การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

Oil extracted from spent coffee grounds

นายจิตบุณย์ เชียรวิชัย
นางสาวพิชชาภา บำรุงวงศ์
นางสาวภัคจิรา ปัจฉาพร

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

Oil extracted from spent coffee grounds

T149497

นายจิตบุณย์ เชียรวิชัย
นางสาวพิชชาภา บำรุงวงศ์
นางสาวภัคจิรา ปัจฉาพร

b 12884960
i
เลขหมู่ 149497
เลขทะเบียน
วัน เดือน ปี - 8 ธ.ค. 2561

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oil extracted from spent coffee grounds

Jitbun Chienwichai
Pitchapa Bamrungwong
Phakjira Patchaporn

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ Oil extracted from spent coffee grounds
ชื่อนักศึกษา	นายจิตบุณย์ เชียรวิชัย รหัสนักศึกษา 56050461 นางสาวพิชชาภา บำรุงวงศ์ รหัสนักศึกษา 56050545 นางสาวภัคจิรา ปัจฉาพร รหัสนักศึกษา 56050562
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สามารถ คงทวีเลิศ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ กรรมการ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ
ชื่อนักศึกษา นายจิตบุณย์ เชียรวิชัย รหัสนักศึกษา 56050461
นางสาวพิชชาภา บำรุงวงศ์ รหัสนักศึกษา 56050545
นางสาวภัคจิรา ปัจฉาพร รหัสนักศึกษา 56050562
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สามารถ คงทวีเลิศ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ ด้วยเทคนิคซอกห์เลตและไมโครเวฟซึ่งใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย โดยศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟที่สกัดได้ ได้แก่ เทคนิคการกรองสารละลาย ขนาดของกากกาแฟ จำนวนรอบที่ใช้ในการสกัด น้ำหนักของกากกาแฟ อัตราส่วนน้ำหนักของกากกาแฟต่อปริมาณตัวทำละลาย อุณหภูมิและเวลาในการสกัด จากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลตพบว่ากากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดที่การสกัด 5 รอบและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดที่การสกัด 7 รอบและน้ำหนักกากกาแฟที่ 30 กรัมให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดที่ร้อยละ 17.9847 โดยอุณหภูมิในการสกัดที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียสให้ร้อยละผลผลิตที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและจากการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์พบว่ากากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตมากกว่ากากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดเล็กน้อยซึ่งไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและสภาวะที่ให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดคือใช้อัตราส่วนน้ำหนักของกากกาแฟต่อปริมาณตัวทำละลายที่ 1:7 เป็นเวลา 5 นาที ได้ร้อยละผลผลิตเป็น 15.7376 และจากการเปรียบเทียบเทคนิคการกรองพบว่าการกรองแบบลดความดันให้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าการกรองแบบธรรมดา จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่าการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลตให้ปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าเทคนิคไมโครเวฟ

คำสำคัญ : กากกาแฟ น้ำมันกาแฟ ซอกห์เลต ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Oil extracted from spent coffee grounds
Students	Mr. Jitbun Chienwichai Student ID 56050461
	Miss Pitchapa Bamrungwong Student ID 56050545
	Miss Phakjira Patchaporn Student ID 56050562
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2559
Advisor	Dr. Samart Kongtaweelert

Abstract

This special project is oil extracted from spent coffee grounds (SCGs) is investigated. The soxhlet extraction method and microwave-assisted are utilized for the extraction of oil from spent coffee grounds. Hexane as nonpolar solvent was used. To study the variables affecting yield percentage of extracted coffee oil, filtration techniques, size, weight, and ratio of spent coffee grounds to solvent, the number of cycles, temperature and time. The results show that the highest oil yield (17.9847%) from spent coffee grounds using the soxhlet extraction is achieved using hexane as an extraction solvent, 30 grams of spent coffee grounds without sizing, 7 recirculation at 80°C and 90°C. Oil is extracted from spent coffee grounds using the microwaved-assisted the highest oil yield (15.7376%) was 30 grams of spent coffee grounds without sizing, solid to liquid ratio is 1:7 at 600 watt for 5 minutes. By comparison the effect of filtration techniques, found that the vacuum filtration produce than more the gravity filtration. From free fatty acid analysis showed soxhlet extraction gave free fatty acid higher than microwave-assisted.

Keywords : spent coffee grounds, coffee oil, soxhlet, microwave-assisted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษ เรื่องการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ โดยโครงงานพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากสาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่คอยส่งเสริมและชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้งคำปรึกษาทำให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย และผศ.ดร.มนตรี ทองคำ คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษที่คอยแนะนำความรู้ให้แก่ผู้ดำเนินโครงงานพิเศษทำให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัทเขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากกาแฟ ทำให้โครงงานพิเศษนี้ดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีที่คอยอำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษทำให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จิตบุณย์ เชียรวิชัย
พิชชาภา บำรุงวงศ์
ภัคจิรา ปัจฉาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ประวัติกาแฟ..... 3
2.2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ 3
2.2.1 ลำต้นกาแฟ 3
2.2.2 ดอกกาแฟ..... 3
2.2.3 ผลกาแฟ..... 4
2.2.4 เมล็ดกาแฟ 4
2.3 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ 5
2.3.1 สารประกอบไนโตรเจน..... 5
2.3.2 คาร์โบไฮเดรต..... 5
2.3.3 ไขมัน 6
2.3.4 กรดอินทรีย์ 8
2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันจากส่วนประกอบของพืช 11
2.4.1 การสกัดด้วยวิธีการแช่ 11
2.4.2 การสกัดด้วยวิธีการหมัก 11
2.4.3 การสกัดแบบไหลย้อนกลับโดยใช้ความร้อน..... 11
2.4.4 การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด 11
2.4.5 การสกัดโดยใช้ของไหลภายใต้สภาวะความดัน..... 12
2.4.6 การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค 12
2.4.7 การสกัดด้วยอัลตร้าโซนิคร่วมกับของไหลยิ่งยวดคาร์บอนไดออกไซด์..... 12
2.4.8 การสกัดด้วยซอกห์เลต 13
2.4.9 การสกัดด้วยไมโครเวฟ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 15
2.5.1 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ 15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 19
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 19
3.2 สารเคมี 19
3.3 กากกาแฟ 19
3.4 วิธีการทดลอง 19
3.4.1 การเตรียมกากกาแฟดิบ 19
3.4.2 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลต 20
3.4.3 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 21
3.4.4 การวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ 21
3.4.5 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันจากกากกาแฟ 21

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 22
4.1 ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ 22
4.1.1 การหาร้อยละความชื้นของกากกาแฟ 22
4.1.2 ศึกษาผลของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลต 22
4.1.3 ศึกษาผลของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 25
4.1.4 เทคนิคการกรองสารละลาย 27
4.2 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) 29
4.3 กรดไขมันอิสระ 33

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 34
5.1 สรุปผลการทดลอง 34
5.2 ข้อเสนอแนะ 34

เอกสารอ้างอิง 36
ภาคผนวก 39
ภาคผนวก ก 40
ภาคผนวก ข 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ 5
2.2 แสดงกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่และเลขคี่ 7
2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง) 9
2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง) 10
2.5 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในกากกาแฟ 11
2.6 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟ 17
2.7 แสดงองค์ประกอบกรดไขมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ 18
4.1 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟระหว่างกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาด 23
4.2 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟ 30
4.3 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟ 32
4.4 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระ 33
ก(1) แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต 40
ก(2) แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต 41
ข(1) แสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตระหว่างกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต 42
ข(2) แสดงผลของน้ำหนักกากกาแฟจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต 42
ข(3) แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต 42
ข(4) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต 42
ข(5) แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟที่คัดขนาดและไม่คัดขนาดจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 43
ข(6) แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณตัวทำละลายที่ต่างกันจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 43
ข(7) แสดงร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟที่เวลาต่างๆจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 43
ข(8) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะของผลกาแฟ 4
2.2 แสดงสมการของปฏิกิริยาการเตรียมไขมันและน้ำมัน 6
2.3 แสดงลักษณะของเครื่องมือซอกห์เลต 13
2.4 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัม ATR-FTIR ของน้ำมันกาแฟ 16
3.1 แสดงเครื่องมือซอกห์เลต 20
4.1 แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟที่คัดขนาดและไม่คัดขนาด 22
4.2 แสดงผลของน้ำหนักกากกาแฟในซอกห์เลต 23
4.3 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน 24
4.4 แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟที่คัดขนาดและไม่คัดขนาด 25
4.5 แสดงร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างตัวทำละลายที่ต่างกัน 26
4.6 แสดงร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟที่เวลาต่างๆ 26
4.7 เปรียบเทียบการกรองระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดด้วยซอกห์เลต 27
4.8 เปรียบเทียบการกรองระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดด้วยไมโครเวฟ 28
4.9 แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต 29
4.10 แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต 29
4.11 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันอิสระ 31
4.12 แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 31
4.13 แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 31
4.14 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันอิสระ 32
ข(1) แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต 44
ข(2) แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต 45
ข(3) แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 45
ข(6) แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กาแฟ (coffee) เป็นเครื่องดื่มที่ทำมาจากเมล็ดซึ่งได้จากต้นกาแฟ หรือที่มักเรียกว่าเมล็ดกาแฟคั่ว ในปัจจุบันมีการปลูกกาแฟมากกว่า 70 ประเทศทั่วโลก ซึ่งกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและได้เข้ามามีบทบาทหรือเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน เนื่องจากในเมล็ดกาแฟมีสารคาเฟอีนที่มีฤทธิ์กระตุ้นหัวใจและกระตุ้นประสาทส่วนกลาง การดื่มกาแฟจึงช่วยกระตุ้นระบบประสาท ทำให้ตาแข็ง นอนไม่หลับ ทำให้ร่างกายสดชื่น ขจัดความเซื่องซึมและอ่อนล้าได้ ซึ่งปริมาณคาเฟอีนในกาแฟที่เหมาะสมสามารถช่วยลดอาการหงุดหงิด อารมณ์ซึมเศร้า รวมถึงความเครียดได้ การดื่มกาแฟจึงทำให้ผู้ดื่มรู้สึกพึงพอใจและมีความสุข ปัจจุบันตลาดกาแฟกำลังเติบโตโดยกรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์รายงานความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในปี 2557 ของโรงงานแปรรูปในประเทศ มีปริมาณสูงขึ้น จาก 75,000 ตัน เป็น 70,000 ตัน ในปี 2556 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.14 เนื่องจากการบริโภคในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และคาดคะเนความต้องการใช้กาแฟของปี 2558 ว่าจะมีประมาณ 80,000 ตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.66 [1]

เมื่อมีการบริโภคเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาก็คือมีปริมาณกากกาแฟเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยกากกาแฟนั้นมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมากและได้มีการนำกากกาแฟมาใช้ให้เกิดประโยชน์หลายอย่าง เช่น ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟ สามารถขึ้นรูปและติดไฟง่ายไม่มีควันและการเผาไหม้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและให้ค่าความร้อนซึ่งใกล้เคียงกับถ่านไม้ [2] นอกจากนี้กากกาแฟสามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยในการปลูกต้นไม้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีธาตุไนโตรเจนสูง ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีน ซึ่งพืชต้องนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และกากกาแฟยังมีโพแทสเซียม ฟอสฟอรัสและสารอย่างอื่นๆอีกเล็กน้อยที่ช่วยเพิ่มพัฒนาการของพืช [3] นอกจากนี้ยังมีการสกัดสิ่งที่ยังเหลืออยู่ภายในกากกาแฟออกมาใช้ได้ เช่น แทนนิน สารต้านอนุมูลอิสระและน้ำมัน เป็นต้น จึงมีงานวิจัยที่ค้นคว้าวิธีที่จะสามารถลดปริมาณของเสียและเพิ่มมูลค่าให้อย่างสูงสุดด้วยการเปลี่ยนขยะอินทรีย์ชนิดนี้ โดยสกัดน้ำมันที่มีอยู่ในกากกาแฟออกมาใช้ประโยชน์ ปัจจุบันทั่วโลกมีการผลิตกาแฟประมาณ 8 ล้านตันต่อปี แต่กากกาแฟใช้แล้วมีสัดส่วนน้ำมันถึง 20% ของน้ำหนักกาแฟ โดยน้ำมันที่ได้มานี้ มีส่วนประกอบคล้ายคลึงกับน้ำมันที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ทำให้การนำกากกาแฟที่ใช้แล้วมาผลิตน้ำมัน ถือเป็นการผลิตพลังงานที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง [4] และน้ำมันกาแฟยังสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์เสริมความงามได้ [5]

ในโครงงานพิเศษครั้งนี้จึงเป็นการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคการสกัดซ้ำด้วยตัวทำละลายโดยใช้วิธีซอกห์เลต (soxhlet extraction) และการสกัดด้วยไมโครเวฟ (microwave-assisted extraction) ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (hexane) ที่สภาวะต่างๆ เพื่อหาว่าที่สภาวะใดที่เหมาะสมในการให้น้ำมันกาแฟในปริมาณที่สูงที่สุดและทำการพิสูจน์เอกลักษณ์น้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) ศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยวิธีการสกัดซ้ำด้วยตัวทำละลาย
2) ศึกษาสภาวะการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ
3) ศึกษาผลของขนาดกากกาแฟที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด
4) ศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันกากกาแฟ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคการสกัดซ้ำด้วยตัวทำละลาย
2) ตัวแปรที่ใช้ควบคุมในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคการสกัดซ้ำด้วยตัวทำละลาย ได้แก่
   - ขนาดของกากกาแฟ
   - จำนวนรอบในการสกัดน้ำมัน
   - ปริมาณของกากกาแฟ
   - อุณหภูมิในการสกัด
3) ศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ
4) ตัวแปรที่ใช้ควบคุมในกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ
   - ขนาดของกากกาแฟ
   - อัตราส่วนของกากกาแฟต่อตัวทำละลาย
   - เวลาที่ใช้ในการสกัด
5) พิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันกาแฟด้วยเทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการใช้สกัดน้ำมันออกจากกากกาแฟที่ให้ปริมาณน้ำมันกากกาแฟสูงสุดด้วยเทคนิคการสกัดซ้ำด้วยตัวทำละลาย
2) ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการใช้สกัดน้ำมันออกจากกากกาแฟที่ให้ปริมาณน้ำมันกาแฟสูงสุดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟ
3) เพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4) เป็นการลดปริมาณขยะและลดมลภาวะจากการเผาวัสดุเหลือทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติกาแฟ

กาแฟเป็นพืชพื้นเมืองของอาบีซีเนียและอาราเบีย ซึ่งได้ค้นพบเมื่อศตวรรษที่ 5 ที่ประเทศอาราเบีย สมัยนั้นไม่มีผู้ใดให้ความสนใจเท่าใดนักจนกระทั่งล่วงเลยมาถึงศตวรรษที่ 9 มีคนเลี้ยงแพะชาวอาราเบียคนหนึ่งชื่อ คาลดี (Kaldi) นำแพะออกไปเลี้ยงตามปกติ แพะได้กินผลและใบกาแฟเข้าแล้วเกิดความคึกคะนองผิดปกติ จึงได้นำเรื่องไปเล่าให้พระมุสเล็มองค์หนึ่งฟัง พระมุสเล็มองค์นั้นจึงได้เก็บผลกาแฟมากระเทาะเปลือกเอาเมล็ดกาแฟไปคั่วแล้วต้มในน้ำร้อนดื่ม เห็นว่ามีความกระปรี้กระเปร่าดี จึงได้เล่าให้ผู้อื่นฟังต่อไป ชาวอาราเบียจึงได้เริ่มรู้จักต้นกาแฟมากขึ้น จึงทำให้กาแฟแพร่หลายเพิ่มขึ้นจากประเทศอาราเบีย เข้าสู่ชนชาวอิตาเลียน ดัทช์ เยอรมัน ฝรั่งเศส และกระบวนการผลิตกาแฟก็ได้พัฒนาขึ้นเรื่อยๆในระยะต่อมา

ประเทศที่มีชื่อเสียงทางด้านการผลิตกาแฟมากที่สุดคือ ประเทศบราซิล โดยผลิตกาแฟได้ร้อยละ 72 ของผลผลิตกาแฟทั่วโลก ส่วนประเทศที่ซื้อกาแฟมากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกาและยุโรป โดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 85 ของผลผลิตทั้งหมด

ตามบันทึกของพระสารศาสตร์พลขันธ์ (นายเจรินี ชาวอิตาลี) เมื่อปี พ.ศ. 2454 กล่าวว่าประเทศไทยปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ส่วนพันธุ์โรบัสต้านั้น มีชาวไทยอิสลามผู้หนึ่งชื่อ นายตีหมุน เป็นผู้นำมาปลูกคนแรกที่อำเภอสบ้าย้อย จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2447 แล้วแพร่หลายไปตามจังหวัดต่างๆของประเทศไทยในปัจจุบัน [6]

2.2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์

กาแฟ (coffee) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea sp.* จัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง สูงประมาณ 3-5 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ โดยทั่วไปกาแฟมีลักษณะทางพฤษศาสตร์ดังต่อไปนี้

2.2.1 ลำต้นกาแฟ

โดยธรรมชาติแล้วกาแฟมีลักษณะลำต้นตรง ในระยะแรกของการเจริญจะไม่แตกกิ่ง แต่มีใบแตกออกเป็นข้อตรงข้ามกันเป็นคู่ๆ เมื่อโตมากขึ้นจะมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกัน และอยู่ตรงข้ามกัน กิ่งที่แตกออกมาใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ๆอยู่ตรงข้อเช่นเดียวกับลำต้น กิ่งจะขนานไปกับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอก และต่อไปนอกจากกิ่งแล้วยังมีการแตกหน่อออกจากตาของลำต้นอีกเป็นจำนวนมาก ทำให้หน่อที่เกิดขึ้นใหม่ไปเบียดกับลำต้นเดิม ถ้าหากปล่อยให้เจริญต่อไปเรื่อยๆโดยไม่มีการแต่งกิ่งจะทำให้กาแฟมีทรงพุ่มที่แน่นทึบเป็นที่สะสมของโรค ผลผลิตต่ำลง และต้นกาแฟจะตายในที่สุด [6,7]

2.2.2 ดอกกาแฟ

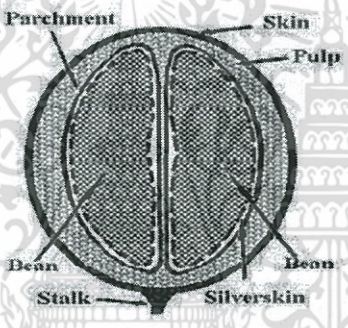
ดอกกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ รูปคล้ายดาวมีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จะเกิดตามข้อต้นกาแฟบ้างเป็นส่วนน้อย แต่ส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกาแฟโดยเริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง กาแฟมีลักษณะพิเศษคือ ข้อของกิ่งจะสั้นสามารถที่จะเกิดดอก และติดผลได้มาก ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียรวมอยู่ในดอก เกสรตัวเมียจะมีอยู่สองส่วน ส่วนเกสรตัวผู้จะมีเท่ากับกลีบดอกคือ ประมาณ 2-4 อัน กาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางพันธุ์อาจมีการผสมข้ามสายพันธุ์กันได้หากปลูกอยู่ใกล้กัน เวลาการออกดอกของกาแฟขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าในท้องถิ่นที่มีฝนตกเป็นฤดู ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือน แต่ถ้าหากอากาศชุ่มชื่นอยู่ตลอดทั้งปี หรือมีการชลประทานเพียงพอ กาแฟจะออกดอกตลอดทั้งปี [6,7]

2.2.3 ผลกาแฟ

แม้ว่ากาแฟจะออกดอกจำนวนมากก็ตาม แต่การติดผลจะมีเพียงร้อยละ 16-26 เมื่อกลีบดอกล่วงแล้วกาแฟจะติดเป็นผล มีลักษณะคล้ายลูกหว้า ซึ่งภายในจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบนยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้ม ถ้าหากเมล็ดหนึ่งเมล็ดใดลีบไปเนื่องจากการผสมพันธุ์ไม่ดี เมล็ดที่เหลืออยู่จะมีรูปกลม ส่วนยาวจะมีรูปโค้งเป็นรูปกระบอกตัด โดยผลกาแฟเป็นแบบผลเมล็ดเดียวแข็ง (drupe) มีลักษณะเฉพาะคือ เป็นรูปรี มีก้านผลสั้น เมื่อดิบจะมีสีเขียว พอสุกจะมีสีเหลือง ส้ม แดง หรือแดงจนเกือบดำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ของกาแฟ แต่ไม่ว่าผลสุกจะมีสีอะไร เมื่อตากแห้งแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีดำหมด ลักษณะของผลกาแฟแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่1 เป็นเปลือกของผล (skin) ส่วนที่ 2 เป็นเนื้อบาง (pulp) มีสีเหลือง และส่วนที่ 3 เป็นเมือก (mucilage) ถัดจากเนื้อบาง โดยห่อหุ้มส่วนที่เรียกว่า กะลา (parchment)



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของผลกาแฟ [8]

ซึ่งในกะลานี้ห่อหุ้มเมล็ดไว้บนผิวนอกของเมล็ดที่อยู่ระหว่างกะลากับเมล็ด จะมีเยื่อบางๆหุ้มอยู่เรียกว่า เยื่อหุ้มเมล็ดใน (silver skin) ผลกาแฟปกติมี 2 เมล็ด แต่อาจมีเมล็ดเดียวได้หากการผสมเกสรไม่สมบูรณ์ เรียกว่า เมล็ดถั่ว (pea bean) [6,7,8]

2.2.4 เมล็ดกาแฟ

มีลักษณะด้านหนึ่งโค้งด้านหนึ่งเรียบและมีร่องตรงกลาง ด้านเรียบของทั้งสองเมล็ดจะหันหน้าเข้าหากันและประกบกัน เมล็ดรูปไข่ยาวหรือกลมรี เมื่อกะเทาะส่วนของกะลาออกจะเหลือส่วนเมล็ดที่เรียกว่า กาแฟดิบ หรือ กาแฟสาร หมายถึงคำที่ใช้เรียกเมล็ดกาแฟ (coffee bean) ซึ่งเมื่อยังสดอยู่จะมีสีขาวและเมื่อแห้งจะมีสีเขียวอมเทา ความยาวประมาณ ½ นิ้ว เป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ (silver skin) และมีเปลือกแข็ง (parchment) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง ส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลา เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยางเหนียวๆ [6,7,8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ [8]

ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ	
น้ำ	12.0 %
โปรตีน	13.0%
ไขมัน	12.0%
น้ำตาล	9.0%
สารคาเฟอีน	1.0-1.5%
กรดคาเฟทานิค	9.0%
สารที่ละลายน้ำอื่นๆ	5.0%
สารเซลลูโลสและสารประกอบ	35.0%
เถ้า	4.0%

2.3 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ

2.3.1 สารประกอบไนโตรเจน

คาเฟอีนจะให้รสขม (bitter) มีค่าต่ำสุดการรับรู้รส 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟจะขึ้นกับสารพันธุ์ ปริมาณคาเฟอีนในกาแฟดิบของกาแฟอาราบิก้ามีร้อยละ 1.2 ในกาแฟโรบัสต้าร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนไตรโกนิลีน (trigonelline) เมื่อแตกตัวจะให้ทั้งกลิ่นรส และสารอาหาร พบในกาแฟสายอาราบิก้าร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนในโรบัสต้ามีร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งให้รสขมอ่อนๆ (ประมาณร้อยละ 25 ของคาเฟอีน) ในเครื่องดื่มกาแฟการแตกสลายของไตรโกนิลีนจะเป็นสัดส่วนกับระดับของการคั่ว จะทำให้ได้ไพริดีน (pyridine) ซึ่งให้กลิ่นของการคั่ว (roasty) นอกจากนี้โปรตีนและกรดอะมิโนอิสระที่อยู่ในส่วนของไซโตพลาส (cytoplasm) หรือจับอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ที่ผนังเซลล์ของเมล็ดกาแฟ จะมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟ เนื่องจากจะรวมตัวกับสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟเกิดเป็นสารที่ให้กลิ่นรส เช่น สารประกอบในกลุ่มของไพราซีน (pyracine) และไพริดีน โดยปริมาณโปรตีนของเมล็ดกาแฟขึ้นกับสายพันธุ์ของกาแฟเป็นหลัก [6,9]

2.3.2 คาร์โบไฮเดรต

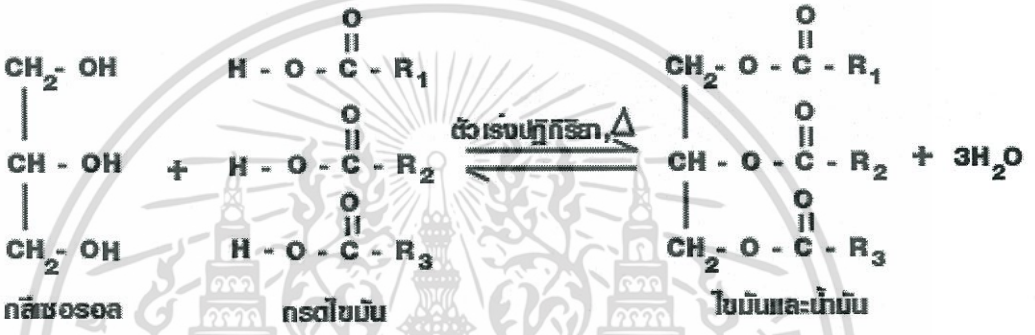
ในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลอิสระและโพลีแซคคาไรด์ โดยน้ำตาลอิสระส่วนมากเป็นน้ำตาลซูโครส ซึ่งน้ำตาลมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสและสีในระหว่างกระบวนการคั่วปริมาณจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระดับความแก่ของเมล็ด โดยในอาราบิก้าพบร้อยละ 6.0-8.3 ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 3.3-4.1 โดยน้ำหนักแห้ง นอกนั้นพบว่าเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น อะราบิโนส (arabinose), กาแลกโทส (galactose), ราฟฟิโนส (raffinose), แรมโนส (rhamnose), ไรโบส (ribose), ฟรักโทส (fructose) และกลูโคส (glucose) [6,9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ไขมัน

องค์ประกอบของไขมันในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วประกอบด้วยน้ำมันกาแฟ (coffee oil) โดยพบในกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้ง โดยประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerols) และไขมันอื่นๆซึ่งส่วนมากพบในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) อยู่ที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดกาแฟ [6,9]

ไขมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของแข็ง ส่วนน้ำมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของเหลวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน คลอโรฟอร์ม พบได้ทั้งในสัตว์และพืช ไขมันมีชื่อทางเคมีว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง กลีเซอรอล 1 โมเลกุล กับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงสมการของปฏิกิริยาการเตรียมไขมันและน้ำมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (straight chain aliphatic monocarboxylic acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R- คือ หมู่แอลคิล (alkyl) หมู่คาร์บอกซิล(-COOH) ในโมเลกุลของกรดไขมันนั้นมีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ (anionic carboxylate) และหมู่ R- มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ซึ่งชอบที่จะละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีโพลาร์ จึงทำให้โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งที่ละลายได้ในน้ำและน้ำมัน [10]

กรดไขมันในธรรมชาติ จะพบเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมันน้ำมันและฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบอยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในสิ่งมีชีวิตมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติก ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จึงทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ เรียกกรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมดว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 อัน หรือมากกว่า 1 อัน เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids)

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงไม่สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดคือ กรดบิวทิริก (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6-10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยและยังระเหยได้ ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้พบว่ากรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 2.2 กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่และเลขคี่ [10]

ชื่อทางเคมี	ชื่อสามัญ	สูตรเคมี	การเขียนย่อ
กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่			
n-Butanoic	กรดบิวทิริก (Butyric acid)	$CH_3(CH_2)_2COOH$	4 : 0
n-Hexanoic	กรดคาโพรอิก (Caproic acid)	$CH_3(CH_2)_4COOH$	6 : 0
n-Octanoic	กรดคาโพรลิก (Caprylic acid)	$CH_3(CH_2)_6COOH$	8 : 0
n-Decanoic	กรดคาพริก (Capric acid)	$CH_3(CH_2)_8COOH$	10 : 0
n-Dodecanoic	กรดลอริก (Lauric acid)	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	12 : 0
n-Tetradecanoic	กรดไมริสติก (Myristic acid)	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	14 : 0
n-Hexadecanoic	กรดปาล์มิติก (Palmitic acid)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	16 : 0
n-Octadecanoic	กรดสเตียริก (Stearic acid)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	18 : 0
n-Eicosanoic	กรดอะราคิดิก (Arachidic acid)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	20 : 0
n-Docosanoic	กรดบีฮีนิก (Behenic acid)	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	22 : 0
กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่			
n-Pentanoic	กรดวาลีริก (Valeric acid)	$CH_3(CH_2)_3COOH$	5 : 0
n-Heptanoic	กรดอีแนนทิก (Enanthic acid)	$CH_3(CH_2)_5COOH$	7 : 0
n-Nonanoic	กรดพีลาร์โกนิก (Pelargonic acid)	$CH_3(CH_2)_7COOH$	9 : 0
n-Undecanoic	-	$CH_3(CH_2)_9COOH$	11 : 0
n-Tridecanoic	-	$CH_3(CH_2)_{11}COOH$	13 : 0
n-Pentadecanoic	-	$CH_3(CH_2)_{13}COOH$	15 : 0
n-Heptadecanoic	กรดมาร์การิก (Margaric acid)	$CH_3(CH_2)_{15}COOH$	17 : 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนในโมเลกุลบางตำแหน่งและมีการจัดเรียงตัวเป็น cis-configuration การที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆตามจำนวนของพันธะคู่ดังนี้

Monounsaturated (Monoethenoid) Fatty Acids (MUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n-1}COOH$ ตัวอย่างเช่น กรดโอเลอิก (oleic acid, CH_3-$(CH_2)_7$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH) กรดปาล์มิโอเลอิก (palmitoleic acid, CH_3-$(CH_2)_5$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH) กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในน้ำมันทั่วๆไป

Polyunsaturated (Polyethenoid) Fatty Acids (PUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 อัน พบมากในน้ำมันพืชและน้ำมันปลา

- กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n-3}COOH$ เช่น กรดลิโนเลอิกที่พบมากในน้ำมันพืชเช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 12 มีสูตรดังนี้

$$CH_3 - (CH_2)_4 - CH = CH - CH_2 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$$

9,12-octadecadienoic acid (18:2)

- กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 3 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n-5}COOH$ เช่น กรดลิโนเลอิกที่พบมากที่สุดในน้ำมันถั่วเหลือง มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9, 12 และ 15 มีสูตรดังนี้

$$CH_3 - CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$$

9,12,15-octadeksatrienoic acid (18:3)

- กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 4 อัน มีสูตรทางเคมีทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n-7}COOH$ เช่น กรดอะราคิโดอิกที่พบมากในน้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเลต่างๆ มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 20 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5, 8, 11 และ 14 มีสูตรดังนี้

$$CH_3 - (CH_2)_4 - (CH = CH - CH_2)_4 - (CH_2)_2 - COOH$$

5,8,11,14-eicosatetraenoic acid (20:4)

2.3.4 กรดอินทรีย์

กรดในเมล็ดกาแฟคั่วแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ อะลิฟาติก (aliphatic), อะลิไซคลิก (alicyclic), คาร์บอกซิลิก (carboxylic) และกรดฟีนอลิก (phenolic acids) ซึ่งมีการพบเช่นเดียวกับในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว มีรายงานว่ากาแฟสายพันธุ์อาราบิก้ามีกรดซิตริกร้อยละ 0.5 กรดมาลิกร้อยละ 0.46 กรดออกซาลิกร้อยละ 0.2 และกรดทาร์ทาลิกร้อยละ 0.4 โดยขณะทำการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากเอนไซม์จะย่อยสลายไขมันให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ [6,9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของสารที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบและในกาแฟคั่วจะแตกต่างกัน ทั้งในด้านของชนิด และปริมาณ โดยสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ จะเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบที่พบในกาแฟคั่ว ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.3 และ ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง) [6,11]

Classes and components	Percent of green coffee	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (60%)		
Reducing sugars	1.0	–
Sucrose	7.0	–
Pectins	2.0	–
Starch	–	10.0
Pentosans	–	5.0
Hemi-celluloses	–	15.0
Holo-celluloses	–	18.0
Lignin	–	2.0
2. Oil	–	13.0
3. Protein (N×6.25)	9.0	4.0
4. Ash as oxide	2.0	2.0
5. Non-volatile acids		
Chlorogenic	6.8	–
Oxalic	0.2	–
Malic	0.3	–
Citric	0.3	–
Tartaric	0.4	–
6. Trigonelline	–	1.0
7. Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	–	1.0
Total	29.0	71.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง) [6,11]

Classes and components	Percent	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (60%)		
Reducing sugars	1.0 - 2.0	–
Caramelized sugars	10.0 - 17.0	7.0 - 0.0
Hemi-celluloses (hydrolysable)	1.0	14.0
Fiber (not hydrolysable)	–	22.0
2. Oil	–	15.0
3. Proteins (N×6.25) ; amino acids are soluble	1.0 - 2.0	11.0
4. Ash (oxide)	3.0	1.0
5. Acids, non-volatile		–
Chlorogenic	4.5	–
Caffeic	0.5	–
Quinic	0.5	–
Oxalic, Malic, Citric, Tartaric	1.0	–
Volatile acids	0.35	–
6. Trigonelline	1.0	–
7. Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	1.2	–
8. Phenolics (estimate)	2.0	–
9. Volatiles		–
Carbon dioxide	Trace	2.0
Essence of aroma and flavor	0.04	–
Total	27.0 to 35.0	65.0to 73.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในกากกาแฟ [12]

References	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	SFA	PUFA	PUFA/SFA	AI	TI
Acevedo *et al.* (2013)	nd	0.05	32.45	8.35	9.00	45.04	4.12	nd	41.0	50.0	1.22	0.55	1.26
De Melo *et al.* (2014)	nd	nd	37.37	7.07	8.31	44.67	1.42	1.16	45.6	46.1	1.01	0.69	1.44
Cruz *et al.* (2014)	nd	0.1	32.80	7.10	10.30	44.20	1.50	2.60	42.5	45.7	1.08	0.58	1.25
Jenkins *et al.* (2014)	nd	nd	35.40	6.70	6.70	22.00	nd	0.00	42.1	22.0	0.52	1.23	2.93
Jenkins *et al.* (2014)	nd	nd	41.40	13.50	24.00	49.90	1.40	1.50	56.4	51.3	0.91	0.55	1.49
Ahangari and Sargolzaei (2013)	3.58	2.00	43.64	6.55	8.18	32.35	1.31	2.39	58.2	33.7	0.58	1.32	2.15
Todaka *et al.* (2013) (Hex)Drip	nd	0.4	0.50	0.30	12.90	56.90	8.50	9.80	21.7	65.4	3.01	0.03	0.01
Todaka *et al.* (2013) (Hex)Esp	nd	0.3	1.00	28.00	0.60	24.90	5.50	37.80	69.0	30.4	0.44	0.07	0.33
Supercritical Fluid Extraction (SFE)													
Acevedo *et al.* (2013)	nd	nd	35.78	6.25	nd	46.53	2.02	nd	42.2	49.1	1.16	0.62	1.32
De Melo *et al.* (2014)	nd	nd	37.48	6.02	9.53	44.52	0.99	1.46	45.0	45.5	1.01	0.68	1.45
Ahangari and Sargolzaei (2013)	nd	nd	34.04	5.45	5.45	25.83	nd	1.89	41.4	25.8	0.62	1.09	2.52
Couto *et al.* (2009)	nd	nd	35.86	5.26	7.56	35.35	nd	1.53	42.7	9.9	0.24	0.84	1.92
Ahangari and Sargolzaei (2013)	11.69	4.36	36.86	11.32	15.87	44.15	2.16	6.91	71.1	46.3	0.65	1.06	1.43
Couto *et al.* (2009)	7.4	2.42	41.87	10.4	15.79	41.19	1.88	4.29	66.4	46.7	0.91	1.00	1.91

SFA, saturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids; AI, atherogenic index; TI, thromogenic index; nd, not determined.

2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันจากส่วนประกอบของพืช

2.4.1 การสกัดด้วยวิธีการแช่ (Percolation)

การสกัดด้วยวิธีการแช่เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ปริมาณมากในการสกัด โดยการแช่วัสดุที่ต้องการสกัดลงในตัวทำละลายอินทรีย์ที่บรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดเพื่อป้องกันการระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ วิธีนี้จัดเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดแต่ใช้เวลานาน ยังคงใช้วิธีนี้ในการเลือกชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสม และอัตราส่วนตัวทำละลายกับวัสดุที่ต้องการสกัด [13]

2.4.2 การสกัดด้วยวิธีการหมัก (Maceration)

การสกัดโดยนำตัวอย่างหมักกับตัวทำละลายในภาชนะปิด ทิ้งไว้ 3-7 วัน เขย่าหรือคนบ่อยๆ แล้วกรองเอาสารสกัดไปใช้ ถ้าต้องการให้สารประกอบที่สำคัญออกจากพืชมีปริมาณมาก อาจต้องสกัดหลายครั้ง การสกัดโดยการหมักมีข้อดี คือ สารไม่ถูกความร้อน มีข้อเสีย คือ สิ้นเปลืองตัวทำละลายมากและมักไม่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากจะทำให้บูด [14]

2.4.3 การสกัดแบบไหลย้อนกลับโดยใช้ความร้อน (Reflux)

ใช้ในการสกัดสารสำคัญออกจากตัวอย่างโดยสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยตัวอย่างแช่ด้วยตัวทำละลายและจะถูกต้มให้ความร้อนเพื่อทำการละลายสารสำคัญออกจากตัวอย่าง โดยที่ตัวทำละลายจะถูกต้มจนเดือดระเหยขึ้นไปด้านบน แล้วถูกควบแน่นด้วยคอนเดนเซอร์กลับลงมาทำละลายอย่างต่อเนื่อง หมุนเวียนอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนสารสกัดละลายเข้มข้น จึงนำไปเข้าเครื่องระเหยตัวทำละลายเพื่อทำให้เข้มข้นต่อไป ข้อดีของวิธีการนี้คือ มีประสิทธิภาพในการสกัดค่อนข้างดี แต่มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการสกัดมาก ใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก และวิธีการสกัดยุ่งยาก [14]

2.4.4 การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction; SFE)

การสกัดสารตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของแข็ง การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปรับสภาวะอุณหภูมิและความดันให้อยู่ในสภาพของไหลเหนือวิกฤตเพื่อสกัดสารอินทรีย์ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ แต่เทคนิคนี้ มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ การทำให้สารของไหลวิกฤติยิ่งยวด (supercritical fluid) ไม่สามารถทำเองได้ ต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความดันสูงๆ ซึ่งมีราคาสูง สำหรับข้อดีของเทคนิคนี้คือ เป็นเทคนิคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากลดการใช้สารเคมีลงได้ [15,16]

2.4.5 การสกัดโดยใช้ของไหลภายใต้สภาวะความดัน (Pressurized fluid extraction; PFE)

การสกัดที่ใช้ตัวทำละลายที่อยู่ในสถานะใกล้กับบริเวณที่เป็นของไหลเหนือวิกฤต ซึ่งในสภาวะที่อุณหภูมิสูงทำให้สารที่สนใจหรือตัวถูกละลายมีอัตราการแพร่สูงและเกิดการละลายเข้าไปสู่ตัวทำละลายได้มาก ในขณะที่สภาวะความดันสูงช่วยรักษาสภาพของตัวทำละลายให้อยู่ต่ำกว่าจุดเดือดซึ่งจะช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้ดี การสกัดด้วยวิธี PFE นี้ให้ประสิทธิภาพการสกัดสูง ใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อย และใช้เวลาในการสกัดสั้น วิธีการสกัดนี้เป็นที่รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งคือการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายในสภาวะเร่ง (accelerated solvent extraction; ASE) [15]

2.4.6 การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic-assisted extraction; UAE)

การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค โดยคลื่นอัลตร้าโซนิคคือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยินมีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป สาเหตุที่มีการนำคลื่นอัลตร้าโซนิคมาใช้เนื่องจากเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้เล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง จากสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำคลื่นอัลตร้าโซนิคมาใช้ในการสกัดสารที่สนใจออกจากตัวอย่างโดยส่วนมากจะใช้สกัดสารกึ่งระเหย (semi-volatile) และระเหยยาก (non-volatile organic compounds) จากตัวอย่างของแข็ง เช่น ดิน น้ำ พืชสมุนไพร ผลไม้ ดังนี้จากการประยุกต์ใช้อัลตร้าโซนิคในการสกัดพืช (สด) พบว่าเนื้อเยื่อของพืชที่ประกอบเป็นเซลล์นั้นมีส่วนผนังเซลล์อยู่ชั้นนอกสุดซึ่งจะเป็นตัวต้านทานการสกัดได้ ซึ่งการสกัดประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการแพร่ผ่านผนังเซลล์ของตัวทำละลายและการชะสารสำคัญออกจากเซลล์เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลาย ส่วนการสกัดพืชแห้งจะเพิ่มอีก 1 กระบวนการคือ กระบวนการดูดน้ำกลับและการพองตัว (swell) โดยคลื่นอัลตร้าโซนิคทำให้ดัชนีบ่งชี้การพองตัวสูงขึ้นกว่าการใช้การกวนทางกลธรรมดา ดังนั้นวิธีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวได้โดยการเกิดปรากฏการณ์เกิดโพรง เนื่องมาจากคลื่นนั้นประกอบด้วยช่วงอัดและช่วงขยาย เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวทำละลายจะทำให้เกิดฟอง (bubble) ของตัวทำละลายขนาดเล็กจำนวนมาก จากนั้นเมื่อฟองได้รับแรงจากคลื่นในช่วงอัดจะทำให้ฟองนั้นแตกออกและเกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็ก (microjet) ที่มีแรงมากจนสามารถเจาะทำลายผนังเซลล์ของพืชได้ เมื่อผนังเซลล์ของพืชแตกออกจะทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลของสารที่ต้องการสกัดออกจากเซลล์ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การทำให้ขนาดของตัวอย่างเล็กลงก่อนจะเพิ่มการสัมผัสกับตัวทะลายและเกิดโพรงได้ง่ายขึ้น [14]

2.4.7 การสกัดด้วยอัลตร้าโซนิคร่วมกับการสกัดด้วยของไหลยิ่งยวดคาร์บอนไดออกไซด์ (Ultrasound assisted improve supercritical carbon dioxide)

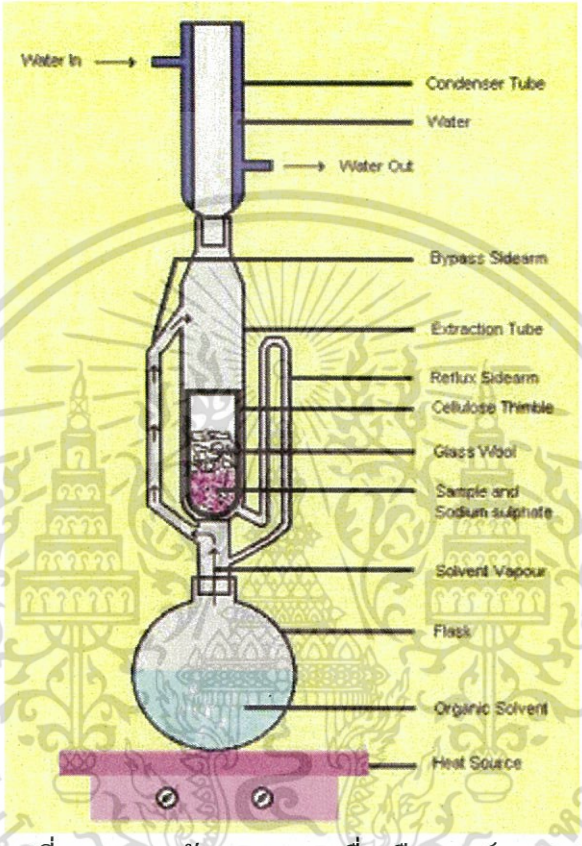
การสกัดโดยใช้เทคนิคอัลตร้าโซนิคร่วมกับการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการสกัดที่ร้อนผ่านการกรอง ทำซ้ำไปมา 2 รอบและถูกระเหยให้แห้งในเครื่องระเหยภายใต้แรงดันที่ถูกลดลง เป็นวิธีที่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ อีกทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเฉื่อยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ไม่ติดไฟ ราคาไม่แพง ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถใช้กับอาหารได้ ใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อย เวลาในการสกัดสั้น สกัดได้ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำสามารถสกัดในสภาวะที่มีขั้วปานกลางหรือควบแน่น พลังงานที่ใช้ในการสกัดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมากใช้สกัดสารที่มีความซับซ้อนยากต่อการแยก แต่มีข้อเสียคือ ต้องสกัดภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศสูง เกิดพลังงานจลน์ช้า ค่าใช้จ่ายสูง และใช้เครื่องมือหลายชนิด [14]

2.4.8 การสกัดด้วยวิธีซอกห์เลต (Soxhlet extraction)

การสกัดสารโดยใช้เครื่องสำเร็จซอกห์เลต เทคนิคนี้เหมาะสำหรับแยกสารอินทรีย์ที่ไม่เสถียรที่ความร้อนสูงออกจากสารผสมที่เป็นของแข็ง ลักษณะของเครื่องมือมีลักษณะดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเครื่องมือซอกห์เลต [8]

2.4.8.1 หลักการของเครื่องมือซอกห์เลต

จะใช้ทำละลายในปริมาณน้อย เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารแล้วจะถูกทำให้ระเหยและควบแน่นกลับมาเมื่อเจอระบบหล่อเย็น ทำให้สกัดได้อีกเป็นลักษณะหมุนเวียน โดยตัวทำละลายที่เราใส่ลงไปในเครื่องมือจะหมุนเวียนผ่านสารที่เราต้องการสกัดหลายๆครั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด จนกระทั่งสารที่เราต้องการสกัดออกมามีปริมาณเข้มข้นมากพอ [17]

2.4.8.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการสกัด [17,18]

1) ชนิดของตัวทำละลาย

ต้องเหมาะสมกับการสกัดสารที่สนใจ โดยอาศัยหลักการ Like dissolve like คือ สาร 2 ชนิดที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Intermolecular forces) ที่คล้ายกัน จะสามารถละลายซึ่งกันและกันได้ เช่น ตัวถูกละลายที่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วเป็นแรงไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole) แต่จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เอทานอล (CH_3CH_2OH) ละลายในน้ำ (H_2O) แต่ไม่ละลายในเฮกเซน (C_6H_{14}) ในทางตรงข้าม ตัวถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วเป็นแรงแวนเดอร์วาลล์ (vanderwaal force) เหมือนกัน แต่จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) ละลายในเบนซีน (C_6H_6) ไม่ละลายในน้ำ แต่ถ้าในกรณีที่สารหนึ่งมีขั้วน้อยกว่าอีกสารตัวหนึ่ง ความสามารถในการละลายก็ลดลงหรืออาจจะกล่าวอีกนัยคือละลายได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

2) ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้สกัด

ปริมาตรตัวทำละลายต้องมีมากพอ คือเมื่อตัวทำละลายส่วนหนึ่งเกิดการระเหยขึ้นไปสกัดสารก่อนที่จะเต็มซอกห์เลต แล้วจากนั้นจะเป็นแบบลักษณะของกาลักน้ำต่อไป ในส่วนของขวดก้นกลมก็จะต้องมีตัวทำละลายเหลืออยู่เพื่อทำให้การสกัดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งตัวทำละลายที่มากเกินพอ สามารถระเหยออกได้เมื่อสกัดสารที่สนใจได้ตามที่ต้องการ ด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน

3) เวลาที่ใช้สกัด

เวลาที่ใช้สกัดต้องมีความเหมาะสมที่จะสามารถสกัดเอาสารที่สนใจออกจากตัวอย่างให้ได้มากที่สุด ซึ่งในเทคนิคนี้ส่วนใหญ่เวลาที่ใช้สกัดมักยาวนานเป็นชั่วโมงเพื่อให้เกิดการรีฟลักซ์ของตัวทำละลายหลายๆซ้ำ ทำให้สารที่สนใจถูกสกัดออกจากตัวอย่างได้มากที่สุด

4) ตัวอย่าง

เทคนิคนี้ตัวอย่างมักจะเป็นของแข็ง ดังนั้นต้องทำตัวอย่างให้มีพื้นผิวสัมผัสกับสารมากที่สุด ควรเตรียมตัวอย่างให้มีขนาดเล็กที่สุดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส

2.4.8.3 ข้อดีของเทคนิคซอกห์เลต [17,19]

1) เป็นเทคนิคที่ทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก

2) ใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อยกว่าวิธีอื่น เพราะใช้วิธีการให้ตัวทำละลายหมุนเวียนผ่านสารที่ต้องการสกัดหลายๆครั้งต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งสกัดสารออกมาได้เพียงพอ

3) เป็นระบบปิดจึงไม่ทำอันตราย

2.4.8.4 ข้อเสียของเทคนิคซอกห์เลต [17]

1) ใช้เวลาสกัดนาน

2) มีตัวทำละลายอินทรีย์เหลือเป็นของเสียหลังจากกระบวนการเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์เหล่านี้มักมีความเป็นพิษทั้งต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม (ในกรณีที่ทิ้งแบบที่ไม่มีการจัดการที่ดี)

2.4.9 การสกัดด้วยไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction; MAE)

การสกัดด้วยไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพในการสกัด ลดเวลาในการเตรียมตัวอย่างและลดปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ โดยการให้ความร้อนสำหรับการสกัดด้วยไมโครเวฟนั้นอยู่บนพื้นฐานของการสกัดโดยตรงของคลื่นไมโครเวฟต่อโมเลกุล พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟมีผลให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหวและเกิดความร้อนภายในวัตถุที่สัมผัสกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเกิดจากกลไกการเคลื่อนที่ของไอออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic polarization) และการหมุนของสารประกอบมีขั้ว (dipole rotation) โดยการหมุนของขั้วเป็นผลให้เกิดเป็นสนามไฟฟ้าของโมเลกุลทั้งในตัวทำละลายและในตัวอย่างทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีระบบการวิเคราะห์มี 2 ระบบ คือ ระบบปิดสกัดสารกึ่งระเหยให้ประสิทธิภาพการสกัด เนื่องจากอุณหภูมิตัวทำละลายที่สูงเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลของสารที่สนใจจากตัวอย่างสู่ตัวทำละลายที่ใช้สกัดทำได้ดีขึ้นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเปิด สกัดสารที่มีค่าการระเหยต่ำ เช่น ยาฆ่าแมลง PAHs ทำให้เกิดการรีฟลักซ์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด นอกจากนั้นต้องคำนึงถึง 4 ปัจจัยต่อไปนี้

1) ชนิดตัวทำละลาย ควรเลือกตัวทำละลายที่ให้ค่าการสกัดสูงสุด ดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟ มีความจำเพาะสูงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า

2) ปริมาตร ควรมีปริมาตรของตัวทำละลายพอเพียงและแน่นอน

3) อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร ทำให้สารเคลื่อนที่ดีขึ้น ตัวทำละลายมีความหนืดน้อยสารเคลื่อนที่เข้าไปได้ดี

4) เวลา เนื่องจากเวลาการสกัดมีผลต่อการให้เกิดสมดุล การสกัดด้วยไมโครเวฟมีข้อดี คือลดเวลาในกระบวนการสกัดเมื่อใช้คลื่นไมโครเวฟเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดแบบเดิม เนื่องจากการสกัดแบบเดิมความร้อนต้องผ่านภาชนะบรรจุก่อนจึงจะผ่านเข้าสู่สารละลายทำให้ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งกว่าทุกโมเลกุลของตัวทำละลายและตัวอย่างจะร้อนตามต้องการ แต่เทคนิคไมโครเวฟทำให้สารละลายเกิดความร้อนโดยตรงจากโมเลกุล ดังนั้นทุกโมเลกุลจะเกิดความร้อนขึ้นพร้อมกันเมื่อให้พลังงานคลื่นเข้าไปจะเห็นว่าอุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดความร้อนขึ้นในระยะเวลาสั้น แต่มีข้อเสียคือ ต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมกับการสกัดและมีความยุ่งยากในการสกัด [14]

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.5.1 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

ใช้วิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ข้อมูลที่ได้จากวิธีนี้เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับการเกิดการสั่นและการหมุนของโมเลกุล โมเลกุลของสารเคมีจะดูดกลืนแสงในช่วงของอินฟราเรด โมเลกุลจะถูกกระตุ้นเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าที่อยู่สภาวะพื้น ซึ่งเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและเกิดการหมุนได้ การศึกษาเอกลักษณ์ของสารตัวอย่างเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง FT-IR เพื่อทำให้ทราบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญภายในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งในงานนี้ใช้ศึกษาวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันที่ได้จากการสกัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

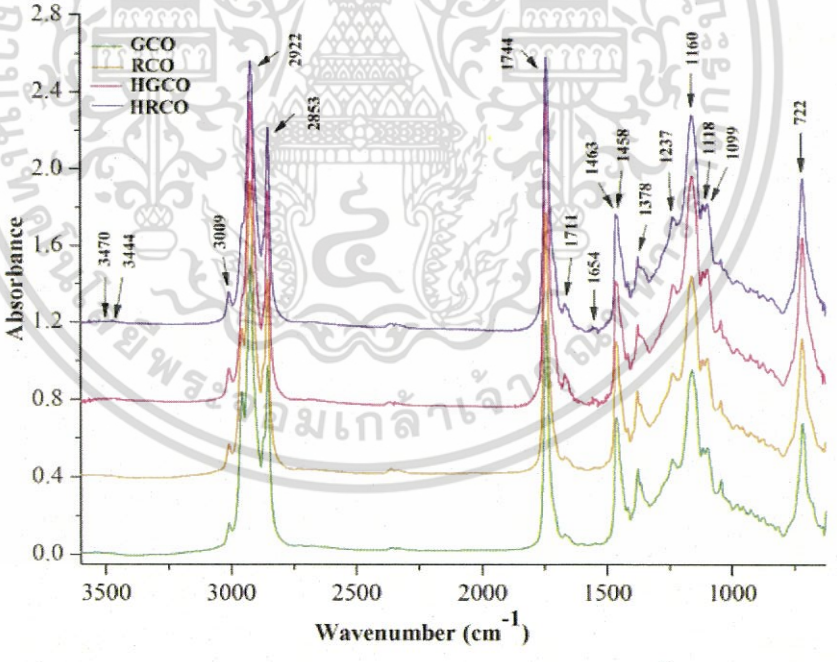
2.6.1 Zayed Al-Hamamre and et al. [20] ศึกษาผลของตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน(มีขั้วและไม่มีขั้ว) มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี, ทางกายภาพ รวมทั้งปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) หรือค่าของกรด (AV) saponification value (SV) ความหนาแน่น, ความหนืด, องค์ประกอบธาตุและปริมาณความร้อนของน้ำมันที่ได้จากการสกัดกากกาแฟ (SCG) การสกัดสารโดยใช้เทคนิคซอกห์เลตถูกนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ ไอโซโพรพานอลและอะซีโตนเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วส่วนโทลูอีน, คลอโรฟอร์ม, เฮกเซนและเพนเทนเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้วที่ถูกนำมาใช้ สำหรับแต่ละตัวทำละลายนั้นผลผลิตของน้ำมันจะบันทึกในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ผลจากการสกัดด้วยเฮกเซนเป็นเวลาสามสิบนาทีให้ผลผลิตร้อยละของน้ำมันสูงที่สุดคือร้อยละ 15.3 ค่า AV และ SV ของน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับตัวทำละลายที่ใช้สกัด จากผลแสดงให้เห็นว่า AV ของน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซนคิดเป็นร้อยละ 3.65 (7.3 mgKOH / g) ซึ่งค่านี้จะต่ำกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายอื่นๆ (เอทานอลร้อยละ 3.85, ไอโซโพรพานอลร้อยละ 6.4, คลอโรฟอร์มร้อยละ 4.55 และโทลูอีนร้อยละ 4.15) และกรดไขมันอิสระ (FFA) ของน้ำมันที่สกัดได้จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันเมทิลเอสเตอร์ (FAME) โดยการใช้ตัวเร่งเบสในปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น อย่างไรก็ตามการแปลงน้ำมันที่สมบูรณ์สามารถทำได้โดยการใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นสองขั้นตอน

2.6.2 F. Acevedo and et al. [21] ศึกษาวิธีการสกัดที่แตกต่างกันของน้ำมันจากกากกาแฟ เช่น การสกัดของแข็งด้วยวิธีการสกัดของแข็งด้วยของเหลว (solid–liquid extraction), การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด (supercritical extraction) ในวิธีการสกัดน้ำมันกระบวนการสกัดด้วยวิธีซอห์กเลตทำให้ได้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด (26.4%) รายละเอียดของกรดไขมันอิสระแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (50%) สำหรับไขมันที่สกัดจากกากกาแฟโดยแต่ละวิธีที่ได้ส่วนใหญ่เป็นไลโนเลอิกและปาล์มิติก (ประมาณ 45 และ 30% ตามลำดับ) สุดท้ายนี้การมีอยู่ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของกากกาแฟที่ระบุไว้ในการศึกษาครั้งนี้อาจจะเป็นสิ่งที่น่าสนใจมากสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอางและเภสัชกรรม เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือจากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิตลกาแฟสำเร็จรูปที่มีปริมาณมาก

2.6.3 Diana Nicoleta Raba and et al. [22] ศึกษาโครงสร้างของน้ำมันกาแฟด้วยเทคนิค ATR–FTIR spectroscopy โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สเปกตรัมที่ปรากฏในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัม ATR-FTIR ของน้ำมันกาแฟ [22]

แสดงแถบลักษณะที่มีความถี่และความเข้มอย่างชัดเจนสามารถที่จะบอกหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันกาแฟได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.6 การตรวจสอบภาพของ ATR-FTIR สเปกตรัมของทั้งสองตัวอย่างน้ำมันกาแฟดิบและน้ำมันกาแฟที่ได้รับความร้อน แสดงให้เห็นว่ามีการบันทึกไว้ว่าไม่มีความแตกต่างที่เห็นได้ในลักษณะสเปกตรัมนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงในความเข้มของแถบสเปคตรัม นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในตำแหน่งที่แน่นอนของแถบที่บันทึกไว้ การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องมากที่สุดคือบริเวณการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่าง 3100 และ 3600 cm^{-1}

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟ [22]

Wavenumbers	Responsible functional groups
3470 cm^{-1}	Overtone of the glyceride ester carbonyl absorption (C = O).
3444 cm^{-1}	O-H stretching vibration of hydroperoxides.
3009 cm^{-1}	C–H stretching symmetric vibration of the cis double bonds (HC = CH).
2922 and 2853 cm^{-1}	Asymmetric and symmetric stretching vibration of C–H bonds of aliphatic CH_2 group of the fatty acid backbone.
shoulders at 2956 and 2871 cm^{-1}	Symmetric and asymmetric stretching vibration of C–H bonds of aliphatic CH_3 group.
1744 cm^{-1}	Stretching vibration of ester carbonyl functional groups of triglycerides (O-C = O).
weak shoulder at 1711 cm^{-1}	Stretching vibration of free fatty acid carbonyl group (C = O).
1654 cm^{-1}	C = C stretching vibration cis-olefins (cis RHC = CHR)
1463 and 1458 cm^{-1}	Bending vibration of C–H of CH_2 and CH_3 aliphatic group
1418 cm^{-1}	Rocking vibration of C–H bonds of cis-disubstituted olefins
1397 cm^{-1}	Bending in plane vibrations of C-H bonds of cis-olefinic group
1378 cm^{-1}	Bending symmetric vibration of C–H bonds of CH_2 group
1237 and 1160 cm^{-1}	Stretching and rocking vibration of C–O ester group, CH_2
1118 and 1099 cm^{-1}	Stretching vibration of C–O ester group
966 cm^{-1}	Out-of-plane bending vibration of trans–HC = CH– group of disubstituted olefins.
914 cm^{-1}	Out-of-plane bending vibration of cis–HC = CH–group.
722 cm^{-1}	Overlapping of aliphatic CH_2 rocking vibration and the out of plane vibration of cis-disubstituted olefins.

2.6.4 Stanislav Obruca and et al. [28] ศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต โดย Cupriavidus necator H16 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับของเสียอื่นหรือน้ำมันที่มีราคาไม่แพง การใช้ประโยชน์จากน้ำมันกาแฟทำให้มีมวลชีวภาพสูงที่สุดเช่นเดียวกับผลผลิตของพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต ซึ่งกากกาแฟมีการผลิตทั่วโลกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149497

ปริมาณที่มากและมีการจำหน่ายเป็นขยะมูลฝอย ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากน้ำมันกาแฟที่สกัดได้จากกากกาแฟมีแนวโน้มที่จะช่วยพัฒนาด้านเศรษฐกิจของพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยในตอนแรกได้ทำการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟเพื่อหาปริมาณน้ำมันกาแฟในวัสดุเหลือใช้และเพื่อให้ได้สารตั้งต้นสำหรับการทดลองต่อไป ซึ่งปริมาณน้ำมันจากกากกาแฟมีค่าเท่ากับ 15.1 ± 0.2% โดยผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันจากกากกาแฟสรุปได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบกรดไขมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

Fatty acid	Content (%)
Palmitic acid (C16:0)	35.7
Stearic acid (C18:0)	7.1
Oleic acid (C18:1)	9.4
Linoleic acid (C18:2n6c)	43.7
Arachidic acid (C20:0)	2.2
Linolenic acid (C18:3n3)	1.1
Cis-11-eikosenoic acid (C20:1)	0.3
Behenic acid (C22:0)	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.1.2 ชุดการสกัดซอกห์เลตขนาด 100 มิลลิลิตร

3.1.3 ชุดอุปกรณ์ไทเทรต

3.1.4 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) บริษัท Shimadzu จำกัด รุ่น IRTracer-100

3.1.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บริษัท Mettler จำกัด Toledo รุ่น MS204TS

3.1.6 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง บริษัท Mettler จำกัด รุ่น MS3002TS

3.1.7 ตู้อบ

3.1.8 ตะแกรง 40 เมช

3.2 สารเคมี

3.2.1 เฮกเซน บริษัท zen point จำกัด

3.2.2 ไอโซโพรพานอล

3.2.3 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.2.4 ฟีนอล์ฟทาลีน

3.2.5 โซเดียมซัลเฟต

3.2.6 น้ำกลั่น

3.3 กากกาแฟ

จากบริษัท เขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมกากกาแฟดิบ

3.4.1.1 หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากกาแฟ

1) ชั่งน้ำหนักของกากกาแฟด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่งจำนวน 10 กรัม
2) นำกากกาแฟเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น
3) ชั่งน้ำหนักแห้งของกากกาแฟและนำค่ามาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.4.1.2 คัดขนาดกากกาแฟ

1) ร่อนกากกาแฟด้วยตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช
2) จัดเก็บกากกาแฟโดยใส่ในโถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลต

3.4.2.1 ศึกษาผลของจำนวนรอบ

1) ชั่งน้ำหนักของกากกาแฟโดยจะใช้ที่น้ำหนัก 30 กรัม
2) ตวงเฮกเซนโดยจะใช้ปริมาณกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:5 โดยน้ำหนัก
3) ใช้จำนวนรอบในการสกัดเท่ากับ 3 5 7 และ 9 รอบ ในแต่ละน้ำหนัก
4) จัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 และซอกห์เลตที่ใช้มีขนาด 100 มิลลิลิตร

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือซอกห์เลต

5) ให้ความร้อนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
6) กรองกากกาแฟออกและระเหยตัวทำละลายเฮกเซนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
7) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ และนำค่ามาคำนวณปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ
8) ทดลองซ้ำกับกากกาแฟที่ไม่ได้ผ่านการคัดขนาด

3.4.2.2 ศึกษาผลของน้ำหนัก

1) ชั่งน้ำหนักของกากกาแฟโดยจะใช้ที่น้ำหนัก 45 และ 60 กรัม
2) ตวงเฮกเซนโดยจะใช้ปริมาณกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:5 โดยน้ำหนัก
3) ใช้จำนวนรอบในการสกัดเท่ากับ 5 7 และ 9 รอบ ในแต่ละน้ำหนัก
4) จัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 และซอกห์เลตที่ใช้มีขนาด 100 มิลลิลิตร
5) ให้ความร้อนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
6) กรองกากกาแฟออกและระเหยตัวทำละลายเฮกเซนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
7) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ และนำค่ามาคำนวณปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ

3.4.2.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ

1) ชั่งน้ำหนักของกากกาแฟโดยจะใช้ที่น้ำหนัก 30 กรัม
2) ตวงเฮกเซนโดยจะใช้ปริมาณกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:5 โดยน้ำหนัก
3) ใช้จำนวนรอบในการสกัดเท่ากับ 5 7 และ 9 รอบ ในแต่ละน้ำหนัก
4) จัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 และซอกห์เลตที่ใช้มีขนาด 100 มิลลิลิตร
5) ให้ความร้อนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) กรองกากกาแฟออกและระเหยตัวทำละลายเฮกเซนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
7) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ และนำค่ามาคำนวณปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ

3.4.3 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

3.4.3.1 ศึกษาผลของขนาดกากกาแฟ

1) ชั่งน้ำหนักของกาแฟที่ผ่านการคัดขนาด 30 กรัมผสมกับตัวทำละลายเฮกเซนโดยใช้น้ำหนักของกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:5 โดยน้ำหนัก
2) ให้ความร้อนกากกาแฟด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที
3) กรองกากกาแฟออกและระเหยตัวทำละลายเฮกเซนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ และนำค่ามาคำนวณปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ
5) ทดลองซ้ำกับกากกาแฟที่ไม่ได้ผ่านการคัดขนาด

3.4.3.2 ศึกษาผลของปริมาณตัวทำละลาย

1) ชั่งน้ำหนักของกาแฟ 30 กรัมผสมกับตัวทำละลายเฮกเซนโดยใช้น้ำหนักของกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:5 โดยน้ำหนัก
2) ให้ความร้อนกากกาแฟด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที
3) กรองกากกาแฟออกและระเหยตัวทำละลายเฮกเซนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ และนำค่ามาคำนวณปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ
5) ทดลองซ้ำโดยใช้น้ำหนักของกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:7 และ 1:9 โดยน้ำหนัก

3.4.3.3 ศึกษาผลของเวลา

1) ชั่งน้ำหนักของกาแฟ 30 กรัมผสมกับตัวทำละลายเฮกเซนโดยใช้น้ำหนักของกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:7 โดยน้ำหนัก
2) ให้ความร้อนกากกาแฟด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที
3) กรองกากกาแฟออกและระเหยตัวทำละลายเฮกเซนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
4) ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ และนำค่ามาคำนวณปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ
5) ทดลองซ้ำโดยใช้เวลาในการสกัดที่ 3 และ 7 นาที

3.4.4 การวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ

1) ชั่งน้ำหนักน้ำมันกากกาแฟ 0.1 กรัมลงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมไอโซโพรพานอล 50 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน
3) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
4) คำนวณเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ

3.4.5 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันจากกากกาแฟ

นำน้ำมันจากกากกาแฟที่เตรียมได้มาทำการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เทคนิค FT-IR ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารโดยพิจารณาจากพลังงานที่สารดูดกลืน (absorption) ช่วงเลขคลื่น 400 cm^{-1} ถึง 4000 cm^{-1} เพื่อใช้ในการสั่นของโมเลกุลในรูปแบบต่างๆโดยโมเลกุลจะดูดกลืนพลังงานเมื่อความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับความถี่ของการสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ

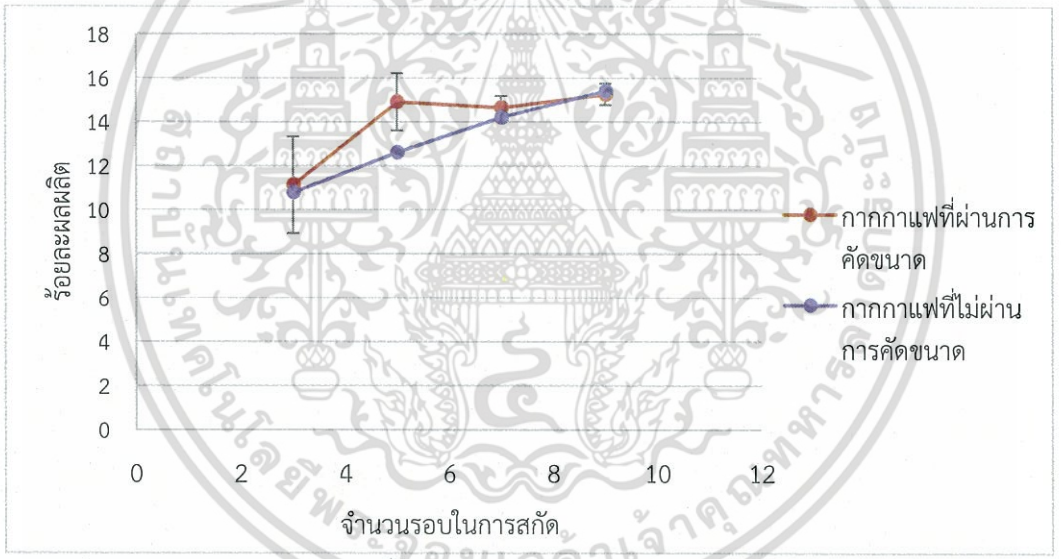
4.1.1 การหาร้อยละความชื้นของกากกาแฟ

การทดลองหาความชื้นในกากกาแฟโดยทำการชั่งน้ำหนักของกากกาแฟดิบ 10 กรัม นำมาอบที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส[20] ทิ้งไว้ข้ามคืนและชั่งน้ำหนักหลังอบ พบว่ากากกาแฟดิบมีความชื้นร้อยละ 67.91±0.06

4.1.2 ศึกษาผลของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลต

4.1.2.1 ศึกษาผลของจำนวนรอบ

การศึกษาผลของจำนวนรอบในการสกัดที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ โดยใช้กากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาด



รูปที่ 4.1 แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟระหว่างกากกาแฟที่คัดขนาดและไม่คัดขนาด

จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลต โดยกำหนดจำนวนรอบที่ใช้ในการสกัดที่ 3 5 7 และ 9 รอบ พบว่ากากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดมีร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นจากรอบการสกัดที่ 3 ถึง 5 รอบ คิดเป็นร้อยละ 11.1260 และ 14.9086 ตามลำดับ หลังจากนั้นร้อยละผลผลิตที่ได้ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดมีร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

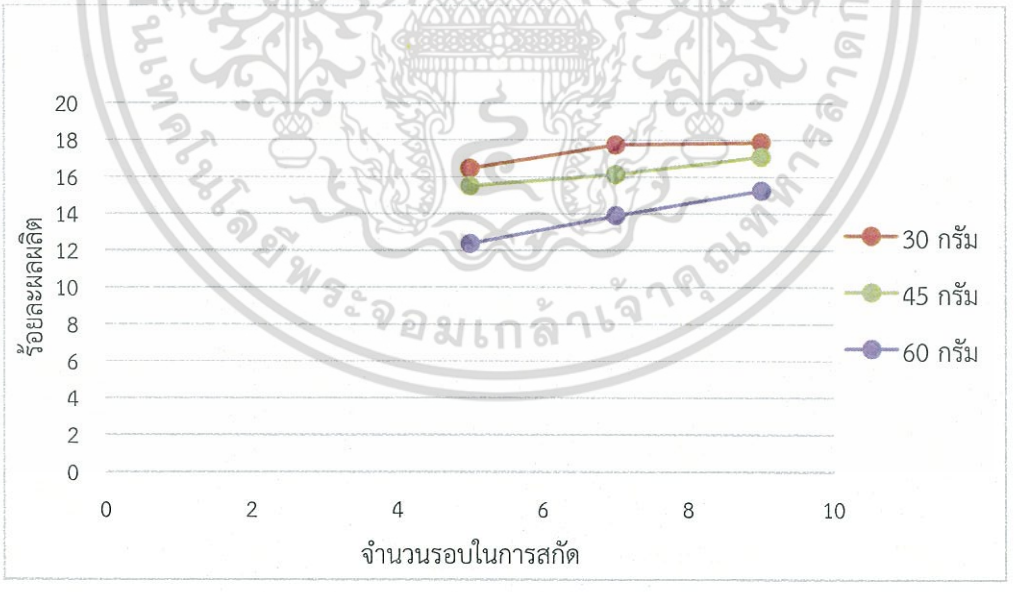
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตระหว่างกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาด

จำนวนรอบ	ร้อยละผลผลิต	
	คัดขนาด	ไม่คัดขนาด
3	11.1260	10.7801
5	14.9086	12.6020
7	14.6449	14.2003
9	15.2546	15.3953

จากตารางที่ 4.1 พบว่ากากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและไม่คัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดที่ร้อยละประมาณ 15 โดยน้ำหนัก แต่กากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดนั้นให้ร้อยละผลผลิตที่เริ่มสูงขึ้นตั้งแต่รอบการสกัด 5 รอบ ในขณะที่กากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตที่เริ่มสูงขึ้นตั้งแต่รอบการสกัด 7 รอบ เนื่องจากการสกัดเป็นการสกัดแบบเนื้อผสมดังนั้นกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดจะมีขนาดของอนุภาคเล็ก มีความสม่ำเสมอและมีพื้นที่ผิวมาก

4.1.2.3 ศึกษาผลของน้ำหนัก

การศึกษาผลของน้ำหนักกากกาแฟและความจุของปริมาณกากกาแฟในซอกห์เลตขนาด 100 มิลลิลิตรที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ โดยใช้ปริมาณกากกาแฟที่แตกต่างกันในการสกัดที่น้ำหนัก 30 45 และ 60 กรัม



รูปที่ 4.2 แสดงผลของน้ำหนักกากกาแฟ

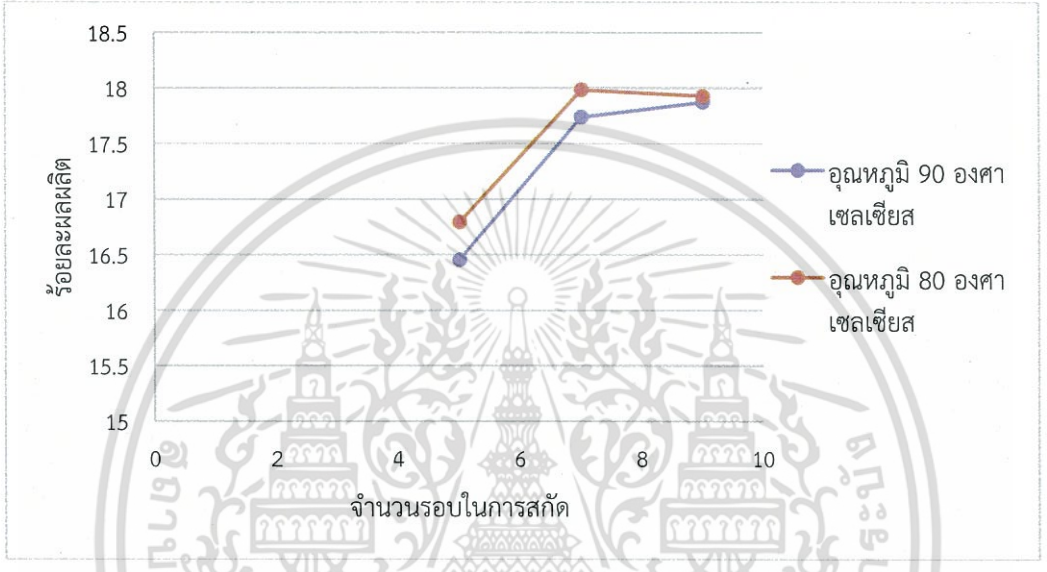
จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ โดยกำหนดน้ำหนักของกากกาแฟที่ใช้ในการสกัดที่ 30 45 และ 60 กรัม พบว่ากากกาแฟที่ 30 กรัมให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุดและเมื่อเพิ่มปริมาณกากกาแฟเป็น 45 และ 60 กรัมจะให้ร้อยละผลผลิตลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลตที่น้ำหนักกากกาแฟ 30 กรัมให้ร้อยละผลผลิตสูงสุด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณกากกาแฟในชุดซอกห์เลตที่มีขนาดเท่าเดิม ส่งผลให้อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้จากการสกัดน้ำมันลดลงตามปริมาณของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น

4.1.2.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิ

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ โดยกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดคือ 80 และ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน

จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ โดยกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียสให้ร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นจากรอบการสกัดที่ 5 รอบถึง 7 รอบและเริ่มคงที่ในรอบการสกัดที่ 9 โดยร้อยละผลผลิตที่ได้ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

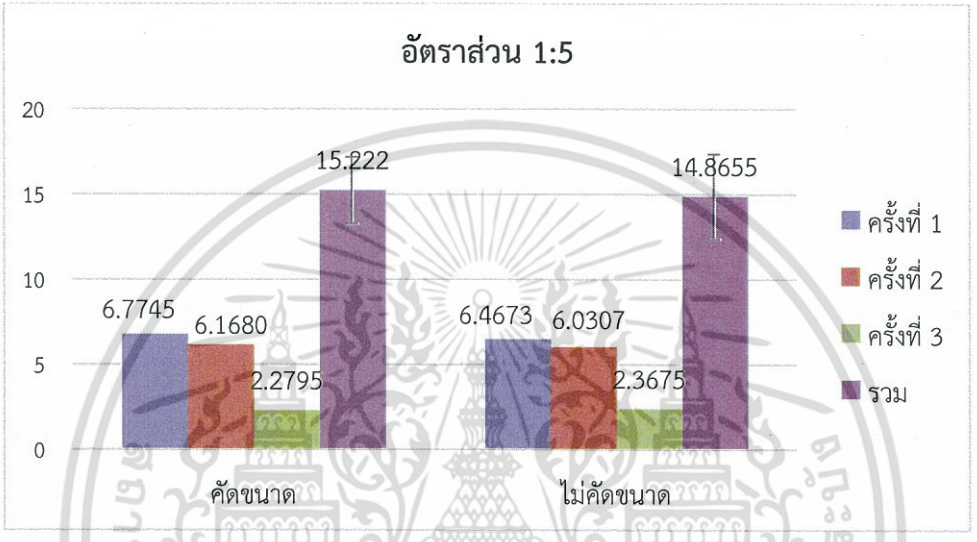
ในการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลตที่มีการกำหนดอุณหภูมิที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียสให้ร้อยละผลผลิตสูงสุดที่ร้อยละ 17.9847 และ 17.7373 ตามลำดับซึ่งไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากให้ความร้อนที่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิโดยอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวนี้มากกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายส่งผลให้ตัวทำละลายได้รับความร้อนและเกิดการเดือดทำให้ระบบเข้าสู่สมดุล ในขณะที่อุณหภูมิภายในซอกห์เลตอยู่ที่ 69 องศาเซลเซียส จึงทำให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟที่ได้ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่อุณหภูมิในการสกัดจะให้ความแตกต่างแค่ในช่วงเวลาก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สมดุล โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะใช้เวลาในช่วงที่เริ่มเดือดนานกว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ศึกษาผลของการสกัดน้ำมันกาแฟจากกากกาแฟด้วยไมโครเวฟ

4.1.3.1 ศึกษาผลของขนาด

การศึกษาผลของขนาดกากกาแฟที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟจากการทดลองสกัดน้ำมันกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ในอัตราส่วนน้ำหนักของกากกาแฟต่อปริมาณตัวทำละลายที่ 1 กรัมต่อ 5 มิลลิลิตรตัวทำละลาย โดยใช้กากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 40 เมชกับกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดและทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 4.4 ร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟที่คัดขนาดและไม่คัดขนาด

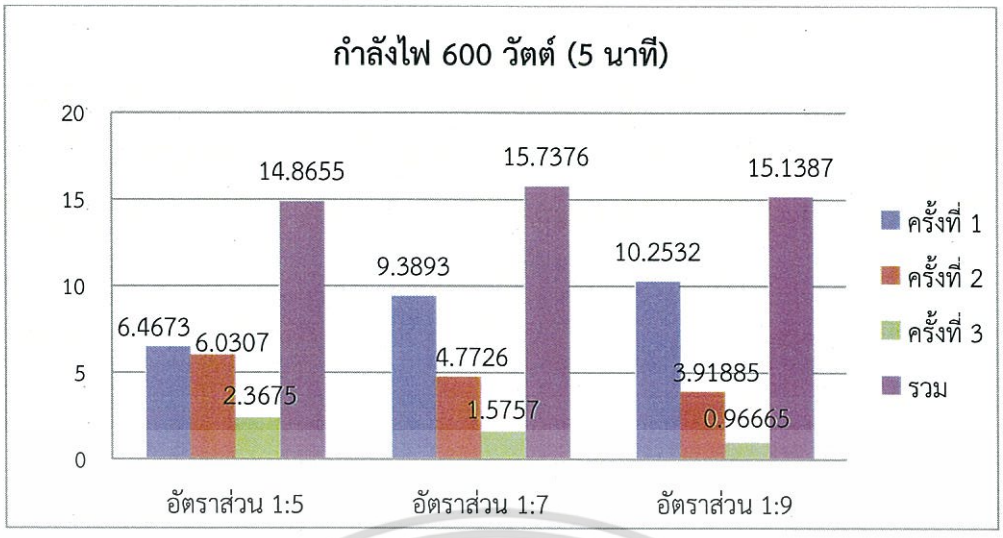
จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยกำหนดอัตราส่วนที่ใช้ในการสกัดที่ 1:5 พบว่ากากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดมีร้อยละผลผลิตรวมที่ร้อยละ 15.2220 ซึ่งมากกว่ากากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดเล็กน้อยโดยไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4.4

ในการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟเป็นการสกัดแบบเนื้อผสมซึ่งกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดควรให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่เนื่องจากการใช้กำลังไฟที่ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาทีนั้นเกินจุดสูงสุดของประสิทธิภาพซึ่งไม่สามารถบอกความแตกต่างของประสิทธิภาพในการสกัดได้จึงทำให้กากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและไม่ผ่านการคัดขนาดมีร้อยละผลผลิตไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.3.2 ศึกษาผลของปริมาณตัวทำละลาย

การศึกษาผลของปริมาณตัวทำละลายที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟโดยจะกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของกากกาแฟต่อปริมาณตัวทำละลายที่ 1:5 1:7 และ 1:9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



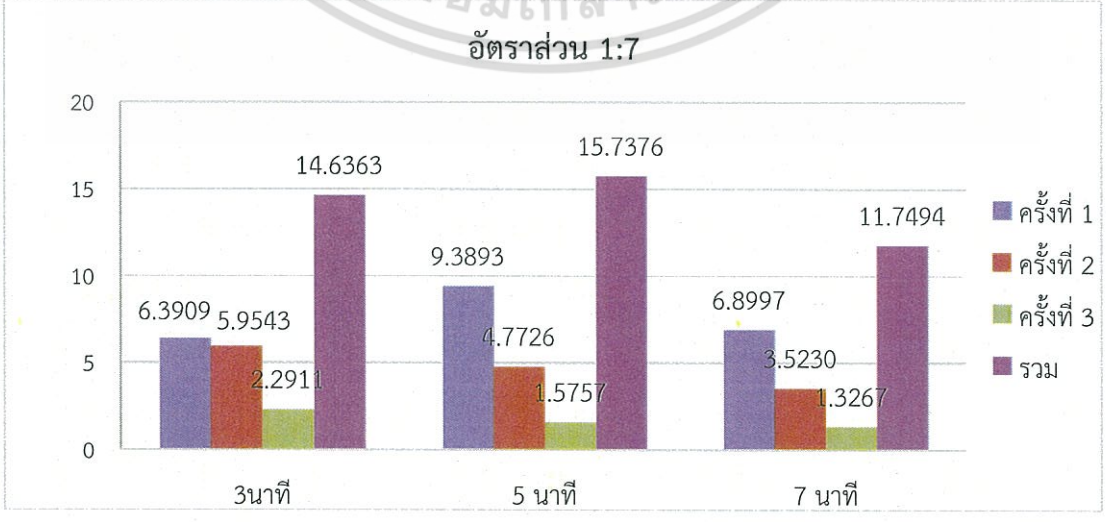
รูปที่ 4.5 ร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณตัวทำละลายที่ต่างกัน

จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยกำหนดปริมาณตัวทำละลายเป็น 1:5 1:7 และ 1:9 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวทำละลายจาก 1:5 เป็น 1:7 ให้ร้อยละผลผลิตรวมในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 14.8655 เป็น 15.7376 จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวทำละลายเป็น 1:9 ร้อยละผลผลิตรวมที่ได้ลดลงแต่ไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:7 ดังรูปที่ 4.5

ในการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ เมื่อใช้วิธีปรับอัตราส่วนโดยการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายเข้าไปในระบบทำให้อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวมีปริมาณลดลง ส่งผลให้การสกัดซ้ำในครั้งแรกให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในอัตราส่วน 1:9 ที่ร้อยละ 10.2532

4.1.3.3 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสกัด

การศึกษาผลของเวลาในการสกัดที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของกากกาแฟต่อปริมาณตัวทำละลายที่ 1:7 และให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟในเวลาต่างกันที่ 3 5 และ 7 นาที



รูปที่ 4.6 แสดงร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟที่เวลาต่างๆ

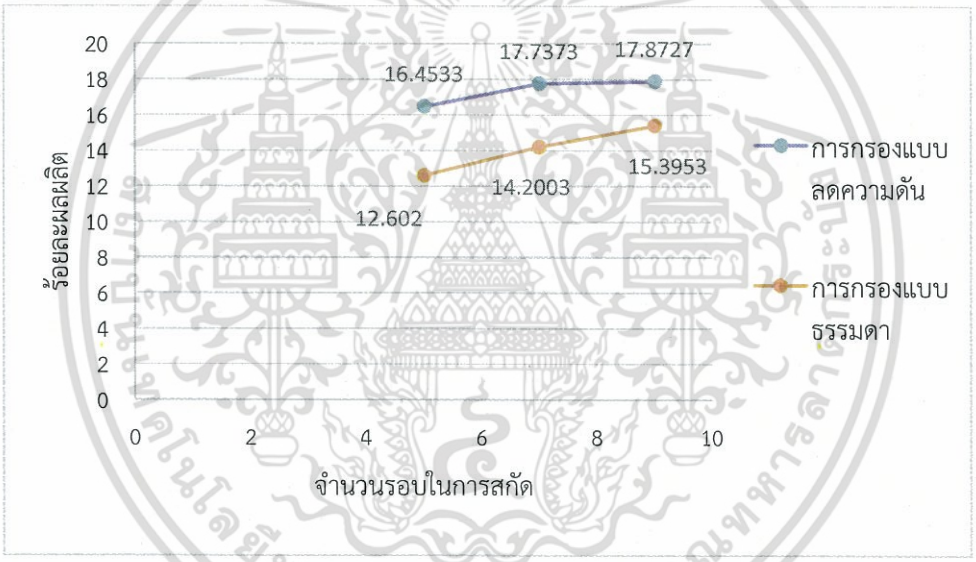
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 3 5 และ 7 นาทีพบว่าร้อยละผลผลิตรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการสกัดที่ 3 ถึง 5 นาที โดยให้ร้อยละผลผลิตที่ 14.6363 และ 15.7376 ตามลำดับ และร้อยละผลผลิตลดลงเหลือ 11.7494 เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดเป็น 7 นาที ดังรูปที่ 4.6

ในการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ เมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลา 3 นาทีนั้น อุณหภูมิของตัวทำละลายที่วัดได้อยู่ที่ 52 องศาเซลเซียส ในขณะที่ให้ความร้อนเป็นระยะเวลา 5 และ 7 นาที อุณหภูมิของตัวทำละลายอยู่ที่ 69 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณตัวทำละลายที่ลดลงหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนของ 5 และ 7 นาทีอยู่ที่ร้อยละ 2.84 และ 7.66 ตามลำดับ ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างของแข็งต่อของเหลวเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง

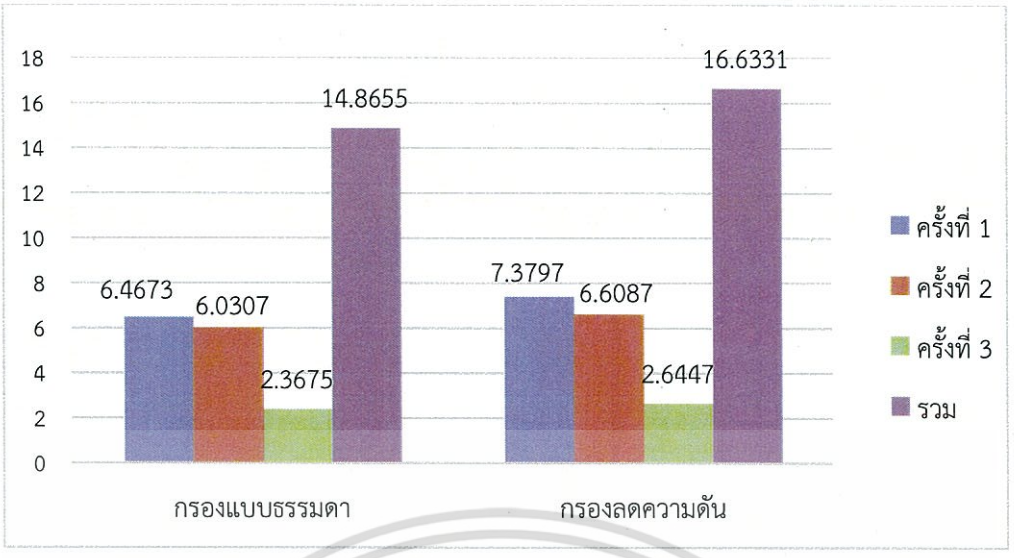
4.1.4 เทคนิคการกรองสารละลาย

การศึกษาผลของเทคนิคในการกรองสารละลายที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ โดยเปรียบเทียบเทคนิคการกรองระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดา



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบการกรองระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดด้วยซอกห์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการกรองระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดด้วยไมโครเวฟ

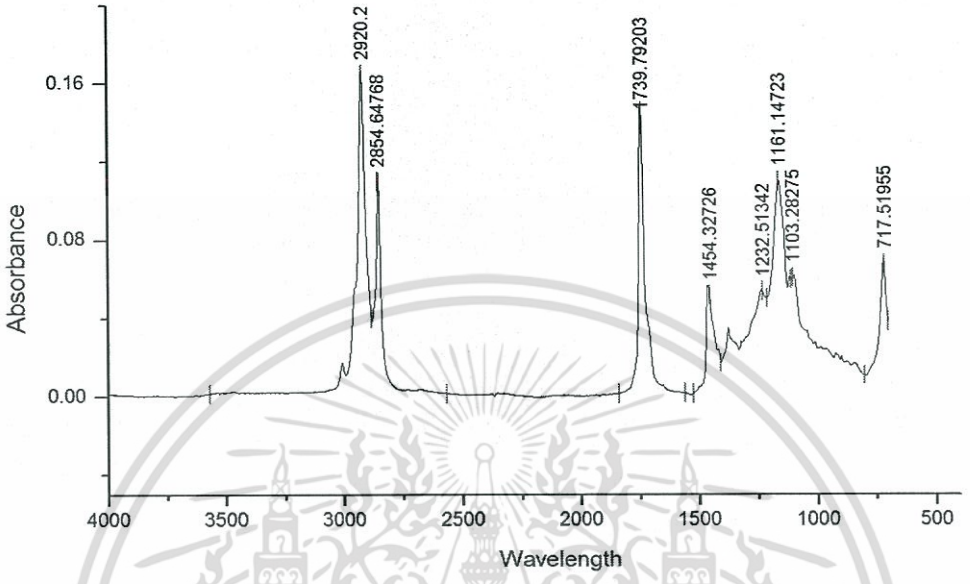
จากการทดลองการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลตและไมโครเวฟโดยทำการเปรียบเทียบการกรองระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดา พบว่าการกรองแบบลดความดันให้ร้อยละผลผลิตมากกว่าการกรองแบบธรรมดา ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

ในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟทั้งสองเทคนิคแสดงให้เห็นว่าการกรองแบบลดความดันจะได้ร้อยละผลผลิตมากกว่าการกรองแบบธรรมดาเนื่องจากการกรองแบบลดความดันเป็นการเพิ่มอัตราเร็วในการกรองด้วยการใช้เครื่องดูดอากาศต่อกับส่วนที่เป็นขวดซัคชั่นที่อยู่ใต้กรวยบุชเนอร์ทำให้ความดันในขวดซัคชั่นต่ำกว่าความดันเหนือกรวยบุชเนอร์ของเหลวจึงไหลผ่านตัวกรองได้เร็วยิ่งขึ้นและไม่เหลือน้ำมันตกค้างอยู่บนกระดาษกรอง เมื่อเทียบกับการกรองแบบธรรมดานั้นจะใช้หลักการที่ของเหลวไหลผ่านตัวกรองด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้มีน้ำมันตกค้างอยู่บนกระดาษกรองมากกว่าการกรองแบบลดความดัน

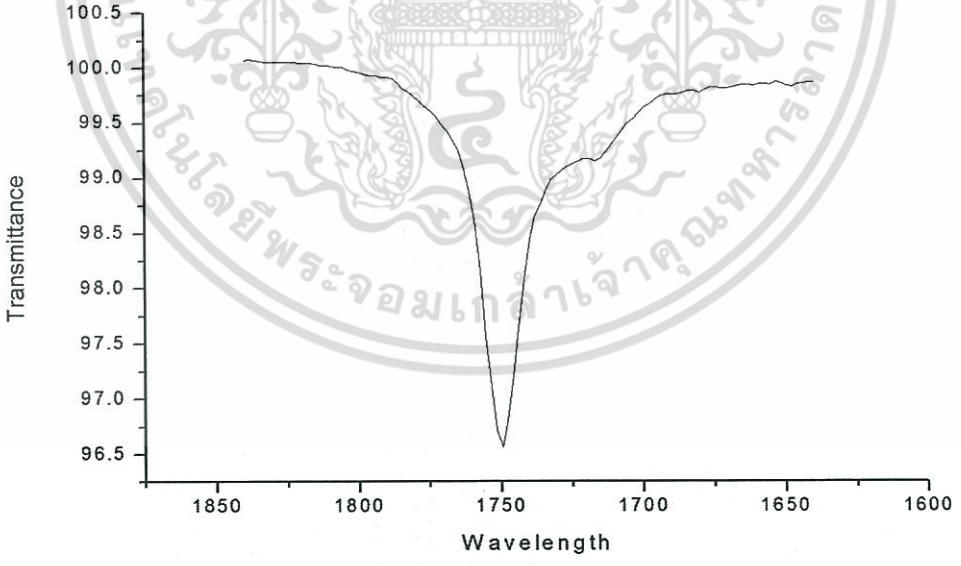
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

4.2.1 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลต



รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต



รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต

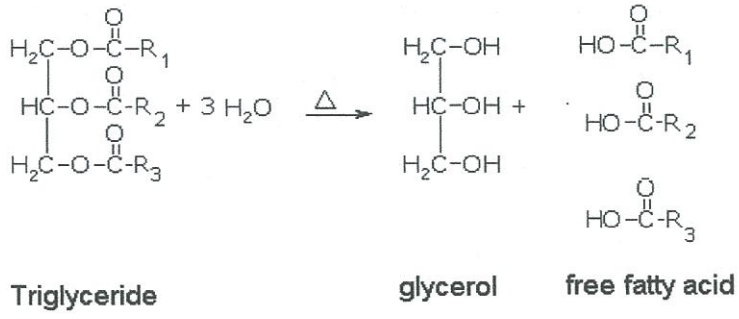
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟ [22]

Wavenumbers	Responsible functional groups
3470 cm^{-1}	Overtone of the glyceride ester carbonyl absorption (C = O).
3444 cm^{-1}	O-H stretching vibration of hydroperoxides.
3009 cm^{-1}	C–H stretching symmetric vibration of the cis double bonds (HC = CH).
2922 and 2853 cm^{-1}	Asymmetric and symmetric stretching vibration of C–H bonds of aliphatic CH_2 group of the fatty acid backbone.
shoulders at 2956 and 2871 cm^{-1}	Symmetric and asymmetric stretching vibration of C–H bonds of aliphatic CH_3 group.
1744 cm^{-1}	Stretching vibration of ester carbonyl functional groups of triglycerides (O-C = O).
weak shoulder at 1711 cm^{-1}	Stretching vibration of free fatty acid carbonyl group (C = O).
1654 cm^{-1}	C = C stretching vibration cis-olefins (cis RHC = CHR)
1463 and 1458 cm^{-1}	Bending vibration of C–H of CH_2 and CH_3 aliphatic group
1418 cm^{-1}	Rocking vibration of C–H bonds of cis-disubstituted olefins
1397 cm^{-1}	Bending in plane vibrations of C-H bonds of cis-olefinic group
1378 cm^{-1}	Bending symmetric vibration of C–H bonds of CH_2 group
1237 and 1160 cm^{-1}	Stretching and rocking vibration of C–O ester group, CH_2
1118 and 1099 cm^{-1}	Stretching vibration of C–O ester group
966 cm^{-1}	Out-of-plane bending vibration of trans–HC = CH– group of disubstituted olefins.
914 cm^{-1}	Out-of-plane bending vibration of cis–HC = CH–group.
722 cm^{-1}	Overlapping of aliphatic CH_2 rocking vibration and the out of plane vibration of cis-disubstituted olefins.

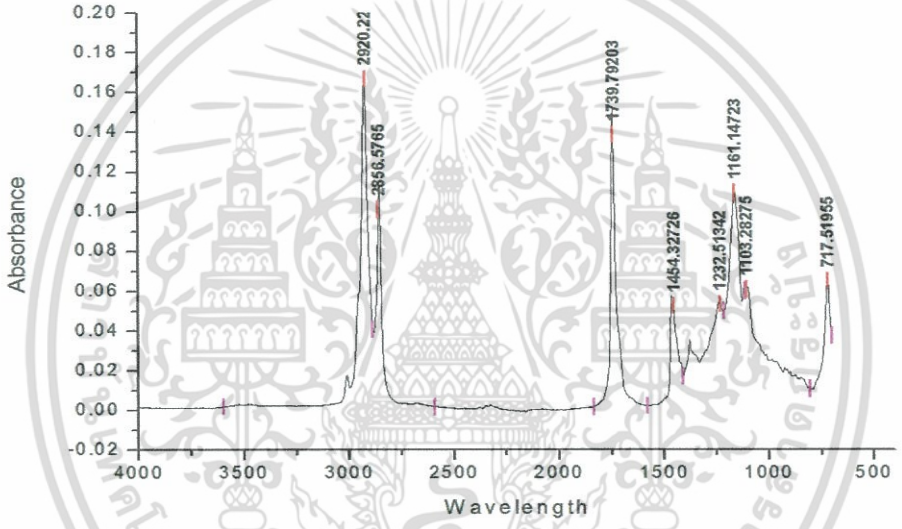
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงให้เห็นว่าพีคช่วง 3100 cm^{-1} ถึง 3600 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล ในพีคช่วง 2800 cm^{-1} ถึง 3050 cm^{-1}เป็นช่วงการสั่นแบบยืดของไฮโดรเจนโดยพีคการสั่นที่ 2922 cm^{-1} และ 2853 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงกรดไขมันของตัวอย่างน้ำมันและพีคที่ 3009 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันกาแฟ ในพีคช่วง 1680 cm^{-1} ถึง 1780 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิลและพีคที่ 1744 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชั่นของไตรกลีเซอไรด์และพีคที่ 1711 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิลของกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

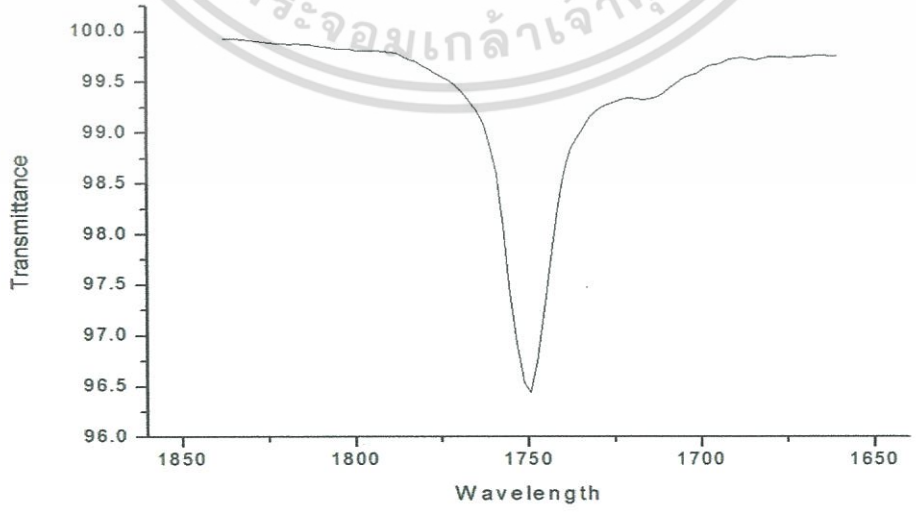


รูปที่ 4.11 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันอิสระ [27]

4.2.2 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคไมโครเวฟ



รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

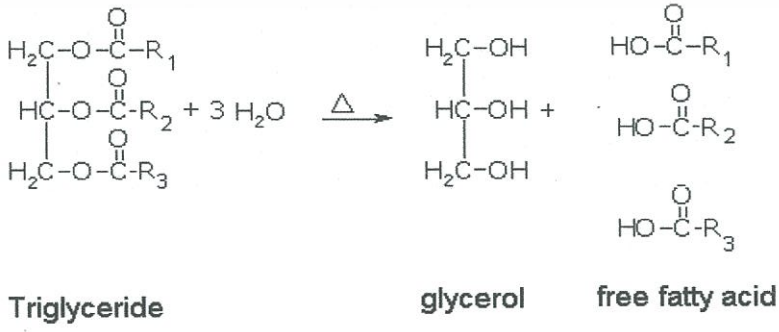


รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟ [22]

Wavenumbers	Responsible functional groups
3470 cm^{-1}	Overtone of the glyceride ester carbonyl absorption (C = O).
3444 cm^{-1}	O-H stretching vibration of hydroperoxides.
3009 cm^{-1}	C–H stretching symmetric vibration of the cis double bonds (HC = CH).
2922 and 2853 cm^{-1}	Asymmetric and symmetric stretching vibration of C–H bonds of aliphatic CH_2 group of the fatty acid backbone.
shoulders at 2956 and 2871 cm^{-1}	Symmetric and asymmetric stretching vibration of C–H bonds of aliphatic CH_3 group.
1744 cm^{-1}	Stretching vibration of ester carbonyl functional groups of triglycerides (O-C = O).
weak shoulder at 1711 cm^{-1}	Stretching vibration of free fatty acid carbonyl group (C = O).
1654 cm^{-1}	C = C stretching vibration cis-olefins (cis RHC = CHR)
1463 and 1458 cm^{-1}	Bending vibration of C–H of CH_2 and CH_3 aliphatic group
1418 cm^{-1}	Rocking vibration of C–H bonds of cis-disubstituted olefins
1397 cm^{-1}	Bending in plane vibrations of C-H bonds of cis-olefinic group
1378 cm^{-1}	Bending symmetric vibration of C–H bonds of CH_2 group
1237 and 1160 cm^{-1}	Stretching and rocking vibration of C–O ester group, CH_2
1118 and 1099 cm^{-1}	Stretching vibration of C–O ester group
966 cm^{-1}	Out-of-plane bending vibration of trans–HC = CH– group of disubstituted olefins.
914 cm^{-1}	Out-of-plane bending vibration of cis–HC = CH–group.
722 cm^{-1}	Overlapping of aliphatic CH_2 rocking vibration and the out of plane vibration of cis-disubstituted olefins.



รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันอิสระ [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงให้เห็นว่าพีคช่วง 3100 cm^{-1} ถึง 3600 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล ในพีคช่วง 2800 cm^{-1} ถึง 3050 cm^{-1}เป็นช่วงการสั่นแบบยืดของไฮโดรเจนโดยพีคการสั่นที่ 2922 cm^{-1} และ 2853 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงกรดไขมันของตัวอย่างน้ำมันและพีคที่ 3009 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันกาแฟ ในพีคช่วง 1680 cm^{-1} ถึง 1780 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิลและพีคที่ 1744 cm^{-1} แสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชั่นของไตรกลีเซอไรด์และพีคที่ 1711 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิลของกรดไขมันอิสระ

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยเทคนิคซอกห์เลตและไมโครเวฟมีน้ำมันและกรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบ

4.3 กรดไขมันอิสระ

จากการทดลองหากรดไขมันอิสระในน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลตและไมโครเวฟ

ตารางที่ 4.4 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระ

เทคนิคการสกัด	ร้อยละกรดไขมันอิสระ
ซอกห์เลต 80 °C (30 กรัม)	22.81
ซอกห์เลต 90 °C (30 กรัม)	22.12
ซอกห์เลต 90 °C (45 (กรัม)	16.52
ซอกห์เลต 90 °C (60 กรัม)	14.26
ไมโครเวฟ 5 นาที (30 (กรัม)	2.27
ไมโครเวฟ 7 นาที (30 กรัม)	3.04

จากการทดลองไทเทรตหากรดไขมันอิสระในน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยซอกห์เลตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีร้อยละกรดไขมันอิสระอยู่ที่ 22.81 และเมื่อสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสร้อยละกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากกาแฟ ส่วนการสกัดด้วยไมโครเวฟให้ร้อยละกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังตารางที่ 4.4

ในการหากรดไขมันอิสระในน้ำมันกาแฟ การสกัดน้ำมันด้วยซอกห์เลตให้ร้อยละกรดไขมันอิสระมากกว่าการสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากเทคนิคไมโครเวฟใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าจึงทำลายโครงสร้างกรดไขมันน้อยกว่าการสกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟโดยใช้เทคนิคการสกัดซอกห์เลตและไมโครเวฟในเงื่อนไขที่แตกต่างกันรวมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตของน้ำมันกากกาแฟ จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กากกาแฟดิบจากโรงงานมีความชื้นร้อยละ 67.91±0.06
2. การสกัดน้ำมันด้วยซอกห์เลต จากการศึกษาผลจำนวนรอบพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการสกัดมากขึ้นร้อยละผลผลิตจะเพิ่มขึ้น โดยกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตที่สูงตั้งแต่สกัดผ่านไป 5 รอบ ส่วนกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตที่สูงเมื่อสกัดผ่านไป 7 รอบ และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบขึ้นร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการสกัดเป็นแบบเนื้อผสมดังนั้นกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดจะมีความสม่ำเสมอ มีอนุภาคที่เล็กส่งผลให้มีพื้นที่ผิวมากจึงส่งผลให้ได้ร้อยละผลิตที่สูงเมื่อใช้จำนวนรอบที่น้อยกว่าและจากการศึกษาผลของน้ำหนักพบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักของกากกาแฟร้อยละผลผลิตที่ได้จะลดลงเนื่องจากเมื่อปริมาณกากกาแฟมากขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดจึงลดลง และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียสไม่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิต แต่จะส่งผลกับเวลาที่ให้ความร้อนก่อนระบบจะเข้าสู่สมดุลเท่านั้น
3. การสกัดน้ำมันด้วยไมโครเวฟ จากการศึกษาผลของขนาดพบว่ากากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและไม่คัดขนาดให้ร้อยละผลผลิตน้ำมันที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและจากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดพบว่าเวลาในการสกัดที่ 5 นาทีของไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์ให้ร้อยละผลผลิตที่สูงสุดและจากการศึกษาผลของตัวทำละลายในการสกัดด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาทีในอัตราส่วนกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:7 แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันที่สูงสุด
4. การกรองแบบลดความดันให้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ดีมากกว่าการกรองแบบธรรมดา
5. สำหรับการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันจากกากกาแฟด้วยเทคนิคฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์พบหมู่ฟังก์ชันที่แสดงเอกลักษณ์ของน้ำมันและกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟที่สกัดได้
6. จากการวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระพบว่าในน้ำมันที่สกัดได้มีกรดไขมันอิสระอยู่จริง โดยที่เทคนิคการสกัดด้วยซอกห์เลตให้กรดไขมันอิสระที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟ แสดงว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟมีการทำลายโครงสร้างกรดไขมันที่น้อยกว่าการสกัดซอกห์เลต

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสกัดด้วยซอกห์เลตในเชิงอุตสาหกรรมนั้นการที่จะประหยัดพลังงานมากที่สุดควรใช้กากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและใช้จำนวนรอบในการสกัดเพียง 5 รอบและสามารถเก็บกากกาแฟขนาดใหญ่ที่ผ่านตะแกรงไม่ได้มาสกัดโดยใช้จำนวนรอบในการสกัดตั้งแต่ 7 รอบจะให้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสกัดด้วยไมโครเวฟ ผู้ทดลองได้ใช้ไมโครเวฟประเภทที่ใช้ในครัวเรือน ซึ่งในเชิงอุตสาหกรรมควรใช้ไมโครเวฟที่ต่อกับชุดควบแน่น (condenser) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณตัวทำละลายที่จะต้องใช้ในขั้นตอนการสกัดซ้ำลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์ของกาแฟ** [ออนไลน์]. 20 กันยายน 2558. เข้าถึงจาก: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=20858&filename=index
2. นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย. 2558. "การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง." **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)** 7, 13: 15-26.
3. ปรียานุช จุลกะ, พิจิตรา แก้วสอน และปนัดดา จีนประสม. "ผลของการใช้วัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของกากกาแฟต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศ." ว.วิทย์.กษ.45(2)(พิเศษ) (2557) 349-352.
4. Mebrahtu Haile. "Intergrated volarization of spent coffee grounds to biofuels." Biofuel Research Journal 2 (2014) 65-69.
5. F. Acevedo, M. Rubilar, E. Scheuermann, B. Cancino, E. Uquiche, M. Garces, K. Inostroza and C. Shene. "Spent Coffee Grounds as a Renewable Source of Bioactive Compounds." Journal of Biobased Materials and Bioenergy 7 (2013) 420-428.
6. นนทวัชร ชิตวิลัย. 2547. "การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่าง กระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย." วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
7. สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2545. การปลูกกาแฟ. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. นนทบุรี. หน้า 69.
8. **ลักษณะทางพฤษศาสตร์และพันธุ์กาแฟ** [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก: http://www.doa.go.th/hort/images/stories/academy/coffee/botanyandcultivar.pdf
9. Varnam, H.A. and Sutherland, P.J. 1994. Beverage Technology Chemistry and Microbiology. New York: Chapman&Hall. 191-254p.
10. นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** กรุงเทพฯ: โอ. เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. หน้า 1-22.
11. Sivetz, M. 1963. Coffee Processing Technology. Vol:2: Aromatization, Properties,Brewing, Decaffeination and Plant Design. London. 298 p.
12. Rocio Campos-Vega, Guadalupe Loarca-Pina, Hayde A. Vergara-Castaneda and B. Dave Oomah. "Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects." Trends in Food Science & Technology 45 (2015) 24-36.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ดวงกมล เรือนงาม. 2557. "การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ." **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง** 23, 2: 120-139.

14. แดนชัย เครื่องเงิน และนลิสา ทองอรุณ. 2557. "วิธีการที่เหมาะสมในการสกัดกรดโอลีนโนอิกและกรดยูโซลิกในพืช." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สทวท.)** 1, 2: 1-11.

15. **เคมีวิเคราะห์สีเขียว** [ออนไลน์]. 4 พฤษภาคม 2556. เข้าถึงจาก: http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1939-เคมีวิเคราะห์สีเขียว?groupid=299

16. Sakchaibordee Pinsrithong. **เทคนิคการสกัดสารด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด** [ออนไลน์]. 9 กุมภาพันธ์ 2556. เข้าถึงจาก: http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/22769

17. Sakchaibordee Pinsrithong. **เทคนิคการสกัดแบบซอกห์เลต** [ออนไลน์]. 9 กุมภาพันธ์ 2556. เข้าถึงจาก: http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/18284

18. มหาวิทยาลัยมหิดล. **กระบวนการเกิดสารละลาย** [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก: http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2 / liquid_solution/solution_dissolution.htm

19. นางสาวสุวัฒนา ดันน์. **การสกัดด้วยตัวทำละลาย** [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก: http://www.suwattana.net/separation/page8.html

20. Zayed Al-Hamamre, Sascha Foerster, Franziska Hartmann, Michael Kroger and Martin Kaltschmitt. "Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing." Fuel 96 (2012) 70-76.

21. F. Acevedo, M. Rubilar, E. Scheuermann, B. Cancino, E. Uquiche, M. Garces, K. Inostroza, and C. Shene. "Spent Coffee Grounds as a Renewable Source of Bioactive Compounds." Journal of Biobased Materials and Bioenergy 7 (2013) 420–428.

22. Diana Nicoleta Raba, Mariana-Atena Poiana, Aurica Breica Borozan, Marius Stef, Florina Radu, Mirela-Viorica Popa. "Investigation on Crude and High-Temperature Heated Coffee Oil by ATR-FTIR Spectroscopy along with Antioxidant and Antimicrobial Properties." PLOS ONE | DOI:10.1371/journal.pone.0138080 (2015) 1-20.

23. National Institute of Standards and Technology. 2016. **Hexadecanoic acid** [On-line]. Available: http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C57103&Mask=80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. National Institute of Standards and Technology. 2016. **Octadecanoic acid** [On-line]. Available: http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C57114&Type=IR-SPEC&Index=1#IR-SPEC

25. National Institute of Standards and Technology. 2016. **Oleic Acid** [On-line]. Available: http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C112801&Type=IR-SPEC&Index=1#IR-SPEC

26. National Institute of Standards and Technology. 2016. **Linoleic acid** [On-line]. Available: http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C60333&Mask=80

27. **Triglycerides** [Online]. Available: http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/free%20fatty%20acid.gif

28. Stanislav Obruca, Sinisa Petrik, Pavla Benesova, Zdenek Svoboda, Libor Eremka, Ivana Marova. "Utilization of oil extracted from spent coffee grounds for sustainable production of polyhydroxyalkanoates." Article in Applied Microbiology and Biotechnology 98 (2014) 5883-5890.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณความชื้นในกากกาแฟดิบ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักกากกาแฟก่อนอบ-น้ำหนักกากกาแฟหลังอบ}}{\text{น้ำหนักกากกาแฟก่อนอบ}} \times 100$$

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{10.01 - 3.22}{10.01} \times 100$$

$$= 67.83$$

การคำนวณปริมาณร้อยละผลผลิตน้ำมันกากกาแฟ

$$\text{ปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักของกากกาแฟ}} \times 100\%$$

$$\text{ปริมาณน้ำมันในกากกาแฟ} = \frac{3.6312}{30.0011} \times 100\%$$

$$= 12.1040$$

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

คำนวณหามวลโมเลกุลกรดไขมัน

มวลโมเลกุลของกรดปาลมิติก (C16:0) = 256.2421
มวลโมเลกุลของกรดลิโนเลอิก (C18:2n6c) = 280.4455

$$\text{มวลโมเลกุลกรดไขมันเฉลี่ย} = \frac{(256.2421 \times 35.7) + (280.4455 \times 43.7)}{100}$$

$$= 214.0331$$

ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จากการไทเทรต

ตารางที่ ก(1) แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

ซอกห์เลต	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)			
	30 กรัม (80 องศาเซลเซียส)	30 กรัม	45 กรัม	60 กรัม
ครั้งที่ 1	5.60	5.50	5.60	5.60
ครั้งที่ 2	5.90	5.50	5.60	5.50
เฉลี่ย	5.75	5.50	5.60	5.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก(2) แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

ไมโครเวฟ	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)	
	600 วัตต์ 5 นาที	600 วัตต์ 7 นาที
ครั้งที่ 1	5.60	5.50
ครั้งที่ 2	5.90	5.50
เฉลี่ย	5.75	5.50

$$\% \text{ กรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)} \times \text{มวลโมเลกุลกรดไขมัน}}{10 \times \text{น้ำหนักน้ำมันกากกาแฟ (กรัม)}}$$

$$\% \text{ กรดไขมันอิสระ} = \frac{5.6 \times 214.03}{10 \times 5.3212}$$

$$= 22.12$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข(1) แสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตระหว่างกากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาดและกากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาดจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต

จำนวนรอบ	ร้อยละผลผลิต	
	คัดขนาด	ไม่คัดขนาด
3	11.1260	10.7801
5	14.9086	12.6020
7	14.6449	14.2003
9	15.2546	15.3953

ตารางที่ ข(2) แสดงผลของน้ำหนักกากกาแฟจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต

ร้อยละผลผลิต			
จำนวนรอบ	30 กรัม	45 กรัม	60 กรัม
5	16.4533	15.5031	12.3575
7	17.7373	16.1229	13.8813
9	17.8727	17.0833	15.2450

ตารางที่ ข(3) แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต

ร้อยละผลผลิต		
จำนวนรอบ	อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล	อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
5	16.7950	16.4533
7	17.9847	17.7373

ตารางที่ ข(4) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคซอกห์เลต

จำนวนรอบ	ร้อยละผลผลิต	
	การกรองแบบลดความดัน	การกรองแบบธรรมดา
5	16.4533	12.6020
7	17.7373	14.2003
9	17.8727	15.3953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข(5) แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟที่คัดขนาดและไม่คัดขนาดจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

จำนวนรอบ	ร้อยละผลผลิต	
	กากกาแฟที่ผ่านการคัดขนาด	กากกาแฟที่ไม่ผ่านการคัดขนาด
ครั้งที่ 1	6.7745	6.4673
ครั้งที่ 2	6.1680	6.0307
ครั้งที่ 3	2.2795	2.3675
รวม	15.222	14.8655

ตารางที่ ข(6) แสดงร้อยละผลผลิตน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณตัวทำละลายที่ต่างกันจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

ร้อยละผลผลิต			
จำนวนรอบ	อัตราส่วน 1:5	อัตราส่วน 1:7	อัตราส่วน 1:9
ครั้งที่ 1	6.4673	9.3893	10.2532
ครั้งที่ 2	6.0307	4.7726	3.9189
ครั้งที่ 3	2.3675	1.5757	0.9667
รวม	14.8655	15.7376	15.1387

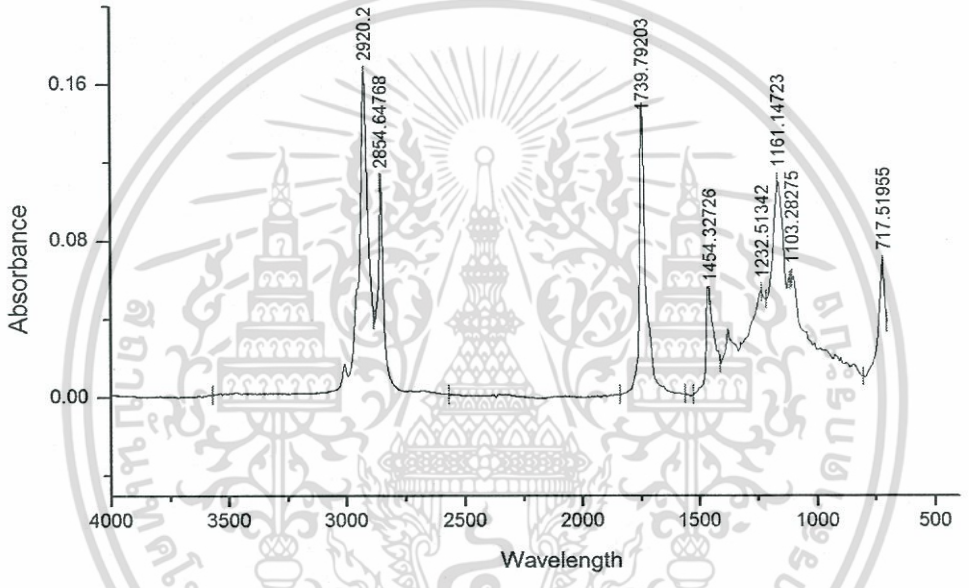
ตารางที่ ข(7) แสดงร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟที่เวลาต่างๆจากการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

ร้อยละผลผลิต			
จำนวนรอบ	3 นาที	5 นาที	7 นาที
ครั้งที่ 1	6.3909	9.3893	6.8997
ครั้งที่ 2	5.9543	4.7726	3.5230
ครั้งที่ 3	2.2911	1.5757	1.3267
รวม	14.6363	15.7376	11.7494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

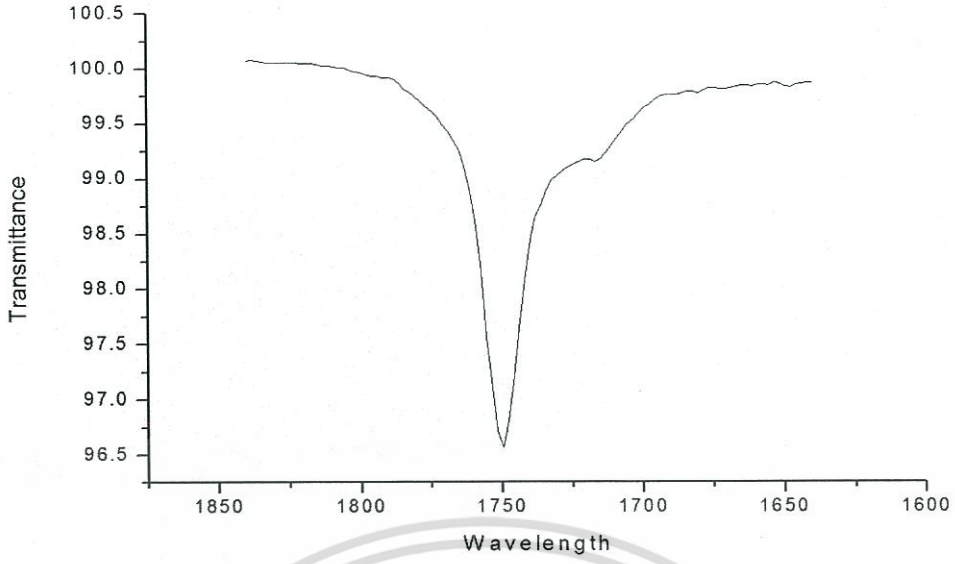
ตารางที่ ข(8) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการกรองแบบลดความดันและการกรองแบบธรรมดาของการสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

อัตราส่วน	ร้อยละผลผลิต	
	กรองแบบธรรมดา	กรองลดความดัน
ครั้งที่ 1	6.4673	7.3797
ครั้งที่ 2	6.0307	6.6087
ครั้งที่ 3	2.3675	2.6447
รวม	14.8655	16.6331

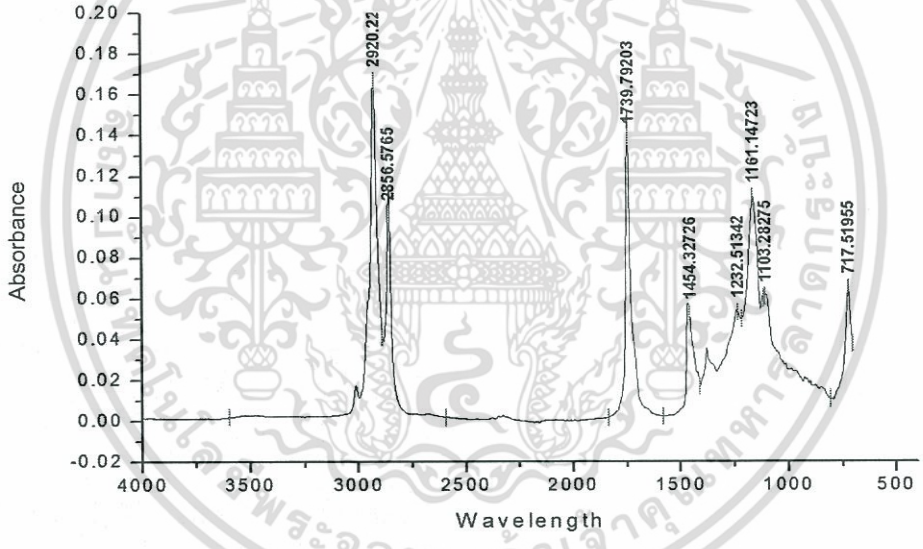


รูปที่ ข(1) แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

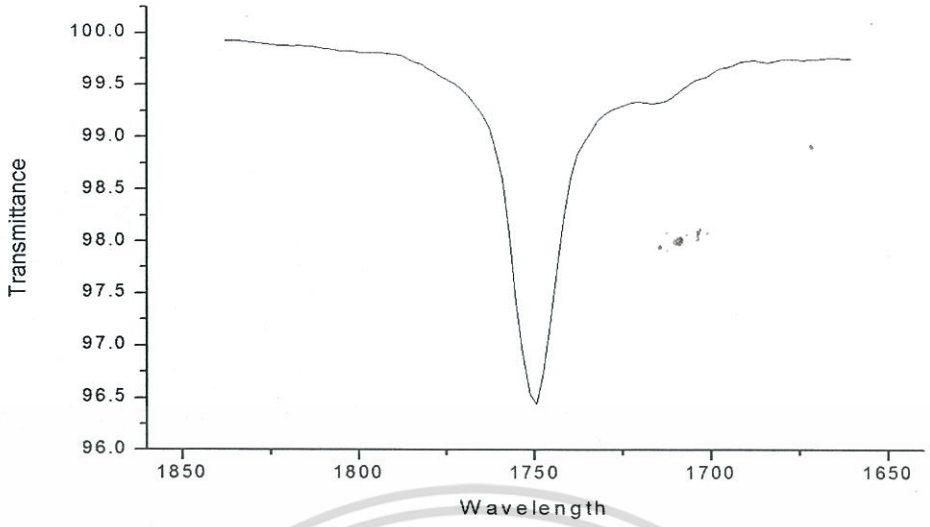


รูปที่ ข(2) แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคซอกห์เลต



รูปที่ ข(3) แสดงสเปกตรัมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข(4) แสดงสเปกตรัมของกรดไขมันอิสระของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง