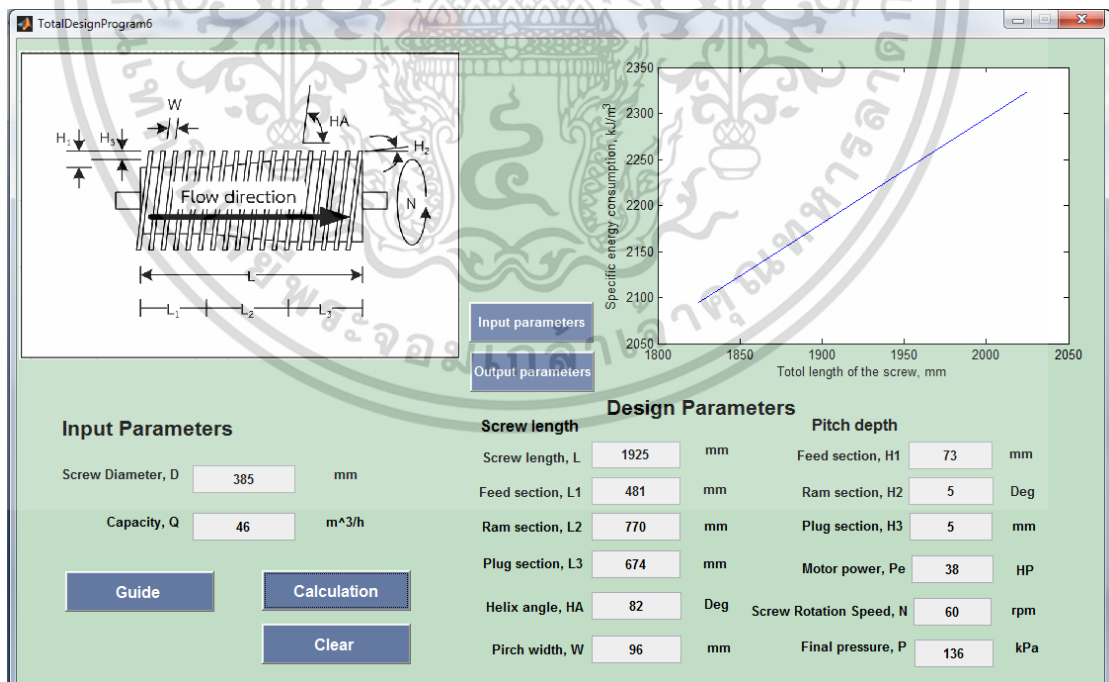
รูปที่ 4.5 รูปลักษณะโปรแกรมคำนวณเกลียวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปลักษณะแสดงข้อกำหนดของโปรแกรมคำนวณเกลียวอัด

4.2 ผลการคำนวณจากโปรแกรม



รูปที่ 4.7 การคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดภายใต้เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด และอัตราไหลที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดที่สภาวะการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 385 mm และอัตราการไหลที่ 46 m³/h แสดงในรูปที่ 4.7 ได้ผลการคำนวณคือ ความยาวรวมของเกลียวอัด 1,925 mm เป็นความยาวเกลียวอัดส่วนป้อน 481 mm ความยาวเกลียวอัดส่วนแรม 770 mm และความยาวเกลียวอัดส่วนอื่น 674 mm องศาเกลียวอัดในแนวแกน 82° และความกว้างร่องเกลียวอัด 96 mm คงที่ตลอดความยาวเกลียวอัด ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนป้อน 73 mm ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนแรมคิดเป็นองศาของเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้น 5° และความลึกร่องเกลียวอัดส่วนอื่น 5 mm ใช้มอเตอร์ขนาด 38 HP ในการทำงานของเครื่องจักร ความเร็วรอบเกลียวอัดในการคั้น 60 rpm และความดันที่เกิดจากเกลียวอัด 136 kPa เปรียบเทียบผลการคำนวณตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัดจากโปรแกรมออกแบบเกลียวกับเกลียวอัดของเครื่องจักรต้นแบบในกรณีศึกษา ที่อัตราการไหล 46 m³/h เท่ากัน พบว่าอัตราส่วนความยาวรวมของเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนอื่น และความกว้างร่องเกลียวอัดมีค่าลดลง ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 4.1

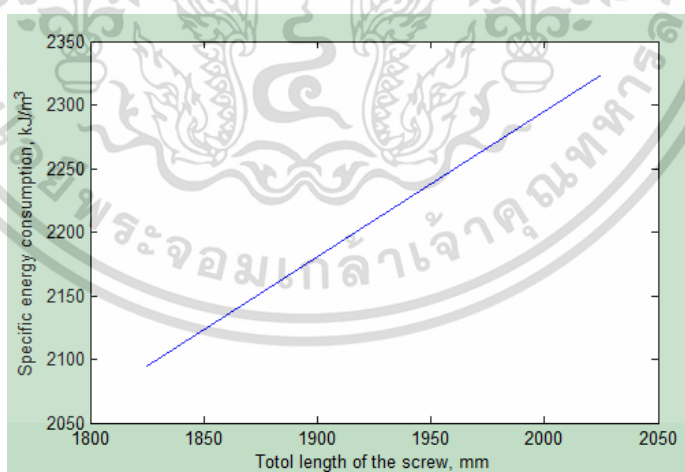
ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณตัวแปรมิติขนาดของเกลียวอัดจากโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด และผลจากการวัดขนาดเกลียวอัดของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัดต้นแบบที่อัตราการไหล 46 m³/h เท่ากัน

ตัวแปร	ผลจากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัด	ผลจากการวัดขนาดเครื่องจักรต้นแบบ	ความแตกต่าง
เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด, mm	385	391±0.79	6
ความยาวเกลียวอัด, mm	1,925	845±13.27	1,082
อัตราส่วนความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด	5:1	2:1	
องศาเกลียวอัดในแนวแกน, °	82	83 - 85	1 - 3
ความกว้างร่องเกลียวอัด, mm	96	88 - 105	8 - 9
ความลึกร่องเกลียวอัดส่วนอื่น, mm	5	7	2
ความเร็วรอบเกลียวอัด, rpm	60	200	140

จากตารางข้างต้นพบว่าอัตราส่วนความยาวเกลียวอัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดจากการคำนวณของโปรแกรมเพิ่มขึ้นจาก 2:1 เป็น 5:1 ทำให้เครื่องจักรสามารถผสมวัตถุดิบให้มีความเอกลักษณะเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่ำเสมอได้มากขึ้น ทำให้กระบวนการคั้นมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ความลึกและความกว้างร่องเกลียวอัดส่งผลต่อปริมาตรของร่องเกลียวอัด ความลึกและความกว้างร่องเกลียวอัดที่ลดลงทำให้เกิดการบีบอัดเพิ่มขึ้น ความดันจึงเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการคั้นมากขึ้น สำหรับองศาเกลียวอัดในแนวแกนที่ลดลงส่งผลให้สามารถสำเลียงวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นแข็งและฝืดได้ดีขึ้นโดยใช้กำลังของมอเตอร์ที่น้อยลง อย่างไรก็ตามอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้น ความกว้างร่องเกลียวอัด ความลึกร่องเกลียวอัด และองศาเกลียวอัดในแนวแกนที่ลดลง ส่งผลให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดในเนื้อวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ลดลงจึงช่วยทำให้เกิดแรงเสียดกับเนื้อวัตถุดิบน้อยลง ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงน้อยลงตามไปด้วย

จากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดที่อัตราการไหล $46 \text{ m}^3/\text{h}$ และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 1825, 1875, 1925, 1975 และ 2025 ตามลำดับ ได้แสดงผลของดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวอัดดังแสดงในรูปที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่าความยาวรวมของเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรมีค่าดัชนีการใช้พลังงานที่สูงขึ้น เนื่องจากความยาวของเกลียวอัดที่เพิ่มมากขึ้นเป็นภาระของมอเตอร์ในการหมุนเพื่อสร้างความดันให้เกิดกระบวนการคั้นขึ้น เพื่อภาระเพิ่มขึ้นมอเตอร์จึงต้องให้แรงมากขึ้นในการทำงานเป็นผลให้มอเตอร์ของเครื่องจักรมีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความยาวเกลียวอัดในแนวแกนกับดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดที่อัตราการไหล $46 \text{ m}^3/\text{h}$ และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 1825, 1875, 1925, 1975 และ 2025 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเกลียวอัดจากเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษามีตำแหน่งเริ่มต้นการคั่นบนเกลียวอัดที่ระยะ 740 mm สามารถคำนวณความดัน ณ ตำแหน่งดังกล่าวได้เท่ากับ 53 kPa ซึ่งเป็นความดันน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการคั่น และความดันสูงสุดที่ 130 kPa ซึ่งคำนวณได้จากส่วนปลายสุดของเกลียวอัด ที่อัตราการไหล 46 m³/h เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ร่องเกลียวอัดช่วงอื่นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ความถี่ร่องเกลียวอัดลดลงทำให้เกลียวอัดสามารถสร้างความดันได้มากขึ้นเนื่องจากปริมาตรร่องเกลียวอัดลดลงส่งผลให้วัตถุติดภายในร่องเกลียวอัดเกิดการบีบอัดและเกิดความดันในแนวรัศมีขึ้น เมื่อความดันสูงขึ้นจนกระทั่งเซลล์ถูกทำลาย ของไหลจะแยกออกจากของผสมในร่องเกลียวอัดเกิดอัตราการไหล ความดันในแนวรัศมีที่สูงขึ้นเกิดจากการบีบอัดที่มากขึ้น ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น เมื่อทดลองเปลี่ยนแปลงค่าองศาเกลียวอัดในแนวแกนพบว่าองศาเกลียวอัดในแนวแกนที่ลดลงทำให้จำนวนรอบของครีบกเกลียวอัดที่หมุนต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น เกลียวอัดจึงสามารถลำเลียงวัตถุติดที่มีลักษณะแข็งได้ดีขึ้นโดยใช้แรงที่ลดลง ทำให้เกลียวอัดสามารถใช้แรงจากมอเตอร์ได้มากขึ้นที่มอเตอร์ขนาดเท่ากัน ส่งผลให้สามารถสร้างความดันได้สูงขึ้นและเกิดอัตราการไหลมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ร่องเกลียวอัดและองศาเกลียวอัดในแนวแกนสามารถสรุปได้ว่าความถี่ร่องเกลียวอัดส่งผลต่อการออกแบบเกลียวอัดมากที่สุด ซึ่งกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานและกำลังการผลิตของเครื่องจักรเนื่องจากเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ร่องเกลียวอัด 1 mm ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันโดยเฉลี่ย 6 kPa มากกว่าการเปลี่ยนแปลงองศาเกลียวอัดในแนวแกน 1° เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันโดยเฉลี่ย 3 kPa

เมื่อนำผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบพบว่าน่าเชื่อถือจึงนำมาสร้างโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดของเครื่องคั่นแบบเกลียวอัด โดยคำนวณที่เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 385 mm และอัตราการไหล 46 m³/h เท่ากับกรณีศึกษา ผลการคำนวณแสดงค่าความยาวเกลียวอัด 1,925 mm เป็นส่วนป้อน 481 mm ส่วนแรม 770 mm และส่วนอื่น 674 mm ความถี่ร่องเกลียวอัดส่วนป้อน 73 mm ส่วนแรมซึ่งแสดงเป็นองศาของเส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้น 5° และส่วนอื่น 5 mm ความกว้างร่องเกลียวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96 mm องศาเกลิยวัดในแนวแกน 82° เครื่องจักรทำงานที่ความเร็วรอบ 60 rpm มอเตอร์ขนาด 38 HP และเกลิยวัดสามารถสร้างความดันได้มากที่สุด 136 kPa

5.1 ข้อเสนอแนะ

5.1.1 นำผลจากการคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลิยวัดไปศึกษาและทดลองปรับค่าตัวแปรอย่างละเอียดเพื่อให้เครื่องคั้นแบบเกลิยวัดสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1.2 การคำนวณของโปรแกรมออกแบบเกลิยวัดจะสามารถคำนวณได้แม่นยำมากขึ้นเมื่อมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการคั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Singh & P. C. Bargale, Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **Journal of Food Engineering**, 43, 2000, 75-82.
- [2] E. Uitterhaegen & P. Evon, Twin screw extrusion technology for vegetable oil extraction: A review. **Journal of Food Engineering**, 212, 2017, 190-200.
- [3] A. W. Birley, B. Haworth & J. Batchelor, **Physics of Plastics: Processing, Properties and Materials Engineering** (Minuch: Hanser publisher, 1992).
- [4] G. A. Campbell & M. A. Spalding, **Troubleshooting and Analysis of Single-Screw Extruder** (Minuch: Hanser publisher, 2013).
- [5] Vincent Corporation. "TSP-12 wSTEAM INJECTION ON PINEAPPLE JUICE" . [Online]. Available: <http://www.vincentcorp.com/content/screw-press-photos>. (2018).
- [6] Vincent Corporation. "CP-4 TESTING CRANBERRY" . [Online] . Available: <http://www.vincentcorp.com/content/screw-press-photos>. (2018)
- [7] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. "มะพร้าว". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/index.php/en/home/20-plants-for-shade/21-cocos-nucifera/>. (2558).
- [8] United States Department of Agriculture, **Full Report (All Nutrients): 12104, Nuts, Coconut meat, raw**, 2013.
- [9] วิมล ศรีสุข. "น้ำมะพร้าวอ่อน.....เครื่องดื่มสุขภาพจากธรรมชาติ". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/363/%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%AD%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99/>. (2559).
- [10] W. R. N. Nathaneal, Proximate composition of protein. **Ceylon Coconut Quarterly**, 5, 1954, 108.
- [11] K. Popper, G. G. Notter & F. S. Nurry, New products from coconut: non-dairy chip dips and cream cheese. **Food Processing and Marketing**, 27, 1966, 92-96.
- [12] M. Jeganathan, Report of the officer-in-charge; Chemistry Division, Ceylon Coconut Research Institute. **Ceylon Coconut Quarterly**, 21, 1970, 13-21.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Anon, Coconut cream,raw. NDM no. 12115. Nutrition Database, University of Minesota, USA, 1985, 146-198.
- [14] C. C. Seow & C. N. Gwee, Coconut milk: chemistry and technology. **International Journal of Food Science Technology**, 32, 1997, 189-201.
- [15] J. Simuang, N. Chiewchan & A. Tansakul, Effects of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk. **Journal of Food Engineering**, 64, 2004, 193-197.
- [16] ณรงค์ โฉมเฉลา. (2551). มาใช้กะทิแทนนมกันเถอะ เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2551 ชมรมอนุรักษ์และพัฒนา น้ำมันมะพร้าวแห่งประเทศไทย ณ สถาบันพืชสวน กรมวิชาการเกษตร
- [17] ปรียานุช แยมวงศ์. "ตายแล้ว! ไขมันในเลือดสูง". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/articledetail.asp?id=519>. (2553).
- [18] T. Peamprasart & N. Chiewchan, Effect of fat content and preheat treatment on the apparent viscosity of coconut milk after homogenization. **Journal of Food Engineering**, 77, 2006, 653-658.
- [19] K. Jirapeangtong, S. Siriwatanayothin & N. Chiewchan, Effect of coconut sugar and stabilizing agents on ability and apparent viscosity of high-fat coconut milk. **Journal of Food Engineering**, 87, 2008, 422-427.
- [20] A. Tansakul & P. Chaisawang, Thermophysical properties of coconut milk. **Journal of Food Engineering**, 73, 2006, 276-280.
- [21] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. "Coconut milk/น้ำกะทิ". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3066/coconut-milk-%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%81%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B4>. (2561).
- [22] Puechkaset. "กะทิ และวิธีทำน้ำกะทิ". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://puechkaset.com/%E0%B8%81%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B4/>. (2561).
- [23] A. M. Olaniyan, Development of a small scale orange juice extractor. **J Food Science Technol**, 47, 2010, 105-108.
- [24] H. Santoso, Iryanto & M. Ingrid, Effects of Temperature, Pressure, Preheating Time and Pressing Time on Rubber Seed Oil Extraction Using Hydraulic Press. **Procedia Chemistry**, 9, 2014, 248-256.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [25] P. Hannifin, **Commercial Hydraulics** (Youngstown: Parker Hannifin Corporation., 2017).
- [26] Y. A. Cengel & M. A. Boles, **Thermodynamics: An Engineering Approach** (New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011).
- [27] M. N. Riaz, **Extruders in Food Applications** (Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 2000).
- [28] N. D. Frame, **The Technology of Extrusion Cooking** (Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1994).
- [29] R. Guy, **Extrusion cooking** (Combridge: Woodhead Publishing Ltd., 2001).
- [30] M. Maskan & A. Altan, **Advanced in Food Extrusion Technology** (Boca Raton: CRC Press, 2012).
- [31] V. S. Vadke, F. W. Sosulski & C. A. Shook, Mathematical simulation of an oilseed press. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, 65, 1988, 1610-1616.
- [32] Huber SE. "HUBER Screw Press Q-PRESS® – features of the new model". [Online]. Available: <http://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/new-huber-screw-press-q-pressr-6202-for-sludge-dewatering-operational-experience.html>. (2018).
- [33] M. F. Turk, C. Billaud, E. Vorobiev & A. Baron, Continuous pulsed electric field treatment of French cider apple and juice expression on the pilot scale belt press. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 14, 2012, 61-69.
- [34] Zhengzhou Allance Machinery Co., Ltd. "Screw Oil Press Structure". [online]. Available: <http://oil-expeller.net/product/screw-oil-press.html>. (2005).
- [35] J. M. Bouvier & O. H. Campanella. **Extrusion Processing Technologies: Food and Non-Food Biomaterials** (West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2014).
- [36] ANDRITZ. "Dewatering of fiber pulps". [Online]. Available: <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/pulp-drying-finishing/dewatering-machines-fiber>. (2018).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [37] Huber SE. "More than 96% sludge volume reduction: Big HUBER Screw Press units convince international customers" . [Online] . Available: <http://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/new-huber-screw-press-q-pressr-6202-for-sludge-dewatering-operational-experience.html>. (2018).
- [38] O. A. Adetola, J. O. Olajide & A. P. Olalusi, Development of a screw press for palm oil extraction. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, 5, 2014, 1416-1422.
- [39] Z. A. Meretukov & E. P. Koshevoy, Mathematical modeling of non-Newtonian fluid flow in an extruder channel, extraction included. **Scientific Journal NRU ITMO. Process and Food Production Equipment**, 2013. 1-5.
- [40] HAARSLEV. "Twin Screw Press". [Online]. Available: <https://www.haarslev.com/products/twin-screw-press/>. (2018).
- [41] X. Z. Zhu, H. Q. Yuan & W. Q. Wang, Numerical simulation of flow characteristics in new co-rotating triangle arrayed triple screw extruders. **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 2009, 3289-3299.
- [42] Reiloy USA. **Barrel & Screw Handbook** (Maize: Reiloy USA, 2015).
- [43] T. W. Womer, Basic Screw Geometry "Things Your Screw Designer Never Told You About Screws!!". **Xaloy, Inc.** (2011).
- [44] J. Frankland. " **Extrusion: How much L/D Do You Really Need?**" . [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/columns/how-much-ld-do-you-really-need>. (2011).
- [45] A. A. Patil, S. D. Gaiwad & R. S. Kulkarni, A Review on the Oil Expeller Screw Shaft. **International Research Journal of Engineering and Technology**, 4, 2017, 1654-1657.
- [46] K. C. R. Martins, H. C. S. Pires, L. G. Viana, L. S. P. Martins L. E. M. Silva & J. R. P. Rodrigues, Development of a prototype of screw press for the collection of oil from seeds of Castor and Jatropha, In: **13th Brazilian Congress of Thermal Science and Engineering**, Uberlandia, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [47] A. Bahadar, M. B. Khan & T. Mehran, Design and Development of an Efficient Screw Press Expeller for Oil Expression from *Jatropha Curcas* Seeds: A Computation Flow Dynamics Study of Expeller for Performance Analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52, 2013, 2123-2129.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

(ผลการทดลองการวัดขนาดและการทดลองวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรกรณีศึกษา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทดลองวัดองศาเกลียวอัดในแนวแกน

ระยะความยาวเกลียวอัด (mm)	ครั้งที่ 1 (mm)	ครั้งที่ 2 (mm)	ครั้งที่ 3 (mm)	ครั้งที่ 4 (mm)	ครั้งที่ 5 (mm)	เฉลี่ย (mm)
0.00	82.9	83.0	83.1	83.1	82.9	83.0±0.10
105.38	82.9	83.0	83.2	83.1	82.8	83.0±0.16
210.76	84.6	82.9	83.6	83.5	84.4	83.8±0.70
316.14	84.9	83.4	84.0	84.4	84.3	84.2±0.55
421.52	84.3	85.0	84.5	85.2	84.5	84.7±0.38
526.9	85.5	84.6	84.8	84.9	85.7	85.1±0.41
632.28	84.7	85.5	85.1	85.7	84.5	85.1±0.51
737.66	85.4	84.5	85.1	85.1	84.9	85.0±0.33
843.04	84.7	85.4	85.0	85.3	85.1	85.1±0.27

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลองวัดความกว้างร่องเกลียวอัด

ระยะความยาวเกลียวอัด (mm)	ครั้งที่ 1 (mm)	ครั้งที่ 2 (mm)	ครั้งที่ 3 (mm)	ครั้งที่ 4 (mm)	ครั้งที่ 5 (mm)	เฉลี่ย (mm)
0.00	105.57	105.62	104.89	104.83	105.34	105.25±0.37
105.38	104.82	105.64	105.44	104.86	105.44	105.24±0.37
210.76	105.20	105.14	105.28	105.20	105.48	105.26±0.13
316.14	99.07	98.83	98.12	98.51	98.35	98.76±0.38
421.52	101.71	101.89	101.52	101.57	101.81	101.7±0.16
526.9	93.07	93.18	93.29	93.26	93.15	93.19±0.09
632.28	85.97	85.72	86.00	85.45	86.04	85.84±0.25
737.66	89.30	89.34	89.57	89.58	89.59	89.48±0.14
843.04	91.66	91.58	91.74	91.87	91.81	91.73±0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการทดลองวัดความถี่ก้องเกลียวอัด

ระยะความยาวเกลียวอัด (mm)	ครั้งที่ 1 (mm)	ครั้งที่ 2 (mm)	ครั้งที่ 3 (mm)	เฉลี่ย (mm)
0.00	74.13	74.48	74.20	74.27±0.19
105.24	74.27	74.04	74.20	74.17±0.12
113.18	74.30	74.48	74.39	74.39±0.09
218.44	74.22	74.04	74.27	74.18±0.12
226.47	60.52	59.85	59.82	60.06±0.40
325.23	57.79	57.79	57.59	57.72±0.12
333.30	36.72	36.83	36.23	36.59±0.32
435.00	33.10	33.19	33.43	33.24±0.17
443.12	12.53	12.69	12.33	12.52±0.18
536.31	9.13	8.69	8.71	8.84±0.25
545.90	7.33	7.38	7.37	7.36±0.03
631.39	7.95	7.92	7.91	7.93±0.02
730.87	7.10	7.11	7.10	7.10±0.01
740.54	8.02	8.01	8.05	8.03±0.02
832.27	6.24	6.49	6.51	6.41±0.15
842.02	7.71	7.64	7.75	7.70±0.06

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการทดลองวัดระยะห่างระหว่างครีบกวาดเกลียวและผนังบาเรล

ระยะความยาวเกลียวอัด (mm)	0.00	105.38	210.76	316.14	421.52	526.90	632.28	737.06	843.04	เฉลี่ย
ระยะห่าง (mm)	3.50	4.00	3.50	2.50	4.00	4.50	3.00	2.50	2.50	3.31±0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการทดลองวัดความยาวเกลียวอัด และเส้นผ่านศูนย์กลางบาเรล

	ความยาวเกลียวอัด (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางบาเรล (mm)
ครั้งที่ 1	836.0	395.0
ครั้งที่ 2	837.0	396.0
ครั้งที่ 3	856.0	395.5
ครั้งที่ 4	828.0	394.5
ครั้งที่ 5	858.0	394.0
เฉลี่ย	843.0±13.27	395.0±0.79

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการทดลองวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรกรณีศึกษา

ระยะเวลา	ครั้งที่ 1 (min)	ครั้งที่ 2 (min)	ครั้งที่ 3 (min)	ครั้งที่ 4 (min)	ครั้งที่ 5 (min)	เฉลี่ย (min)	อัตราการไหล ของเครื่องจักร (m ³ /min)
ตำแหน่งที่ 1 (740 mm)	50.33	88.42	49.17	64.02	73.40	65.07	0.2119±0.27
ตำแหน่งที่ 2 (790 mm)	39.37	19.05	54.82	26.92	20.04	32.04	0.4304±0.25
ตำแหน่งที่ 3 (843 mm)	19.43	17.12	15.67	17.41	15.72	16.97	0.7220±0.03

ปริมาตรกะทิจ = 100 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 %Ms.Pee-Chana Sukosol
2 %Program for Helix angle Calculation for Screw Press Machine.
3 %-----
4 %Constrain of the progeam
5 %P minimum =54 kPa -minimum pressure that makes the separation
occures
6 % Q minimum =13 m^3/h -minimum pressure that cause P =54 kPa
7 %P maximum =300 kPa -maximum pressure of the program
8 % Q maximum =134 m^3/h -maximum pressure that casue P =300 kPa
9
10 function varargout =TotalDesignProgram6(varargin)
11 %TOTALDESIGNPROGRAM6 M-file for TotalDesignProgram6.fig
12 % TOTALDESIGNPROGRAM6, by itself, creates a new
TOTALDESIGNPROGRAM6 or raises the existing
13 % singleton*.
14 %
15 % H =TOTALDESIGNPROGRAM6 returns the handle to a new
TOTALDESIGNPROGRAM6 or the handle to
16 % the existing singleton*.
17 %
18 % TOTALDESIGNPROGRAM6('Property','Value',...)creates a new
TOTALDESIGNPROGRAM6 using the
19 % given property value pairs.Unrecognized properties are
passed via
20 % varargin to TotalDesignProgram6_OpeningFcn.This calling
syntax produces a
21 % warning when there is an existing singleton*.
22 %
23 % TOTALDESIGNPROGRAM6('CALLBACK')and
TOTALDESIGNPROGRAM6('CALLBACK',hObject,...)call the
24 % local function named CALLBACK in TOTALDESIGNPROGRAM6.M
with the given input
25 % arguments.
26 %
27 % *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
allows only one
28 % instance to run (singleton)".
29 %
30 %See also:GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
31
32 %Edit the above text to modify the response to help
TotalDesignProgram6
33
34 %Last Modified by GUIDE v2.5 03-Mar-2018 16:51:06
35
36 %Begin initialization code -DO NOT EDIT
37 gui_Singleton =1;
38 gui_State =struct('gui_Name',      mfilename, ...
39                 'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
40                 'gui_OpeningFcn',
@TotalDesignProgram6_OpeningFcn, ...
41                 'gui_OutputFcn',
@TotalDesignProgram6_OutputFcn, ...
42                 'gui_LayoutFcn',

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 'gui_LayoutFcn' นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

43         'gui_Callback',    []);
44 if nargin && ischar(varargin{1})
45     gui_State.gui_Callback =str2func(varargin{1});
46 end
47
48 if nargin
49     [varargout{1:nargout}]=gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
50 else
51     gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
52 end
53 %End initialization code -DO NOT EDIT
54
55
56 %--Executes just before TotalDesignProgram6 is made visible.
57 function TotalDesignProgram6_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
58 %This function has no output args, see OutputFcn.
59 %hObject    handle to figure
60 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
61 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
62 %varargin   unrecognized PropertyName/PropertyValue pairs from
the
63 %    command line (see VARARGIN)
64
65 %Choose default command line output for TotalDesignProgram6
66 handles.output=hObject;
67 axes(handles.pic_input);
68 imshow('Input.png');
69 axes(handles.pic_output);
70 imshow('Blank.png');
71 %Update handles structure
72 guidata(hObject, handles);
73
74 %UIWAIT makes TotalDesignProgram6 wait for user response (see
UIRESUME)
75 %uiwait(handles.figure1);
76
77
78 %--Outputs from this function are returned to the command
line.
79 function varargout =TotalDesignProgram6_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
80 %varargout  cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
81 %hObject    handle to figure
82 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
83 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
84
85 %Get default command line output from handles structure
86 varargout{1} =handles.output;
87
88

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

89
90 function input_D_Callback(hObject, ~, handles)
91 %hObject    handle to input_D (see GCBO)
92 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
93 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
94
95 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of input_D as
text
96 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
input_D as a double
97
98
99 %--Executes during object creation, after setting all
properties.
100 function input_D_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
101 %hObject    handle to input_D (see GCBO)
102 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
103 %handles    empty -handles not created until after all
CreateFcns called
104
105 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
106 %  See ISPC and COMPUTER.
107 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
108     set(hObject,'BackgroundColor','white');
109 end
110
111
112
113 function output_N_Callback(hObject, eventdata, handles)
114 %hObject    handle to output_N (see GCBO)
115 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
116 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
117
118 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_N as
text
119 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of 120
output_N as a double
120
121
122
123 %--Executes during object creation, after setting all
properties.
124 function output_N_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
125 %hObject    handle to output_N (see GCBO)
126 % eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
127 %handles    empty -handles not created until after all
CreateFcns called
128
129 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
130 %  See ISPC and COMPUTER.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
132     set(hObject,'BackgroundColor','white');
133 end
134
135
136
137 function input_Q_Callback(hObject, eventdata, handles)
138 %hObject    handle to input_Q (see GCBO)
139 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
140 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
141
142 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of input_Q as
text
143 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of 144 input_Q
as a double
144
145
146
147 %--Executes during object creation, after setting all
properties.
148 function input_Q_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
149 %hObject    handle to input_Q (see GCBO)
150 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
151 %handles    empty -handles not created until after all
CreateFcns called
152
153 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
154 %  See ISPC and COMPUTER.
155 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
156     set(hObject,'BackgroundColor','white');
157 end
158
159
160
161 function output_Pe_Callback(hObject, eventdata, handles)
162 %hObject    handle to output_Pe (see GCBO)
163 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
164 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
165
166 %Hints:get(hObject,'String') returns contents of output_Pe as
text
167 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
output_Pe as a double
168
169
170 %--Executes during object creation, after setting all
properties.
171 function output_Pe_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
172 %hObject    handle to output_Pe (see GCBO)
173 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
174 %handles    empty -handles not created until after all

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CreateFcns called
175
176 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
177 % See ISPC and COMPUTER.
178 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
179     set(hObject,'BackgroundColor','white');
180 end
181
182
183 %--Executes on button press in button_cal.
184 function button_cal_Callback(hObject, eventdata, handles)
185 %hObject    handle to button_cal (see GCBO)
186 %eventdata  reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
187 %handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
188 D =str2double(get(handles.input_D,'String'));
189 Q =str2double(get(handles.input_Q,'String'));
190 if Q < 13 || Q > 134 %Constrain of the program > 54 <=P <=300
    kPa.
191 %Report
192     set(handles.output_l, 'string', 'can not calculate');
193     set(handles.output_Pe, 'string', 'can not calculate');
194     set(handles.output_l1, 'string', 'can not calculate');
195     set(handles.output_l2, 'string', 'can not calculate');
196     set(handles.output_l3, 'string', 'can not calculate');
197     set(handles.output_P, 'string', 'can not calculate');
198     set(handles.output_h1, 'string', 'can not calculate');
199     set(handles.output_h2, 'string', 'can not calculate');
200     set(handles.output_h3, 'string', 'can not calculate');
201     set(handles.output_W, 'string', 'can not calculate');
202     set(handles.output_Ha, 'string', 'can not calculate');
203     set(handles.output_N, 'string', 'can not calculate');
204 else
205 %Fixed parameters
206     n =0.7368;           %Flow behaviour index
207     Visl =0.083;        %Viscosity of liquid, Pa.s
208     Rhol =975.94;       %Density of liquid, m3/kg
209     Cr =5;              %Clearance between screw flight and
        barrel surface, mm
210     re =4.3*(10^9);     %Resistance
211     Visc =1448.6;       %Viscosity of the semi-solid
212     ms =1935;          %Mass of solid per area
213     Rhos =1018;        %Density of Solid, m3/kg
214     fpd =0.98;         %Correction factor for average viscosity
        in pressure flow
215     Kc =0.3132;        %Consistency index
216     Kd =0.85;          %Geometric constant
217     K =9.55;           %Constant value
218     g =9.81;           %Acceleration due to gravity force, ms2
219     f =0.4;            %Material factor
220 %Calculation
221 %Pressure calculation, kPa > Final Pressure at the die

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานที่ออกโดยสถาบันวิจัยและพัฒนา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

222         P = K*Kd*(Q^n);
223     %Screw length calculation
224         %Total length, mm
225         %L/D ratio =5
226         l = 5*D;
227         %Motor power
228         PeW = 4.5*18.5*Q*(l/1000)*Rhol/1000*g*f;           %Motor
power in watt
229         PeHP = PeW/745.7;           %Motor
power in HP
230         %Feed section length, mm
231         l1 = 0.25*l;
232         %Ram section length, mm
233         l2 = (0.4*l);
234         %Plug section length, mm
235         l3 = l-l1-l2;
236         %Barrel diameter calculation, mm
237         DBarrel = D+(2*Cr);
238         %Screw width calculation, mm
239         W = 0.25*D;
240         %W = 100;
241         %Screw depth calculation, Feed section, mm
242         h1 = 0.19*D;
243         %Helix angle (Helix), deg & Plug section depth (h3), mm
244         %Assume innitial value
245         fd = 0.9623; %Shape factor for drag flow, assume at
H = 7mm
246         fps = 0.949; %Shape factor for pressure flow,
assume at H = 7 mm
247         N = 200/60; %Rotating speed, rps
248         H0 = 5; %Pitch depth, minimum value, mm
249         H1 = 10; %Pitch depth, maximum value, mm
250         HA = 85; %Helix angle, minimum value, deg
251         error1 = 1;
252         error2 = 1;
253         error3 = 1;
254         i = 0; j = 0; k = 1;
255         A1 = pi*DBarrel*W; A2 = W*fpd*P/(12*n*Visc);
256         while error3 > 0.001
257             while error2 > 0.001
258                 while error1 > 0.001
259                     %Screw depth calculation, Plug section,
mm
260                     func0 = (A1*N*(H0-
Cr)*cos(HA*180/pi)*fd/2)-(A2*(H0^3)*fps)-(Q/3600);
261                     func1 = (A1*N*(H1-
Cr)*cos(HA*180/pi)*fd/2)-(A2*(H1^3)*fps)-(Q/3600);
262                     DF = (func0-func1)/(H0-H1);
263                     DH = -func1/DF;
264                     H0 = H1;
265                     H1 = H1+DH;
266                     error1 = abs(DH*100/H1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

267             H =(H0+H1)/2;
268             fd =1-((0.487*(n^2)-
0.948*n+0.972)*(H/W);
269             fps =1-((0.949*(n^2)-
1.87*n+1.59)*(H/W);
270             i =i+1;
271             end
272             %Helix angle calculation
273             HA1 =HA;
274             HA2 =acos(((Q/3600)+A2*(H^3)*fps)/(A1*N*(H-
Cr)*fd/2));
275             error2 =abs(HA2-HA1)*100/HA1;
276             HA =HA2;
277             j =j+1;
278             end
279             N1 =N;
280             N2 =(Q+(H*A2*fps))/(A1*(H-Cr)*cos(HA)*fd/2);
281             error3 =abs(N2-N1)*100/N1;
282             N =N2;
283             k =k+1;
284             end
285             HA_cal =120-(HA*180/pi);
286             %Plug section depth, mm
287             h3 =H;
288             %Ram section depth, slope
289             h2 =(h3-h1)/l2; %Slop of the ram sesction
290             H2r =atan(h1-h3)/l2); %Diameter angle of the ram
section, rad
291             H2d =abs(180*H2r/pi); %Diameter angle of the ram
section, deg
292             %Position X of the screw that the pressing start, mm
293             a1 =round(l);
294             a2 =l/2.5;
295             a3 =round(a2);
296             error4 =1;
297             step =5; %Step size =5 mm
298             X =zeros(1,a3+3);
299             X(1)=0;
300             Ha =round(HA_cal);
301             j =2;
302             i =1;
303             for i =2:length(X)
304                 X(i)=X(i-1)+2.5;
305             end
306             Depth =zeros(1,a3+3);
307             Depth(1)=h1;
308             a4 =round(l1);
309             a5 =round(l1+l2);
310             b =h1-h2*(l1);
311             for i =1:length(X)
312                 if X(i)<=a4
313                     Depth(i)=h1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

314         elseif X(i) > a4 && X(i) <= a5
315             Depth(i) = (h2*X(i)+b);
316         else
317             Depth(i) = h3;
318         end
319     end
320     Fd = zeros(1, length(X));
321     Fps = zeros(1, length(X));
322     for i = 1:length(X)
323         Fd(i) = 1 - ((0.487*(n^2) -
324             0.948*n + 0.972)*(Depth(i)/W);
325         Fps(i) = 1 - ((0.949*(n^2) -
326             1.87*n + 1.59)*(Depth(i)/W);
327     end
328 %Report
329     PeHPf = round(PeHP); l1f = round(l1); l2f = round(l2);
330     l3f = round(l3);
331     Pf = round(P); h1f = round(h1); H2df = round(H2d); h3f =
332     round(h3);
333     Wf = round(W); Haf = round(Ha); Nf = round(N)*60; lf =
334     round(l);
335     set(handles.output_l, 'string', lf);
336     set(handles.output_Pe, 'string', PeHPf);
337     set(handles.output_l1, 'string', l1f);
338     set(handles.output_l2, 'string', l2f);
339     set(handles.output_l3, 'string', l3f);
340     set(handles.output_P, 'string', Pf);
341     set(handles.output_h1, 'string', h1f);
342     set(handles.output_h2, 'string', H2df);
343     set(handles.output_h3, 'string', h3f);
344     set(handles.output_W, 'string', Wf);
345     set(handles.output_Ha, 'string', Haf);
346     set(handles.output_N, 'string', Nf);
347     plotx = zeros(1, 5);
348     ploty = zeros(1, 5);
349     power = zeros(1, 5);
350     for b1 = 1:5
351         plotx(b1) = 1 - (50*(3-b1)); %Total length, mm
352         power(b1) =
353         (4.5*18.5*(plotx(b1)/1000)*Rho1/1000*g*f)/1000; %Motor power,
354         kW
355         ploty(b1) = power(b1)/(Q/3600); %SEC, kJm^3
356     end
357     axes(handles.pic_output);
358     plot(plotx, ploty);
359     xlabel('Total length of the screw, mm');
360     ylabel('Specific energy consumption, kJm^3');
361 end
362 function output_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
363 % hObject handle to output_1 (see GCBO)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

361 %eventdata reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
362 %handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
363
364 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_1 as
    text
365 % str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
    output_1 as a double
366
367
368 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
369 function output_1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
370 %hObject handle to output_1 (see GCBO)
371 %eventdata reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
372 %handles empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
373
374 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
375 % See ISPC and COMPUTER.
376 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
377     set(hObject,'BackgroundColor','white');
378 end
379
380
381
382 function output_Ha_Callback(hObject, eventdata, handles)
383 %hObject handle to output_Ha (see GCBO)
384 %eventdata reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
385 %handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
386
387 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_Ha as
    text
388 % str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
    output_Ha as a double
389
390
391 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
392 function output_Ha_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
393 %hObject handle to output_Ha (see GCBO)
394 %eventdata reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
395 %handles empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
396
397 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
398 % See ISPC and COMPUTER.
399 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
400     set(hObject,'BackgroundColor','white');
401 end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

402
403
404 %--Executes on button press in button_clear.
405 function button_clear_Callback(hObject, eventdata, handles)
406 %hObject      handle to button_clear (see GCBO)
407 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
408 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
409     set(handles.input_D, 'string', ' ');
410     set(handles.output_N, 'string', ' ');
411     set(handles.input_Q, 'string', ' ');
412     set(handles.output_Pe, 'string', ' ');
413     set(handles.output_l, 'string', ' ');
414     set(handles.output_l1, 'string', ' ');
415     set(handles.output_l2, 'string', ' ');
416     set(handles.output_l3, 'string', ' ');
417     set(handles.output_P, 'string', ' ');
418     set(handles.output_h1, 'string', ' ');
419     set(handles.output_h2, 'string', ' ');
420     set(handles.output_h3, 'string', ' ');
421     set(handles.output_W, 'string', ' ');
422     set(handles.output_Ha, 'string', ' ');
423     axes(handles.pic_input);
424     imshow('Input.png');
425     axes(handles.pic_output);
426     imshow('Blank.png');
427
428
429 function output_l1_Callback(hObject, eventdata, handles)
430 %hObject      handle to output_l1 (see GCBO)
431 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
432 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
433
434 % Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_l1 as
text
435 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
output_l1 as a double
436
437
438 %--Executes during object creation, after setting all
properties.
439 function output_l1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
440 %hObject      handle to output_l1 (see GCBO)
441 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
442 %handles      empty -handles not created until after all
CreateFcns called
443
444 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
445 % See ISPC and COMPUTER.
446 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

447     set(hObject,'BackgroundColor','white');
448 end
449
450
451
452 function output_l2_Callback(hObject, eventdata, handles)
453 %hObject     handle to output_l2 (see GCBO)
454 %eventdata   reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
455 %handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
456
457 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_l2 as
    text
458 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
    output_l2 as a double
459
460
461 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
462 function output_l2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
463 %hObject     handle to output_l2 (see GCBO)
464 %eventdata   reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
465 %handles     empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
466
467 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
468 %  See ISPC and COMPUTER.
469 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
470     set(hObject,'BackgroundColor','white');
471 end
472
473
474
475 function output_l3_Callback(hObject, eventdata, handles)
476 %hObject     handle to output_l3 (see GCBO)
477 %eventdata   reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
478 %handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
479
480 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_l3 as
    text
481 %  str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
    output_l3 as a double
482
483
484 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
485 function output_l3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
486 %hObject     handle to output_l3 (see GCBO)
487 %eventdata   reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
488 %handles     empty -handles not created until after all
    CreateFcns called

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

489
490 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
491 % See ISPC and COMPUTER.
492 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
493     set(hObject,'BackgroundColor','white');
494 end
495
496
497
498 function output_h1_Callback(hObject, eventdata, handles)
499 %hObject      handle to output_h1 (see GCBO)
500 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
501 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
502
503 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_h1 as
    text
504 % str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
    output_h1 as a double
505
506
507 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
508 function output_h1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
509 %hObject      handle to output_h1 (see GCBO)
510 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
511 %handles      empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
512
513 %Hint:edit controls usually have a white background on Windows.
514 % See ISPC and COMPUTER.
515 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
516     set(hObject,'BackgroundColor','white');
517 end
518
519
520
521 function output_h2_Callback(hObject, eventdata, handles)
522 %hObject      handle to output_h2 (see GCBO)
523 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
524 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
525
526 %Hints:get(hObject,'String')returns contents of output_h2 as
    text
527 % str2double(get(hObject,'String'))returns contents of
    output_h2 as a double
528
529
530 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
531 function output_h2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

532 % hObject      handle to output_h2 (see GCBO)
533 % eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
534 % handles      empty -handles not created until after all
CreateFcns called
535
536 % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
537 % See ISPC and COMPUTER.
538 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
539     set(hObject,'BackgroundColor','white');
540 end
541
542
543
544 function output_h3_Callback(hObject, eventdata, handles)
545 % hObject      handle to output_h3 (see GCBO)
546 % eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
547 % handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
548
549 % Hints: get(hObject,'String') returns contents of output_h3 as
text
550 % str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
output_h3 as a double
551
552
553 %--Executes during object creation, after setting all
properties.
554 function output_h3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
555 % hObject      handle to output_h3 (see GCBO)
556 % eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
557 % handles      empty -handles not created until after all
CreateFcns called
558
559 % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
560 % See ISPC and COMPUTER.
561 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
562     set(hObject,'BackgroundColor','white');
563 end
564
565
566
567 function output_W_Callback(hObject, eventdata, handles)
568 % hObject      handle to output_W (see GCBO)
569 % eventdata    reserved -to be defined in a future version of
MATLAB
570 % handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
571
572 % Hints: get(hObject,'String') returns contents of output_W as
text
573 % str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
output_W as a double

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

574
575
576 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
577 function output_W_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
578 % hObject    handle to output_W (see GCBO)
579 % eventdata  reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
580 % handles    empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
581
582 % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
583 % See ISPC and COMPUTER.
584 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
585     set(hObject,'BackgroundColor','white');
586 end
587
588
589
590 function output_P_Callback(hObject, eventdata, handles)
591 % hObject    handle to output_P (see GCBO)
592 % eventdata  reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
593 % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
594
595 % Hints: get(hObject,'String') returns contents of output_P as
    text
596 % str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
    output_P as a double
597
598
599 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
600 function output_P_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
601 % hObject    handle to output_P (see GCBO)
602 % eventdata  reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
603 % handles    empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
604
605 % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
606 % See ISPC and COMPUTER.
607 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
608     set(hObject,'BackgroundColor','white');
609 end
610
611
612 %--Executes during object creation, after setting all
    properties.
613 function title12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
614 % hObject    handle to title12 (see GCBO)
615 % eventdata  reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

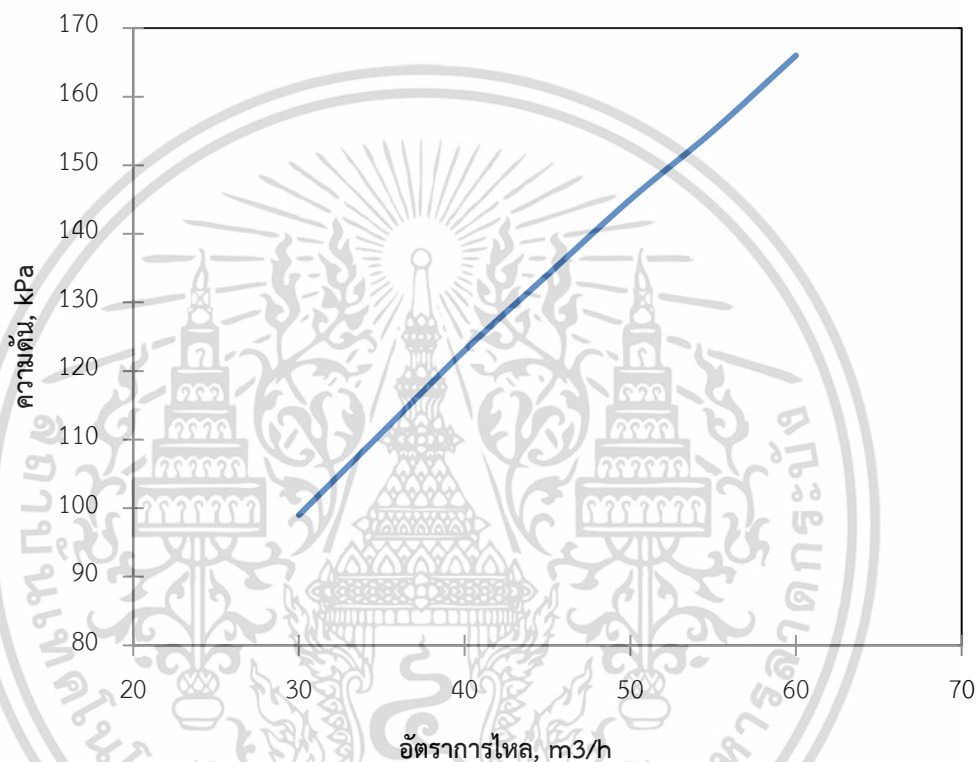
616 %handles    empty -handles not created until after all
    CreateFcns called
617
618
619 %--Executes on button press in Guide.
620 function Guide_Callback(hObject, eventdata, handles)
621 %hObject      handle to Guide (see GCBO)
622 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
623 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
624 Guide1
625
626
627 %--Executes on button press in button_sec.
628 function button_sec_Callback(hObject, eventdata, handles)
629 %hObject      handle to button_sec (see GCBO)
630 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
631 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
632
633
634 %--Executes on button press in pic1.
635 function pic1_Callback(hObject, eventdata, handles)
636 %hObject      handle to pic1 (see GCBO)
637 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
638 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
639 axes(handles.pic_input);
640 imshow('Input.png');
641
642
643 %--Executes on button press in pic2.
644 function pic2_Callback(hObject, eventdata, handles)
645 %hObject      handle to pic2 (see GCBO)
646 %eventdata    reserved -to be defined in a future version of
    MATLAB
647 %handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
648 axes(handles.pic_input);
649 imshow('Output.png');
650
651
    Published with MATLAB® R2017a

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของเครื่องคั้นที่ 30 35 40 45 50 55 และ 60 m³/h ที่เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 385 mm พบว่าความดันที่เกิดขึ้นมีค่าเปลี่ยนแปลงเนื่องจากที่อัตราการไหลสูงขึ้นมีความจำเป็นที่เครื่องจักรต้องการสร้างความดันเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของวัตถุดิบ และเกิดการบีบอัดภายในเครื่องจักรมากขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 99 kPa ถึง 166 kPa ส่งผลต่อขนาดมอเตอร์ของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจาก 25 HP เป็น 49 HP ผลจากการคำนวณดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 1 การคำนวณความดันที่เกิดจากเกลียวอัดของโปรแกรมออกแบบเกลียวอัดที่อัตราการไหล 30 35 40 45 50 55 และ 60 m³/h ภายใต้ข้อกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวอัด 385 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลขององศาเกลียวต่อกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว

Influence of Helix Angle on the Production Rate of the Coconut Milk Screw Pressed Machine

ปิยชนา สุโกศล¹ และ เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง^{1*}¹ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: kiattisak.ro@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: 0 2329 8356

บทคัดย่อ

การคั้นแบบเกลียวอัด (Screw press) เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมกะทิในประเทศไทย ในการทำงานของเครื่องจักรมีชุดเกลียวอัดซึ่งมีมิติขนาดคงที่ในการสร้างความดัน (Pressure, P) การคั้น ในสภาวะการทำงานของเครื่องจักรในโรงงานพบว่าความเร็วรอบเกลียวอัด (Rotation speed, N) คงที่ และมีการปรับความกว้างรูเปิด (Die opening, l_{Die}) เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของการออกแบบขององศาเกลียว (Helix angle, θ) ที่องศาค่าต่างๆ ที่ความเร็วรอบและความกว้างรูเปิดคงที่เพื่อหาช่วงขนาดที่เหมาะสมต่อกำลังการผลิต (Production rate, Q) ของโรงงาน จากการทดลองกับเครื่องจักรในโรงงานซึ่งมีอัตราการผลิต $2,663.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ที่มีองศาเกลียวเพิ่มขึ้นจาก 83 ถึง 85° ความเร็วรอบ 200 rpm เมื่อนำค่าจากเครื่องจักรมาคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าได้ผลการคำนวณในทิศทางเดียวกัน จึงทำการปรับค่าองศาเกลียวในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ช่วงองศาเกลียว 70 ถึง 84.5° ให้กำลังการผลิตที่สูงและลดลงเมื่อองศาเกลียวเพิ่มขึ้น โดยมีค่ามากที่สุดที่ 70° ได้กำลังการผลิต $2,831.2 \text{ m}^3/\text{h}$ เพิ่มขึ้น 16.11% จากผลดังกล่าวพบว่าสามารถกำหนดองศาเกลียวเพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่ต้องการ โรงงานสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกแบบเครื่องจักรเพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่เหมาะสม และในกรณีที่ยังคงองศาเกลียวคงที่พบว่าสามารถหาค่ากำลังการผลิตที่ความเร็วรอบต่างกันได้เช่นกัน

คำหลัก: เครื่องคั้นแบบเกลียว; องศาเกลียว; กำลังการผลิต; กะทิ**Abstract**

Screw pressing is the popular method using in the coconut milk manufacturing in Thailand. Refer to the practical of machinery, a compression screw having constant dimension create pressure (P) for the pressing process. As operating conditions of machine in the factory, the rotation speed (N) is kept constant while the die opening (l_{Die}) is adjustable in order to find an appropriate values for the proper function. Therefore, this research studies the influence of the design of variance helix angle (θ) at the constant rotation speed and die opening to find the suitable range for the factories' production rate (Q). Results from calculations used parameters from the experiment on the practical machine

เอ็กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with production rate of 2,663.3 m³/h, helix angle increase from 83 to 85° and rotation speed of 200 rpm are congruent with the practical machine. Thus, helix angle is varied and results show that helix angle range from 70 to 84.5° produce higher production rate and decrease with the increase of helix angle. At helix angle of 70°, the production rate is maximum at 2,831.2 m³/h, increasing 16.11%. As previous report, helix angle can be set to provide the desirable production rate and the factories can modify the machine to match their capacity. Moreover, in the case of constant helix angle, the production rate can also be calculated at variance rotation speed.

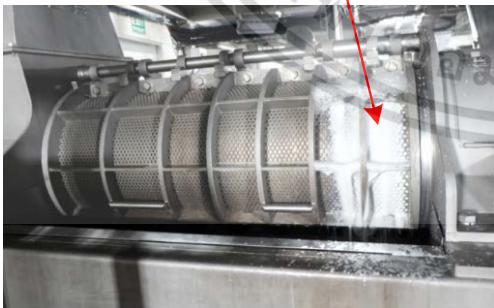
Keywords: screw press; helix angle; production rate; coconut milk

1. บทนำ

ปัญหาของเครื่องคั้นกะทิจากการตรวจสอบในโรงงานอุตสาหกรรมแสดงในรูปที่ 1 ช่วงที่เกิดการคั้นกะทิมีเพียงช่วงปลายเกลียวอัด และเมื่อมีการปรับระยะรูเปิดที่เล็กเกินไปเพื่อให้สามารถคั้นได้มากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการไหม้ ปัญหาดังกล่าวมาจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานส่งผลถึงประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ลดลง เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาจึงได้ศึกษารูปแบบของเกลียวอัดและแนวทางในการคำนวณเพื่อออกแบบเกลียวอัดให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงาน

ร่องเกลียวลดลงตามความยาวเกลียวอัด องศาเกลียวและเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนคงที่ในส่วนปลายของเกลียวอัด ระยะห่างระหว่างครีบกเกลียวและบารेलจะมีค่าคงที่ตลอดความยาวเกลียวอัด เมื่อป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องคั้น เกลียวอัดจะลำเลียงและบีบอัดทำให้เกิดความดันซึ่งทำลายเซลล์ของวัตถุดิบทำให้เกิดการคั้นทางกล

ช่วงพื้นที่ที่เกิดการคั้น



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่ที่เกิดการคั้นกะทิของเครื่องจักร

การออกแบบเกลียวอัดสำหรับการคั้นกะทิมาจากการดัดแปลงเกลียวอัดจากการคั้นน้ำผลไม้ เช่น สับปะรด [1] เกลียวอัดที่ใช้ในการศึกษาแสดงในภาพที่ 2 ความลึก



รูปที่ 2 แสดงเกลียวอัดของเครื่องคั้นกะทิ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกะทิและการออกแบบเกลียวอัดพบว่า Vadke และคณะ [2] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการสกัดน้ำมันของเครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวโดยการจำลองอัตราการไหลของน้ำมันและความดันที่เพิ่มขึ้น โดยอ้างอิงจากการไหลในแนวแกนของของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluid) ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) พบว่า ความยาวของเกลียวอัด (Length of shaft) ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรสามารถสกัด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

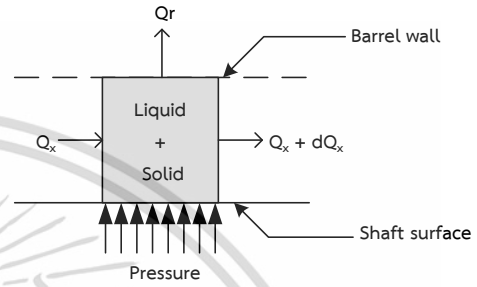
น้ำมันกลับได้มากขึ้น ในขณะที่ระยะช่องเปิด (Choke opening) ที่ลดลงส่งผลให้สามารถสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชน้ำมันได้มากขึ้น ต่อมา Singh และ Bargale [3] ได้นำงานวิจัยของ Vadke และคณะ [2] มาใช้ในการพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันแบบเกลียวสองชั้นตอนขนาดเล็ก (Small capacity double stage compression screw press) พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำมันที่สกัดกลับ (Recovery oil) เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องสกัดทั่วไป จากตัวอย่างเมล็ดเรป (Rapeseed) โดยน้ำมันที่สกัดกลับเพิ่มขึ้นจาก 73-80% เป็น 90.2% แต่ขนาดและกำลังของเครื่องจักรมีข้อจำกัดเนื่องจากความยาวเกลียวจะส่งผลต่อการติดขัด (Choking and jamming) และการออกแบบความแข็งแรง

ในปี พ.ศ. 2548 Tansakul และ Chiewchan [4] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของกะทิซึ่งสามารถนำมาใช้ในการออกแบบร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Vadke และคณะ [2] เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้นเมื่อมีการพิจารณาเรื่องอุณหภูมิเป็นตัวแปรในการออกแบบ

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่แบบจำลองคุณสมบัติของวัตถุดิบ

อธิบายผลจากการดำเนินการของกระบวนการ เช่น ความหนืดของของผสมภายในเกลียวอัด และแบบจำลองการทำงานของเครื่องจักรซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรกำหนดขนาดของเครื่องจักรโดยเฉพาะ

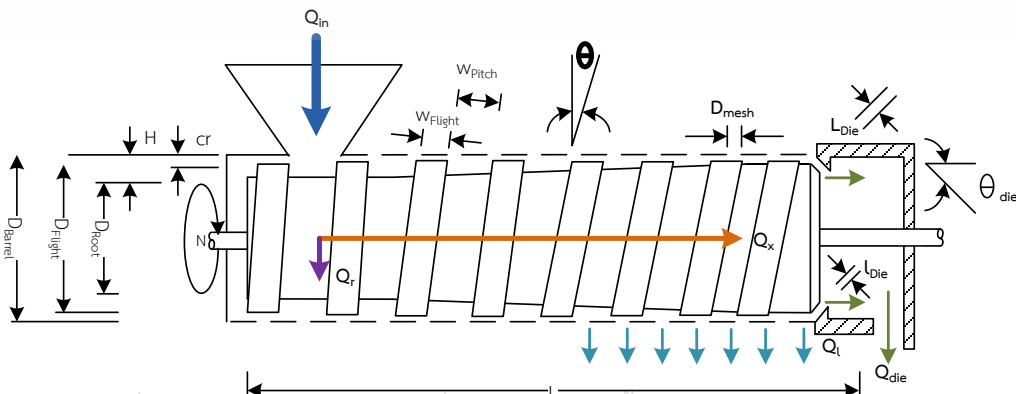


รูปที่ 3 การไหลของวัตถุดิบผ่านส่วนเล็ก ๆ

ของช่องว่างระหว่างเกลียวอัดและผนังบาเรล

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

เมื่อของไหลไหลในแนวแกน (Q_x) ดังแสดงในรูปที่ 3 จะถูกความดันในแนวรัศมีซึ่งเป็นผลของการบีบอัดของเกลียวอัดจากลดปริมาตรร่องเกลียวทำให้เซลล์เกิดความเสียหาย และเกิดการไหลในแนวรัศมี (Q_r) ของของเหลวผ่านของผสมและไหลออกจากรูตะแกรงของบาเรล การไหลในแนวรัศมีส่งผลให้ของผสมมีปริมาตรเท่ากับ $Q_x + dQ_x$ เมื่อออกจากเกลียวอัดตำแหน่งนั้นๆ โดย dQ_x มีค่าเป็นลบเนื่องจากของเหลวไหลออกจากของผสมในแนวรัศมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างอย่างง่ายของเครื่องคั่นกะทิต้นแบบในงานวิจัยแสดงในรูปที่ 4 เมื่อเนื้อมะพร้าวขูดฝอยและน้ำไหลเข้าสู่เครื่องจักรด้วยอัตรา Q_{in} จะถูกลำเลียงตามความยาวเกลียว (L) ซึ่งมีความกว้างครีบกเกลียว W_{Flight} เส้นผ่านศูนย์กลางของบารเรล D_{Barrel} เส้นผ่านศูนย์กลางครีบกเกลียว D_{Flight} ช่องว่างระหว่างบารเรลและครีบกเกลียว (Cr) ด้วยความเร็วรอบ N ของผสมจะไหลในสองทิศทางคือ แนวแกน (Q_x) และแนวรัศมี (Q_r) ของผสมจะถูกบีบอัดจากปริมาตรลดลงเนื่องจากความลึกร่องเกลียว (H) เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (D_{Root}) และความกว้างร่องเกลียว (W_{Pitch}) ลดลงทำให้เกิดความดันขึ้นซึ่งทำให้เกิดการคั่นทางกลได้กะทิไหลผ่านรูตะแกรงของบารเรล (D_{mesh}) ที่บริเวณส่วนปลายของเกลียวอัด (Q) และจากจากการคั่นจะถูกปล่อยออกที่รูเปิดที่ปลายเกลียวอัด (Q_{die}) โดยไหลผ่านช่องเปิดเป็นระยะทาง L_{Die} ความกว้าง l_{Die} และองศาช่องเปิด θ_{die} ในการออกแบบเกลียวอัด

การคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

ก) เนื้อมะพร้าวขูดฝอยและน้ำมีการผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ในเกลียวส่วนป้อน (Feed section) และเกิดการอัดในส่วนต่อไป ของผสมภายในเกลียวอัดจะมีพฤติกรรมเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian fluid)

ข) การบีบอัดในส่วนเกลียวป้อนน้อยมากเมื่อเทียบกับเกลียวส่วนอื่นๆจึงไม่เกิดความดันขึ้นในส่วนนี้ ความดันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ส่วนต่อจากเกลียวป้อน

ค) อุณหภูมิในการคั่นคั้งที่ในส่วนที่เกิดความดันขึ้น ในความเป็นจริงจะเกิดความร้อนจากการบีบอัดตามความยาวของเกลียวเนื่องจากแรงเฉือน แต่บารเรลสามารถนำความร้อนได้ดีส่งผลให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองการทำงานของเครื่องจักร

เมื่อของผสมไหลเข้าสู่ส่วนดังกล่าวจะเกิดแรงดันในแนว

3 สามารถทำสมดุลมวลได้ดังสมการ (1)

$$-dQ_x \rho_c = Q_r \rho_l \tag{1}$$

จากการงานวิจัยของ Simuang และคณะ [5] พบว่ากะทิมีพฤติกรรมเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียนแบบ Pseudoplastic ที่อุณหภูมิ 70 °C และปริมาณไขมัน 30% มีค่า Consistency constant (K_c) เท่ากับ $4.38 \times 10^{-2} \text{ Pa.s}^n$ และค่า flow behaviour index (n) เท่ากับ 0.739

แบบจำลองการทำงานของเครื่องจักรเป็นการจำลองอัตราการไหลและการเพิ่มขึ้นของความดันภายในเครื่องจักร สมการคำนวณอัตราการไหลของของไหลนอนนิวโตเนียนในแนวแกน X แสดงในสมการ (2) f_d คือ Shape factor for drag flow คำนวณได้จากสมการ (3) f_{ps} คือ Shape factor for pressure flow คำนวณได้จากสมการ (4) และ f_{pd} คือ Correction factor for average viscosity in pressure flow มีค่าเท่ากับสมการ (5)

$$Q_x = \frac{\pi D_{Barrel} W_{Pitch} (H - Cr) N \cos \theta \frac{f_d}{2} - \frac{H^3 W_{Pitch} f_{pd} f_{ps}}{12 n \mu_c} \frac{dP}{dX}}{\tag{2}}$$

$$f_{pd} = 1 - (0.487n^2 - 0.948n + 0.972) \times (H/W) \tag{3}$$

$$f_{ps} = 1 - (0.949n^2 - 1.87n + 1.59) \times (H/W) \tag{4}$$

$$f_{pd} = 0.98 \tag{5}$$

อัตราการไหลในแนวรัศมีสามารถเขียนได้ในรูปของสมการการกรอง (Filtration equation) เนื่องจากบารเรลเป็นลักษณะของรูตะแกรง แสดงใน (6)

$$Q_r = \pi D_{Barrel} dX u_r = \pi D_{Barrel} dX P / (\alpha_s \mu_l m_s) \tag{6}$$

เมื่อ u_r คือความเร็วของอัตราการไหลของกะทิที่ผิบบารเรล α_s คือ Specific filtration resistance และ m_s คือมวลของของแข็งในช่องเกลียวต่อหน่วยพื้นที่ของบารเรล เมื่อแทนค่าสมการ (6) ในสมการ (1) และจัดรูปจะได้สมการแสดงอัตราการไหลในแนวแกนต่อความยาวตามเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้น แสดงในสมการ (7)

$$dQ_x / dX = (\pi D_{Barrel} P / (\alpha_s \mu_l m_s)) \cdot (\rho_l / \rho_c) \tag{7}$$

สมการ (2) และ (7) ใช้ในการประมาณค่าผลผลิตที่ได้ (Throughput) และอัตราการคั้นจากการเพิ่มขึ้นของความดัน สำหรับความดันสุดท้ายที่บริเวณหน้ารูเปิดจะสามารถคำนวณได้ตามสมการ (8)

$$P = K_c K_d (Q_{die})^n \quad (8)$$

การคำนวณปริมาณน้ำมัน (F) ในของผสมที่ตำแหน่งต่างๆตามความยาวในแนวแกนคำนวณจากสมการ (9) เมื่อ F_0 คือปริมาณน้ำมันเริ่มต้น สำหรับเนื้อมะพร้าวหูดมีค่าเท่ากับ 0.3349 [5] Q_0 คืออัตราการไหลที่ตำแหน่งเริ่มต้น ρ_{c0} คือความหนาแน่นของของผสมที่ตำแหน่งเริ่มต้น Q_x คือ อัตราการไหลที่ตำแหน่ง x และ ρ_{cx} คือความหนาแน่นของของผสมที่ตำแหน่ง x

$$F = 1 - (1-F_0) \times (Q_0 \rho_{c0} / Q_x \rho_{cx}) \quad (9)$$

2.2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองการทำงานของเครื่องจักร

แบบจำลองการประมาณค่าคุณสมบัติได้แก่ ความหนาแน่นของของผสม (10) ความหนืดของของผสม (11) Specific filtration resistance (12) มวลของของแข็งในช่องเกลียวต่อหน่วยพื้นที่ของบารเรล (14) [2] และ ความหนาแน่นของกะทิ (16) [4] โดยใช้ค่าความดัน (P) และปริมาณไขมัน (F) จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองการทำงานของเครื่องจักร

สมการในการคำนวณความหนาแน่นของของผสมซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในของผสม เมื่อ γ คืออัตราการเฉือนของของผสมในช่องเกลียว มีค่าเท่ากับ $(\pi D_{Barrel} N \cos \theta) / H$ และ T คืออุณหภูมิของกะทิ

$$\rho_c = (1.451 - 0.703F) \times 10^3 \quad (10)$$

$$\mu_c = K_c \gamma^{n-1} = 2.49 \times 10^6 \times (\gamma)^{-0.8702} e^{-18.39F} e^{1476/(T+273)} \quad (11)$$

สมการคำนวณหา Specific filtration resistance ที่ความดันต่างๆของเกลียวอัดซึ่งส่งผลต่ออัตราการไหลในแนวแกนของของผสม

$$\alpha_s = 4.3 \times 10^9 + 0.8 \times 10^3 P \quad (12)$$

ในระหว่างการคั้นกะทิต้องเอาชนะแรงต้านสองชนิดคือแรงต้านจากผนังเซลล์และแรงต้านจากอนุภาคของแข็ง ค่าแรงต้านที่มีประสิทธิภาพ (Effective specific filtration resistance) แสดงในสมการ (13) เมื่อ f_{per} คือ permeability factor ซึ่งสัมพันธ์กับแรงต้านจากผนังเซลล์

$$\alpha_{eff} = \alpha_s + f_{per} \quad (13)$$

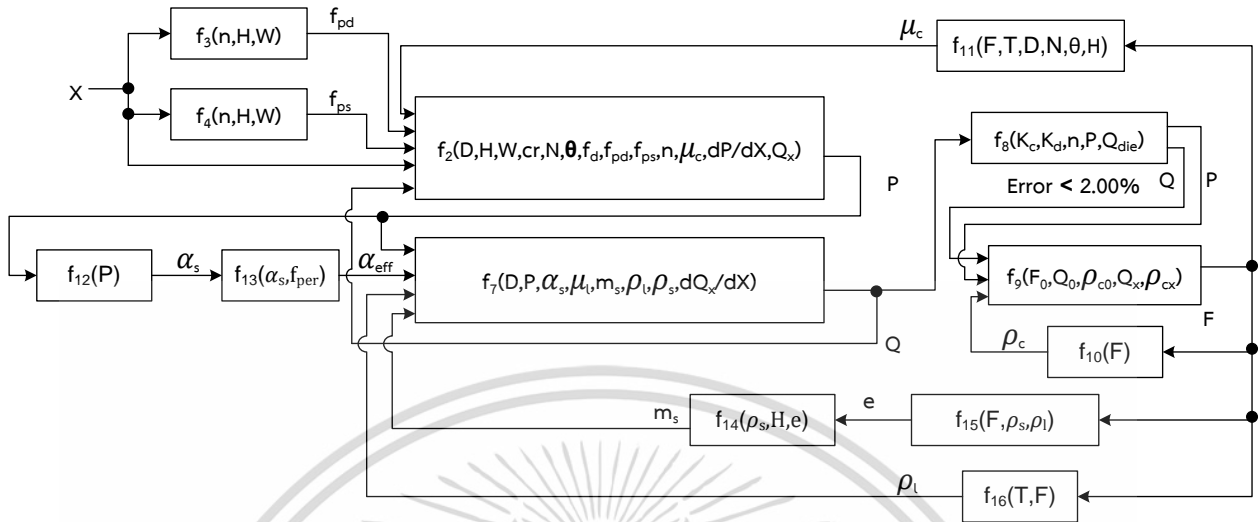
$$m_s = \rho_s H_c (1 - \epsilon) = \rho_s (H + 0.003) / (1 + e) \quad (14)$$

เมื่อ ϵ คือค่าความพรุน (Porosity) และ e คืออัตราส่วนเชิงปริมาตรของน้ำมันและของแข็ง คำนวณได้จากสมการ (15)

$$e = (F / (1 - F)) \times (\rho_s / \rho_l) \quad (15)$$

$$\rho_l = 1018 - 31.7F - 9.465T \quad (16)$$

การคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB r2017a (License Number: 40511985) ลำดับการคำนวณของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5 การคำนวณเริ่มจากการสมมติค่าอัตราการไหล (Q) และกำหนดให้ค่าความดัน (P) เริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ในการจำลอง ณ ตำแหน่ง X เริ่มต้น ณ ตำแหน่งเริ่มต้นคำนวณค่า f_{pd} จากสมการ f_3 และ f_{ps} จากสมการ f_4 นำค่าปริมาณไขมันเริ่มต้นแทนในสมการที่ f_{11} f_{14} f_{15} และ f_{16} เพื่อหาค่าคุณสมบัติที่ใช้ในการคำนวณที่ตำแหน่งเริ่มต้น แทนค่าในสมการที่ f_2 ร่วมกับค่าที่จากการสมมติ ได้ความดันซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณสมการที่ f_{12} และ f_{13} เพื่อหาค่าความดันในสมการที่ f_7 นำค่าความดันและอัตราการไหลแทนกลับในลำดับข้างต้นจนได้ค่าคงที่แล้วจึงเริ่มคำนวณในตำแหน่ง X ต่อไปโดยนำค่าจากตำแหน่งก่อนหน้ามาคำนวณในลำดับเดียวกันจนกระทั่งถึงตำแหน่งสุดท้ายจึงนำค่าอัตราการไหลจากการคำนวณจากสมการที่ f_2 และ f_7 เปรียบเทียบกับสมการที่ f_8 เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

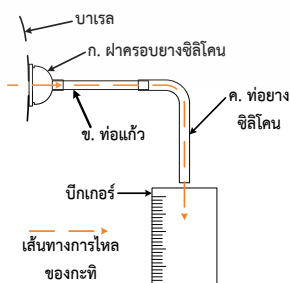


รูปที่ 5 แผนภาพกระแสการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

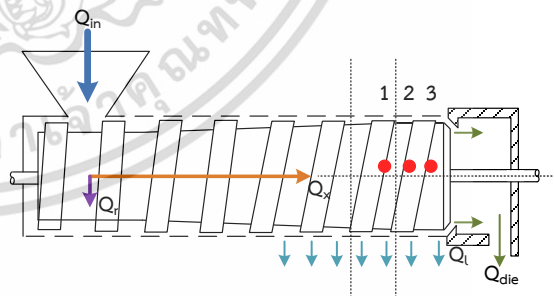
3. การทดสอบและวิเคราะห์การคำนวณ

มีการตรวจวัดขนาดของเครื่องจักรต้นแบบและอัตราการไหลของช่วงที่เกิดการคั่นในรูปที่ 1 โดยใช้อุปกรณ์วัดโดยเครื่องจักรมีผนังบารेलที่โค้งและมีการใช้ความร้อนในกระบวนการจึงเลือกใช้ฝาครอบซิลิโคนซึ่งมีความยืดหยุ่นและสามารถทนความร้อนในกระบวนการผลิตได้ ท่อแก้วต่อจากฝาครอบเพื่อวัดให้ฝาแนบกับผนังบารेल เห็นการไหลของกะทิ และทนความร้อน ส่วนสุดท้ายเป็นท่ออย่างซิลิโคนต่อให้กะทิไหลเข้าสู่บีกเกอร์ดังแสดงในรูปที่ 6 การวัดอัตราการไหลจะเริ่มจับเวลาเมื่อกะทิเริ่มไหลเข้าสู่บีกเกอร์ ตำแหน่งในการวัดอัตราการไหลแสดงในรูปที่ 7

1,549.4 m³/h และ 2,851 m³/h ตามลำดับ สำหรับค่าของตัวแปรจากการวัดที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 และการวัดความลึกร่องเกลียว ความกว้างร่องเกลียว และองศาเกลียววัดตามความยาวในแนวแกนของเครื่องจักรต้นแบบนำมาสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามความยาวในแนวแกนของเกลียววัด



รูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของกะทิ



รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งในการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบ

จากการทดลองและตรวจวัดพบว่าอัตราการไหล

เฉลี่ยของกะทิที่ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 762.8 m³/h

ไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการองศาเกลียววัด (17) สมการแสดงความกว้างร่องเกลียวโดยแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ความยาว 0-526 mm (18) และความยาว 526-783 mm (19) สมการแสดงความลึกร่องเกลียววัดเกลียววัด (20)

$$\theta = -7.88 \times 10^{-4} X^2 + 7.09 \times 10^{-4} X + 2.07 \times 10^{-4} X + 82.91 \quad (17)$$

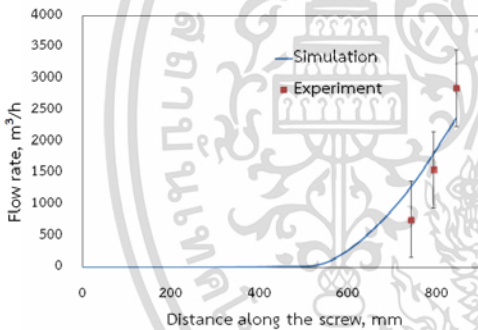
$$W_{Pitch} = -7.22 \times 10^{-5} X^2 + 2.68 \times 10^{-3} X + 105 \quad (18)$$

$$W_{Pitch} = 2.8 \times 10^{-2} X + 71.35 \quad (19)$$

$$H = 6.29 \times 10^{-7} X^3 - 7.81 \times 10^{-4} X^2 + 0.14 X + 71.91 \quad (20)$$

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรในการคำนวณ

ตัวแปร	ค่าจากการวัด
Cr (mm)	3.3
L (mm)	1310
D _{Barrel} (mm)	395
D _{Flight} (mm)	391.7
L _{Die} (mm)	30
l _{Die} (mm)	5
N (rps)	3.33



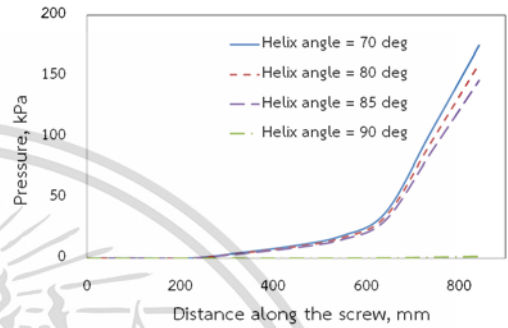
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบการคำนวณอัตราการไหลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบ

การเปรียบเทียบผลการคำนวณอัตราการไหลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการทดลองการวัดอัตราการไหลของเครื่องจักรต้นแบบในโรงงานแสดงในรูปที่ 8 พบว่ามีค่าไปในทิศทางเดียวกันโดยมีความคลาดเคลื่อน 16.99 ± 2.15 เนื่องจากการเติมน้ำในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป

4. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

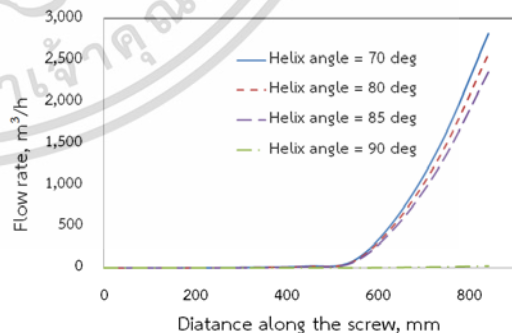
จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เปรียบเทียบกับผลจากการวัดในรูปที่ 8 แสดงแนวโน้มไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางเดียวกัน แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประมาณค่าความดัน อัตราการไหล และคุณสมบัติของกะทิตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน ผลจากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อิงค่าเกลียวอัดต่างๆ แสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเกลียวอัดและความดันที่อิงค่าเกลียวต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเกลียวอัดและความดันที่อิงค่าเกลียว 70 80 85 และ 90 องศาแสดงในรูปที่ 9 พบว่าความดันเพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียวอัด และเพิ่มขึ้นมากที่ช่วงปลายซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการคั่งขึ้น เมื่ออิงค่าเกลียวเพิ่มขึ้นความดันจะลดลงเนื่องจากพื้นที่การอัดที่สร้างควมดันได้ลดลง และที่อิงค่าเกลียวเท่ากับ 90 องศาพบว่าความดันที่เกลียวอัดสร้างได้มีค่าน้อยมาก



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเกลียวอัดและอัตราการไหลที่อิงค่าเกลียวต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเกลียวอัดและอัตราการไหลที่อิงค่าเกลียว 70 80 85 และ 90 องศา แสดงในรูปที่ 10 เมื่ออิงค่าเกลียวเพิ่มขึ้น อัตราการไหลลดลง

เนื่องจากเกลียวอัดสร้างความดันได้น้อยลง อัตราการไหลมากที่ช่วงปลายเกลียวเนื่องจากความดันมีค่าสูงในช่วงดังกล่าว

5. บทสรุป

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองการทำงานของเครื่องคั้นแบบเกลียวซึ่งเป็นการคำนวณความดันที่เพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน อัตราการไหลของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ และปริมาณไขมันในวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวเกลียวอัดในแนวแกน และการจำลองคุณสมบัติของวัตถุดิบ ได้แก่ ความหนาแน่นของของผสม ความหนืดของของผสม ความหนาแน่นกะทิ ความหนืดของกะทิ ค่า Specific filtration resistance และมวลของของแข็งต่อหน่วยพื้นที่การกรอง พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันซึ่งใช้ในการรวมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แก่ ความดันที่เพิ่มขึ้น อัตราการไหลในแนวแกน และปริมาณไขมันในวัตถุดิบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการแสดงแนวโน้มของการทำงานของเครื่องจักรที่องศาเกลียวแตกต่างกัน เมื่อองศาเกลียวเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความดันที่เกลียวอัดสามารถสร้างได้ลดน้อยลง เมื่อองศาเกลียวอัดมีค่าเท่ากับ 90 องศาจะสามารถสร้างความดันได้น้อยมากจนถือว่าไม่มีความดันเกิดขึ้น ความดันที่สร้างได้ส่งผลต่อแรงบีบอัดซึ่งเป็นผลให้เกิดอัตราการไหลขึ้นซึ่งอัตราการไหลมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความดัน

ผลจากแนวโน้มดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียว และหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องจักรสำหรับกระบวนการคั้นกะทิต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ประกอบการสนับสนุนทุนวิจัย

โครงการ บริษัทเอเชียติคอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการสนับสนุนเครื่องจักรต้นแบบ และวัตถุดิบในกระบวนการผลิต

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown International Corporation, LLC. (2009). Single Flight Screw Finisher Model 2503.
- [2] Vadke, V. S., Sosulski, F.W. and Shook, C.A. (1988). Mathematical Simulation of an Oilseed Press, *Journal of the American Oil Chemist's Society*, vol. 65(10), October 1988, pp. 1610-1616.
- [3] Singh, J. and Bargale, P.C. (2000). Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression, *Journal of Oilseeds Research*, vol. 7(2), February 2000, pp. 41-50.
- [4] Tansakul, A. and Chiewchan, N., (2006). Thermophysical properties of coconut milk, *Journal of Food Engineering*, vol. 73(3), April 2006, pp. 276-280.
- [5] Simuang, J., Chiewchan, N. and Tansakul, A., (2004). Effect of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk, *Journal of Food Engineering*, vol. 64(2), September 2004, pp. 193-197.
- [6] United States Department of Agriculture (USDA), (2016). *National Nutrient Database for Standard Reference Release 28: Basic Report 12104, Nuts, coconut meat, raw*
- [7] Stoecker, W.F. (1989). *Design of Thermal System*, 3rd edition, ISBN: 0-07-061620-5, McGraw-Hill, Inc., Singapore.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาว ปิยะชญา สุโกศล
 ที่อยู่ บ้านเลขที่ 24 ซอยวัฒนโยธิน แขวงถนนพญาไท เขตราชเทวี
 จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและความเชี่ยวชาญ

- งานวิจัยเรื่อง การศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการ
 คั่นกะทิด้วยเครื่องคั่นกะทิแบบเกลียว
- งานวิจัยเรื่อง อิทธิพลขององศาเกลียวต่อกำลังการผลิตของเครื่องคั่นกะทิแบบ
 เกลียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้