การปรับสภาพเบื้องต้นของงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เพื่อการสกัดน้ำมัน

Fluidized bed microwave pretreatments for perilla oil extraction

นายธนโชติ สร้างการนอก รหัสนิสิต 60361798

นายภาคภูมิ ศรีนิล รหัสนิสิต 60363655

นายอภิเชษฐ์ คำหยุ่น รหัสนิสิต 60365642

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2563

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การปรับสภาพเบื้องต้นของงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบดไมโครเวฟ เพื่อการสกัดน้ำมัน

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายธนโชติ สร้างการนอก	รหัสนิสิต 60361798
นายภาคภูมิ ศรีนิล	รหัสนิสิต 60363655
นายอภิเชษฐ์ คำหยุ่น	รหัสนิสิต 60365642

ที่ปรึกษาโครงงาน รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ
(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การปรับสภาพเบื้องต้นของงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบดไมโครเวฟเพื่อการสกัดน้ำมัน	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายธนโชติ สร้างการนอก	รหัสนิสิต 60361798
	นายภาคภูมิ ศรีนิล	รหัสนิสิต 60363655
	นายอภิเชษฐ์ คำหยุ่น	รหัสนิสิต 60365642
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2563	

บทคัดย่อ

น้ำมันงาขี้ม่อนเป็นน้ำมันธรรมชาติที่อยู่ในเมล็ดงาขี้ม่อน และมีคุณค่าสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายอย่าง จึงนิยมใช้ในการบริโภค รวมไปถึงการใช้ในการแพทย์ต่าง ๆ สำหรับการทดลองครั้งแรกจะสกัดน้ำมันโดยไม่มีการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ จะใช้กระบอกอัดไฮดรอลิกเป็นเครื่องมือในการสกัดเย็นน้ำมันงาขี้ม่อน และใช้เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ที่ติดตั้งโหลดเซลล์ไว้เพื่อเป็นตัวส่งแรงกดลงไปยังกระบอกอัด ในการทดลองครั้งที่สองจะใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟเป็นตัวกระตุ้นเมล็ดงาขี้ม่อนก่อนที่ทำการทดลอง โดยจะกระตุ้นที่กำลังไฟ 200, 400 และ600 วัตต์ ตามลำดับ เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ตามลำดับ ซึ่งในการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันของตัวแปรต่าง ๆ จะใช้ความดันที่ 15, 20 และ25 เมกะปาสคาล ใช้เมล็ดงาขี้ม่อนจำนวน 20 กรัม สำหรับการอัดแต่ละครั้งและอัดค้างไว้ 10 นาที เมื่อความดันถึงค่าที่กำหนด จากนั้นบันทึกผลการทดลอง ผลจากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันของตัวแปรต่าง ๆ ทางสถิติ พบว่า กำลังวัตต์ เวลา และความดันส่งผลต่อปริมาณน้ำมัน เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความดันในการบีบอัดจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันงาขี้ม่อนที่ได้เพิ่มมากขึ้น แต่จะมีความดันในบางระดับที่ได้ปริมาณน้ำมันที่น้อยลง โดยการสกัดน้ำมันด้วยกระบอกไฮดรอลิกจะได้ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ยสูงสุด 5.86 กรัม ซึ่งมีการกระตุ้นที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล และปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ยต่ำสุด 4.79 กรัม ซึ่งมีการกระตุ้นที่กำลังไฟ 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ที่ความดัน 15 เมกกะปาสคาล

Project Title	Fluidized bed microwave pretreatments for perilla oil extraction		
Name	Mr. Thanachot	Srangkarnnok	ID 60361798
	Mr. Phakphum	Srinil	ID 60363655
	Mr. Apichet	Kamyoom	ID 60365642
Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Patomsok Wilaipon		
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2021		

Abstract

Perilla sesame oil is a natural oil found in the sesame seeds. It contains several nutrients that are beneficial to human body. So, it is commonly used for consumption including medical application. For the first experiment, the oil was extracted from seeds without Fluidized-bed microwave pre-treatment. A hydraulic compression cylinder was used as the tool for cold extraction of sesame oil. A universal force tester equipped with a load cell was utilized to deliver the force to the compression cylinder. Then, for the second experiment, Fluidized bed microwave adapted from a domestic microwave was used to stimulate the sesame seeds before the extraction. It was activated at rated power of 200, 400 and 600 watts for 3, 5 and 7 minutes, respectively. After that, three levels of pressure (15, 20 and 25 MPa) were applied for the compression process. Twenty grams of sesame seeds was used for each compression. The applied pressure was hold for 10 minutes after reaching the set value. The results from statistical comparisons of oil quantity show that the oil content was affected by wattage, time and pressure. As the compression pressure increased, the amount of perilla sesame oil extracted was increased. But there was a certain level of pressure that had a lower amount of oil. By extracting the oil with a hydraulic cylinder, the maximum average oil volume was 5.86 grams, which was actuated at 600 watts of power for 7 minutes at 25 MPa. In addition, the lowest average oil volume was 4.79 grams. which was produced from 200 watts, 3 minutes and 15 MPa condition.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านคำแนะนำในการทำโครงงาน จาก รองศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์ และรองศาสตราจารย์ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษา เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรมมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

ขอขอบพระคุณนาย ชัชชัย อินเขียน ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษา เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองโครงงาน

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ ด้วย

นายธนโชติ สร้างการนอก

นายภาคภูมิ ศรีนิล

นายอภิเชษฐ์ คำหยุ่น

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตของโครงงาน	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับขี้ม่อน	5
2.2 การสกัดน้ำมัน	6
2.3 การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Microwave pretreatment)	8
2.4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UNIVERSAL TESTING MACHINE)	8
2.5 วรรณกรรมปริทรรศน์	9

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	12
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	12
3.2 กระบวนการสกัดน้ำมันแบบไม่มีการกระตุ้นและแบบมีการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ	20
3.3 ขั้นตอนในการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	22
4.1 อิทธิพลของความดันต่อปริมาณน้ำมันงาขี้ม่อนจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก	22
4.2 ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิกที่ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ	25
4.3 อิทธิพลของกำลังไฟ และเวลา ต่อปริมาณน้ำมันจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก โดยผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ	28
4.4 อิทธิพลของกำลังไฟ และเวลา ต่อปริมาณน้ำมันจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก โดยผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ	31
4.5 ลักษณะสีของน้ำมันงาขี้ม่อนที่เปลี่ยนแปลงหลังจากไม่ได้ผ่านการกระตุ้นและผ่าน การกระตุ้นของฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก ก	58
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	4
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของไมโครเวฟ ยี่ห้อ SHARP รุ่น R-220	14
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ BPS INSTRUMENT รุ่น BA-25	19
ตารางที่ ก1 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกโดยไม่มีการกระตุ้นที่ความดัน 15, 20 และ 25 เมกะปาสคาล	59
ตารางที่ ก2 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที ความร้อน 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล	59
ตารางที่ ก3 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที ความร้อน 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล	60
ตารางที่ ก4 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที ความร้อน 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล	60
ตารางที่ ก5 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที ความร้อน 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล	61
ตารางที่ ก6 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที ความร้อน 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล	61
ตารางที่ ก7 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที ความร้อน 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล	62

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ ก8 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที ความร้อน 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล 62

ตารางที่ ก9 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที ความร้อน 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล 63

ตารางที่ ก10 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที ความร้อน 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล 63

ตารางที่ ก11 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบดไมโครเวฟ เวลา 3 นาที 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 64

ตารางที่ ก12 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 64

ตารางที่ ก13 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 65

ตารางที่ ก14 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 65

ตารางที่ ก15 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 66

ตารางที่ ก16 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 66

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ ก17 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 67

ตารางที่ ก18 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 67

ตารางที่ ก19 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับแบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล 68

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เมล็ดงาขี้ม่อน	5
รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์	9
รูปที่ 3.1 เครื่องเป่าลม (blower)	13
รูปที่ 3.2 ไมโครเวฟ	13
รูปที่ 3.3 ขวดแก้ว	14
รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมจอแสดงผล	15
รูปที่ 3.5 กระบอกอัดไฮดรอลิก	15
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM)	16
รูปที่ 3.7 หัวกดเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM)	17
รูปที่ 3.8 โปรแกรม DOLI Test & Motion เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing	17
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอิทธิพลของความดันในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 200 วัตต์และเวลาในการกระตุ้นต่อปริมาณน้ำมัน	22
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอิทธิพลของความดันในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 400 วัตต์และเวลาในการกระตุ้นต่อปริมาณน้ำมัน	23
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอิทธิพลของความดันในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 600 วัตต์และเวลาในการกระตุ้นต่อปริมาณน้ำมัน	24
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบการกระตุ้นโดยใช้กำลังไฟที่ 200 วัตต์	25
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นโดยใช้กำลังไฟที่ 400 วัตต์	26
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้นกับแบบมีการกระตุ้นโดยใช้กำลังไฟที่ 600 วัตต์	27
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอิทธิพลของเวลาในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 200 วัตต์และความดัน ในการอัดต่อปริมาณน้ำมัน	28
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอิทธิพลของเวลาในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 400 วัตต์และความดัน ในการอัดต่อปริมาณน้ำมัน	29

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอิทธิพลของเวลาในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 600 วัตต์และความดันในการอัดต่อปริมาณน้ำมัน	30
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาทีและความดันในการอัดต่อปริมาณน้ำมัน	31
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 5 นาทีและความดันในการอัดต่อปริมาณน้ำมัน	32
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟในการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 7 นาทีและความดันในการอัดต่อปริมาณน้ำมัน	33
รูปที่ 4.13 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ	34
รูปที่ 4.14 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ	34
รูปที่ 4.15 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ	35
รูปที่ 4.16 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์เป็นเวลา 3 นาที	36
รูปที่ 4.17 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์เป็นเวลา 5 นาที	36
รูปที่ 4.18 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์เป็นเวลา 7 นาที	37
รูปที่ 4.19 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์เป็นเวลา 3 นาที	38
รูปที่ 4.20 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์เป็นเวลา 5 นาที	38
รูปที่ 4.21 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์เป็นเวลา 7 นาที	39
รูปที่ 4.22 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์เป็นเวลา 3 นาที	40

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.23 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	40
รูปที่ 4.24 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	41
รูปที่ 4.25 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 3นาที	42
รูปที่ 4.26 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	42
รูปที่ 4.27 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	43
รูปที่ 4.28 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที	44
รูปที่ 4.29 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	44
รูปที่ 4.30 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	45
รูปที่ 4.31 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที	46
รูปที่ 4.32 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	46
รูปที่ 4.33 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	47
รูปที่ 4.34 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 3นาที	48
รูปที่ 4.35 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	48

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.36 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	49
รูปที่ 4.37 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที	50
รูปที่ 4.38 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	50
รูปที่ 4.39 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	51
รูปที่ 4.40 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที	52
รูปที่ 4.41 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที	52
รูปที่ 4.42 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที	53

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

งา เป็นพืชน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย เป็นพืชที่ปลูกง่ายใช้การลงทุนในการปลูกน้อยสามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีปลูกได้ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าวหรือพืชไร่หลัก สามารถสร้างเสริมรายได้ให้แก่เกษตรกรงาจัดเป็นธัญพืชขนาดเล็กที่นิยมใช้สกัดน้ำมันสำหรับประโยชน์ในหลายด้าน เช่น น้ำมันประกอบอาหาร และ น้ำมันสำหรับผลิตยา เนื่องจากน้ำมันที่สกัดได้มีกลิ่นหอม และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

น้ำมันสกัดจากเมล็ดงาขี้ม่อน มีน้ำมันสูง ประมาณ 31-51 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA) น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม่อนมีประโยชน์หลายอย่าง งาขี้ม่อนเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่ดีเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง น้ำมันสกัดจากเมล็ดงาขี้ม่อนนำมาใช้เป็นอาหารและใช้ทำยาได้ ช่วยป้องกันโรคได้หลายโรค เมล็ดงาขี้ม่อนมีโปรตีน 18-25 เปอร์เซ็นต์ วิตามินบีและแคลเซียมสูงกว่าพืชผัก 40 เท่า โดยมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 410-485 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และฟอสฟอรัสมากกว่าพืชผักทั่วไป 20 เท่า งาขี้ม่อนเป็นพืชชนิดเดียวที่มีโอเมก้า 3, 6 และ 9 ซึ่งมีมากกว่าน้ำมันปลา 2 เท่า เนยเทียมที่ผลิตจากน้ำมันงาขี้ม่อนเป็นผลิตภัณฑ์อาหารใหม่สุดที่มีความปลอดภัยสูง เพราะปราศจากไขมันทรานส์

หลักการให้ความร้อน การประกอบอาหารด้วยเตาไมโครเวฟนี้ แตกต่างจากการประกอบอาหารด้วยเตาอบธรรมดา คือ เตาอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตาอบแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน คือ การนำ การพาและการแผ่รังสี แต่เตาไมโครเวฟทำให้อาหารสุก โดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานจลน์นี้เองจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าการประกอบอาหารด้วยระบบอื่น ๆโดยไม่เสียพลังงานความร้อน

จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าสารอาหารบางตัวในงาสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ซึ่งสารอาหารในงาที่ถูกทำลายด้วยความร้อนมี วิตามินบี เซซามิน และโอเมก้า-3 (Omega-3) ทั้งนี้ยังพบว่ามีสารอาหารบางตัวที่ไม่ถูกทำลายแต่จะถูกลดคุณค่าทางโภชนาการลงด้วยความร้อนสารอาหารที่ถูกลดคุณค่าทางโภชนาการได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และโอเมก้า-6 (Omega-6) สารบางตัวที่ถูกลดคุณค่าทางสารอาหารอาจเปลี่ยนเป็นสารก่อมะเร็งได้

เนื่องจากการศึกษาและสืบค้นเรื่องการสกัดน้ำมันจากพืช พบว่า ก่อนการสกัดน้ำมันจากพืชนั้น มีการนำพืชไปให้ความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด โดยมีการให้ความร้อนหลายวิธี ผู้จัดทำได้สนใจ การให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำมันที่ได้จากพืชและผู้จัดทำได้เลือกใช้ งาขี้ม่อนในการสกัดน้ำมัน เพราะงาขี้ม่อนนั้น สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดและงาขี้ม่อนมีสรรพคุณที่เป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภค ทุกส่วนของงาขี้ม่อนยังมีประโยชน์และสรรพคุณที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำมาใช้

ซึ่งการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ (Fluidized bed Microwave heating) เป็นการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ แต่จะมีความแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟธรรมดาอยู่ที่การให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ จะกระจายความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากจะมีลมที่ทำให้เมล็ดงาขี้ม่อนลอยไปมาภายในเครื่องไมโครเวฟ ทำให้ความร้อนกระจายทั้งพื้นผิวของเมล็ดงาขี้ม่อน ส่วนการให้ความร้อนไมโครเวฟแบบธรรมดา จะเป็นการนำเมล็ดงาขี้ม่อนวางไว้บนถาดแล้วหมุนทำให้ความร้อนกระจายได้ไม่เท่ากันทั้งพื้นผิว โดยความร้อนจะเริ่มจากตรงกลางของเมล็ดงาขี้ม่อน อาจส่งผลให้เมล็ดงาขี้ม่อนไหม้ได้

ผู้จัดทำได้ศึกษาและทดลอง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัดนั้นจากการให้ความร้อนแบบวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ กับ วิธีที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ โดยหวังว่าผลของการทดลองนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ที่สนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้หลังจากให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ (Fluidized bed Microwave heating) และการสกัดแบบไม่ผ่านการให้ความร้อน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบวิธีการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยการกระตุ้นให้ความร้อนโดยฟลูอิดไดซ์เบดไมโครเวฟ ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม่อน

1.3.2 ผู้ที่สนใจในการกระตุ้นให้ความร้อนก่อนการสกัดน้ำมัน สามารถนำหลักการให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ (Fluidized bed Microwave heating) ไปพัฒนาและต่อยอด

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 เครื่องให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ

ก. กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟที่ใช้ในการกระตุ้น 3 ตัวแปร คือ 200, 400 และ600 วัตต์

ข. เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนของแต่ละกำลังวัตต์ 3 ตัวแปร คือ 3, 5 และ7 นาที

ค. กำหนดแรงลมไว้ที่ 1,456 ฟุตต่อนาที

1.4.2 ใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Universal Testing Machine (UTM) ในการบีบอัดน้ำมันจากงาขี้ม่อนผ่านกระบอกอัดไฮดรอลิก

ก. ใช้กำลังในการบีบอัด 3 ตัวแปร คือ 15, 20 และ25 เมกะปาสคาล

ข. ทำการอัดกระบอกไฮดรอลิกค้างไว้เป็นเวลา 10 นาที

1.4.3 ใช้งาขี้ม่อนเป็นพืชในการบีบอัดน้ำมัน

1.4.4 เป็นการสกัดน้ำมันในระดับห้องปฏิบัติการ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาข้อมูลงาขี้ม่อน และทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการสกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิก

1.5.2 เลือกตัวแปรที่จะทำการทดลองที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ออกมา

1.5.3 ดำเนินการทดลอง

1.5.4 นำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์

1.5.5 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2562			2563		2564			
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงาขี้ม่อน และทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการสกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิก									
2.เลือกตัวแปรที่จะทำการทดลองที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ออกมา									
3.ดำเนินการทดลอง									
4.นำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์									
5.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

อุปกรณ์ในการทำการทดลอง 2,000 บาท

จัดทำรูปเล่ม 1,000 บาท

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับงาขี้ม่อน

2.1.1 ลักษณะของเมล็ดงาขี้ม่อน

รูปที่ 2.1 เมล็ดงาขี้ม่อน
(ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ : ไม้ล้มลุก ตั้งตรง สูง 50 – 150 เซนติเมตร ลำต้นเป็นสี่เหลี่ยมมน ระหว่างเหลี่ยมเป็นร่อง แตกกิ่งก้านสาขา มีกลิ่นหอม มีขนยาวละเอียดสีขาวปกคลุมหนาแน่น เมื่อโตเต็มที่ส่วนโคนต้น และโคนกิ่งแข็ง

ใบเดี่ยวออกตรงข้าม รูปไข่ หรือกลม กว้าง 2 – 8 เซนติเมตร ยาว 3 – 9.5 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม หรือ แหลมเป็นติ่งยาว โคนใบกลม ป้าน หรือตัดขอบใบจักแบบฟันเลื่อย สีเขียวอ่อน ด้านล่างสีอ่อนกว่าด้านบน มีขนทั้งสองด้าน ตามเส้นใบมีขนหนาแน่น ด้านล่างมีต่อมน้ำมัน ก้านใบยาว 10 – 45 มิลลิเมตร มีขนยาวหนาแน่น

ดอก จะออกเป็นลักษณะช่อกระจะ ตามง่ามใบ และที่ยอด ริ้วประดับดอกย่อยรูปไข่ กว้าง 2.5 – 3.2 มิลลิเมตร ยาว 3 – 4 มิลลิเมตร ไม่มีก้าน โคนริ้วประดับกลมกว้าง ขอบเรียบ มีขน ปลายเรียวแหลม ด้านดอกย่อยยาวประมาณ 1.5 มิลลิเมตร มีขนสีขาวปกคลุมหนาแน่น กลีบเลี้ยง

เชื่อมติดกันเป็นรูประฆัง ยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ปลายแยกเป็นแฉกแหลม 5 แฉก โดยแฉกกลางด้านบนสั้นกว่าแฉกอื่น ๆ มีเส้นตามยาว 10 เส้น ด้านนอกมีขนและมีต่อมน้ำมัน ด้านในมีขนยาวเรียงเป็นวงรอบปากหลอด เมื่อดอกเจริญไปเป็นผลแล้ว กลีบเลี้ยงจะใหญ่ขึ้น กลีบดอกสีขาว เชื่อมติดกันเป็นหลอดทรงกระบอก ปลายแยกเป็นปาก ยาว 3.5 – 4 มิลลิเมตร ด้านนอกมีขนด้านในมีขนเรียงเป็นวงอยู่กึ่งกลางหลอดปากบนปลายเว้าเล็กน้อย ปากล่างมี 3 หยักปลายมนหยักกลางใหญ่กว่าหยักอื่น ๆ และเฉพาะหยักนี้ด้านในมีขน เวลาดอกบานกลีบนี้จะกางออก เกสรเพศผู้มี 4 อัน เรียงเป็นคู่ คู่บนสั้นกว่าคู่ล่างเล็กน้อย ก้านเกสรเกลี้ยง อับเรณูมี 2 พู ด้านบนติดกันด้านล่างกางออก จานดอกเห็นชัด รังไข่ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร มีพูกลม ๆ 4 พู ก้านเกสรเพศเมีย ยาว 2.6 – 3 มิลลิเมตร ปลายแยกเป็น 2 แฉก ไม่มีขน ผล รูปไข่กลับ ขนาดเล็ก ยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร แข็ง สีน้ำตาลหรือสีเทา มีลายรูปตาข่าย

2.2 การสกัดน้ำมัน

เป็นการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชน้ำมันโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีการหลักๆ 2 วิธี ได้แก่ การสกัดเชิงกล และการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

2.2.1 การสกัดเชิงกล (mechanical extraction)

คือการใช้แรงเชิงกลบีบอัดเมล็ดพืชน้ำมัน โดยวิธีการบีบอัดน้ำมันมี 2 แบบ คือ การบีบอัดแบบเย็น (cold pressing) และการบีบอัดแบบร้อน (hot pressing)

ก. การบีบอัดแบบเย็น (cold pressing)

เป็นการแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบที่เราสกัดออกมา โดยสกัดออกมาจากส่วนต่าง ๆ ของวัตถุดิบนั้น การสกัดเย็นจะได้น้ำมันจากส่วนที่นำมาสกัด โดยอาศัยขั้นตอนบีบอัดที่ 60 องศาเซลเซียสโดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วนำส่วนของน้ำมันบริสุทธิ์มาใช้งาน หรืออาจจะใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือแรงดันสูงเพื่อช่วยบีบหรือกดน้ำมันออกมาสกัดงาขี้ม่อนแบบต่าง ๆ งาขี้ม่อน ที่เป็นพืชตระกูลเดียวกับสะระแหน่หรือมิ้นต์ เมล็ดงาขี้ม่อนมีส่วนประกอบของน้ำมัน 38-45 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง การสกัดน้ำมันจึงนิยมสกัดจากเมล็ดเป็นหลัก น้ำมัน

ที่สกัดจากเมล็ดงาขี้ม่อน จะมีสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอมและมีรสชาติเฉพาะตัว การสกัดน้ำมันงาขี้ม่อนทั่วไปที่เราทำกันคือ การบดหรือการบีบ เพื่อให้น้ำมันไหลออกจากเมล็ด โดยมีกรรมวิธีบดหรือบีบที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับเครื่องจักรที่ใช้ โดยมากในประเทศไทยการสกัดน้ำมันงาขี้ม่อนจะมีอยู่ 2 วิธี

- การบดโดยใช้สกรู (Screw Press)

ข้อดีของการบดด้วยสกรู คือ เครื่องจักรไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการสกัดน้ำมัน แต่จะมีข้อเสียอยู่อย่างหนึ่ง คือ การบดมักจะทำให้เกิดความร้อนสูง หากตั้งเครื่องสกัดน้ำมันให้สกรูและตัวรับมีช่องว่างน้อยเกินไป ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณค่าทางอาหารของน้ำมันที่ได้ เพราะน้ำมันงาขี้ม่อนมีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ตัวกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับความร้อนได้ง่าย ส่งผลให้น้ำมันสูญเสียคุณค่าทางอาหารและเสื่อมคุณภาพลงได้

- การบีบโดยใช้ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press)

ข้อดีของการสกัดน้ำมันด้วยการบีบหรือใช้ระบบไฮดรอลิก คือ ความร้อนในกระบวนการบีบเมล็ดพืชเพื่อสกัดน้ำมันมีค่อนข้างน้อย ทำให้น้ำมันที่ได้ค่อนข้างที่จะมีคุณค่าทางอาหารสูงหรือมีคุณภาพค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับการสกัดน้ำมันโดยใช้สกรู แต่จะมีข้อเสียคือ ปริมาณน้ำมันที่ได้อาจจะน้อยกว่าการบดด้วยสกรู ถ้าเปรียบเทียบโดยใช้วัตถุดิบน้ำหนักเท่ากัน เช่น

เมล็ดงาม่อน 1 กิโลกรัม ใช้วิธีสกัดน้ำมันโดยใช้สกรู จะได้น้ำมัน 400 กรัม

เมล็ดงาม่อน 1 กิโลกรัม ใช้วิธีสกัดน้ำมันโดยใช้ไฮดรอลิก จะได้น้ำมัน 300 กรัม

ข. การบีบอัดแบบร้อน (hot pressing)

จะใช้อุณหภูมิในการสกัดมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณเยอะกว่าการสกัดเย็นเป็นอย่างมาก กากที่เหลือจากการบีบเย็นจะนำมาทำตามขั้นตอนต่อไปโดยใช้การสกัดร้อน ซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก หรือเครื่องอัดแบบเกลียวอัด

2.2.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตน้ำมันพืชเพื่อใช้ในการบริโภค เพราะจะให้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าวิธีการสกัดเชิงกล ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ อะซิโทน และเฮกเซน หลังจากที่สกัดเสร็จแล้ว ก็จะนำน้ำมันที่สกัดได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออก

2.3 การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Microwave pretreatment)

การให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ แตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยเตาอบธรรมดา คือ เตาอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตาอบแก๊ส หรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน คือการนำ การพา และการแผ่รังสี แต่เตาไมโครเวฟทำให้อาหารสุก โดยคลื่นไมโครเวฟ ที่มีความถี่สูง ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือน และชนโมเลกุลอื่น ๆ จนเกิดเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์จะสลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว โดยไม่เสียพลังงานความร้อน

2.4 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงประเภท static load test ให้แรงทดสอบคงที่ต่อชิ้นงานที่ทดสอบ ใช้ทดสอบความต้านทานต่อแรงที่กระทำของวัสดุทั้งแรงดึง แรงอัด แรงดัดขวางและแรงเฉือน โดยจะมีปากสำหรับจับชิ้นงานอยู่ 2 ส่วน ส่วนที่ 1 จะยึดติดกับแท่นเครื่อง ส่วนที่ 2 ยึดติดกับตัววัดแรง (load cell) ทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยแรงที่ใช้สำหรับทดสอบจะต้องอยู่ในลักษณะที่ควบคุมได้ และความเร็วที่ต้องการ ค่าที่วัดออกมาจะถูกแปลงค่าเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อประมวลผลเป็น load และ displacement ที่เกิดขึ้นกับชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N)

รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM)

ที่มา : http://thai.professionaltestequipment.com

2.5 วรรณกรรมปริทรรศน์

Edgar Uquiche.และคณะ. (2008). ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ได้จัดทำโครงงานวิจัยเรื่อง Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (Gevuina avellana Mol) โดยการนำเมล็ดเฮเซลนัท ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 15 ชั่วโมงเพื่อให้น้ำหนักของเฮเซลนัทคงที่ การสกัดเมล็ดเฮเซลนัทประมาณ 20 กรัม ใช้สารละลายเฮกเซนในการสกัด จึงเลือกใช้เครื่องระเหยแบบหมุนในการสกัดเฮเซลนัท ใช้เวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการปรับสภาพความชื้นของเมล็ดเฮเซลนัทด้วยเครื่องไมโครเวฟ โดยจะใช้เครื่องที่มีกำลังไฟฟ้าอยู่ 2 ระดับ คือ 400 และ600 วัตต์ ใช้เวลาในการปรับสภาพ 180, 210 และ240 วินาที ตามลำดับ ต่อมานำไปสกัดก่อนที่จะสกัดจะต้องลดอุณหภูมิลงให้เย็นก่อน แล้วนำเมล็ดเฮเซลนัทไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในการสกัดจะใช้วิธีการกดโดยไฮดรอลิก ครั้งละ 60 กรัม ด้วยความดัน 7.1 เมกะปาสคาล เวลา 5 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง ได้น้ำมันดิบมาจะต้องนำไปเข้าเครื่องหมุนและกรอง Hermle โดยใช้ความเร็วในการหมุน 3500 รอบต่อนาที เวลาในการหมุน 20 นาที และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส โดยใช้ไนโตรเจน เมล็ดเฮเซลนัทจะมีความชื้น 7.9 กรัม H2O / 100 กรัม และน้ำมัน 46.53 กรัมน้ำมัน / 100 กรัม การปรับสภาพความชื้นด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400W

เวลา 240 วินาที จะได้น้ำมันเท่ากับ 45.3 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจาก สกัดน้ำมันออกมาได้เยอะที่สุด ในขณะเดียวกันการปรับสภาพความชื้นด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600W เวลา 240 วินาที จะทำให้เมล็ดเฮเซลนัทมีความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากใช้เวลาและความร้อนค่อนข้างสูง

Hosain darvishi (2015) ได้ศึกษาลักษณะความต้องการพลังงานสำหรับการอบแห้งเมล็ดถั่วเหลืองด้วยไมโครเวฟ – ฟลูอิดไดซ์เบด ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิอากาศ (80–140 องศาเซลเซียส), ความเร็ว (1.8–4.5 เมตรต่อวินาที) และพลังงานไมโครเวฟ (200–500 วัตต์) มีผลต่อเวลาการอบแห้ง, การกระจายความชื้น, ความสามารถในการคืนความชุ่มชื้น, การแตกร้าว ที่ 200 วัตต์ การเพิ่มขึ้นของพลังงานไมโครเวฟ และการลดลงของระดับความเร็วอากาศลดความสามารถในการคืนความชุ่มชื้น การใช้พลังงานเฉพาะแตกต่างกันไปจากน้ำ 50.94 ถึง 338.76 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และการใช้พลังงานจำเพาะต่ำสุดคือ 80 องศาเซลเซียล, 4.5 เมตรต่อวินาที และ500 วัตต์

พัชรินทร์ ตาด้วง และ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล (2555) ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้งเมล็ดงา ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขของการ อบแห้งที่ความหนาเบด 1, 2 และ3 เซนติเมตรของเมล็ดงา (น้ำหนัก 100, 200 และ300 กรัม) อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง คือ 45, 50, 55 และ60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยของอากาศร้อนที่ เหมาะสมขณะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบดในห้องอบเท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาทีและที่ความหนาเบด 3 เซนติเมตร เมล็ดงาจะถูกอบให้แห้งจากความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เหลือความชื้นสุดท้าย 4 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบเท่ากับ 55, 45, 40 และ35 นาที ตามลำดับ

ร้อยทิศ ญาติเจริญ และ วัชรินทร์ ดงบัง (2558) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอบแห้งถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบถังหมุน โดยอบแห้งแบบเป็นงวด อุณหภูมิที่ศึกษาแบ่งเป็น 3 ระดับคือ 60, 70 และ80 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของลมร้อนอยู่ที่ 0.09, 0.10 และ0.11 กิโลกรัมต่อวินาที ฝักถั่วลิสงมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก ต้องการอบแห้งให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก ผลการ ทดลองพบว่า อุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหลของลมร้อนมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการอบแห้งและคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลงและถั่วมีสีเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับสีของถั่วที่ผ่านการตากแดด อัตราส่วนการอบแห้งได้ฟิตเข้ากับแบบจำลองของ Lewis และ Page พบว่าแบบจำลองทั้ง 2 สามารถ อธิบายพฤติการการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยของ พรทิพย์ กาศสุวรรณ และ คณะ (2561) ได้ศึกษาทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะละกอด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟช่วยสกัดที่มีประสิทธิภาพ

และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองโดยออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตน้ำมัน 3 ปัจจัย คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (X1) กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ (X2) และอัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย (X3) ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2.32 นาที กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 800 วัตต์ และใช้อัตราส่วนระหว่างเมล็ดมะละกอต่อตัวทำละลาย 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในสภาวะดังกล่าวทำให้ได้ปริมาณผลผลิตน้ำมัน 28 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R2) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 0.974 ,86.2 เปอร์เซ็นต์

นายธนพล เจริญศรี และคณะ (2558) ได้ศึกษาอิทธิพลของความดัน และอุณหภูมิต่ออัตราการผลิตน้ำมันงาดำสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก โดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิกเป็นเครื่องมือในการ สกัดเย็นน้ำมันงาดำ และใช้เครื่อง UTM ที่ติดตั้งโหลดเซลล์ไว้ เป็นตัวส่งกำลังแรงกดลงไปยังกระบอกอัด ซึ่งในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ จะใช้ตัวความดันที่ 20, 40 และ60 เมกะปาสคาล และ ตัวแปรอุณหภูมิที่ 40, 50 และ60 องศาเซลเซียส ใช้เมล็ดงาดำจำนวน 10 กรัมสำหรับการอัดแต่ละครั้ง และอัดค้างไว้ 10 นาทีเมื่อความดันถึงค่าที่กำหนด จากนั้นบันทึกผลการทดลอง ผลจากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิและความดันส่งผลต่ออัตราการผลิตน้ำมันที่ระดับ นัยสำคัญ (α) 0.01 ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความต้นในการทดลองจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันงาดำที่ได้ เพิ่มมากขึ้น และในขณะเดียวกันเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการทดลองขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันงาดำมีค่าลดน้อยลง โดยการสกัดน้ำมันด้วยกระบอกไฮดรอลิกจะได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 39.67 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด คิดเป็นร้อยละ 96.23 ของน้ำมันในเมล็ด ที่ความดัน 60 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำมันเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 26.03 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ด คิดเป็นร้อยละ 63.15 ของน้ำมันในเมล็ด ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในการทำการทดลองการกระตุ้นงาขี้ม่อนด้วย ฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ คณะผู้จัดทำได้ทำรูปแบบการกระตุ้นงาขี้ม่อนและวิธีการทดลองไว้ดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องเป่าลม (blower)

3.1.2 ไมโครเวฟ

3.1.3 ขวดแก้ว

3.1.4 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมจอแสดงผล

3.1.5 กระบอกอัดไฮดรอลิก

3.1.6 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์

3.1.1 เครื่องเป่าลม (blower)

เครื่องเป่าลมยี่ห้อ VENZ รุ่น SC-164 มีกำลังไฟ 186.4 วัตต์หรือ 1/4 แรงม้า ความเร็วรอบมอเตอร์ 1450 รอบต่อนาที นำมาใช้เป็นตัวช่วยในการปล่อยลมทำงาขึ้ม่อนให้ลอยขึ้น โดยจะต่อเข้ากับตัวกระบอกใส่งาที่ทำขึ้น เพื่อให้งาให้งาขึ้ม่อนได้รับความร้อนจากไมโครเวฟอย่างทั่วถึง

รูปที่ 3.1 เครื่องเป่าลม (blower)

3.1.2 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟทำหน้าที่เป็นเครื่องอบอาหาร ในการทดลองได้นำเครื่องไมโครเวฟไปทำการดัดแปลงโดยการเจาะรูและต่อท่อลมเพิ่ม ทำให้เป็นระบบ fluidized drying เพื่อที่จะนำมากระตุ้นเมล็ดงาให้ง่ายต่อการสกัดน้ำมัน

รูปที่ 3.2 ไมโครเวฟ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของไมโครเวฟ ยี่ห้อ SHARP รุ่น R-220

รายละเอียดของไมโครเวฟ ยี่ห้อ SHARP รุ่น R-220	
ความจุ	22 ลิตร (0.77 คิวบิกฟุต)
แรงดันไฟฟ้า	220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์
กำลังไฟฟ้าที่เข้า	1.25 กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ออก	800 วัตต์
ความถี่คลื่น	2,450 เมกกะเฮิรตซ์
น้ำหนัก	12 กิโลกรัม
ขนาดภายนอก(กxสxล)	460x275x380 มิลลิเมตร

3.1.3 ขวดแก้ว

เป็นภาชนะที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ ในการทดลองนี้ได้ใช้เป็นขวดแก้วในการบรรจุงาขี้ม่อนที่นำไปกระตุ้นด้วยไมโครเวฟ โดยขวดแก้วมีความสูง 21.4 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 6.8 ซม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่าง 3.4 ซม.

รูปที่ 3.3 ขวดแก้ว

3.1.4 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมจอแสดงผล

เครื่องชั่งดิจิตอลยี่ห้อ OHAUS รุ่น SPX4 22 สามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ 420 กรัม มีความละเอียดอยู่ที่ 0.01 กรัม ถูกใช้ในการชั่งน้ำหนักของปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเย็นแบบไฮดรอลิก และปริมาณงาขี้ม่อนที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมจอแสดงผล

3.1.5 กระบอกอัดไฮดรอลิก

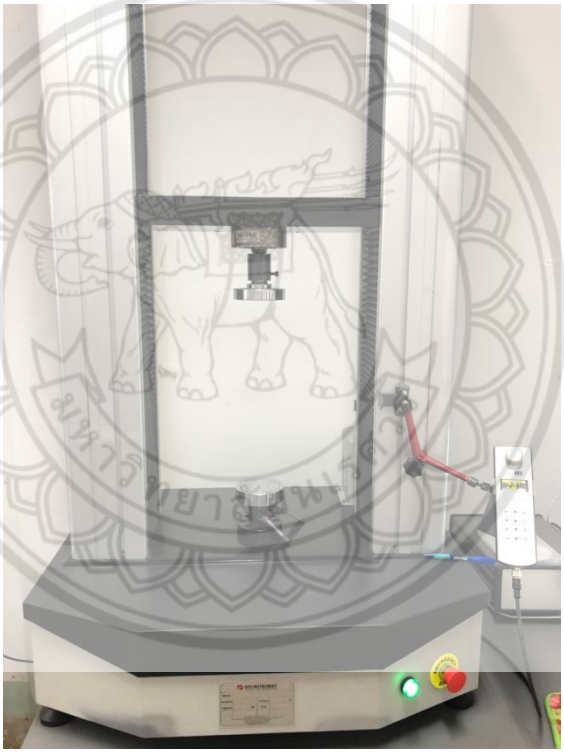
เป็นกระบอกที่ใช้สำหรับใส่งาขี้ม่อนในปริมาณ 20 กรัม โดยจะนำมาใช้สกัดน้ำมันที่ใช้แรงกดจากเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ กระบอกไฮดรอลิกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร และมีความหนา 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.5 กระบอกอัดไฮดรอลิก

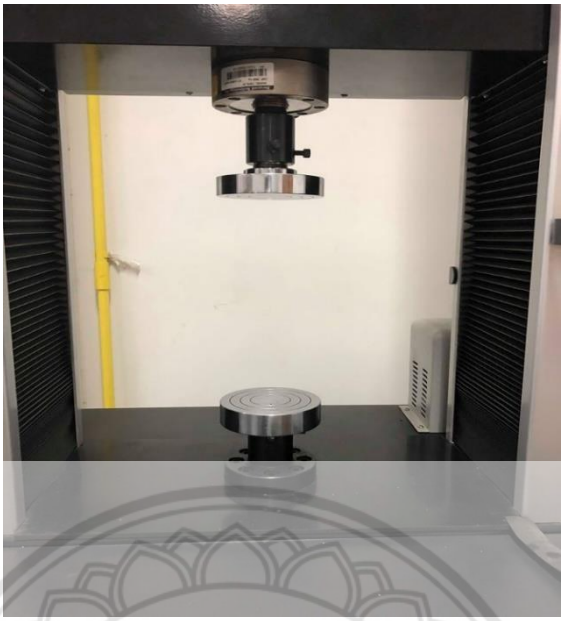
3.1.6 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM)

เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ UNIVERSAL TESTING MACHINE BA-25 Serial No. 010 Voltage 220 V. Capacity 25 KN เป็นเครื่องทดสอบแรงประเภท static load test ให้แรงทดสอบคงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ ใช้ทดสอบความต้านทานต่อแรงกระทำของวัสดุ ทั้งแรงดึง, แรงอัด, แรงตัดขวาง และแรงเฉือน เมื่อนำชิ้นทดสอบมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบ และให้ load cell ออกแรงกระทำต่อชิ้นทดสอบ strain gauge ใน load cell จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างและแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าเพื่อประมวลผลเป็น load และ displacement ที่เกิดขึ้นกับชิ้นทดสอบ

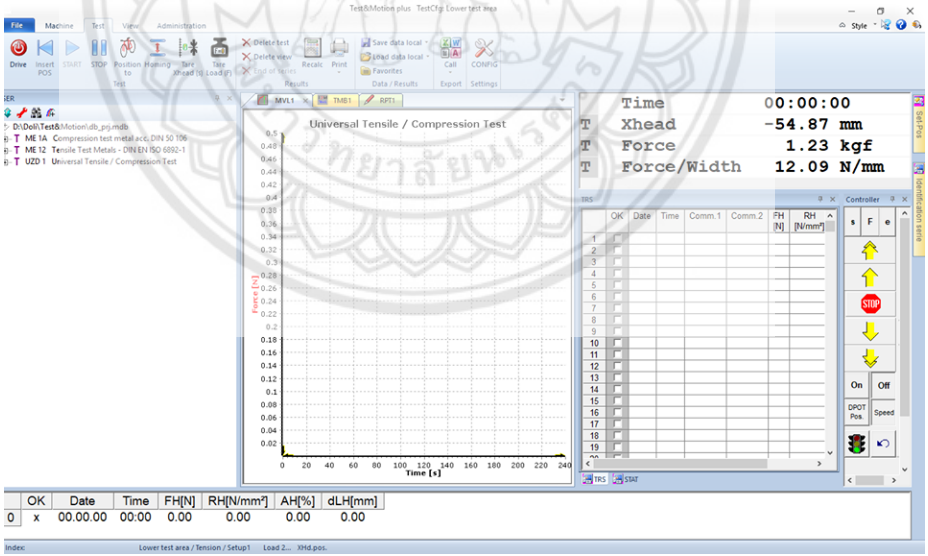
/



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM)



รูปที่ 3.7 หัวกดเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM)

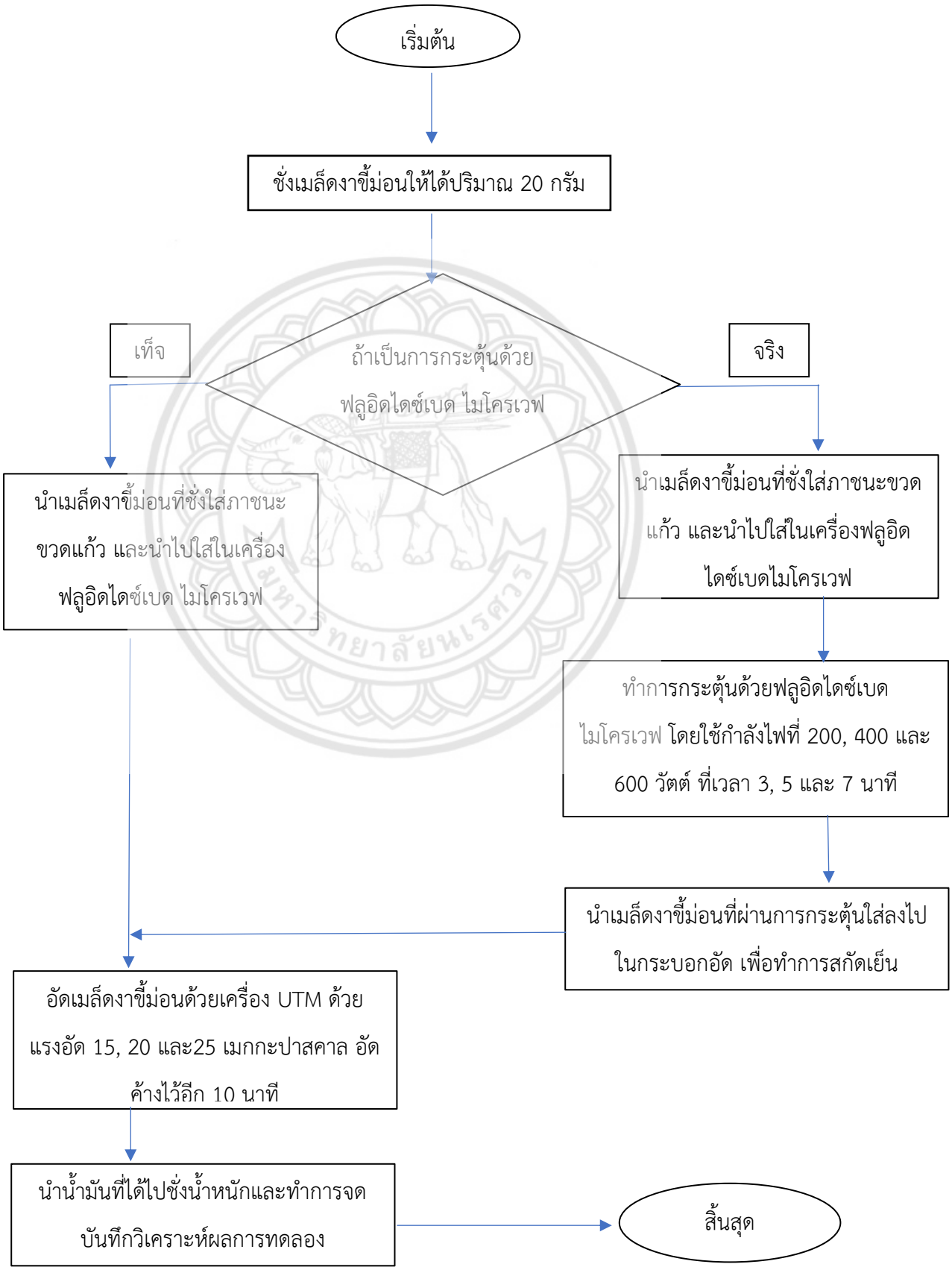


รูปที่ 3.8 โปรแกรม DOLI Test & Motion เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine,UTM)

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของเครื่องทดสอบแรงดึง แรงกด ยี่ห้อ BPS INSTRUMENT รุ่น BA-25

Maximum Testing Force (kN)	25
Maximum Testing Force (kN)	450
Speed Range (mm/min)	0.001 - 1000
Machine Configuration	Table or cabinet
Compression Plate (mm)	100
Load Cell (N)	25000 Pancake type
Tensile Grip	Wedge Grip (With system for support pneumatic grip)
Jaws (mm)	Round specimen 3-5, 5-10, - 8-15 Flat specimen 0-15
Bending Flexure Distance (mm)	35 ~ 300
Test Space (mm)	1000
Displacement Resolution (mm)	0.001
Load range	1%-100%FS (0.4%-100%FS optional)
Operating conditions	Ambient Temperature -40℃, Humidity 20%-80%
Clamping Type	Wedge grip Ø 8-15 mm.
Load Accuracy	±0.2%
Power	220 ±10V, 50Hz, 1 Phase
Compression Plate (mm)	Φ 100

3.2 กระบวนการสกัดน้ำมันแบบไม่มีการกระตุ้น และแบบมีการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบดไมโครเวฟ



3.3 ขั้นตอนในการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนการกระตุ้นฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ

ก. นำเมล็ดงาขี้ม่อนที่ซื้อได้จากตามท้องตลาดมาชั่งน้ำหนักให้ได้ปริมาณ 20 กรัมต่อการทดลอง 1 ครั้ง

ข. นำงาขี้ม่อนที่ชั่งใส่ขวดแก้วแล้วไปทำการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟที่กำลังไฟ 200, 400 และ600 วัตต์ ที่เวลา 3, 5 และ7 นาที ตามลำดับ

3.3.2 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดเย็นแบบไฮดรอลิก

ก. นำงาขี้ม่อนที่ได้ไปทำการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ ใส่ลงไปในกระบอกอัด

ข. ทำการประกอบเครื่องอัดกระบอกไฮดรอลิกและทำการตรวจสอบเครื่องอัดก่อนที่จะใช้งาน

ค. ตั้งค่าแรงและความเร็ว โดยใช้โปรแกรมที่มากับเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM) ในการควบคุม และกำหนดแรงดันที่ใช้ ในการอัดที่ 15, 20 และ25 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยการตั้งค่าความเร็วและแรงในการอัดจะตั้งค่าในโปรแกรมที่มากับเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM) ใส่ค่า F_0 เท่ากับ 20 นิวตัน (แรงที่ใช้ในการอัด หน่วย นิวตัน) และV_0 ที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที (ค่าความเร็วที่ใช้ในการอัด หน่วย มิลลิเมตรต่อนาที)

ง. ทำการสกัดเย็นแบบไฮดรอลิกโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Universal testing machine (UTM) เป็นอุปกรณ์ให้แรงอัด ตามค่าที่ได้กำหนด

จ. ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักน้ำมันที่ได้จากการสกัด

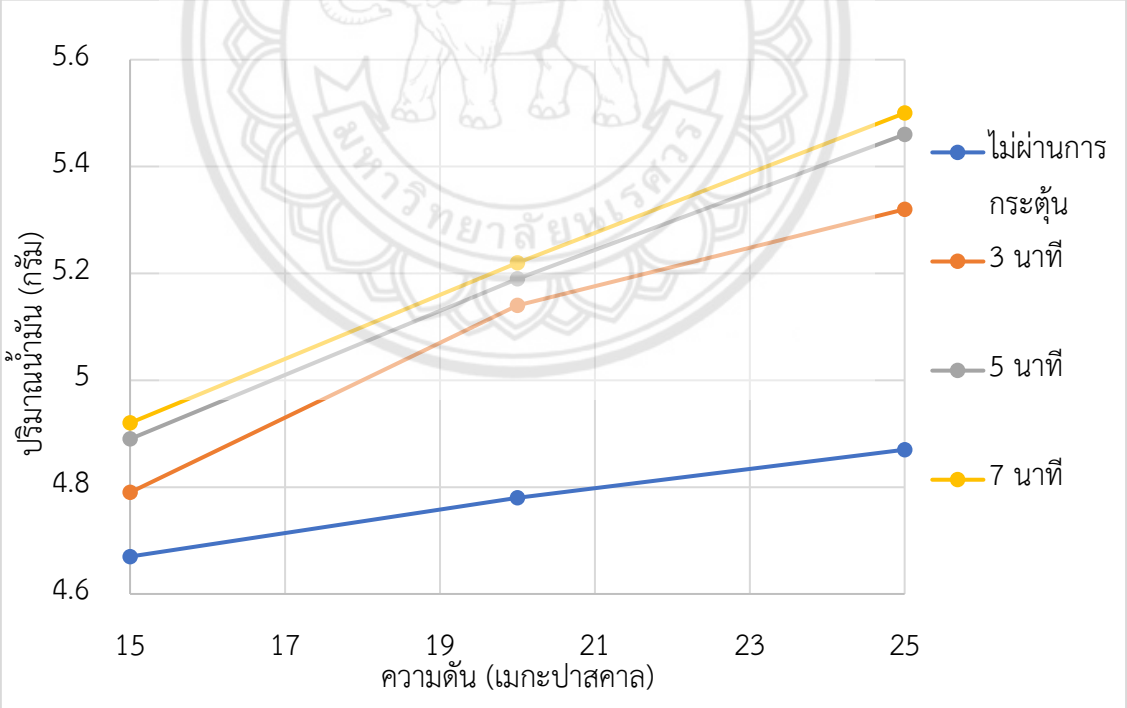
ฉ. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟและวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

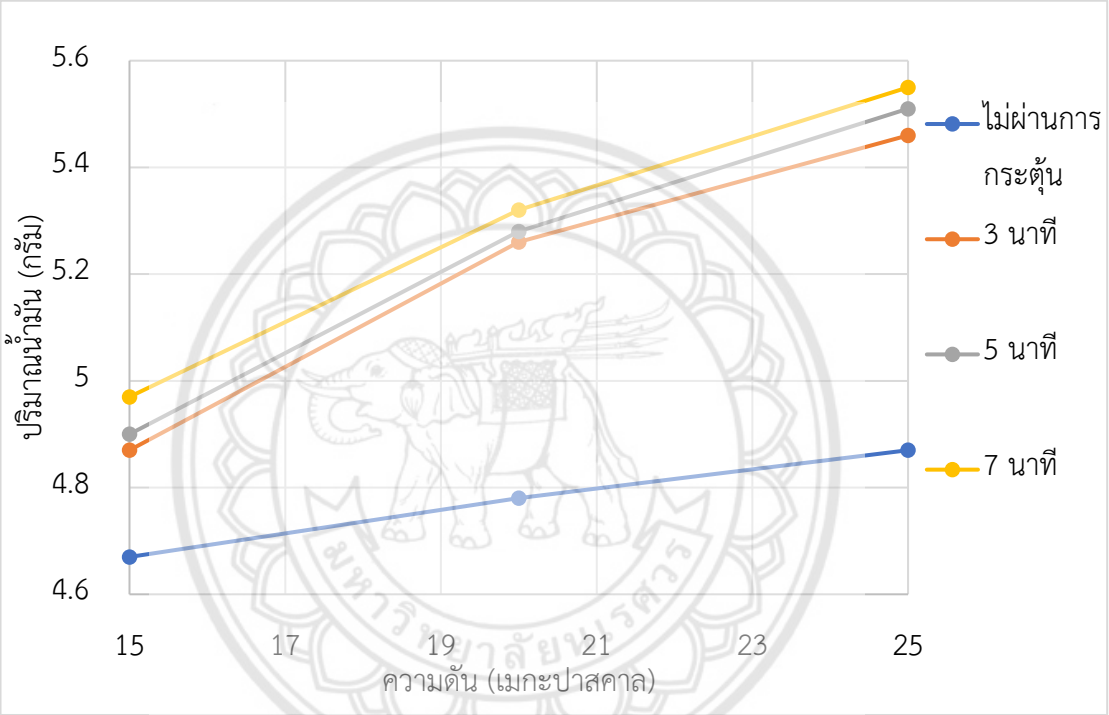
4.1 อิทธิพลของความดันต่อปริมาณน้ำมันงาขี้ม่อนจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก

การสกัดน้ำมันงาขี้ม่อนโดยกระบอกอัดไฮดรอลิก ที่มีการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบดไมโครเวฟ ในแต่ละระดับที่ต่างกัน ปริมาณน้ำมันที่ได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอิทธิของความดัน ที่ใช้ในการทดลอง โดยนำผลการทดลองที่ได้ทำการจดบันทึกและเขียนกราฟได้ดังนี้



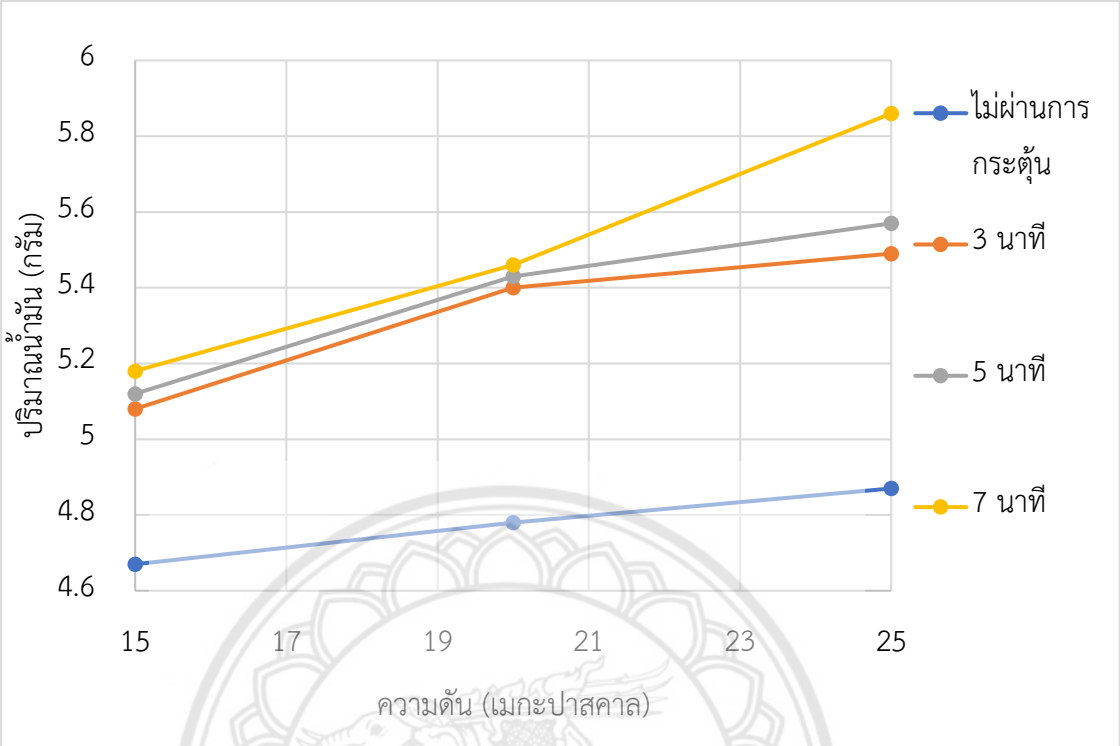
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอิทธิพลของความดัน 15, 20 และ25 เมกะปาสคาล กับ เวลาในการกระตุ้น 3, 5 และ7 นาที ต่อปริมาณน้ำมัน โดยใช้กำลังไฟ 200 วัตต์

จากรูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบความดันที่ใช้ในการบีบ และเวลาในการกระตุ้น ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ พบว่า เมื่อเพิ่มความดันในการบีบที่มากขึ้น และเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.50 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 4.79 กรัม



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอิทธิพลของความดัน 15, 20 และ25 เมกะปาสคาล กับ เวลาในการกระตุ้น 3, 5 และ7 นาที ต่อปริมาณน้ำมัน โดยใช้กำลังไฟ 400 วัตต์

จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบความดันที่ใช้ในการบีบ และเวลาในการกระตุ้น ที่กำลังไฟ 400 วัตต์ พบว่า เมื่อเพิ่มความดันในการบีบที่มากขึ้น และเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.55 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 4.87 กรัม



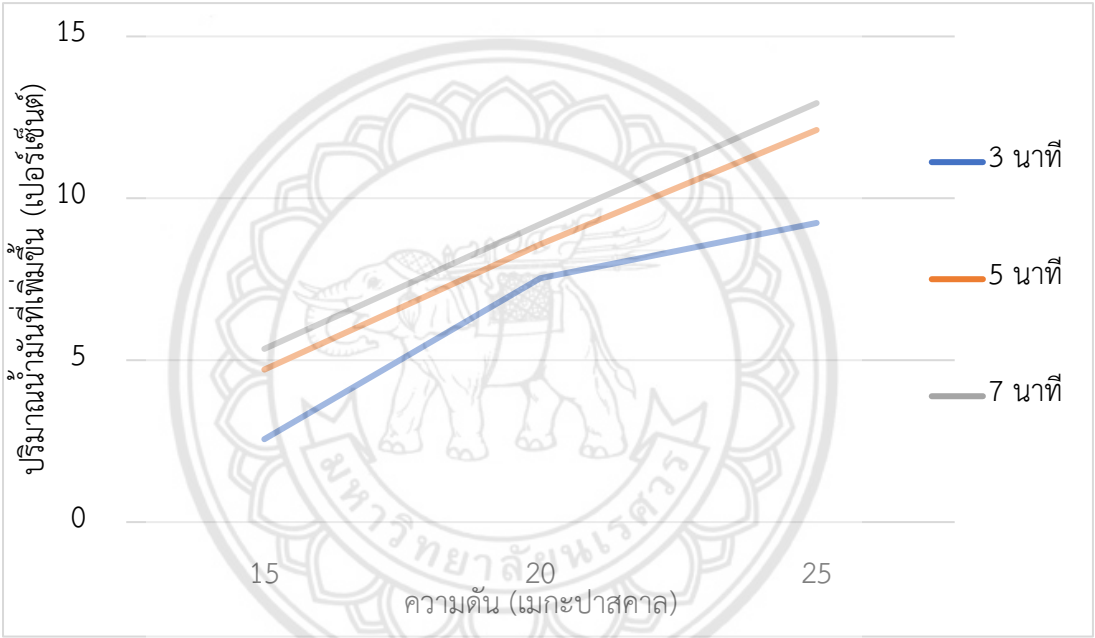
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอิทธิพลของความดัน 15, 20 และ25 เมกะปาสคาล กับ เวลาในการกระตุ้น 3, 5 และ7 นาที ต่อปริมาณน้ำมัน โดยใช้กำลังไฟ 600 วัตต์

จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบความดันที่ใช้ในการบีบ และเวลาในการกระตุ้น ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ พบว่า เมื่อเพิ่มความดันในการบีบที่มากขึ้น และเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.86 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.08 กรัม

เมื่อนำรูปที่ 4.1, 4.2 และ4.3 มาเปรียบเทียบกัน พบว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้นและเวลาเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อความดันลดลงและเวลาลดลงจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดลงอีกด้วย ดังนั้น ความดันที่ใช้ในการบีบและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำมัน

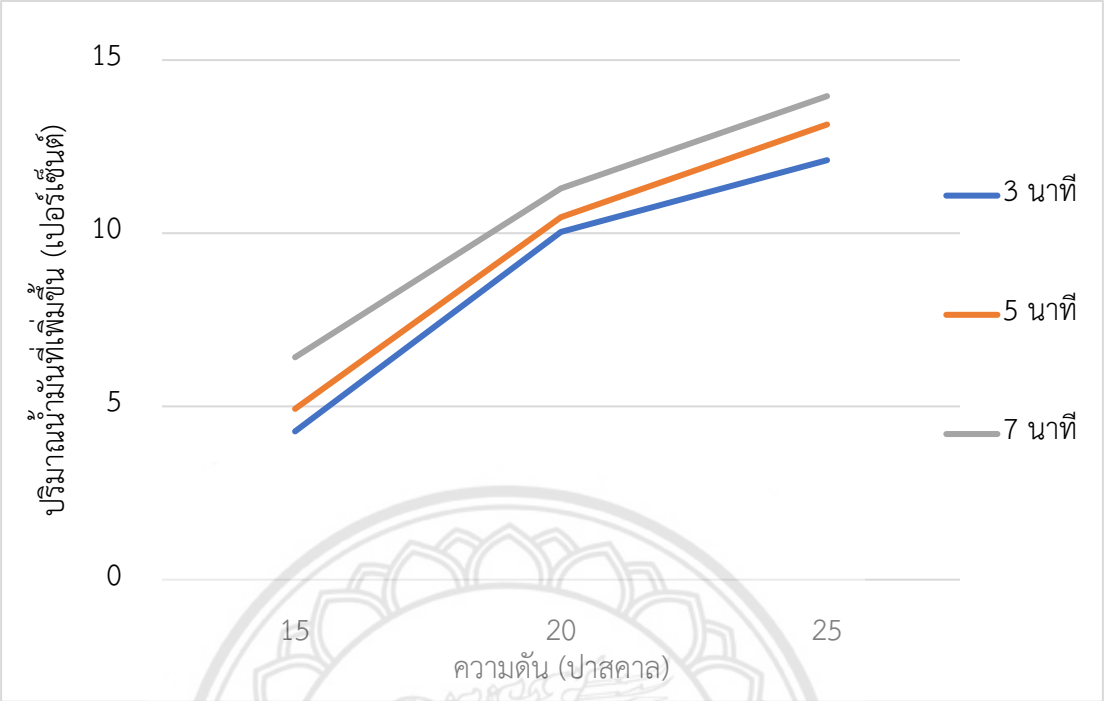
4.2 ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิกที่ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ

การสกัดเย็นงาขี้ม่อนโดยกระบอกอัดไฮดรอลิก ที่มีการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ ในแต่ละระดับที่ต่างกัน เมื่อนำปริมาณน้ำมันที่ผ่านการกระตุ้น และแบบไม่มีการกระตุ้นมาเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยนำผลการทดลองที่ได้ทำการจดบันทึก และเขียนกราฟได้ดังนี้



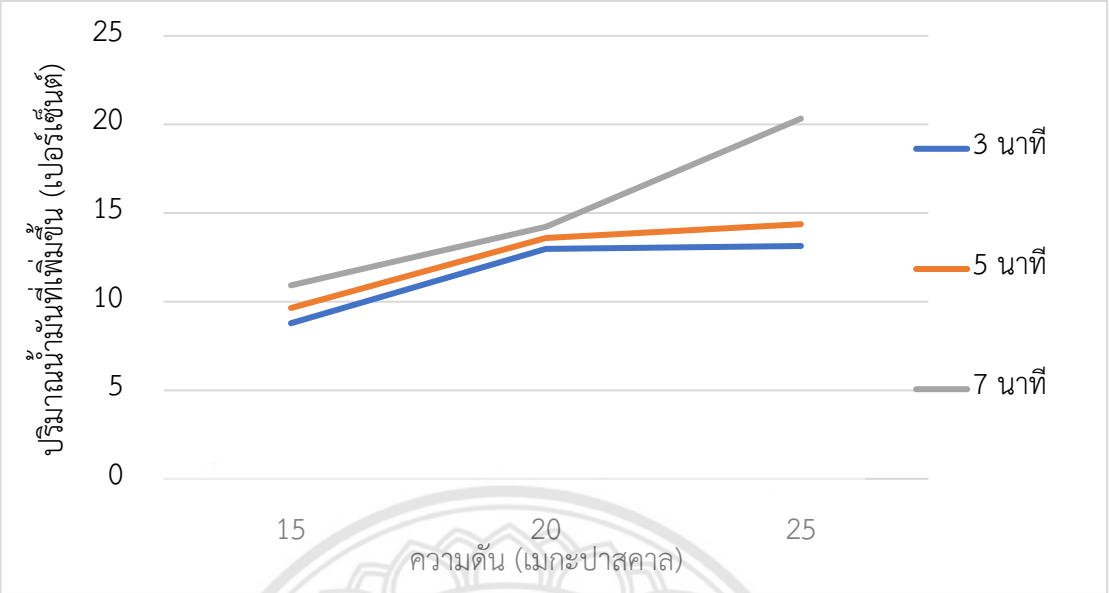
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นของงาขี้ม่อนที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้กำลังไฟ 200 วัตต์

จากรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำมันที่ไม่ผ่านการกระตุ้น โดยในการกระตุ้นจะใช้กำลังไฟที่ 200 วัตต์ และเวลาในกระตุ้นที่ 3, 5 และ 7 นาที พบว่าเมื่อความดันในการบีบที่มากขึ้นและเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น ปริมาณน้ำมันจะมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด หลังจากผ่านการกระตุ้น ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น 12.94 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น 2.56 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นของงาขี้ม่อนที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้กำลังไฟ 400 วัตต์

จากรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำมันที่ไม่ผ่านการกระตุ้น โดยในการกระตุ้นจะใช้กำลังไฟที่ 400 วัตต์ และเวลาในกระตุ้นที่ 3, 5 และ 7 นาที พบว่าเมื่อความดันในการบีบที่มากขึ้นและเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น ปริมาณน้ำมันจะมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด หลังจากผ่านการกระตุ้น ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น 13.96 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น 4.28 เปอร์เซ็นต์



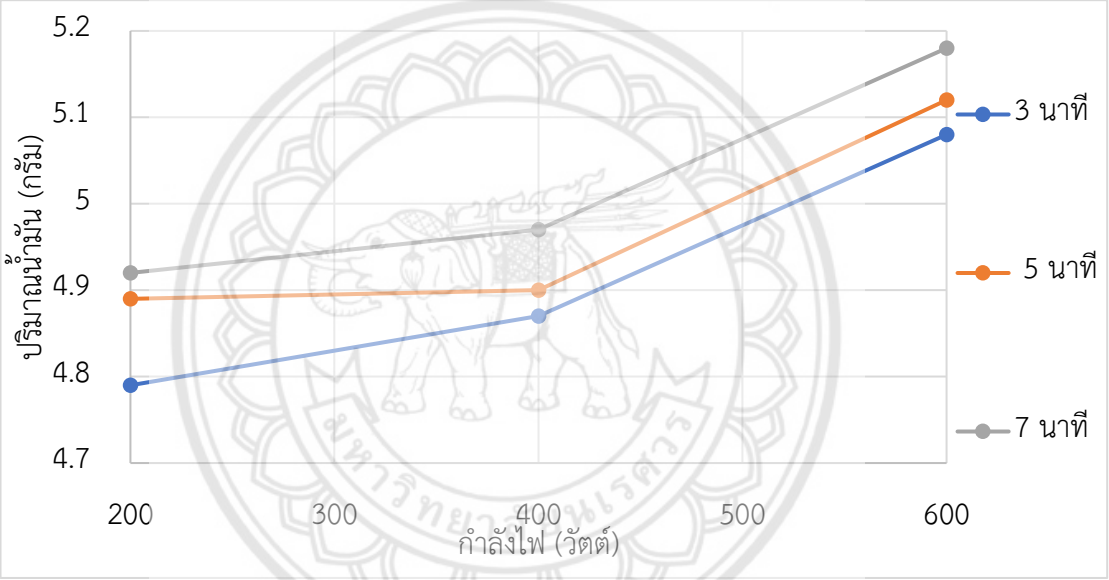
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นของงาขี้ม่อนที่ผ่านการกระตุ้นโดยใช้กำลังไฟ 600 วัตต์

จากรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำมันที่ไม่ผ่านการกระตุ้น โดยในการกระตุ้นจะใช้กำลังไฟที่ 600 วัตต์ และเวลาในกระตุ้นที่ 3, 5 และ 7 นาที พบว่าเมื่อความดันในการบีบที่มากขึ้นและเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น ปริมาณน้ำมันจะมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด หลังจากผ่านการกระตุ้น ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น 20.33 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น 8.78 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำรูปที่ 4.4, 4.5 และ4.6 มาเปรียบเทียบกัน พบว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้น เวลาเพิ่มขึ้น และกำลังไฟที่เพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำมันที่ไม่ผ่านการกระตุ้น แต่เมื่อความดันลดลง เวลาลดลง และกำลังไฟที่ลดลง จะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อย ดังนั้นปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับ ความดัน เวลา และกำลังไฟ

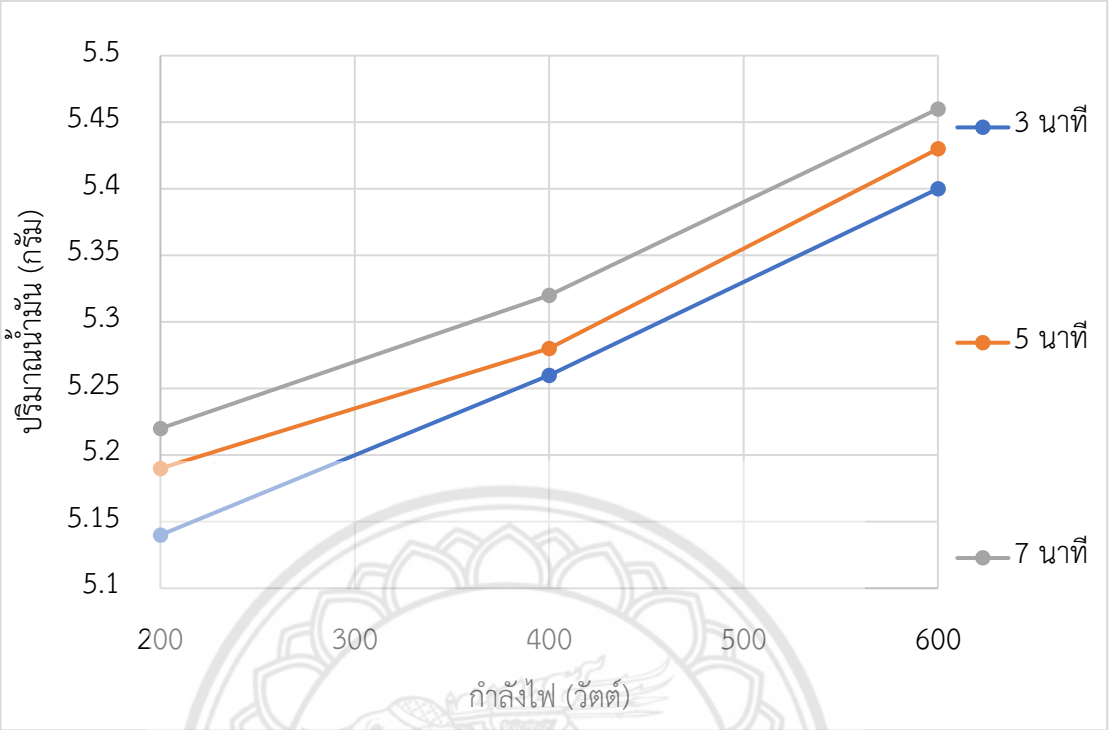
4.3 อิทธิพลของกำลังไฟ และเวลา ต่อปริมาณน้ำมันจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก โดยผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ

การสกัดน้ำมันงาขี้ม่อนโดยกระบอกอัดไฮดรอลิก ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ ด้วยกำลังไฟ (วัตต์) และเวลา (นาที) ที่ต่างกัน ปริมาณน้ำมันที่ได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของกำลังไฟและเวลา ที่ใช้ในการทดลองโดยนำผลการทดลองที่ได้ทำการจดบันทึกและเขียนกราฟได้ดังนี้



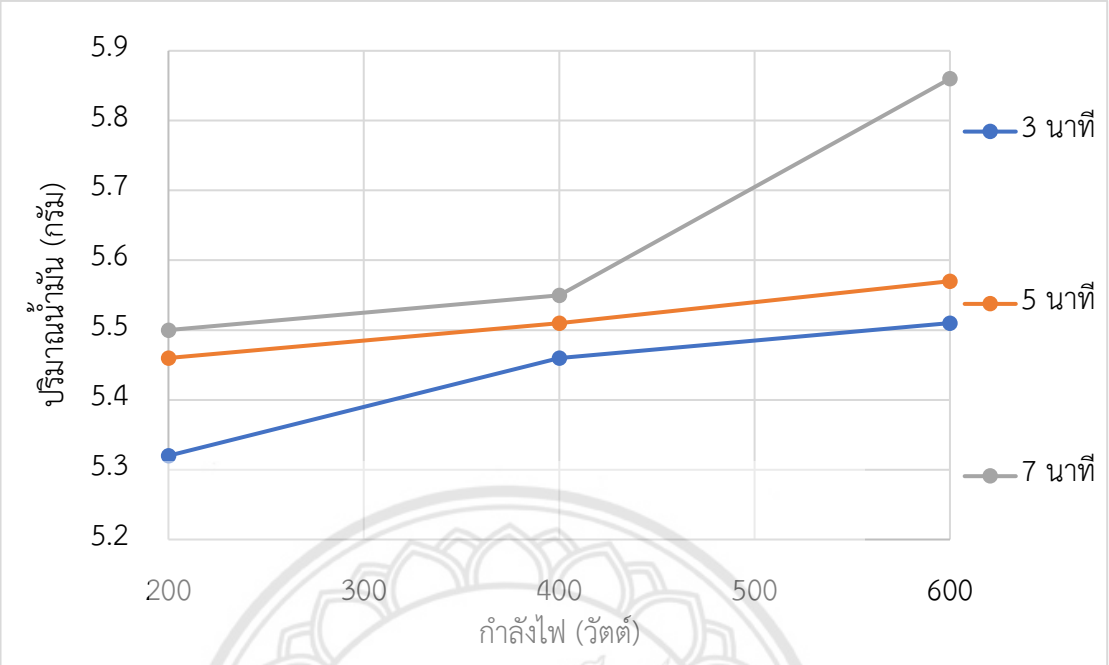
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น โดยใช้ความดันที่ 15 เมกะปาสคาล

จากรูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น และเวลาในการกระตุ้น โดยใช้ความดันที่ 15 เมกะปาสคาลในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิก พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการกระตุ้นที่มากขึ้น และเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.18 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 4.79 กรัม



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น โดยใช้ความดันที่ 20 เมกะปาสคาล

จากรูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น และเวลาในการกระตุ้น โดยใช้ความดันที่ 20 เมกะปาสคาลในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิก พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการกระตุ้นที่มากขึ้น และเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.46 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.14 กรัม



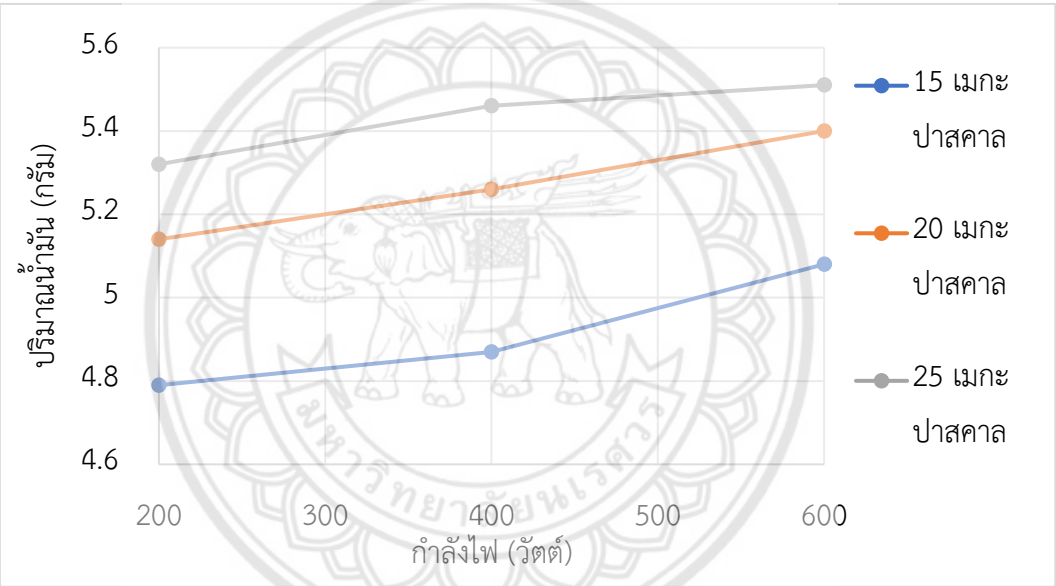
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น โดยใช้ความดันที่ 25 เมกะปาสคาล

จากรูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้นและเวลาในการกระตุ้น โดยใช้ความดันที่ 20 เมกะปาสคาลในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิก พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการกระตุ้นที่มากขึ้น และเวลาในการกระตุ้นที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่เวลา 7 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.86 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ ที่เวลา 3 นาที ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.32 กรัม

เมื่อนำรูปที่ 4.7, 4.8 และ4.9 มาเปรียบเทียบกัน พบว่า เมื่อกำลังไฟเพิ่มขึ้นและเวลาเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อกำลังไฟลดลงและเวลาลดลงจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดลงอีกด้วย ดังนั้น กำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้นและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำมัน

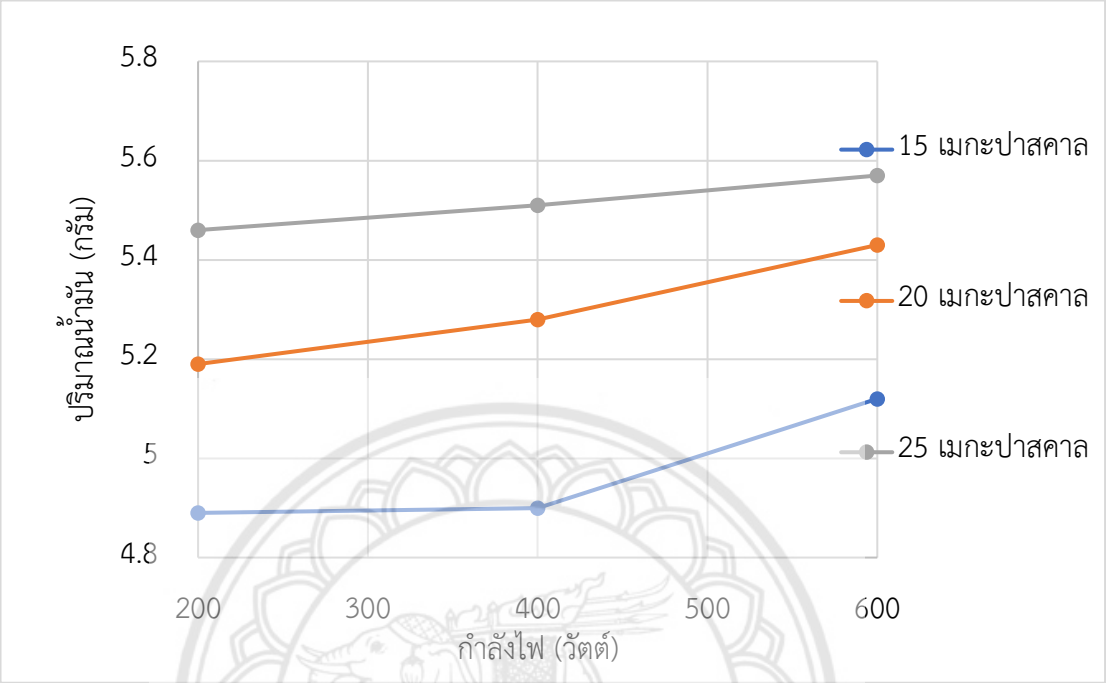
4.4 อิทธิพลของกำลังไฟ และความดัน ต่อปริมาณน้ำมันจากการสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก โดยผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ

การสกัดน้ำมันงาขี้ม่อนโดยกระบอกอัดไฮดรอลิก ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ ด้วยกำลังไฟ (วัตต์) และความดัน (เมกะปาสคาล) ที่ต่างกัน ปริมาณน้ำมันที่ได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของกำลังไฟและความดัน ที่ใช้ในการทดลองโดยนำผลการทดลองที่ได้ทำการจดบันทึกและเขียนกราฟได้ดังนี้



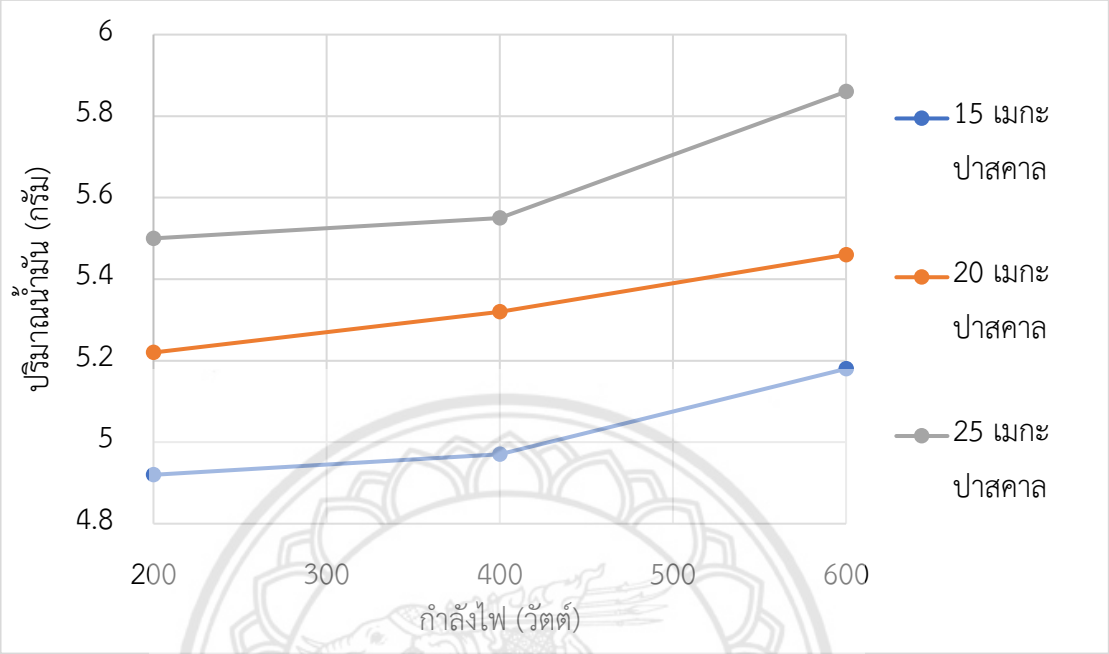
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น และความดันในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิก โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 3 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการกระตุ้นที่มากขึ้น และความดันในการบีบที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.51 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 4.79 กรัม



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น และความดันในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิก โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 5 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการกระตุ้นที่มากขึ้น และความดันในการบีบที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.57 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 4.89 กรัม



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอิทธิพลของกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น เป็นเวลา 7 นาที

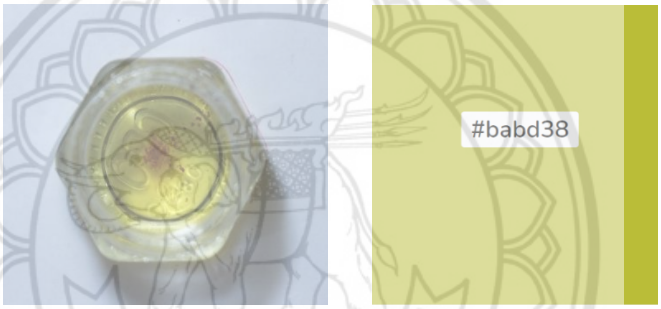
จากรูปที่ 4.12 เป็นการเปรียบเทียบกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น และความดันในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิก โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 7 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังไฟในการกระตุ้นที่มากขึ้น และความดันในการบีบที่มากขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่กำลังไฟ 600 วัตต์ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 5.86 กรัม และปริมาณเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่กำลังไฟ 200 วัตต์ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 4.92 กรัม

เมื่อนำรูปที่ 4.10, 4.11 และ4.12 มาเปรียบเทียบกัน พบว่า เมื่อกำลังไฟเพิ่มขึ้นและความดันเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อกำลังไฟลดลงและความดันลดลงจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดลงอีกด้วย ดังนั้น กำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้นและความดันที่ใช้ในการบีบอัดกระบอกไฮดรอลิกจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำมัน

4.5 ลักษณะสีของน้ำมันงาขี้ม่อนที่เปลี่ยนแปลงหลังจากไม่ได้ผ่านการกระตุ้น และผ่านการกระตุ้นของฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ

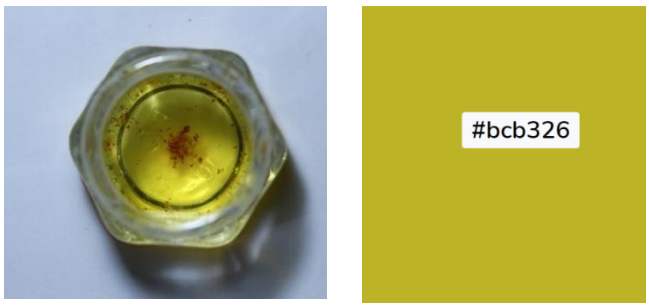
ลักษณะสีน้ำมันงาขี้ม่อนจะใช้โปรแกรม Adobe Photoshop CC 2019 ในการดูลักษณะของสีของน้ำมันงาขี้ม่อนทั้งผ่านการกระตุ้น และไม่ผ่านการกระตุ้นที่ความดัน กำลังไฟ และเวลาตามที่กำหนด

4.5.1 สีของน้ำมันงาที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น



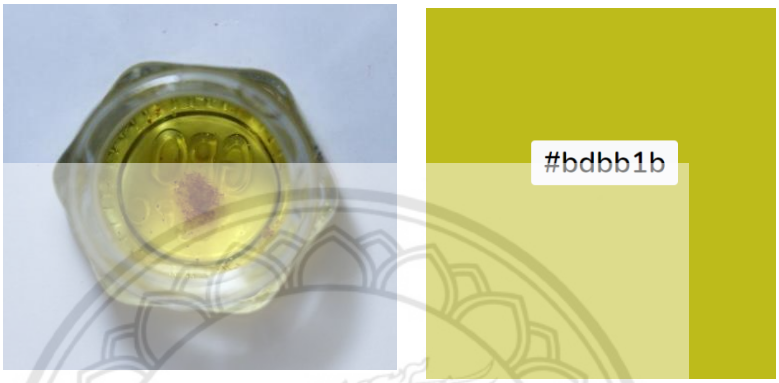
รูปที่ 4.13 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ

จากรูปที่ 4.13 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ ซึ่งสีที่ได้คือ #babd38 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 61.35, 54.29 เปอร์เซ็นต์ และ48.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 61.35 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 54.29 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 48.04 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.14 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ

จากรูปที่ 4.14 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ ซึ่งสีที่ได้คือ #bcb326 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 56.4, 66.37 เปอร์เซ็นต์ และ44.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 56.4 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 66.37 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 44.31 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.15 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ

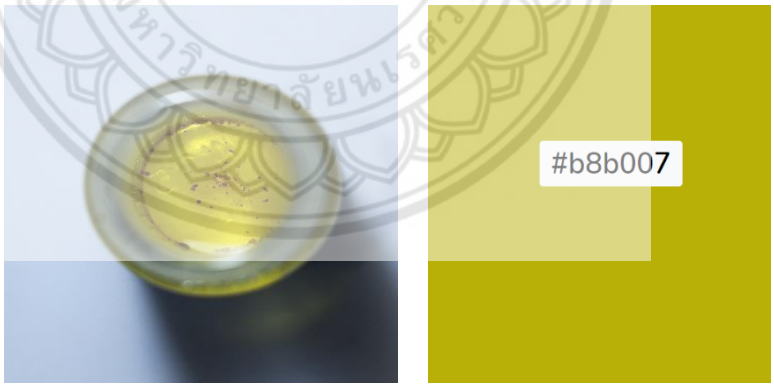
จากรูปที่ 4.15 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ ซึ่งสีที่ได้คือ #bdbb1b โดย HSL ของตัวสี จะได้ 59.26, 75 เปอร์เซ็นต์ และ42.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 59.26 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 75 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 42.35 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งนำรูปที่ 4.13, 4.14 และ4.15 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุดโดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ โดยมีความสว่างของสี คือ 42.35 เปอร์เซ็นต์ และ สีมีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ โดยมีความสว่างของสี คือ 48.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากความดันในการบีบเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อความเข้มของสี

4.5.2 สีของน้ำมันงาที่ผ่านการกระตุ้น

รูปที่ 4.16 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.16 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #baad06 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.67, 93.75 เปอร์เซ็นต์ และ37.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.67 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 93.75 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 37.65 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.17 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.17 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #b8b007 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 57.29, 92.67 เปอร์เซ็นต์ และ37.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 57.29 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 92.67 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 37.45 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.18 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.18 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #bcb800 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 58.72, 100 เปอร์เซ็นต์ และ36.86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 58.72 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 36.86 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.16, 4.17 และ4.18 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 36.86 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 37.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.19 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.19 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #a19201 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 54.38, 98.77 เปอร์เซ็นต์ และ31.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 54.38 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 98.77 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 31.76 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.20 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.20 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #9a8e06 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.14, 92.50 เปอร์เซ็นต์ และ31.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.14 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 92.50 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 31.37 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.21 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.21 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 7นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #9e8c02 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 53.08, 97.50 เปอร์เซ็นต์ และ31.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 53.08 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 97.50 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 31.37 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.19, 4.20 และ4.21 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 31.37 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 31.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.22 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.22 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #63a602 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.59, 97.79 เปอร์เซ็นต์ และ35.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.59 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 97.79 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 35.49 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.23 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.23 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #978b03 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.14, 96.1 เปอร์เซ็นต์ และ30.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.14 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 96.1 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 30.2 เปอร์เซ็นต์

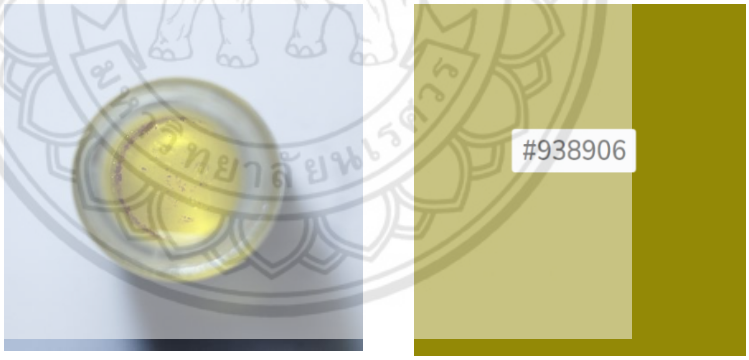
รูปที่ 4.24 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.24 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #8d8500 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 56.60, 100 เปอร์เซ็นต์ และ27.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 56.60 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 27.65 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.22, 4.23 และ4.24 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 27.65 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 15 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 35.49 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.25 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 3นาที

จากรูปที่ 4.25 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #9f9206 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 54.90, 92.73 เปอร์เซ็นต์ และ32.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 54.90 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 92.73 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 32.35 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.26 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.26 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #938906 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.74, 92.16 เปอร์เซ็นต์ และ30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.74 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 92.16 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 30 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.27 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.27 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #8c8803 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 58.25, 95.8 เปอร์เซ็นต์ และ28.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 58.25 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 95.8 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 28.04 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.25, 4.26 และ4.27 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 28.04 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 32.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.28 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.28 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #ac9c01 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 54.39, 98.84 เปอร์เซ็นต์ และ33.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 54.39 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 98.84 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 33.92 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.29 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.29 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #a99a00 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 54.67, 100 เปอร์เซ็นต์ และ33.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 54.67 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 33.14 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.30 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.30 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #a18f00 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 53.29, 100 เปอร์เซ็นต์ และ31.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 53.29 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 31.57 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.28, 4.29 และ4.30 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสีคือ 31.57 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 33.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.31 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.31 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #b76d02 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 51.38, 97.84 เปอร์เซ็นต์ และ36.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 51.38 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 97.84 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 36.27 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.32 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.32 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #a89a06 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 54.81, 93.10 เปอร์เซ็นต์ และ34.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 54.81 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 93.10 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 34.12 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.33 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.33 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #988401 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 52.05, 98.69 เปอร์เซ็นต์ และ30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 52.05 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 98.69 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 30 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.31, 4.32 และ4.33 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 30 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 36.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.34 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 3นาที

จากรูปที่ 4.35 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #c8c623 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 59.27, 70.21 เปอร์เซ็นต์ และ46.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 59.27 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 70.21 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 46.08 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.35 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.34 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #c2bd17 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 58.25, 78.80 เปอร์เซ็นต์ และ42.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 58.25 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 78.80 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 42.55 เปอร์เซ็นต์

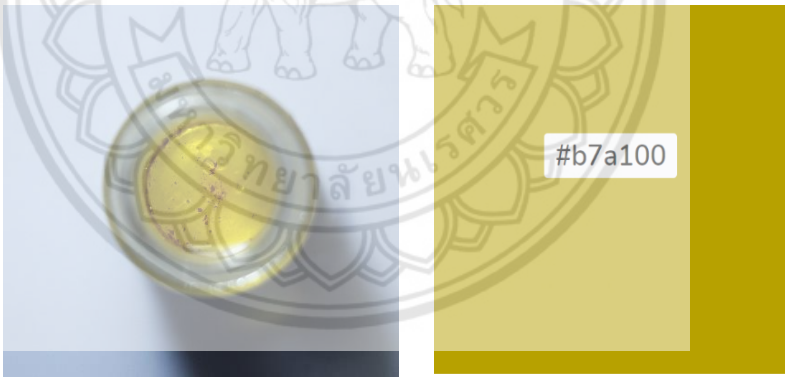
รูปที่ 4.36 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.36 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #d2c102 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.10, 98.11 เปอร์เซ็นต์ และ41.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.10 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 98.11 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 41.57 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.31, 4.32 และ4.33 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 41.57 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 46.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.37 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.37 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #c7b901 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 55.76, 99 เปอร์เซ็นต์ และ39.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 55.76 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 99 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 39.22 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.38 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.38 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #b7a100 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 52.79, 100 เปอร์เซ็นต์ และ35.88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 52.79 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 35.88 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.39 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.39 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #9c8a00 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 53.08, 100 เปอร์เซ็นต์ และ30.59 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 53.08 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 30.59 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.37, 4.38 และ4.39 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 400วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 30.59 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 39.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

รูปที่ 4.40 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที

จากรูปที่ 4.40 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #b4a100 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 53.67, 100 เปอร์เซ็นต์ และ35.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 53.67 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 35.29 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.41 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากรูปที่ 4.41 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #a38a00 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 50.80, 100 เปอร์เซ็นต์ และ31.96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 50.80 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 31.96 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.42 สีของน้ำมัน โดยใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาล และกำลังไฟ 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

จากรูปที่ 4.42 สีของน้ำมันที่ใช้ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งสีที่ได้คือ #9b8000 โดย HSL ของตัวสี จะได้ 49.55, 100 เปอร์เซ็นต์ และ30.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า Hue (เนื้อสี) คือ 49.55 Saturation (ความอิ่มของสี) คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และLightness (ความสว่างของสี) คือ 30.39 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งรูปที่ 4.40, 4.41 และ4.42 มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่า สีของน้ำมันที่มีความเข้มมากที่สุด โดยวัดจาก HSL ของตัวสีคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 600วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 30.39 เปอร์เซ็นต์ และสีของน้ำมันที่มีความเข้มน้อยที่สุดคือ ที่ความดัน 25 เมกะปาสคาลในการบีบ และกำลังไฟที่ใช้ในการกระตุ้น 200 วัตต์ เป็นเวลา 3 นาที โดยมีความสว่างของสี คือ 35.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากกำลังไฟในการกระตุ้นเท่าเดิม แต่เวลาในการกระตุ้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สีของน้ำมันมีความเข้มขึ้น

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ไม่ผ่านการกระตุ้น

จากการทดลองสกัดน้ำมันงาขี้ม่อนโดยไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ พบว่า เมื่อมีการเพิ่มความดันในการสกัดน้ำมันจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการลดความดันในการสกัดน้ำมันส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง โดยปริมาณน้ำมันที่สกัดเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 4.87 กรัม ซึ่งสกัดที่ความดัน 25 เมกะปาสคาล

5.1.2 ผลของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ผ่านการกระตุ้น

เมื่อมีการกระตุ้นเมล็ดงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ ก่อนการสกัดที่กำลังไฟฟ้า และเวลาต่าง ๆ พบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการสกัดโดยไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์ ไมโครเวฟก่อนการสกัด ซึ่งในการกระตุ้นเมล็ดงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟก่อนการสกัดที่ใช้กำลังไฟและระยะเวลาในการกระตุ้นมาก จะส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันในการสกัดเพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำมันที่สกัดโดยผ่านการกระตุ้นเมล็ดงาขี้ม่อนก่อนการสกัดเพิ่มขึ้นสูงสุดอยู่ที่ 20.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการกระตุ้นที่กำลังไฟ 600 วัตต์ และเวลา 7 นาที

ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำมันที่ผ่านการกระตุ้นเมล็ดงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟก่อนการสกัดจะมีปริมาณน้ำมันมากกว่าวิธีที่ไม่ผ่านการกระตุ้นเมล็ดงาขี้ม่อนด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟก่อนการสกัด ขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้ง 3 ตัว คือ ความดัน กำลังไฟ และเวลา ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 ตัวจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำมัน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ลักษณะสีของน้ำมันงาขี้ม่อนที่ผ่าน และไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ พบว่า ที่กำลังไฟในการกระตุ้นสูงขึ้น และเวลาในการกระตุ้นสูงขึ้น ที่สภาวะความดันในการบีบเดียวกัน จะส่งผลให้สีของน้ำมันเข้มขึ้นซึ่งดูจาก HSL ของตัวสี

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้เครื่อง UTM บีบอัดกระบอกไฮดรอลิก เพื่อการสกัดน้ำมันนี้มีปัญหาของเวลา ในการใช้เครื่อง UTM มาเกี่ยวข้อง เพราะต้องใช้ในวันและเวลาราชการ จึงส่งผลให้การทดลองมีความล่าช้า

5.2.2 ระหว่างการกระตุ้นให้ความร้อนแบบฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ จะเกิดการสปาร์คของรังสีที่กระทบกับรอยตัดของแผ่นโลหะและตะแกรงโลหะที่มีความคม

5.2.3 ในการกระตุ้นด้วยฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ ควรหาตะแกรงเหล็กที่ไม่มีคมเพื่อป้องกันไม่ให้รังสีไมโครเวฟออกมาสู่ภายนอกและไม่ให้เกิดการสปาร์คของรังสีที่กระทบกับรอยคมของโลหะ

5.2.4 ในการทดลองที่อุณหภูมิสูง อุปกรณ์จะมีความร้อนสูงควรมีถุงมือกันความร้อนในการทำการทดลอง

5.2.5 ควรเลือกใช้งาขี้ม่อนที่นำมาสกัดจากล็อตของการเก็บเกี่ยวเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5.2.6 ในการทดลองที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ควรถอดปลั๊ก และปิดสวิตซ์หลังจากการใช้งานทุกครั้ง และควรติดตั้งสายดิน เพื่อป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

ณัฐดนัย เนียมทอง. (2561). **การสกัดเย็น**. สืบค้น 10 เมษายน 2564, จาก https://www.scimath.org/article-chemistry/item/7866-2018-02-22-02-51-51

นิตยสารเพื่อสุขภาพ Ampro Health.(2563). **น้ำมันงาขี้ม่อน.** สืบค้น 12 เมษายน 2564, จาก https://amprohealth.com/magazine/perilla-seed/

บริษัท GAOXIN. (2557). **เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM). สืบค้น 10 เมษายน 2564,** จาก http://thai.professionaltestequipment.com

ธนพล เจริญศรี และคณะ. (2558). **อิทธิพลของความดัน และอุณหภูมิต่ออัตราการผลิตน้ำมัน**งาดำสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

พรทิพย์ กาศสุวรรณ, กิตติชัย บรรจง. (2561). **การหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดน้ำมันจากเมล็ด**มะละกอด้วยไมโครเวฟช่วยสักโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 10 ฉบับที่ 20.

พัชรินทร์ ตาด้วง และ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล. (2555). **การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิไดซ์เบด**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

ร้อยทิศ ญาติเจริญ และ วัชรินทร์ ดงบัง. (2558). **การอบแห้งถั่วลิสงด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดแบบถังหมุน**. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ลิฟลองไลฟ์. (2560). **ประโยชน์และสรรพคุณของน้ำมันงาม่อน (Perilla seed oils) ตามหลักฐานทางวิทยาศาสตร์.** สืบค้น 12 เมษายน 2564, จาก https://livelonglife.co/perilla-seed-oil-benefits/

ศุภกิจ พิมพ์ไกร และคณะ. (2561). **อิทธิพลของการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟต่อการผลิตน้ำมันงาขาวสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน. (2564). **ลักษณะเมล็ดงาขี้ม่อน**. สืบค้น 12 เมษายน 2564, จาก https://www.shorturl.asia/Npuj5

สิรินดา ศิลากูล. **หลักการให้ความร้อน**. สืบค้น 10 เมษายน 2564, จาก https://sites.google.com/site/sirindasilakul55/mikhorwef

Edgar Uquiche. (2008). **Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (Gevuina avellana Mol).** *Innovative Food Science and Emerging Technologies 9, 495 – 500*.

Hosain darvishi. (2558). Effects of microwave - fluidized bed drying on quality, energy consumption and drying kinetics of soybean kernels. Innovative Food Science and Emerging Technologies

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก1 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกโดยไม่มีการกระตุ้นที่ความดัน 15, 20 และ 25 เมกะปาสคาล

แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
15	4.62	4.70	4.68	4.67
20	4.75	4.78	4.80	4.78
25	4.78	4.92	4.92	4.87

ตารางที่ ก2 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที ความร้อน 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
200	15	4.72	4.74	4.90	4.79
	20	5.20	5.14	5.09	5.14
	25	5.32	5.29	5.34	5.32

ตารางที่ ก3 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที ความร้อน 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
200	15	4.80	4.86	5.01	4.89
	20	5.15	5.14	5.28	5.19
	25	5.36	5.49	5.54	5.46

ตารางที่ ก4 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที ความร้อน 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
200	15	4.99	5.04	4.72	4.92
	20	5.15	5.32	5.20	5.22
	25	5.45	5.55	5.49	5.50

ตารางที่ ก5 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที ความร้อน 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
400	15	4.90	5.06	4.65	4.87
	20	5.32	5.25	5.22	5.26
	25	5.39	5.45	5.54	5.46

ตารางที่ ก6 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที ความร้อน 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
400	15	4.90	4.89	4.92	4.90
	20	5.35	5.25	5.23	5.28
	25	5.45	5.57	5.50	5.51

ตารางที่ ก7 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที ความร้อน 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
400	15	5.05	4.85	5.02	4.97
	20	5.28	5.33	5.35	5.32
	25	5.51	5.55	5.58	5.55

ตารางที่ ก8 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที ความร้อน 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
600	15	5.01	5.13	5.10	5.08
	20	5.42	5.38	5.41	5.40
	25	5.45	5.54	5.48	5.49

ตารางที่ ก9 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที ความร้อน 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
600	15	5.09	5.12	5.14	5.12
	20	5.43	5.42	5.44	5.43
	25	5.58	5.56	5.57	5.57

ตารางที่ ก10 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิกที่มีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที ความร้อน 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
600	15	5.18	5.20	5.16	5.18
	20	5.46	5.47	5.45	5.46
	25	5.87	5.85	5.87	5.86

ตารางที่ ก11 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
200	15	4.79	4.67	2.56
	20	5.14	4.78	7.53
	25	5.32	4.87	9.24

ตารางที่ ก12 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
200	15	4.89	4.67	4.71
	20	5.19	4.78	8.58
	25	5.46	4.87	12.11

ตารางที่ ก13 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที 200 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
200	15	4.92	4.67	5.35
	20	5.22	4.78	9.20
	25	5.50	4.87	12.94

ตารางที่ ก14 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
400	15	4.87	4.67	4.28
	20	5.26	4.78	10.04
	25	5.46	4.87	12.11

ตารางที่ ก15 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
400	15	4.90	4.67	4.93
	20	5.28	4.78	9.41
	25	5.51	4.87	13.14

ตารางที่ ก16 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที 400 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะ ปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
400	15	4.97	4.67	6.42
	20	5.32	4.78	11.30
	25	5.55	4.87	13.96

ตารางที่ ก17 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 3 นาที 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
600	15	5.08	4.67	8.78
	20	5.40	4.78	12.97
	25	5.49	4.87	12.73

ตารางที่ ก18 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 5 นาที 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
600	15	5.12	4.67	9.64
	20	5.43	4.78	13.60
	25	5.57	4.87	14.37

ตารางที่ ก19 แสดงปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%) ของการเปรียบเทียบแบบไม่มีการกระตุ้น กับ แบบมีการกระตุ้นด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด ไมโครเวฟ เวลา 7 นาที 600 วัตต์ ที่ ความดัน 15,20 และ 25 เมกะปาสคาล

กำลังวัตต์ (วัตต์)	แรงที่ใช้ในการอัด (MPa)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย (กรัม)	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยแบบไม่มีการกระตุ้น (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (%)
600	15	5.18	4.67	10.92
	20	5.46	4.78	14.23
	25	5.86	4.87	20.33