แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัด

Mathematical Model for Productivity Improvement of Coconut Milk Screw Press Machine

จิรจิตต์ นามทวีสุข
สุขุมาภรณ์ นรานนทวัฒน์
สุพัตรา เพชรรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัด

Mathematical Model for Productivity Improvement of Coconut Milk Screw Press Machine

จิรจิตต์ นามทวีสุข
สุขุมาภรณ์ นรานนทวัฒน์
สุพัตรา เพชรรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mathematical Model for Productivity Improvement of Coconut Milk Screw Pressed Machine

Jirajit Namthaveesuk
Sukhumaporn Naranonthawat
Supattra Petcharat

A THESIS SUMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE BACHELOR DEGREE OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัด
Mathematical Model for productivity improvement of Coconut Milk screw press Machine

นักศึกษาผู้ทำโครงงาน

นายจิรจิตต์	นามทวีสุข	รหัสนักศึกษา 56010185
นางสาวสุขุมาภรณ์	นรานนทวัฒน์	รหัสนักศึกษา 56011331
นางสาวสุพัตรา	เพชรรัตน์	รหัสนักศึกษา 56011352

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวอัด

นักศึกษา นายจิรจิตต์ นามทวีสุข รหัสนักศึกษา 56010185
นางสาวสุขุมาภรณ์ นรานนทวัฒน์ รหัสนักศึกษา 56011331
นางสาวสุพัตรา เพชรรัตน์ รหัสนักศึกษา 56011352

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณค่ากำลังการผลิต เมื่อใช้การออกแบบค่ามุมเกลียว (Helix angle) และความลึกร่องเกลียว (Flight depth) ที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวซึ่งใช้กันอยู่ทั่วไปในตลาดสด เป็นกรณีศึกษา ในการพัฒนาการออกแบบเครื่องจักร โดยมีการวัดมิติต่างๆของเครื่องจักร ได้แก่ ค่าความลึกร่องเกลียว 0.16 – 2.82 เซนติเมตร ค่ามุมเกลียว 7.1 – 23.6 องศา ระยะพิตช์ 3.00 – 8.41 เซนติเมตร ความยาวเกลียว 38 – 54 เซนติเมตร และใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ทำการทดลองโดยคั้นมะพร้าวขูด 5 กิโลกรัม โดยไม่ผสมน้ำมีกำลังการผลิต 208.75, 212.18, 240.00 และ 294.45 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ 1.56, 2.81, 2.91 และ 3.31 กิโลวัตต์ที่ความเร็วรอบ 119.3, 103, 164 และ 225 รอบต่อนาที ตามลำดับ จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายค่ามิติและผลลัพธ์ในการดำเนินกระบวนการคั้น จากการเปรียบเทียบ ผลการทดลองกับค่าจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่างกัน 13.69 เปอร์เซ็นต์ และกำลังการผลิตต่างกัน 0.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกแบบเกลียวของเครื่องจักร พบว่าค่าตัวแปรเกลียวที่เหมาะสมได้แก่ ความลึกร่องเกลียว 0.38 เซนติเมตร และ ค่ามุมเกลียว 2.5 องศา ที่ความเร็วรอบ 103 RPM โดยค่าความยาวเกลียวเท่าเดิม ทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 212.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็น 235.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

คำสำคัญ – แบบจำลองทางคณิตศาสตร์; กะทิ; เครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว; ค่ามุมเกลียว; กำลังการผลิต; ความลึกร่องเกลียว;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Mathematical Model for productivity improvement of Coconut Milk screw press Machine
Students	Mr. Jirajit Namthaveesuk Student ID 56010185 Ms. Sukhumaporn Naranonthawat Student ID 56011331 Ms. Supattra Petcharat Student ID 56011352
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Kiattisak Roonprasang
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food engineering
Year	2016

Abstract

This research studies Mathematical model for productivity improvement of coconut milk screw press machine which focus on the design of helix angle and flight depth. The coconut milk screw press machine from the fresh food market was used for case study in this research. The practical machines were measured and found that geometry of screw include flight depth 1.6 – 28.2 mm, helix angle 7.1 – 23.6 degree, flight width 30 – 84.1 mm, length of shaft 380 – 540 mm and motor 3 hp. From experimentation, found that the productivity of machine which pressing coconut grated 5 kilograms without add water gave the productivity 208.75, 212.18, 240.00 and 294.45 kg/hr, average power required 1.56, 2.81, 2.91 and 3.31 kilowatt and rotation speed 119.3, 103, 164 and 225 rpm respectively. In the same time Mathematical model for prediction of screw geometry and productivity was built. The verification results between experimentation and Mathematical model shown that difference of average power required is 13.69 % and the difference of productivity is 0.35 %. Mathematical model could be designed the screw parameters such as flight depth 3.8 mm and helix angle 2.5 degree at rotation speed 103 rpm with length 540 mm. The new design with Mathematical model can be increased the productivity from 212.18 to 235.33 kg/hr.

Keywords — Coconut milk; Coconut milk screw press machine; Productivity;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ รุ่นพระแสง ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านผู้ให้ความรู้และความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มเข้าการศึกษา เพื่อนำความรู้ดังกล่าวมาประกอบการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคุณอำนาจ คูตะคุ และ คุณสุธัญญา ถาดนาค ที่ให้คำแนะนำปรึกษาการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษาการใช้เครื่องมืออุปกรณ์การทดลองต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคุณยุทธนา หมุดแล๊ะ เจ้าของร้านนิดา พริกแกงปักษ์ใต้ คุณสุบัน อินสา และคุณฉวีวรรณ อายอุด เจ้าของร้านฉวีวรรณ กะทิสด คุณต่อเผด สุพาษ เจ้าของร้านแสงอรุณ มะพร้าวคั้น และ คุณสิรารมย์ ศรีคิรินทร์ เจ้าของร้านยาสีฟัน ภูมันตรา ผู้สนับสนุนด้านวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง และข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ให้โอกาสในการศึกษาและสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดจนสำเร็จการศึกษา

นักศึกษาผู้จัดทำโครงงาน

นายจิรจิตต์ นามทวีสุข

นางสาวสุขุมาภรณ์ นรานนทวัฒน์

นางสาวสุพัตรา เพชรรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกนอก (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	IV
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
รายการสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้อมูลเบื้องต้น	3
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว	3
2.1.2 ข้อมูลทั่วไปของกะทิ	5
2.1.3 การแปรรูปกะทิ	8
2.2 โครงสร้างของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว	9
2.3 หลักการทำงานของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว	10
2.4 หลักการพื้นฐานโครงสร้างเครื่องจักร	12
2.4.1 เหล็กกล้าไร้สนิม	12
2.4.2 มอเตอร์	12
2.4.3 เพลา	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
สมการที่ใช้ในการคำนวณ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
3.1 การวัดขนาดส่วนประกอบที่สำคัญของเกลียวอัดและตัวแปรอื่นๆ	19
3.2 การหากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้ และค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)	21
3.3 การหากำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป	23
3.3.1 การทดลองเพื่อหากำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว	23
3.3.2 การคำนวณเพื่อหากำลังการผลิต	25
3.4 การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	27
4.1 ผลของการวัดขนาดส่วนประกอบที่สำคัญของเกลียวอัด และตัวแปรอื่น ๆ	27
4.1.1 ผลของการวัดขนาดตัวแปรเกลียวในแต่ละช่วงเกลียว	27
4.1.2 ผลการวัดขนาดตัวแปรอื่นๆ	28
4.1.3 ผลของการวัดความหนาแน่นของกะทิและความหนาแน่นรวมของมะพร้าวขูด	28
4.2 ผลของการหาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรและค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ	28
4.2.1 ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรขณะคั้นกะทิ	28
4.2.2 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)	31
4.3 ผลของการทดลองหาค่ากำลังการผลิต	31
4.4 ผลของการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	32
4.4.1 ผลของการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	32
4.4.1.1 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้	32
4.4.1.2 การเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิต	32
4.4.2 ผลของการปรับปรุง และออกแบบลักษณะเกลียวอัดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	33
4.4.2.1 ผลการคำนวณหาความดันตามความยาวเกลียว	33
4.4.2.2 ผลการคำนวณเพื่อดูแนวโน้มของค่าความลึกร่องเกลียว	34
4.4.2.3 ผลการคำนวณเพื่อดูแนวโน้มของค่ามุมเกลียว	35
4.4.2.4 ผลการปรับแต่งตัวแปรเพื่อหาค่ากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ	6
ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว	7
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดต่าง ๆ	12
ตารางที่ 2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อดัชนีพฤติกรรมการไหลของกะทิ	17
ตารางที่ 4.1 ผลของการวัดขนาดตัวแปรเกลียวในแต่ละช่วงเกลียวของเครื่องจักร 4 เครื่อง	27
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดขนาดตัวแปรเกลียวอื่น ๆ ของเครื่องจักร 4 เครื่อง	28
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดค่ากำลังการผลิตของเครื่องจักร B	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป	1
รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมะพร้าว	3
รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป	9
รูปที่ 2.3 โครงสร้างหลักของเครื่องคั้นแบบเกลียว	9
รูปที่ 2.4 การไหลของวัสดุผ่านส่วนเล็ก ๆ ของช่องว่างระหว่างเกลียวและบาร์เรล	10
รูปที่ 2.5 ลักษณะการบีบอัดวัตถุดิบเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียว	11
รูปที่ 2.6 ลักษณะเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัตถุดิบตามความยาวของเกลียวอัด	11
รูปที่ 2.7 แผนภาพส่วนประกอบของเกลียว	13
รูปที่ 2.8 การทำสมดุลเครื่องคั้นแบบเกลียว	14
รูปที่ 2.9 ขนาดของเกลียวที่ใช้ในการคำนวณ	14
รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความคงตัวของกะทิ (K_c) และอุณหภูมิ (°C)	16
รูปที่ 3.1 การหาค่ามุมเกลียวโดยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Visio	20
รูปที่ 3.2 การเตรียมอุปกรณ์วัดความหนาแน่นรวม	20
รูปที่ 3.3 การชั่งน้ำหนักมะพร้าวขูดเพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวม	21
รูปที่ 3.4 มัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์	21
รูปที่ 3.5 การติดตั้งมัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า	22
รูปที่ 3.6 ตะแกรงชั้นใน (Mesh)	23
รูปที่ 3.7 ตะแกรงชั้นนอก (Barrel)	23
รูปที่ 3.8 แผนภูมิการไหล (Flow process chart) ของการคั้นกะทิ	24
รูปที่ 3.9 การจับเวลาสำหรับการคำนวณหาอัตราการป้อน	24
รูปที่ 3.10 การจับเวลาสำหรับการคำนวณหากำลังการผลิต	24
รูปที่ 3.11 การจับเวลาสำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลของกากมะพร้าว	25
รูปที่ 3.12 กระแสคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	27
รูปที่ 4.1 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร A	29
รูปที่ 4.2 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร B	29
รูปที่ 4.3 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร C	30
รูปที่ 4.4 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร D	30
รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดง SEC ของแต่ละเครื่องจักร	31
รูปที่ 4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากการทดลองและจากการคำนวณ	32
รูปที่ 4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิต และอัตราการไหลของกากมะพร้าวจากการทดลองและการคำนวณ	33
รูปที่ 4.8 กราฟความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวเกลียวเพิ่มขึ้นใน Ram section	33
รูปที่ 4.9 ผลของความลึกร่องเกลียวที่มีต่อความดัน	34
รูปที่ 4.10 ผลของความลึกร่องเกลียวที่มีต่อกำลังการผลิต	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 4.11 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อความดัน 35
รูปที่ 4.12 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีต่อความดัน 35
รูปที่ 4.13 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีต่อกำลังการผลิต 36
รูปที่ 4.14 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีผลต่อความดันที่ความลึกร่องเกลียวต่าง ๆ 36
รูปที่ 4.15 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีผลต่อกำลังการผลิตที่ความลึกร่องเกลียวต่าง ๆ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

D	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรล (mm)
W	หมายถึง ระยะพิตช์ (mm)
H	หมายถึง ความลึกร่องเกลียวจากสันเกลียว (mm)
H	หมายถึง ความลึกร่องเกลียวจากบาร์เรล (mm)
δ	หมายถึง ช่องว่างระหว่างสันเกลียวและบาร์เรล (mm)
N	หมายถึง ความเร็วรอบของเพลา (RPM)
θ	หมายถึง Helix angle (°)
α	หมายถึง Tapering angle (°)
θ_n	หมายถึง Thread angle (°)
D_s	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (mm)
D_m	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเฉลี่ย (mm)
d_s	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (mm)
n	หมายถึง ดัชนีพฤติกรรมการไหลของกะทิ
Q_x	หมายถึง อัตราการไหลตามแนวเกลียว (kg/hr)
Q_r	หมายถึง กำลังการผลิตของเกลียว (kg/hr)
P	หมายถึง ความดันตามความยาวเกลียว (Pa)
ρ_l	หมายถึง ความหนาแน่นของกะทิ (kg/m^3)
ρ_c	หมายถึง ความหนาแน่นของสารผสม (kg/m^3)
ρ_s	หมายถึง ความหนาแน่นของมะพร้าวขูด (kg/m^3)
μ_l	หมายถึง ความหนืดของกะทิ (Pa.s)
μ_s	หมายถึง ความหนืดของมะพร้าวขูด (Pa.s)
μ_c	หมายถึง ความหนืดของสารผสม (Pa.s)
μ	หมายถึง ค่าสัมประสิทธิของแรงเสียดทาน
α_s	หมายถึง ค่าความต้านทานการกรองจำเพาะ (Pa)
m_s	หมายถึง มวลของมะพร้าวต่อพื้นที่การกรอง
P_r	หมายถึง กำลังที่มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร (kW)
l_S	หมายถึง ความยาวเพลา (mm)
l	หมายถึง ความยาวเกลียวช่วง Ram section (mm)
g	หมายถึง ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)
F	หมายถึง material factor
T	หมายถึง แรงบิด (N.m)
W_e	หมายถึง ภาระเกลียว (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

A_p หมายถึง พื้นที่ที่เกิดการบีบอัด (mm^2)

f_d หมายถึง Shape factor of drag flow

f_{pd} หมายถึง Correction factor for average viscosity in pressure flow

f_{ps} หมายถึง Shape factor for pressure flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกกะทิสำเร็จรูปอันดับหนึ่งของโลก ในปี พ.ศ. 2557 มีการส่งออกกะทิสำเร็จรูป 179.30 พันตัน คิดเป็นมูลค่า 9,721 ล้านบาท (นางสาวณัฐธิดา ห้าวหาญ, 2558) จากสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของตลาดการส่งออกกะทิสำเร็จรูป ส่งผลให้เกิดการขยายกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่ปัญหาการขาดเครื่องจักรที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตส่งผลให้กำลังการผลิตลดต่ำลง และสูญเสียโอกาสทางธุรกิจ โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นถึงการศึกษารูปแบบการออกแบบเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยวในท้องตลาดทั่วไปเพื่อวิเคราะห์กำลังการผลิตแล้วหาตัวแปรการออกแบบที่มีผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิต พร้อมเสนอวิธีการที่จะให้กำลังการผลิตสูงขึ้น

เครื่องคั้นแบบเกลียว (Pressed screw machine) ทำงานบนหลักการของการสกัดทางกล (Mechanical pressing) และเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการแยกของเหลวจากของแข็ง (Solid–liquid separation) เนื่องจากความแข็งแรงทนทาน ความง่ายในการสร้าง การทำงาน การซ่อมบำรุง และปรับใช้กับวัตถุดิบหลายชนิด นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันและน้ำผลไม้

รูปที่ 1.1 เครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป

ในการศึกษางานวิจัยพบว่าได้มีความพยายามอย่างมากในการพัฒนาเครื่องคั้นแบบเกลียวสำหรับกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช (Expellor) เช่น เมล็ดอัลมอนด์ (Almond seed) สบู่ดำ (Jatropha curcas) และรำข้าว (Rice bran) อย่างไรก็ตามงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องคั้นแบบเกลียวเดี่ยวสำหรับการสกัดกะทิจากเนื้อมะพร้าวขูดมีน้อย เครื่องจักรที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากการสังเกตและประสบการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผู้ผลิตเครื่องจักร หรือการประยุกต์ใช้เครื่องจักรซึ่งออกแบบมาสำหรับการคั้นวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น สับปะรด ส้ม ส่งผลให้กำลังการผลิตของเครื่องจักรลงลดและไม่แน่นอน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาแนวทางในการออกแบบที่มีผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิต
1.2.2 ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบเกลียวอัดให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ปรับปรุงเกลียวอัดของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว
1.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการจำลองเกลียวอัดในช่วงการอัด (Ram Section)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกแบบและพัฒนาเกลียวอัดของเครื่องคั้นกะทิให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้น
1.4.2 สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิได้ ทั้งในด้านปริมาณ และคุณภาพ
1.4.3 สามารถลดต้นทุนต่อหน่วยการผลิตกะทิเมื่อเทียบกับเกลียวอัดแบบเดิมก่อนการปรับปรุง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ทำการตรวจสอบเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวที่ใช้ตามท้องตลาดในปัจจุบันและหาค่ากำลังการผลิต
1.5.2 นำข้อมูล รายละเอียดของเกลียวอัด มาวิเคราะห์ผลผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อตรวจสอบแนวทางการออกแบบเกลียว ให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้น
1.5.3 ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกแบบลักษณะเกลียวใหม่และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยวนั้น ข้อมูลในการศึกษาวิจัยเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดกรอบ ในงานวิจัยนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาเกี่ยวกับกะทิ กระบวนการคั้นกะทิโดยเฉพาะเครื่อง คั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยวซึ่งได้รับความนิยมเนื่องจากความ แข็งแรงทนทาน ง่ายต่อการติดตั้ง ใช้งานสะดวกต่อการซ่อมบำรุง และทำความสะอาด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว (Coconut)

รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมะพร้าว

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Cocos nucifera Linn* อยู่ในวงศ์ Palmae ชื่ออื่นๆ ดุง (จันทบุรี) เฮ็ดดุง (เพชรบูรณ์) โพล (กาญจนบุรี) คอส่า (แม่ฮ่องสอน) และพร้าว (นครศรีธรรมราช)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

รากเป็นระบบรากฝอย ซึ่งเกิดจากส่วนโคนของต้นอ่อน เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีขนาดเท่ากัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แผ่ขยายไปตามแนวดิ่งที่ความลึกประมาณ 50 - 90 เซนติเมตร และแผ่ขยายออกไปรอบ ๆ ต้นประมาณ 6 เมตร ถ้าหากรากเดิมเหล่านี้ได้รับอันตรายจะแตกรากแขนงได้และมีขนาดเท่ากับรากเดิม นอกจากนี้ยังมีรากขนาดเล็ก แตกแขนงออกช่วยในการดูดน้ำและอาหาร และรากอากาศช่วยลำเลียงอากาศบนผิวดินลงสู่รากใต้ผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำต้นของมะพร้าวมีความสูงแตกต่างกันตามพันธุ์ โดยปกติพันธุ์ต้นเตี้ยมีความสูงประมาณ 8 - 10 เมตร ส่วนพันธุ์ต้นสูงมีความสูงประมาณ 15 - 20 เมตร ลำต้นกลมตั้งตรง ไม่แตกกิ่งก้านสาขา เปลือกต้นแข็ง สีเทา ขรุขระ และภายในลำต้นมีตายอดเพียงตาเดียวที่เจริญเติบโตเพิ่มความสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ พร้อมทั้งอวัยวะส่วนอื่น เช่น ใบ ดอก และ ผล ถ้าหากตายอดตาย มะพร้าวต้นนั้นก็จะตาย ที่ลำต้นมะพร้าวจะมีรอยแผลใบที่เกิดจากใบแก่ร่วงหล่นไป รอยแผลใบนี้อาจใช้คำนวณอายุของต้นมะพร้าวได้ เพราะโดยทั่วไปแล้วมะพร้าวจะเกิดใบจำนวน 12 - 14 ใบต่อปี เมื่อเอารอยแผลใบบวกด้วยจำนวนใบที่มีอยู่ทั้งหมดในขณะนั้นหารด้วย 12 หรือ 14 ผลลัพธ์ที่ได้คืออายุของมะพร้าวต้นนั้น

ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก ซึ่งประกอบด้วยก้านใบและใบย่อยจำนวนมากประมากประมาณ 200 - 300 ใบ เกิดเป็นคู่สองข้างของก้านใบ ออกเรียงเวียนสลับกันหนาแน่นที่บริเวณยอด ความยาวของก้านใบ 4.5 - 6.0 เมตร ส่วนใบย่อยกว้าง 3.5 เซนติเมตร ยาว 75 - 100 เซนติเมตร ใบใหม่หรือใบอ่อน มีลักษณะยาวเรียวคล้ายดาบ แตกออกตรงใจกลางของส่วนยอด ใบจะมีลักษณะคลี่ขยายออกเมื่ออายุมากขึ้น และค่อย ๆ เอนออกจากใจกลางต้นโน้มต่ำห้อยลงเรื่อย ๆ ตามอายุของใบจนกระทั่งร่วงหลุดออกจากต้นทิ้งรองแผลใบไว้ที่ลำต้น ใบใหม่จะเกิดบริเวณลำต้นและเรียงตัวนวนไปทางด้านใดด้านหนึ่ง

ช่อดอกและดอก มะพร้าวถือเป็นพืชสองเพศ คือมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย เพียงแต่แยกกันอยู่คนละดอก แต่บางครั้งก็พบว่าในหนึ่งช่อดอกมีดอกตัวผู้ หรือดอกตัวเมียเพียงอย่างเดียว ส่วนช่อดอกจะมีกาบมะพร้าวที่เรียกว่าจั่น ซึ่งจะขยายตัวให้มีขนาดใหญ่ และจะบานแตกออกพร้อมที่จะแพร่พันธุ์ต่อไป ซึ่งในช่อดอกจะมีดอกตัวเมียอยู่บริเวณโคนก้าน มีลักษณะกลมและขนาดใหญ่ประมาณ 1.3 เซนติเมตร เป็นสีขาว เมื่อดอกบานปลายของดอกจะแตกเป็น 3 แฉก และเป็นทางเกสรงอก เมื่อการผสมสิ้นสุดลงจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล กลีบดอกจะขยายตัวใหญ่ขึ้นและติดอยู่ที่ฐานของผล ส่วนดอกตัวผู้จะอยู่บริเวณปลายดอก ซึ่งจะไม่มีก้านดอก ดอกจะบานทั้งวัน เมื่อบานแล้วจะไม่ปิด แต่จะหลุดร่วงไป

ผล มักเกิดเป็นช่อ เรียกว่า ทะลาย ผลมีรูปทรงกลมหรือรี ผิวเรียบ ผลอ่อนสีเขียว ผลแก่สีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม ชั้นในแข็งเป็นกะลา ชั้นต่อไปเป็นเนื้อสีขาว ข้างในมีน้ำใส เมื่อผลอ่อนเนื้อมะพร้าวจะบางและอ่อนนิ่ม เมื่อแก่จะแข็งและมีน้ำมันสะสมอยู่มาก เนื้อหนาประมาณ 4 - 20 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับพันธุ์และการบำรุงรักษา น้ำมะพร้าวมีกลูโคสประมาณ 5 - 6 เปอร์เซ็นต์ และมีซูโครสเล็กน้อย ในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ เมื่อผลแก่ปริมาณกลูโคสจะลดลงแต่ซูโครสจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นน้ำมะพร้าวยังค่อย ๆ แห้งและหมดไปด้วย (ศศิธร, 2545)

ประโยชน์

เนื้อมะพร้าว สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด หรือนำมาคั้นน้ำได้เป็นน้ำกะทิมาประกอบอาหารคาวหวานได้หลากหลายชนิด ซึ่งสามารถจำหน่ายได้ทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ ทั้งแบบสดและแบบแปรรูปผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ สเตอริไรส์ รวมทั้งกระบวนการทำแห้งจนได้เป็นกะทิผง นอกจากนั้นยังทำเป็นเนื้อมะพร้าวหั่นฝอยใส่น้ำเคี่ยว หรือตากแห้งแล้วเคี่ยวจะได้น้ำมันมะพร้าว ซึ่งถือเป็นการแปรรูปที่สร้างเศรษฐกิจให้ประเทศได้อย่างมาก

น้ำมะพร้าว เป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางอาหารสูง รสหวาน หอม ชุ่มคอ ในน้ำมะพร้าวยังมีน้ำตาล โปรตีน โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แต่สำหรับผู้ที่เป็นโรคหัวใจ หรือโรคไตไม่ควรดื่ม น้ำมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแปรรูปเป็นเครื่องดื่ม นำไปผสมในส่วนผสมของอาหาร หรือเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้แล้วน้ำมะพร้าวยังสามารถนำไปหมักเป็นน้ำส้มสายชู หรือนำไปผสมเชื้อวุ้นเป็นวุ้นมะพร้าวได้อีกด้วย

น้ำตาลจากจั่น หรือดอกมะพร้าว สามารถนำไปดื่มคล้ายน้ำตาลสดที่มาจากต้นตาล และนำไปเคี่ยวแปรรูปเป็นน้ำตาลมะพร้าว โดยบรรจุใส่ปี๊บหรืออัดเป็นก้อนกลม

กะลามะพร้าว สามารถนำไปขัด แปรรูปเป็นของใช้ในครัวเรือน หรือเป็นเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้กะลาและกากมะพร้าวยังสามารถนำไปเผาเป็นถ่านได้อีกด้วย

ใยในกากมะพร้าว สามารถนำไปอัดภายในที่นอน หมอน ซึ่งสามารถบรรเทาอาการปวดหลัง ปวดไหล่ ปวดต้นคอได้เป็นอย่างดี

กากของเนื้อมะพร้าว สามารถนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ และปุ๋ยได้เป็นอย่างดี

สรรพคุณทางยา

กะลา นำมาเผาให้เป็นถ่านดำ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด ผสมน้ำดื่มวันละ 3 - 4 ครั้ง ครั้งละ 0.5 - 1 ช้อนชา แก้ปวดกระดูกและเส้นเอ็น

ดอก รสฝาดหวานหอม เป็นยาแก้เจ็บคอ แก้ท้องเสีย แก้ไข้ แก้ร้อนใน กระหายน้ำ บำรุงโลหิต และแก้ปากเปื่อย

ราก รสฝาดหวานหอม เป็นยาแก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ หรืออมบ้านปากแก้เจ็บคอ

น้ำมันมะพร้าว รสหวานเค็ม รับประทานเป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ ใช้ทาบำรุงผม หรือทาเป็นยาแก้กลากเกลื้อน ทาผิวหนังแห้งแตก แก้โรคผิวหนังต่าง ๆ ทาแผลน้ำร้อนลวก โดยการเอาน้ำมันมะพร้าวมา 1 ส่วน และน้ำปูนใส 1 ส่วน เติมทีละส่วนพร้อมกับคนไปด้วยจนเข้ากันดี ใช้ทาบริเวณแผลบ่อย ๆ

น้ำมะพร้าว รับประทานเป็นยาระบาย แก้ท้องเสีย ขับปัสสาวะ แก้พิษ แก้กระหายน้ำ แก้นิ่ว แก้อาเจียนเป็นเลือดและบวมน้ำ (นฤมล, 2548)

2.1.2 ข้อมูลทั่วไปของกะทิ

น้ำกะทิ (coconut milk) เป็นของเหลวสีขาวขุ่นที่ได้จากการคั้น หรือบีบเนื้อมะพร้าว (solid coconut endosperm) โดยอาจเติมน้ำหรือไม่เติมน้ำหรือน้ำมะพร้าว (liquid coconut endosperm) เป็นอาหารประเภทที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.2 มีลักษณะเป็นอิมัลชั่นชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งสามารถคงตัวได้เนื่องจากโปรตีนบางชนิดที่ถูกดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ นอกจากนั้นยังมีเมมเบรนที่เกิดจากฟอสฟอลิปิด (phospholipid) คือเซพาลิน (cephalin) และเลซิทิน (lecithin) ล้อมรอบเม็ดไขมัน (oil globule) ไว้อีกด้วย (ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546)

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกะทิที่มีรายงานไว้จะอยู่ในช่วงกว้าง เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพภูมิศาสตร์ในการเพาะปลูก สภาวะการดูแลรักษา ความอ่อนแก่ของผลมะพร้าว วิธีการที่ใช้ในการสกัดน้ำกะทิ และระดับความเจือจางเนื่องจากการเติมน้ำหรือน้ำมะพร้าว องค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ

องค์ประกอบ (%)	Seow and Gwee (1997 b)	Seow and Gwee (1997 e)	Seow and Gwee (1997 g)	Seow and Gwee (1997 f)
ความชื้น	53.9	50.0	54.1	50.0
ไขมัน	34.7	40.0	32.2	39.8
โปรตีน (N x 6.25)	3.6*	3.0	4.4	2.8
เถ้า	1.2	1.5	1.0	1.2
คาร์โบไฮเดรต	6.6	5.5	8.3	6.2

* N x 5.30 **ที่มา** ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546

คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ที่พบในน้ำกะทิ คือน้ำตาล โดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส (Sucrose) และมีสตาร์ช (Starch) อยู่บ้าง ส่วนเกลือแร่ที่พบคือ ฟอสฟอรัส (Phosphorus) แคลเซียม (Calcium) และโพแทสเซียม (Potassium) น้ำกะทิที่สกัดได้ใหม่ ๆ จะมีวิตามินบีและกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) อยู่ด้วยเล็กน้อย

น้ำกะทิที่ได้จากการบีบโดยไม่เติมน้ำมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) โปรตีนละลายอยู่ในส่วนน้ำ (Aqueous phase) เพียง 30 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ที่เหลือเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) โดยดูดซับอยู่บริเวณพื้นผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ เป็นการช่วยลดแรงตึงผิว (Interfacial tension) ทำให้อนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวอยู่เป็นเฟสกระจาย (Dispersed phase) ได้ นอกจากนั้นในน้ำกะทิยังมีสารพวกฟอสฟอลิปิดซึ่งทำให้อิมัลชั่นมีความคงตัวเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามอิมัลชั่นของน้ำกะทิจะคงตัวอยู่ได้ไม่นาน เนื่องจากน้ำกะทิมีสัดส่วนของโปรตีนต่อไขมันประมาณ 1 ต่อ 10 แสดงให้เห็นว่าโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบอยู่นั้นมีปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับไขมันจึงไม่เพียงพอที่จะทำให้เม็ดไขมันกระจายตัวอย่างอิสระในน้ำได้ เม็ดไขมันซึ่งมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าน้ำจะลอยตัวสูงขึ้น และเกิดการรวมตัวกัน (Coalescence) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างเม็ดไขมัน น้ำกะทิจึงเกิดการแยกชั้นขึ้น โดยชั้นบนเป็นหัวกะทิ (coconut cream) และ ชั้นล่างเป็นหางกะทิ (Coconut skim milk)

น้ำกะทิมีส่วนประกอบหลักคือน้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วย triacylglycerol 84 - 93.1%, 1,2 - diacylglycerol 1.5 - 5.1%, 1,3 - diacylglecerol 1.2 - 2.1%, monoglyceride 1 - 7%, free fatty acid 1 - 1.26%, phospholipid 0.03 - 0.4%, glycolipid 0.2 - 0.35% และ sterol 0.1% ซึ่งทั้ง glycolipid และ phospholipid จะพบมากในกรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันกะทิแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณของกรดไขมัน, %
กรดคาร์โปรอิก (caproic acid, C6)	0.4 - 0.6
กรดคาร์ปริลิก (caprylic acid, C8)	6.9 - 9.4
กรดคาร์ปริก (capric acid, C10)	6.2 - 7.8
กรดลอริก (lauric acid, C12)	45.9 - 50.3
กรดไมริสติก (myristic acid, C14)	16.8 - 19.2
กรดปาล์มมิติก (palmitic acid, C16)	7.7 - 9.7
กรดสเตียริก (stearic acid, C18)	2.3 - 3.2
กรดโอเลอิก (oleic acid, C18:1)	5.4 - 7.4
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid, C18:2)	1.3 - 2.1
กรดอะราคิดิก (arachidic acid, C20)	Trace - 0.2
กรดกาโดเลอิก (gadoleic acid, C20:1)	Trace - 0.2

ที่มา ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546

กะทิประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 90 เปอร์เซ็น และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือกรดโอเลอิก (oleic acid) และ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ประมาณ 10 เปอร์เซ็น โดยกรดลอริก (lauric acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุด การบริโภคกรดไขมันอิ่มตัวเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นสาเหตุให้เกิดการเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ซึ่งปริมาณคอเลสเตอรอลที่สูงในเลือดมีผลทำให้เกิดภาวะไขมันในเลือดสูงกว่าปกติ และอาจทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว (Arterosclerosis) ซึ่งเป็นภาวะที่หลอดเลือดแดงเสื่อม ขาดความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่ม เนื่องจากเกิดการสะสมของไขมันในผนังหลอดเลือดแดงขนาดกลางและขนาดใหญ่ เป็นสาเหตุสำคัญของการเป็นโรคหัวใจขาดเลือด (Ischaemic Heart Disease) แต่ถึงอย่างไรก็ตามการที่กะทิมีไขมันอิ่มตัวอยู่ที่ตัว จึงไม่เกิดการเติมออกซิเจน และไฮโครเจน ซึ่งทำให้ไม่เกิดอนุมูลอิสระ และไขมันทรานส์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และกะทิประกอบด้วยกรดไขมันที่มีขนาดปานกลาง (medium chain fatty acids - MCFAs) ซึ่งถูกย่อยได้ง่าย และเคลื่อนย้ายได้สะดวก เมื่อบริโภคเข้าไป จะผ่านลำคอไปยังกระเพาะเข้าสู่ลำไส้ แล้วไปถูกเผาผลาญให้เป็นพลังงานในตับโดยไม่ไปสะสมเป็นไขมันเหมือนกับน้ำมันไม่อิ่มตัวที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้น ผู้บริโภคกะทิจึงแข็งแรง เพราะได้พลังงานทันทีที่บริโภคเข้าไป อีกทั้งยังไปกระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์ทำงานได้ดีขึ้น ก่อให้เกิดความร้อนจากผลของ thermogenesis ซึ่งช่วยในการเผาผลาญอาหารที่บริโภคเข้าไปพร้อมกัน ให้เปลี่ยนเป็นพลังงาน แทนที่จะไปสะสมเป็นไขมันในร่างกาย ยิ่งไปกว่านั้น ความร้อนที่เกิดขึ้น ยังไปช่วยสลายไขมันที่ร่างกายสะสมอยู่ก่อนหน้านั้น ให้สลายตัวไปเป็นพลังงาน จึงทำให้ผู้บริโภคผอมลง นอกจากนั้นน้ำมันมะพร้าวในกะทิยังมีกรดลอริกอยู่สูงมาก ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกันกับกรดไขมันที่มีในนมของมารดา เมื่อบริโภคเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกจะเปลี่ยนเป็นโมโนลอริน ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน และยังมีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเชื้อโรค ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส หรือโปรโตซัว นอกจากกรดลอริกแล้ว น้ำมันมะพร้าวยังประกอบด้วยกรดไขมันที่มีขนาดปานกลางอีก 3 ชนิด คือ กรดคาโปรอิก กรดคาปริลิก และกรดคาปริก กรดทุกชนิดต่างก็มีส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยยับยั้งเชื้อโรค และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย โดยไม่ทำให้เกิดการดื้อยา และจะฆ่าเฉพาะเชื้อโรคที่มีเกราะหุ้มเป็นไขมัน แต่ไม่ได้ทำลาย จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในร่างกายที่ไม่ได้มีไขมันเป็นเกราะหุ้ม (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551)

น้ำกะทิที่ไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ (Unheat) จะเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าจะเก็บรักษาในที่เย็น เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่มีความอุดมสมบูรณ์มากสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งมักปนเปื้อนมากับกะลา เครื่องมือเครื่องใช้ อุปกรณ์ในการแปรรูป การขนส่ง เป็นต้น แบคทีเรียที่พบโดยทั่วไปในน้ำกะทิคือ Bacillus, Achromobacter, Microbacterium, Micrococcus, Brevibacterium coliform บางชนิด ส่วนเชื้อราที่พบมากคือ Penicillium, Geotricum, Mucor, Fusarium และ Saccharomyces การแบ่งตัวของแบคทีเรียเป็นแบบทวีคูณ (Multiplication) โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 10°C และ 30°C แบคทีเรียในน้ำกะทิมีการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (Generation time) ในเวลา 232 และ 44 นาที ตามลำดับ การยืดอายุของน้ำกะทิสามารถทำได้โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน เช่น น้ำกะทิสเตอริไรส์บรรจุกล่อง บรรจุกระป๋อง น้ำกะทิพลาสเจอร์ไรส์บรรจุถุงพลาสติก และกะทิผง เป็นต้น (ทศพรพรรณ รัตนภักดี,2546)

2.1.3 การแปรรูปกะทิ

การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำกะทิของไทยส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบภายในประเทศเป็นหลัก โดยปัจจุบันน้ำกะทิที่ผลิตได้มีการบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ อาทิ ถุงพลาสติก กล่อง และกระป๋อง เป็นต้น เพื่อใช้จำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป ซึ่งผู้บริโภคนิยมนำมาใช้ปรุงเป็นอาหารมากขึ้น เนื่องจากสะดวกและลดขั้นตอนในการทำอาหารลง สิ่งที่เหลือจากการผลิต อาทิ น้ำมะพร้าว กากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะลา มีการนำมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งการทำเป็นน้ำส้มสายชูจากน้ำมะพร้าว อาหารสัตว์จากกากมะพร้าว เป็นต้น ผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 แบบ คือ

น้ำกะทิสด ได้จากการคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่องแล้วเก็บรักษาด้วยความเย็นทันทีสามารถเก็บไว้ได้นาน 1 - 2 วัน มักบรรจุในถุงพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมไอศกรีม

น้ำกะทิพลาสเจอร์ไรส์ เป็นน้ำกะทิสดที่นำมาให้ความร้อนระดับต่ำเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บางส่วน สามารถเก็บได้นาน 4 - 6 วัน มักบรรจุในถุงพลาสติก ส่วนใหญ่ในในอุตสาหกรรมแกงบรรจุกระป๋อง และไอศกรีม

น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง เป็นน้ำกะทิที่ผ่านกระบวนการสเตอริไรส์ ใช้ความร้อนสูงเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์อย่างสมบูรณ์ สามารถเก็บได้นานโดยไม่ต้องเก็บในที่เย็น ส่วนใหญ่ส่งออกไปยังต่างประเทศ

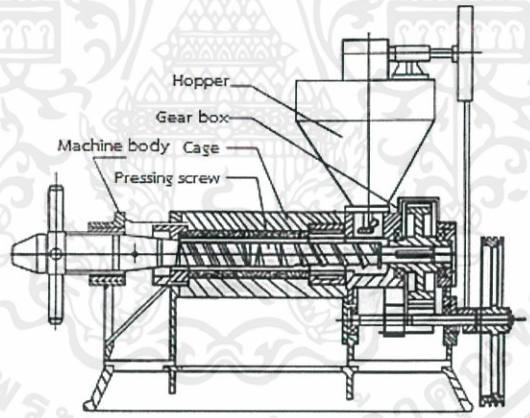
น้ำกะทิบรรจุกล่องยูเอชที เป็นน้ำกะทิที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูงเวลาสั้น (140 - 145°C นาน 10 - 15 วินาที) ส่วนใหญ่จำหน่ายในซุปเปอร์มาร์เก็ต หรือห้างสรรพสินค้า และส่งออก

กะทิผง เป็นน้ำกะทิที่นำมาทำให้แห้งเป็นผงละเอียด โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ปัจจุบันยังมีการผลิตไม่มากนัก (อรนุช เจษฎาธรรมสถิต, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป

2.2 โครงสร้างของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว



รูปที่ 2.3 โครงสร้างหลักของเครื่องคั้นแบบเกลียว (Zhengzhou allance machinery co. ltd)

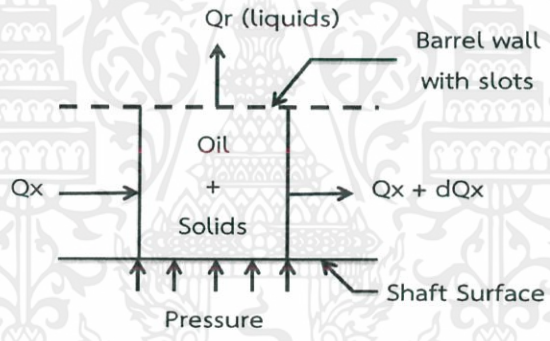
เครื่องคั้นแบบเกลียวมีโครงสร้างหลักประกอบด้วย เกลียวอัด (Pressing screw) กระบอกกลวง (Barrel) ของเครื่องคั้นซึ่งมีลักษณะเป็นรูให้ของเหลวและของแข็งอนุภาคขนาดเล็กสามารถไหลออกมาได้ ช่องป้อนวัตถุดิบ (Feed hopper) โครงเครื่องจักร (Machine body) และชุดส่งกำลัง (Power transmitter unit)

เกลียวเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียว โดยตัวแปรที่ส่งผลกับประสิทธิภาพในการสกัดคือ ความดันและอัตราการไหล ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของเกลียว เช่น ความยาวเกลียว ความลึกล่องเกลียว เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว ระยะพิตช์ องศาเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการทำงานของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว

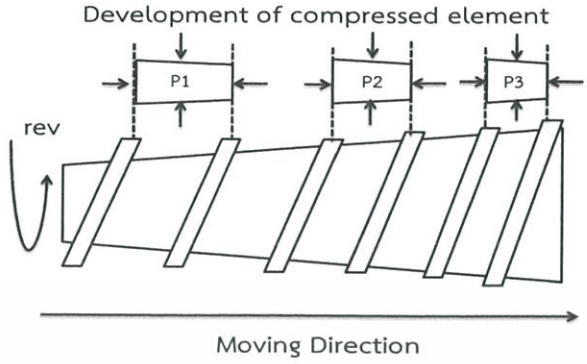
เมื่อป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องคั้นแบบเกลียว วัตถุดิบจะถูกบีบอัดภายในสภาวะที่มีความดันสูงทำให้เซลล์ถูกทำลายส่งผลให้ของเหลวและของแข็งขนาดเล็กบางชนิดภายในเซลล์สามารถออกมาได้และไหลออกตามรูตะแกรงไปยังส่วนที่ใช้ในการกักเก็บของเหลวจากการคั้น ในขณะที่ของแข็งบางส่วนจะถูกบีบอัดต่อและปล่อยออกที่หน้าแปลนบริเวณปลายบาร์เรล ค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัตถุดิบที่ป้อนต่อการหมุน 1 รอบของเกลียวอัดที่ส่วนแรกของเกลียว ต่อส่วนสุดท้ายของเกลียว เรียกว่า อัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบเครื่องคั้น เมื่อป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องคั้นแบบเกลียวในช่วง feed section วัตถุดิบจะถูกลำเลียงมายังช่วง ram section และถูกบีบอัดภายในสภาวะที่มีความดัน ตาม รูปที่ 2.4 ทำให้เซลล์มะพร้าวขูดถูกทำลายส่งผลให้ของเหลวและของแข็งขนาดเล็กบางชนิดภายในเซลล์สามารถออกมาได้ และไหลออกตามรูตะแกรงไปยังส่วนที่ใช้ในการกักเก็บของเหลวจากการคั้น ในขณะที่ของแข็งบางส่วนจะถูกบีบอัดต่อและปล่อยออกที่ choke opening ที่หน้าแปลนบริเวณปลายบาร์เรล



รูปที่ 2.4 การไหลของวัสดุผ่านส่วนเล็ก ๆ ของช่องว่างระหว่างเกลียวและบาร์เรล (ดัดแปลงจาก Vadke, V. S., Sosulski, F.W. and Shook, C.A., 1988)

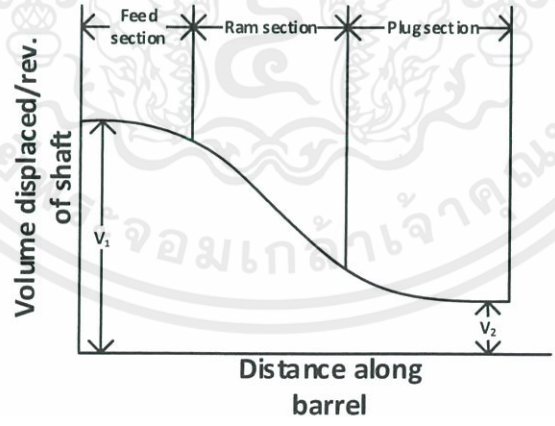
เกลียวอัดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นและร่องเกลียวจะมีความลึกลดลง ส่งผลให้ความดันที่เกิดจากเกลียวเพิ่มขึ้นตามความยาวเกลียว เมื่อเกลียวอัดหมุน วัตถุดิบจะถูกลำเลียงตามเกลียวซึ่งมีช่องว่างระหว่างเกลียวและบาร์เรลลดลง จากการลดลงของความลึกร่องเกลียวและการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรลมีค่าคงที่ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนระหว่างวัตถุดิบกับผิวเกลียวและวัตถุดิบกับผิวบาร์เรล ดังรูปที่ 2.5 วัตถุดิบป้อนเข้าสู่เกลียวอัด เมื่อเกลียวอัดหมุนจะถูกความดัน P_1 P_2 P_3 และ P_4 อัดตามลำดับส่งผลให้ปริมาตรลดลงเนื่องจากการอัด และมีของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กบางส่วนไหลออกผ่านตะแกรงที่บาร์เรล ความดันสูงจะขึ้นตามความยาวเกลียวอัดเนื่องจากความดันสะสมและจะมีค่ามากสุดที่บริเวณหน้าแปลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะการบีบอัดวัตถุดิบเมื่อป้อนเข้าสู่เกลียว

โดยเกลียวอัดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ Feed section เป็นส่วนลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่เกลียว ส่วนที่ 2 คือ Ram section เป็นส่วนที่เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขยายทำให้วัตถุดิบเกิดการบีบอัดมาก และส่วนที่ 3 คือ Plug section ดังรูปที่ 2.6 ส่วนที่เกิดความดันสูงสุดและปล่อยกากจากการอัดออกที่ปลายบาร์เรล ในช่วงแรกของเกลียวจะเกิดการบีบอัดน้อยเนื่องจากมีช่องว่างของอากาศระหว่างวัตถุดิบมาก เมื่อวัตถุดิบเข้าสู่ช่วงที่สองของเกลียวช่องว่างอากาศระหว่างชิ้นวัตถุดิบจะลดลงจนเริ่มมีการบีบอัดที่ทำให้เกิดความเสียหายของเซลล์ส่งผลให้เกิดการคั้นขึ้นและเกิดการสูญเสียของเหลวและอนุภาคของแข็งขนาดเล็กออก ช่องว่างภายในเซลล์จะลดลง เมื่อเข้าสู่ช่วงสุดท้ายจะเกิด การบีบอัดมากเนื่องจากช่องว่างอากาศและช่องว่างระหว่างเซลล์ถูกบีบอัดจนเหลือน้อย จะเหลือแต่ของแข็งปล่อยออกที่ส่งปลายหน้าแปลน



รูปที่ 2.6 ลักษณะเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัตถุดิบตามความยาวของเกลียวอัด (Singh, J. and Bargale, P.C., 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการพื้นฐานโครงสร้างของเครื่องจักร

2.4.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) (EHEDG, 2004)

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสมที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีและยัง สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมทำเหล็กกล้าไร้สนิมมาเป็นวัสดุในการผลิตเครื่องจักหรือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็นหลายชนิดตามส่วนประกอบของ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีส่วนประกอบคือ โครเมียม ร้อยละ 18 นิกเกิล ร้อยละ 9 เหล็กกล้า ชนิดนี้ The American Iron and Steel Institute (AISI) แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวที่สัมผัสอาหาร แต่ 3A Sanitary Standards (3A-SS) อนุญาตให้ใช้เฉพาะส่วน เช่น ท่อ เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงระหว่าง 6.5 ถึง 8.0 สามารถทนการกัดกร่อน ของสารละลายคลอรีน ความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็กกล้าไร้สนิม 316 มีส่วนประกอบคือ โครเมียมร้อยละ 17 นิกเกิลร้อยละ 10 และโมลิบดินัมร้อยละ 2 เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่ง 3A Sanitary Standards แนะนำให้ใช้เป็นพื้น ผิวสัมผัสกับอาหาร สามารถทนอุณหภูมิสูงมากและต่ำมากได้ ทนการกัดกร่อนของคลอรีนที่ความ เข้มข้นสูง ใช้เป็นวัสดุสำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์แปรรูปอาหาร เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304L และ 316L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 0.03 ซึ่งทำให้เชื่อมชิ้นงานง่ายขึ้น

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิม	ส่วนประกอบ			
	คาร์บอน (ร้อยละ)	โครเมียม (ร้อยละ)	นิกเกิล (ร้อยละ)	โมลิบินัม (ร้อยละ)
304	น้อยกว่า0.08	18	9	-
304L	น้อยกว่า 0.03	18	9	-
316	น้อยกว่า 0.08	18	14	3
316L	น้อยกว่า 0.03	18	14	3

ที่มา : European Hygienic Engineering and Design Group (2004)

2.4.2 มอเตอร์ (ประปาไทย, 2558: ออนไลน์)

มอเตอร์ (Motor) คืออุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ โดย มอเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) และ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

2.4.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังกล โครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สองส่วน (1) ส่วนที่อยู่กับที่ หรือสเตเตอร์ (Stator) (2) ตัวหมุน (Rotor) ซึ่งตัวหมุนประกอบไปด้วย แกนเพลา (Shaft), แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature core), คอมมิวเตอร์ (Commutator) และ ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature widing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor)

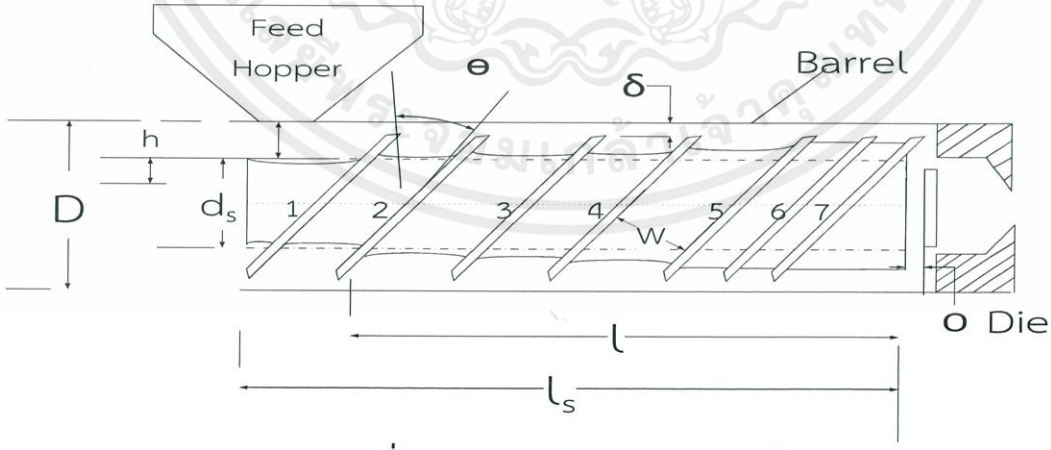
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีหลักการคือ แปลง พลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล โดยไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบกระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. single phase) มีหลายชนิดดังนี้ (1) สปลิทเฟส มอเตอร์ (Split-phase motor) (2) คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor motor) (3) รีพัลชั่น มอเตอร์ (Repulsion-type motor) (4) ยูนิเวอร์แซล มอเตอร์ (Universal motor) และ (5) เช็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบ่งออกตามโครงสร้างและ หลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ (1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น (3 Phase induction motor) (2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase synchronous motor)

2.4.3 เพลา (Shaft)

เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องมือกล ที่มีความสำคัญของระบบส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลา อยู่ในรูปของโมเมนต์แรงบิด (Torque) ในการส่งกำลังผ่านระหว่างเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่ง จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น โซ่ เฟือง และสายพาน เป็นต้น ดังนั้นจึงเกิดแรงซึ่งเกิดจากการขบกัน ของเฟือง แรงเนื่องจากการฉุดของโซ่ หรือแรงดึงจากสายพานมากระทำต่อเพลา ทำให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending moment) ขึ้นบนเพลาด้วย (วริทธิ์ และชาญ, 2523)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะเกลียวอัดของเครื่องจักรที่ใช้ในการศึกษา สามารถเขียนเป็นแผนภาพส่วนประกอบของเกลียว ดังรูปที่ 2.7

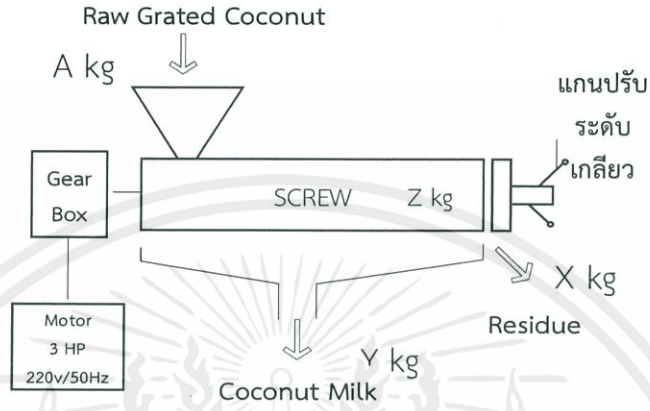


รูปที่ 2.7 แผนภาพส่วนประกอบของเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการสำหรับการออกแบบ

ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องทำสมดุลมวลเพื่อทราบกำลังการผลิต ปริมาณวัตถุดิบ และประสิทธิภาพของเครื่องจักร ดังรูปที่ 2.8 เป็นการแสดงการทำสมดุลมวล ขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

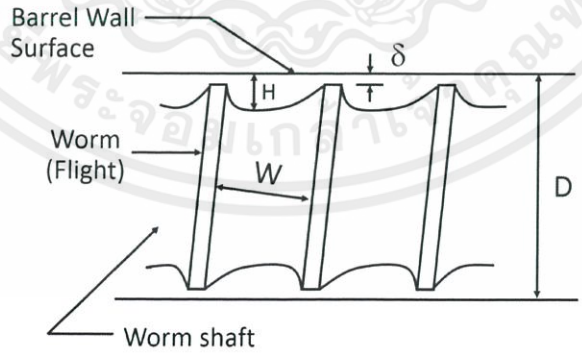


รูปที่ 2.8 การทำสมดุลเครื่องคั้นแบบเกลียว

$$\sum \text{mass}_{\text{in}} = \sum \text{mass}_{\text{out}} \tag{2.1}$$

$$m_A = m_z + m_y + m_x \tag{2.2}$$

การออกแบบเครื่องคั้นแบบเกลียวมีสมการในการออกแบบซึ่งสามารถคำนวณค่าทางวิศวกรรมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการสร้างเครื่องจักรแสดงขนาดของเกลียวที่ใช้ในการคำนวณ ดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 ขนาดของเกลียวที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องจักร สามารถคำนวณได้จาก สมการของ Shirato et al.

$$Qx = \pi DW(H-\delta)N\cos\theta\frac{f_d}{2} - (H^3 W f_{pd} f_{ps}/12n\mu_c)\cdot\frac{dP}{dX} \quad (2.3)$$

$$f_d = 1-(0.487n^2 - 0.948n + 0.972)*H/W \quad (2.3a)$$

$$f_{ps} = 1-(0.949n^2 - 1.87n + 1.59)*H/W \quad (2.3b)$$

$$f_{pd} = 0.92 \quad (2.3c)$$

$$-dQ_x\rho_c = Q_r\rho_l \quad (2.4)$$

อธิบายถึงความสำคัญของตัวแปรในสมการข้างต้น

Q_x หมายถึง อัตราการไหลตามแนวเกลียวของวัตถุดิบที่ป้อนเข้า เป็นผลมาจากความดันที่เกิดจากเกลียวอัด

Q_r หมายถึง อัตราการไหลตามแนวรัศมีเกลียวของน้ำกะทิที่ได้ สามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องคั้นน้ำกะทิได้

$H-\delta$ มีค่าลดลงเนื่องจากเกลียวที่ศึกษาและออกแบบ มีค่า H (ความลึกร่องเกลียว) ลดลงตามความยาวเกลียว ทำให้เกิดการบีบอัดมากขึ้น ในขณะที่ δ มีค่าคงที่

$\frac{dP}{dX}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดจากเกลียว เทียบกับช่วงความยาวของเกลียวที่เปลี่ยนไป

$\frac{dQ_x}{dX}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลตามแนวเกลียว เทียบกับความยาวของเกลียวที่เปลี่ยนไป

$$dQx/dX = \left[\frac{\pi DP}{(\alpha_s\mu_l m_s)}\right] * \frac{\rho_l}{\rho_c} \quad (2.5)$$

ค่าคุณสมบัติของน้ำกะทิที่สำคัญคือ ความหนาแน่นของสารผสม (ρ_c) ค่าความหนืดของสารผสม (μ_c) ค่าความต้านทานการกรองจำเพาะ (α_s) ความหนาแน่นของของเหลว (ρ_l) ค่าความหนืดของของเหลว (μ_l) ค่ามวลของแข็งต่อหน่วยพื้นที่การกรอง (m_s)

สมการสำหรับคำนวณปริมาณของเหลวในมะพร้าวขูด คำนวณได้จาก

$$F = 1-(1-F_o)*(Q_o\rho_{co}/Q_x\rho_{cx}) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

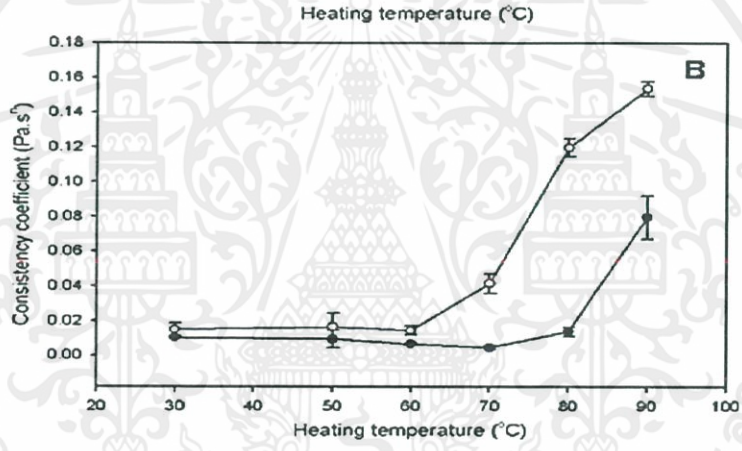
$$F_o = 0.6172 \tag{2.7}$$

$$\rho_c = (1.451 - 0.703F) * 10^3 \tag{2.8}$$

สมการสำหรับค่าคุณสมบัติของมะพร้าวขูด คำนวณได้จาก

$$\mu_c = K_c * \gamma^{n-1} \tag{2.9}$$

$$\gamma = \pi DN \cos\theta / H \tag{2.10}$$



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า ดัชนีความคงตัวของกะทิ (K_c) และอุณหภูมิ (°C) (Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N., 2005)

โดยที่ K_c คือค่าดัชนีความคงตัวของกะทิ แปรผันตามอุณหภูมิ และ n คือค่าดัชนีการไหลของกะทิ โดยทั่วไปกะทิมีค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันอยู่ที่ 15 - 30% มีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) อยู่ระหว่าง 0.756 – 0.923 ตัวอย่างกะทิที่คั้นจากตลาดเป็นการคั้นแบบไม่ผสมน้ำ ที่เรียกว่าหัวกะทิ จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันอยู่ที่ 35 - 37% (AOAC, 1990) และมีอุณหภูมิประมาณ 30.7 องศา ดังนั้นจากตารางที่ 2.4 จึงเลือกใช้ค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) เท่ากับ 0.851

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อดัชนีพฤติกรรมการไหลของกะทิ (Simuang et al., 2004)

Temperature (°C)	Fat content (%)	n
25	15	0.923
	20	0.916
	25	0.897
	30	0.851
70	15	0.845
	20	0.774
	25	0.771
	30	0.739
80	15	0.854
	20	0.780
	25	0.777
	30	0.756

สมการการคำนวณค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

$$\alpha_s = (4.3 * 10^9) + (0.8 * 10^3 * P) \quad (2.11)$$

$$\mu_l = 4.6 * 10^{-3} * \exp[\frac{200.9}{T} + 50] \quad (2.12)$$

$$m_s = \rho_c(H + 0.003)/(1 + e) \quad (2.13)$$

$$e = (F/(1 - F)) * \rho_s/\rho_l \quad (2.13a)$$

สมการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการทำงานของเครื่องจักร

$$P = 4.5 Q_v l_s \rho g F \quad (2.14)$$

โดยที่ Q_v คือ ปริมาตรการไหล (m^3/s) และ F คือ Material Factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการสำหรับคำนวณภาระเกลียว (Load lifted by screw) พื้นที่ที่เกิดการบีบอัด และความดันที่เกิดจากเกลียว คำนวณได้จากสมการของ Adetola, O.A. et al.

$$W_e = T\frac{\frac{D_m}{2}\tan\theta+\frac{\mu}{\cos\alpha}}{1-\mu\tan\theta\cos\alpha} \tag{2.15}$$

$$A_P = \pi D_m n h \tag{2.16}$$

โดยที่

$$\alpha = \tan^{-1}(\tan\theta_n\cos\theta) \tag{2.17}$$

สมการคำนวณความดันที่เกิดจากภาระเกลียวและพื้นที่การบีบอัดที่เกิดจากเกลียว

$$P_r = W_e/A_P \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

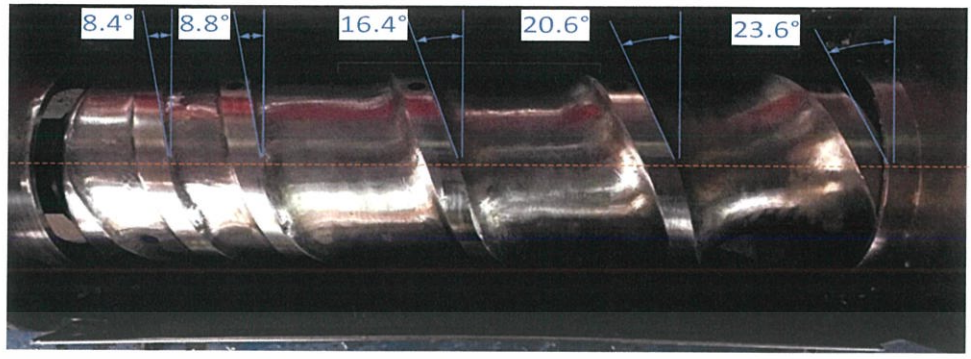
บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณค่ากำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทินี้แบ่งการทดลองเป็น 4 ส่วนสำคัญ คือ 1) การวัดขนาดส่วนประกอบที่สำคัญของเกลียวอัดและตัวแปรอื่น ๆ เพื่อใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ได้แก่ ระยะพิตช์ (W) ความลึกร่องเกลียว (H) ค่ามุมเกลียว (θ) ความกว้างสันเกลียว ความยาวเกลียวทั้งหมด (L) ความยาวเกลียวช่วง ram section (L_s) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (D_s) เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (d_s) เส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรล (D) ช่องว่างระหว่างสันเกลียวและบาร์เรล (δ) ความเร็วรอบของเพลา (N) ค่าความหนาแน่นของกะทิ (ρ_c) และมะพร้าวขูด (ρ_l) 2) การหากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรและดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ 3) การทดลองเพื่อหากำลังการผลิต (Q_r) ของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป 4) การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 การวัดขนาดส่วนประกอบที่สำคัญของเกลียวอัด และตัวแปรอื่น ๆ

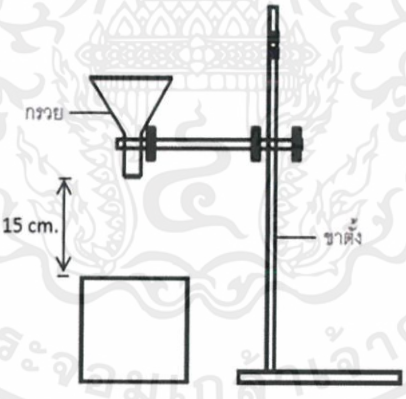
วัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการไหลของกากมะพร้าว (Q_x) และกำลังการผลิต (Q_r) ในทางทฤษฎี จากการนำค่าของตัวแปรต่าง ๆ มาคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ความละเอียด 0.05 เซนติเมตร วัดค่าของระยะพิตช์ ความลึกร่องเกลียว ค่ามุมเกลียว ความกว้างสันเกลียว เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว เส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรล และช่องว่างระหว่างสันเกลียวและบาร์เรล ใช้ตลับเมตรวัดความยาวเกลียว และความยาวเกลียวช่วง ram section เพราะเวอร์เนียร์คาลิเปอร์มีย่านการวัดไม่เพียงพอ การวัดความเร็วรอบของเพลาเลือกใช้เครื่องวัดความเร็วรอบแบบไม่สัมผัส (Non-contact tachometer) เนื่องจากลักษณะของเครื่องจักรไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้เครื่องวัดความเร็วรอบแบบสัมผัส วัดความเร็วรอบของเพลาทั้งในขณะที่ไม่ใส่มะพร้าวขูด (No Load) และขณะที่คั้นกะทิ (On Load) ส่วนการวัดค่ามุมเกลียวนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรงจึงเลือกวิธีวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) โดยถ่ายภาพให้ตั้งฉากกับเกลียวอัดในจุดกึ่งกลางภาพ แล้วหาค่ามุมองศาเกลียวโดยโปรแกรม Visio ตามรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



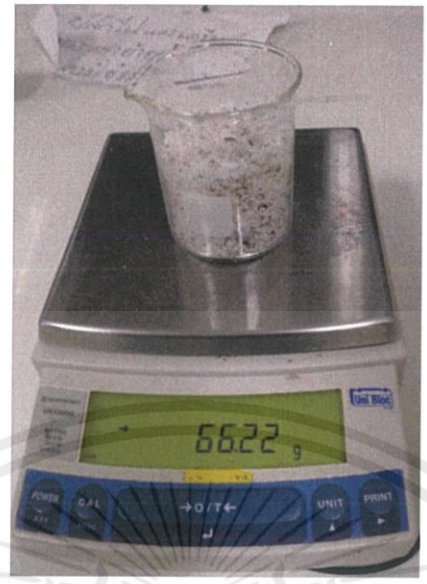
รูปที่ 3.1 การหาค่ามุมเกลียวโดยวิธีวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Visio

การหาความหนาแน่นของกะทินั้นใช้กระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร และเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง หาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลและปริมาตร และสุดท้ายความหนาแน่นของมะพร้าวขูดใช้วิธีหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ใช้บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร กรวย ขาตั้ง และเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง วางตำแหน่งกรวยให้สูงกว่าบีกเกอร์ 15 เซนติเมตร ตามรูปที่ 3.2 โรยมะพร้าวขูดบนกรวยให้เต็มบีกเกอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.3 และหาค่าความหนาแน่นจากอัตราส่วนระหว่างมวลและปริมาตร



รูปที่ 3.2 การเตรียมอุปกรณ์วัดความหนาแน่นรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การชั่งน้ำหนักมะพร้าวขูดเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม

3.2 การหากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรและค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

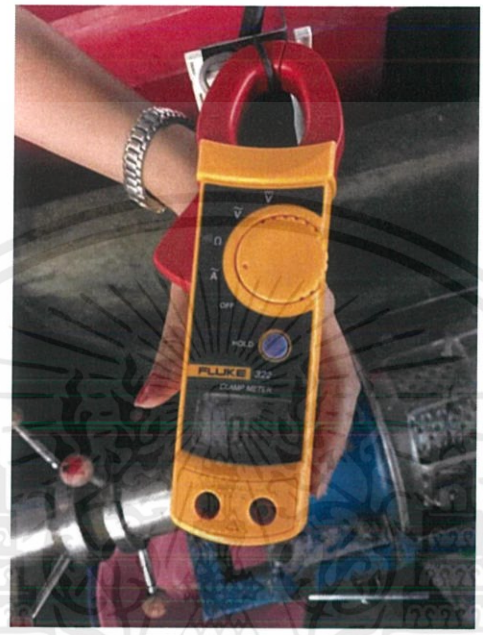
การหากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักร ทำโดยใช้มัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์ ดังรูปที่ 3.4 ในการวัดค่าความต่างศักย์ (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (I) พร้อมจดบันทึกข้อมูลเพื่อใช้ในสมการที่ (3.1)

$$P = IVCOS\theta \tag{3.1}$$

รูปที่ 3.4 มัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นด้วยการวัดค่าความต่างศักย์โดยใช้มัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์ จากนั้นติดตั้งมัลติมิเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยการคีบสายไฟที่ต่อเข้ามอเตอร์เท่านั้น หากมีการต่อพ่วงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีความผิดพลาด และคีบสายไฟเพียงเส้นเดียว ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การติดตั้งมัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า

จากนั้นเปิดเครื่องคั้นกะทิโดยที่ยังไม่ต้องใส่มะพร้าวขูด จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าแบบไม่มีภาระ (No Load) จากนั้นใส่มะพร้าวขูดให้เต็มเครื่อง และจึงเริ่มทำการทดลองโดยการใส่มะพร้าว 5 กิโลกรัม จดบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าคู่กับเวลาที่ใช้ จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่คั้นกะทิ (On Load) ทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหากำลังไฟฟ้าในสมการที่ (3.1)

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, kJ/kg) เป็นค่าที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและยังสามารถแสดงถึงต้นทุนทางด้านพลังงานของกิจกรรมนั้น ๆ วัตถุประสงค์เพื่อทราบค่า SEC ของการคั้นกะทิโดยเครื่องคั้นกะทิแบบเดี่ยวที่ใช้ในท้องตลาดทั่วไป

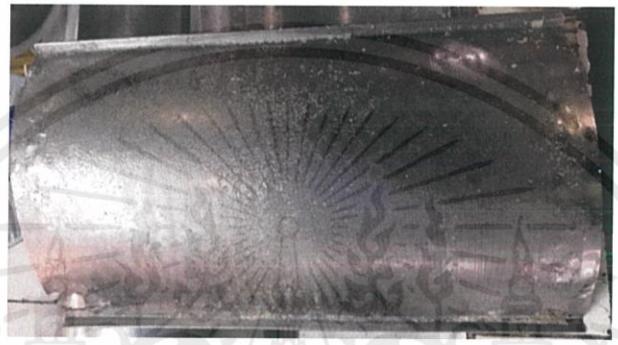
การหาค่า SEC ทำได้โดยการนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องจักร (P) ในการคั้นกะทิ เวลาที่ใช้ในการทำงาน (t) และน้ำหนักกะทิ มาคำนวณในสมการที่ (3.2)

$$SEC = (\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{เวลาที่ใช้}) / \text{น้ำหนักกะทิ} \qquad (3.2)$$

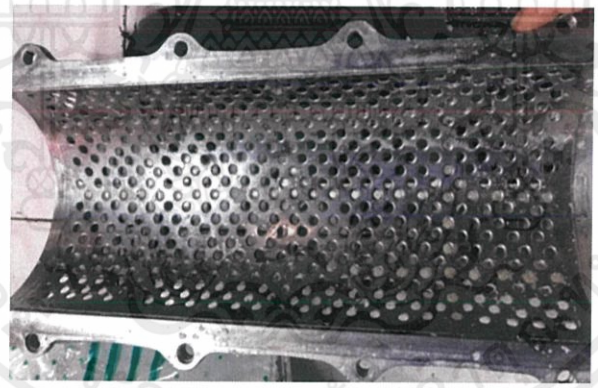
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การหากำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป

เครื่องคั้นกะทิที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยวที่ใช้งานจริงตามท้องตลาดทั่วไป โดยมีรายละเอียดดังนี้ (1) มอเตอร์ไฟฟ้า 3 แรงม้า 220V 1 เฟส (2) สวิทช์ปิด-เปิดมอเตอร์ (3) ตะแกรงกรองแยกกากและน้ำมี 2 ชั้น คือ ตะแกรงชั้นใน (mesh) และชั้นนอก (Barrel) มีลักษณะตามรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ตะแกรงชั้นใน (mesh)

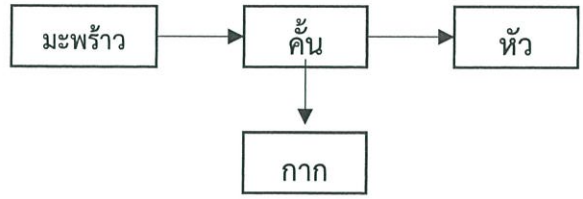


รูปที่ 3.7 ตะแกรงชั้นนอก (Barrel)

3.3.1 การทดลองเพื่อหากำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว

จุดประสงค์เพื่อหาค่ากำลังการผลิตและอัตราการไหลของกากมะพร้าวก่อนนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการทดลองการคั้นกะทิเพื่อหากำลังการผลิตในครั้งนี้สามารถเขียนแผนภูมิการไหล (Flow process chart) ได้ดังรูป 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภูมิการไหล (Flow process chart) ของการคั้นกะทิ

เริ่มต้นโดยการใส่มะพร้าวขูดให้เต็มเครื่อง จากนั้นทำการทดลองโดยคั้นมะพร้าวขูดจำนวน 5,000 กรัม ด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยวโดยไม่ผสมน้ำ พร้อมกับจับเวลาที่ใช้ในการป้อนมะพร้าวขูดเข้าเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว ดังรูปที่ 3.9 จับเวลาที่กะทิเริ่มไหลออกจากบาร์เรล ดังรูปที่ 3.10 และจับเวลาที่กากมะพร้าวไหลออกจากเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวเดี่ยว ดังรูปที่ 3.11 จากนั้นชั่งน้ำหนักกะทิและกากมะพร้าวพร้อมบันทึกผล ทำซ้ำ 3 ครั้ง

รูปที่ 3.9 การจับเวลาสำหรับการคำนวณหาอัตราการป้อน

รูปที่ 3.10 การจับเวลาสำหรับการคำนวณหากำลังการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การจับเวลาสำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลของกากมะพร้าว

3.3.2 การคำนวณเพื่อหากำลังการผลิต

การคำนวณเพื่อหากำลังการผลิตของเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป ทำได้โดยการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.4)

กำลังการผลิต (กิโลกรัม/วินาที) = น้ำหนักกะทิ (กิโลกรัม) / เวลา (วินาที) (3.4)

การคำนวณอัตราการป้อนมะพร้าวขูดของเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป ทำได้โดยการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.5)

อัตราการป้อน (กิโลกรัม/วินาที) = มะพร้าวขูด (กิโลกรัม) / เวลา (วินาที) (3.5)

การคำนวณอัตราการไหลของกากมะพร้าวของเครื่องคั้นน้ำกะทิแบบเกลียวตามท้องตลาดทั่วไป ทำได้โดยการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.6)

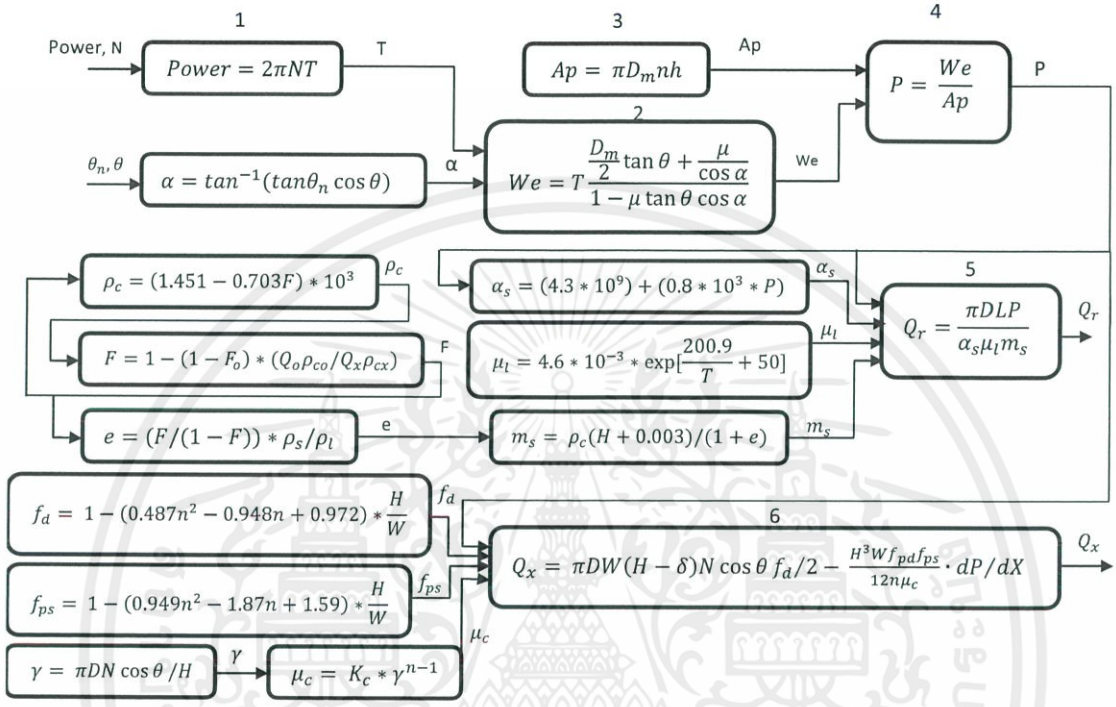
อัตราการไหลของกากมะพร้าว (กิโลกรัม/วินาที) = กากมะพร้าว (กิโลกรัม) / เวลา (วินาที) (3.6)

3.4 การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ของเกลียวได้แก่ ระยะพิตช์ ความลึกร่องเกลียว และค่ามุมเกลียวที่ได้จากการวัดจริงมาคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้จริงกับค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้จากการคำนวณ และทำการเปรียบเทียบกำลังการผลิตจากการทดลองจริงกับกำลังการผลิตจากการคำนวณ เมื่อพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผลไปในทางเดียวกัน จึงสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ในการคำนวณหาค่าตัวแปรเกลียวที่เหมาะสม ที่ทำให้กำลังการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต้องไม่มากเกินกำลังมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีกระแสการคำนวณดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กระแสคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเริ่มจากการหาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ได้จากการวัด นำมาหาค่าแรงบิด (Torque) ตามสมการที่ (1) จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าภาระเกลียว (W_e) ตามสมการที่ (2) และนำค่าตัวแปรของส่วนประกอบของเกลียวมาคำนวณหาพื้นที่การบีบอัด (A_p) ตามสมการที่ (3) จากนั้นใช้ค่าภาระเกลียวและพื้นที่การบีบอัดเพื่อหาค่าความดันที่เกิดจากเกลียว (P) ตามสมการที่ (4) เพื่อนำไปหากำลังการผลิตจากการคำนวณ (Q_r) ตามสมการที่ (5) และอัตราการไหลของกากมะพร้าวจากการคำนวณ (Q_x)) ตามสมการที่ (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลที่ได้จากการวัดขนาดตัวแปรเกลียวต่าง ๆ ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรเฉลี่ยที่ใช้ในการคั้น ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ผลของค่ากำลังการผลิตในเครื่องจักรจริง ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจากการทดลองและจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิตจากการทดลองและจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลจากการปรับปรุงและพัฒนาเกลียวอัดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1 ผลของการวัดขนาดส่วนประกอบที่สำคัญของเกลียวอัด และตัวแปรอื่น ๆ

4.1.1 ผลของการวัดขนาดตัวแปรเกลียวในแต่ละช่วงเกลียว

จากการวัดขนาดส่วนประกอบของเครื่องจักรจำนวน 4 เครื่อง ได้แก่ ระยะพิตช์ (W) ความลึกร่องเกลียว (H) ค่ามุมเกลียว (θ) แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของการวัดขนาดตัวแปรเกลียวในแต่ละช่วงเกลียวของเครื่องจักร 4 เครื่อง

เครื่องจักร	ตัวแปร	1	2	3	4	5	6	7
A	h (มม.)	26.6	24.4	16.6	10.8	5.2	3.2	1.6
	W (มม.)	84.1	84.8	79.1	83.2	65.0	23.5	30.0
	θ (องศา)	N/A	23.6	20.6	16.4	8.8	8.4	N/A
B	h (มม.)	28.2	24.6	12.9	7.25	4.6	4.3	N/A
	W (มม.)	N/A	85.5	78.65	78.55	33.0	29.0	N/A
	θ (องศา)	N/A	16.3	13.4	8.7	8.4	7.1	N/A
C	h (มม.)	N/A	23.0	23.0	12.5	6.5	2.5	3.0
	W (มม.)	N/A	83.0	78.5	78.0	74.5	25.5	27.0
	θ (องศา)	N/A	N/A	19.2	17.0	8.7	7.3	7.1
D	h (มม.)	N/A	27.9	17.9	15.3	6.1	4.9	3.4
	W (มม.)	N/A	73.9	70.0	67.6	27.9	27.5	N/A
	θ (องศา)	N/A	26.0	21.6	14.7	11.3	10.2	N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการวัดขนาดตัวแปรเกลียวอื่น ๆ

ตัวแปรอื่น ๆ ได้แก่ ความกว้างสันเกลียว ความยาวเกลียวทั้งหมด (L) ความยาวเกลียวช่วง ram section (L_s) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (D_s) เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (d_s) เส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรล (D) ช่องว่างระหว่างสันเกลียวและบาร์เรล (δ) ความเร็วรอบของเพลา (N) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดขนาดตัวแปรเกลียวอื่น ๆ ของเครื่องจักร 4 เครื่อง

เครื่องจักร	ตัวแปร					
	L_s (มม.)	D_s (มม.)	d_s (มม.)	D (มม.)	δ (มม.)	N (รอบ/นาที)
A	50	119.1	65.9	133.0	6.95	119.3
B	54	132.1	75.7	133.5	7.00	103
C	40	85.8	30.0	99.7	6.95	164
D	50	119.1	73.1	133.0	6.95	225

4.1.3 ผลของการวัดความหนาแน่นของกะทิและความหนาแน่นรวมของมะพร้าวขูด

ความหนาแน่นของกะทิ คือ 905.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

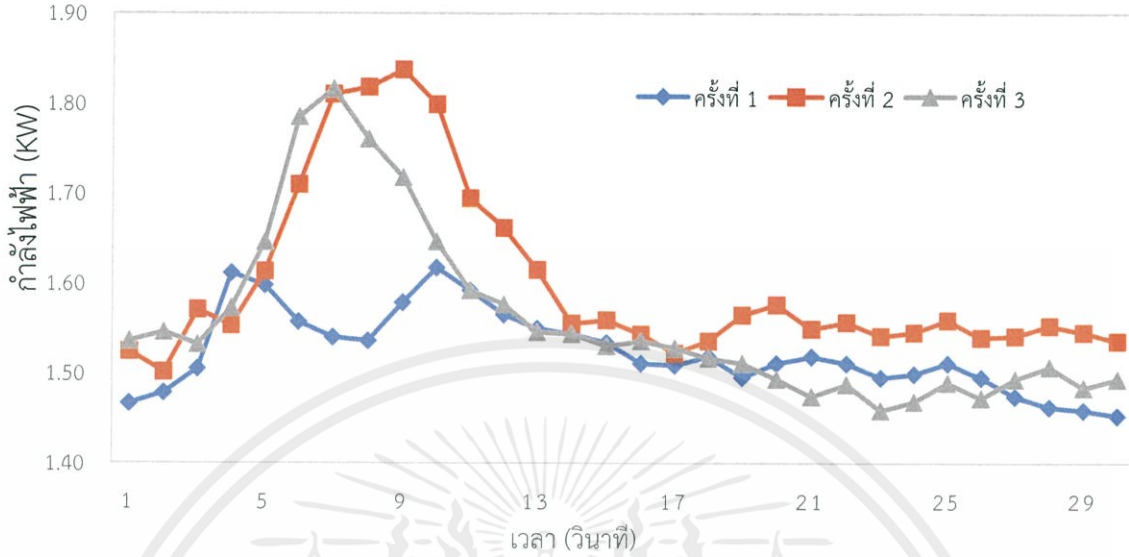
ความหนาแน่นรวมของมะพร้าวขูด คือ 313.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2 ผลของการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องจักร และค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

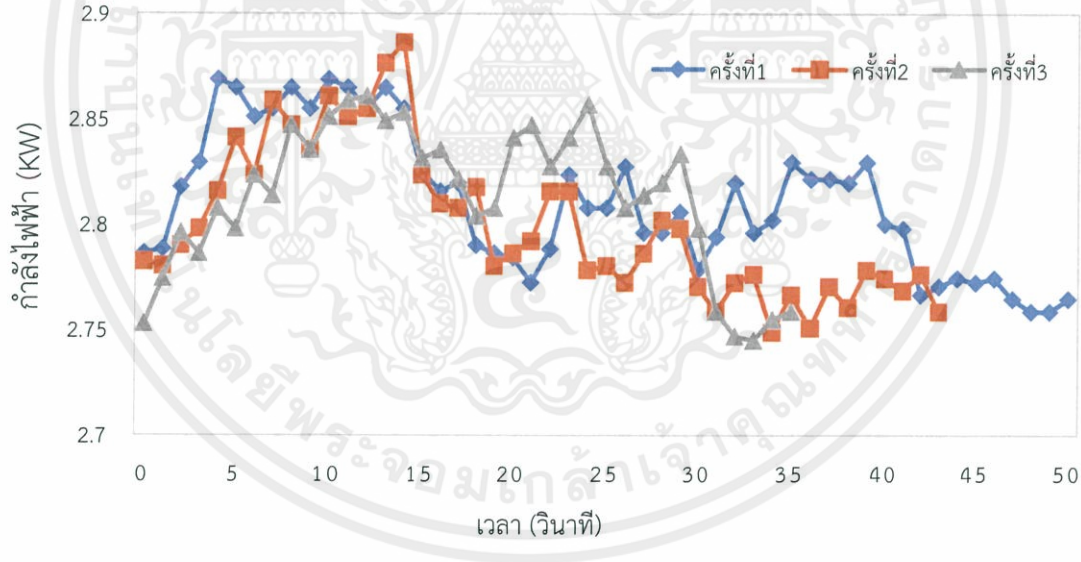
4.2.1 ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรขณะคั้นกะทิ

ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์แบบแคลมป์มิเตอร์ จะทำการวัดค่าความต่างศักย์ (V) และค่ากระแสไฟฟ้า (A) ในขณะที่คั้นกะทิ และนำมาคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.1 - 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

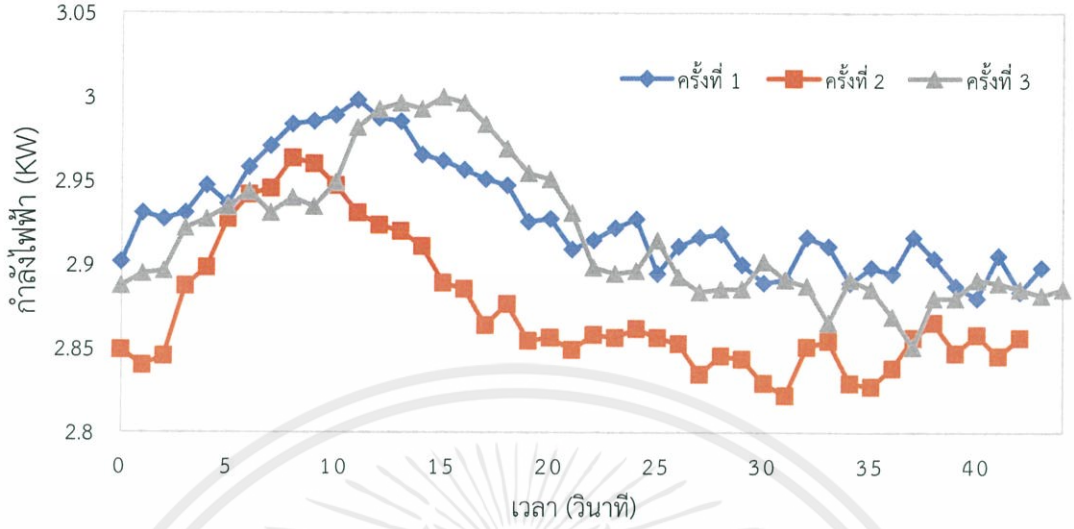


รูปที่ 4.1 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร A

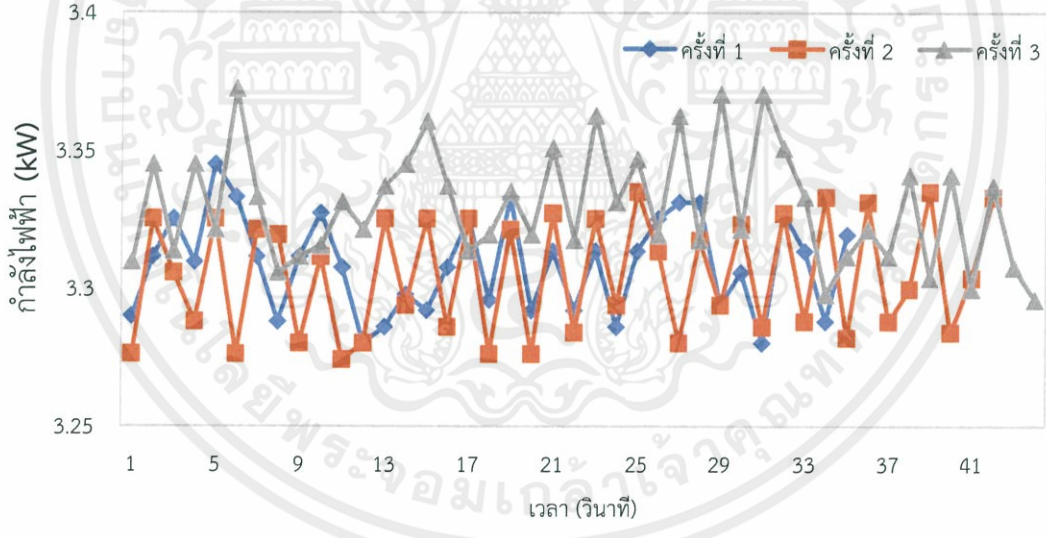


รูปที่ 4.2 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร C



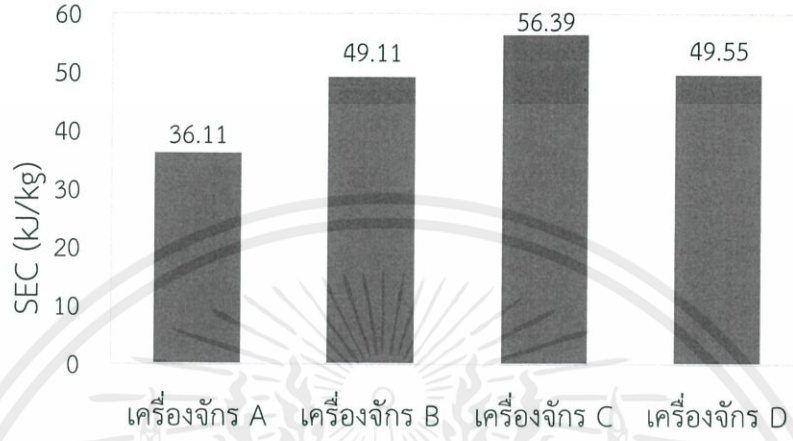
รูปที่ 4.4 กราฟกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาขณะคั้นกะทิในเครื่องจักร D

ดังนั้น ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องจักร A, B, C และ D คือ 1.56, 2.81, 2.85 และ 3.31 กิโลวัตต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

การคำนวณหาค่า SEC เพื่อบ่งบอกถึงพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ของแต่ละเครื่องจักร ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดง SEC ของแต่ละเครื่องจักร

4.3 ผลของการทดลองหาค่ากำลังการผลิต

ในการทดลองครั้งนี้ได้เลือกเครื่องจักรเพียง 1 เครื่อง สำหรับใช้เป็นกรณีศึกษา คือ เครื่องจักร B ทำการทดลองโดยการคั้นกะทิและวัดค่ากำลังการผลิต (Q_r) ได้ผล ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดค่ากำลังการผลิตของเครื่องจักร B

ครั้งที่	มะพร้าวขูด (กรัม)	น้ำหนักกะทิ (กรัม)	กากมะพร้าว (กรัม)	เวลา (วินาที)	กำลังการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
1	5050	2363.34	2480	50	170.16
2	4780	2379.19	2180	45	190.34
3	5020	2684.33	2380	35	276.10
				เฉลี่ย	212.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น กำลังการผลิตของเครื่องจักร B มีค่าเท่ากับ 212.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์และปรับปรุงเกลียวอัดให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นต่อไป

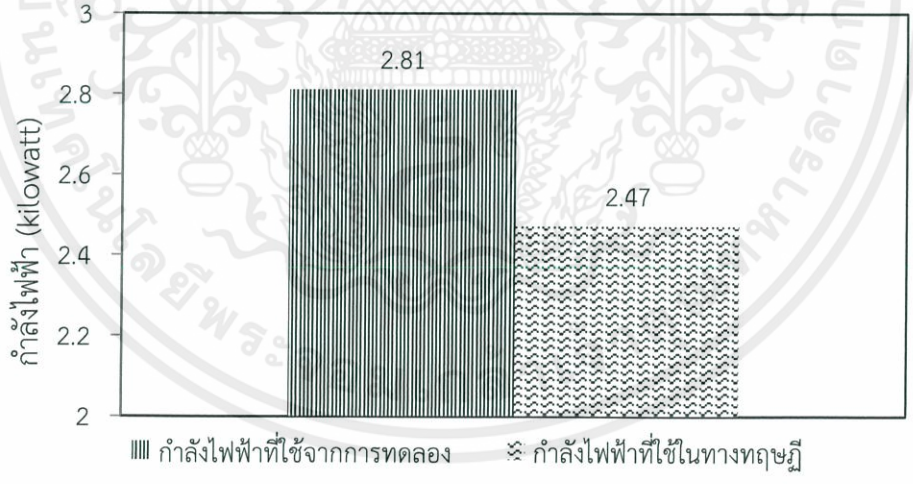
4.4 ผลของการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลของการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบ่งเป็น 2 ส่วนสำคัญ คือ 1) ผลของการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2) ผลของการปรับปรุงและออกแบบลักษณะเกลียวอัดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.4.1 ผลของการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าจากการทดลองกับค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.4.1.1 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้

เนื่องจาก ในการทดลองได้เลือกเครื่องจักร B เป็นกรณีศึกษา จึงทำการเปรียบเทียบ ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้ของเครื่องจักร B มีค่า 2,808.08 วัตต์ และค่าจากการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลจากการคำนวณทราบว่ามีความแตกต่างจากการคำนวณและการทดลองอยู่ที่ 13.69% แสดงว่า ให้ผลไปในทางเดียวกันและสามารถยอมรับได้ ดังรูปที่ 4.6 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถใช้ในการคำนวณได้



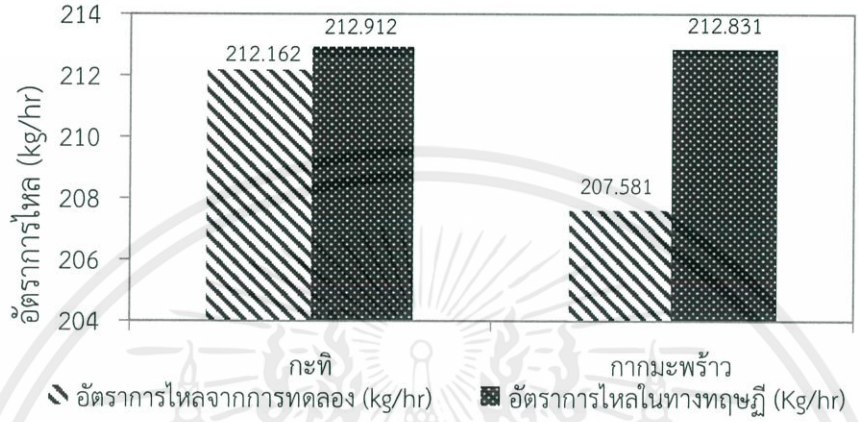
รูปที่ 4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากการทดลองและจากการคำนวณ

4.4.1.2 การเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิต

ค่ากำลังการผลิตที่วัดได้จากเครื่องจักร B มีค่า 212.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของกากมะพร้าว มีค่า 207.58 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลจากการเปรียบเทียบทราบว่า ค่ากำลังการผลิต (Q_r) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของกากมะพร้าว (Q_x) ของการทดลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างของกำลังการผลิตจากการคำนวณและการทดลองอยู่ที่ 0.35 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแตกต่างของอัตราการไหลของกากมะพร้าวจากการคำนวณและการทดลองอยู่ที่ 2.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกันมาก และสามารถยอมรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้ ดังรูปที่ 4.7

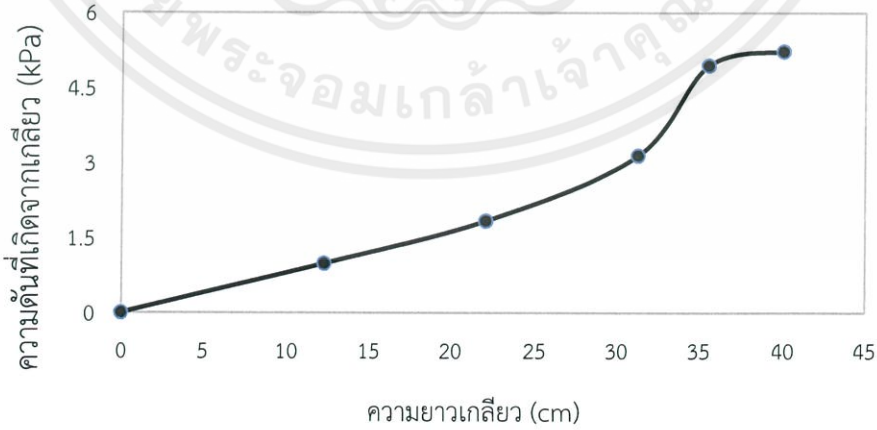


รูปที่ 4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิตและอัตราการไหลของกากมะพร้าวจากการทดลองและจากการคำนวณ

4.4.2 ผลของการปรับปรุงและออกแบบลักษณะเกลียวอัดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.4.2.1 ผลการคำนวณหาความดันตามความยาวเกลียว

ผลการคำนวณเพื่อหาค่าความดันตามความยาวเกลียวใช้การคำนวณใน Ram section พบว่าความยาวเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันเพิ่มขึ้น โดยความดันมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงอยู่ที่ช่วงความยาวเกลียว 31 เซนติเมตร ซึ่งค่าความดันต่ำสุดที่ทำให้เกิดการสกัดกะทิออกจากมะพร้าวขูด คือ 3,000 ปาสคาล และค่าความดันสูงสุดที่ปลายเกลียว คือ 5,231 ปาสคาล ดังรูปที่ 4.8

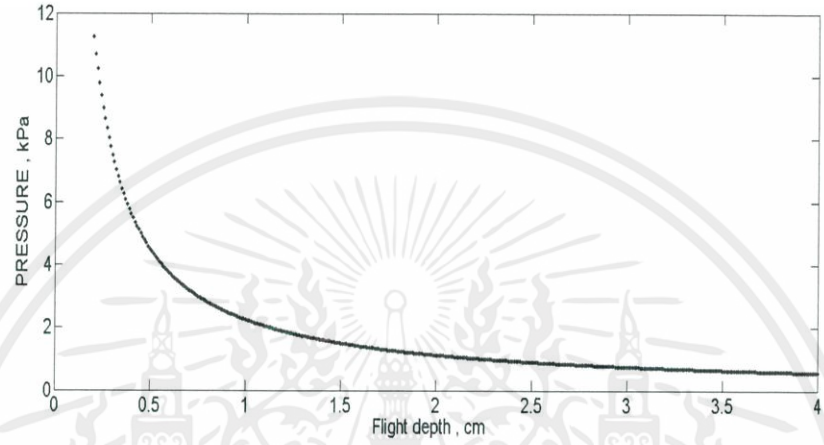


รูปที่ 4.8 กราฟความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวเกลียวเพิ่มขึ้นใน Ram section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

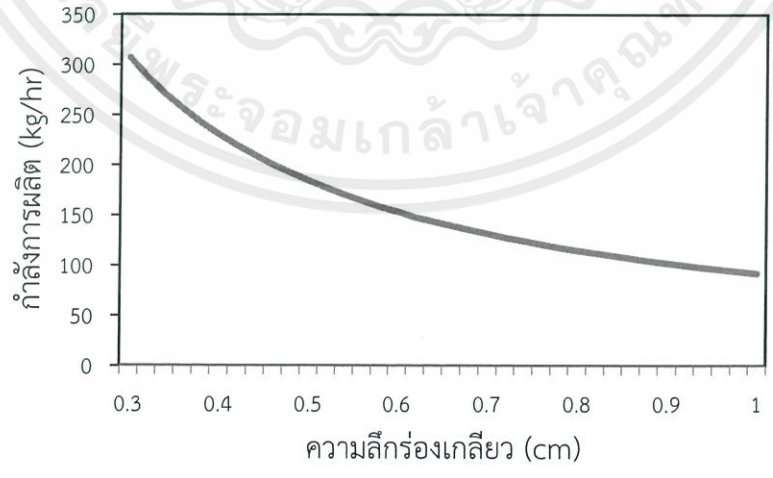
4.4.2.2 ผลการคำนวณเพื่อดูแนวโน้มของค่าความลึกร่องเกลียว

การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าของความลึกร่องเกลียวที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการออกแบบเกลียว ผลจากการคำนวณ พบว่า ความลึกร่องเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันลดลง และความดันต่ำสุดที่ทำให้เกิดการไหลของกะทิ คือ 3,000 ปาสคาล ดังนั้น ความลึกร่องเกลียวที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ คือ ความลึกร่องเกลียวที่ต่ำกว่า 7 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลของความลึกร่องเกลียวที่มีต่อความดัน

จากนั้นนำค่าความลึกร่องเกลียวในช่วง 3 – 7 มิลลิเมตร มาคำนวณเพื่อหากำลังการผลิต ผลจากการคำนวณ แสดงให้เห็นว่า ความลึกร่องเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังการผลิตลดลง ดังนั้น ความลึกร่องเกลียวที่ทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 212.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คือ ค่าความลึกร่องเกลียวที่น้อยกว่า 4.2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.10

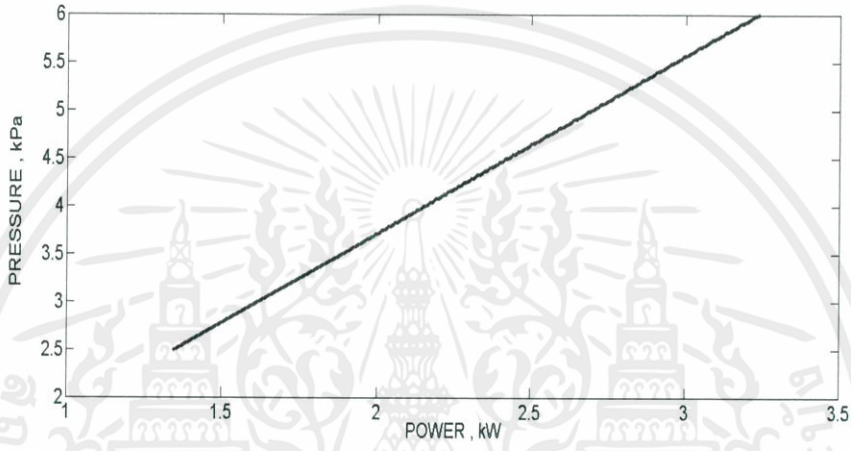


รูปที่ 4.10 ผลของความลึกร่องเกลียวที่มีต่อกำลังการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

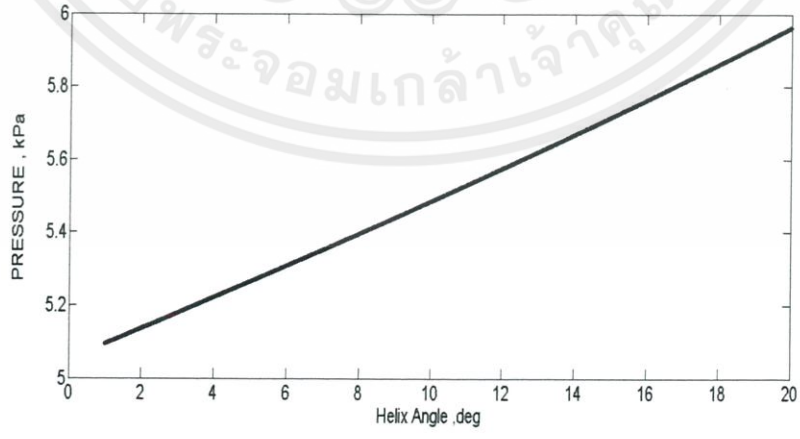
4.4.2.3 ผลการคำนวณเพื่อดูแนวโน้มของค่ามุมเกลียว

การคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่ามุมเกลียวที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการออกแบบเกลียว เริ่มต้นด้วยการหาความดันจากกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าที่สามารถทำได้จากผลการคำนวณ แสดงให้เห็นว่า ยิ่งกำลังไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้ความดันมีค่าสูงขึ้น แต่กำลังไฟฟ้าที่มากจนเกินไปจะไม่สามารถใช้ในการออกแบบได้ เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าที่เลือกจะมีค่ามากกว่ากำลังมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าไม่ได้ จึงเลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุด คือ 3.14 กิโลวัตต์ ซึ่งให้ความดันสูงสุดที่ 5.7 กิโลปาสคาล ได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลของกำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อความดัน

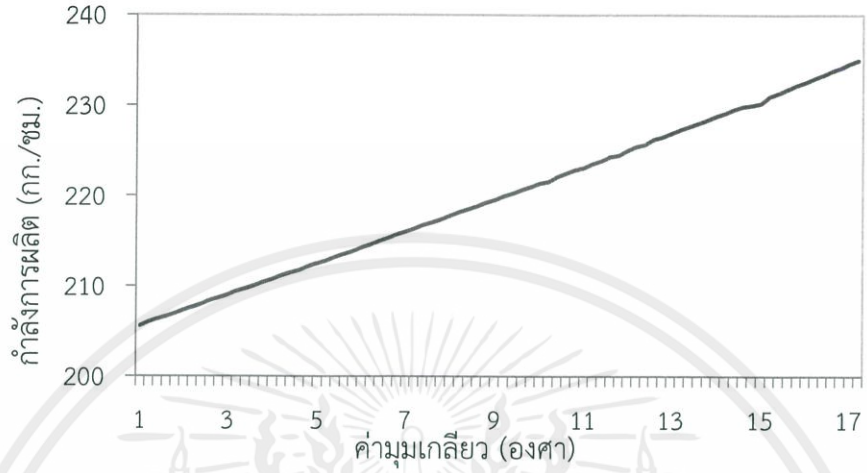
จากนั้น คำนวณหาค่ามุมเกลียวที่ส่งผลให้ความดันมีค่าไม่เกิน 5.7 กิโลปาสคาล จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ค่ามุมเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่ช่วงความดันที่เหมาะสมคือช่วงที่มีค่าต่ำกว่า 5.7 กิโลปาสคาล ดังนั้น ค่ามุมเกลียวที่เหมาะสมมีค่าไม่เกิน 17.4 องศา ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีต่อความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

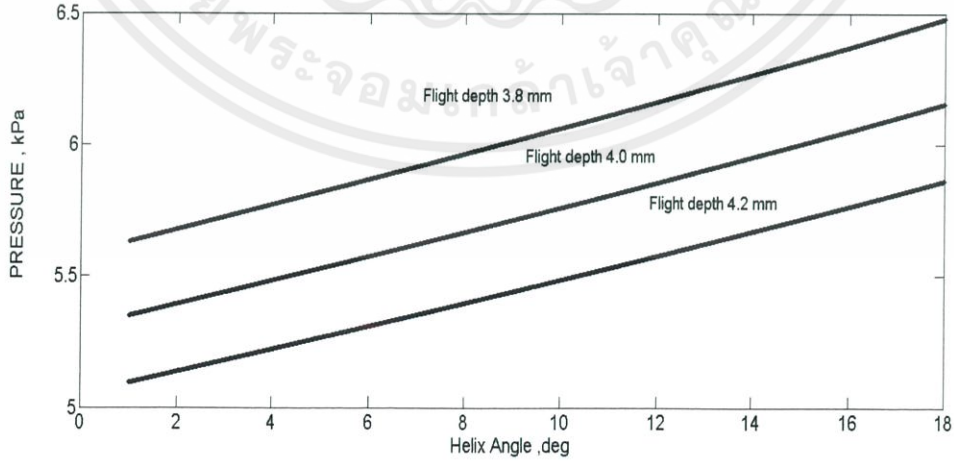
จากนั้น นำค่ามุมเกลียวในช่วง 1 – 17.4 องศา มาคำนวณเพื่อหาค่าของกำลังการผลิต ผลที่ได้ค่ามุมเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีต่อกำลังการผลิต

4.4.2.4 ผลการปรับแต่งตัวแปรเพื่อหาค่ากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น

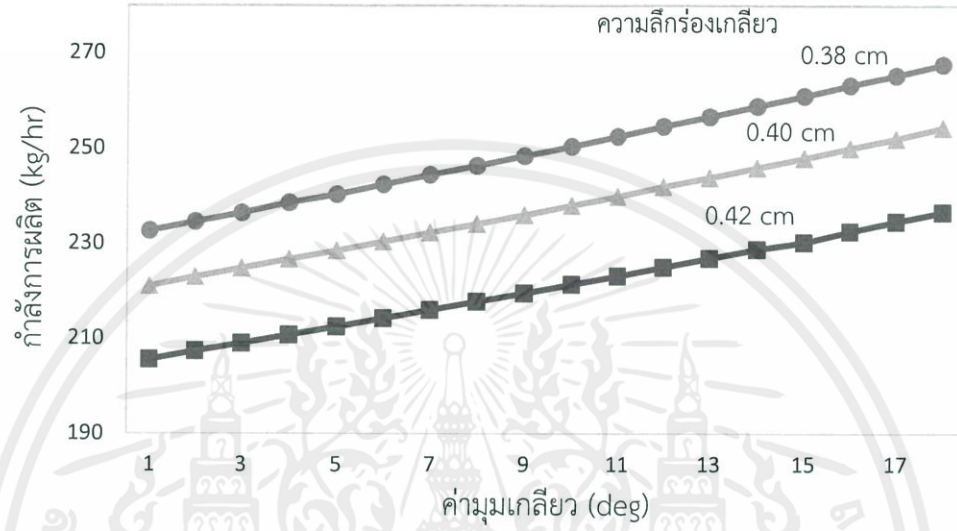
เมื่อได้ค่าตัวแปรเกลียวในช่วงที่เหมาะสม ได้แก่ ความลึกร่องเกลียว 3 – 4.2 มิลลิเมตร และค่ามุมเกลียว 1 – 17.4 องศา ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบลักษณะเกลียว มาคำนวณเพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความดัน ผลจากการคำนวณพบว่า ค่ามุมเกลียวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันเพิ่มขึ้นที่ความลึกร่องเกลียว 3.8, 4.0 และ 4.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ที่ความดันสูงสุดจะมีความลึกร่องเกลียวอยู่ที่ 3.8 มิลลิเมตร เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความดันสูงสุดที่ 5.7 กิโลปาสคาล ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีผลต่อความดันที่ความลึกร่องเกลียวต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความลึกร่องเกลียวและค่ามุมเกลียว ไปคำนวณหากำลังการผลิตของเครื่องจักร ผลจากการคำนวณแสดงให้เห็นว่า กำลังการผลิตสูงสุดที่เครื่องจักรสามารถทำได้และอยู่ในช่วงความดันที่เหมาะสม มีค่าตัวแปรเกลียว คือ ค่ามุมเกลียว 2.5 องศา และค่าความลึกร่องเกลียว 3.8 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ค่ากำลังการผลิต 235.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมงได้ผลดังรูป 4.15



รูปที่ 4.15 ผลของค่ามุมเกลียวที่มีผลต่อกำลังการผลิตที่ความลึกร่องเกลียวต่าง ๆ

การออกแบบเกลียวอัดโดยทั่วไปจะใช้ประสบการณ์ในการออกแบบ ด้วยการลองผิดลองถูกตามประสบการณ์และฝีมือของช่างฝีมือนั้นๆ ทำให้มีกำลังการผลิตน้อยกว่าที่ควร ถ้าหากออกแบบเกลียวอัดอย่างมีเหตุและผล ด้วยการศึกษาแนวโน้มจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อค้นหาตัวแปรปรับแต่งที่ทำให้กำลังการผลิตสูงขึ้นและตัวแปรที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบ คือ ค่าความลึกร่องเกลียวและค่ามุมเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย การค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การวางแผนและดำเนินการทดลองกับเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว การวิเคราะห์ผลการทดลอง การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว ด้วยวิธีการคำนวณจากค่าตัวแปรของลักษณะเกลียวได้แก่ ระยะพิตช์ (W) ความลึกร่องเกลียว (H) ค่ามุมเกลียว (θ) ความยาวเกลียว (L) ความยาวเกลียวช่วง ram section (L_s) เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (D_s) เส้นผ่านศูนย์กลางฐานเกลียว (d_s) เส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรล (D) ช่องว่างระหว่างสันเกลียวและบาร์เรล (δ) และความเร็วรอบของเพลา (N) ค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของกะทิ (ρ_c) และความหนาแน่นของมะพร้าวขูด (ρ_l) เพื่อนำผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ ศึกษาแนวโน้มในการออกแบบลักษณะเกลียวใหม่ที่ส่งผลให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการออกแบบเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ได้แก่ ความลึกร่องเกลียวและค่ามุมเกลียว ตามลำดับ ส่งผลทำให้เกิดความดันที่ปลายเกลียวมีค่าสูงขึ้น ความดันที่สูงขึ้นส่งผลให้กำลังการผลิตมีค่าสูงขึ้นด้วย

จากการผลข้างต้นพบว่า ความลึกร่องเกลียวที่ลดลงส่งผลให้ค่าความดันเพิ่มขึ้นในช่วง 3 – 7 มิลลิเมตร และค่ามุมเกลียวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความดันเพิ่มขึ้นเช่นกันในช่วงค่ามุมเกลียวไม่เกิน 17.4 องศา แต่ค่าความดันที่เพิ่มขึ้นต้องไม่ทำให้เกิดภาระเกินกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มอเตอร์ใช้ในการทำงานของเครื่องจักร

ค่ามุมเกลียวและค่าความลึกร่องเกลียวในการออกแบบที่เหมาะสม ควรมีค่ามุมเกลียว 2.5 องศา และความลึกร่องเกลียว 3.8 มิลลิเมตร ทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 212.18 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็น 235.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (เครื่องจักร B) การเพิ่มกำลังการผลิตนอกจากใช้เกลียวอัดที่ได้จากการออกแบบใหม่แล้ว ยังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตจากการเพิ่มความเร็วรอบ แต่เมื่อความเร็วรอบสูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติกะทิในทางลบ เช่น กะทิมีสีที่เข้มขึ้น การไหม้ของกากมะพร้าว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเกลียวของเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียวและสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบสำหรับเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องจักรได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองในเครื่องจักรขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถวัดค่าอัตราการไหลของกะทิตามตำแหน่งได้ จึงวัดเป็นค่าอัตราการการไหลรวม หรือ กำลังการผลิต (Q_r) แทน หากต้องการผลที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น อาจต้องใช้เครื่องใช้เครื่องมือทำการทดลองที่สามารถวัดค่าที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ชลลดา รักษาธรรม และ ณัฐพงศ์ คูณพงษ์. 2555. "การแปรรูปกะทิ." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม อาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณรงค์ โฉมเฉลา 2551. "มาใช้กะทิแทนนมกันเถอะ." เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2551.

ณัฐธิดา ห้าวหาญ. 2558. "มะพร้าว".

ทศพรพรรณ รัตนภักดี 2546. "การผลิตและอายุการเก็บรักษาน้ำกะทิดัดแปลงไขมันพาสเจอไรซ์." วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล มานิพพาน. 2548. **การเพาะปลูกและขยายพันธุ์มะพร้าว.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์เพชรกะรัต.

ปีย์ชนา สุโกศล. 2558. "การศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคั้นกะทิด้วยเครื่องคั้นกะทิแบบเกลียว."ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม อาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ศศิธร จารุสมบัติ. 2545. "พืชน้ำมัน."สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Adetola, O.A., Olajide, O. and Olalusi, A.P. 2014. "Development of a Screw Press for Palm Oil Extraction." **International Journal of Scientific& Engineering Research.** 5(7) : 1416-1422.

Allen S. Hall, Alfred R. Holowenko and Herman G. Laughlin. 1961. **SHAUM'S OUTLINE OF THEORY AND PROBLEMS OF MACHINE DESIGN.** New York : McGraw-Hill, Inc

Campbell, G.A. and Splading, M.A. 2013. **Troubleshooting and Analysis of Single-Screw Extruders.** New York : Carl Hanser Verlag GmbH & CO. KG.

Harper, J.M. 1981. "Extrusion of Foods." 1 : 47-91.

McCabe, W.L., and J.C. Smith. 1976. **Unit Operations of Chem- ical Engineering.** New Delhi : McGraw-HiU Kogakusha.

Mrema, G.C., and P.B. McNulty, J. 1985. "Agric. Eng." 31(361).

Olaniyan, A.M. 2010. "Development of a small scale orange juice extractor." **Journal of Food Science and Technology.** 47(1) : 105-108.

Olaniyan, A.M. and Obajemihi, O.I. 2014. "Design, Development and Test of a Small Scale Mango Juice Extractor." **Journal of Agricultural Science and Technology.** 4 : 1-7.

Simuang, J., Chiewchan, N. and Tansakul, A. 2004. "Effects of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk." **Journal of Food Engineering.** 64 : 193-197.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Singh, J. and Bargale, P.C. 2000. "Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression." **Journal of Food Engineering**. 43 : 75-82.

Solangi, A.H. and Iqbal, M.Z. 2011. "Chemical composition of meat (kernel) and nut water of major coconut (*COCOS NUCIFERA* L.) cultivars at Coastal area of Pakistan." **Pakistan Journal of Botany.** 43(1) : 357-363.

Schwartzberg, H.G., J.R. Rosenau and G. Richardson. 1977. "Am. Inst. Chem. Eng. Syrup." 73(167).

Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N. 2005. "Effect of heating and Homogenization on the Stability of Coconut Milk Emulsions." **Journal of food science.** 70(8) : 466-470.

Tansakul, A. and Chaisawang, P. 2006. "Thermophysical properties of coconut milk." **Jounal of Food Engineering**. 73 : 276-280.

Vadke, V.S., Sosulski, F.W. and Shook, C.A. 1998. "Mathematical Simulation of an Oilseed Press." **Journal of the American Oil Chemists'Society.** 65(10) : 1610-1616.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากเครื่องจักร A (Watt)

วินาที	กำลังไฟฟ้า		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	1466.10	1524.05	1535.64
1	1477.69	1500.87	1545.30
2	1504.74	1570.41	1531.78
3	1610.98	1553.03	1572.34
4	1597.45	1612.91	1645.74
5	1556.89	1709.49	1784.82
6	1539.51	1809.93	1815.73
7	1535.64	1817.66	1759.71
8	1578.14	1836.98	1717.21
9	1616.77	1798.34	1645.74
10	1591.66	1694.04	1591.66
11	1564.62	1661.20	1576.21
12	1549.16	1614.84	1545.30
13	1543.37	1554.96	1543.37
14	1533.71	1558.82	1529.85
15	1510.53	1543.37	1535.64
16	1508.60	1522.12	1527.92
17	1518.26	1535.64	1516.33
18	1495.08	1564.62	1510.53
19	1510.53	1576.21	1493.15
20	1518.26	1549.16	1473.83
21	1510.53	1556.89	1487.35
22	1495.08	1541.44	1458.38
23	1498.94	1545.30	1468.04
24	1510.53	1558.82	1489.28
25	1495.08	1539.51	1471.90
26	1473.83	1541.44	1493.15
27	1462.24	1553.03	1506.67
28	1458.38	1545.30	1483.49
29	1452.58	1535.64	1493.15
max	1616.77	1836.98	1815.73
Min	1452.58	1500.87	1458.38
average	1522.83	1600.87	1558.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากเครื่องจักร B (Watt)

วินาที	กำลังไฟฟ้า		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	2786.207	2782.28	2752.827
1	2788.17	2780.316	2774.426
2	2817.623	2790.134	2796.024
3	2829.404	2797.988	2786.207
4	2868.674	2815.659	2807.805
5	2864.747	2841.185	2797.988
6	2851.002	2823.513	2823.513
7	2854.929	2858.856	2813.696
8	2864.747	2847.075	2847.075
9	2854.929	2835.294	2835.294
10	2868.674	2860.82	2851.002
11	2864.747	2851.002	2858.856
12	2854.929	2854.929	2860.82
13	2864.747	2876.528	2849.039
14	2854.929	2886.345	2852.966
15	2825.477	2823.513	2831.367
16	2815.659	2809.769	2835.294
17	2819.586	2807.805	2821.55
18	2790.134	2817.623	2803.878
19	2786.207	2780.316	2807.805
20	2784.243	2786.207	2841.185
21	2772.462	2792.097	2847.075
22	2788.17	2815.659	2827.44
23	2823.513	2815.659	2841.185
24	2807.805	2778.353	2856.893
25	2807.805	2780.316	2827.44
26	2827.44	2772.462	2807.805
27	2796.024	2786.207	2813.696
28	2796.024	2801.915	2819.586
29	2805.842	2797.988	2833.331
30	2778.353	2770.499	2797.988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31	2794.061	2758.718	2758.718
32	2819.586	2772.462	2746.937
33	2796.024	2776.389	2744.973
34	2801.915	2748.9	2754.791
35	2829.404	2766.572	2758.718
36	2821.55	2750.864	-
37	2821.55	2770.499	-
38	2819.586	2760.681	-
39	2829.404	2778.353	-
40	2799.951	2774.426	-
41	2797.988	2768.535	-
42	2766.572	2776.389	-
43	2770.499	2758.718	-
44	2774.426	-	-
45	2772.462	-	-
46	2774.426	-	-
47	2764.608	-	-
48	2758.718	-	-
49	2758.718	-	-
50	2764.608	-	-
max	2868.674	2886.345	2860.82
min	2758.718	2748.9	2744.973
average	2810.77	2799.996	2813.477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากเครื่องจักร C (Watt)

วินาที	กำลังไฟฟ้า		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	2901.785	2849.158	2887.267
1	2930.821	2840.084	2894.526
2	2927.192	2845.528	2896.341
3	2930.821	2887.267	2921.748
4	2947.154	2898.156	2927.192
5	2936.266	2927.192	2934.451
6	2958.043	2941.71	2943.525
7	2970.746	2945.339	2930.821
8	2983.449	2963.487	2939.895
9	2985.264	2959.857	2934.451
10	2988.893	2947.154	2948.969
11	2997.967	2930.821	2981.634
12	2987.079	2923.562	2992.523
13	2985.264	2919.933	2996.152
14	2965.302	2910.859	2992.523
15	2961.672	2889.082	2999.782
16	2956.228	2885.453	2996.152
17	2950.784	2863.676	2983.449
18	2947.154	2876.379	2968.931
19	2925.377	2854.602	2954.413
20	2927.192	2856.417	2950.784
21	2909.044	2849.158	2930.821
22	2914.489	2858.231	2898.156
23	2921.748	2856.417	2894.526
24	2927.192	2861.861	2896.341
25	2894.526	2856.417	2914.489
26	2910.859	2852.787	2892.712
27	2916.303	2834.64	2883.638
28	2918.118	2845.528	2885.453
29	2899.971	2843.713	2885.453
30	2889.082	2829.195	2901.785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31	2890.897	2821.936	2890.897
32	2916.303	2850.972	2887.267
33	2910.859	2854.602	2865.49
34	2889.082	2829.195	2890.897
35	2898.156	2827.381	2885.453
36	2894.526	2838.269	2869.12
37	2916.303	2856.417	2850.972
38	2903.6	2865.49	2880.008
39	2887.267	2847.343	2880.008
40	2880.008	2858.231	2890.897
41	2905.415	2845.528	2889.082
42	2883.638	2856.417	2885.453
43	2898.156	-	2881.823
44	-	-	2885.453
max	2928.182	2873.382	2917.594
Min	2997.967	2963.487	2999.782
average	2880.008	2821.936	2850.972

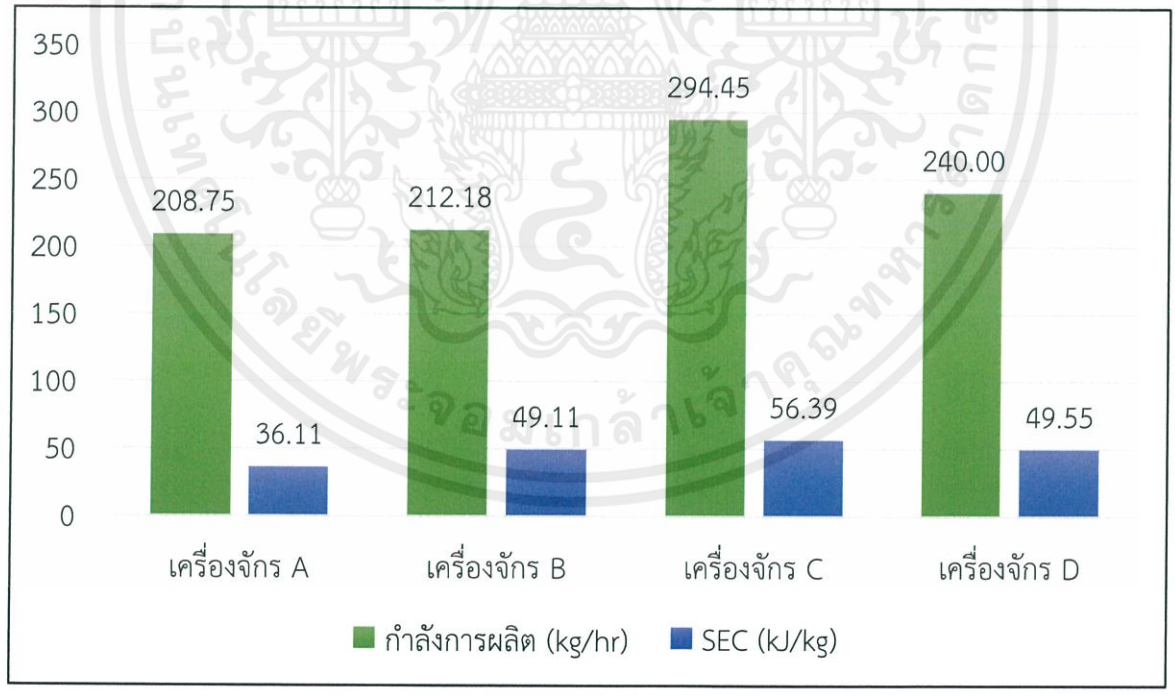
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากเครื่องจักร D (Watt)

	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3
0	3289.939	3276.206	3309.557
1	3311.518	3325.251	3344.869
2	3325.251	3305.633	3313.48
3	3309.557	3287.977	3344.869
4	3344.869	3325.251	3321.327
5	3333.098	3276.206	3372.334
6	3311.518	3321.327	3333.098
7	3287.977	3319.366	3305.633
8	3311.518	3280.13	3311.518
9	3327.213	3311.518	3315.442
10	3307.595	3274.244	3331.136
11	3280.13	3280.13	3321.327
12	3286.015	3325.251	3337.022
13	3297.786	3293.862	3344.869
14	3291.9	3325.251	3360.563
15	3307.595	3286.015	3337.022
16	3325.251	3325.251	3313.48
17	3295.824	3276.206	3319.366
18	3333.098	3321.327	3335.06
19	3291.9	3276.206	3319.366
20	3313.48	3327.213	3350.754
21	3291.9	3284.053	3317.404
22	3313.48	3325.251	3362.525
23	3286.015	3293.862	3331.136
24	3313.48	3335.06	3346.831
25	3325.251	3313.48	3319.366
26	3331.136	3280.13	3362.525
27	3331.136	3317.404	3317.404
28	3293.862	3293.862	3370.372
29	3305.633	3323.289	3321.327
30	3280.13	3286.015	3370.372
31	3327.213	3327.213	3350.754

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32	3313.48	3287.977	3333.098
33	3287.977	3333.098	3297.786
34	3319.366	3282.091	3311.518
35	-	3331.136	3321.327
36	-	3287.977	3311.518
37	-	3299.748	3340.945
38	-	3335.06	3303.671
39	-	3284.053	3340.945
40	-	3303.671	3299.748
41	-	3333.098	3337.022
42	-	-	3307.595
43	-	-	3295.824
max	3344.869	3335.06	3372.334
min	3280.13	3274.244	3295.824
average	3308.66	3304.699	3329.843



รูปที่ ก.1 แผนภูมิกำลังการผลิต และ Specific Energy Consumption ของแต่ละเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

หลักการคำนวณค่าความดันที่เกิดจากเกลียวด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีขั้นตอน ดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Matlab R2012a ในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
2. นำค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณที่มาจากการวัด ในสมการ เพื่อหาค่าแรงบิด ภาระเกลียวที่เกิดขึ้น และพื้นที่การบีบอัด
3. จากนั้น นำค่าแรงบิด ภาระเกลียวและพื้นที่การบีบอัด หาความดันที่เกิดขึ้นจากเกลียว
4. จากนั้น สามารถวิเคราะห์ผลพร้อมแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันในคำสั่ง for และ plot

```
clc
clear all
%From : Development of a Screw Press for Palm Oil Extraction
%(Adetola, O.A.,Olajide, O. and Olalusi, A.P. 2014.)
------------------------------------------------------------------------
%Input data
%T  = Torque transmitted by the screw shaft,N.m
%HA = helix angle*pi/180 ,degree
%h  = flight depth,m
%HE = thread angle*pi/180 , degree
%HA = 7.1*pi/180 ; %degree
%Dm = Average diameter of screw,m
%n  = Number of flight starts
%We = Load lifted by screw,N
%Ap = Compression area
HE = 15*pi/180 ;%degree
Dm = 0.1039 ;%Diameter (m)
T1 = 267.59 ;%N.m
n = 6 ;
h = 0.0043 ;%m
------------------------------------------------------------------------
%Calculation
   for  h = 0.002:0.0001:0.04
  HA = 7.1*pi/180 ;

       T = T1 ;
         lfra = atan(tan(HE)*cos(HA));
    We = T*((((Dm/2)*tan(HA))+(0.15/cos(lfra)))/(1-
(0.15*tan(HA)*cos(lfra)))) ;
    Ap = pi*Dm*n*h ;
    We = T*((((Dm/2)*tan(HA))+(0.15/cos(lfra)))/(1-
(0.15*tan(HA)*cos(lfra)))) ;

    P = We/(Ap*1000) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    HA1 = HA*180/pi ;
    h1 = h*100;
    disp(['P: ' num2str(P) ', and H: ' num2str(h1)]);
   %fprintf ('\n%f at HA = %f deg',P,tan(HA));
    plot(h1,P,'.k'), xlabel('Helix Angle,deg'),ylabel('PRESSURE
,Pa'),title('Relative of Helix angle and Pressure')
    hold on
   end
   % plot(h1,P), xlabel('Helix Angle'),ylabel('Flow rate of coconut
milk'),title('Helix angle and Flow rate of coconut milk')

   % hold on
```

หลักการคำนวณเพื่อหากำลังการผลิตของเครื่องจักรด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Matlab R2012a ในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
2. นำค่าตัวแปรต่างๆของเกลียวพร้อมคุณสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ แทนค่าในสมการคำนวณ
3. จากนั้น เข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณ เพื่อหาค่ากำลังการผลิต
4. วิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรและแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อค่ากำลังการผลิต
5. ใช้คำสั่ง for และ plot เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ทำให้กำลังการผลิตมีค่าสูงขึ้น

```
% From: Mathematical Simulation of an Oilseed Press (Vadke et al.,
1988)
clc
clear all
%Input data geometry of screw
W =  0.031 ;              %flight width at ram section (m)
H =  0.00515 ;            %flight depth at ram section(m)
HA = 7.1*pi/180;          %Helix angle at ram section
D = 13.35/100 ;           %Diameter of barrel (m)
cr =  0.0007 ;            %The clearance between the shaft flight and the
barrel surface(m)
n= 0.851 ;                %The Power-law index of semi-solid
N = 1.716 ;               %Rotation speed  , rps
P = 5401.53 ;             %The pressure exerted by shaft, Pa
rhol = 905.7 ;            %The density of coconut milk, kg/m3
rhoc = 1313.77 ;          %The density of semi-solid, kg/m3
rhos = 331.1 ;            %The density of grated coconut, kg/m3
-------------------------------------------------------------------------
visc = 0.01*((pi*D*N*(cos(HA)/H))^n-1);  %The viscosity of semi-solid,
Pa.s
fd = 1-(0.487*n^2-0.948*n+0.972)*(H/W);  %The shape factor for drag
flow
fps = 1 - (0.949*n^2-1.87*n+1.59)*(H/W); %The shape factor for pressure
flow
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fpd = 0.98 ;                                    %The correction factor for
average viscosity in pressure flow
x = 54 ;                                        %length of sharft at 0 to 54
resis = (4.3*10^9)+(0.8*10^3*P) ;               %The specific filtration
resistance
visl = 0.99 ;                                   %The viscosity of coconut
milk, Pa.s
F = 0.1952 ;                                    %Oil content
ms = 2.433 ;                                    %The mass of solid in worm
chanel per unit area of barrel, kg/m2
-------------------------------------------------------------------------
      %Calculation

   A      =  pi*D*W*(H-cr)*N*cos(HA)*fd/2;          %1st term of the
outward flow of liquid calculation
   B      = ((H^3)*W*fpd*fps)/((12*n*visc)*(P/x));  %2nd term of the
outward flow of liquid calculation
   Qx = A-B ;                                      %total flow rate of
coconut cake
   %Qr = (pi*D*54*P)/resis*visl*ms ;
   Qr = (Qx*rhoc)/rhol ;
   %Qxx = Qx*rhoc ;
   %Qrr = Qr*rhol ;
   fprintf ('Flow rate of coconut cake %.7f  m^3/s at %f\n',Qx);
   fprintf ('\nFlow rate of coconut milk %.7f  m^3/s at %f\n',Qr);
   plot(P,Qx), xlabel('Distance'),ylabel('Pressure'),title('Pressure
and X')
   hold on


%Calculation Modify
i = 0 ;
 for  HA = 1*pi/180:0.1*pi/180:30*pi/180
   i = i+1 ;
     visc = 0.01*((pi*D*N*(cos(HA)/H))^n-1);
     A      = pi*D*W*(H-cr)*N*cos(HA)*fd/2;   %1st term of the outward
flow of liquid calculation
     B      = ((H^3)*W*fpd*fps)/((12*n*visc)*(P/x));   %2nd term of
the outward flow of liquid calculation
     Qx = A-B ; %total flow rate of coconut cake
     %Qr = (pi*D*54*P)/resis*visl*ms ;
      Qr = (Qx*rhoc)/rhol ;
     %Qxx = Qx*rhoc*3600 ;
      Qrr = Qr*rhol*3600 ;
      HA1 = HA*180/pi ;

=========================================================================
  %Result
    ResultQr(i,1) = Qrr;
    ResuttP(i,1) = P;
    fprintf ('Flow rate of coconut cake %.7f  m^3/s at %f\n',Qx);
    fprintf ('\nFlow rate of coconut milk %.7f  m^3/s at %f\n',Qr);
    plot(P,Qx), xlabel('Distance'),ylabel('Pressure'),title('Pressure
and X')
    hold on
 end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รูปที่ ค.1 ภาพการทดลองในเครื่องจักร A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.2 ภาพการทดลองในเครื่องจักร B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.3 ภาพการทดลองในเครื่องจักร C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.4 ภาพการทดลองในเครื่องจักร D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้