ฉบับสมบูรณ์

สัญญาเลขที่ R2559C224
สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการผลิตต่อโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็น

The effects of process temperature on tocopherol in cold-pressed sesame oil

คณะผู้วิจัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล

สังกัด
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 11 พ.ค. 2564
เลขทะเบียน 1038603
เลขเรียกหนังสือ ว QP 179 ป 1430 2560

สนับสนุนโดยกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งได้มอบทุนอุดหนุนเพื่อดำเนินโครงการวิจัยดังกล่าว และขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ให้ความสนับสนุนเกี่ยวกับเครื่องมือในการวิจัย นอกจากนี้ยังระลึกถึงเจ้าหน้าที่และครูช่างของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ จนสามารถดำเนินโครงการได้สำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิในการสกัดเย็นต่อปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็น น้ำมันสกัดเย็นที่มีองค์ประกอบของโทโคฟีรอลจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นปัจจัยหลักอันหนึ่งที่ผู้บริโภคพิจารณาในการเลือกผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าของพืชผลทางการเกษตร โดยการสกัดเย็นน้ำมันจะจำกัดอุณหภูมิสูงสุดในกระบวนการผลิตให้มีค่าต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส เพื่อคงคุณสมบัติตามธรรมชาติของน้ำมันในวัตถุดิบที่นำมาสกัดให้อยู่ในระดับที่สูง จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการผลิตที่ 40-60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนก่อนการสกัดเป็นเวลา 10 นาที ที่ความดันในการสกัด 20-60 เมกกะปาสคาล พบว่าสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง จะให้ประสิทธิภาพในการผลิตมากที่สุด อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็นมีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิในการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการอุ่นงาดำด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด พบว่าการใช้กำลังวัตต์ต่ำและระยะเวลาสูงโดยไม่ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบเกินกว่า 60 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าการอุ่นวัตถุดิบโดยใช้กำลังวัตต์สูงและระยะเวลาสั้น

Abstract

This research was aimed to study the effect of cold-pressed process-temperature on tocopherol in sesame oil. Tocopherol in cold-pressed oil is one of the antioxidants which is crucial factor for consumer decision. Moreover, high level of antioxidant in the product may increase the value of agricultural product. In cold-pressed oil-extraction process, the highest temperature is limited to 60oC in order to maximize the quality of cold-pressed oil. According to process temperature from 40 to 60oC with 10 min preheat and 20-60 MPa compressed pressure, it was found that the highest yield was accounted for the case of low temperature with high pressure condition. Nevertheless, the level of tocopherol was decreased, approximately 20%, as the process temperature was risen from 40 to 60oC. Moreover, the pretreatment of sesame by microwave radiation at low-watt and long-time in order to increase oil yield showed a higher level of tocopherol as compared to the pre-treatment at high-watt and short-time.

มหาวิทยาลัยนเรศวร

Executive Summary

การสกัดเย็นน้ำมันจะจำกัดอุณหภูมิสูงสุดในกระบวนการผลิตให้มีค่าต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณสมบัติตามธรรมชาติของน้ำมันในวัตถุดิบให้มีคุณลักษณะคงเดิมมากที่สุด จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการผลิตที่ 40-60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนก่อนการสกัดเป็นเวลา 10 นาที ที่ความดันในการสกัด 20-60 เมกกะปาสคาล พบว่าสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง จะให้ประสิทธิภาพอัตราการสกัดน้ำมันสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็นมีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิในการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการอุ่นงาดำด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด พบว่าการใช้กำลังวัตต์ต่ำและระยะเวลาสูงโดยไม่ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบเกินกว่า 60 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าการอุ่นวัตถุดิบโดยใช้กำลังวัตต์สูงและระยะเวลาสั้นและมีปริมาณโทโคฟีรอลที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนก่อนการสกัด 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญ

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	3
บทคัดย่อ	4
Abstract	5
Executive summary	6
สารบัญ	7
สารบัญรูป	8
บทที่ 1 บทนำ	9
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	11
บทที่ 3 เครื่องมือและการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	25
บทที่ 5 สรุปการวิจัย	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	37

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แผนภาพขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลาย	11
รูปที่ 2.2 เครื่องบีบอัดชนิดไฮโดรลิก และชนิดเกลียวอัด	12
รูปที่ 2.3 การสกัดเย็นเพื่อผลิตน้ำมันพืชขนิดสกัดเย็นที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ	12
รูปที่ 3.1 ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band Heater)	18
รูปที่ 3.2 Thermocouple type K	19
รูปที่ 3.3 กล่องควบคุมอุณหภูมิ	19
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์	20
รูปที่ 3.5 Soxhlet และ heating mantle	20
รูปที่ 3.6 ปั๊มน้ำ	21
รูปที่ 3.8 Soxhlet extraction apparatus	22
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับความดัน 20, 40, 60 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส	25
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับอุณหภูมิ 40, 50, 60 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 20, 40 และ 60 เมกกะปาสคาล	26
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียสบความดัน 20-60 เมกะปาสคาล	26
รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายตัวปกติระหว่างส่วนเหลือจริงและค่าที่คาดหวังของสมการความสัมพันธ์	28
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	29
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	29
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	30
รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส	30
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ 330 วินาที	31
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 180 วัตต์ 150 วินาที	31
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 300 วัตต์ 60 วินาที	32
รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 1: 100 วัตต์ 330 วินาที 2: 180 วัตต์ 150 วินาที 3: 300 วัตต์ 60 วินาที	32
รูปที่ ผ.1 กราฟแสดงสารมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบเพื่อวัดค่าปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา	38

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การสกัดน้ำมันจากพืชน้ำมันในเชิงอุตสาหกรรม มีกระบวนการสำคัญที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน 2 วิธี ได้แก่การสกัดโดยใช้สารทำละลาย และการบีบอัดเชิงกลซึ่งวิธีแรกจะเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถสกัดน้ำมันจากวัตถุดิบได้ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง ซึ่งอาจสูงถึง 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานว่าไขมันและน้ำมันสามารถละลายได้ด้วยสารทำละลาย การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้สารทำละลายพ่นใส่พืชน้ำมันที่ผ่านกระบวนการลดขนาดเพื่อสกัดน้ำมัน ทำการระเหยสารทำละลายออกไป แล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อจำหน่ายต่อไป ในขณะที่การบีบสกัดน้ำมันจากพืชน้ำมันโดยใช้แรงเชิงกลจากเครื่องบีบอัดชนิดไฮโดรลิก ชนิดลูกกลิ้ง หรือชนิดเกลียวอัด ใช้หลักการลดปริมาตรของวัตถุดิบในเครื่องบีบอัดเพื่อสกัดน้ำมันออกมา การสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดเชิงกลพบว่ามีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันตกค้างหลังจากกระบวนการสกัดน้ำมัน ตลอดจนอัตราการบีบสกัดซึ่งใช้ระยะเวลาที่ยาวกว่า แต่เป็นวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและต้องการเงินลงทุนเบื้องต้นไม่มากนัก ผู้ผลิตรายย่อยสามารถลงทุนได้โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นแหล่งวัตถุดิบ

กระบวนการบีบสกัดน้ำมันแบบเชิงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบีบสกัดเย็นซึ่งใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ตลอดกระบวนการ เป็นกระบวนการซึ่งสามารถผลิตน้ำมันสกัดเย็นที่มีคุณภาพสูง สามารถประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบของธุรกิจอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารเสริม บริโภคโดยตรง บรรจุแคปซูล ตลอดจนธุรกิจด้านความงามต่างๆ สำหรับน้ำมันเมล็ดพืชสกัดเย็น เป็นน้ำมันที่อุดมไปด้วยคุณประโยชน์ ทั้งโปรตีน วิตามิน กรดไขมัน เกลือแร่ วิตามินอี และอื่นๆ สามารถช่วยลดคลอเรสเตอรอลในตัวอย่างทดลอง ตลอดจนลดการอักเสบในร่างกายของมนุษย์ นอกจากนี้น้ำมันสกัดเย็นดังกล่าวยังมีสารต้านอนุมูลอิสระในระดับสูง เป็นแหล่งที่ดีของโค-คิว10 ซึ่งสามารถชะลอการเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย มีสารแกมมา ออริซานอล โทโคไตรอินอล และไฟโตเสตอรอล ซึ่งช่วยลดคลอเรสเตอรอลชนิดเลว เพิ่มคลอเรสเตอรอลชนิดดี ลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และลดไตรกลีเซอรีน และมีศักยภาพในทางธุรกิจเป็นอย่างยิ่ง โดยสามารถจำหน่ายได้ในราคาลิตรละหลายร้อยบาท จนถึงหลักหมื่น แปรผันตามสมบัติของน้ำมันสกัดเย็น

การบีบสกัดเย็นเพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรมนั้น เครื่องบีบอัดชนิดเกลียวเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพตัวเลือกหนึ่ง เมื่อพิจารณาการทำงานของเครื่องบีบอัดแบบเกลียว พบว่าวัตถุดิบจะถูกบีบคั้นด้วยความดันในเกลียวอัด น้ำมันที่ถูกสกัดออกมาจะไหลผ่านช่องหรือตะแกรงไปสู่ถังเก็บ ในขณะที่กากที่เหลือจะถูกลำเลียงออกทางด้านท้ายของเกลียว ดังนั้นลักษณะทางการภาพของเกลียวอัดและสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาบีบสกัดน้ำมันต้องมีความสัมพันธ์กัน จึงจำเป็นต้องออกแบบเครื่องบีบอัดและกำหนดสภาวะการทำงานสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิดให้เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการผลิตและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

น้ำมันสกัดเย็นที่มีองค์ประกอบของโทโคฟีรอล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งในการเลือกใช้ของผู้บริโภค สภาวะกระบวนการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิที่ใช้ตลอดกระบวนการ ส่งผลต่อปริมาณโทโคฟีรอลอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยหลายชิ้นที่กล่าวถึงอัตราการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชด้วยวิธีเชิงกลมีค่าเปอร์เซ็นต์ของการสกัดน้ำมันที่สูงขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อนแก่เมล็ดพืช ทั้งก่อนและระหว่างกระบวนการบีบอัด ซึ่งจะส่งผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อการผลิตอย่างมากหากเป็นการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

จากความจำเป็นข้างต้น รวมถึงแนวความคิดด้านการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์การเกษตร เพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันของประเทศ ร่วมกับการศึกษานวัตกรรมที่เหมาะสมในการบีบอัดเย็นน้ำมันงา เพื่อเพิ่มมูลค่าและยกระดับสินค้า ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบีบอัดเย็นชนิดเกลียวและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงสมควรอย่างยิ่งและเร่งด่วนในการทำการศึกษาวิจัยเพื่อสามารถนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ ในปริมาณระดับอุตสาหกรรมใหญ่รวมถึงเสียโอกาสในการขยายตลาดของผู้ประกอบการ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษากระบวนการสกัดเย็นของงาดำ และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในช่วงการสกัดเย็นต่อปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เมื่อเสร็จสิ้นโครงการคือ ชุดทดสอบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเย็นน้ำมันเมล็ดงาที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ทราบกระบวนการด้านอุณหภูมิที่ส่งผลต่อโทโคฟีรอลในผลิตภัณฑ์น้ำมันงาสกัดเย็น ได้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำมันงาสกัดเย็น เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ได้บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวกลุ่มผู้ประกอบการด้านน้ำมันงา กลุ่มเกษตรกร สหกรณ์ ผู้ผลิตงา สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้

ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

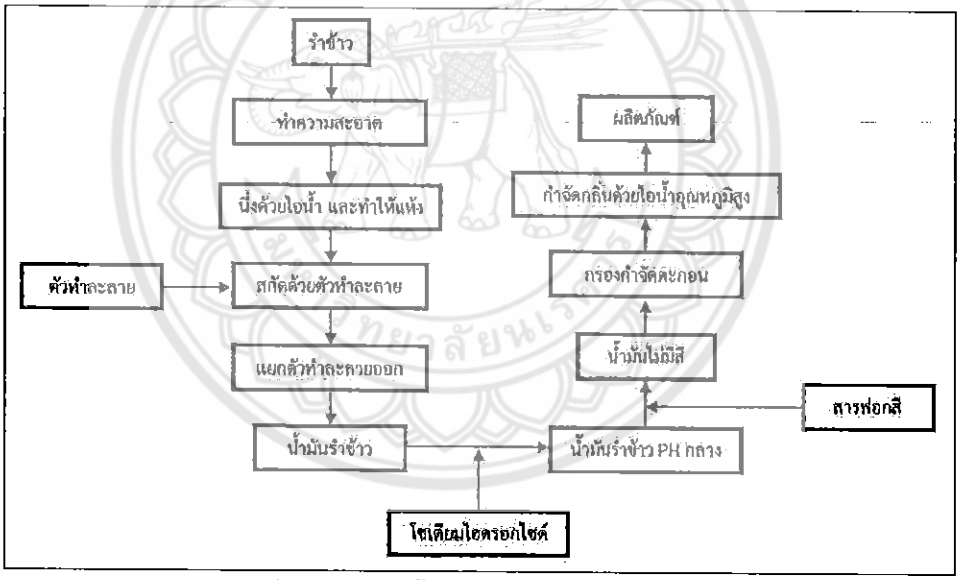
เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทดสอบอิทธิพลอุณหภูมิในการสกัดเย็น ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็น

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

น้ำมันสกัดจากพืช

การผลิตน้ำมันจากพืช ในปัจจุบันมีหลายวิธี ในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้วิธีการทางเคมี โดยการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ ทำการบดให้มีขนาดลดลงสำหรับบางวัตถุดิบ แล้วนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซนซึ่งเป็นผลิตผลจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อสกัดเอาน้ำมันพืชออกจากวัตถุดิบ จากนั้นทำการแยกเฮกเซนออกไปจากส่วนผสมโดยวิธีการระเหย เพื่อนำกลับไปใช้ซ้ำในกระบวนการ นำน้ำมันพืชที่ได้ไปผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียว กำจัดกรดไขมันอิสระ ไล่ความชื้นและฟอกสีที่อุณหภูมิสูง เติมสารป้องกันการหืน การสกัดด้วยตัวทำละลายมีอัตราน้ำมันคงเหลือในกากต่ำ สามารถสกัดน้ำมันได้สูง มีปริมาณน้ำมันคงเหลือในกากวัตถุดิบต่ำ อย่างไรก็ตามวิตามินอีในน้ำมันพืชดังกล่าวจะถูกทำลายเนื่องจากอุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิต

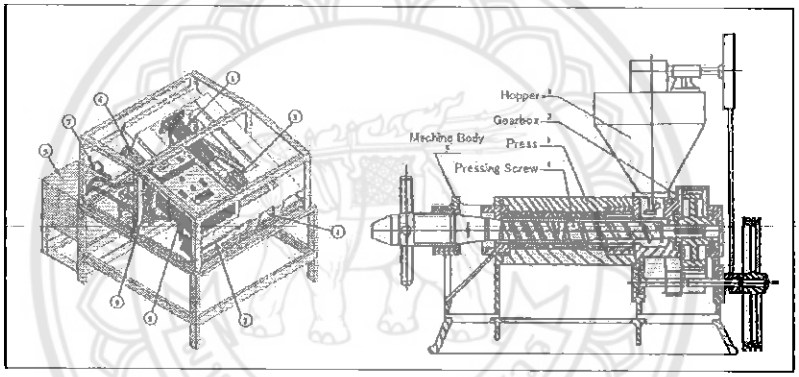


รูปที่ 2.1 แผนภาพขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลาย

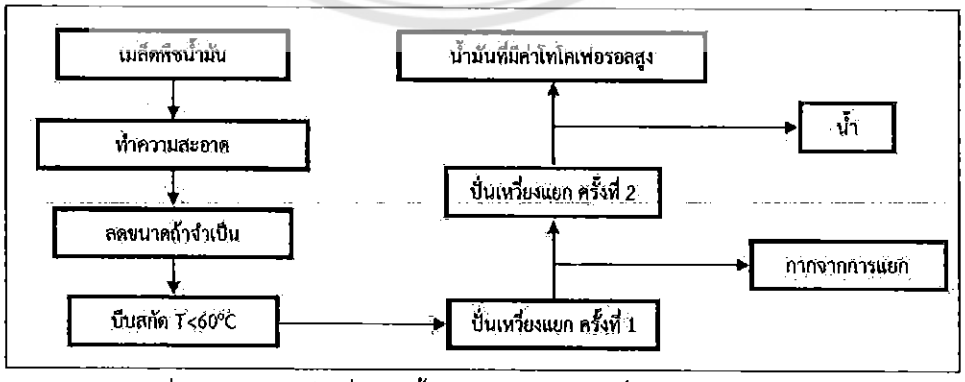
การสกัดน้ำมันด้วยวิธีเชิงกลด้วยการบีบอัด เป็นการใช้แรงบีบอัดให้ผนังเซลล์ของพืชน้ำมันแตก เพื่อแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบดังกล่าว น้ำมันที่ได้จะเป็นน้ำมันที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 10-80 ไมครอน เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการโดยทั่วไป แบ่งเป็นสามชนิดหลัก ได้แก่การสกัดโดยการบีบอัดด้วยระบบไฮโดรลิก การสกัดด้วยเครื่องบีบอัดชนิดลูกกลิ้ง และการสกัดด้วยเครื่องบีบอัดชนิดเกลียวอัด ซึ่งวิธีแรกเป็นการใช้แรงกดจากกระบอกไฮโดรลิกเพื่อบีบอัดเมล็ดพืชน้ำมันโดยตรง สามารถทำงานได้ทั้งแบบกะ และแบบต่อเนื่อง ชนิดที่สองเป็นการใช้แรงกดระหว่างลูกกลิ้งที่สัมผัสกัน จัดวางเป็นรูปสามเหลี่ยม เคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องเพื่อทำหน้าที่นวดและบีบอัดน้ำมันจากวัตถุดิบ น้ำมันที่ได้จะตกลงสู่ด้านล่างของลูกกลิ้งซึ่งมีภาชนะมารองรับ การสกัดด้วยเครื่องสกัดชนิดเกลียวอัด มีส่วนประกอบของเกลียวอัดซึ่งทำหน้าที่ในการลำเลียง บดอัดและบีบสกัดน้ำมันออกจากวัตถุดิบ โดยใช้กำลังซึ่งส่งผ่านเพลา แต่ระหว่างกระบวนการอัดจะเกิดความเสียดทานระหว่างเกลียวอัด ผนังกระบอก และวัตถุดิบ และอาจเกิดความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิต

สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นกลุ่มสารที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับโมเลกุลต่างๆ รวมถึงสารอนุมูลอิสระ ภายในร่างกาย ซึ่งอนุมูลอิสระดังกล่าวก่อให้เกิดการทำลายโมเลกุลอื่นภายในร่างกายอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ และเป็นสาเหตุให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อต่างๆ ภายใน เป็นสาเหตุของโรคเรื้อรัง แม้ว่าร่างกายของมนุษย์จะมีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์ต่างๆ แต่เมื่อบุคคลนั้นมีอายุสูงขึ้น ประกอบการการบริโภคและมลพิษในปัจจุบันจะก่อให้การสร้างเอนไซม์เพื่อต้านอนุมูลอิสระของร่างกายมีค่าลดลง จึงเป็นความนิยมและการรักษาทางเลือกในการบริโภคอาหารเสริมในกลุ่มประเภทสารต้านอนุมูลอิสระ

โทโคฟีรอล เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญตัวหนึ่ง พบได้ในอาหารตามธรรมชาติหลายชนิด โดยเฉพาะในเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น ถั่วลิสง งา ฯลฯ น้ำมันพืชเพื่อการทำอาหาร แตกต่างจากน้ำมันพืชเพื่อบริโภคเป็นอาหารเสริมในกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ โดยจะผลิตในลักษณะของการสกัดเย็นซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิตลอดการผลิตให้มีค่าไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และเป็นการสกัดโดยไม่ใช้สารเคมี สำหรับวิธีที่ใช้เงินลงทุนเบื้องต้นต่ำคือการใช้วิธีเชิงกลในการบีบอัด โดยไม่มีการให้ความร้อนอุณหภูมิสูงแก่วัตถุดิบ จึงจำเป็นต้องศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการผลิตในช่วงไม่เกินขีดจำกัดของการสกัดเย็นต่อปริมาณโทโคฟีรอลในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในประเด็นของสารต้านอนุมูลอิสระต่อผู้บริโภค แต่ได้อัตราการสกัดน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดในมุมมองของผู้ผลิตน้ำมันสกัดเย็น



รูปที่ 2.2 เครื่องบีบอัดชนิดไฮโดรลิก และชนิดเกลียวอัด (พิสิษฐ์ และอริยาภรณ์, 2549 & www.seedoilpress.com)



รูปที่ 2.3 การสกัดเย็นเพื่อผลิตน้ำมันพืชชนิดสกัดเย็นที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ

งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยได้ทำการวิจัยหลากหลายประเด็นเกี่ยวกับน้ำมันงา โดยคณะนักวิจัยจากประเทศโมร็อกโกได้นำเมล็ดงาจากพื้นที่ภาคกลางของประเทศโมร็อกโก ซึ่งถูกเก็บเกี่ยวในเดือนมิถุนายน 2014 และเก็บไว้ ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยไม่โดนแสง มาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการวิจัย โดยตัวอย่างของเมล็ดงาดังกล่าวปริมาณ 5 กรัม ถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยดัดแปลงมาจากกระบวนการใน AOAC 1990โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อัตราการได้น้ำมันวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN EN ISO 659 ปริมาณเถ้าทำการวิเคราะห์โดยเผาตัวอย่างเมล็ดงาปริมาณ 5 กรัม ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสในเตาเผา ปริมาณโปรตีนหยาบคำนวณจากปริมาณไนโตรเจน ในขณะที่ปริมาณไฟเบอร์วิเคราห์โดยใช้วิธีการคำนวณน้ำหนักจากตัวอย่างเมล็ดงาไร้ไขมันจากนั้นทำการวิเคราะห์ กรดไขมันและองค์ประกอบ sterol & tocopherols compositions สมบัติทางกายภาพและเคมี ตลอดจนความคงตัวต่อออกซิเดชั่นของน้ำมันงานที่ผลิตได้ จากผลการวิเคราะห์และทดลองพบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวหลักได้แก่ linoleic acid ประมาณ 46.9 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ oleic acid ประมาณ 37.4เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวคือ palmitic acid ประมาณ 9.1 เปอร์เซ็นต์นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าน้ำมันงามีโปรตีนประมาณ 22เปอร์เซ็นต์และมีลิปิดสูงถึง 52เปอร์เซ็นต์ (Gharby et al., 2015)

คณะผู้วิจัยจากประเทศไทยได้ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องสกัดเย็นน้ำมันงา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถใช้ทั้งด้านการแพทย์และการผลิตเครื่องสำอางค์ โดยได้ออกแบบพัฒนาเครื่องสกัดเย็นน้ำมันงาชนิดไฮโดรลิคที่ใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าหนึ่งเฟส ซึ่งเครื่องสกัดดังกล่าวจะไม่เกิดความร้อนขณะทำการผลิต แรงดันของน้ำมันไฮโดรลิคมีค่าระหว่าง 100-150 บาร์ มีกระบอกไฮโดรลิคจำนวนสองอันสำหรับกระบวนการบีบอัดงาและกระบวนการคายกากงา ควบคุมการทำงานด้วยโซลินอยล์วาล์วจำนวนสองตัว ความเร็วของกระบอกไฮโดรลิคมีค่าประมาณ 5 เซนติเมตรต่อนาที ทำงานโดยการอัดย้ำเป็นจังหวะในลักษณะต่อเนื่อง เครื่องสกัดน้ำมันงาสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดเครื่อง สามารถทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติและการควบคุมด้วยคน จากผลการวิจัย เครื่องสกัดน้ำมันงาดังกล่าวสามารถสกัดน้ำมันงาได้ในอัตรา 49 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อเมล็ดงา 130 กรัม โดยใช้เวลา 5.40 นาทีคิดเป็นอัตราการสกัดเท่ากับ 38 เปอร์เซ็นต์ โดยกากเมล็ดงามีลักษณะคงรูปไม่แหลกละเอียดและแบน อัตราการผลิตของเครื่องดังกล่าวเทียบเป็นอัตราการผลิตประมาณ 490 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ จากผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานพบว่าใช้พลังงานในการผลิตเท่ากับ 0.63 วัตต์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตรน้ำมันงา (พิสิษฐ์ & อริยาภรณ์, 2549)

งาดำที่ถูกสกัดโดยกระบวนการสกัดเย็นด้วยเครื่องไฮโดรลิค มีอัตราการสกัดน้ำมันงาดำได้ประมาณ 37.69 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดงา มีส่วนของกากงาดำเท่ากับ 62 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดงาเริ่มต้น กากงาที่ได้จากกระบวนการสกัดเย็นดังที่กล่าวมามีลักษณะการแตกป่นน้อย หากมีการอบงาดำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนทำการสกัด จะสามารถเพิ่มค่าอัตราการสกัดน้ำมันงาได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเพิ่มระยะเวลาการอัดด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิคให้นานขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณไขมันในกากงาดำให้มีค่าลดลง และเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนในกากงาดำดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การอบหรือคั่วเมล็ดงาด้วยความร้อนสูงจะส่งผลต่อคุณภาพของทั้งน้ำมันงาและกากงาดำ ซึ่งหากมีการอบเมล็ดงาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีก่อนกระบวนการสกัดน้ำมัน แม้จะสามาถเพิ่มค่าอัตราการสกัดน้ำมันเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดงาที่ไม่ผ่านการอบ แต่อย่างไรก็ตาม ความร้อนสูงที่ใช้ในการอบจะส่งผลให้วิตามินอี และสารประกอบในกลุ่มลิกแนนในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง กากงาโดยทั่วไปมีค่าวัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีนหยาบ ไขมัน เถ้า ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก และค่าใยอาหาร ในช่วงระหว่าง 83-89, 4-17, 23-46, 1.4-27, 7.5-17.5, 25-31 และ 5-12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กากงาดำดิบมีสารต้านโภชนาการ ทั้งสารต้านทริปซิน สารเล็คติน ซาโปนิน แทนนิน และไฟติน ซึ่งสามารถลดปริมาณสารต้านโภชนาการดังกล่าวได้กว่าครึ่ง หรือกำจัดได้หากมีการให้ความร้อนแก่กากงาดำทั้งแบบชื้น เช่นการนำไปต้มในน้ำเดือน หรือการให้ความร้อนแบบแห้งโดยการคั่วที่อุณหภูมิสูง กากงาดำยังมีประโยชน์ในแง่ของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

เพื่อสุขภาพต่างๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กากงาดำดิบที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่ามีสารลิกแนนและลิกแนนไกลโคไซด์ที่สูงกว่ากากงาดำซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญ (กาญจนา & ธีระพล, 2557)

นักวิจัยจากอินเดีย ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการผลิตอาหารเฉพาะทางจากกากวัตถุดิบของอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมัน ซึ่งวัตถุดิบในการทดลองได้แก่ งาดำ และรำข้าว จากโรงงานสกัดน้ำมัน เมล็ดแฟลกซีดซึ่งซื้อจากตลาดท้องถิ่น วัตถุดิบทั้งหมดได้ถูกนำมาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการสกัดสารโดยใช้เครื่องสำเร็จซอกห์เลต soxhlet method โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย จากนั้นกากงาดำ กากรำข้าว และแฟลกซีด ถูกนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อทำการทดสอบ การทดสอบปริมาณใยอาหารตาม AOAC ด้วยวิธี enzymatic-gravimetric method ซึ่งเป็นการแยกใยอาหารออกโดยการใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสลายองค์ประกอบที่เหลือ พบว่ามีองค์ประกอบของใยอาหารในกากงาดำ กากรำข้าว และกากแฟลกซีด ประมาณ 68, 27 และ 39% ตามลำดับ การวิเคราะห์ค่าความหนืดของใยอาหารทำการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือดิจิตอลวัดค่าความหนืด Brookfield ณ ระดับความเข้มข้นของใยอาหารรวมในน้ำกลั่นสามระดับค่า 5 10 และ 15% น้ำหนัก/ปริมาตร แล้วปล่อยไว้นาน 24 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์ antioxidant activity ทำการทดสอบโดยประยุกต์ใช้วิธี The Ferric Thiocyanate method โดยเอธานอลิคที่สกัดจากแต่ละตัวอย่าง ถูกเติมลงในสารละลายผสมปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วเก็บในภาชนะปิดสนิทในสภาวะไร้แสงที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วนำไปใส่ในสารละลายเอธานอล สารละลายแอมโมเนียม ไธโอไซยาเนต และสารละลายกรดไฮโดรคลอริค เพื่อทดสอบการดูดกลืนสี ณ 500 นาโนเมตรทุก 24 ชั่วโมง นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าใยอาหารจากกากแฟลกซีดและกากรำข้าว มีค่าสมบัติการจับกับน้ำ ค่าการจับกับน้ำมัน และความสามารถในการเกิดอิมัลชั่นสูงกว่าค่าที่ได้จากกากงาดำ แต่มีค่าความหนืดและ antioxidant activity น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มแรกกับงาดำ (Nandi & Ghosh, 2015)

คณะนักวิจัยจากอิหร่านและโปรตุเกส ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีขององค์ประกอบน้ำมันที่เหลือในกากงาดำ ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการสกัดน้ำมัน โดยนำเมล็ดงาดำไปเก็บรักษาในไซโล ในสภาวะไร้แสง ณ อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกำจัดสิ่งเจือปน เช่น ฝุ่น ทราย หิน เมล็ดเสีย เมล็ดวัชพืช ฯลฯ ด้วยวิธีเชิงกลโดยใช้ตะแกรง และทำการสกัดน้ำมันตามสภาวะที่กำหนดด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว การวิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของการให้ความร้อน 3 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ 75, 90 และ 105 องศาเซลเซียส และระดับความชื้นเท่ากับ 4.5, 5.5 และ 6.5% ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยตัวทำละลายเฮกเซนร่วมกับอุปกรณ์ Soxhlet apparatus วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและปริมาณอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำโดยนำน้ำมัน 10 มิลลิลิตรไปปั่นในเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีแล้วคำนวณตามสมการของ AOAC จากการวิเคราะห์ผลการทอลองด้วยวิธี response surface method แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระดับอุณหภูมิเพื่อให้ความร้อน ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันในกากงาดำ และปริมาณอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำในน้ำมันที่ถูกสกัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่จะส่งผลต่อปริมาณโปรตีนในทางกลับกัน ในขณะที่การเพิ่มระดับความชื้นส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันในกากงาดำลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตคือ การให้ความร้อนในระดับ 75 องศาเซลเซียส และระดับความชื้นในช่วง 6.3-6.5% ซึ่งจะให้อัตราการผลิตน้ำมันสูงสุด ในขณะที่มีปริมาณน้ำมันหลงเหลือในกากงาดำต่ำที่สุด (Rostami et al., 2014)

คณะนักวิจัยจากประเทศไทยได้ศึกษาเกี่ยวกับเมล็ดงา และน้ำมันที่สกัดได้ ทั้งงาดำและงาขาวจากประเทศไทยและประเทศอื่นๆ โดยพิจาณาเกี่ยวกับปริมาณเซซามิน เซซาโมลิน และโทโคฟีรอล เพื่อการทดสอบสองปัจจัยแรก วัตถุดิบถูกนำไปบดให้เป็นผงละเอียดและชั่งน้ำหนัก 0.4-0.5 กรัม บรรจุลงในหลอดพลาสติกขนาด 15 มิลลิลิตร เติมด้วยเอธานอลและสกัดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง และสกัดน้ำมันจากกากงาซ้ำอีกครั้งด้วยเมธานอล ในขณะที่การวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลโดยการชั่งน้ำมันงา 100 มิลลิกรัมละลายในเอธานอล 5 มิลลิลิตร กรองด้วยไนลอนเมมเบรนและฉีดเข้าสู่ HPLC column ตามกระบวนการมาตรฐานของ Agilent 1100 liquid chromatography ส่วนเมล็ดงาบดละเอียด ปริมาณ 300 มิลลิกรัม ผสมกับเอธานอล 5 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที แล้วผ่านเครื่องปั่น

เหวี่ยงเป็นเวลา 5 นาที กากส่วนที่เหลือถูกนำไปสกัดน้ำมันซ้ำด้วยเอธานอลอีกครั้ง น้ำผลผลิตที่ได้กรองผ่านไนลอนเมมเบรนก่อนเข้าสู่คอลัมน์ของเครื่องHPLC ตามกระบวนการ reversed-phase liquid chromatography จากการทดลองพบว่าปริมาณของสองปัจจัยแรกมีค่าแปรผันในช่วงกว้าง โดยมีค่าเฉลี่ยของเซซามินเท่ากับ 1.55 มิลลิกรัมต่อกรัมเมล็ดงา ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.63 และมีค่าเฉลี่ยของเซซาโมลินเท่ากับ 0.62 มิลลิกรัมต่อกรัมเมล็ดงา ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48 ในขณะที่ค่าโทโคฟีรอลพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 50.9-211 ไมโครกรัมต่อกรัมเมล็ดงา การศึกษาน้ำมันงาจากอุตสาหกรรมพบว่าช่วงของปริมาณเซซามิน เซซาโมลิน และโทโคฟีรอล มีค่าเท่ากับ 0.93-2.89, 0.30-0.74 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำมัน และ 304-647 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำมัน (Rangkaditok et al., 2010)

กลุ่มนักวิจัยได้ทำการศึกษาพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันงาแบบเย็นให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการผลิตน้ำมันงาเพิ่มขึ้น โดยได้เพิ่มคุณลักษณะในการกรองกากงาจากการสกัดได้บางส่วนเพื่อลดขั้นตอนในกระบวนการกรองหยาบและยังสามารถช่วยลดระยะเวลาในการตกตะกอนได้ โดยเครื่องสกัดน้ำมันงาเย็นใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส ขนาด 1.5 แรงม้า มีเกียร์อัตราทด 1 ต่อ 30 มีเกลียวอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ระยะพิตช์ ความยาว และจำนวนเกลียวเท่ากับ 50.8, 30.0, 413.0 มิลลิเมตร และ 7 เกลียว ตามลำดับ เครื่องสกัดดังกล่าวมีลวดความร้อนขนาด 300 วัตต์เพื่อให้ความร้อนแก่หัวอัดของเครื่อง จากการวิจัยพบว่ามีอัตราการผลิตน้ำมันเท่ากับ 22.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้วัตถุดิบงาดำที่มีค่าความชื้นต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยควบคุมอุณหภูมิระหว่างการสกัดไว้เท่ากับ 54.7 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการทดสอบคุณลักษณะการกรองของเครื่องสกัดเย็น พบว่าสามารถลดตะกอนได้ 803 กรัม จากปริมาณตะกอนทั้งหมดกว่าสองพันกรัม คิดเป็นประสิทธิภาพในการกรองตะกอน 36.67 เปอร์เซ็นต์ของตะกอนทั้งหมด ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาในการตกตะกอนลดลงไปห้าสิบเปอร์เซ็นต์จากระยะเวลา 72 ชั่วโมง (น้ำมนต์ และคณะ, 2556)

นอกจากนี้ กลุ่มนักวิจัยหลายกลุ่มทั่วโลกได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการสกัดเย็นเพื่อสกัดเอาน้ำมันจากพืชไปใช้ประโยชน์หลากหลายรูปแบบ รวมถึงการใช้กากที่เหลือจากกระบวนการสกัด คณะผู้วิจัยจากประเทศไทยได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้การบีบอัดด้วยเครื่องสกัดชนิดเกลียวและเครื่องบีบอัดชนิดไฮโดรลิค เนื่องจากการแปรรูปมะม่วงหิมพานต์ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการกะเทาะเปลือกนั้น จะมีส่วนของเปลือกเมล็ดซึ่งเหลือทิ้งหลังจากการแกะเอาเมล็ดเนื้อในออกแล้ว น้ำมันดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทั้งด้านการแพทย์และเครื่องสำอางค์ ตลอดจนการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ได้แก่ อัตราเร็วรอบของเกลียวอัด อัตราการป้อนเปลือกเมล็ด และตัวแปรตามได้แก่ ความสามารถในการบีบอัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เปอร์เซ็นต์น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่บีบอัดได้ เปอร์เซ็นต์ความสะอาดของน้ำมัน และอัตราส่วนน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือในกากโดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของความกว้าง ความยาว และความหนาครึ่งซีกหลังการกะเทาะเปลือกของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีค่าเท่ากับ 23.68, 32.42 และ 9.78 มิลลิเมตรตามลำดับ ค่าความชื้นเท่ากับ 14.30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ค่าความชื้นของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.5เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการบีบอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิก การสกัดด้วยความร้อน และการสกัดด้วยเกลียวอัด พบว่า การบีบอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิคสามารถสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ 21.78เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่การสกัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200-250 องศาเซลเซียส หลังจากการเก็บเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไว้นานสิบห้าวันหลังกะเทาะเปลือก พบว่ามีอัตราการได้น้ำมันเท่ากับ 22.14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การสกัดด้วยเกลียวอัดขนาดความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว ระยะพิตช์ของเกลียว และความหนาของเกลียวเท่ากับ 105, 9.0, 7.5 และ 0.5 เซนติเมตรตามลำดับนั้น พบว่าเมื่อความเร็วรอบของเกลียวอัดเพิ่มขึ้นในช่วงที่ศึกษา (4-13 รอบต่อนาที) จะส่งผลให้ความสามารถในการบีบอัดน้ำมัน และเปอร์เซ็นต์น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่าเพิ่มขึ้น สภาวะที่ให้อัตราผลผลิตสูงสุดได้แก่ ความเร็วรอบของเกลียวอัด 13 รอบต่อนาที โดยมีอัตราการ

ป้อนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เท่ากับ 95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถผลิตน้ำมันได้ 14.9 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่บีบอัดได้ 21.04 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พบว่า ค่าความสะอาดของน้ำมันและอัตราส่วนน้ำมันที่คงเหลือในกากมีค่าระหว่าง 85.83-87.86 เปอร์เซ็นต์ และ 0.18-0.26 ตามลำดับ (ธวัชชัย & คมสันติ, 2545)

กลุ่มนักวิจัยจากประเทศเซอร์เบีย ได้ทำการศึกษาส่วนประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำมันสกัดเย็นที่ได้จากหกตัวอย่างของเมล็ดฟักทอง ซึ่งเก็บเกี่ยวในประเทศเซอร์เบีย โดยสี่ตัวอย่างเป็นน้ำมันฟักทองล้วน และอีกสองตัวอย่างเป็นน้ำมันผสมกาก ตัวอย่างของเมล็ดฟักทองเป็นเมล็ดสมบูรณ์ ไม่มีความเสียหาย ถูกอบแห้งและเก็บไว้ในถุงพลาสติกในที่มืด ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดด้วยวิธีการสกัดเย็นด้วยเครื่องสกัดชนิดเกลียวอย่างต่อเนื่อง ขนาด 4 กิโลวัตต์ ซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 40 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทำการสกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียสแต่เนื่องจากในช่วงต้นของกระบวนการสกัด เพื่อลดความติดขัดของวัตถุดิบในเกลียวอัด และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ จึงได้มีการอุ่นเกลียวอัดให้มีอุณหภูมิระหว่าง 80-100 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มกระบวนการสกัด โดยการเพิ่มลวดความร้อนและระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งจะทำการปิดลวดความร้อนหลังจากการไหลของวัตถุดิบในเกลียวอัดเป็นไปอย่างราบรื่นจึงไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนนาน 24 ชั่วโมง รินแยกอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำมันแล้วนำไปเก็บไว้ในขวดแก้วทึบฝาโลหะ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสน้ำมันฟักทองที่สกัดได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC และ GC/MS เพื่อศึกษาปริมาณของกรดไขมัน โทโคฟีรอล ไฟโตสเตอรอลและสควอลีนรวม พบว่าน้ำมันจากเมล็ดฟักทองดังกล่าวมีคุณภาพในระดับดีเยี่ยม มีค่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเดี่ยว 37.1-43.6 กรัมต่อ 100 กรัมของกรดไขมัน โทโคฟีรอลมีค่าระหว่าง 38.03-64.11 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำมัน สเตอรอลในช่วง 781.1-897.8 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำมัน และสควอลีนซึ่งมีค่าระหว่าง 583.2 -747 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำมัน ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ทั้งด้านโภชนาการและทางการแพทย์ต่อไป

นักวิจัยจากประเทศอังกฤษ ได้ศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันอีฟนิ่งพริมโรส ซึ่งสัดส่วนขององค์ประกอบที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันดังกล่าวมีส่วนประกอบของ 3-โอทรานส์-คาเฟโอควิล จากกรดโอลีโนลิค โมโรลิคและเบทูลินิค ซึ่งมีแนวโน้มที่จะส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทางชีวเคมีแสดงให้เห็นว่าสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มลิโพฟิลิคเหล่านี้ ปรากฏอยู่เพียงเล็กน้อยในน้ำมันอีฟนิ่งพริมโรสที่วางจำหน่ายทั่วไป ในขณะที่น้ำมันอีฟนิ่งพริมโรสที่ได้จากกระบวนการสกัดเย็นมีองค์ประกอบของเพนทาไซคลิค ไตรเตอพีน เอสเตอร์ จึงทำให้น้ำมันสกัดเย็นมีคุณประโยชน์เหนือกว่าน้ำมันอีฟนิ่งพริมโรสที่ได้จากกระบวนการเชิงอุตสาหกรรมทั่วไป (Purl, 2003)

นักวิจัยจากสามประเทศ ได้ร่วมกันศึกษาปริมาณ องค์ประกอบ และสีของน้ำมันจำนวน 11 ชนิดจากเบอร์รี่จำนวน 6 สายพันธ์ โดยได้ทำการศึกษาทั้งก่อนและหลังจากการกรองน้ำมันที่ได้จากการสกัดเย็น ซึ่งผลเบอรรี่ทั้งหมดเก็บเกี่ยวในปี 2008 จากพื้นที่ในเขตตะวันตกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากการคั้นผลเบอรรี่เพื่อผลิตน้ำผลไม้ กากและเมล็ดที่เหลือถูกนำไปอบแห้งภายในระยะเวลา 10 ชั่วโมงหลังการส่งมอบเพื่อลดค่าความชื้นจาก 80% ให้เหลือเพียง 8% และใช้กระบวนการเชิงกลเพื่อแยกเมล็ดออกจากส่วนอื่นๆ จากนั้นเมล็ดถูกบรรจุในถุงโพลิเอธิลีนเพื่อเก็บไว้ในกล่องกระดาษภายใต้สภาวะอากาศแห้ง กระบวนการสกัดน้ำมันทำโดยการใช้เครื่องสกัดเย็นซึ่งทำงานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40.6-60.0 องศาเซลเซียส แปรผันตามคุณภาพและชนิดของเมล็ดเบอรรี่ น้ำมันจากเมล็ดเบอรี่ที่ได้จะถูกกรองที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส การวัดค่าสีของน้ำมันใช้เครื่อง colorimeter spectrophotometer โดยตั้งค่า D65 และโหมด SCI ในขณะที่การทดสอบสารประกอบฟีนอลใช้วิธีการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง โดยจะจัดเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสหากไม่ได้ทำการวิเคราะห์ HPLC ภายในวันเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งวิธีการดังกล่าวใช้ในการวิเคราะห์ค่าฟีนอลรวมเช่นกัน ผลการวิจัยพบว่ากระบวนการกรองไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณและองค์ประกอบ ยกเว้นการลดลงเล็กน้อยของความคงตัวออกซิเดชั่น เนื่องจากความไม่อิ่มตัวในระดับที่สูงส่งผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์ และพี-แอนิซิดีน มีค่าสูงในทุกตัวอย่าง อย่างไรก็ตามค่าของโทโคฟีรอ และโทโคไตรอินอลซึ่งมีค่าสูง และมีผลรวม

ในช่วงระหว่าง 138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับน้ำมันเมล็ดกีวี่ที่ผ่านกระบวนการกรอง กับ 1,639 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับเมล็ดแบล็คเบอรี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการกรอง มีแนวโน้มจะปกป้องน้ำมันระหว่างการทดสอบการคงตัว นอกจากนี้ผล การทดสอบ HPLC พบว่าสารประกอบฟีนอลมีค่าระหว่าง 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำมันแบล็คเบอรี่ที่ผ่านกระบวนการ กรอง กับ 15,810 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของเมล็ดสตรอเบอรี่ที่ผ่านกระบวนการกรองเช่นกัน (Hoed et al., 2011)

คณะนักวิจัยจากประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา ได้ร่วมกันศึกษาอิทธิพลของการทำให้รำข้าวคงตัวโดยใช้การให้ความร้อนต่อผลิตผล คุณภาพ และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ สำหรับการสกัดเย็นน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีเชิงกล โดยการนำรำข้าว ที่ผ่านการทำให้คงตัวปริมาณ 5 กิโลกรัม มาอัดผ่านเครื่องสกัดชนิดเกลียวขนาด 475.70 วัตต์ จำนวน 3 รอบ แล้วจึงวัด ปริมาณผลผลิตที่ได้ อนุภาคขนาดเล็กในน้ำมันที่สกัดได้ถูกแยกออกโดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ แล้วเก็บรักษาไว้ ณ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การวัดค่าสีของน้ำมันรำข้าวใช้เครื่อง colorimeter โดยนำน้ำมัน 50 มิลลิลิตรใส่ลงในถ้วยแล้ว วัดค่าด้วยการตั้งค่า daylight 65 illuminant/10° observer สมบัติของน้ำมันรำข้าว ได้แก่ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าความเป็น กรด กรดไขมันอิสระ ทำการวิเคราะห์ตามกระบวนการของ AOCS ซึ่งกรดไขมันอิสระคำนวณจากกรดโอเลอิค และแสดงเป็น เปอร์เซ็นต์ของลิปิดรวม จากผลการวิจัยพบว่าผลผลิตน้ำมันรำข้าวสูงสุดคือการให้ความร้อนโดยอากาศ มีค่าเท่ากับ 5.53 กรัมต่อ 100 กรัมรำข้าว รองลงมาได้แก่การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ มีอัตราผลผลิตเท่ากับ 4.81 กรัมต่อ 100 กรัมรำข้าว ในขณะที่การคั่วและการอบไอน้ำ มีอัตราผลผลิตคือ 4.77 และ 3.41 กรัมต่อ 100 กรัมรำข้าว ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า การให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนและไมโครเวฟส่งผลให้น้ำมันรำข้าวที่ได้มีค่าความเป็นกรดต่ำ 6.30-6.38 มิลลิกรัมโปแตสเซียมออกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน กรดไขมันอิสระในช่วง 3.17-3.51% และค่าเปอร์ออกไซด์ระหว่าง 11.72-12.13 มิลลิกรัม เทียบเท่าต่อกิโลกรัมน้ำมัน ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสองวิธีที่เหลือ แต่การให้ความร้อนจากอากาศร้อนและไมโครเวฟจะ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสารประกอบฟีโนลิครวมต่ำ กว่าการให้ความร้อนรำข้าวด้วยวิธีคั่วและอบไอน้ำ (Thanonkaew et al., 2012)

นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์จากประเทศไทย ได้ร่วมกันออกแบบและพัฒนาเครื่องบีบอัดน้ำมันสบู่ดำเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล โดยเครื่องบีบอัดดังกล่าวมีขนาดความกว้าง ยาว และความสูงเท่ากับ 700, 1458 และ 1526 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำงานโดยใช้กำลังจากมอเตอร์สามเฟสขนาด 3.73 กิโลวัตต์ ใช้ระบบสายพานส่งกำลังให้กับเกลียวอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 มิลลิเมตร ซึ่งมีแกนลักษณะเอียงลาดแต่ระยะพิตช์และยอดเกลียวคงที่ ซึ่งเกลียวอัดดังกล่าวทำงานด้วยความเร็วรอบ 12.18 รอบต่อนาที ในส่วนของกระบอกอัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 89 และ 77 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความยาวของกระบอกอัด 376 มิลลิเมตร มีรูระบายน้ำมันจำนวนสี่สิบรู แบ่งออกเป็นสี่แถวเท่าๆ กัน โดยรูระบายน้ำมันมีขนาด 2 มิลลิเมตร ผลการทดสอบการทำงานเครื่องสกัดเย็นน้ำมันสบู่ดำ พบว่ามีอัตราการบีบอัดน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 0.28 ลิตรต่อกิโลกรัมเมล็ดสบู่ดำ โดยมีกำลังการผลิตน้ำมันสบู่ดำประมาณ 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง (คุนากร และคณะ, 2550)

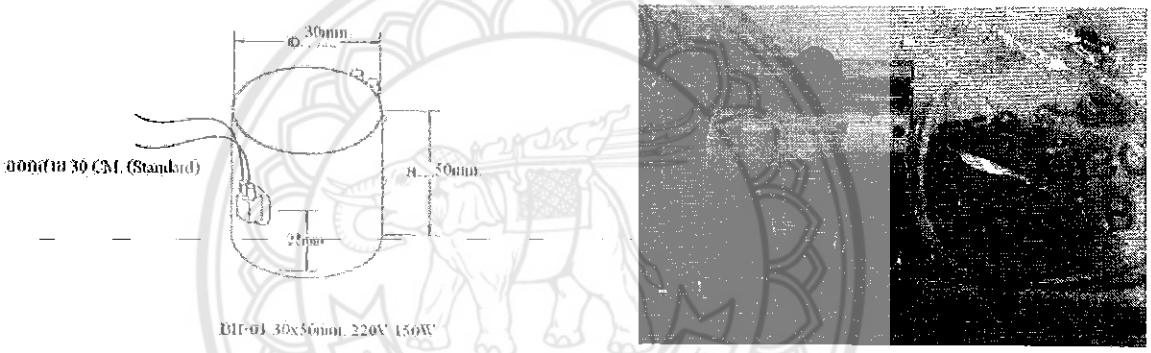
บทที่ 3

เครื่องมือและการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์ เป็นฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band Heater) มีขนาด 220V 150W มีลักษณะเป็น วงแหวน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30mm ขนาดความสูง 50mm ต่อออกสายที่ตำแหน่ง 25mm วัดจากขอบล่างฮีตเตอร์ และออกสายยาว 300mm (standard) เหมาะสำหรับใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอกโดยทำการรัดท่อจากภายนอก การทำงานจะต่ออุปกรมเข้ากับโซลิดสเตตรีเลย์เพื่อเป็นสวิทย์เปิด-ปิดวงจร



รูปที่ 3.1 ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band Heater)

เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมหน้าจอแสดงผล (Digital Scales)

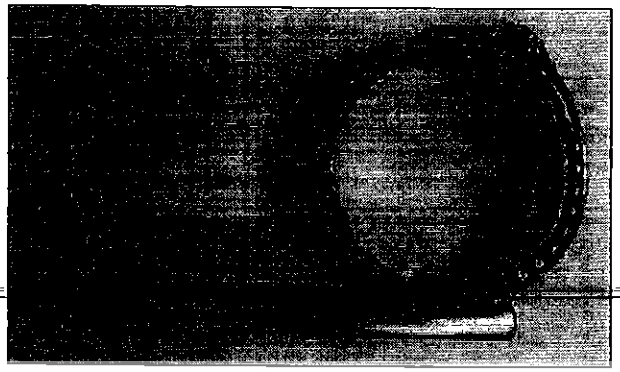
เครื่องชั่งดิจิตอลยี่ห้อ ADAM รุ่น CQT202 สามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ 200 กรัม มีความละเอียดอยู่ที่ 0.01 กรัม ถูกใช้ในการชั่งน้ำหนักของปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเย็นแบบไฮดรอลิก

โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid state relay SSR 25 da)

โซลิดสเตตรีเลย์จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิด-ปิดวงจรการทำงานของฮีตเตอร์โดยจะต่อเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งตัวควบคุมอุณหภูมินั้นจะเป็นตัวส่งสัญญาณสำหรับการเปิด-ปิดสวิทย์ของโซลิดสเตตรีเลย์ Input 3-32VDC ,Output 24-380VAC

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

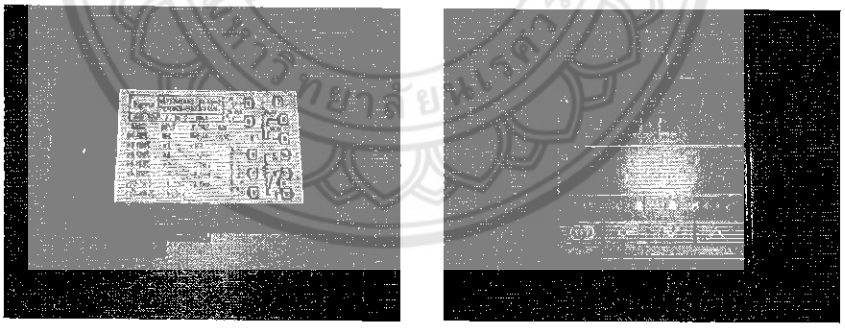
Thermocouple type K สามารถวัดอุณหภูมิ 0-400 องศาเซลเซียสเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยจะทำการติดตั้งใต้ฮีตเตอร์ เพื่อทำการวัดและควบคุมอุณหภูมิบริเวณผิวของกระบอกไฮดรอลิกให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยการทำงานจะส่งสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปยังกล่องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.2 Thermocouple type K

กล่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

กล่องควบคุมอุณหภูมิ เป็นตัวที่ใช้กำหนดและควบคุมอุณหูมิของกระบอกอัดไฮดรอลิก โดยรับค่าความต่างศักดิ์จากเทอร์โมคัปเปิลแล้วแปลค่าจากความต่างศักดิ์เป็นอุณหภูมิองศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิที่วัดได้ต่ำกว่าที่กำหนด กล่องควบคุมอุณหภูมิจะส่งกระแสไฟฟ้าไปยังโซลิดสเตตรีเลย์เพื่อสั่งให้โซลิดสเตตรีเลย์ปิดวงจรทำให้ฮีตเตอร์ทำงาน และเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่กำหนดแล้ว กล่องควบคุมอุณหภูมิจะหยุดส่งกระแสไฟฟ้าไปยังโซลิดสเตตรีเลย์เพื่อสั่งให้โซลิดสเตตรีเลย์เปิดวงจรทำให้ฮีตเตอร์หยุดทำงาน



รูปที่ 3.3 กล่องควบคุมอุณหภูมิ

Features

Power supply: 90-260 VAC **Input:** Universal input (TC, RTD, Analog) **Display:** Dual line four digits LED display

Output: Relay/SSR/4-20mA/Thyristor zero trigger optional (Specify when order)

Auto-Tuning: Auto tuning function available to secure precision control

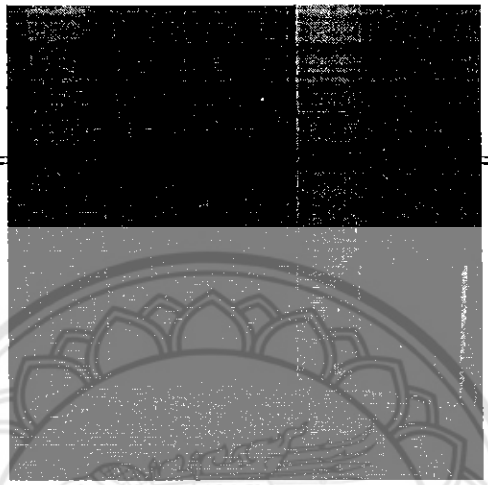
Accuracy: 0.5%F. S+/-1 digit

Power Supply

90-260 VAC 24 VDC

เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM)

เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ UNIVERSAL TESTING MACHINE TX0126-Model- H50KS Input: 320VAC 50/60Hz 530VA,Output: 48VAC 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



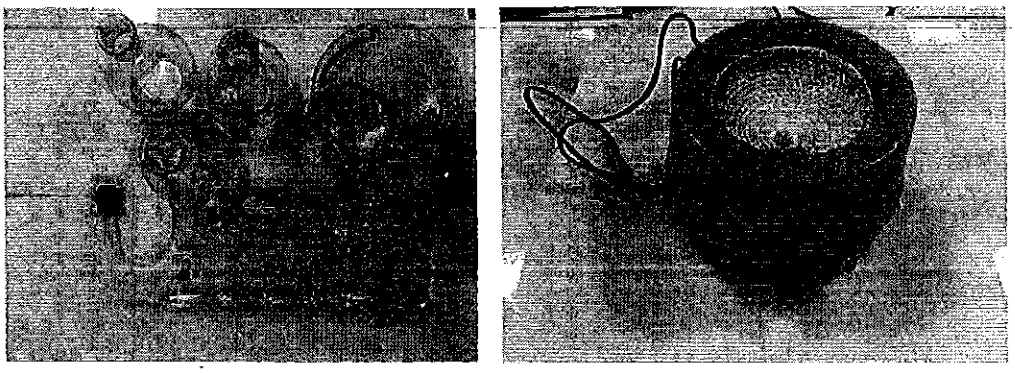
รูปที่ 3.4-เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์

Soxhlet

ชุดสกัด Soxhlet เป็นชุดสกัดที่มักใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ โดยนำวัสดุที่ต้องการสกัดใส่ใน Soxhlet และใส่สารละลายลงในขวดก้นกลมและให้ความร้อนสารละลายที่ระเหยจะเข้าไปละลายน้ำมันหอมระเหยด้านบนและไหลย้อนกลับมานวมตัวกันด้านล่าง

เตาหลุม (Heating mantle)

เตาหลุมยี่ห้อ MTOPS / KOREA สามารถทำความร้อนได้ 0-380 องศาเซลเซียส เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชุดสกัด Soxhlet เพื่อต้มสารละลายให้เดือดจนละเหยเป็นไอในการสกัด



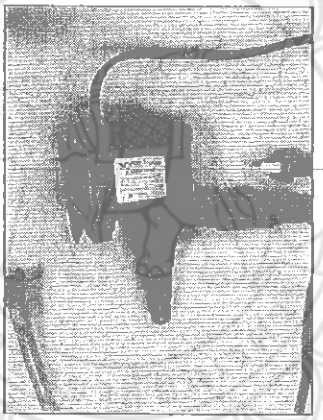
รูปที่ 3.5 Soxhlet และ heating mantle

เฮกเซน (Hexane)

เฮกเซนเป็นสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ใช้ผสมสีหรือกาวในงานเฟอร์นิเจอร์ งานพ่นหรืองานทาสี งานทากาวรองเท้า สำหรับโรงงานสกัดน้ำมันจากพืชที่ใช้เฮกเซน ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันพืช และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม หากต้องการแยกสารอินทรีย์ออกจากสารผสมมักจะใช้วิธีการสกัด (Extraction) ซึ่งสามารถละลายสารอินทรีย์ที่ต้องการสกัดได้ดี ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับสารละลายของของผสม โดยเฮกเซนมีสูตรทางเคมีคือ C6H14 มวลต่อหนึ่งโมลเท่ากับ 86.18 g/mole ความหนาแน่น 0.6548 g/ml ของเหลว จุดเดือดและจุดหลอมเหลวเท่ากับ 342K และ 178K ตามลำดับ ในด้านการสกัดน้ำมันจากพืชจะใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายจะสามารถละลายน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่บดละเอียดได้ดี น้ำมันจะออกมาปนกับเฮกเซนแล้วนำไประเหยแยกเอาเฮกเซนออก

ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำรุ่น SONIC-AP1200 เป็นปั๊มแช่น้ำที่เหมาะสำหรับตู้ปลาขนาดเล็ก ตู้กรอง หรือใช้สำหรับงานน้ำพุ น้ำตกขนาดเล็กได้ อัตราการไหล 600 ลิตรต่อชั่วโมง กำลังไฟ 9 วัตต์ ดันน้ำได้สูง 0.8 เมตร นำมาใช้ในการปั๊มน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอของเฮกเซน



รูปที่ 3.6 ปั๊มน้ำ

ไมโครเวฟ (Microwave oven)

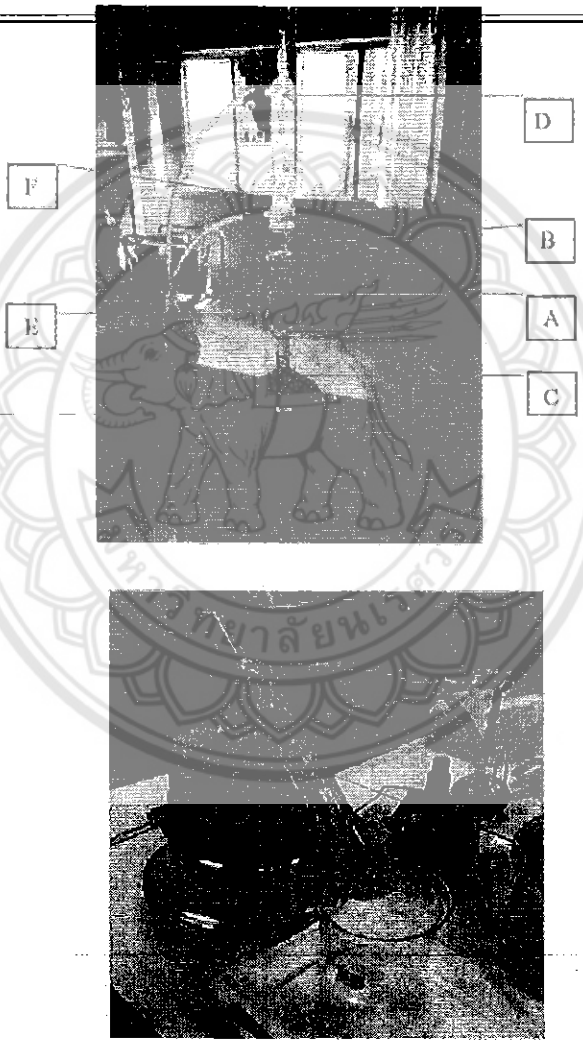
ไมโครเวฟ Samsung me711k ความจุ 20 ลิตร 800 วัตต์ ตั้งความร้อนได้ 7 ระดับ โดยตัวเครื่องมีขนาด 49.0×28.0×37.0 เซนติเมตร น้ำหนัก 10.5 กิโลกรัม นำมาใช้ในการอบกระตุ้นให้เมล็ดงาดำมีอุณหภูมิอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปสกัดเย็นด้วยกระบอกอัดไฮดรอลิก

เครื่องโคมาโทกราฟเหลวความดันสูง hplc

เครื่องโคมาโทกราฟเหลวความดันสูงยี่ห้อ SHIMADZU (Japan) รุ่น Class-VP สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน

นำเมล็ดงาดำมาบดให้ละเอียดจำนวน 30 กรัม และนำผ้าขาวบางมาห่องาดำที่บดแล้วนำไปใส่ในบริเวณ A ผ่านทางจุด B ที่เรียกว่า Soxhlet chamber เติมตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดลงในขวดก้นกลม ปริมาณ 350 มิลลิลิตร ในขวด C และให้ความร้อนแก่ขวดก้นกลม 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อตัวทำละลายเดือดกลายเป็นไอ ไอของตัวทำละลายจะผ่านเข้าสู่หลอด E และถูกควบแน่นที่บริเณจุด B โดยการกลั่นตัวของตัวทำละลายนั้นจะทำได้โดยการปั๊มน้ำจากภายนอกที่จุด D เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อน และไหลออกที่จุด F ตัวทำละลายจะกลั่นตัวเป็นของเหลวลงสู่หลอดสกัด ตัวทำละลายกลั่นตัวเป็นของเหลวลงสู่จุด A พร้อมกับละลายน้ำมันออกจากงาดำที่อยู่ในหลอดสกัด เมื่อตัวทำละลายที่ถูกกลั่นตัวผสมกับน้ำมันที่สกัดมีปริมาณสูงจนถึง ระดับของ Siphon arm จะไหลย้อนกลับมาที่ขวดก้นกลม โดยจะเป็นวัฏจักรเช่นนี้จนกว่าจะครบ 5 ชั่วโมง จากนั้นนำเฮกเซนไปให้ความร้อนเพื่อละเหยเฮกเซนออก จะได้น้ำมันงาออกมาแล้วนำไปชั่งเพื่อบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.8 Soxhlet extraction apparatus

การสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดเชิงกล

นำเมล็ดงาดำที่จัดเตรียมไว้ มาชั่งให้ได้ปริมาณที่ต้องการต่อการทดลอง 1 ครั้ง แล้วนำผ้ากรองมาใส่ในกระบอกอัด เพื่อป้องกันไม่ให้กากงาดำทะลักออกมา ใส่งาดำและแผ่นรองลงไปในกระบอกอัด ทำการประกอบเครื่องอัดกระบอกไฮดรอลิกและตรวจสอบเครื่องอัดก่อนทำการสกัดน้ำมัน ตั้งค่าเครื่อง UTM โดยให้ตั้งค่าแรงดันให้ได้ตามที่กำหนดคือ 20, 40, 60 เมกะปาสคาลที่เครื่อง UTM ต้องตั้งค่าโดยให้แรงอยู่ในหน่วยนิวตัน เปิดการทำงานของฮีตเตอร์ให้ทำงานอยู่ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับเป็นระยะเวลา 10 นาที โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลร่วมกับรีเลย์และเครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุม แล้วจึงเริ่มทำการสกัดน้ำมันงาดำสกัดเย็นโดยกระบอกอัดไฮดรอลิกด้วยเครื่อง UTM ที่ให้แรงกดตามที่กำหนดไว้ ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักน้ำมันที่ได้จากการสกัด และเก็บข้อมูลน้ำหนักของกากงาดำ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

สกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดเชิงกลพร้อมกระตุ้นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ

นำเมล็ดงาดำที่จัดเตรียมไว้ มาชั่งให้ได้ปริมาณที่ต้องการต่อการทดลอง 1 ครั้ง นำผ้ากรองมาใส่ในกระบอกอัด เพื่อป้องกันไม่ให้กากงาดำทะลักออกมา นำงาดำที่ชั่งไปอบด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 100, 180 และ 300 วัตต์ ที่ระยะเวลา 330, 150 และ 60 วินาที ตามลำดับ ใส่งาดำและแผ่นรองลงไปในกระบอกอัด ทำการประกอบเครื่องอัดกระบอกไฮดรอลิกและตรวจสอบเครื่องอัดก่อนทำการสกัดน้ำมัน ตั้งค่าเครื่อง UTM โดยให้ตั้งค่าแรงดันให้ได้ตามที่กำหนดคือ 70 เมกะปาสคาลที่เครื่อง UTM ต้องตั้งค่าโดยให้แรงอยู่ในหน่วยนิวตัน โดยที่ค่าแรงดันที่ 70 เมกะปาสคาล เปิดการทำงานของฮีตเตอร์ให้ทำงานอยู่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล และตัวควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุม เริ่มทำการสกัดน้ำมันงาดำสกัดเย็นโดยกระบอกอัดไฮดรอลิกด้วยเครื่อง UTM ที่ให้แรงกดตามที่กำหนดไว้ ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักน้ำมันที่ได้จากการสกัด และเก็บข้อมูลน้ำหนักของกากงาดำ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูล จากนั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับการสกัดน้ำมันโดยไม่มีการกระตุ้นด้วยไมโครเวฟ ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยใช้งาดำที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นใดๆ และทำการสกัดน้ำมันที่ความดัน 70 เมกะปาสคาล และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสโดยไม่มีการให้ความร้อนก่อนอัด

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องโคมาโทกราฟเหลวความดันสูง

การตรวจวัดโทโคฟีรอล ทำได้โดยการใช้เครื่องโคมาโทกราฟเหลวความดันสูง เพื่อทำการตรวจวัดปริมาณโทโคฟีรอลที่มีในน้ำมันงาเปรียบเทียบกับปริมาณโทโคฟีรอลตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบปริมาณแน่นอน โดยเริ่มจากละลายน้ำมันงาที่ได้จากการสกัดกับไอโซโพรพานอล แล้วทำการกรองผ่านฟิลเตอร์ขนาด 0.45 ไมครอน แล้วนำไปฉีดเข้าเครื่องโคมาโทกราฟเหลวความดันสูงยี่ห้อ SHIMADZU (Japan) รุ่น Class-VP ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Detector: RF-10A XL Fluorescence Detector (EX 290 and EM 330 nm)

Ultra C18, 5 um 25 cm x 4.6 mm (Restek)

A = Acetonitrile : Methanol : Isopropanol 50 : 40 : 10

B = Acetonitrile : Methanol : Isopropanol 30 : 65 : 5

Time	Event	Value
0.01	B.conc	15
15.0	B.conc	90
17.0	B.conc	90
22.0	B.conc	50
25.0	B.conc	15
26.0	Stop	15

1038603
วพ
ว79
โล
ป1430
2560
สำนักหอสมุด
11 พ.ค. 2564

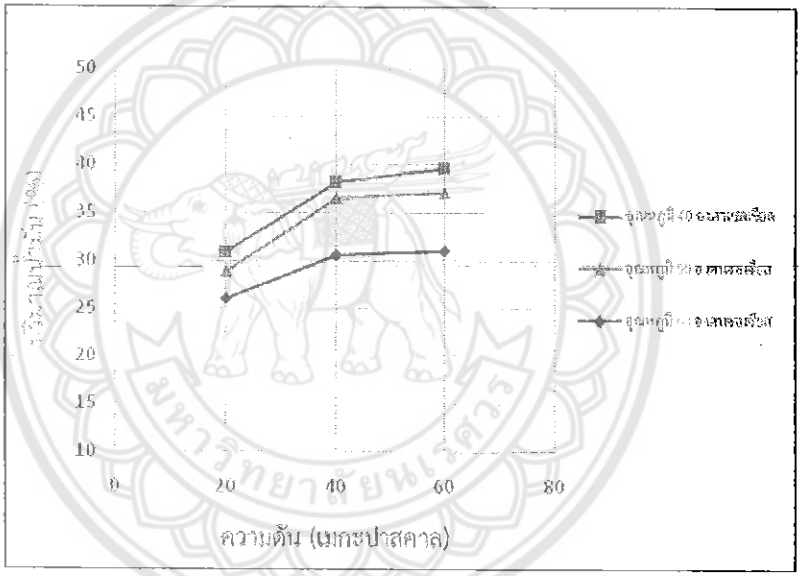
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ปริมาณน้ำมันงาจากการสกัดด้วยสารทำละลายเฮกเซน

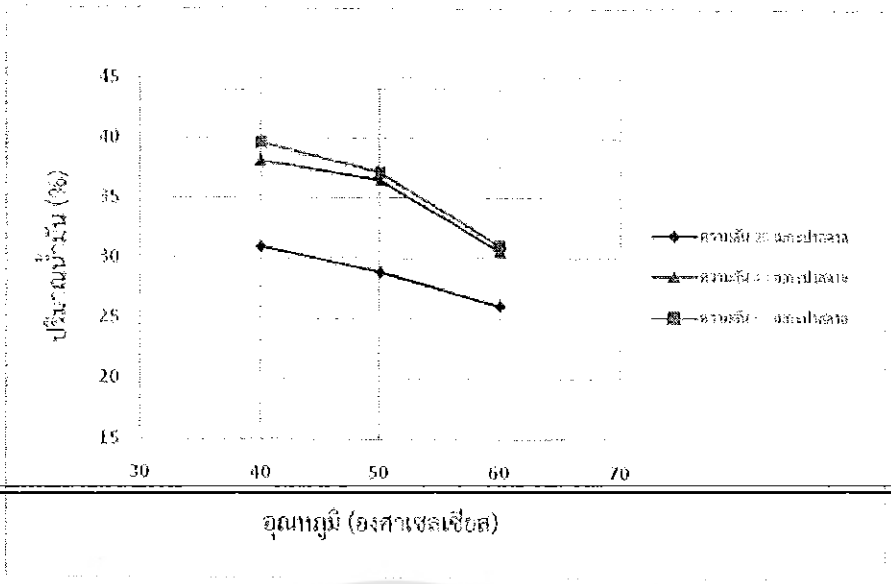
จากการทดลองพบว่าการสกัดเย็นด้วยตัวทำละลาย โดยใช้เฮกเซน 350 มิลลิลิตรต่อครั้ง ปริมาณงาดำ 30 กรัมต่อครั้ง จากการทดลองสกัดด้วยตัวทำละลาย จะให้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 41.22 เปอร์เซ็นต์โดยมวลทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Ihab Shigidi,2015), โดยงานวิจัยนี้ทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้เฮกเซนซึ่งได้ปริมาณน้ำมันออกมาที่ 42.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

อิทธิพลของความดันต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้



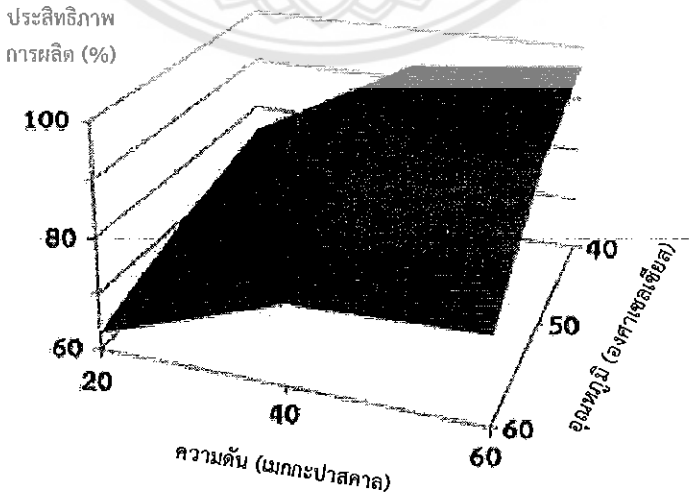
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับความดัน 20, 40, 60 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

จากรูป 4.1 พบว่าการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของความดันมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ และจากการทดลองพบว่าแนวโน้มการสกัดเย็นโดยกระบอกอัดไฮดรอลิก เมื่อเพิ่มความดันขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง จะได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่ความดัน 60 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 39.67 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และปริมาณน้ำมันเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 26.03 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ(P. Willems,2008), โดย งานวิจัยของนี้พบว่าความดันมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดงาดำสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก ที่ความดัน 10 - 70 เมกะปาสคาลอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมัน 23.18 – 38.63 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (O.O Ajibola,1992),โดย งานวิจัยนี้พบว่าการสกัดงาดำโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก ที่ความดัน 15 - 20 เมกกะปาสคาล ที่ค่าความชื้น 6.1 เปอร์เซนนต์ ปริมาณน้ำมันที่ได้ 22.7 - 33.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับอุณหภูมิ 40, 50, 60 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 20, 40 และ 60 เมกกะปาสคาล

จากรูป 4.2 พบว่าการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ และจากการทดลองพบว่าแนวโน้มการสกัดเย็นโดยกระบอกอัดไฮดรอลิก เมื่ออุณหภูมิลดลง ความดันเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เมกกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 39.67 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และปริมาณน้ำมันเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 20 เมกะปาสคาล ได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 26.03 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัย (P. Willems, 2008) โดย งานวิจัยของนี้พบว่าความดันมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดงาดำสกัดเย็นโดยใช้กระบอกอัดไฮดรอลิก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 10 - 70 เมกะปาสคาลได้ปริมาณน้ำมัน 23.18 – 38.63 เปอร์เซ็นต์โดยมวล



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณน้ำมันเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียสบความดัน 20-60 เมกะปาสคาล

จากรูป 4.3 พบว่าการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ และความดันมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ จะพบว่ากราฟแสดงพื้นที่ปริมาณน้ำมันจะแบ่งออกเป็น 3 โซน เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิลดลง ปริมาณน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงที่ให้ค่าปริมาณน้ำมันมากที่สุดจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40 – 50 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 40 – 60 เมกะปาสคาล ในขณะที่ช่วงซึ่งให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อย จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 20 เมกะปาสคาล จึงควรหลีกเลี่ยงการสกัดน้ำมันในช่วงความดันและอุณหภูมิดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำมันจะสูงที่สุด ณ สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 60 เมกะปาสคาล และปริมาณน้ำมันน้อยที่สุด ณ สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 20 เมกะปาสคาล

เพื่อเป็นการตรวจสอบให้ชัดเจนว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันที่มีในเมล็ดงาดำ สำหรับกระบวนการสกัดด้วยการกดอัดเชิงกล จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA พบว่าตัวแปรความดัน อุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมระหว่างสองตัวแปรมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันในเมล็ด ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของความดัน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกดอัดเพื่อสกัดน้ำมันด้วยวิธีเชิงกล ต่อเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการสกัดน้ำมันมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต (H. Santoso, 2008 & P. Willem, 2008) ซึ่งระบุว่าอัตราการสกัดได้น้ำมันมีค่าสูงเมื่อความดันกดอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่แนวโน้มของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการสกัดน้ำมันเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาดำ พบว่าประสิทธิภาพการบีบสกัดน้ำมันมีค่าสูงกว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำ และเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการสกัดน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแนวโน้มดังกล่าวมีความแตกต่างจากผลการวิจัยในอดีต (H.-Santoso, 2008) ซึ่งระบุว่าอุณหภูมิในช่วง 60-80°C ไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่บีบสกัดได้ โดยอาจมีสาเหตุจากช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษามีค่าแตกต่างกันและวัตถุดิบที่ใช้เป็นคนละชนิดกัน

สมการความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุเชิงซ้อน โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการสกัดเย็นน้ำมันจากงาดำเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบกับอุณหภูมิและความดันในการอัด ในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส และความดันในช่วงระหว่าง 20-60 เมกกะปาสคาล พบว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการด้านล่าง

$$YE = 2.144T+2.279P-0.01TP- 0.016P^2- 0.026T^2$$

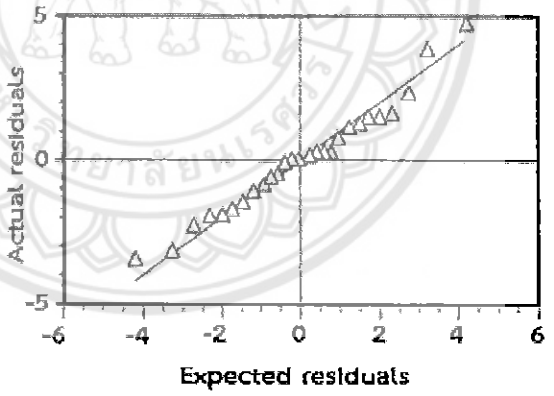
เมื่อ

YE คือประสิทธิภาพของการสกัดเย็นน้ำมันจากงาดำเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดในวัตถุดิบ (%)

T คืออุณหภูมิในการสกัด (^{o}C)

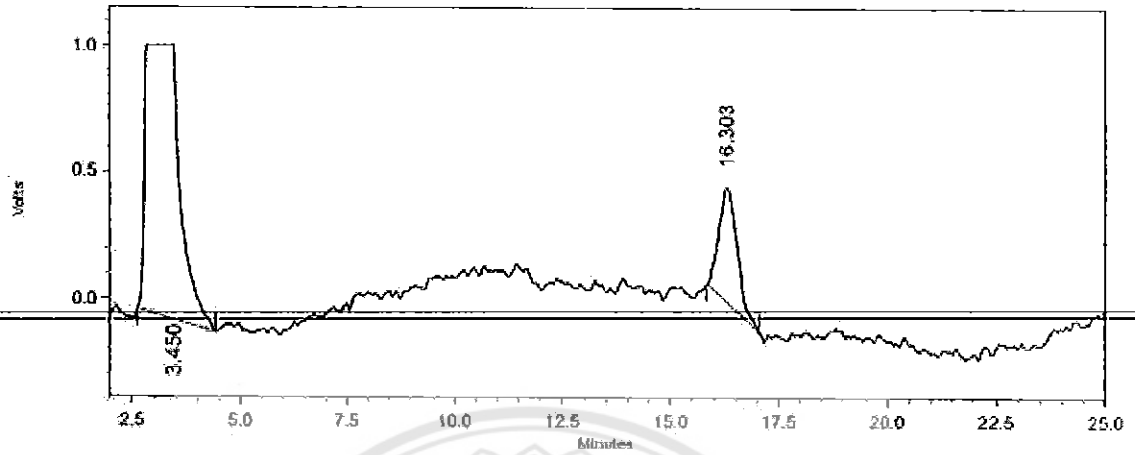
P คือความดันในการสกัด (MPa)

จากการวิเคราะห์รูปแบบสมการความสัมพันธ์ทั้งรูปแบบสมการเส้นตรง สมการพหุนามกำลังสอง ตลอดจนสมการพหุนามกำลังสาม พบว่าสมการพหุนามกำลังสองมีความเหมาะสมในการสร้างความสมการความสัมพันธ์ สมการความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการสกัดเย็นน้ำมันจากงาดำในการศึกษาครั้งนี้ ทดสอบนัยสำคัญของค่าคงที่ในสมการพบว่ามีค่าความน่าจะเป็นที่จะตัดพารามิเตอร์ในสมการน้อยกว่า 0.0001 ยกเว้นพารามิเตอร์ของอิทธิพลร่วมอุณหภูมิและความดันซึ่งมีค่าความน่าจะเป็น 0.001 และพบว่าสมการที่นำเสนอมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (Ra^2) มีค่าเท่ากับ 0.9703 และ 0.9649 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของแบบจำลอง และจากแผนภาพการกระจายตัวปกติระหว่างส่วนเหลือจริงและค่าที่ควรจะเป็นหากมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 3 พบว่ามีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.983 ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวปกติ

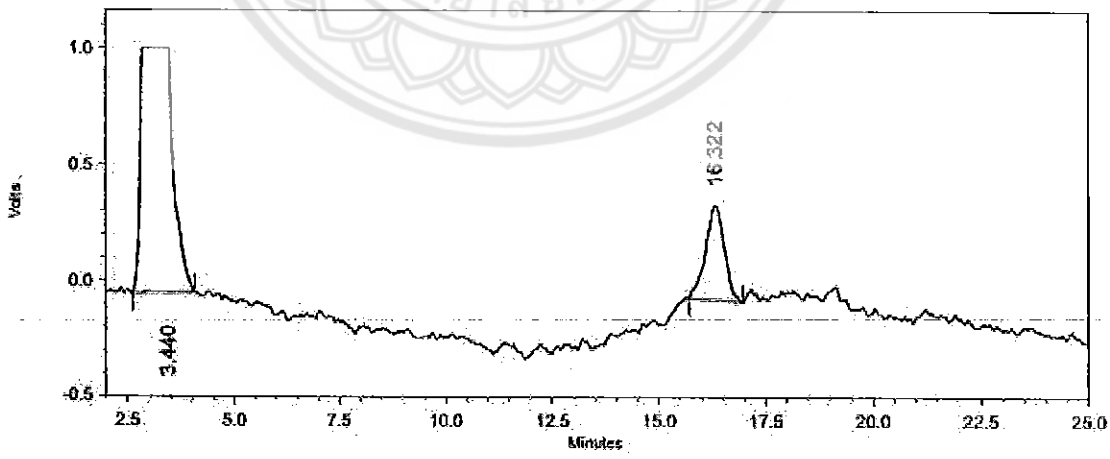


รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายตัวปกติระหว่างส่วนเหลือจริงและค่าที่คาดหวังของสมการความสัมพันธ์

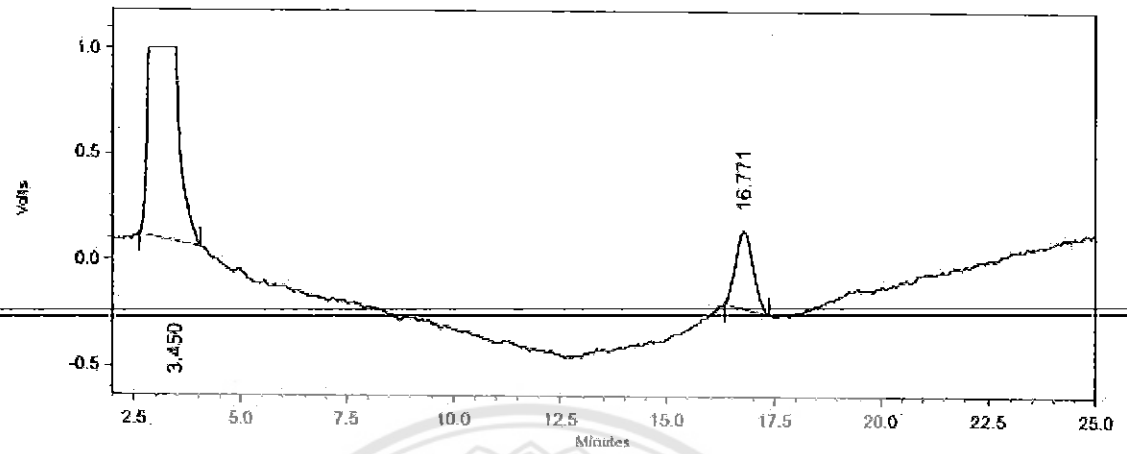
ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา



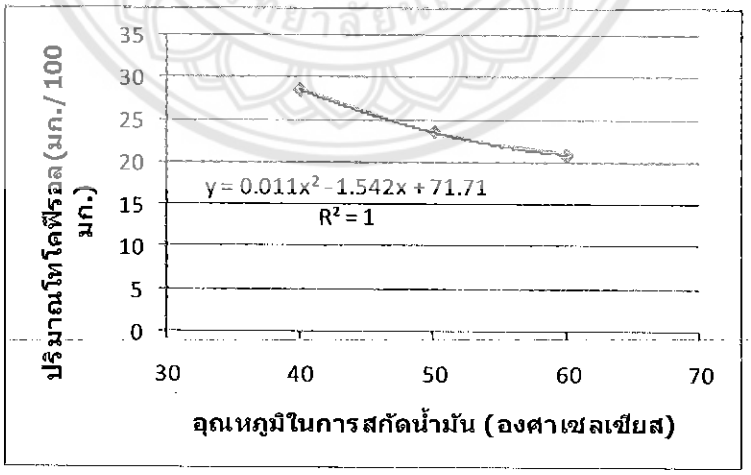
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



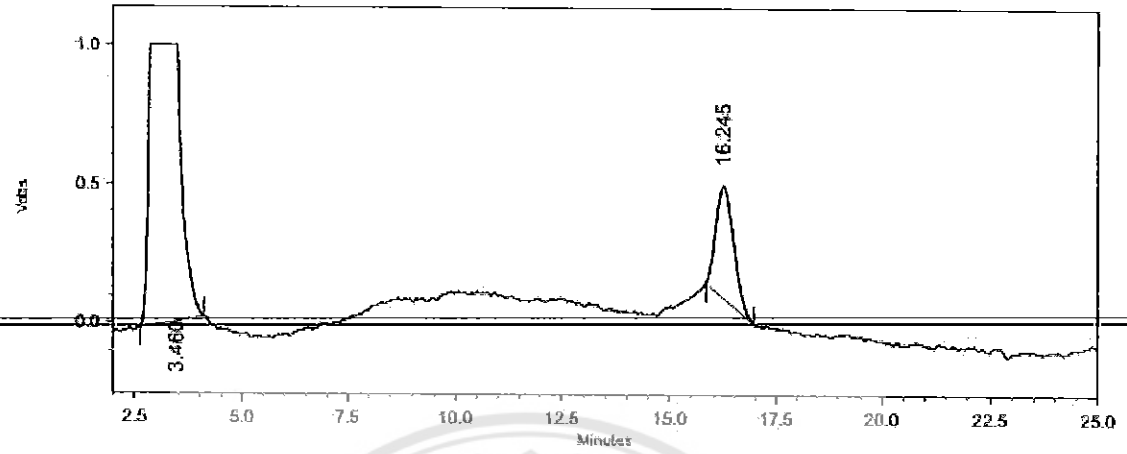
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



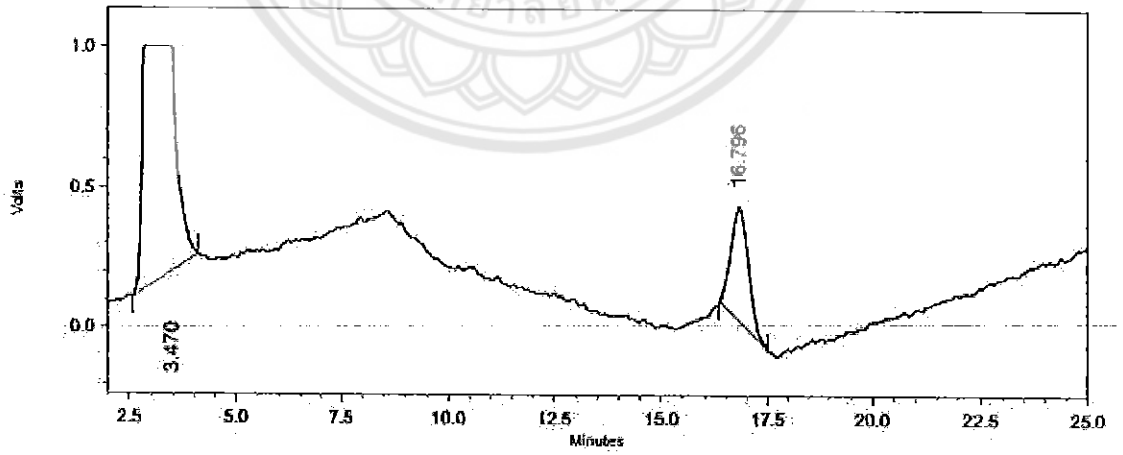
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



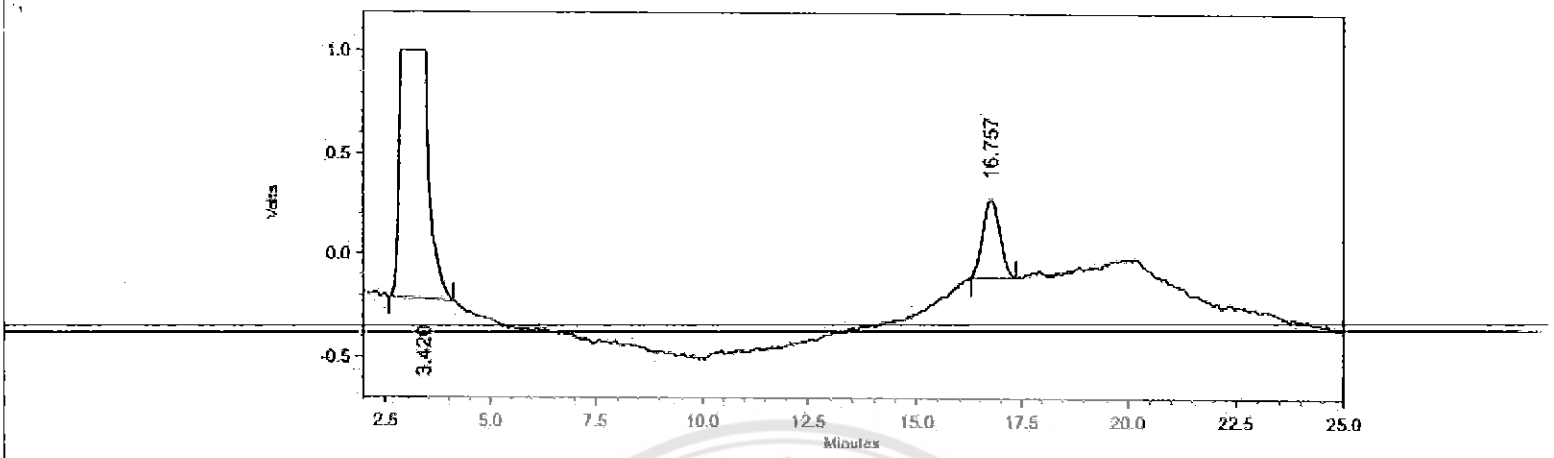
รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่ผลิต ณ อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส



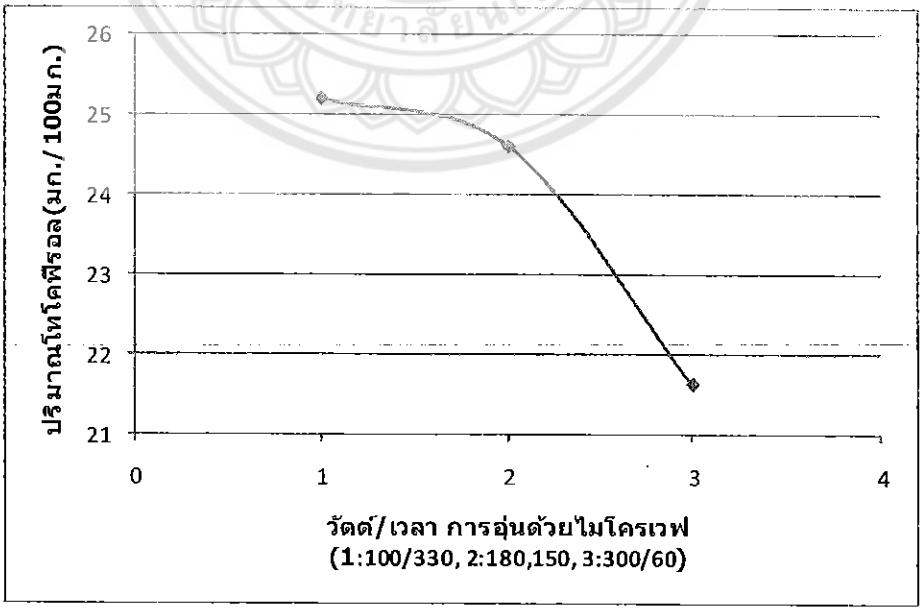
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 100 วัตต์ 330 วินาที



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 180 วัตต์ 150 วินาที



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ 300 วัตต์ 60 วินาที



รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา ที่อุ่นวัตถุดิบด้วยไมโครเวฟ
1: 100 วัตต์ 330 วินาที 2: 180 วัตต์ 150 วินาที 3: 300 วัตต์ 60 วินาที

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณน้ำมันงาจากการสกัดด้วยสารทำละลายเฮกเซนโดยใช้วิธีการสกัดแบบซอกเลต พบว่ามีปริมาณน้ำมันในเมล็ดงานเท่ากับ 41.22 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และจากผลการศึกษาอิทธิพลของความดันและอุณหภูมิต่ออัตราการผลิตน้ำมันงาดำสกัดเย็นโดยใช้การอัดเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ร่วมกับกระบอกอัดที่ได้ออกแบบขึ้น ทำการศึกษาในช่วงความดัน 20-60 เมกะปาสคาล และอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนก่อนการอัดเป็นระยะเวลา 10 นาที พบว่าที่สภาวะความดันสูงและอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงการศึกษาจะให้ปริมาณน้ำมันที่มีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็นมีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิในการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าลดลงประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์เมื่ออุณหภูมิในการสกัดพร้อมให้ความร้อนก่อนสิบนาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการอุ่นงาดำด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด พบว่าการใช้กำลังวัตต์ต่ำและระยะเวลาสูง 100 วัตต์ - 330 วินาที จะส่งผลให้ปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงาสกัดเย็นมีค่าสูงกว่าการอุ่นวัตถุดิบโดยใช้กำลังวัตต์สูงและระยะเวลาสั้น 300 วัตต์ - 60 วินาที ซึ่งกำลังวัตต์ - ระยะเวลา ดังกล่าวเป็นการอุ่นงาดำปริมาณ 12 กรัม ด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยอุณหภูมิไม่เกินกว่าขีดจำกัดของการสกัดเย็น

บรรณานุกรม

กาญจนา บันสิทธิ์ และ ธีระพล บันสิทธิ์. 2557. คุณค่าของกากงาดำดิบ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 16(2), 47-54.

คมสันติ เม่ากลาง, (2546). เครื่องบีบอัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ปทุมธานี.

คุนากร เทพเสาร์, ทวิช สืบหงษ์ และ ไพฑูรย์ วันดี. 2550. ออกแบบและพัฒนาเครื่องบีบอัดน้ำมันสบู่ดำ. ปริญญานิพนธ์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

ชลิตต์ มธุรสมนตรี, ชวลิต แสงสวัสดิ์, ศวิกร อ่างทองและประจักษ์ อ่างบุญตา. (2548) .เครื่องบีบอัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบเกลียวเดี่ยว.วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคล. 4(7), 78–88.

ชลิตต์ มธุรสมนตรี. (2546) .การพัฒนาและการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ในการบีบอัดน้ำมันเมล็ดสะเดาด้วยเครื่องบีบอัดแบบเกลียวเดี่ยว. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคล. 3(5), 6–12.

ณัฐพล วิชาญ. (2554). การออกแบบช่องคลายกากของเครื่องหีบน้ำมันแบบสกรูอัดสำหรับมะแตกและมะเยาหิน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ธัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ และ คมสันติ เม่ากลาง. 2002. การศึกษาการสกัดน้ำมัน CNSL จากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 33(6) พิเศษ, 102-106.

นพกร ดวงอินทร์ และคณะ. (2556). การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชแบบร้อนด้วยสกรูอัด. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, น่าน.

นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร และสิทธิชัย วงศ์หน่อ. (2551). การทดสอบและประเมินผลเครื่องบีบอัดน้ำมันเมล็ดทานตะวันแบบสกรูเพื่อผลิตไบโอดีเซล. Agricultural Sci, 39(3), 359-362.

น้ำมนต์ โชติวิศรุต, เรวัฒ คำวัน และ สวัสดิ์ กีไสย์. 2556. รายงานการวิจัยเรื่องเครื่องสกัดน้ำมันงาแบบเย็น. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

น้ำมนต์ โชติวิศรุต, เรวัฒ คำวัน และสวัสดิ์ กีไสย์. (2556). การสกัดน้ำมันงาแบบเย็น. วิทยานิพนธ์ วศ.ด., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล และ อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์. (2549). เครื่องสกัดน้ำมันงา. วิศกรรมสาร มข, 33(5), 565-576.

สญชัย เข็มเจริญ, ชลิตต์ มธุรสมนตรี และนายประ จักรษ์บุญตา. (2550). ชุดเครื่องผลิตน้ำมันงา. วิทยานิพนธ์ วศ.ด., มหาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

สญชัย เข็มเจริญ. (2552). การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการบีบอัดน้ำมันงาด้วยเครื่องบีบอัดแบบเกลียวเดี่ยว.วิทยานิพนธ์ วศ.ด., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

อนรรฆอร ศรีไสยเพชร. (2555). การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิการดูดซับ. วิทยานิพนธ์ วศ.ด., มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Ademola Oyinlola et al. (2003). Development of a laboratory model screw press for peanut oil expression. Journal of Food Engineering. 64 (2), 221–227.

Ajibola, O.O., Owolarafe, O.K. & FasinaandK, A. (1992). Expression of oil from sesame seeds. Canadian Agricultural Engineering, 35(1), 83-88.

Choo, W. S., Birch, J. & Dufour, J. P. 2007. Physicochemical and quality characteristics of dcold-pressed flaxseed oils. Journal of Food Composition and Analysis, 20, 202-211. Doi:10.1016/j.jfca.2006.12.002

Elkhaleefa, A. & Shigidi, I. (2015) Optimization of Sesame Oil Extraction Process Conditions. Advances in Chemical Engineering and Sicience, 5(1). 305-310.

Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A., Charrouf, Z., 2015. Chemical characterization and oxidation ability of seeds and oil sesame grown in Morocco. J. Saudi Society of Agricultural Sciences.

Hoed, V. V., Barbouche, I., Clercq N. D., Dewettinck, K., Slah, M., Leber, E. &Verhe, R. 2011. Influence of filtering of cold pressed berry seed oils on their antioxidant profile and quality characteristics. Food

Nandi, I., Ghosh, M. 2015. Studies on functional and antioxidant property of dietary fibre extracted from defatted sesame husk, rice bran and flaxseed. Bioactive Carbohydrates and Dietary fibres, 5, 129-136.

Purl, B. K. 2003. The clinical advantages of cold-pressed non-raffinated evening primrose oil over refined preparations. Medical Hypotheses, 62, 116-118. Doi:10.1016/S0306-9877(03)00272-X

Rabrenovic, B. B., Dimic, E. B., Novakovic, M. M., Tesevic, V. V. & Basic, Z. N. 2014. The most important bioactive components of cold pressed oil from different pumpkin (Cucurbitapeop L) seed. LWT-Food Science

Rangkadilok, N., Pholphana, N., Mahidol, C., Wongyai, W., Saengsooksree, K., Nookabkaew, S. &Satayavivad, J. 2010. Variation of sesamin, sesamolin and tocopherols in sesame (Sesamumindicum L.) seeds and oil

Rombaut, N., Savoire, R., Thomasset, B., Castello, J., Hecke E. V. &Lanoiselle, J. L. 2015. Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grape seed cold screw pressing. Industrial Crops and Products,

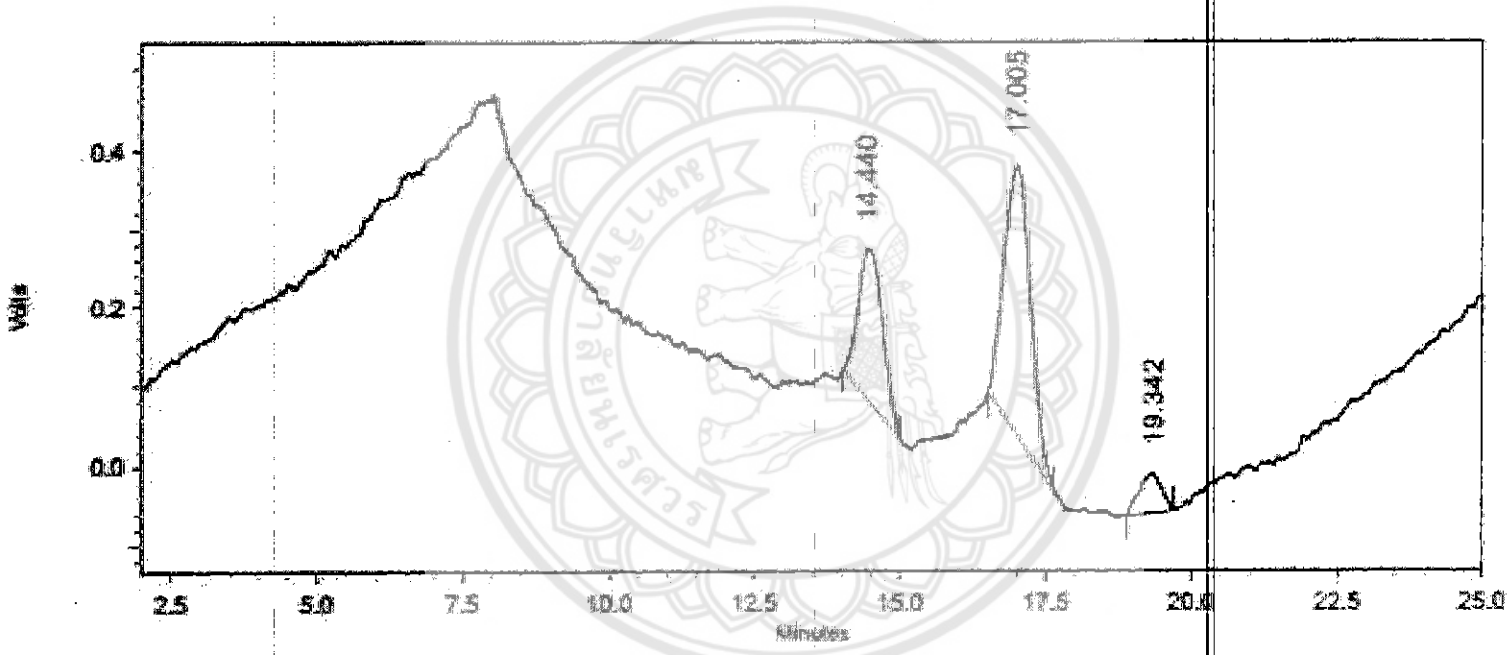
บรรณานุกรม (ต่อ)

Rostami, M., Farzaneh, V., Boujmehrani, A., Mohammadi, M. &Bakhshabadi, H. 2014. Optimizing the extraction process of sesame seed's oil using response surface method on the industrial scale. Industrial Crops

Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D. & Decker, E.A. 2012. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก



รูปที่ ผ.1 กราฟแสดงสารมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบเพื่อวัดค่าปริมาณโทโคฟีรอลในน้ำมันงา

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์จากงานวิจัย