

การสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดโดยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EXTRACTION OF OIL FROM ROASTED AND SPENT COFFEE GROUNDS BY
SUPERCRITICAL CO₂



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดโดย
	คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต
โดย	น.ส.กนกพร ผลมานะ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พุกษาทร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศศิธร สรรพอคำ)

กนกพร ผลมานะ : การสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดโดย
คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต. (EXTRACTION OF OIL FROM ROASTED
AND SPENT COFFEE GROUNDS BY SUPERCRITICAL CO₂) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ.
ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

กากกาแฟเป็นของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกาแฟสดและกาแฟสำเร็จรูป กาก
กาแฟมีสารที่สำคัญเป็นองค์ประกอบ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ กรดไขมัน โปรตีน คาเฟอีน
สารประกอบฟีนอล และแร่ธาตุต่าง ๆ งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกาก
กาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ภาวะต่าง ๆ ช่วงความดัน 200 -300 บาร์
และช่วงอุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 10 กรัมต่อ
นาที่ น้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายมี
ปริมาณร้อยละ 20.16±0.92 และ 15.67±1.84 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนการสกัดด้วย
คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต พบว่าที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
เป็นภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟคั่วบดได้ปริมาณน้ำมันกาแฟร้อยละ 13.45 ภาวะที่เหมาะสม
ในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบด คือ ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้
ปริมาณน้ำมันกาแฟร้อยละ 11.93 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟส่วนใหญ่ประกอบด้วย
กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก กรดสเตียริก และกรดอะราคิดิก องค์ประกอบสารระเหย
ที่พบในน้ำมันกาแฟให้กลิ่นหอมคล้ายกับคาราเมล มอลต์ และเนย ซึ่งส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มของฟู
แรน คือ 2,3-dihydro-5-methyl-furan, 2-ethyl-furan, furfural, และ 2-pentyl-furan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6171901923 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: spent coffee grounds, supercritical carbon dioxide, extraction,
volatile compounds

Kanokporn Ponmana : EXTRACTION OF OIL FROM ROASTED AND SPENT
COFFEE GROUNDS BY SUPERCRITICAL CO₂. Advisor: Prof. Somkiat
Ngamprasertsith, Ph.D. Co-advisor: RUEANGWIT SAWANGKAEW, Ph.D.

Spent coffee grounds (SCGs) are the waste from both productions of fresh and instants coffee. SCGs have many components such as polysaccharide, lipids, proteins, volatile compounds, caffeine, and minerals. In this work, the extraction of coffee oil from roasted and SCGs by supercritical CO₂ was studied under different conditions which are pressure (200 – 300 bar), and temperature (40 – 60 °C) with fixed flow rate at 10 g/min. The Soxhlet extraction method using hexane was utilized to determine the maximum yield of lipids from roasted coffee and SCGs samples. The yield of extracted oil from the sample was 20.16±0.92 wt% and 15.67±1.84 wt%, respectively. Supercritical CO₂ extraction part, the maximum oil yield was 13.45 wt% which obtained at 300 bar and 50 °C for the roasted coffee sample. The maximum yield of SCGs was 11.93 wt% that obtained at 300 bar and 40 °C for SCGs. The major components of fatty acids present in coffee oil are linoleic, palmitic, oleic, stearic, and arachidic acids. The mainly volatile compounds of coffee oil consist of the furan groups such as 2,3-dihydro-5-methyl-furan, 2-ethyl-furan, furfural, and 2-pentyl-furan which can give the odor smell like caramel, malty, and buttery.

Field of Study: Chemical Technology

Academic Year: 2020

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จได้โดยได้รับความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากหลายบุคคล อันดับแรกขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสถิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ และดร.วินัฎฐา ศักดาศรี ที่กรุณาให้แนวคิด คำแนะนำ และการแก้ปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤษชาทร และ ดร.ศศิธร สรรพอคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่สละเวลาเข้าร่วมสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ ที่อนุเคราะห์ทุนการศึกษา สนับสนุนด้านค่าเล่าเรียนและทุนวิจัย ขอขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือวิจัยจากภาคเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ช่างเทคนิค และ บุคลากรทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและช่วยอบรมการใช้เครื่องมือในการใช้ห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณครอบครัวที่สนับสนุนในทุก ๆ ด้าน และคอยเป็นกำลังใจที่สำคัญจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กนกพร ผลมานะ

สารบัญ

หน้า

.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กาแฟ (Coffee)	5
2.1.1 ความแตกต่างระหว่างกาแฟสายพันธุ์อะราบิกาและโรบัสตา.....	8
2.1.2 องค์ประกอบในเมล็ดกาแฟ.....	9
2.2 กากกาแฟ (Spent coffee grounds).....	10
2.2.1 การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟ	13
2.3 การสกัดน้ำมันกาแฟ	14

2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)	14
2.3.2 การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต.....	15
2.3.2.1 สมบัติของของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่ส่งผลต่อการสกัด.....	19
2.3.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัด.....	20
2.3.2.3 ข้อดีของการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต.....	21
2.3.3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการที่ต่างกัน	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.1.1 อุปกรณ์	25
3.1.2 สารเคมี.....	25
3.2 รายละเอียดวิธีการทดลอง.....	26
3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	26
3.2.2 การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดด้วยชุดสกัดซอกซ์เลต.....	26
3.2.3 การสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Carbon Dioxide Extraction).....	28
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	29
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์.....	29
3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC).....	29
3.3.3 การวิเคราะห์กลิ่นหอมของน้ำมันกาแฟ.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	32
4.1 ลักษณะของตัวอย่าง	32
4.1.1 ความชื้นของตัวอย่าง	32

4.1.2 ขนาดของตัวอย่าง.....	32
4.1.3 สีของตัวอย่างก่อนและหลังสกัด.....	33
4.2 การสกัดน้ำมันกาแฟด้วยตัวทำละลาย.....	34
4.3 การสกัดน้ำมันกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	34
4.3.1 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟ.....	35
4.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟ	37
4.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟ	40
4.5 องค์ประกอบกลิ่นหอมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต.....	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก.....	52
ภาคผนวก ข.....	55
ภาคผนวก ค.....	57
ภาคผนวก ง.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยวิธีแห้งและวิธีเปียก [5].....	6
ตารางที่ 2.2 ระดับการคั่วของเมล็ดกาแฟ [6].....	7
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อะราบิกาและโรบัสตา [7].....	9
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง) [8].....	10
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของกากกาแฟ [10, 11].....	11
ตารางที่ 2.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดตัวอย่างกาแฟและค่า T-test ที่ระดับ 0.05 [14].....	12
ตารางที่ 2.7 สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแก๊ส ของไหลภาวะเหนือวิกฤต และของเหลว [19].....	18
ตารางที่ 2.8 ค่าคงที่วิกฤตของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้เป็นตัวทำละลายของการสกัดสารด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต [20].....	18
ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการที่ต่างกัน [21].....	21
ตารางที่ 2.10 สรุปลักษณะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันกาแฟด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	30
ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันกาแฟด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	30
ตารางที่ 4.1 ความชื้นของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบด	32
ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบด	32
ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันกาแฟของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดจากการสกัดด้วยเฮกเซน	34
ตารางที่ 4.4 ภาวะการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	34

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ที่ความดัน 300 บาร์	35
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบไขมันของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยซอกท์เลต	40
ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต.....	40
ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต.....	41
ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบสารระเหยที่พบในน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบด.....	42
ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบสารระเหยที่พบในน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบด	43



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของกากกาแฟ และการนำไปใช้ประโยชน์ [3].....	2
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของผลกาแฟ [4].....	5
รูปที่ 2.2 ปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟภายในประเทศไทย ปี 2559 - 2563.....	7
รูปที่ 2.3 เครื่องสกัดแบบชอกท์เลต [17].....	15
รูปที่ 2.4 แผนภาพอุณหภูมิและความดันที่ภาวะเหนือวิกฤตของสารบริสุทธิ์ [18]	16
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงของการแบ่งแยกสถานะระหว่างของเหลวและแก๊ส [18]	17
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของการแบ่งแยกสถานะระหว่างของเหลวและแก๊สที่ได้จากการทดลอง [18].....	17
รูปที่ 3.1 ชุดการสกัดแบบชอกท์เลต.....	27
รูปที่ 3.2 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator)	27
รูปที่ 3.3 ชุดการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (1) ถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (2) เครื่องทำความเย็น (3) บั๊มแรงดันสูง (4) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (5) อุปกรณ์ให้ความร้อนเบื้องต้น (preheater) (6) แผงควบคุม (7) เครื่องสกัด (8) ขวดเก็บตัวอย่าง.....	28
รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N.....	30
รูปที่ 4.1 ก.) กากกาแฟก่อนสกัด และ ข.) กากกาแฟหลังสกัด	33
รูปที่ 4.2 ก.) กาแฟคั่วบดก่อนสกัด และ ข.) กาแฟคั่วบดหลังสกัด	33
รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ความดัน 200 และ 300 บาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	36
รูปที่ 4.4 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ความดัน 200 และ 300 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	36
รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ความดัน 200 และ 300 บาร์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	37

รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดัน 200 บาร์ 38

รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดัน 300 บาร์ 38

รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดัน 300 บาร์ 39

รูปที่ 4.9 โคโรมาโทแกรมจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ของน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 42

รูปที่ 4.10 โคโรมาโทแกรมจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ของน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบดที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 43



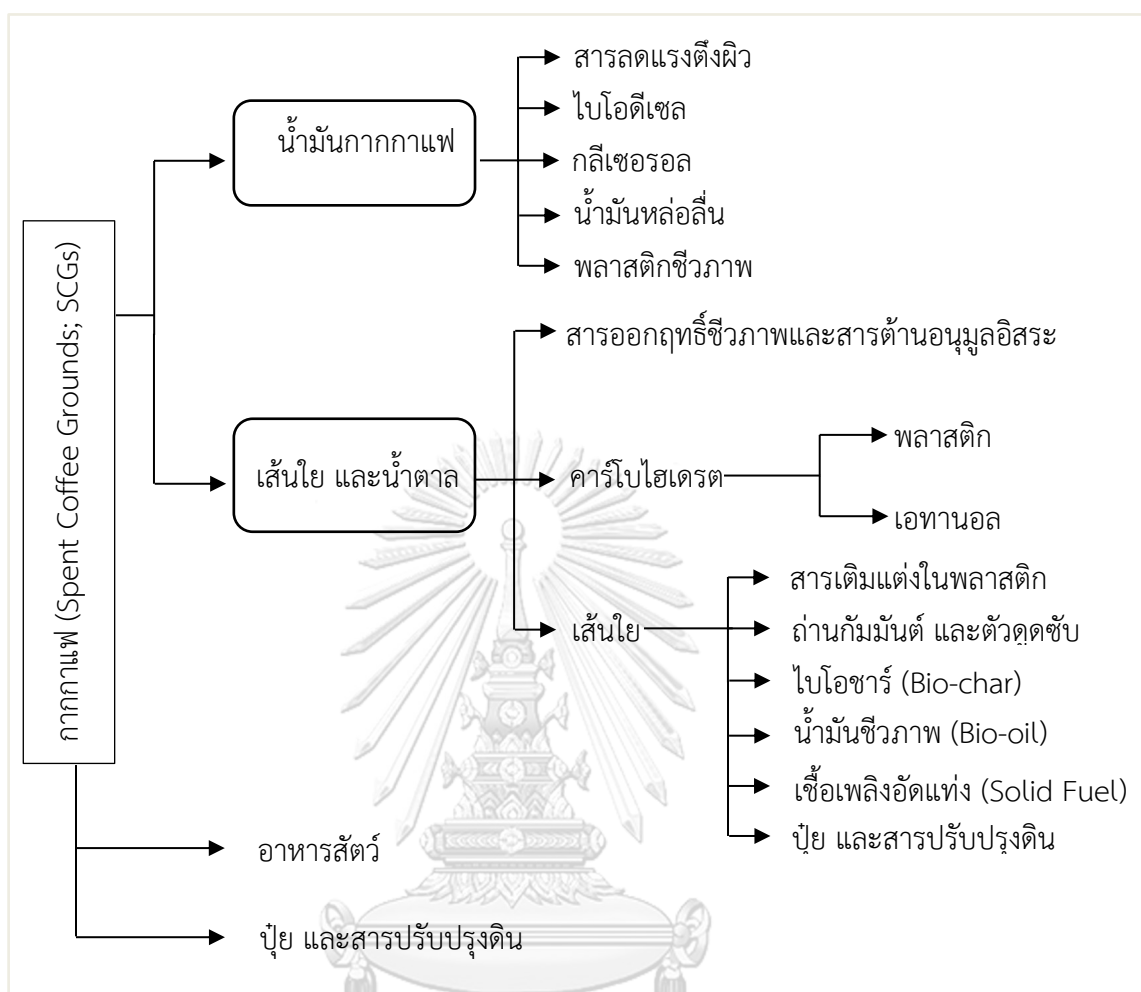
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

กาแฟเป็นหนึ่งในเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก รวมไปถึงประเทศไทย ปัจจุบันธุรกิจกาแฟในประเทศไทยได้เติบโตอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2561 ธุรกิจกาแฟมีมูลค่าตลาดสูงกว่า 17,000 ล้านบาท หรือคิดเป็นอัตราการเติบโตปีละ 15–20% และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต [1] ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในประเทศไทยตั้งแต่ ปี 2559–2563 มีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.42 ต่อปี แบ่งตามสายพันธุ์ได้เป็นโรบัสตาและอะราบิกาเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.36 และ 6.08 ต่อปี ตามลำดับ [2] ในประเทศไทยพบการปลูกทั้งสองสายพันธุ์ โดยสายพันธุ์โรบัสตานิยมปลูกทางภาคใต้ และสายพันธุ์อะราบิกานิยมปลูกทางภาคเหนือ เนื่องจากมีภูมิอากาศที่เหมาะสมแตกต่างกัน

กากกาแฟ (Spent Coffee Grounds; SCGs) เป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำกาแฟจากอัตราการเติบโตของธุรกิจกาแฟอย่างต่อเนื่องส่งผลให้มีกากกาแฟเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก กากกาแฟจัดเป็นสารอินทรีย์เหลือทิ้งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก หากทิ้งลงแหล่งน้ำจะส่งผลให้ค่า BOD ในน้ำมีปริมาณสูงขึ้น และหากมีการจัดการกากกาแฟที่ไม่ดี อาจกลายเป็นแหล่งสะสมของเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ ปัจจุบันมีการรณรงค์การลดปริมาณขยะด้วยแนวคิด 3R โดยเริ่มต้นที่การใช้ให้น้อยลง (Reduce) การนำวัสดุ ผลิตภัณฑ์ที่ยังสามารถใช้งานได้กลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำวัสดุ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานแล้วมาแปรรูป เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Recycle) ซึ่งกากกาแฟถือได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีประโยชน์มากมายสามารถนำมาแปรรูปใหม่เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกหลากหลาย ดังรูปที่ 1.1 นอกจากนี้จะช่วยเรื่องสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากกาแฟ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกากกาแฟอีกด้วย



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของกากกาแฟ และการนำไปใช้ประโยชน์ [3]

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เป็นเทคโนโลยีทางเลือกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (food grade) เนื่องจากที่ภาวะเหนือวิกฤตคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสถานะของไหลทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวทำละลาย มีความหนาแน่นใกล้เคียงของเหลว มีความหนืดต่ำ แต่มีสภาพแพร่ (diffusivity) สูง และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแยกออกจากสารสกัดด้วยการเปลี่ยนสถานะจากของไหลภาวะเหนือวิกฤตเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้องและสามารถนำกลับไปใช้สกัดใหม่ได้อีก ส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง และปลอดภัยต่อผู้บริโภคอีกด้วย

งานวิจัยนี้สนใจที่จะสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 200–300 บาร์ อุณหภูมิ 40–60 องศาเซลเซียส วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันจากกาแฟคั่วบดกับกากกาแฟคั่วบดด้วยเครื่อง Gas chromatograph (GC) และ Gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS) และวิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่นโดยวิธี SH-SPME และ GC-FID น้ำมันที่สกัดได้สามารถนำไปใช้อุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมสปาและสுகันธบำบัด (aromatherapy) เนื่องจากไม่มีการปนเปื้อนของตัวทำละลายทำให้มีมูลค่าสูง

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. หาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต
2. เปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำมันที่สกัดได้จากกาแฟคั่วบดกับกากกาแฟคั่วบด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

สกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ที่ช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส และความดัน 200-300 บาร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบด และกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. สืบค้นข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งภายในและภายนอกประเทศ
2. วางแผนและออกแบบการทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์
3. สกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยใส่กาแฟคั่วบด 20 กรัม ในเครื่องสกัดแบบกึ่งต่อเนื่อง ทำการทดลองที่อุณหภูมิช่วง 40–60 องศาเซลเซียส ความดันช่วง 200–300 บาร์ และอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 10 กรัมต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
4. สกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยใส่กากกาแฟคั่วบด 20 กรัม ในเครื่องสกัดแบบกึ่งต่อเนื่อง ทำการทดลองที่อุณหภูมิช่วง 40–60 องศาเซลเซียส ความดันช่วง 200–300 บาร์ และอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 10 กรัมต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

5. วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันด้วยเครื่อง Gas chromatograph และ Gas chromatograph-mass spectrometer
6. วิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่นโดยวิธี Head Space-Solid Phase Microextraction (HS-SPME) และ Gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID)
7. วิเคราะห์ สรุปลผล และเขียนวิทยานิพนธ์

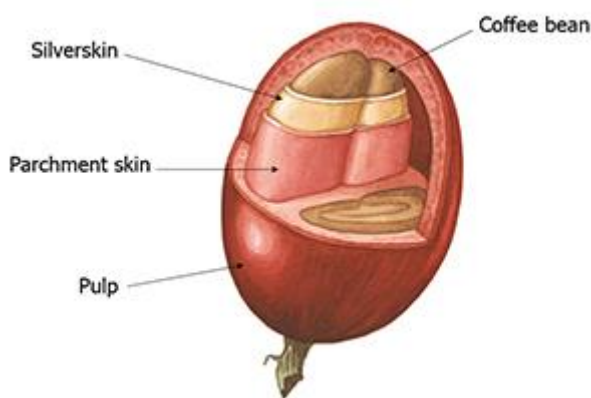


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กาแฟ (Coffee)

กาแฟ (Coffee) เป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างมากเช่นเดียวกับชา เนื่องจากกาแฟมีรสชาติและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ มีสารคาเฟอีน (caffeine) ที่ช่วยกระตุ้นประสาททำให้สมองปลอดโปร่ง และทำให้ร่างกายรู้สึกกระปรี้กระเปร่า ตื่นตัว ดังนั้นกาแฟจึงเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมในกลุ่มคนทำงานและคนที่ชื่นชอบในรสชาติและกลิ่นของกาแฟ กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ทำมาจากเมล็ดกาแฟคั่ว โดยเมล็ดกาแฟได้มาจากผลสุกของต้นกาแฟ (coffee cherry fruit) ซึ่งภายในผลของกาแฟประกอบด้วย 1. เนื้อ (pulp) ซึ่งมีน้ำตาลเหมือนผลไม้ทั่วไป 2. กะลา (parchment skin) ทำหน้าที่หุ้มเมล็ด 3. เยื่อหุ้มเมล็ด (silver skin) และ 4. เมล็ด (coffee bean) ซึ่งอยู่ด้านในสุด แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของผลกาแฟ [4]

เมล็ดกาแฟคั่วต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนที่สำคัญส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวผลของกาแฟจนถึงขั้นตอนของกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟ โดยกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี

1. การผลิตด้วยวิธีแห้ง หรือวิธีแบบธรรมชาติ (dry process หรือ natural process) เป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย โดยจะนำผลกาแฟไปตากแดดจนกระทั่งผลกาแฟมีความชื้นเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 12 จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนของการกะเทาะเปลือก

2. การผลิตด้วยวิธีเปียก (wet process) เริ่มจากการเก็บผลกาแฟที่สุกมาปอกเปลือกด้านนอกออกทันที เพื่อไม่ให้ผลกาแฟเกิดการเน่าเสียจนทำให้เมล็ดกาแฟเสื่อมคุณภาพ หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการหมักเพื่อกำจัดเมือกที่ติดกับเมล็ดออก โดยกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟทั้ง 2 วิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยวิธีแห้งและวิธีเปียก [5]

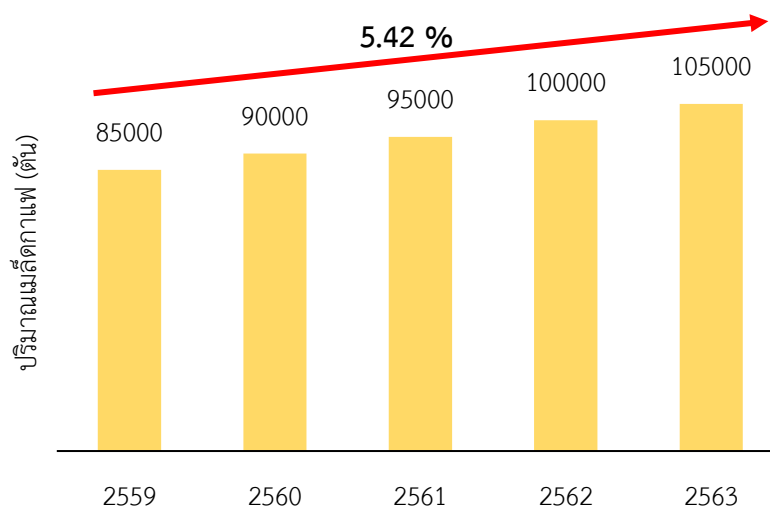
วิธีการผลิต	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นวิธีที่ง่าย และต้นทุนต่ำ ● ผลกาแฟไม่จำเป็นต้องสุกเท่ากัน ● เหมาะกับพื้นที่ที่มีน้ำจำกัด 	<ul style="list-style-type: none"> ● เมล็ดกาแฟที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าวิธีเปียก ● ใช้เวลาในการตากนาน ● ใช้พื้นที่ในการตากมาก
แบบเปียก	<ul style="list-style-type: none"> ● ใช้พื้นที่และเวลาในการตากน้อยกว่าแบบวิธีแห้ง ● เมล็ดกาแฟมีคุณภาพดีกว่าแบบวิธีแห้ง 	<ul style="list-style-type: none"> ● ใช้ต้นทุนในการเก็บเกี่ยวสูง เนื่องจากผลกาแฟต้องสุกเท่ากัน ● ใช้น้ำในปริมาณมาก

เมล็ดกาแฟต้องเข้าสู่กระบวนการคั่ว (coffee roast) เพื่อให้กาแฟมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยในขั้นตอนนี้จะนำเอาเมล็ดกาแฟมาผ่านความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิ 120 – 300 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 15 นาที ปกติสามารถแบ่งระดับการคั่วออกเป็น 3 ระดับ คือ การคั่วอ่อน (light roast) คั่วกลาง (medium roast) และคั่วเข้ม (heavy roast) ซึ่งอุณหภูมิในการคั่วและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิแต่ละระดับจะแตกต่างกัน โดยระดับการคั่วจะส่งผลต่อคุณภาพและรสชาติของกาแฟ ทำให้กาแฟมีรสชาติแตกต่างกันออกไป แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับการคั่วของเมล็ดกาแฟ [6]

ระดับการคั่ว	คุณลักษณะ
คั่วอ่อน	เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลคล้ายกับสีของอบเชย มีความเป็นกรดอ่อนๆ และยังเกิดกลิ่นรสยังไม่สมบูรณ์
คั่วกลาง	เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาล มีความเป็นกรด เริ่มมีน้ำมันเคลือบรอบเมล็ดกาแฟ
คั่วเข้ม	เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลดำ มีน้ำมันเคลือบรอบเมล็ดกาแฟอย่างชัดเจน และกลิ่นกาแฟเริ่มหายไป เปลี่ยนเป็นกลิ่นของการคั่วแทน

จากความนิยมในการดื่มกาแฟจากที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ซึ่งในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี 2554-2558) ตลาดกาแฟในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างมาก ทำให้ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในปี 2558 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.50 ต่อปี และมีการคาดการณ์สำหรับความต้องการใช้เมล็ดกาแฟในประเทศไทยปี 2559 – 2563 มีอัตราเพิ่มขึ้น 5.42 ต่อปี แสดงดังรูปที่ 2.2 [3]



รูปที่ 2.2 ปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟภายในประเทศไทย ปี 2559 - 2563

กาแฟที่นิยมปลูกเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์มี 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์อะราบิกา (*Coffea arabica*) และสายพันธุ์โรบัสตา (*Coffea canephora var. robusta*) สายพันธุ์อะราบิกานิยมเพาะปลูกมากในทางภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และตาก ส่วนสายพันธุ์โรบัสตานิยมเพาะปลูกทางภาคใต้ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ และนครศรีธรรมราช ผลผลิตกาแฟในประเทศไทยส่วนมากเป็นกาแฟสายพันธุ์โรบัสตาประมาณร้อยละ 70

2.1.1 ความแตกต่างระหว่างกาแฟสายพันธุ์อะราบิกาและโรบัสตา

กาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์มีความแตกต่างกันหลักๆในด้านของลักษณะของเมล็ดกาแฟ การเพาะปลูก กลิ่นและรสชาติ แสดงในตารางที่ 2.3

1. ลักษณะของเมล็ดกาแฟ

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าลักษณะของเมล็ดกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อะราบิกามีรูปร่างเป็นทรงรี เรียวยาว มีแกนของเมล็ดขดเป็นคล้ายรูปตัว S ส่วนลักษณะของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์โรบัสตามีรูปร่างเป็นทรงกลม อวบอ้วน มีแกนของเมล็ดเป็นเส้นตรง

2. พื้นที่ในการเพาะปลูก





กาแฟสายพันธุ์อะราบิกาเป็นกาแฟที่ต้องปลูกในพื้นที่สูง อยู่เหนือจากระดับน้ำทะเลประมาณ 800 – 1000 เมตร ขึ้นไป เนื่องจากกาแฟสายพันธุ์อะราบิกาชอบอากาศเย็น มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 15 – 24 องศาเซลเซียส ส่วนกาแฟสายพันธุ์โรบัสตาชอบอากาศร้อนชื้น มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24 – 36 องศาเซลเซียส ปลูกในพื้นที่ต่ำ ซึ่งอยู่เหนือจากระดับน้ำทะเลเพียง 500 – 600 เมตร

3. กลิ่นและรสชาติ

กาแฟสายพันธุ์อะราบิกามีกลิ่นหอมคล้ายดอกไม้ (fragrant) ผลไม้จำพวกส้ม (citrus) และผลแบล็คเคอแรนท์ (black current) ในด้านของรสชาติจะมีรสชาติที่คล้ายไวน์ (winey) น้ำนม (milky) และมีรสเปรี้ยว เนื่องจากกาแฟสายพันธุ์อะราบิกานั้นมีองค์ประกอบของคาเฟอีนน้อย มีปริมาณน้ำตาลและกรดอินทรีย์ที่สูงกว่ากาแฟสายพันธุ์โรบัสตา แสดงดังตารางที่ 2.3 ส่วนกาแฟสาย

พันธุ์โรบัสตาจะมีกลิ่นคล้ายของเน่าเสีย (rotten) กลิ่นเหม็นอับหรือกลิ่นหืน (rancid) ให้รสชาติคล้ายกับอาหารไหม้ [5]

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อะราบิกาและโรบัสตา [7]

	สายพันธุ์อะราบิกา (Arabica)	สายพันธุ์โรบัสตา (Robusta)
ลักษณะของเมล็ด		
พื้นที่เพาะปลูก	 1000 เมตร ขึ้นไป เหนือระดับน้ำทะเล	 500 – 600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล
คาเฟอีน (Caffeine)	1.5%	3%
น้ำตาล (Sugar)	8%	4%
น้ำมัน (Essential oil)	18%	8%
กรด (Acidity)	สูง	ปานกลาง
บอดี้ (Body)	เบา	หนัก

จากความแตกต่างในเรื่องของกลิ่นและรสชาติของทั้ง 2 สายพันธุ์ ส่งผลให้สายพันธุ์อะราบิกานิยมนำไปทำกาแฟคั่วบดเพื่อชงเป็นกาแฟสด ส่วนกาแฟสายพันธุ์โรบัสตามีรสชาติขมและกลิ่นที่ไม่หอม ทำให้นิยมนำไปทำเป็นกาแฟสำเร็จรูปและใช้กลิ่นกาแฟของสายพันธุ์อะราบิกามาแต่งกลิ่นเพื่อให้มีกลิ่นที่หอมมากขึ้น

2.1.2 องค์ประกอบในเมล็ดกาแฟ

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต น้ำมัน โปรตีน คาเฟอีน และกรดอินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 2.4 โดยองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่วขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ของกาแฟ กระบวนการแปรรูป และการคั่ว

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง) [8]

Classes and Components	Water Soluble (%)	Water Insoluble (%)
1. Carbohydrates (53%)		
Reducing sugars	1.0-2.0	-
Caramelized sugars	10.0-17.0	7.0-8.0
Hemi-celluloses(hydrolysable)	1.0	14.0
Fiber (not hydrolysable)	-	22.0
2. Oil	-	15.0
3. Proteins (N x 6.25)	1.0-2.0	11.0
4. Ash as oxide	3.0	1.0
5. Non-volatile acids		-
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	65.0 to 73.0

2.2 กากกาแฟ (Spent coffee grounds)

กากกาแฟ คือ เศษที่เหลือทิ้งจากระบวนการสกัดน้ำกาแฟ จากปริมาณการบริโภคกาแฟในประเทศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีกากกาแฟเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก 290,000 ตันต่อปี ในปี 2556 [3] หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ ในส่วนใหญ่อุตสาหกรรมกาแฟสำเร็จรูปได้มีการจัดการกากกาแฟโดยนำกากกาแฟไปเผา เพื่อสร้างเป็นพลังงานความร้อนใช้ในกระบวนการผลิต แต่ในความเป็นจริงแล้วกากกาแฟสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้ เนื่องจากกากกาแฟยังคงมีสารที่สำคัญเป็นส่วนประกอบอยู่ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ กรดไขมัน โปรตีน คาเฟอีน

สารประกอบฟีนอล และแร่ธาตุต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.5 โดยสารสำคัญเหล่านี้อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกาแฟ แหล่งเพาะปลูก ขั้นตอนการผลิต และวิธีการสกัด [9]

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของกากกาแฟ [10, 11]

สารประกอบ	%w/w โดยน้ำหนัก แห้ง	แร่ธาตุ	mg/kg
โพลีแซ็กคาไรด์	45.0 – 47.0	โพแทสเซียม (K)	3549.0
เซลลูโลส	8.6 – 9.0	ฟอสฟอรัส (P)	1475.1
เฮมิเซลลูโลส	37.0 – 38.0	แมกนีเซียม (Mg)	1293.3
แมนโนส	23.0 – 26.0	แคลเซียม (Ca)	777.4
กาแล็กโทส	15.0	อะลูมิเนียม (Al)	279.3
อะราบิโนส	1.4 – 1.9	เหล็ก (Fe)	118.7
กรดไขมัน	9.0 – 16.0	แมงกานีส (Mn)	40.1
โปรตีน	13.0 – 17.0	คอปเปอร์ (Cu)	32.3
สารประกอบฟีนอล	1.7 – 3.5	สังกะสี (Zn)	15.1
กรดคลอโรจีนิก	0.1 – 0.8		
คาเฟอีน	0.5 – 1.2		

โพลีแซ็กคาไรด์ เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต ภายในโมเลกุลประกอบด้วยมอนอแซ็กคาไรด์ที่เป็นชนิดเดียวกัน เรียกว่า โฮโมโพลีแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) หรือต่างชนิดกัน เรียกว่า เฮเทอโพลีแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ซึ่งในกากกาแฟประกอบด้วยโพลีแซ็กคาไรด์ทั้ง 2 ประเภท ประมาณร้อยละ 50 ต่อน้ำหนักแห้งของกากกาแฟ

โปรตีน ในกากกาแฟจะมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 13 – 17 ต่อน้ำหนักแห้งของกากกาแฟ ซึ่งคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ทั้งนี้ค่าที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่มาจากส่วนของคาเฟอีน ไตรโกเนลลีน (trigonelline) เอมีนอิสระ (free amin) และกรดอะมิโน (amino acids) [10]

ไขมัน ปริมาณน้ำมันในกากกาแฟจะมีปริมาณร้อยละ 9 – 16 ของน้ำหนักกาแฟแห้ง จากงานของ Kondamudi และคณะ ทำการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น

เฮกเซน อีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน โดยวิธีการรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้กากกาแฟ 100 กรัม ต่อตัวทำละลาย 300 มิลลิลิตร พบว่าร้อยละของน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน อีเทอร์ ไคคลอโรมีเทน เท่ากับ 13.4 14.6 และ 15.2 ตามลำดับ โดยค่า pH ของน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 6.8 4.7 และ 4.5 ตามลำดับ จากผลค่า pH ทำให้เฮกเซนเป็นที่นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากให้ค่า pH ของน้ำมันที่สกัดได้เป็นกลางเหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป [12]

สารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบได้ในพืช มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงเบนซีนต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น ละลายน้ำได้ [13] และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) จากตารางที่ 2.6 พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงเมล็ดกาแฟคั่วบดกับกากกาแฟนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น (confident interval) ร้อยละ 0.05 ดังนั้นกากกาแฟยังคงอุดมไปด้วยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเช่นเดียวกับผงเมล็ดกาแฟคั่ว [14]

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดตัวอย่างกาแฟและค่า T-test ที่ระดับ 0.05 [14]

	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ย \pm SD (มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง)		T-test
	ผงเมล็ดกาแฟคั่ว	กากกาแฟ	
ชั้นเฮกเซน	124.714 \pm 3.82	203.649 \pm 23.14	t _{Stat} -2.0499
ชั้นเอทิลแอลกอฮอล์	506.078 \pm 11.16	519.517 \pm 20.86	P (T \leq t) 0.1769
ชั้นน้ำ	267.263 \pm 26.98	417.107 \pm 28.33	t _{Critical} 4.3026

คาเฟอีน เป็นสารสำคัญและเป็นเอกลักษณ์ที่ทำให้กาแฟแตกต่างจากเครื่องดื่มชนิดอื่น โดยในกากกาแฟจะมีปริมาณคาเฟอีนเหลืออยู่ประมาณ 0.5 – 1.2 w/w ของน้ำหนักกากกาแฟแห้ง สามารถสกัดได้ด้วยตัวทำละลาย แต่ปัจจุบันมีการเปลี่ยนมาสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตแทนตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากสกัดคาเฟอีนได้ปริมาณที่มากกว่า ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟจึงนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตในกระบวนการผลิตกาแฟที่ปราศจากคาเฟอีน (decaffeinate) [15]

แร่ธาตุในกากกาแฟประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-AES พบว่ากากกาแฟประกอบไปด้วย โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม อะลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ซึ่งพบโพแทสเซียมมากที่สุด 3549.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของกากกาแฟ [10] และมีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.4 – 1.6

2.2.1 การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟ

กากกาแฟเหลือทิ้งมักจะถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยให้กับต้นไม้ แต่การใช้กากกาแฟเป็นปุ๋ยโดยตรงที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพใดๆ อาจส่งผลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟทำให้มีมูลค่ามากขึ้น โดยการสกัดสารสำคัญที่อยู่ในกากกาแฟ หรือปรับสภาพเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพของกากกาแฟก่อนนำไปใช้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ด้านหลักๆ คือ ด้านอาหารและสุขภาพ ด้านพลังงาน และด้านเกษตรสิ่งแวดล้อม

1. ด้านอาหารและสุขภาพ

กากกาแฟสามารถนำไปเป็นส่วนผสมในอาหารแช่แข็งได้ เช่น ขนมปัง (biscuit) โดยนำกากกาแฟผสมในขนมปัง ขนมปังที่ได้ยังคงลักษณะและรสชาติเป็นปกติ ในขณะเดียวกันยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้จากสารต้านอนุมูลอิสระ โยอาอาหาร โปรตีน และกรดอะมิโนที่มีอยู่ในกากกาแฟ [16] นอกจากนี้ในกากกาแฟยังมีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกาแล็กโทแมนแนน (galactomannan) ซึ่งสามารถกระจายตัวในน้ำเย็น ทำให้สารละลายมีความข้นหนืด และเป็นสารที่ไม่อันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารเพิ่มความคงตัว และสารยึดติด ในผลิตภัณฑ์อาหาร ยา และสิ่งทอ [15]

2. ด้านพลังงาน

ในด้านพลังงานกากกาแฟจะถูกนำไปสกัดน้ำมันออกมาเพื่อเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล และนำไปเป็นส่วนผสมในน้ำมันดีเซล B5 หรือ B20 จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะได้กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์เสริมซึ่งสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์ไบโอพลาสติก และกากกาแฟที่เหลือจากการสกัดน้ำมันแล้วสามารถนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Solid Fuel) ได้ ค่าพลังงานอยู่ในช่วง 20 – 37 MJ/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานที่ได้จากปิโตรเลียม (41 – 48 MJ/kg) [12]

3. ด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากกากกาแฟเป็นวัสดุชีวมวล สามารถนำไปผลิตเป็นไบโอชาร์ (biochar) ได้ ซึ่งไบโอชาร์ จะถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปรับปรุงดิน พบว่าดินที่มีการผสมไบโอชาร์จะเพิ่มการเจริญเติบโต เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า นอกจากนี้กากกาแฟยังสามารถทำเป็นวัสดุดูดซับสารต่างๆได้ ซึ่งเรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่าถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

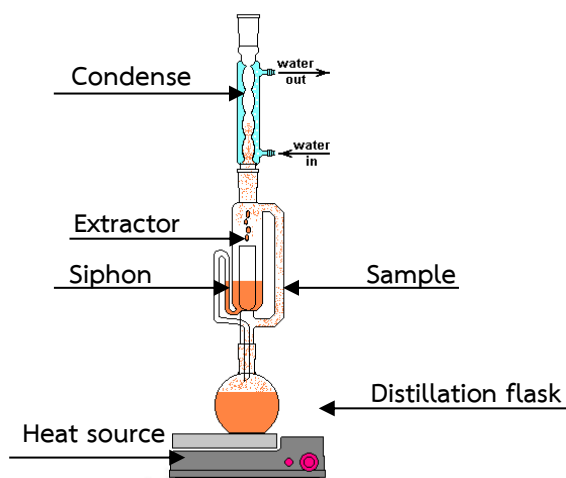
2.3 การสกัดน้ำมันกาแฟ

การสกัดน้ำมันจากพืชสามารถทำได้หลากหลายวิธี ตัวอย่างเช่น การกลั่นโดยใช้ไอน้ำ (Steam Distillation) การสกัดด้วยวิธีการคั้นหรือบีบ (Mechanical Press) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) และการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Fluid Extraction) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป โดยวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเวชสำอาง เนื่องจากมีการปนเปื้อนของตัวทำละลาย (organic solvent) ทำให้การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตกลายเป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากกว่า

2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีการแยกสารออกจากกันวิธีหนึ่ง โดยตัวทำละลายที่ดีต้องสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการจะแยก และสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดได้ง่าย

การสกัดแบบซอกซ์ເລດ (Soxhlet extraction) เป็นการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบต่อเนื่อง โดยให้ความร้อนเพื่อให้ตัวทำละลายระเหยและควบแน่นลงมาสัมผัสกับสารที่ต้องการสกัด เมื่อสารที่สกัดได้สูงถึงระดับกาลักน้ำสารสกัดจะไหลลงมาที่ขวดกักกลม กระบวนการจะวนซ้ำแบบนี้จนกระทั่งสารที่ต้องการสกัดหมด

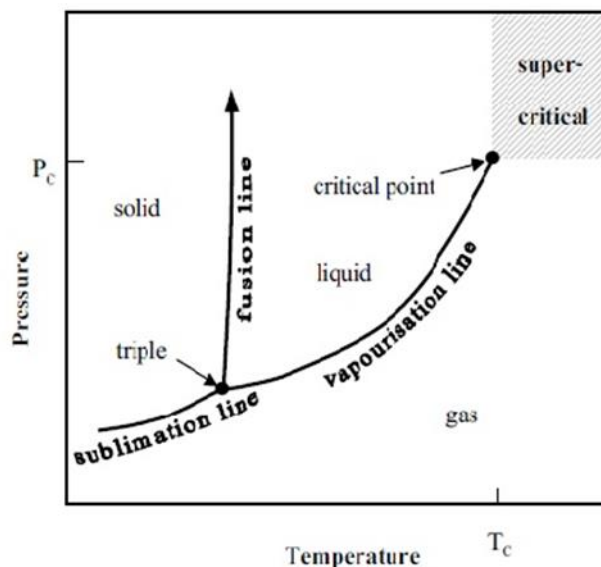


รูปที่ 2.3 เครื่องสกัดแบบซอกซ์เลต [17]

ตัวแปรที่มีผลต่อการสกัด คือ 1) ชนิดของตัวทำละลายโดยเลือกจากหลักการ Like dissolve like ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้ส่วนมากเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ 2) ปริมาตรตัวทำละลายต้องมากเกินพอ เพื่อให้การสกัดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 3) เวลาที่ใช้สกัดต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ได้สารสกัดออกมามากที่สุด และ 4) ขนาดอนุภาคของตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้เป็นของแข็ง จึงจำเป็นต้องทำให้อนุภาคของตัวอย่างมีขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับตัวทำละลาย ส่งผลให้สารที่สกัดได้มีปริมาณสูง

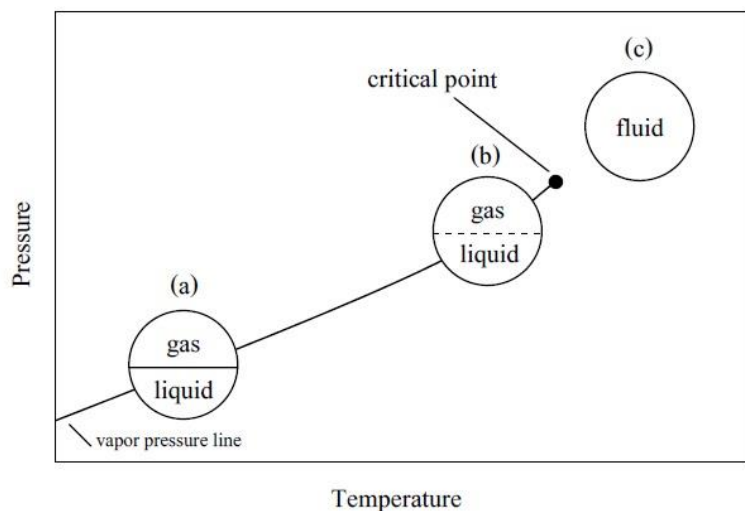
2.3.2 การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต

ของไหลภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical fluid) คือ สารใดๆ ที่มีอุณหภูมิและความดันสูงกว่าจุดวิกฤตของสารนั้นๆ แสดงดังรูปที่ 2.4 ทำให้สารอยู่ในภาวะที่จำแนกไม่ได้ว่าเป็นของเหลวหรือแก๊ส โดยของไหลภาวะเหนือวิกฤตนั้นจะมีความสามารถในการละลายใกล้เคียงกับของเหลวและมีความสามารถในการแพร่ใกล้เคียงกับแก๊ส จากสมบัติที่กล่าวมาส่งผลให้ของไหลภาวะเหนือวิกฤตถูกนำมาใช้แทนตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) อย่างแพร่หลาย โดยส่วนใหญ่สารที่ถูกนำมาใช้เป็นของไหลภาวะเหนือวิกฤต ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ



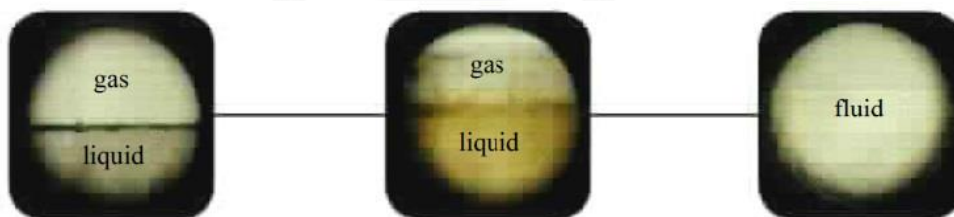
รูปที่ 2.4 แผนภาพอุณหภูมิและความดันที่ภาวะเหนือวิกฤตของสารบริสุทธิ์ [18]

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าสารบริสุทธิ์ใดๆแบ่งออกเป็น 3 สถานะ คือ ของแข็ง (solid) ของเหลว (liquid) และแก๊ส (gas) ซึ่งสารบริสุทธิ์จะมีเส้นการระเหิด (sublimation line) เส้นหลอมเหลว (fusion line) และเส้นการระเหย (vaporization line) เป็นเส้นแบ่งสถานะ ถ้าพิจารณาไปตามเส้นการระเหย หรือ เส้นสมดุลระหว่างของเหลวและแก๊ส เมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ของเหลวจะมีความหนาแน่นลดลงเนื่องจากการขยายตัวจากความร้อน ส่วนแก๊สจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากความดันที่เพิ่มขึ้น จนในที่สุดความหนาแน่นของทั้ง 2 สถานะจะเท่ากัน การแบ่งแยกสถานะระหว่างของเหลวและแก๊สจะสิ้นสุดลงที่จุดวิกฤต (critical point) และเรียกสารในสถานะนี้ว่าของไหล (fluid) แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงของการแบ่งแยกสถานะระหว่างของเหลวและแก๊ส [18]

จากรูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของการแบ่งแยกสถานะระหว่างของเหลวและแก๊ส จะเห็นว่าที่จุด (a) แสดงการแบ่งแยกของสถานะของเหลวและแก๊สอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดันทำให้ความหนาแน่นระหว่าง 2 สถานะลดลง การแบ่งแยกระหว่างของเหลวและแก๊สเริ่มไม่ชัดเจนแสดงที่จุด (b) สุดท้ายเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดันเลยจุดวิกฤตไปแล้วการแบ่งแยกระหว่าง 2 สถานะจะหมดไป สารจะอยู่ในสถานะที่จำแนกไม่ได้ว่าเป็นของเหลวหรือแก๊สแสดงที่จุด (c) โดยรูปที่ได้จากการทดลองจริง แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของการแบ่งแยกสถานะระหว่างของเหลวและแก๊สที่ได้จากการทดลอง

[18]

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตจะมีสมบัติอยู่ระหว่างของเหลวและแก๊ส แสดงดังตารางที่ 2.7 โดยของไหลภาวะเหนือวิกฤตจะมีความหนาแน่น (density) ใกล้เคียงกับของเหลว เมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลายโมเลกุลของสารที่ต้องการละลายจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเกิดอันตรกิริยากัน (interaction) ทำให้พลังงานหรือเอนทาลปีลดลง (enthalpy) เกิดการละลายได้ดีขึ้น

ส่วนสมบัติของการถ่ายโอน (transportation property) ได้แก่ ความหนืด (viscosity) และสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusivity) ใกล้เคียงกับแก๊ส จากสมบัติที่กล่าวมาทำให้ของไหลภาวะเหนือวิกฤตเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแก๊ส ของไหลภาวะเหนือวิกฤต และของเหลว [19]

สถานะ	ความหนาแน่น (g/m ³)	ความหนืด (cP)	สัมประสิทธิ์การแพร่ (cm ² /s)
แก๊ส	$(0.6 - 7) \times 10^{-3}$	0.1 - 0.03	0.1 - 0.4
ของไหลภาวะเหนือวิกฤต	0.2 - 0.1	0.01 - 0.09	$(2 - 7) \times 10^{-4}$
ของเหลว	0.6 - 1.6	0.2 - 3.0	$(0.2 - 2) \times 10^{-5}$

ตารางที่ 2.8 ค่าคงที่วิกฤตของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้เป็นตัวทำละลายของการสกัดสารด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต [20]

ชื่อสาร	อุณหภูมิวิกฤต (K)	ความดันวิกฤต (MPa)	ความหนาแน่นวิกฤต (g/cm ³)
มีเทน	190.6	4.60	0.162
เอทิลีน	282.4	5.03	0.218
คลอโรไตรฟลูออโรมีเทน	302.0	3.92	0.579
คาร์บอนไดออกไซด์	304.2	7.38	0.468
อีเทน	305.4	4.88	0.203
โพรไพลีน	365.0	4.62	0.233
แอมโมเนีย	405.6	11.30	0.235
ไดเอทิลอีเทอร์	467.7	3.64	0.265
เมทานอล	512.6	8.09	0.272
เบนซีน	562.1	4.89	0.302
น้ำ	647.3	22.00	0.322

2.3.2.1 สมบัติของของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่ส่งผลต่อการสกัด

1. สมบัติการถ่ายโอน (Transportation Property)

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตจะมีความหนืดต่ำ และมีสัมประสิทธิ์การแพร่สูง ทำให้กระจายตัวได้ทั่วถึงสามารถแทรกซึม (penetration) เข้าสู่โครงสร้างของของแข็งได้ดี ส่งผลให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในของไหลภาวะเหนือวิกฤตกระจายตัวออกจากบริเวณสกัดไปบริเวณอื่นได้ง่าย

2. สมบัติในการละลายของตัวทำละลาย (Solvent Power Property)

ความสามารถในการละลายของตัวทำละลายเป็นสมบัติเด่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่เหนือกว่าตัวทำละลายทั่วไป เพราะว่าของไหลภาวะเหนือวิกฤตสามารถเลือกและปรับให้มีค่าตามที่ต้องการได้ โดยการปรับอุณหภูมิ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิก็จะเพิ่มการละลายของตัวถูกละลายเช่นกัน แต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความหนาแน่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤตลดลง ซึ่งส่งผลให้โมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤตกับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน ทำให้ผลลัพธ์ของการละลายโดยรวมของตัวถูกละลายมีค่าลดลง แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความดันให้กับของไหลภาวะเหนือวิกฤต เพื่อทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับภาวะเริ่มต้นก่อนที่จะเพิ่มอุณหภูมิ จากที่กล่าวมาข้างต้นความสามารถในการละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤตขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน ดังนั้นการปรับอุณหภูมิและความดันให้อยู่ในภาวะที่เหมาะสมจะทำให้สกัดสารได้ดียิ่งขึ้น

3. สมบัติในการเลือกสกัด (Selectivity Property)

ความสามารถในการเลือกสกัดของของไหลเหนือวิกฤต เป็นสมบัติที่ดีของของไหลภาวะเหนือวิกฤตอีกข้อหนึ่ง ซึ่งการเลือกสกัดจะทำโดยการปรับอุณหภูมิและความดัน เพื่อให้มีความสามารถในการละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารที่ต้องการ โดยให้มีสารที่ไม่ต้องการปนเปื้อนออกมาน้อยที่สุด

2.3.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัด

1. ความดัน

การปรับความดันส่งผลต่อความสามารถในการละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤต เมื่อมีการเพิ่มความดันจะทำให้ความหนาแน่นของตัวทำละลายสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างโมเลกุลจะลดลง ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับตัวทำละลายสูงขึ้น แต่ขณะเดียวกันการเพิ่มความดันก็ส่งผลให้ความดันไอของสารที่ต้องการสกัดลดลงด้วยเช่นกัน

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะส่งผลต่อความหนาแน่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤตลดลง ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความหนาแน่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤตลดลง แต่ในขณะเดียวกันความดันไอจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการถ่ายโอนมวลที่สูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิส่งผลต่อการสกัดทั้งทางบวกหรือทางลบ โดยขึ้นอยู่กับที่ภาวะนั้นความหนาแน่น หรือความดันไอส่งผลต่อการสกัดมากกว่ากัน

3. ตัวทำละลายร่วม

การใช้ตัวทำละลายร่วม เช่น เอทานอล เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากช่วยเพิ่มความหนาแน่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤต และเป็นการเพิ่มความชื้นส่งผลให้สามารถสกัดสารที่มีขี้ได้มากขึ้น

4. ขนาดอนุภาค

ขนาดของอนุภาคส่งผลต่อปริมาณสารที่สกัดได้เช่นกัน เนื่องจากการลดขนาดอนุภาคเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวทำละลาย นอกจากนี้การบดอาจทำให้ผนังเซลล์พืชแตก ทำให้ความต้านทานการถ่ายโอนมวลลดลงส่งผลให้ตัวทำละลายเข้าถึงสารสกัดได้ง่ายขึ้น

5. อัตราการไหลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต

อัตราการไหลส่งผลต่อความต้านทานการถ่ายโอนมวลและระยะเวลาในการสกัด การเพิ่มอัตราการไหลจะส่งผลให้ความต้านทานการถ่ายโอนมวลลดลง และช่วยลดระยะเวลาในการสกัดลง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราการไหลที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดการอุดตันของน้ำแข็งแข็งได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ขาออกลดลงอย่างรวดเร็ว

2.3.2.3 ข้อดีของการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สเฉื่อย ไม่เป็นพิษ ไม่ไวไฟ ไม่มีกลิ่น มีราคาถูก สามารถหาได้ง่าย และคาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิวิกฤตค่อนข้างต่ำ สามารถใช้สกัดสารที่ละลายตัวง่ายเมื่อเจอกับความร้อน นอกจากนี้ที่ภาวะบรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตสามารถเปลี่ยนกลับมาอยู่ในสถานะของแก๊สได้ ทำให้สารที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูง

2.3.3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการที่ต่างกัน

จากตารางที่ 2.9 จะเห็นว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายมีข้อดี คือ ได้ปริมาณสารสกัดที่สูง แต่การสกัดด้วยวิธีนี้จะมีข้อเสียหลัก คือ สารที่สกัดได้ปนเปื้อนสารเคมี ทำให้วิธีการนี้ไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมเครื่องสำอาง จากข้อเสียในส่วนนี้ทำให้การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตมีข้อได้เปรียบกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการที่ต่างกัน [21]

วิธีการสกัด	ข้อดี	ข้อเสีย
การสกัดด้วยตัวทำละลาย	<ul style="list-style-type: none"> ● สารที่สกัดได้มีปริมาณสูง 	<ul style="list-style-type: none"> ● ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในปริมาณที่มาก ● สารสกัดปนเปื้อนสารเคมี ● ใช้เวลาในการสกัดนาน ● ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต
การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	<ul style="list-style-type: none"> ● สารที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูง ● ไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ ● การถ่ายโอนมวลสารสูง 	<ul style="list-style-type: none"> ● สารที่สกัดได้ส่วนมากเป็นสารไม่มีขั้ว ● เครื่องมือมีราคาค่อนข้างสูง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nalan และคณะ [22] ศึกษาการสกัดกรดไขมันจากกากกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยใช้กากกาแฟจากสถานที่ต่างกัน ในขั้นตอนแรกนำกากกาแฟที่ได้มาจากทั้ง 2 สถานที่มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เพื่อไล่ความชื้นออกจากกากกาแฟ หลังจากนั้นนำไปสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ภาวะที่ทำการทดลอง คือ ความดันช่วง 11.59–28.40 เมกะพาสคัล อุณหภูมิช่วง 33.18–66.81 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้สกัดช่วง 19.09–220.90 นาที จากผลการทดลองกรดไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่างที่ 1 และ 2 สูงสุดร้อยละ 11.41 และ 10.62 ตามลำดับ ที่ความดัน 28.40 เมกะพาสคัล อุณหภูมิ 33.18 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 220.90 นาที

Marcelo และคณะ [23] ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันจากการสกัดกากกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย การสกัดด้วยตัวทำละลายใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายปริมาณ 300 มิลลิลิตร กากกาแฟ 30.4 กรัม ใช้เวลาในการสกัด 4 ชั่วโมง ส่วนการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตใช้กากกาแฟ 60 กรัม อัตราการไหล 12 กรัมต่อนาที ความดัน 190 บาร์ และอุณหภูมิช่วง 40–55 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองการสกัดด้วยตัวทำละลายได้กรดลิโนเลอิกร้อยละ 44.7 และกรดปาล์มิติกร้อยละ 37.4 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตสกัดได้กรดลิโนเลอิกร้อยละ 44.5 และกรดปาล์มิติกร้อยละ 37.5 พบว่าการสกัดทั้งสองแบบให้องค์ประกอบของกรดไขมันไปในทิศทางเดียวกัน

Eniko และคณะ [24] ศึกษาการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และการดูดซับกลิ่นหอมของสมุนไพรด้วยซิลิกาแอโรเจล 2 แบบ (ซิลิกาแอโรเจลที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ) โดยในขั้นตอนแรกสมุนไพรถูกนำไปสกัดด้วยเอทานอลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตร่วมกับตัวดูดซับที่ความดัน 100–120 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และบ่มทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตมีประสิทธิภาพสูงกว่า มีจำนวนองค์ประกอบมากกว่า และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบผลของการใช้ซิลิกาแอโรเจลที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำไม่สามารถอธิบายได้ เนื่องจากมีหลายปัจจัยเป็นตัวกำหนดกระบวนการดูดซับ ทำให้การพิจารณาชั่วเพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของแอโรเจลในเมทริกซ์ที่ซับซ้อนได้

Andres และคณะ [25] ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันและกลีเซอรอลของน้ำมันที่ได้จากเมล็ดกาแฟคั่วโดยการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต ภาวะที่ทำการทดลอง คือ ความดันช่วง 15–30 เมกะพาสคัล และอุณหภูมิช่วง 40–60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความดัน 33.1 เมกะพาสคัล และอุณหภูมิ 35.9 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันสูงสุด 8.9 โดยมีองค์ประกอบกรดไขมันหลักคือ กรดปาล์มิติกมีร้อยละ 46.1 กรดลิโนเลอิกร้อยละ 32.9 กรดโอเลอิกร้อยละ 8.0 กรดสเตียริกร้อยละ 3.6 และกรดอะราคิดิกร้อยละ 1.9 ตามลำดับ โดยสารระเหยในน้ำมันกาแฟส่วนใหญ่พบในกลุ่มของฟูแรนและไพราซีน



จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สรุปภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุ	จำนวนตัวอย่าง (กรัม)	ภาวะที่เหมาะสมในการสกัด			ผลได้อัตราของ น้ำมัน	อ้างอิง
		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อัตราการไหล (กรัมต่อนาที)		
เมล็ดกาแฟคั่วบด(Roasted Colombian coffee beans)	200	35.9	331	70	8.9	[25]
กากกาแฟ (Espresso spent coffee grounds)	20	33.18	284	18	11.41/10.62	[22]
กากกาแฟ (Espresso spent coffee grounds)	50	50	300	12	11.02	[23]
กากกาแฟ (Spent coffee grounds)	1500	50	225	110 – 170 (ลิตรต่อนาที)	13.65	[26]

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์

- ชุดสกัดซอกซ์เลต (Soxhlet Extraction Apparatus)
- ชุดสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์สถานะเหนือวิกฤต (Supercritical Carbon dioxide Extraction Apparatus)
- เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator) ยี่ห้อ Heidolph รุ่น Laborota 4003
- เตาหลุมให้ความร้อน (Heating Mantle) จากบริษัท Glassco Laboratory Equipments
- ตู้อบ (Oven) รุ่น 3316cc จากบริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph: GC) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N
- เครื่องชั่งสารความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) จากบริษัท Mettler Toledo
- ไมโครปิเปต ขนาด 100 – 1000 ไมโครลิตร จากบริษัท Glassco Laboratory Equipments
- ไมโครปิเปตทิป (Micropipette Tips) ขนาด 100 – 1000 ไมโครลิตร

3.1.2 สารเคมี

- เมล็ดกาแฟคั่วบด (Coffee Arabica) จาก Starbucks สาขาสามย่านมิตรทาวน์
- กากกาแฟคั่วบด (Spent Coffee Grounds) จาก Starbucks สาขาสามย่านมิตรทาวน์
- เฮกเซน (n-Hexane) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ของบริษัท RCI Labscan
- เฮปเทน (n-heptane) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) ของบริษัท RCI Labscan
- คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, 99.9%) จากบริษัทลินด์ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน
- น้ำกลั่น (Distilled Water)

3.2 รายละเอียดวิธีการทดลอง

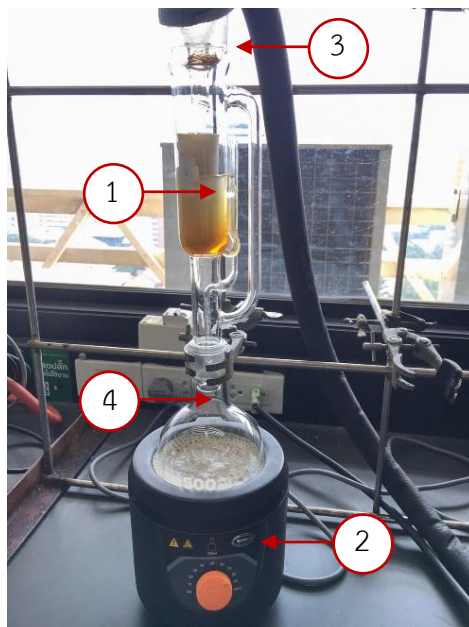
งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต โดยทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส และความดัน 200-300 บาร์ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกาแฟ และเพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของกลีเซอไรด์ น้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดกับกากกาแฟคั่วบด

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

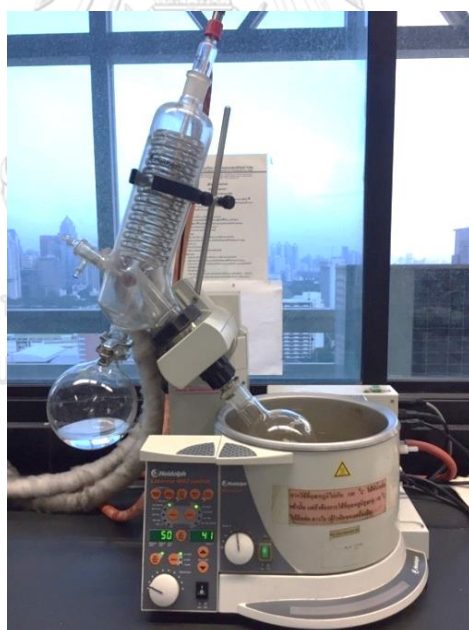
นำกาแฟคั่วบดไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นหาความชื้นของกาแฟคั่วบดโดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาเก็บไว้ที่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นของกาแฟคั่วบด และวัดขนาดของตัวอย่างหลังจากตากแห้งด้วยตะแกรงกรองละเอียด

3.2.2 การสกัดน้ำมันจากกาแฟคั่วบดด้วยชุดสกัดซอกซ์เลต

เตรียมตัวอย่างประมาณ 20 กรัม ใส่ในหลอดกระดาษกรองสำหรับการสกัด (extraction thimble) ตามหมายเลข 1 และใช้เฮกเซนปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย (หมายเลข 4) หลังจากประกอบชุดสกัดซอกซ์เลตดังรูป 3.1 เริ่มเปิดเครื่องทำความร้อน (หมายเลข 2) เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นไปผ่านระบบหล่อเย็น (หมายเลข 3) และควบแน่นลงมาผ่านกับตัวอย่าง ส่วนสารที่สกัดได้จะตกลงมาอยู่ในขวดกักเก็บที่เชื่อมกับตัวทำละลาย (หมายเลข 4) โดยตัวทำละลายจะระเหยกลับขึ้นไปใหม่และควบแน่นลงมาสัมผัสกับตัวอย่างซึ่งจะวนซ้ำแบบนี้จนกว่าตัวอย่างที่อยู่ในหลอดกระดาษกรองสำหรับการสกัดไม่มีสี โดยใช้เวลาในการสกัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator) แสดงดังรูปที่ 3.2



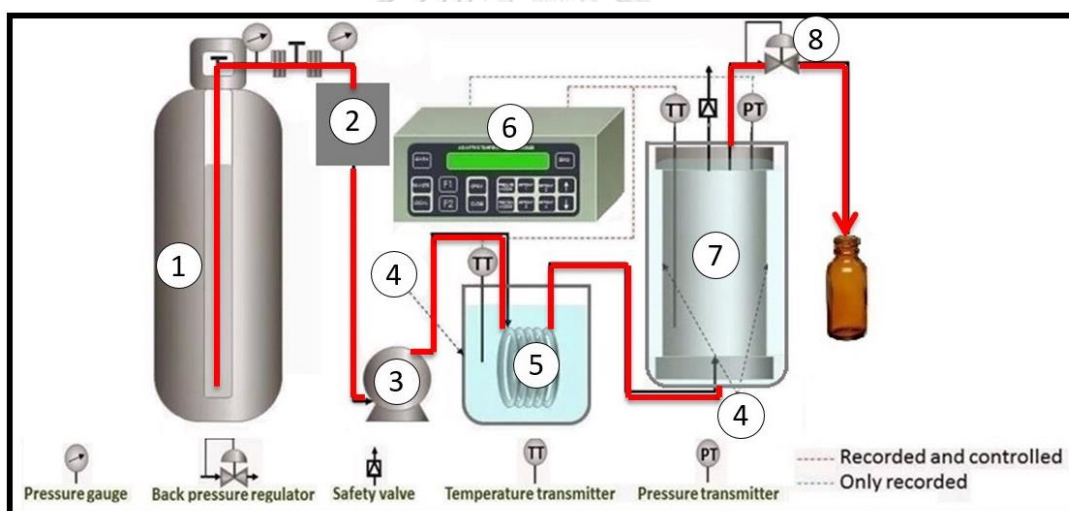
รูปที่ 3.1 ชุดการสกัดแบบซอกท์เลต



รูปที่ 3.2 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator)

3.2.3 การสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Carbon Dioxide Extraction)

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ดำเนินการโดยคาร์บอนไดออกไซด์ (1) ไหลผ่านเข้าเครื่องหล่อเย็น (2) เพื่อเปลี่ยนให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในรูปของเหลว หลังจากนั้นปั๊ม (3) คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่อ่างน้ำร้อน (4, 5) เพื่อควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการสกัด เมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดแล้วจึงทำการสกัดโดยให้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตไหลผ่านเครื่องสกัด (7) จากทางด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของเครื่องสกัด ซึ่งจะทำให้การควบคุมอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยแผงควบคุม (6) สารที่สกัดได้จะไหลออกมาทางด้านบนเข้าสู่ขวดเก็บตัวอย่าง (8) โดยสารที่สกัดได้จะไม่มีการปนเปื้อนตัวทำลาย เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ



รูปที่ 3.3 ชุดการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (1) ถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (2) เครื่องทำความเย็น (3) ปั๊มแรงดันสูง (4) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (5) อุปกรณ์ให้ความร้อนเบื้องต้น (preheater) (6) แผงควบคุม (7) เครื่องสกัด (8) ขวดเก็บตัวอย่าง

ในแต่ละการทดลองจะทำการใส่ตัวอย่างประมาณ 20 กรัม ลงในเครื่องสกัด จากนั้นทำการควบคุมอุณหภูมิ (40 – 60 องศาเซลเซียส) และความดัน (200 – 300 บาร์) ตามที่ต้องการทำการทดลอง โดยการทดลองนี้จะทำการควบคุมอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 10 กรัมต่อนาที และเก็บตัวอย่างทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

การเปลี่ยนกรดไขมันจากน้ำมันให้อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์ (FAMES) โดยใช้สารโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล ตามวิธีของ IUPAC (1979) ขั้นตอนแรกชั่งน้ำมัน 0.040 กรัม ใส่ในขวดก้นกลม (Round bottom flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปต่อเข้ากับชุดรีฟลักซ์ (Reflux) โดยบ่มในอ่างน้ำร้อน (Water bath) ที่อุณหภูมิ 76 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติม 0.5 นอม่ลร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ในเมทานอล (Methanol) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เมื่อเกิดเป็นฟองอากาศให้ใช้เวลาในการสกัด 15 นาที จากนั้นเติมโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล (Boron trifluoride-Methanol, BF_3) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เมื่อเกิดเป็นฟองเดือดให้ใช้เวลาในการสกัด 3 นาที แล้วเติมเฮปเทน (Heptane) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการสกัด 1 นาที หลังจากนั้นนำชุดรีฟลักซ์ออกจากอ่างน้ำร้อน ทิ้งไว้ให้เย็น ขั้นตอนต่อไปนำขวดก้นกลมมาเติมโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) จนเลยคอขวด แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้น ใช้ปิเปตดูดสารละลายเฮปเทนที่มี FAMES อยู่มาใส่ขวดฉีดยาตัวอย่าง (Vial) เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph, GC)

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC)

วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันกาแฟที่สกัดได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ดังรูปที่ 3.4 ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N คอลัมน์ที่ใช้เป็นแบบ capillary column รุ่น DB-FATWAX ความยาวคอลัมน์ 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร ความหนาของชั้นสารที่เคลือบ 0.25 ไมโครเมตร ใช้ดีเทคเตอร์ชนิด Flame ionization detector และใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา (carrier gas) โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1 และภาวะโปรแกรมอุณหภูมิ (temperature program) ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันกาแฟด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

ภาวะที่ใช้	
อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (He)	1.3 มิลลิลิตร/นาที
อุณหภูมิที่ตรวจวัด (FID)	280 องศาเซลเซียส
Split ratio	25:1
ปริมาณสารที่ฉีด	0.1 ไมโครลิตร

ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันกาแฟด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

โปรแกรมอุณหภูมิ	อัตราการเพิ่มความร้อน (องศาเซลเซียส / นาที)	อุณหภูมิของคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ (นาที)
เริ่มต้น		170	2
1	3	200	3

3.3.3 การวิเคราะห์กลิ่นหอมของน้ำมันกาแฟ

ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการกลิ่นหอมของน้ำมันกาแฟ ที่สถาบันวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ และวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เทคนิคสแตติกเฮดสเปซร่วมกับแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (Static Headspace Gas Chromatography-Mass Spectrometry: SHS-GC-MS)



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะของตัวอย่าง

4.1.1 ความชื้นของตัวอย่าง

จากการเตรียมตัวอย่างโดยตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำไปหาความชื้น พบว่ากากกาแฟคั่วบดมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 12.76 ± 0.42 โดยน้ำหนัก ส่วนกาแฟคั่วบดมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 1.09 ± 0.92 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.1 ความชื้นของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบด

ครั้งที่	ร้อยละความชื้น	
	กาแฟคั่วบด	กากกาแฟคั่วบด
1	1.08	12.33
2	1.08	13.40
3	1.10	12.56
เฉลี่ย	1.09	12.76

4.1.2 ขนาดของตัวอย่าง

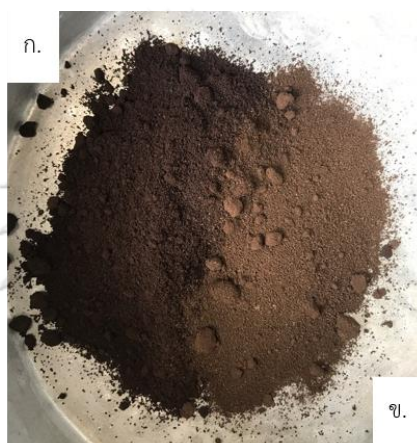
การวัดขนาดตัวอย่างด้วยตะแกรงขนาด 0.5-2.0 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.2 กาแฟคั่วบดส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ระหว่าง 500 ไมโครเมตร ถึง 1.18 มิลลิเมตร มีมากอยู่ถึงร้อยละ 57.12 ส่วนกากกาแฟคั่วบดส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ที่น้อยกว่า 500 ไมโครเมตร มีอยู่ถึงร้อยละ 78.88

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบด

ขนาด	ร้อยละ	
	กาแฟคั่วบด	กากกาแฟคั่วบด
2 มิลลิเมตร	0.44	11.55
1.4 มิลลิเมตร	10.45	2.57
1.18 มิลลิเมตร	13.13	1.09
500 ไมโครเมตร	57.12	5.90
< 500 ไมโครเมตร	18.87	78.88

4.1.3 สีของตัวอย่างก่อนและหลังสกัด

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสีระหว่างกากกาแฟคั่วบดก่อนการสกัดและหลังการสกัด จะเห็นว่าสีของกากกาแฟคั่วบดก่อนสกัดมีสีที่เข้มกว่ากากกาแฟคั่วบดหลังสกัด เนื่องจากกากกาแฟคั่วบดก่อนสกัดมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ เช่น น้ำมัน สี และกลิ่นหอมของกาแฟ เป็นต้น ส่วนกากกาแฟคั่วบดที่ผ่านการสกัดแล้วจะมีกลิ่นและสีที่อ่อนลง เนื่องจากมีองค์ประกอบบางส่วนในกากกาแฟคั่วบดถูกสกัดออกมา ส่วนรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบสีระหว่างกาแฟคั่วบดก่อนสกัดและหลังสกัด พบว่าสีของกาแฟคั่วบดก่อนสกัดมีสีที่เข้มกว่ากาแฟคั่วบดหลังสกัดเช่นเดียวกับกากกาแฟคั่วบด



รูปที่ 4.1 ก.) กากกาแฟก่อนสกัด และ ข.) กากกาแฟหลังสกัด



รูปที่ 4.2 ก.) กาแฟคั่วบดก่อนสกัด และ ข.) กาแฟคั่วบดหลังสกัด

4.2 การสกัดน้ำมันกาแฟด้วยตัวทำละลาย

การสกัดน้ำมันกาแฟด้วยซอกท์เลตโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เป็นการหาปริมาณน้ำมันกาแฟทั้งหมดของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบด จากตารางที่ 4.3 พบว่าในกาแฟคั่วบดมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 20.16 ± 0.92 ส่วนกากกาแฟคั่วบดมีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยร้อยละ 15.67 ± 1.84 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันกาแฟของกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดจากการสกัดด้วยเฮกเซน

ตัวอย่าง	ผลได้ร้อยละของน้ำมันกาแฟ
กาแฟคั่วบด	20.16 ± 0.92
กากกาแฟคั่วบด	15.67 ± 1.84

4.3 การสกัดน้ำมันกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

จากตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (เทียบกับน้ำหนักของกากกาแฟ) ที่ช่วงความดัน 200 – 300 บาร์ และช่วงอุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส กำหนดอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 10 กรัมต่อนาที ใช้เวลาสกัด 5 ชั่วโมง พบว่าการสกัดที่ 300 บาร์ ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟสูงกว่าที่ความดัน 200 บาร์ ในทุกช่วงอุณหภูมิ และการสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สามารถสกัดน้ำมันกาแฟได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 ภาวะการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

การทดลอง	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลได้ของน้ำมัน
1	200	40	10.23
2	300	40	11.93
3	200	50	7.94
4	300	50	11.58
5	200	60	9.02
6	300	60	11.57

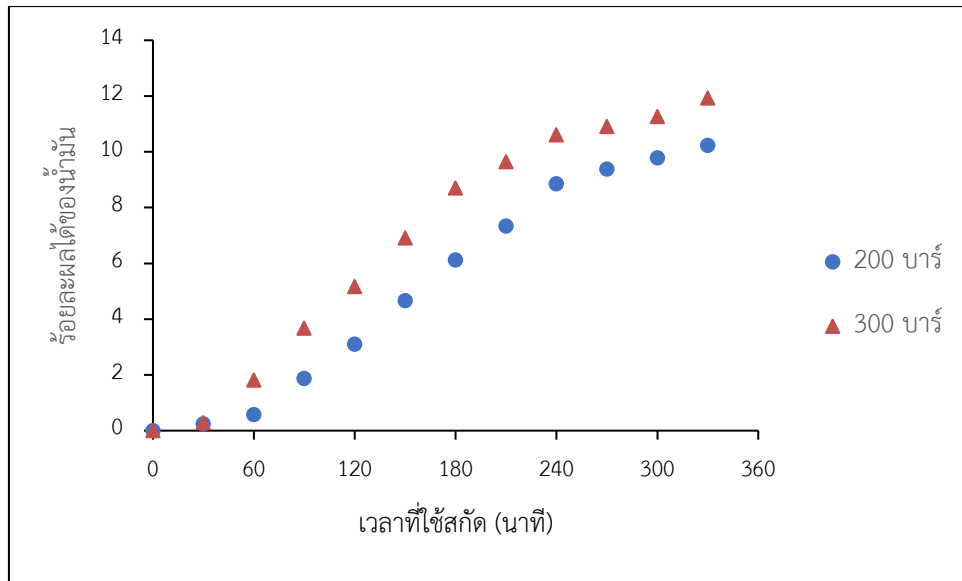
ผลจากการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบด พบว่าที่ 300 บาร์สามารถสกัดได้ปริมาณน้ำมันสูงสุด ที่ทุกช่วงอุณหภูมิ ทำให้เลือกความดันที่ 300 บาร์ มาสกัดกาแฟคั่วบด แต่ยังคงศึกษาผลของช่วงอุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถสกัดน้ำมันกาแฟได้ปริมาณสูงสุด แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ที่ความดัน 300 บาร์

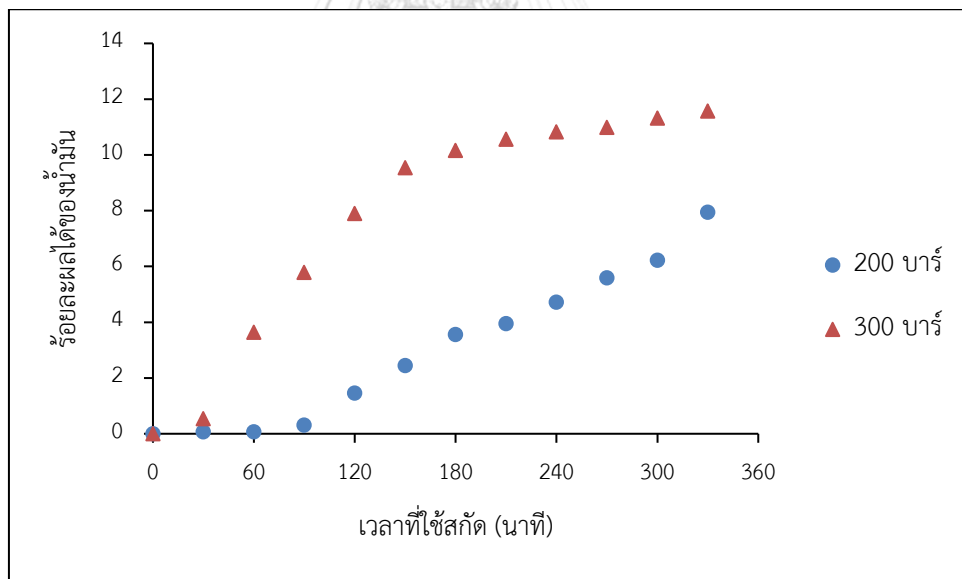
การทดลอง	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละผลได้ของน้ำมัน
1	300	40	11.69
2	300	50	13.45
3	300	60	11.96

4.3.1 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟ

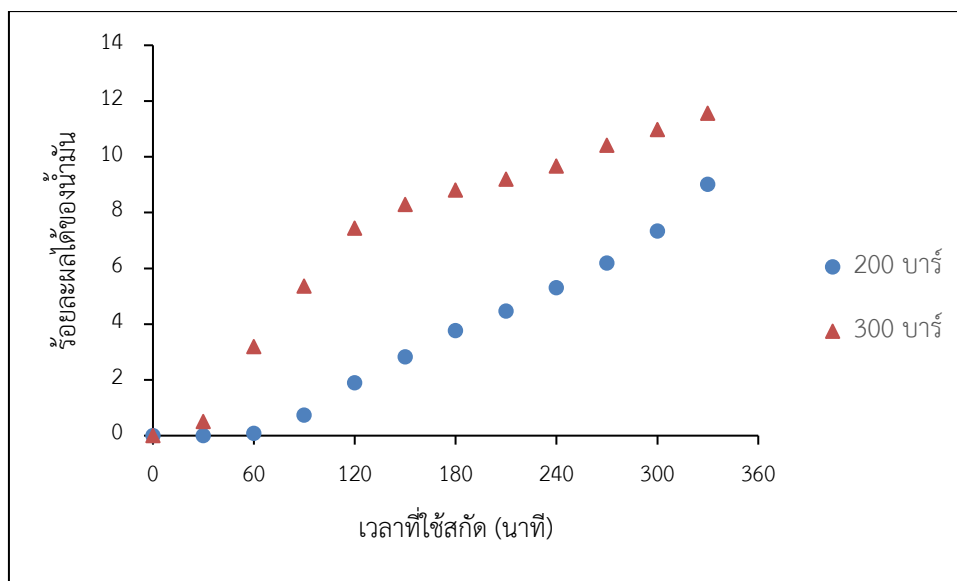
ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบด ที่อุณหภูมิต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.5 พบว่า ที่ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟสูงสุด เนื่องจากการเพิ่มความดันทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตกับตัวถูกละลายมีอันตรกิริยากันมากขึ้น ส่งผลให้สามารถสกัดน้ำมันกาแฟได้มากขึ้น [25] ซึ่งผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟจากการสกัดจากกาแฟคั่วบดก็ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกากกาแฟคั่วบด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าที่ความดันสูงส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้น



รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ความดัน 200 และ 300 บาร์
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



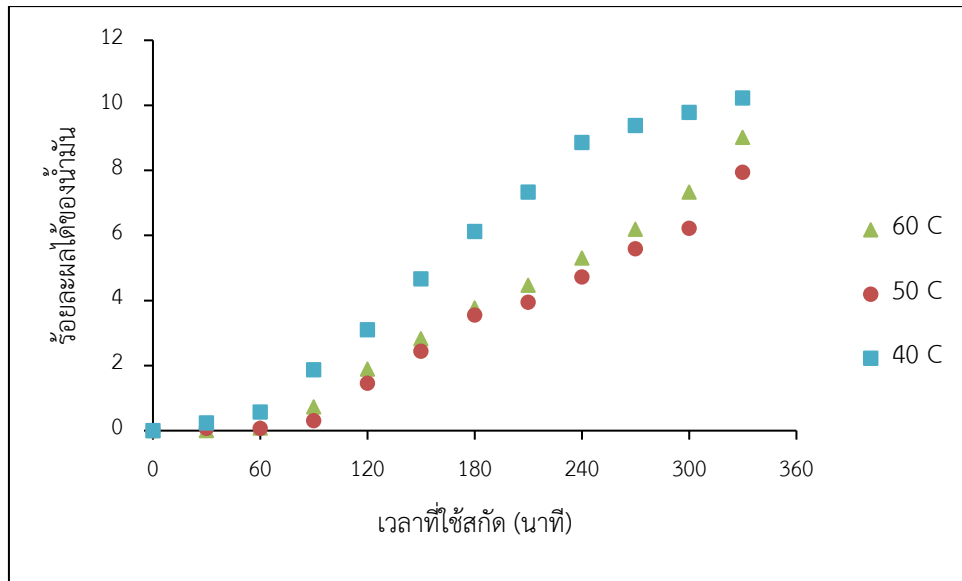
รูปที่ 4.4 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ความดัน 200 และ 300 บาร์
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



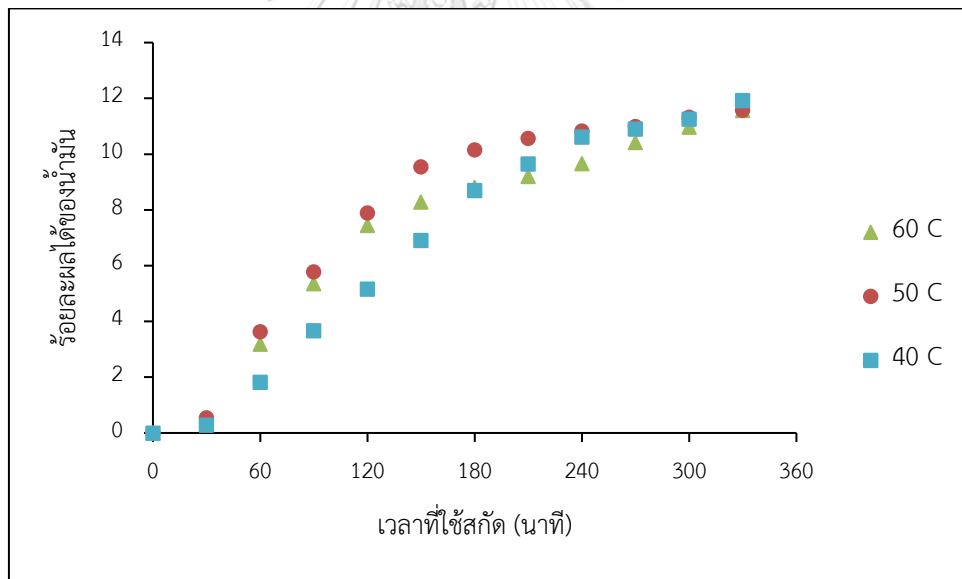
รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ความดัน 200 และ 300 บาร์
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้น้ำมันกาแฟ

ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้น้ำมันกาแฟที่สกัดได้จากกากกาแฟที่ความดันต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.6 – 4.7 พบว่าที่ ความดัน 200 บาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สกัดได้ปริมาณน้ำมันกาแฟสูงสุด การเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำมันกาแฟที่สกัดได้มีปริมาณลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง [27] การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการละลาย แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการลดความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ลงด้วย ที่ความดัน 300 บาร์ พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณสูงสุดเช่นเดียวกับที่ 200 บาร์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นส่งผลให้สกัดน้ำมันได้ปริมาณลดลงเช่นกัน แต่ลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากพอต่อการสกัด ซึ่งในการทดลองนี้ผลของอุณหภูมิมิอิทธิพลต่อการสกัดน้อยกว่าความดัน



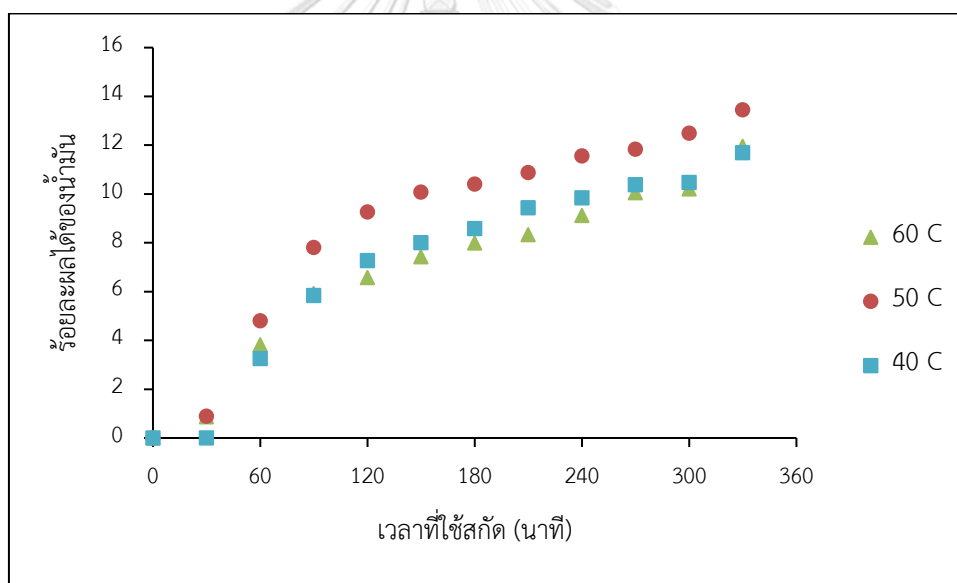
รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดัน 200 บาร์



รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดัน 300 บาร์

ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลได้น้ำมันสูงที่สุด เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลต่อความสามารถในการละลาย ทำให้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สกัดได้ปริมาณน้ำมันมากกว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่ในขณะที่เดียวกันการ

เพิ่มอุณหภูมิที่มากขึ้นไป จะส่งผลให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเช่นกัน เนื่องจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์กับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน เกิดอันตรกิริยาต่อกันได้น้อย [27] ส่งผลให้การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกับการสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นจากการทดลอง พบว่าผลของอุณหภูมิต่อการสกัดจะให้ทั้งผลดีและผลเสีย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในของวัตถุดิบที่นำมาสกัดเช่นกัน เนื่องจากว่ากากกาแฟคั่วบดได้ผ่านขั้นตอนการสกัดน้ำกาแฟมาแล้ว ทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งเห็นได้จากขนาดอนุภาคที่เล็กลงแสดงในตารางที่ 4.2 โดยปกติการสกัดน้ำกาแฟด้วยการชงแบบเอสเพรสโซจะใช้เวลาอยู่ในช่วง 8 – 10 บาร์ และควบคุมอุณหภูมิที่ 92 องศาเซลเซียส [28] ดังนั้นจึงทำให้การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบด



รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้น้ำมันของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดัน 300 บาร์

จากผลของความดันและอุณหภูมิสามารถสรุปได้ว่าภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต คือ ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณน้ำมันกาแฟร้อยละ 11.93 โดยน้ำหนัก ส่วนการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคั่วบดได้ปริมาณน้ำมันสูงสุดร้อยละ 13.45 โดยน้ำหนัก ที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยซอกซ์เลตโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย พบว่ากรดไขมันของน้ำมันกาแฟที่พบหลัก ๆ คือ กรดลิโนเลอิกร้อยละ 42.28 และพาล์มมิติกร้อยละ 35.34 ส่วนกรดไขมันที่พบรองลงมา คือ กรดโอเลอิกร้อยละ 9.31 กรดสเตียริกร้อยละ 7.32 และกรดอะราคิดิกร้อยละ 5.74 ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ โดยมีค่าร้อยละแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบไขมันของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยซอกซ์เลต

อ้างอิง	ตัวทำละลาย	ร้อยละของกรดไขมัน				
		พาล์มมิติก	สเตียริก	โอเลอิก	ลิโนเลอิก	อะราคิดิก
งานวิจัยนี้	เฮกเซน	35.34	7.32	9.31	42.28	5.74
[23]	เฮกเซน	37.37	7.07	8.31	46.09	1.16
[29]	เฮกเซน	46.22	6.87	8.63	35.75	2.53

จากตารางที่ 4.7 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดจากกากกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดันและอุณหภูมิต่างกัน พบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟหลัก ๆ คือ กรดลิโนเลอิก และกรดพาล์มมิติก ส่วนกรดไขมันที่พบรองลงมา คือ กรดโอเลอิก กรดสเตียริก และกรดอะราคิดิก โดยแต่ละภาวะมีค่าร้อยละแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดจากกากกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของกรดไขมัน				
		พาล์มมิติก	สเตียริก	โอเลอิก	ลิโนเลอิก	อะราคิดิก
	40	35.64	6.46	8.64	43.14	6.12
200	50	31.96	8.04	9.38	40.35	10.26
	60	37.77	7.03	9.27	43.71	2.22
300	40	34.91	6.58	8.65	43.54	6.32
	50	36.52	6.46	8.53	41.87	6.63
	60	35.73	6.44	8.19	42.58	7.06

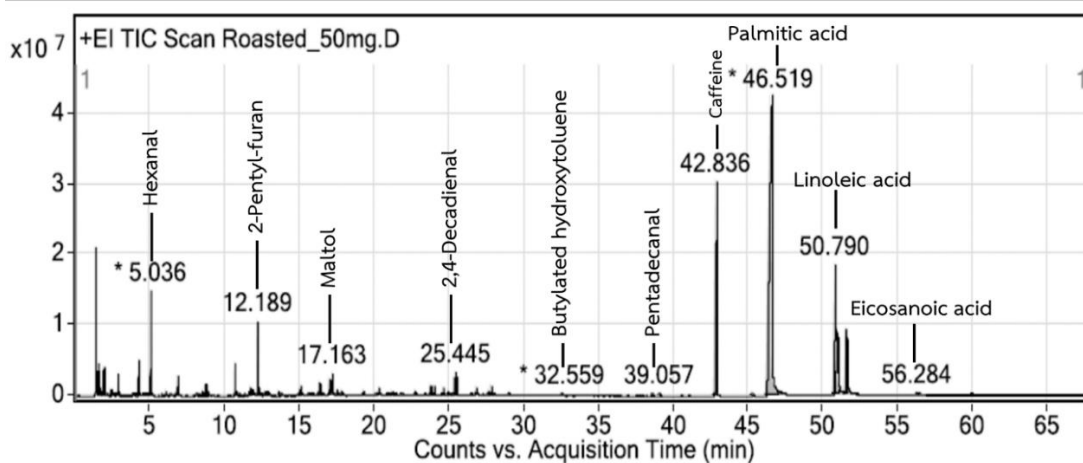
จากตารางที่ 4.8 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิต่างกัน ความดันคงที่ 300 บาร์ พบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟหลัก ๆ คือ กรดลิโนเลอิก และกรดปาล์มมิติก ส่วนกรดไขมันที่พบรองลงมา คือ กรดโอเลอิก กรดสเตียริก และกรดอะราคิดิกเช่นเดียวกับน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ โดยมีค่าร้อยละแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบของกรดไขมันที่สกัดจากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ร้อยละของกรดไขมัน				
		ปาล์ม มิติก	สเตียริก	โอเลอิก	ลิโนเลอิก	อะราคิดิก
300	40	34.92	6.08	11.96	43.64	3.41
	50	32.68	5.35	12.09	46.55	3.33
	60	37.03	5.62	11.43	42.90	3.03

4.5 องค์ประกอบกลิ่นหอมของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) พบว่าในน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดมีองค์ประกอบสารระเหยที่ตรวจพบทั้งหมด 80 ชนิด (ภาคผนวก ค) แต่องค์ประกอบสารระเหยหลัก ๆ ที่ตรวจพบ 10 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.9 โดยองค์ประกอบสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมหวานคล้ายกลิ่นคาราเมล มอลต์ และเนย ตรวจพบ 12 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งองค์ประกอบสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของฟูแรน และยังมีสารระเหย 3-ethyl-2, 5-dimethyl-pyrazine ซึ่งในกลุ่มของไพราซีนที่ให้กลิ่นคล้ายกับถั่ว [30] ที่เวลา 15.878 นาที

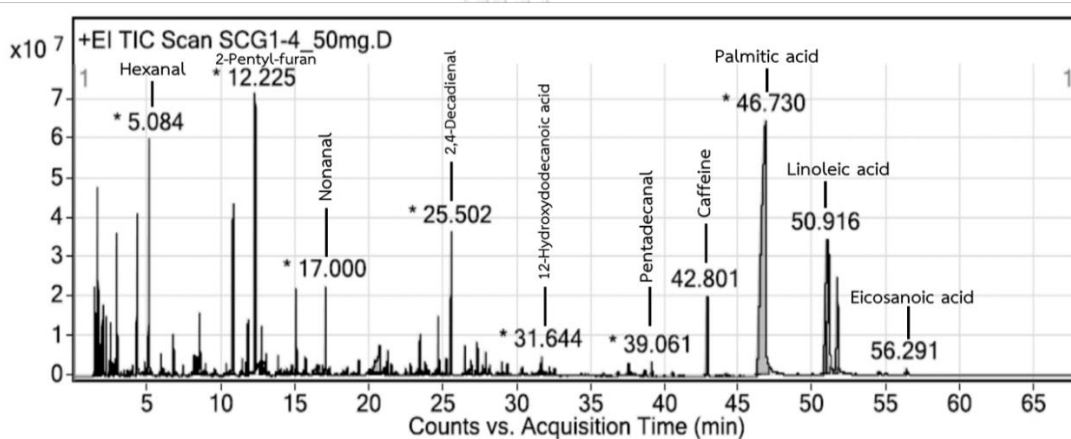


รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ของน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบสารระเหยที่พบในน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบด

เวลา (นาที)	สารระเหย	ลักษณะของกลิ่น	อ้างอิง
1.765	2-methyl-Propanal	คล้ายมอลต์ หรือผลไม้	[31]
2.135	2-Pentenal	คล้ายเนย	[31]
2.390	3-methyl-Butanal	คล้ายมอลต์	[31]
2.563	2,3-dihydro-5-methyl-Furan	คล้ายคาราเมล	[32]
2.695	1-Penten-3-ol	คล้ายเนย	[31]
2.945	2-ethyl-Furan	คล้ายมอลต์	[33]
3.838	2-Butenal,2-methyl-	คล้ายมอลต์	[31]
3.965	2-Pentenal	คล้ายคาราเมล	[31]
6.061	Furfural	คล้ายแอลมอนต์ หรือคาราเมล	[30]
6.836	3-Furanmethanol	คล้ายคาราเมล	[34, 35]
10.986	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl	คล้ายแอลมอนต์ หรือคาราเมล	[30]
12.189	2-pentyl-furan	คล้ายเนย	[36]

องค์ประกอบสารระเหยในน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบดที่ตรวจพบทั้งหมด 113 ชนิด (ภาคผนวก ง) แต่องค์ประกอบสารระเหยที่มีปริมาณมากแสดงในโครมาโทแกรมดังรูปที่ 4.10 โดยองค์ประกอบสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมในน้ำมันกากกาแฟคั่วบดที่แสดงในโครมาโทแกรม คือ 2-pentyl-furan มีกลิ่นหอมคล้ายเนย [36] และ nonanal มีกลิ่นคล้ายควันเทียน นอกจากนี้ องค์ประกอบสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมที่ไม่ได้แสดงในโครมาโทแกรมเนื่องจากมีปริมาณน้อย แสดงดังตารางที่ 4.10 โดยองค์ประกอบสารระเหยที่พบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของฟูแรน



รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ของน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบดที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบสารระเหยที่พบในน้ำมันกาแฟที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบด

เวลา (นาที)	สารระเหย	ลักษณะของกลิ่น	อ้างอิง
1.421	Acetaldehyde	คล้ายผลไม้	[37]
2.130	2-Pentenal	คล้ายเนย	[31]
2.560	2,3-dihydro-5-methyl- Furan	คล้ายคาราเมล	[32]
2.688	1-Penten-3-ol	คล้ายเนย	[31]
2.752	2-Pentanone	คล้ายผลไม้	[38]
2.945	2-ethyl- Furan	คล้ายมอลต์	[39]
3.832	(S)-5-Hydroxymethyl-2[5H]-furanone	คล้ายคาราเมล	[40]
6.053	Furfural	คล้ายแอลมอนด์ หรือคาราเมล	[30]
10.552	dihydro-5-methyl-2(3H)-Furanone	กลิ่นดอกไม้	[41]

12.225	2-pentyl-Furan	คล้ายเนย	[36]
14.759	5-ethyl-dihydro-2(3H)-Furanone	คล้ายมะพร้าว	[42]
18.932	dihydro-5-propyl-2(3H)-Furanone	คล้ายคาราเมล หรือมอลต์	[43]
23.177	5-butyl-dihydro-2(3H)-Furanone	คล้ายพีช หรือผลไม้	[44]

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารระเหยของน้ำมันกาแฟจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดตรวจพบสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมเหมือนกัน 5 ชนิด คือ 2-Pentenal, 2,3-dihydro-5-methyl-Furan, 1-Penten-3-ol, Furfural และ 2-pentyl-Furan โดยองค์ประกอบสารระเหยส่วนใหญ่ที่ตรวจพบอยู่ในกลุ่มของฟูแรน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้สามารถหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกาแฟจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต พบว่าปริมาณน้ำมันกาแฟสูงสุดที่สกัดจากกาแฟคั่วบดได้ร้อยละ 13.45 โดยน้ำหนักแห้ง ที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

น้ำมันกาแฟที่สกัดจากกากกาแฟคั่วบดได้ปริมาณน้ำมันสูงสุดร้อยละ 11.93 โดยน้ำหนักแห้ง ที่ความดัน 300 บาร์ และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานวิจัยนี้เหมาะกับการสกัดน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ (40 – 50 องศาเซลเซียส) และที่ความดันสูง โดยน้ำมันกาแฟที่ได้จากทั้งสองตัวอย่างพบกรดไขมันหลัก ๆ คือ กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก กรดสเตียริก และกรดอะราคิดิก

น้ำมันกาแฟที่สกัดจากกาแฟคั่วบดและกากกาแฟคั่วบดตรวจพบองค์ประกอบสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมที่เหมือนกัน 5 ชนิด คือ 2-Pentenal, 2,3-dihydro-5-methyl-Furan, 1-Penten-3-ol, Furfural และ 2-pentyl-Furan ซึ่งองค์ประกอบสารระเหยส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของฟูแรน ซึ่งให้กลิ่นหอมคล้ายคาราเมล มอลต์ และเนย ส่งผลให้น้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอาหารได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาระดับการคั่วของเมล็ดกาแฟต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟ และควรวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบระเหยที่ให้กลิ่นหอม และเพื่อยืนยันกลิ่นรสของน้ำมันกาแฟควรมีการวิเคราะห์กลิ่นโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography Olfactory (GCO) เพิ่มเติม

บรรณานุกรม

- [1] ประชาชาติธุรกิจ, เทรนด์ร้านกาแฟโต 1.7 หมื่นล้าน กวินฯจัดบีบีอีเวนต์ยกระดับเทรนด์ภูมิภาค, 2019. <https://www.prachachat.net/marketing/news-297393>. (Accessed 30 สิงหาคม 2562).
- [2] กรมวิชาการเกษตร, ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560-2564, 2018. <http://www.doa.go.th/hort/wpcontent/uploads/2018/11/ยุทธศาสตร์กาแฟ2560-2564.pdf> (Accessed 30 สิงหาคม 2562).
- [3] อนุรักษ์ศักดิ์ ต้นติวัฒน์พันธ์, กาแฟจากแก้วกาแฟสู่แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนสำหรับผลิตภัณฑ์ชีวภาพ, วารสารสิ่งแวดล้อม 1(23) (2562).
- [4] B.J. Ltd, 70 roasted coffee beans to make one cup of coffee. <https://jp.jura.com/en/about-coffee/barista-overview/70-roasted-coffee-beans-to-make-one-cup-of-coffee>. (Accessed 29 กันยายน 2563).
- [5] พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และบัณฑิต วาฤทธิ์, การปลูก การผลิตกาแฟอาราบิก้าบนที่สูง, ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2542.
- [6] C.R. Institute, Coffee Roast Colors and Characteristics, 2001-2006. <http://www.coffeeresearch.org/coffee/roast.htm>. (Accessed 29 กันยายน 2563).
- [7] S. Roastery, ความแตกต่างของเมล็ดกาแฟ Arabica และ Robusta, 2020. <https://www.siamroastery.com/content/5241/arabica-robusta>. (Accessed 29 กันยายน 2563).
- [8] M. Sivetz, Coffee Processing Technology, Volume 2 Aromatization, Properties, Brewing, Decaffeination, Plant Design, The Avi Publishing Company, Inc., London, 1963.
- [9] รพีพรรณ กองตุม, กาแฟ : มูลค่าเพิ่มและการใช้ประโยชน์, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 (2560).
- [10] S.I. Mussatto, L.M. Carneiro, J.P.A. Silva, I.C. Roberto, J.A. Teixeira, A study on

- chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds, *Carbohydrate Polymers* 83(2) (2011) 368-374.
- [11] A. Burniol-Figols, K. Cenian, I.V. Skiadas, H.N. Gavala, Integration of chlorogenic acid recovery and bioethanol production from spent coffee grounds, *Biochemical Engineering Journal* 116 (2016) 54-64.
- [12] N. Kondamudi, S.K. Mohapatra, M. Misra, Spent coffee grounds as a versatile source of green energy, *J Agric Food Chem* 56(24) (2008) 11757-60.
- [13] ปรียพันธ์ บัวสด, การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิเดนต์ของเครื่องดื่มชา โดยวิธีไฮคลิกโวลแทมเมตรี, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ (2549).
- [14] สุกัญญา อภิภัทรกุล, การเปรียบเทียบปริมาณคาเฟอีน สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีในผงกาแฟบดและกากกาแฟ, กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นครสวรรค์ ครั้งที่ 12: วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ.
- [15] R. Campos-Vega, G. Loarca-Piña, H.A. Vergara-Castañeda, B.D. Oomah, Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects, *Trends in Food Science & Technology* 45(1) (2015) 24-36.
- [16] L.F. Ballesteros, J.A. Teixeira, S.I. Mussatto, Extraction of polysaccharides by autohydrolysis of spent coffee grounds and evaluation of their antioxidant activity, *Carbohydrate Polymers* 157 (2017) 258-266.
- [17] Wikipedia, Soxhlet extractor, 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Soxhlet_extractor. (Accessed 29 ตุลาคม 2563).
- [18] A.C.a.T. Clifford, *Fundamentals of Supercritical Fluids* OUP Oxford; Illustrated edition 1998.
- [19] D.E. Raynie, *Meeting the Natural Products Challenge with Supercritical Fluids*, *Supercritical Fluids*, American Chemical Society 1997, pp. 68-75.
- [20] S. Rizvi, A.L. Benado, J. Zollweg, J. Daniels, *Supercritical fluid extraction:*

fundamental principles and modeling methods, 1986.

- [21] M. Mofijur, M.G. Rasul, N.M.S. Hassan, M.N. Nabi, Recent Development in the Production of Third Generation Biodiesel from Microalgae, *Energy Procedia* 156 (2019) 53-58.
- [22] N.A. Akgün, H. Bulut, I. Kikic, D. Solinas, Extraction behavior of lipids obtained from spent coffee grounds using supercritical carbon dioxide, *Chemical Engineering and Technology* 37(11) (2014) 1975-1981.
- [23] M.M.R. De Melo, H.M.A. Barbosa, C.P. Passos, C.M. Silva, Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis, *Journal of Supercritical Fluids* 86 (2014) 150-159.
- [24] E. Gyori, A. Varga, I. Fábrián, I. Lázár, Supercritical CO₂ extraction and selective adsorption of aroma materials of selected spice plants in functionalized silica aerogels, *Journal of Supercritical Fluids* 148 (2019) 16-23.
- [25] A. Hurtado-Benavides, D. Dorado A, A.d.P. Sánchez-Camargo, Study of the fatty acid profile and the aroma composition of oil obtained from roasted Colombian coffee beans by supercritical fluid extraction, *The Journal of Supercritical Fluids* 113 (2016) 44-52.
- [26] R. Muangrat, I. Pongsirikul, Recovery of spent coffee grounds oil using supercritical CO₂: Extraction optimisation and physicochemical properties of oil, *CyTA - Journal of Food* 17(1) (2019) 334-346.
- [27] สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และ อาทิตย์ รังษีสันติวานนท์, การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด, *วารสารศูนย์บริการวิชาการ* 2 (2546).
- [28] KoffeeTools, เครื่องชงกาแฟเอสเพรสโซ่ 2019. <https://www.koffeetools.com/content/7115>. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).
- [29] R.M. Couto, J. Fernandes, M.D.R.G. da Silva, P.C. Simões, Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds, *The Journal of Supercritical*

- Fluids 51(2) (2009) 159-166.
- [30] J.S. Ribeiro, F. Augusto, T.J. Salva, R.A. Thomaziello, M.M. Ferreira, Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares, *Anal Chim Acta* 634(2) (2009) 172-9.
- [31] S.H. Oestreich-Janzen, *Chemistry of Coffee*, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, Elsevier 2019.
- [32] F. Mayer, M. Czerny, W. Grosch, Sensory study of the character impact aroma compounds of a coffee beverage, *European Food Research and Technology* 211(4) (2000) 272-276.
- [33] T.I. System. <http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1022621.html>. (Accessed 17 พฤศจิกายน 2563).
- [34] O. Gonzalez-Rios, M.L. Suarez-Quiroz, R. Boulanger, M. Barel, B. Guyot, J.-P. Guiraud, S. Schorr-Galindo, Impact of “ecological” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. Green coffee, *Journal of Food Composition and Analysis* 20(3-4) (2007) 289-296.
- [35] H.M.G. Sánchez, S.G. Palomares, T.R. Reyes, *CAFÉ (Coffea arabica L.): COMPUESTOS VOLÁTILES RELACIONADOS CON EL AROMA Y SABOR*, 2011.
- [36] ปารมี หนูนิ่ม, ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณภาพกลิ่นของผงโปรตีนรำข้าวเข้มนั่น, *วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (วิทยาศาสตร์การอาหาร) (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)* (2546).
- [37] T.I. System, lilac acetaldehyde. <http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1331071.html>. (Accessed 8 ธันวาคม 2563).
- [38] T.I. System, 2-pentanone. <http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1009121.html>. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).
- [39] T.I. System, 2-ethyl furan. <http://www.thegoodscentcompany.com/data/>

- rw1022621.html. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).
- [40] W. Schwab, Natural 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone (Furaneol(R)), *Molecules* 18(6) (2013) 6936-51.
- [41] PubChem, 2(3H)-Furanone, 5-ethenyldihydro-5-methyl-. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_3H_-Furanone_-5-ethenyldihydro-5-methyl#section=Computed-Properties. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).
- [42] T.I. System, gamma-hexalactone. <http://www.thegoodscentscopy.com/data/rw1006382.html>. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).
- [43] PubChem, Physical description. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/gamma-Heptalactone#section=Computed-Properties>. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).
- [44] F.a.A.O.o.t.U. Nations, Online Edition: "Specifications for Flavourings". <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/jecfa-flav/details/en/c/452/>. (Accessed 7 ธันวาคม 2563).

ภาคผนวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก การสกัดน้ำมันกาแฟ

ก.1 สีของน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยตัวทำละลายและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

รูปที่ ก.1 น้ำมันกาแฟจากกากกาแฟคั่วบดสกัดด้วยซอกซ์เล็ตโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายพบว่าสีของน้ำมันที่สกัดได้จะมีสีที่เข้มกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตแสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.1 น้ำมันกาแฟสกัดด้วยเฮกเซน



ภาวะที่ใช้สกัด

50 °C	40 °C	40 °C	50 °C	60 °C	60 °C
200 bar	200 bar	300 bar	300 bar	200 bar	300 bar

รูปที่ ก.2 น้ำมันกาแฟสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ

ก.2 ปริมาณน้ำมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ตารางที่ ก.1 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยภาวะที่ทำการทดลอง คือ ความดันช่วง 200 – 300 บาร์ อุณหภูมิช่วง 40 – 60 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 10 กรัมต่อนาที

ตารางที่ ก.1 ร้อยละผลได้น้ำมันกาแฟจากกากกาแฟที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

เวลา (นาที)	ร้อยละผลได้น้ำมันกาแฟ					
	200 บาร์			300 บาร์		
	40 °C	50 °C	60 °C	40 °C	50 °C	60 °C
0	0	0	0	0	0	0
30	0.2410	0.0701	0	0.2831	0.5449	0.5080
60	0.5744	0.0732	0.0795	1.8146	3.6367	3.1886
90	1.8738	0.3064	0.0795	3.6708	5.7816	5.3617
120	3.1038	1.4533	0.7308	5.1627	7.8954	7.4456
150	4.6677	2.4444	1.8902	6.9075	9.5432	8.2851
180	6.1196	3.5538	2.8225	8.6989	10.1569	8.8069
210	7.3324	3.9468	3.7711	9.6488	10.5634	9.1976
240	8.8557	4.7203	4.4723	10.6140	10.8305	9.6636
270	9.3793	5.5922	5.3083	10.9060	10.9922	10.4201
300	9.7796	6.2210	6.1932	11.2609	11.3220	10.9762
330	10.2263	7.9427	9.0152	11.9287	11.5766	11.5682

ตารางที่ ก.2 แสดงปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยภาวะที่ทำการทดลอง คือ ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิช่วง 40 – 60 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 10 กรัมต่อนาที

ตารางที่ ก.2 ร้อยละผลได้น้ำมันกาแฟจากเมล็ดกาแฟคั่วบดที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

เวลา (นาที)	ร้อยละผลได้น้ำมัน		
	40 °C	50 °C	60 °C
0	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.0000	0.8901	0.8709
60	3.2600	4.7990	3.8200
90	5.8448	7.8121	5.9217
120	7.2688	9.2619	6.5754
150	8.0009	10.0781	7.4323
180	8.5802	10.4061	7.9948
210	9.4342	10.8833	8.3325
240	9.8365	11.5598	9.1137
270	10.3842	11.8397	10.0496
300	10.4717	12.4967	10.2114
330	11.6931	13.4497	11.9584

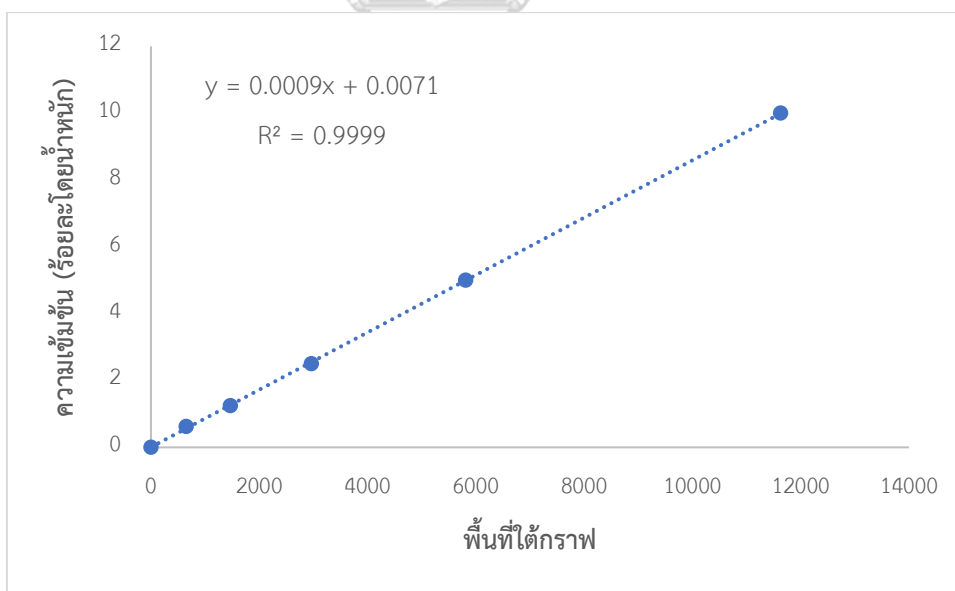
ภาคผนวก ข

วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันกาแฟ

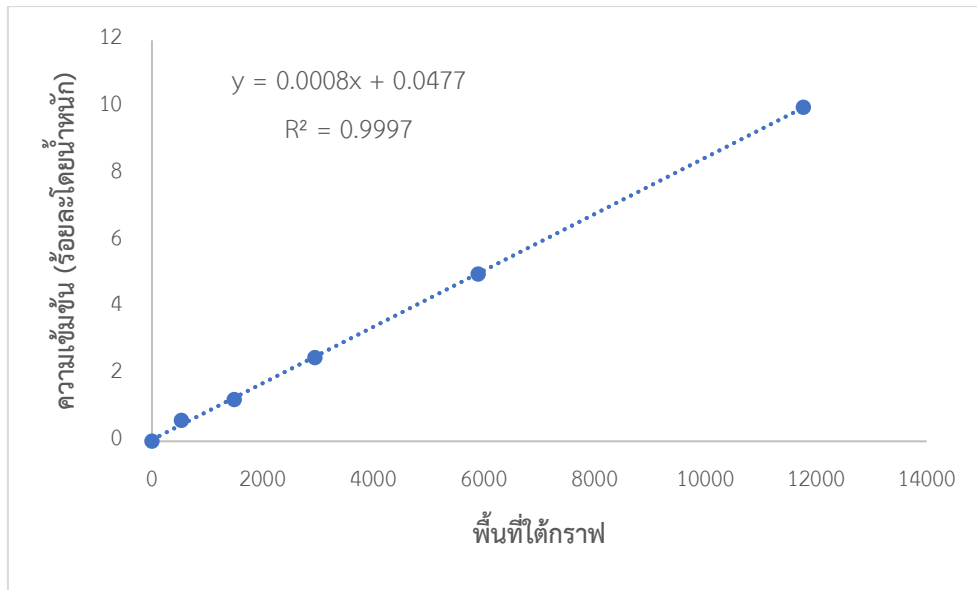
ข.1 กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

การวิเคราะห์หาปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณได้จากการนำพื้นที่ใต้กราฟ (Peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานมาพล็อตกราฟ โดยให้แกน X เป็นพื้นที่ใต้กราฟ ส่วนแกน Y เป็นความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ซึ่งกราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง หลังจากนั้นแทนค่าพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละสารที่ได้จากการทดลองลงในสมการ แสดงดังสมการ ก.1

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นของสาร
 m คือ ความชันของกราฟ (ค่าคงที่)
 x คือ พื้นที่ใต้กราฟ
 c คือ จุดตัดแกน Y



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของเมทิลปาล์มิเตท

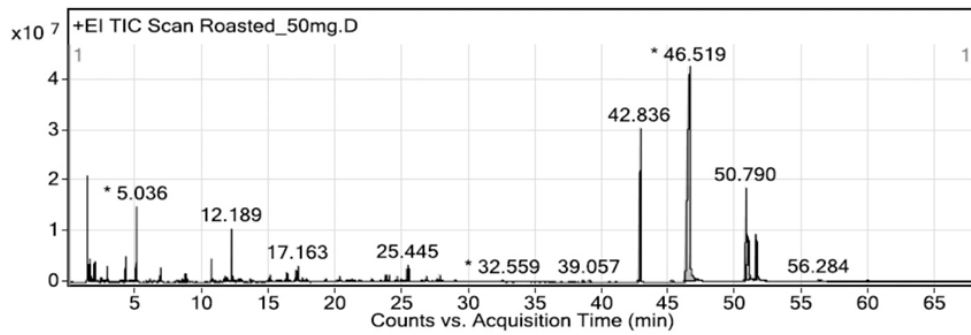


รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของเมทิลโอลิเอท



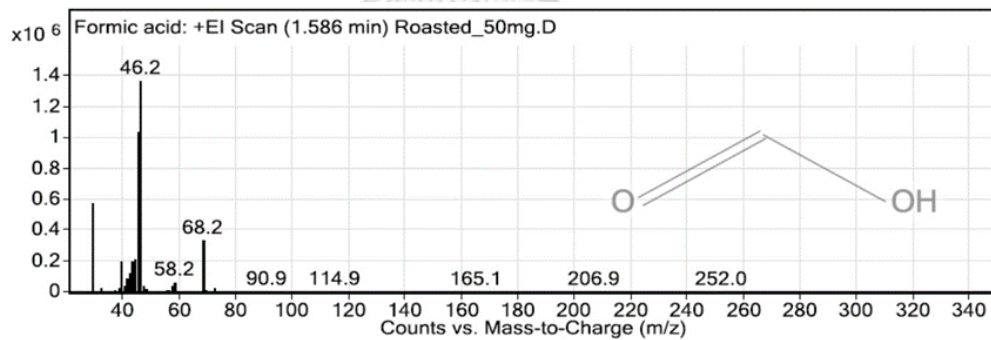
ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันกาแฟจากกาแฟคั่วบดด้วย
เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)

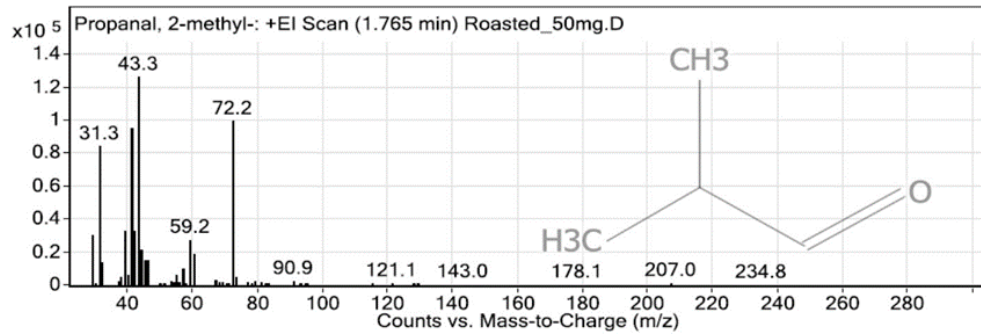


รูปที่ ค.1 โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำมันกาแฟจากกาแฟคั่วบด

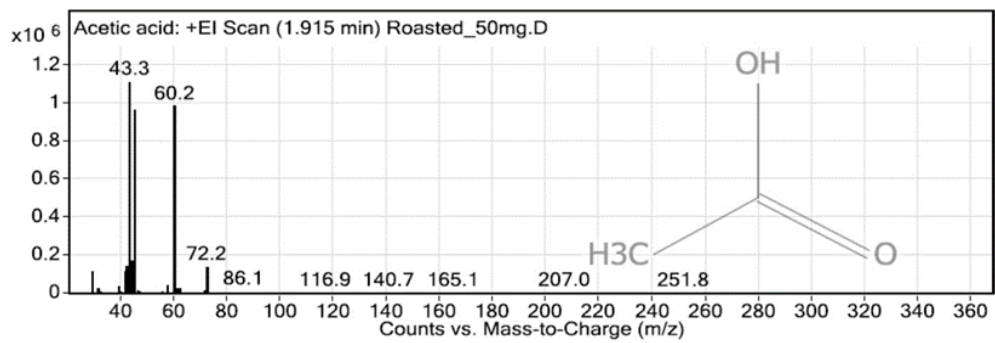
จากรูปที่ ค.1 สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบสารระเหยในตัวอย่างน้ำมันกาแฟที่พบ ณ เวลา
รีเทนชันต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ ค.2 - ค.80 โดยชื่อองค์ประกอบแสดงด้านมุมบนซ้ายมือของภาพและ
เวลารีเทนชันแสดงในวงเล็บหลังคำว่า +EI Scan



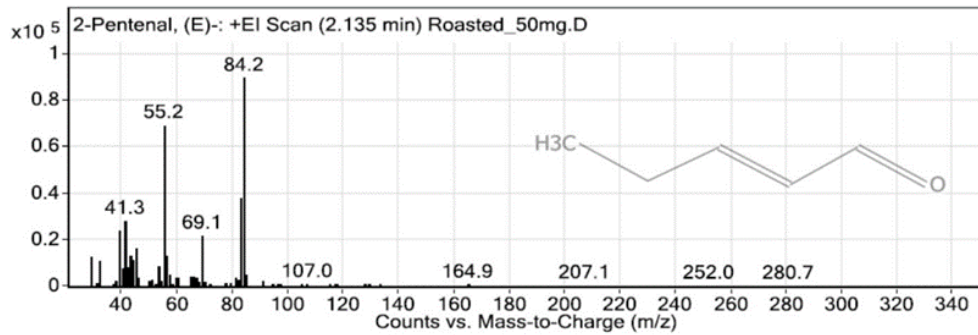
รูปที่ ค.2 Formic acid



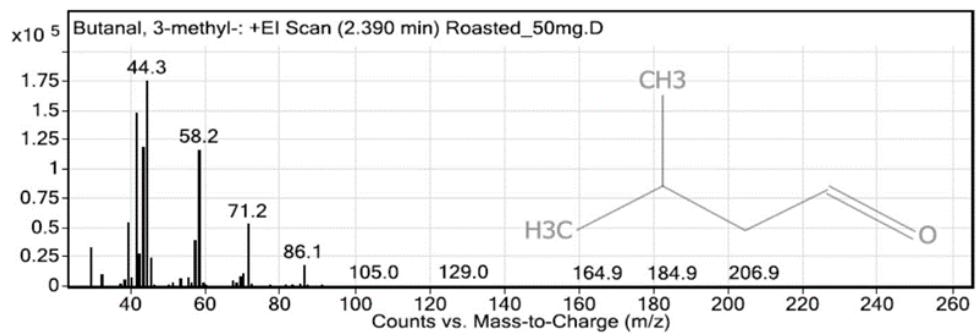
รูปที่ ค.3 2-methyl-Propanal



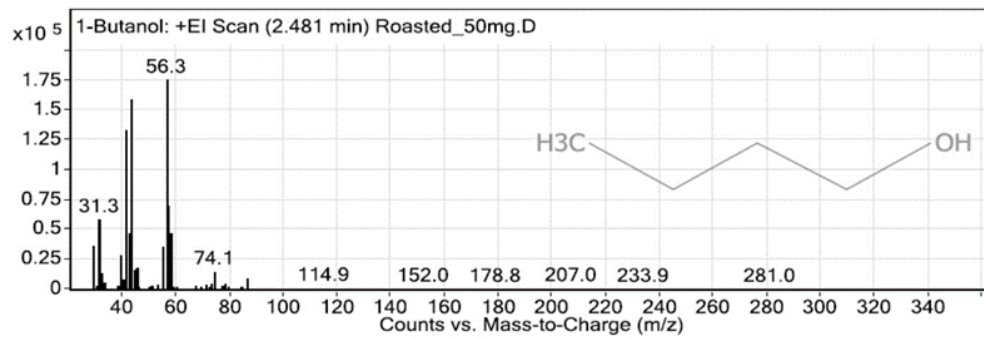
รูปที่ ค.4 Acetic acid



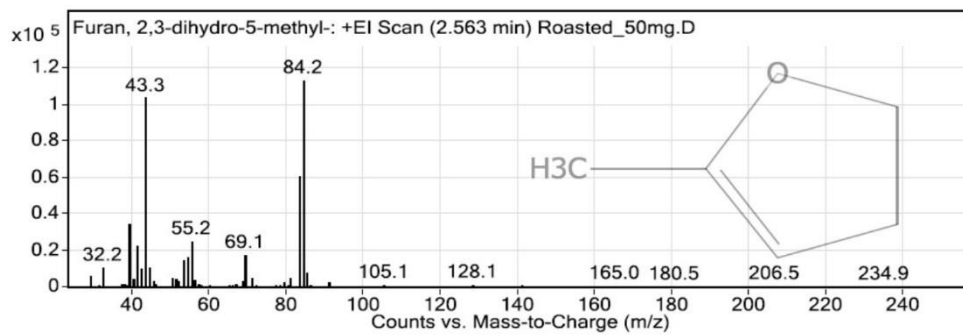
รูปที่ ค.5 2-Pentenal, (E)-



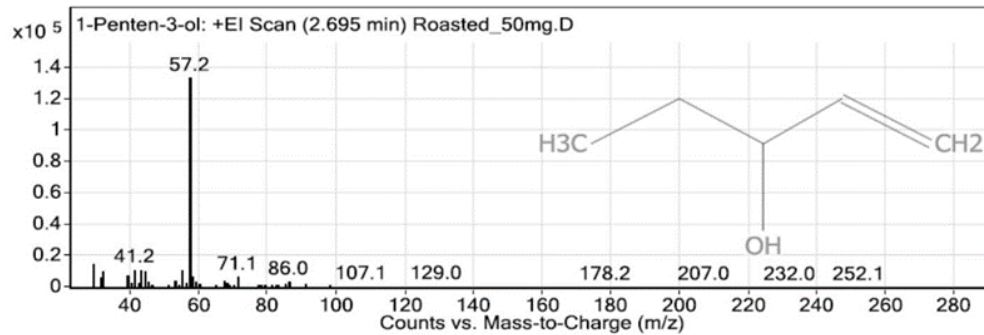
รูปที่ ค.6 3-methyl-Butanal



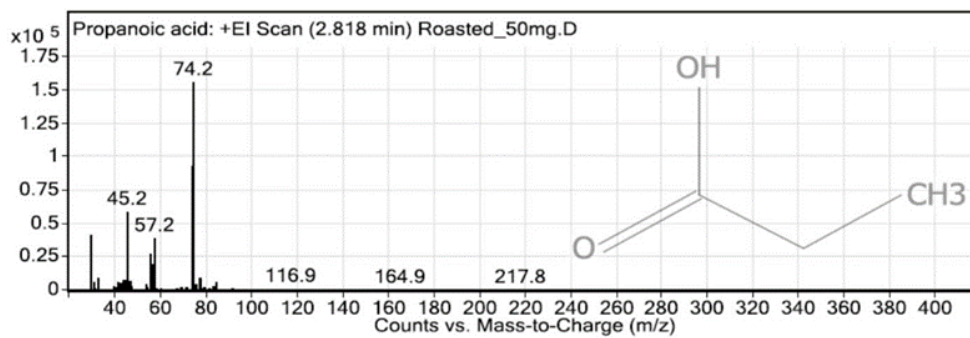
รูปที่ ค.7 1-Butanol



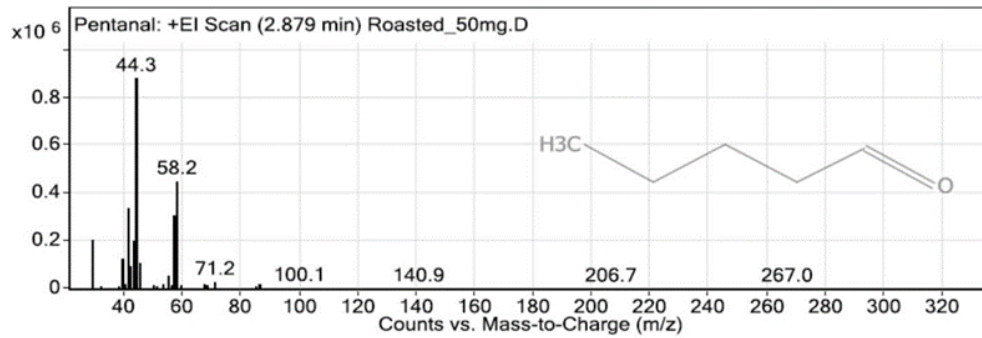
รูปที่ ค.8 2,3-dihydro-5-methyl-Furan



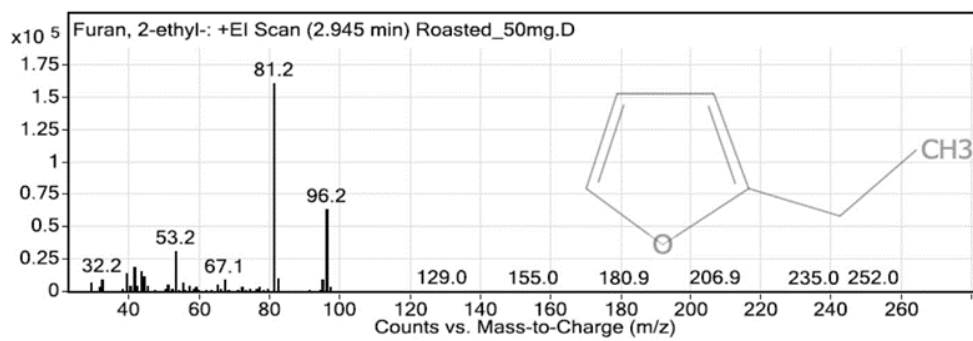
รูปที่ ค.9 1-Penten-3-ol



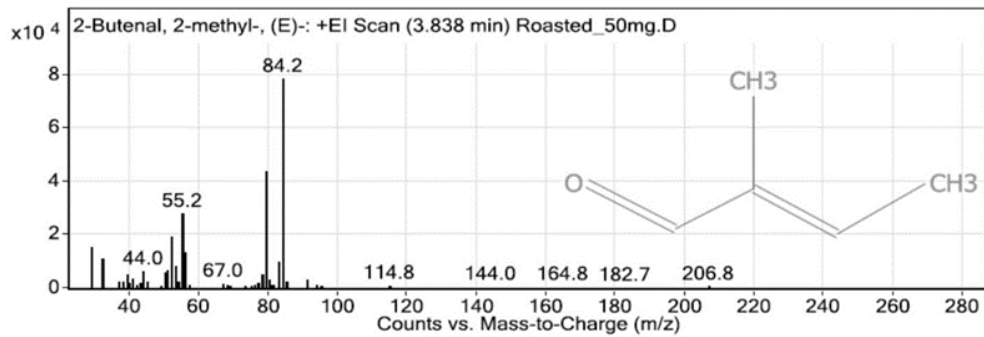
รูปที่ ค.10 Propanoic acid



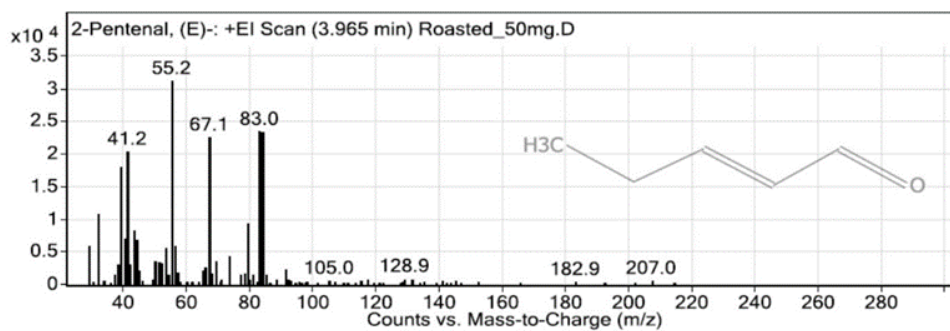
รูปที่ ค.11 Pentanal



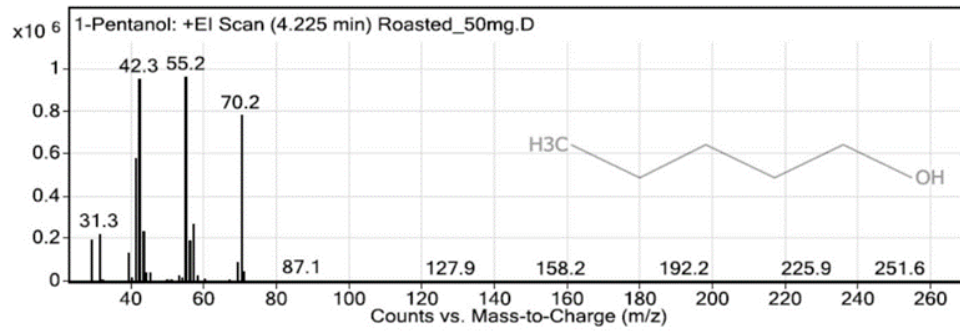
รูปที่ ค.12 2-ethyl-Furan



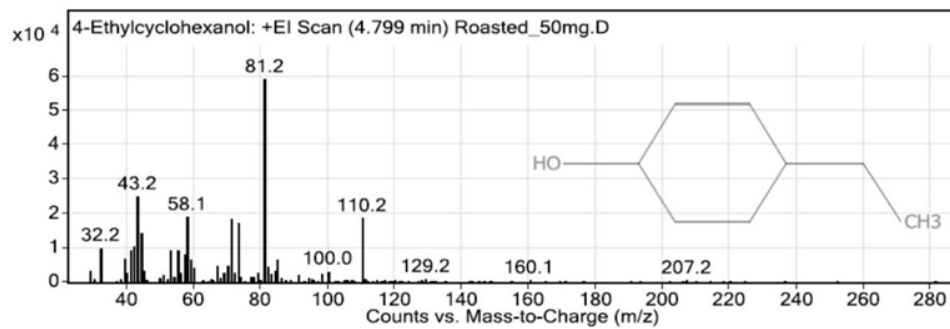
รูปที่ ค.13 2-Butenal,2-methyl-



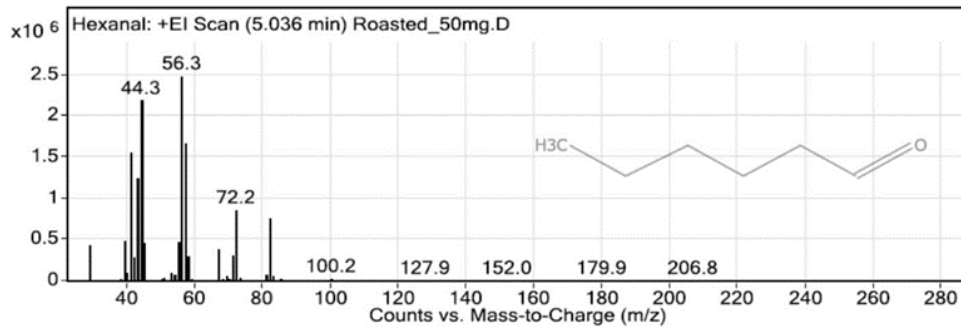
รูปที่ ค.14 2-Pentenal, (E)-



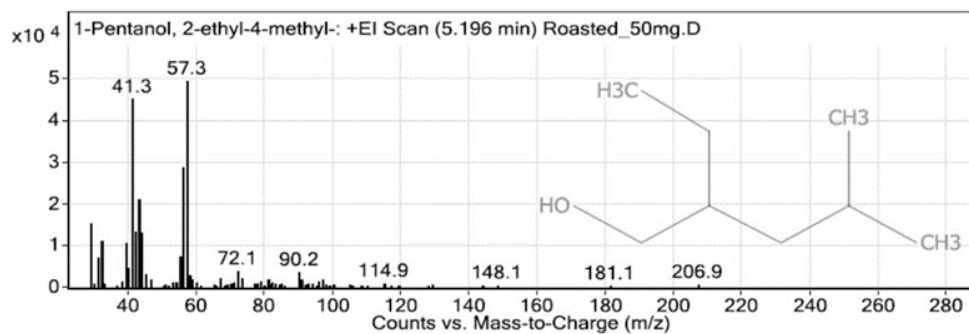
รูปที่ ค.15 1-Pentanol



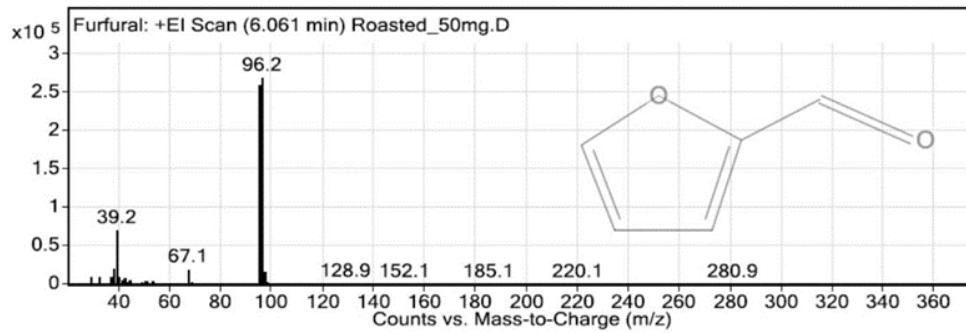
รูปที่ ค.16 4-Ethylcyclohexanol



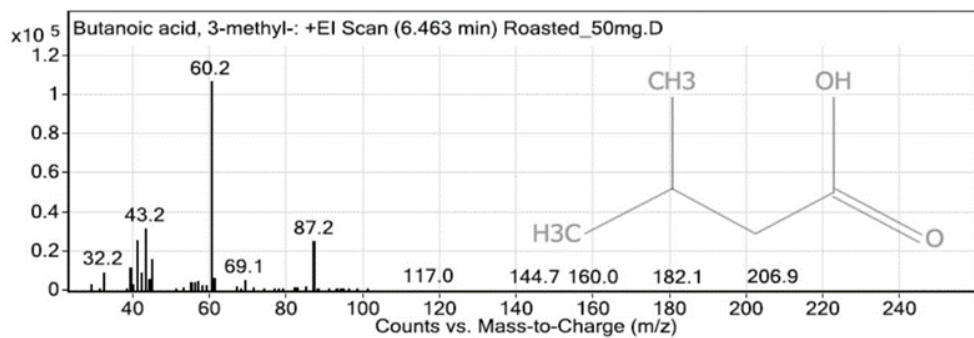
รูปที่ ค.17 Hexanal



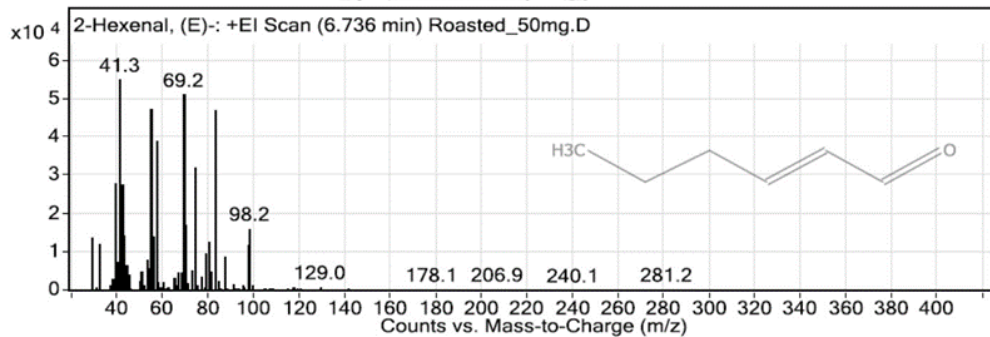
รูปที่ ค.18 1-Pentanol, 2-ethyl-4-methyl-



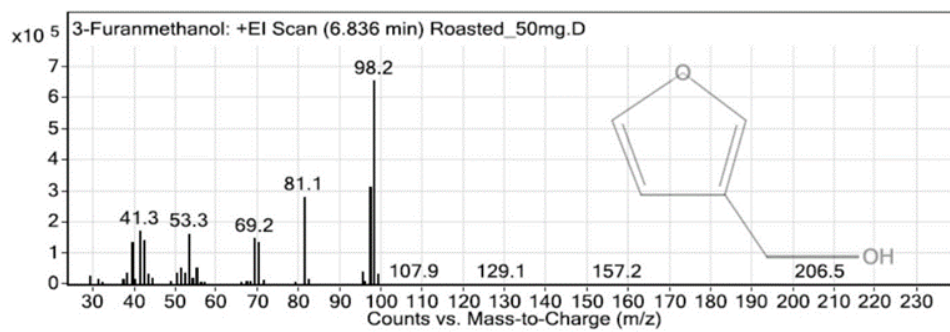
รูปที่ ค.19 Furfural



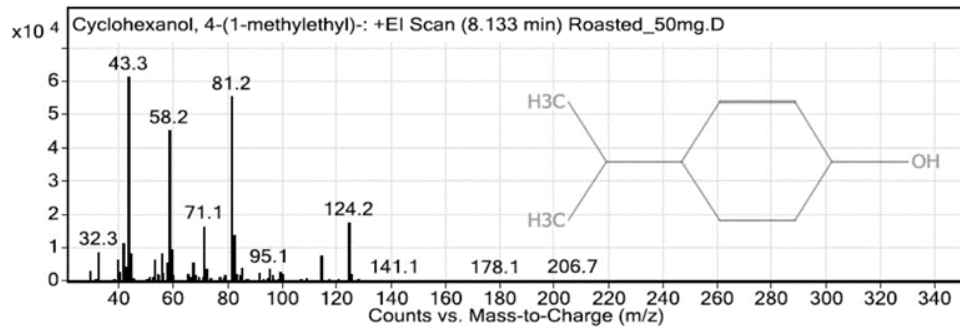
รูปที่ ค.20 Butanoic acid



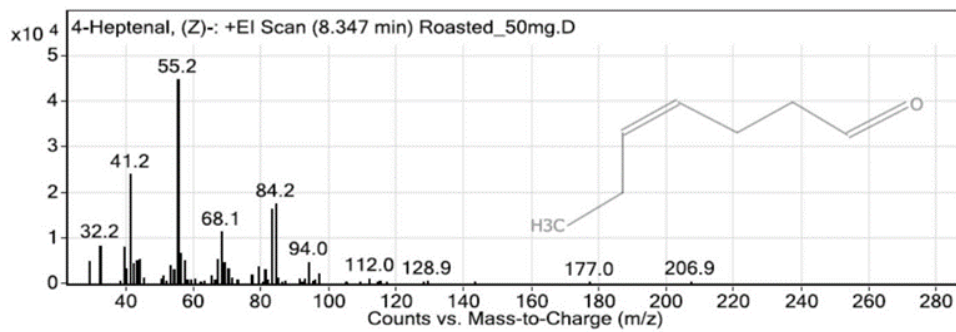
รูปที่ ค.21 2-Hexenal, (E)-



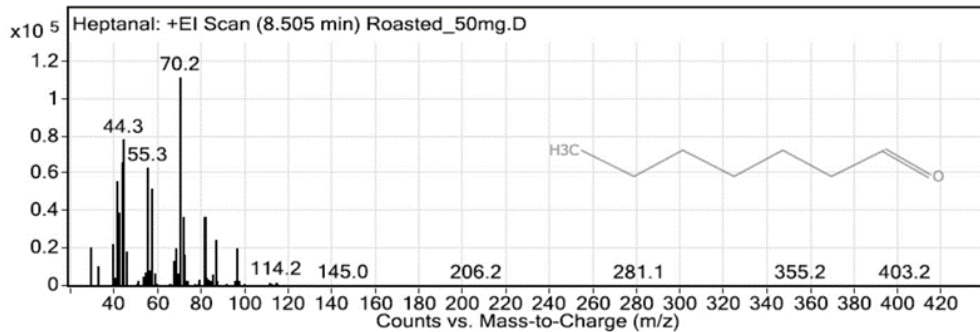
รูปที่ ค.22 3-Furanmethanol



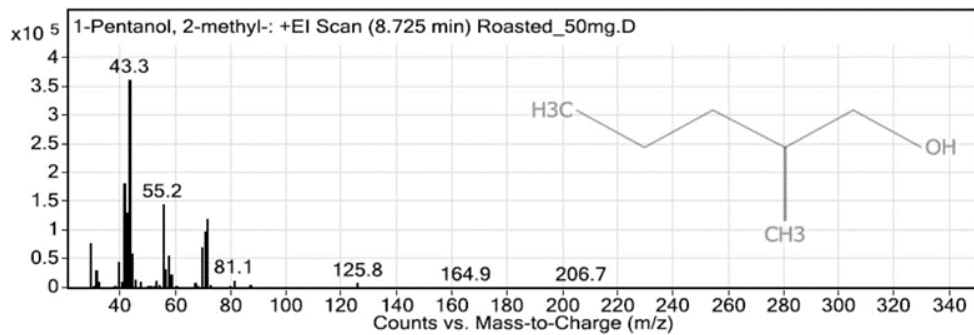
รูปที่ ค.23 Cyclohexanol, 4-(1-methylethyl)-



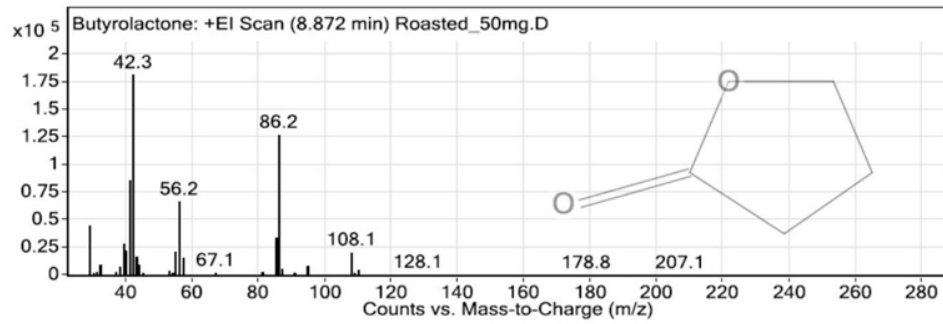
รูปที่ ค.24 4-Heptenal, (Z)-



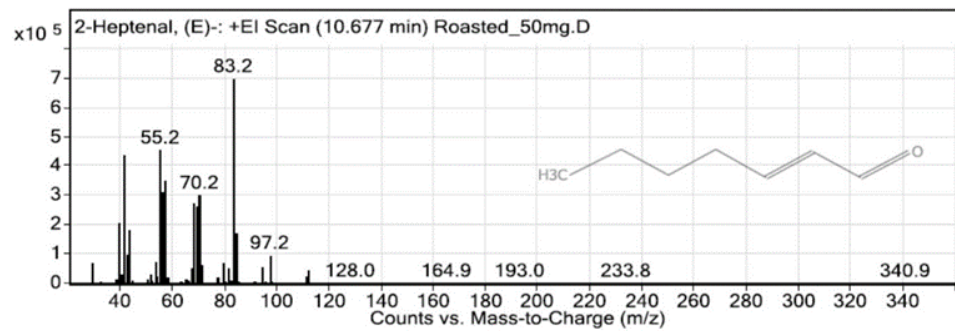
รูปที่ ค.25 Heptanal



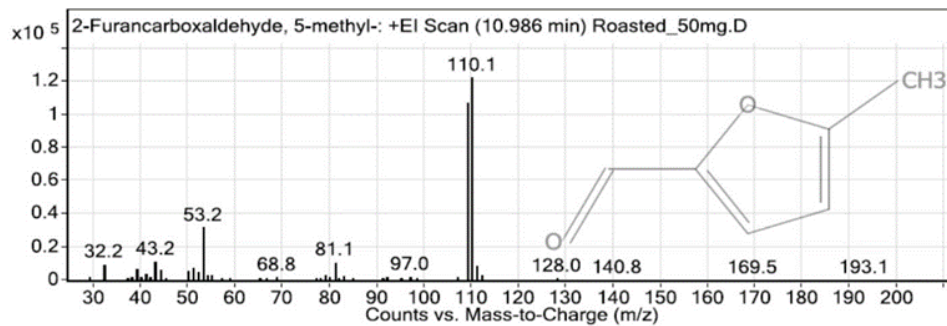
รูปที่ ค. 26 1-Pentanol, 2-methyl-



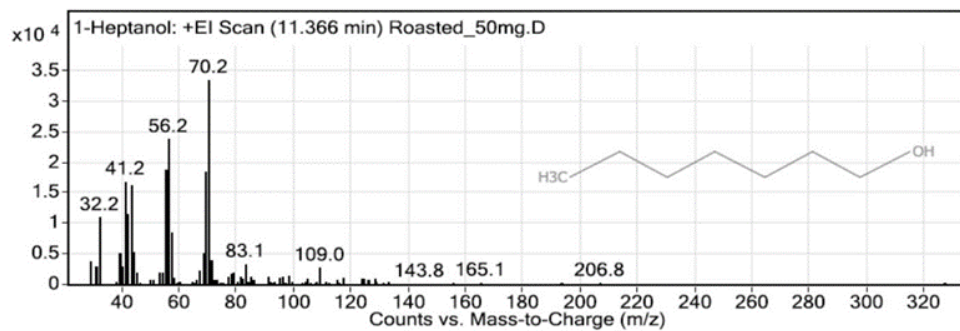
รูปที่ ค.27 Butyrolactone



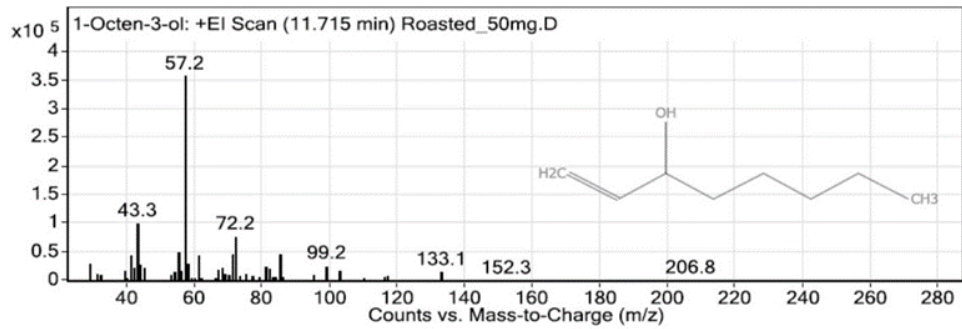
รูปที่ ค.28 2-Heptenal



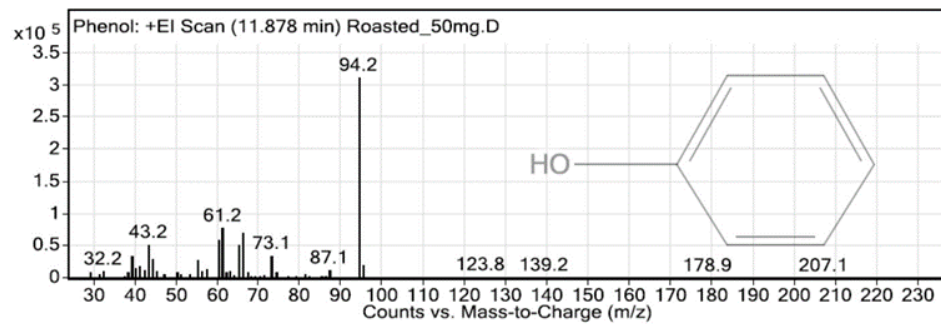
รูปที่ ค.29 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl



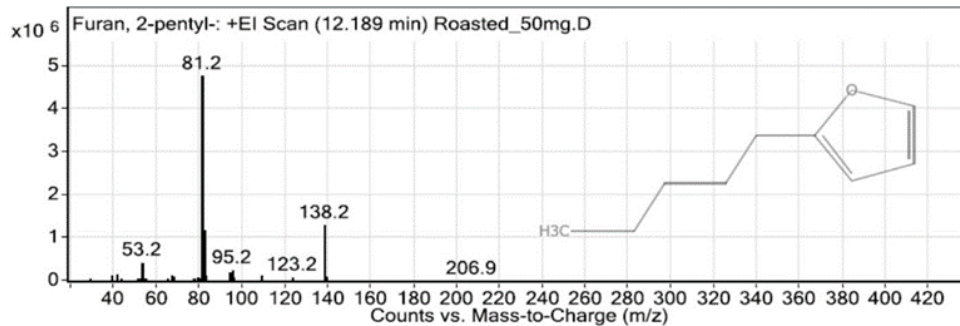
รูปที่ ค.30 1-Heptanol



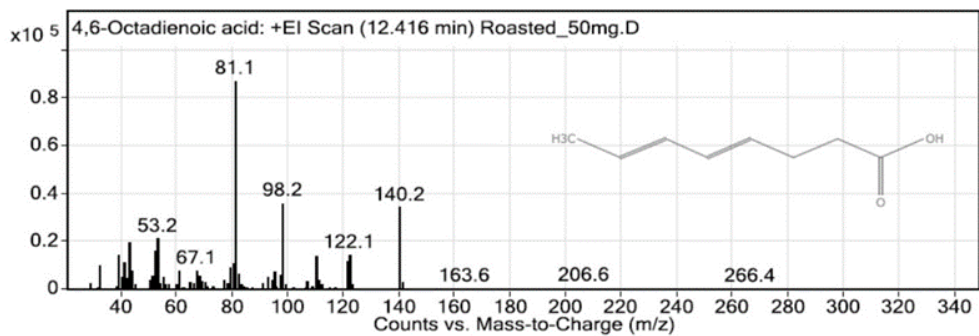
รูปที่ ค.31 1-Octen-3-ol



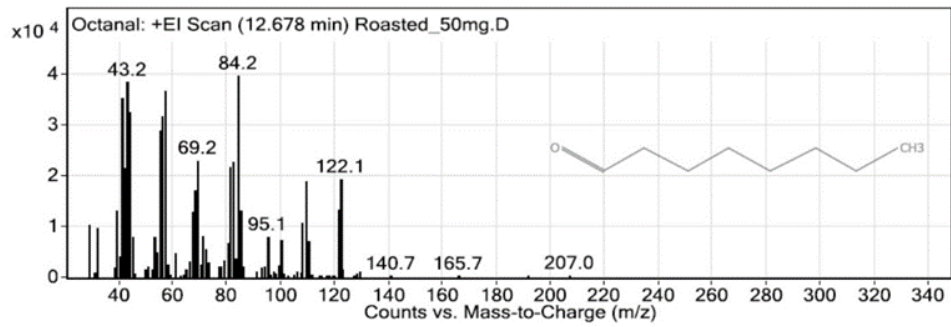
รูปที่ ค.32 Phenol



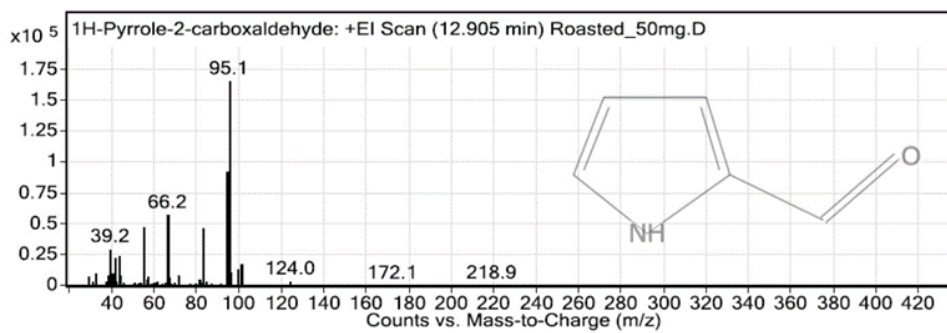
รูปที่ ค.33 2-pentyl-furan



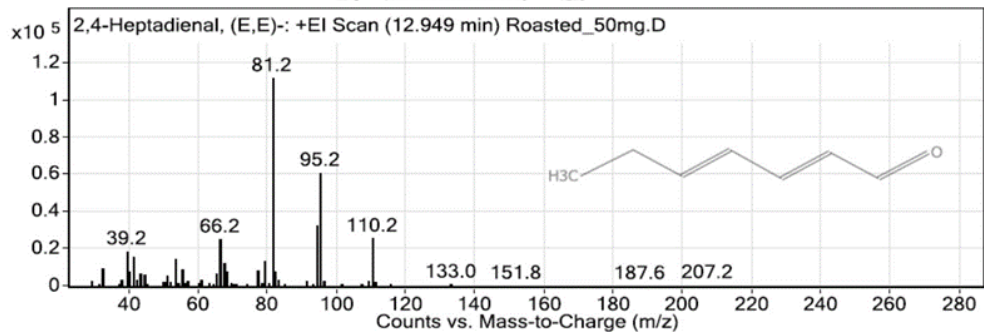
รูปที่ ค.34 4,6-Octadienoic acid



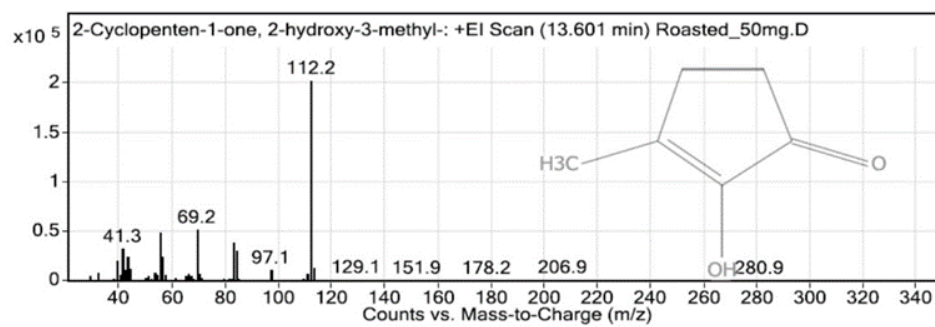
รูปที่ ค.35 Octanal



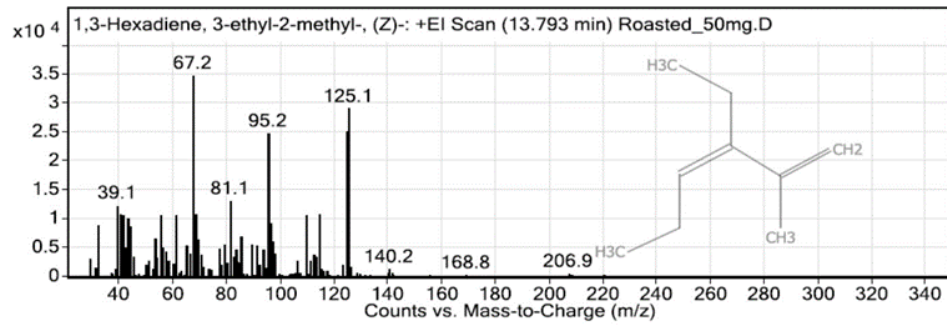
รูปที่ ค.36 1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde



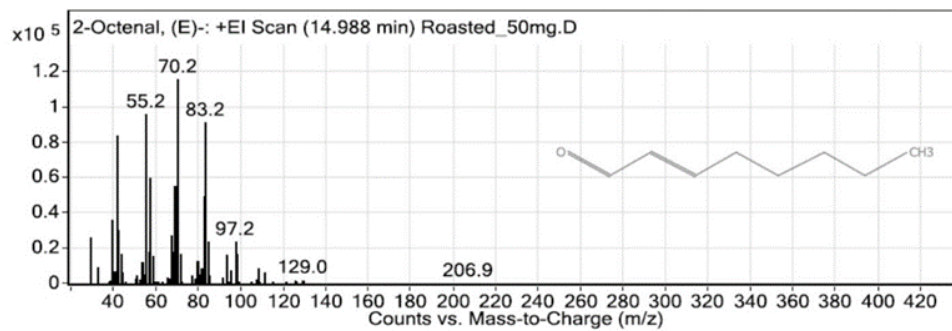
รูปที่ ค.37 2,4-Heptadienal, (E,E)-



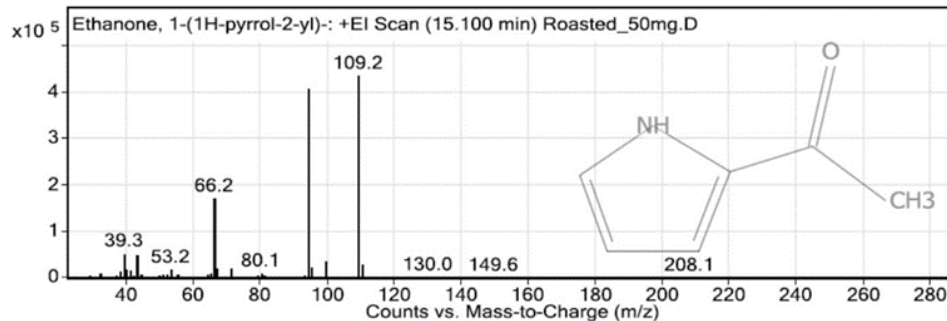
รูปที่ ค.38 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-



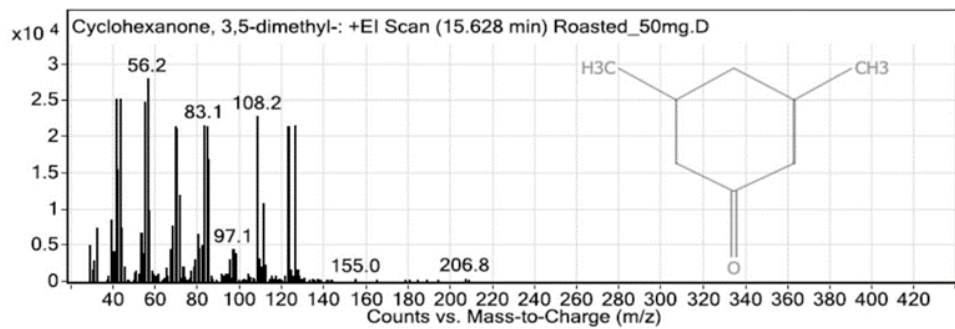
รูปที่ ค.39 1,3 Hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-



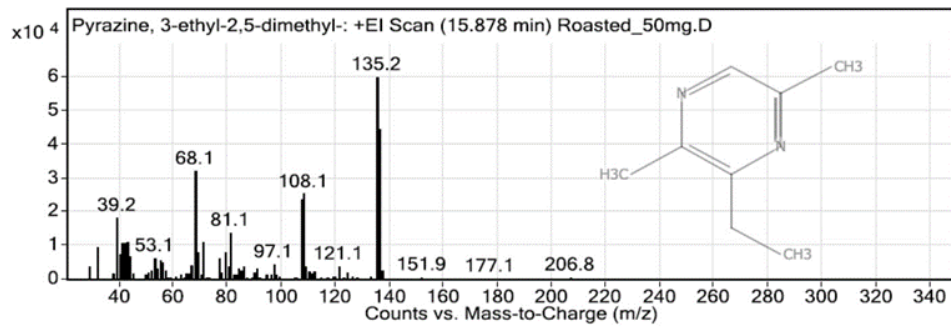
รูปที่ ค.40 2-Octenal



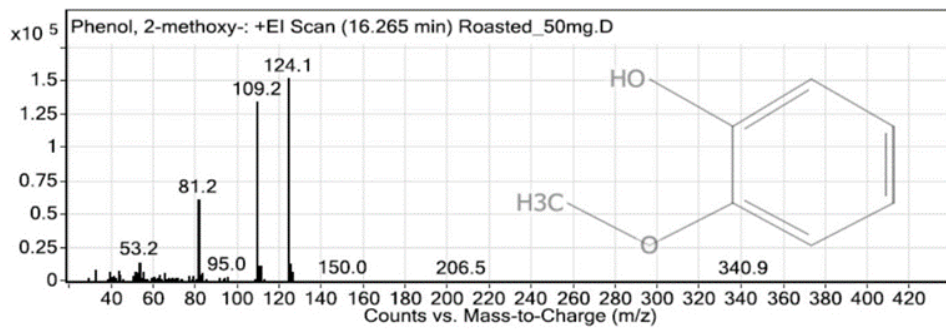
รูปที่ ค.41 Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)



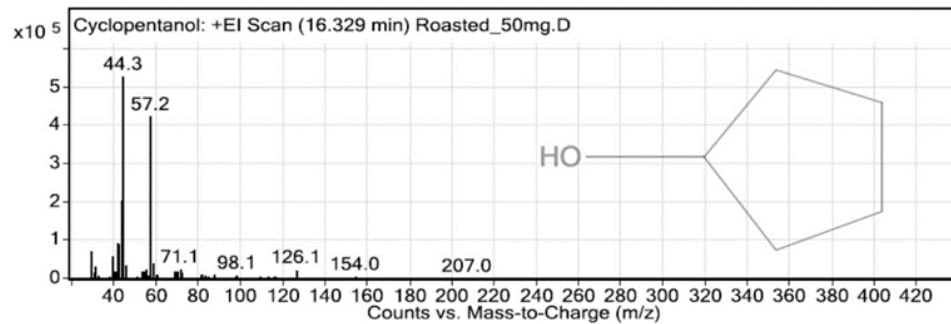
รูปที่ ค.42 Cyclohexanone, 3,5-dimethyl-



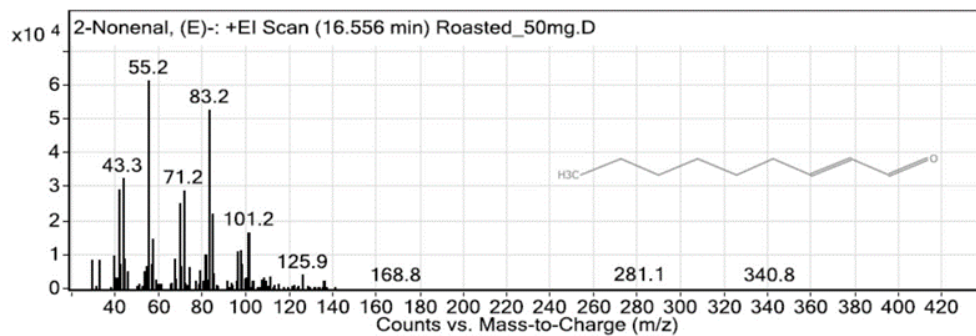
รูปที่ ค.43 Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-



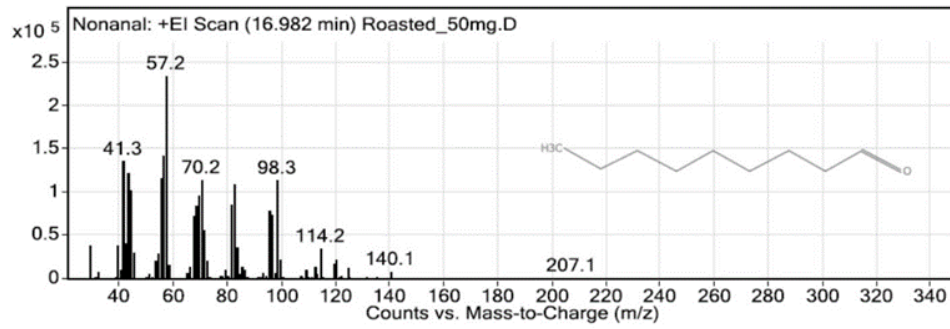
รูปที่ ค.44 Phenol, 2-methoxy-



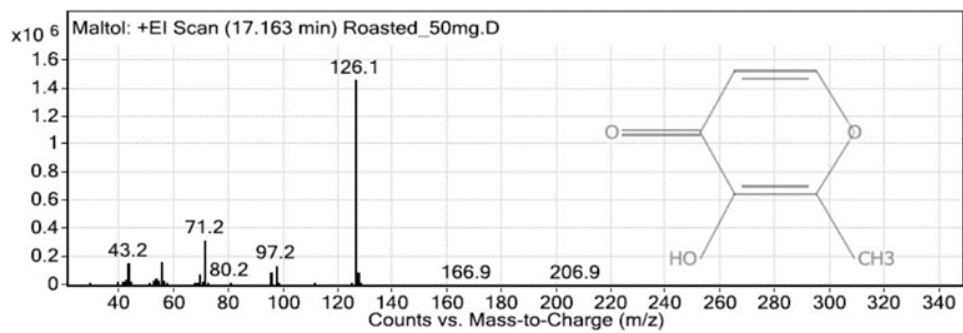
รูปที่ ค.45 Cyclopentanol



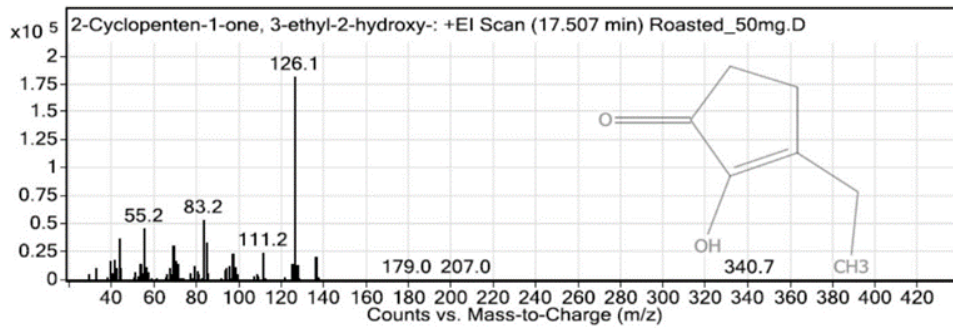
รูปที่ ค.46 2-Nonenal, (E)-



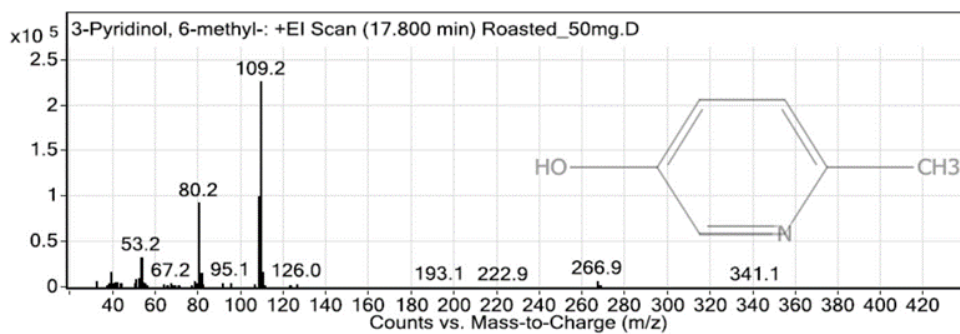
รูปที่ ค.47 Nonanal



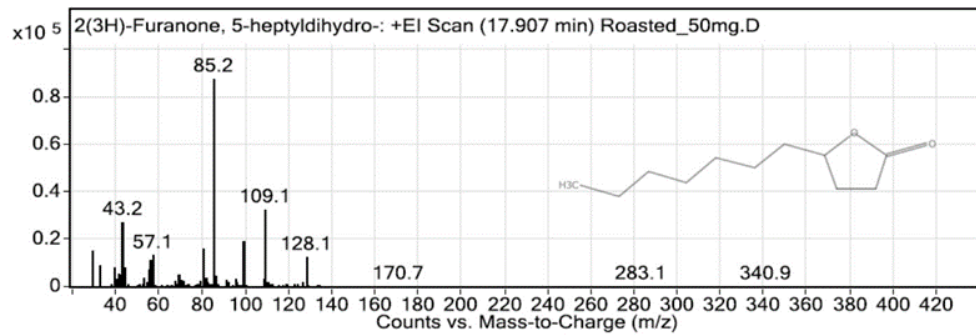
รูปที่ ค.48 Maltol



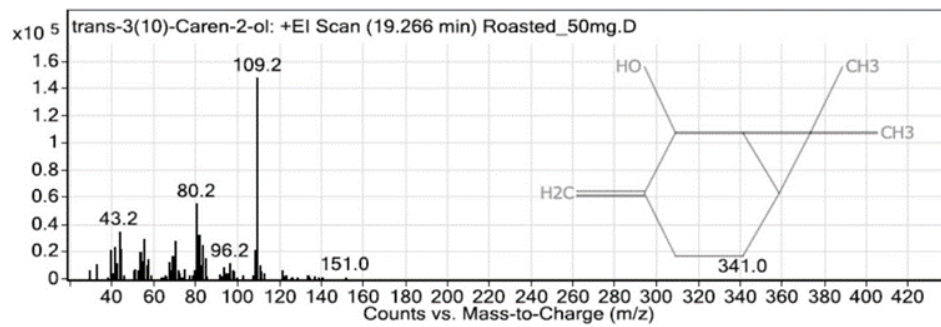
รูปที่ ค.49 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-



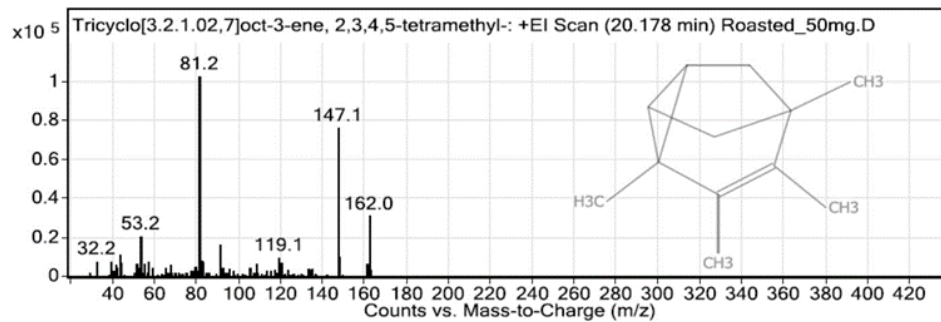
รูปที่ ค.50 3-Pyridinol, 6-methyl-



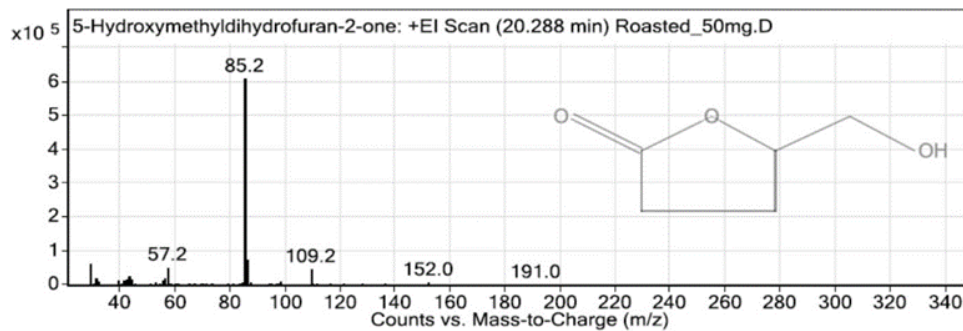
รูปที่ ค.51 2(3H)-Furanone, 5-heptyldihydro-



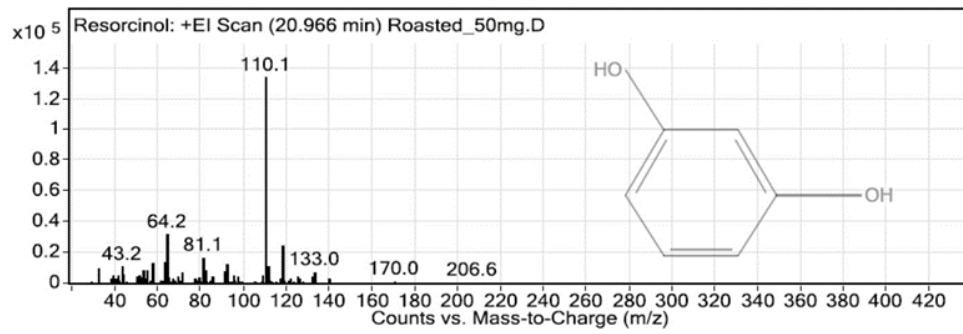
รูปที่ ค.52 trans-3(10)-Caren-2-ol



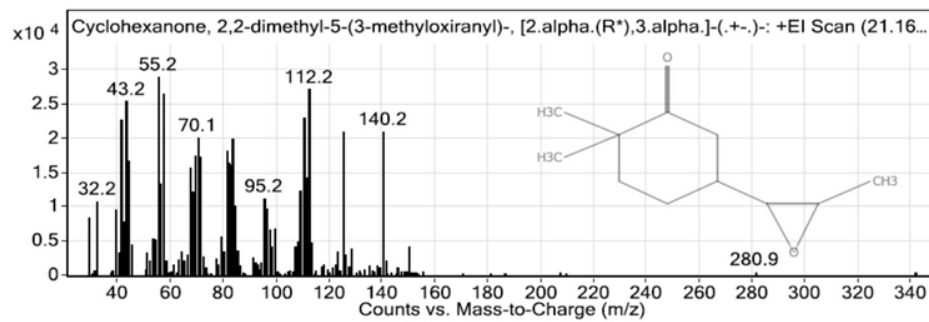
รูปที่ ค.53 Tricyclo[3.2.1.0(2,7)]oct-3-ene, 2,3,4,5-tetramethyl-



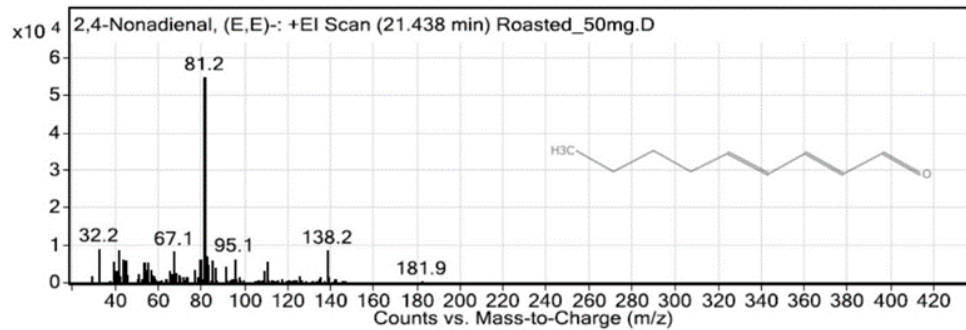
รูปที่ ค.54 5-Hydroxymethyldihydrofuran-2-one



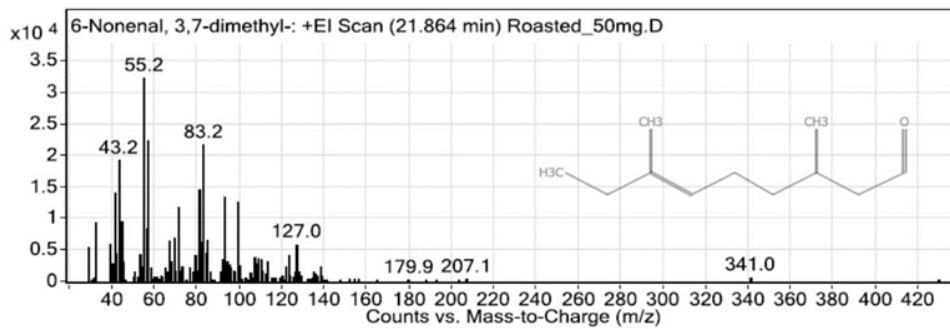
รูปที่ ค.55 Resorcinol



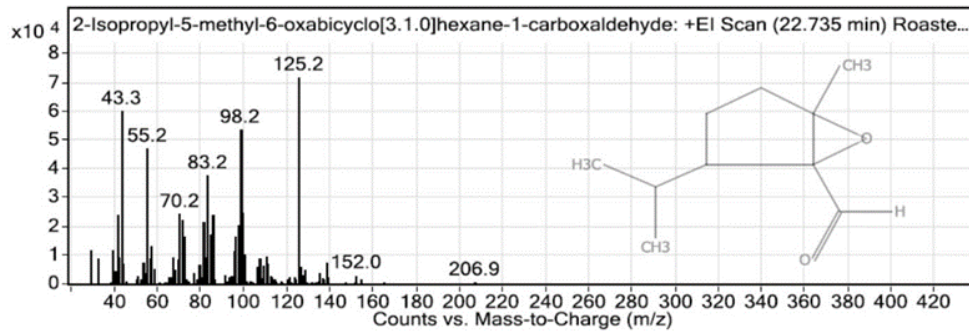
รูปที่ ค.56 Cyclohexane, 2,2-dimethyl-5-(3-methyloxiranyl)-, [2.alpha.(R*),3.alpha.]



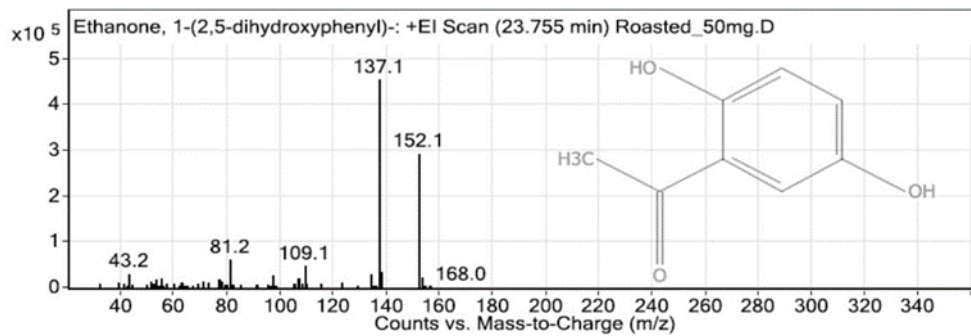
รูปที่ ค.57 2,4-Nonadienal, (E,E)-



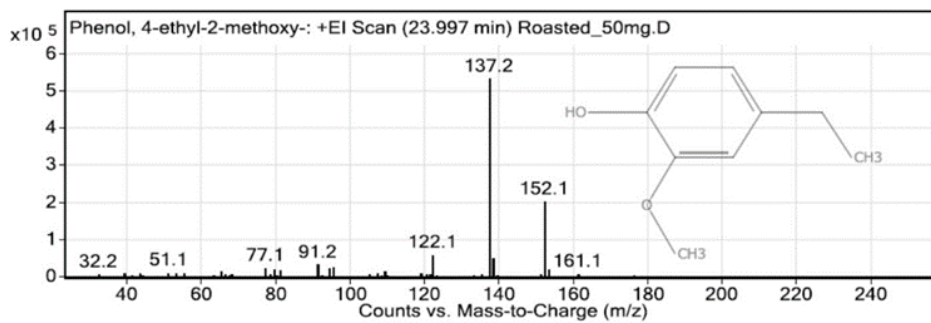
รูปที่ ค.58 6-Nonenal, 3,7-dimethyl-



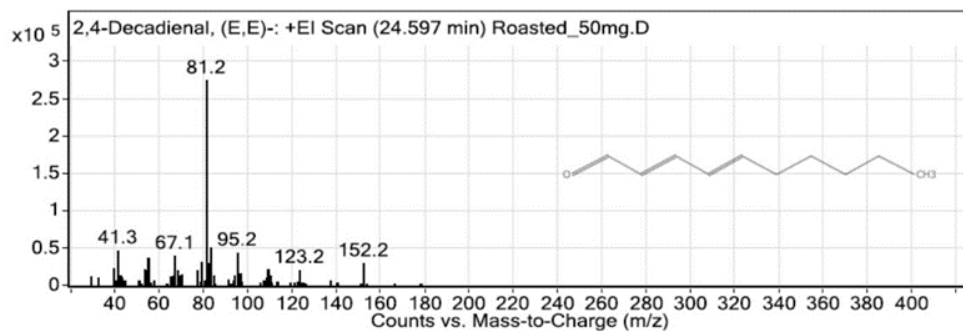
รูปที่ ค.59 2-Isopropyl-5-methyl-6-oxabicyclo[3.1.0]hexane-1-carboxaldehyde



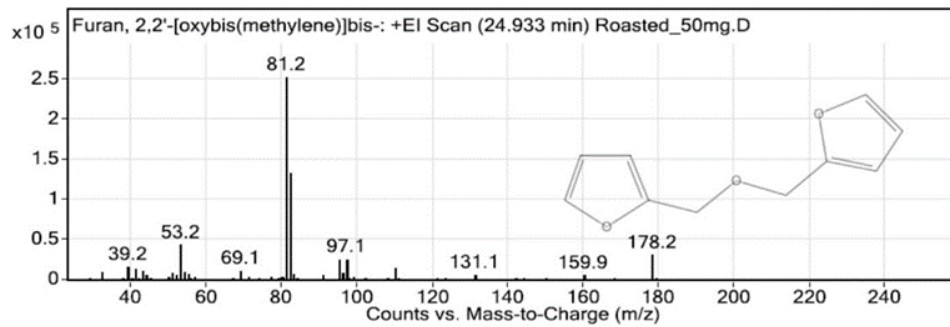
รูปที่ ค.60 Ethanone, 1-(2,5-dihydroxyphenyl)-



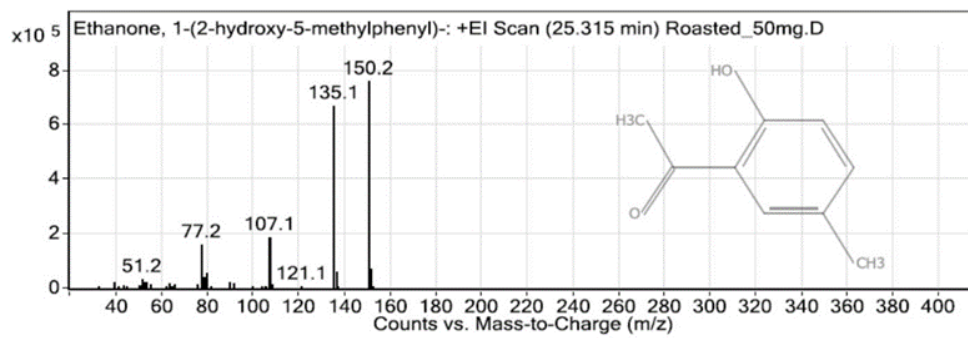
รูปที่ ค.61 Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-



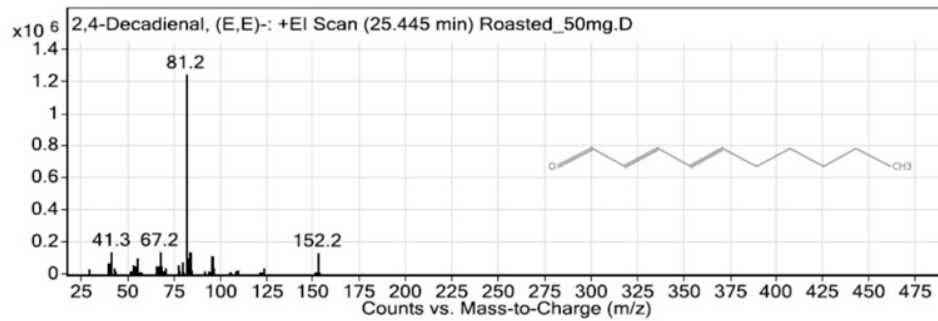
รูปที่ ค.62 2,4-Decadienal, (E,E)-



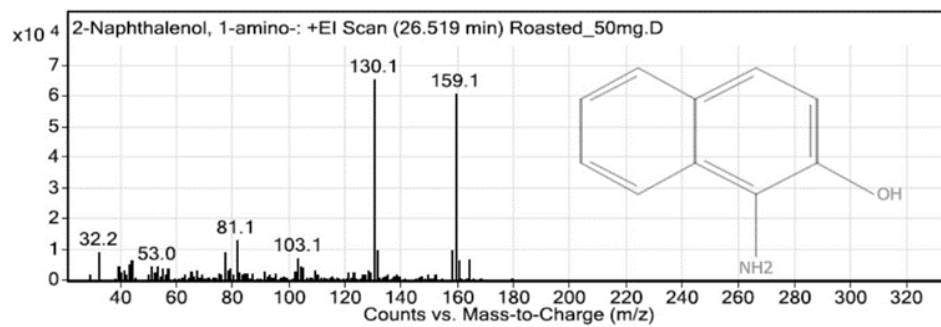
รูปที่ ค.63 Furan, 2,2'-[oxybis(methylene)]bis-



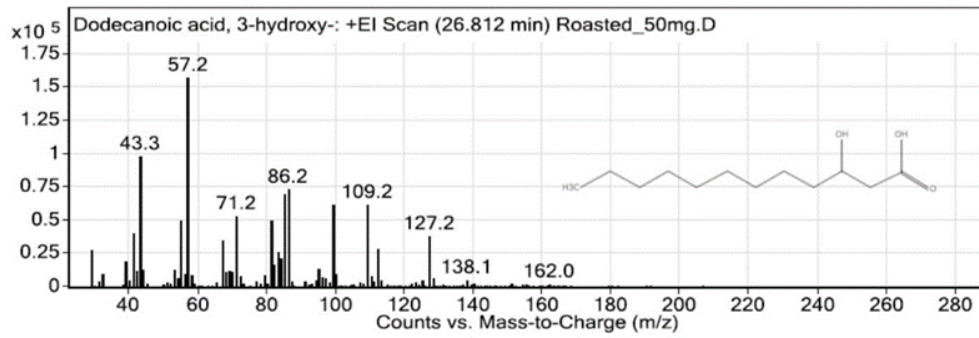
รูปที่ ค.64 Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-



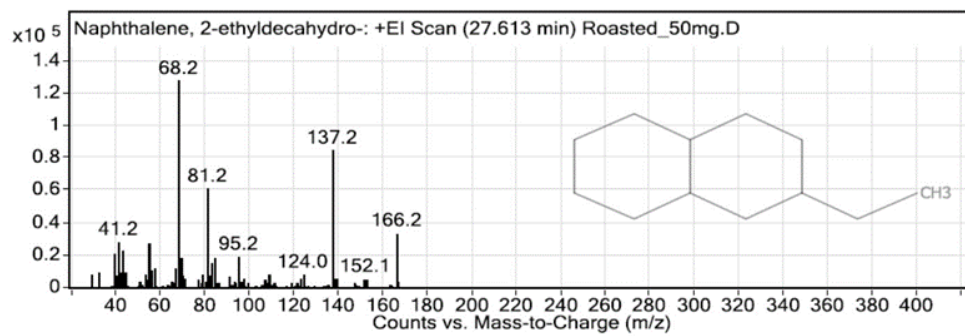
รูปที่ ค.65 2,4-Decadienal. (E, E)-



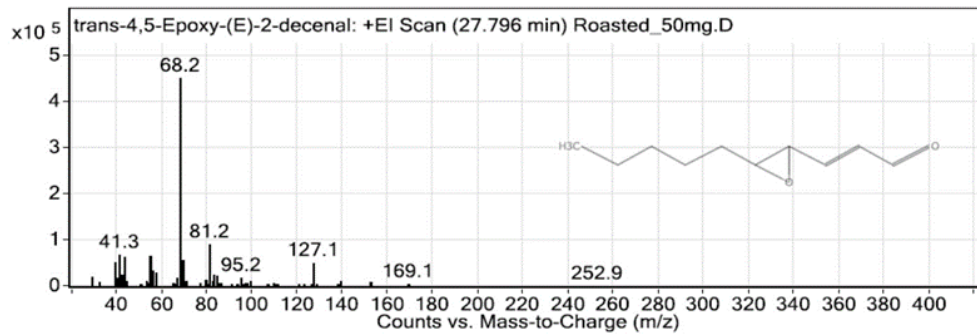
รูปที่ ค.66 2-Naphthalenol, 1-amino-



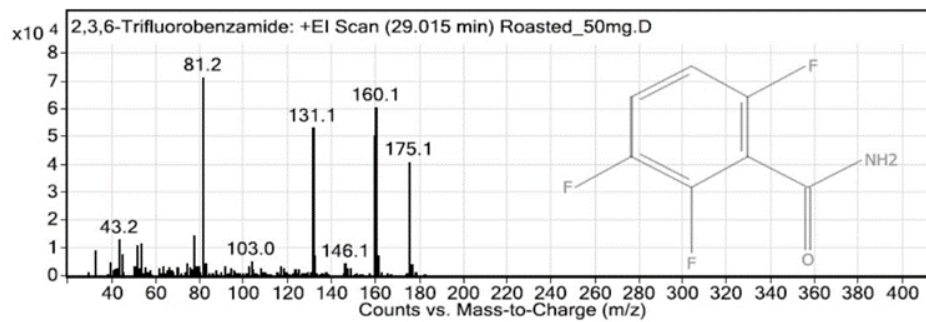
รูปที่ ค.67 Dodecanoic acid, 3-hydroxy-



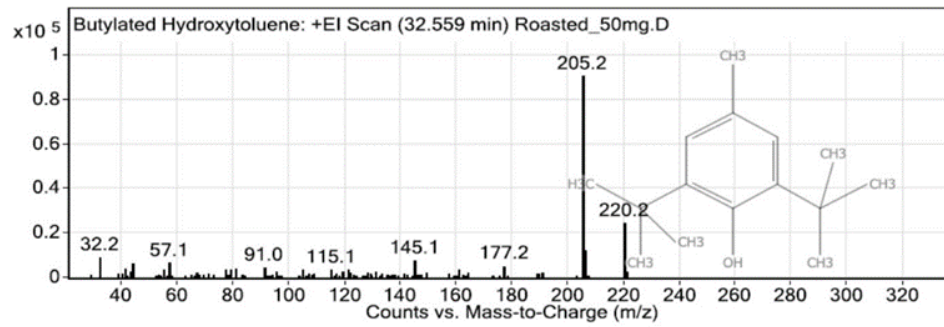
รูปที่ ค.68 Naphthalene, 2-ethyldecahydro-



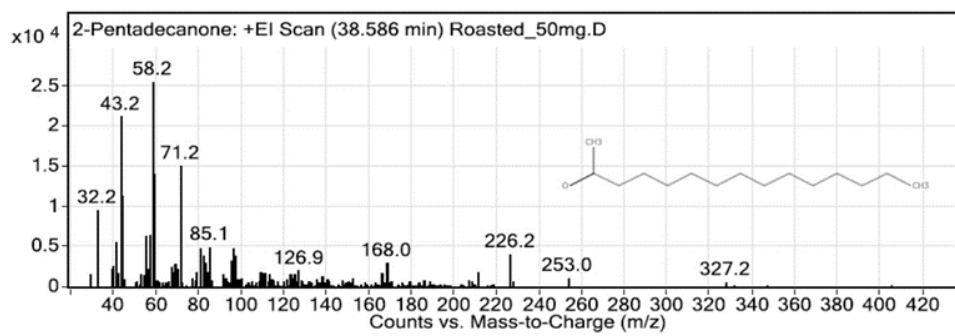
รูปที่ ค.69 trans-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal



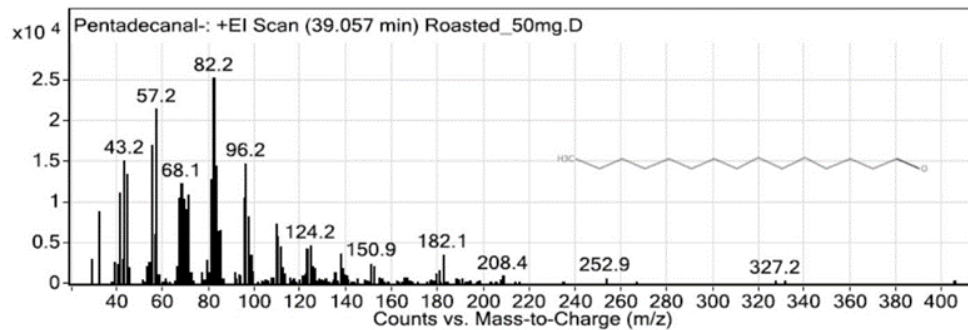
รูปที่ ค.70 2,3,6-Trifluorobenzamide



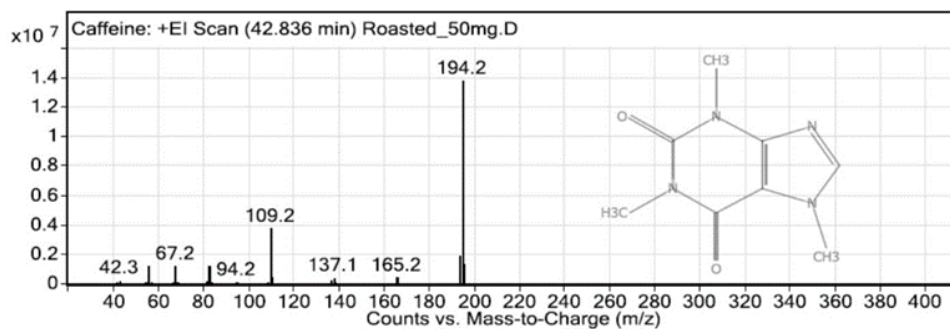
รูปที่ ค.71 Butylated hydroxytoluene



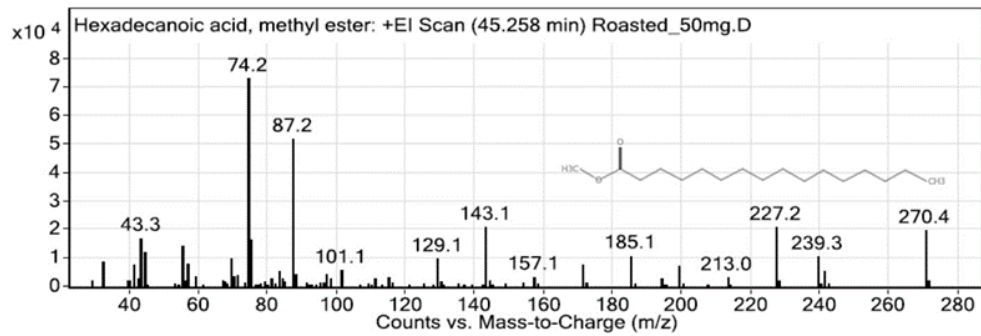
รูปที่ ค.72 2-Pentadecanone



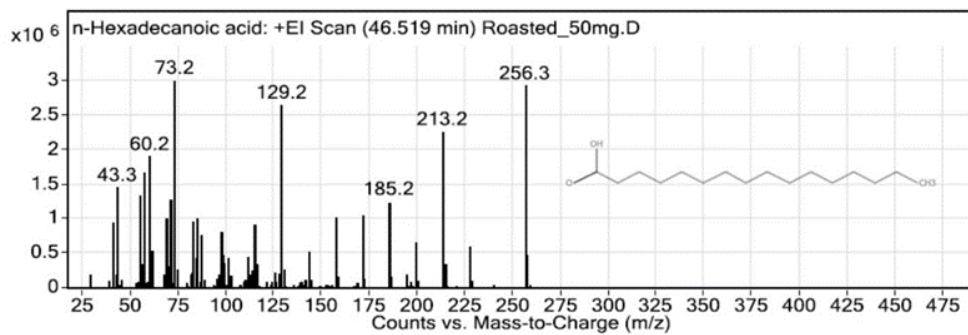
รูปที่ ค.73 Pentadecanal



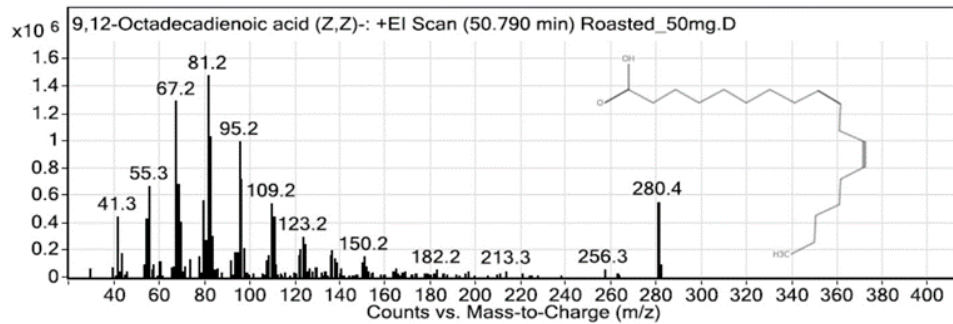
รูปที่ ค.74 Caffeine



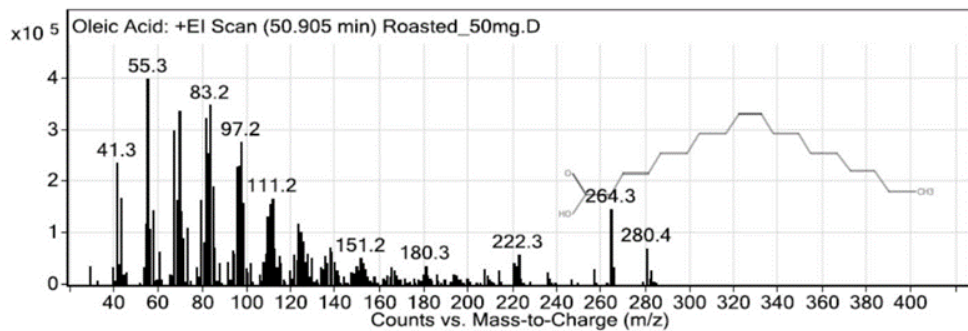
รูปที่ ค.75 Hexadecanoic acid, methyl ester



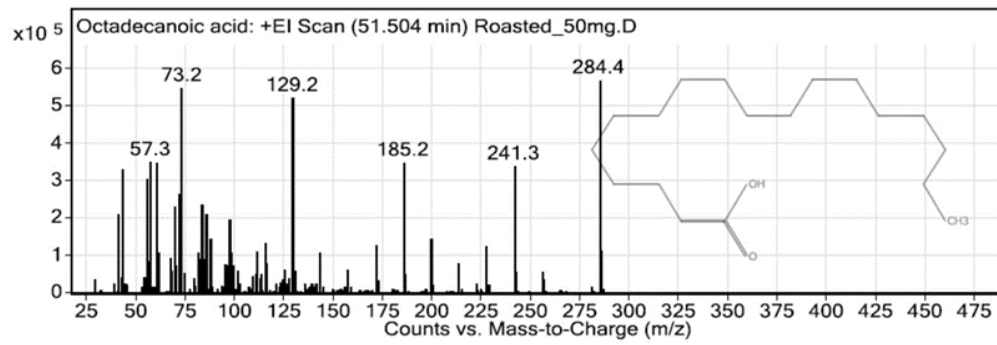
รูปที่ ค.76 n-Hexadecanoic acid



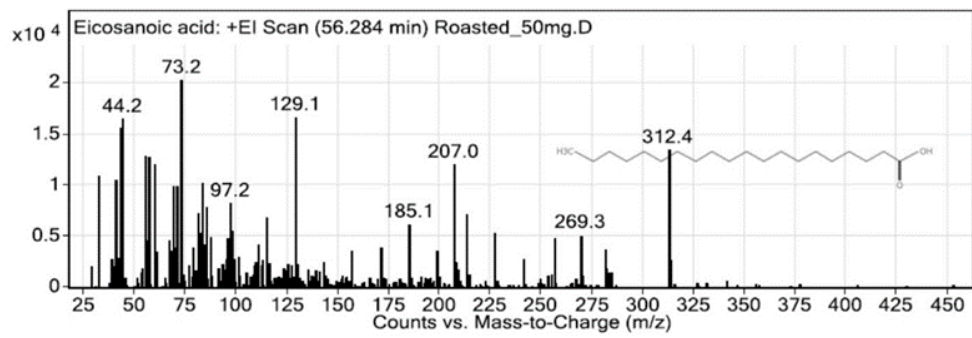
รูปที่ ค.77 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)



รูปที่ ค.78 Oleic acid

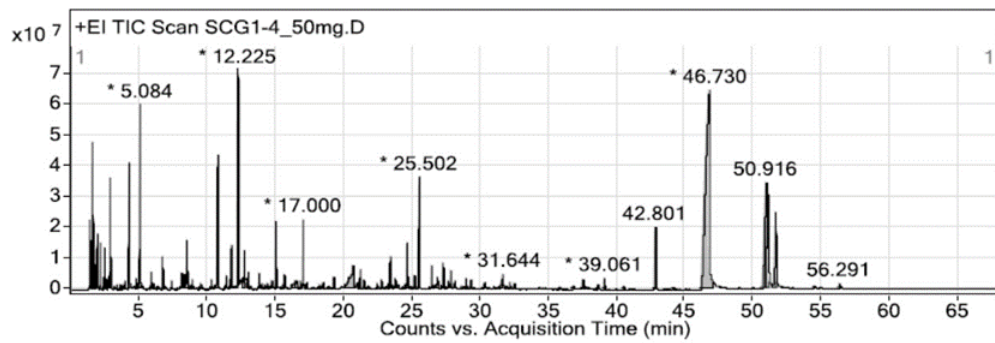


รูปที่ ค.79 Octadecanoic acid



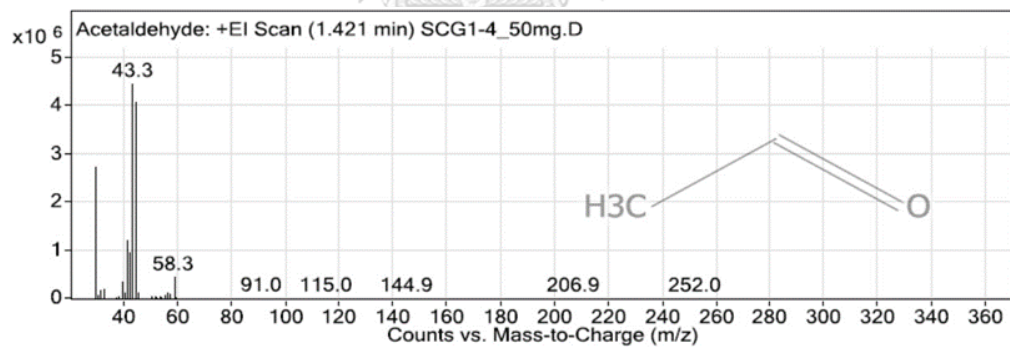
รูปที่ ค.80 Eicosanoic acid

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบในน้ำมันกาแฟจากกากกาแฟคั่วบดด้วย
เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)

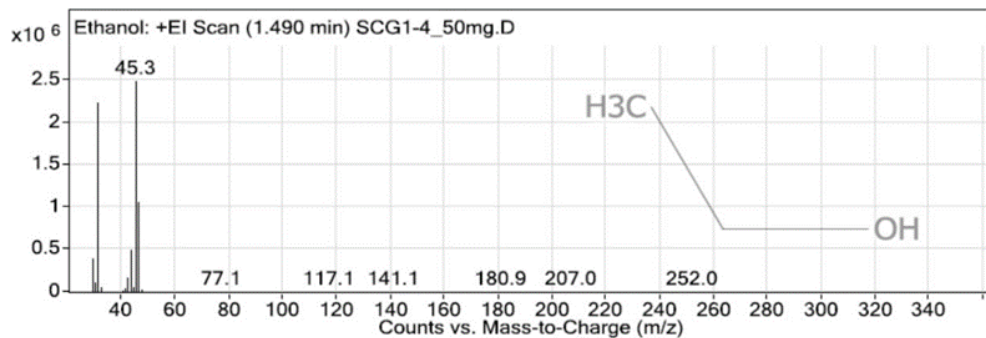


รูปที่ ง.1 โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำมันกาแฟจากกากกาแฟคั่วบด

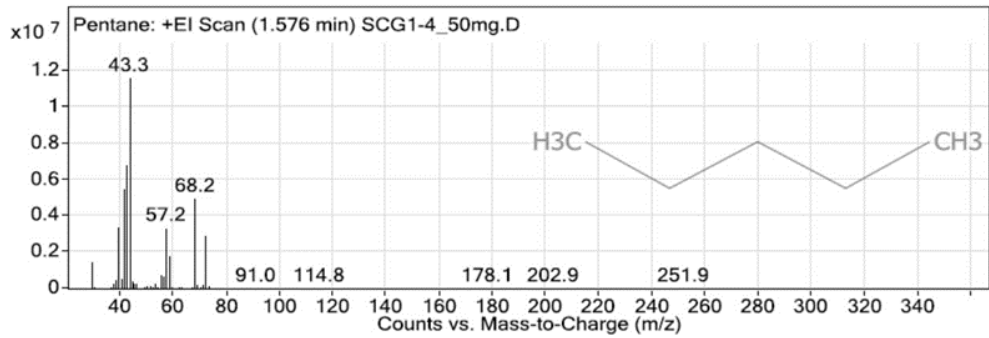
จากรูปที่ ง.1 สามารถวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารระเหยในตัวอย่างน้ำมันกาแฟที่พบ ณ เวลารีเทนชัน (retention time) ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ ง.2 - ง.113 โดยห้องค์ประกอบแสดงด้านมุมบนซ้ายมือของภาพและเวลารีเทนชันแสดงในวงเล็บหลังคำว่า +EI Scan



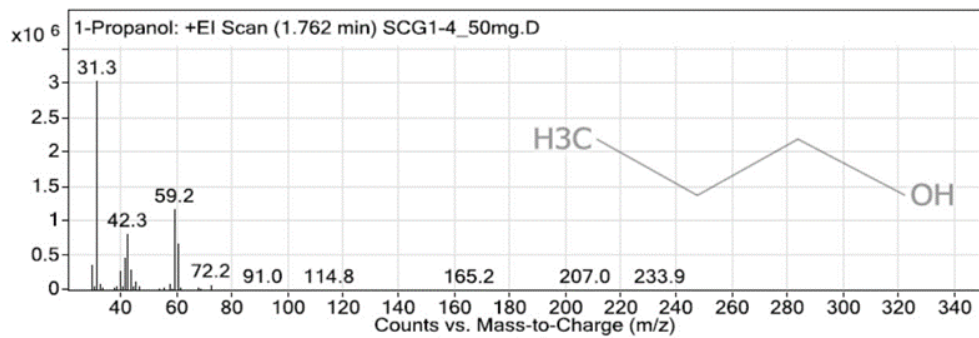
รูปที่ ง.2 Acetaldehyde



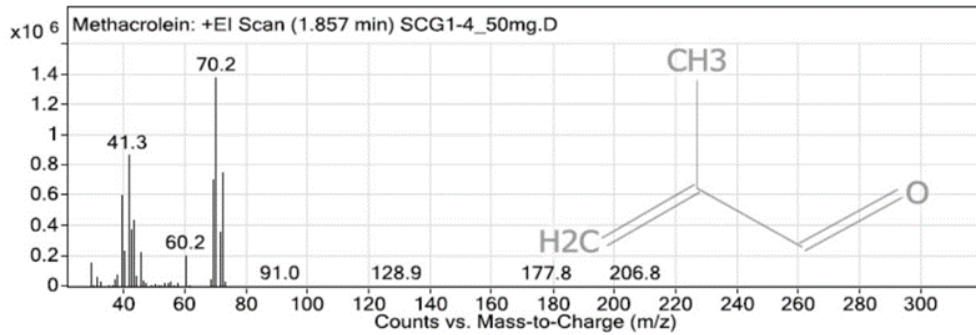
รูปที่ ง.3 Ethanol



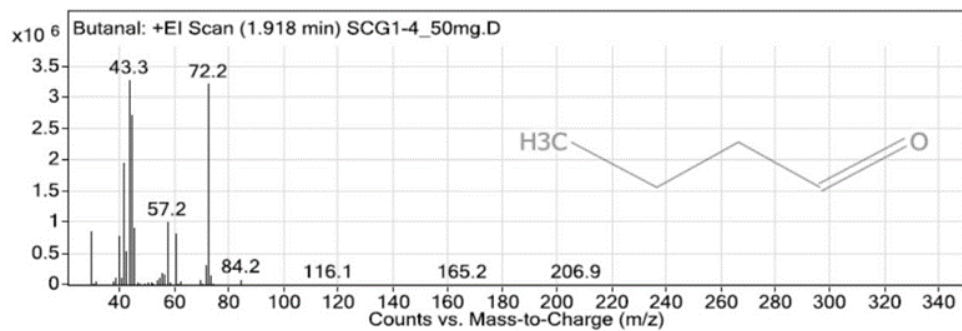
รูปที่ ๓.4 Pentane



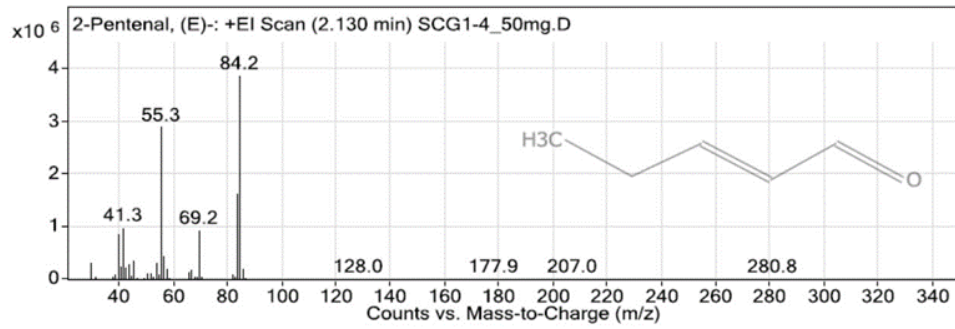
รูปที่ ๓.5 1-Propanol



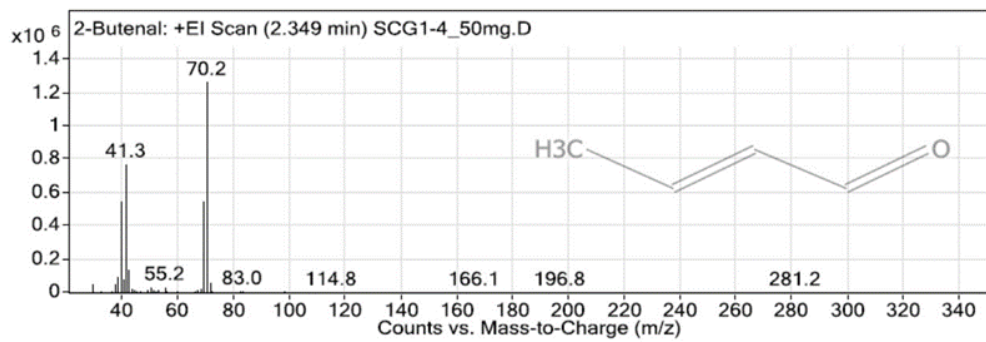
รูปที่ ๓.6 Methacrolein



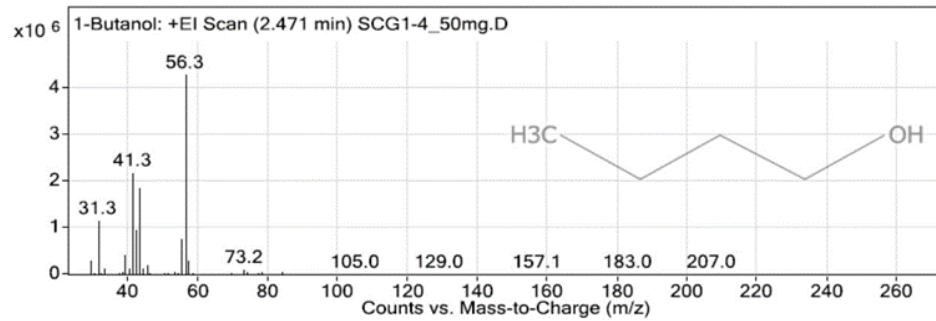
รูปที่ ๓.7 Butanal



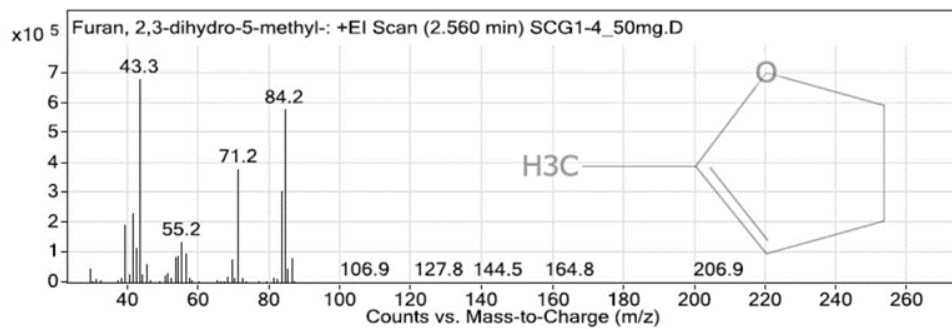
รูปที่ ๘.8 2-Pentenal, (E)-



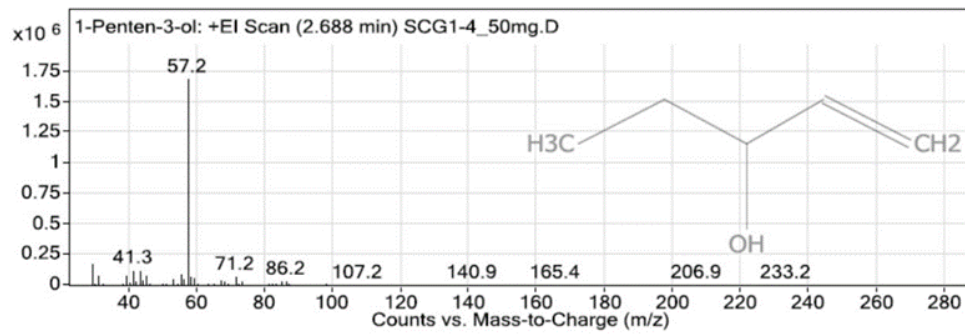
รูปที่ ๘.9 2-Butenal



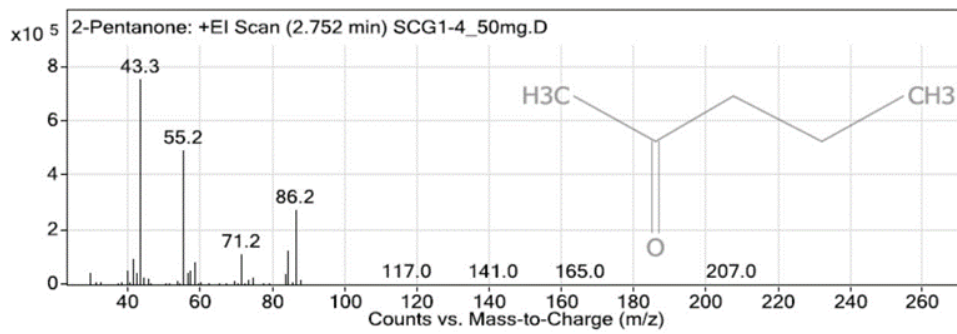
รูปที่ ๘.10 1-Butanol



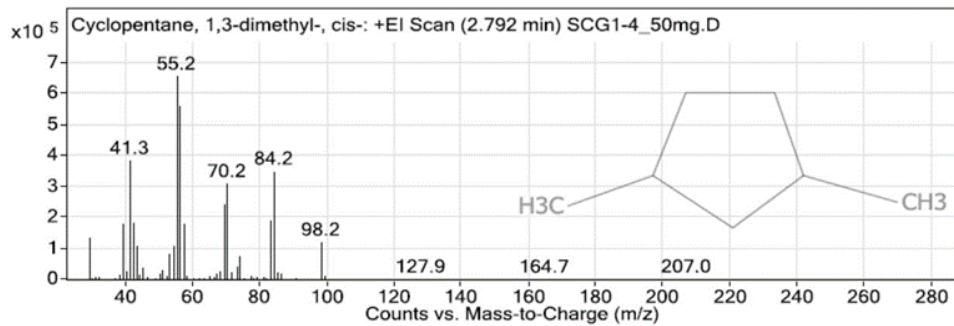
รูปที่ ๘.11 Furan, 2,3-dihydro-5-methyl-



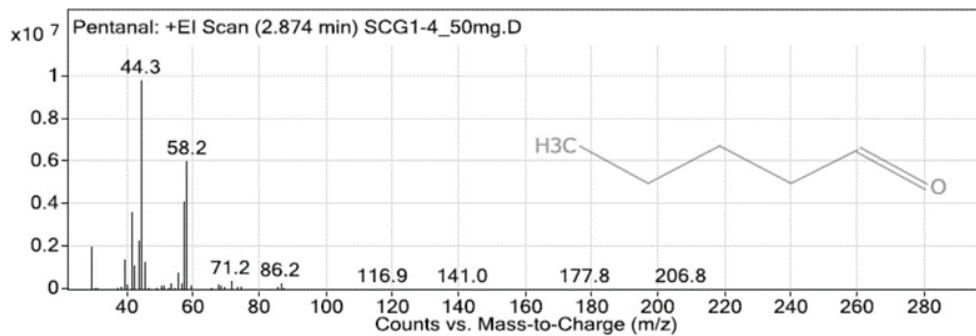
រូបទី ១.១២ 1-Penten-3-ol



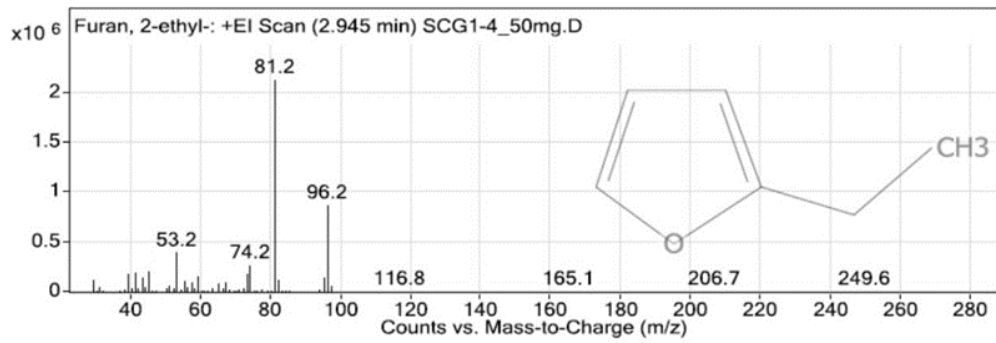
រូបទី ១.១៣ 2-Pentanone



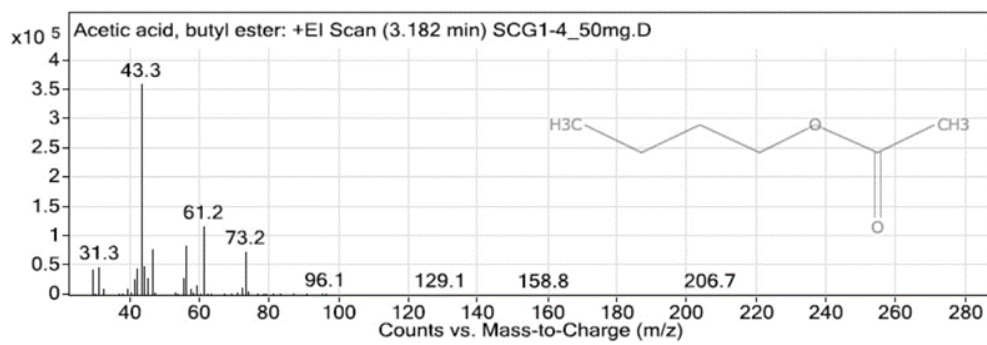
រូបទី ១.១៤ Cyclopentane, 1,3-dimethyl-, cis-



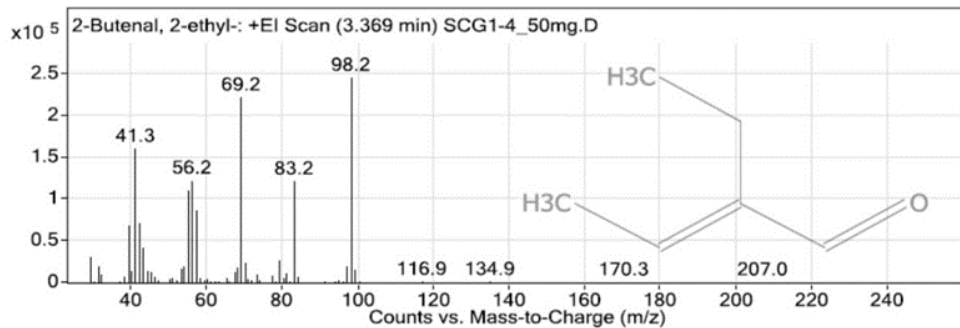
រូបទី ១.១៥ Pentanal



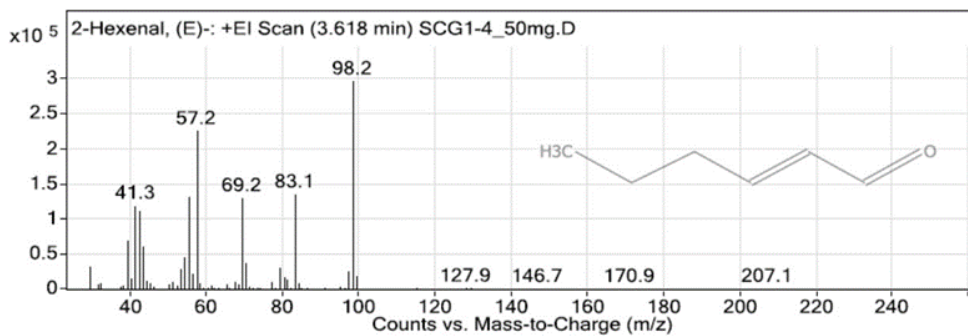
รูปที่ ง.16 Furan, 2-ethyl-



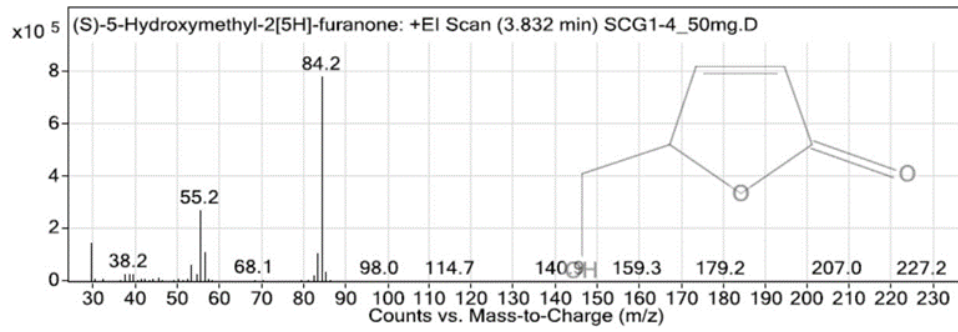
รูปที่ ง.17 Acetic acid, butyl ester



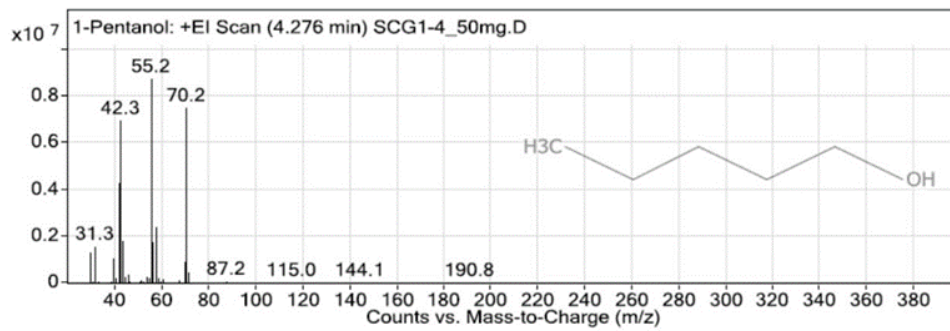
รูปที่ ง.18 2-Butenal, 2-ethyl-



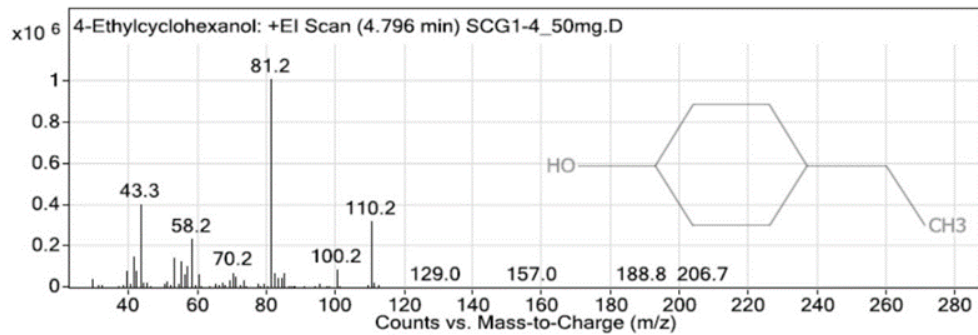
รูปที่ ง.19 2-Hexenal, (E)-



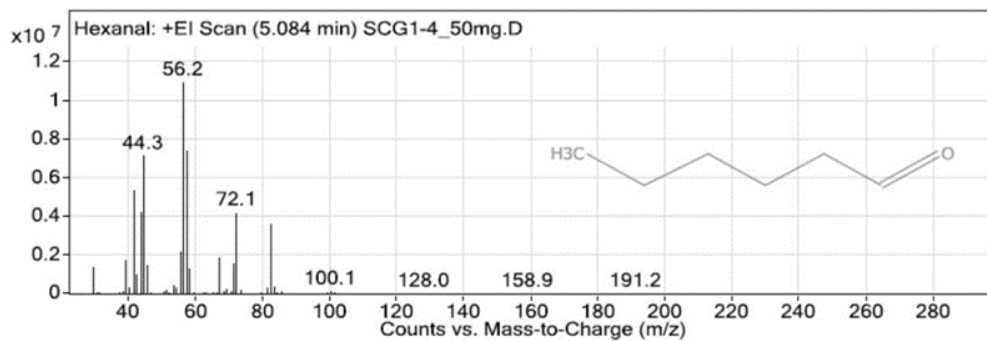
รูปที่ ๓.20 (S)-5-Hydroxymethyl-2[5H]-furanone



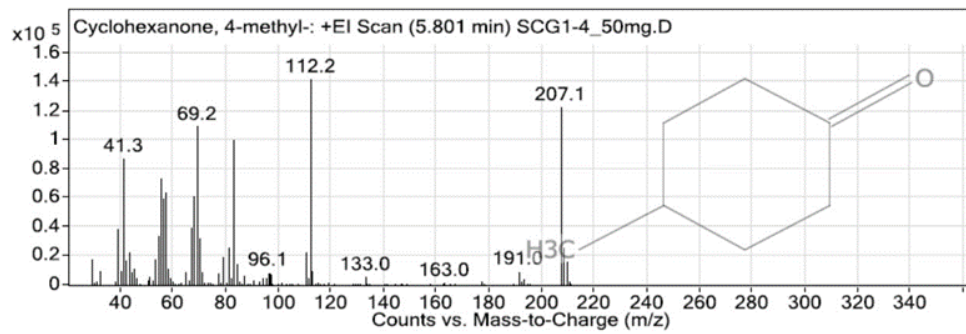
รูปที่ ๓.21 1-Pentanol



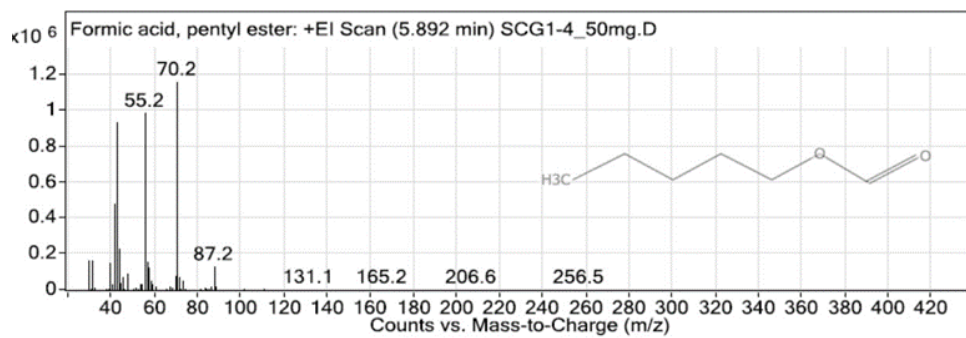
รูปที่ ๓.22 4-Ethylcyclohexanol



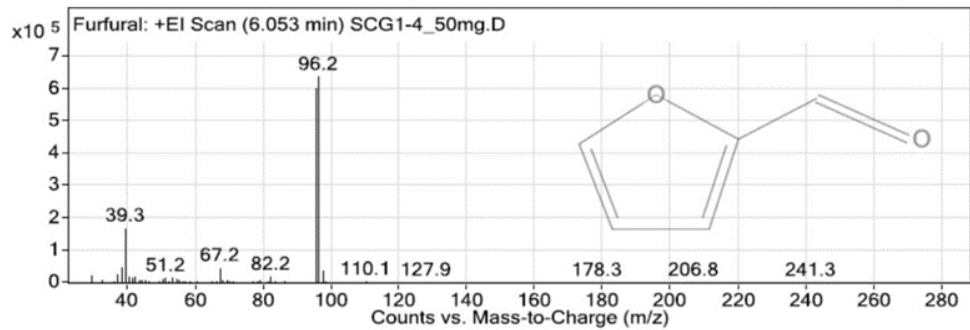
รูปที่ ๓.23 Hexanal



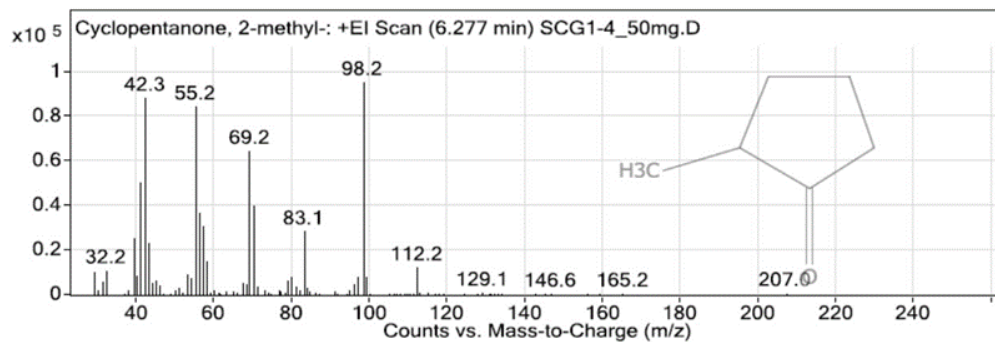
รูปที่ ๓.24 Cyclohexanone, 4-methyl-



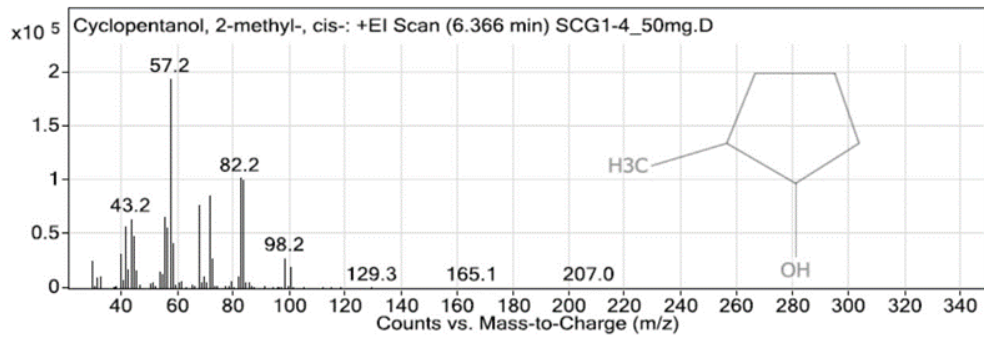
รูปที่ ๓.25 Formic acid, pentyl ester



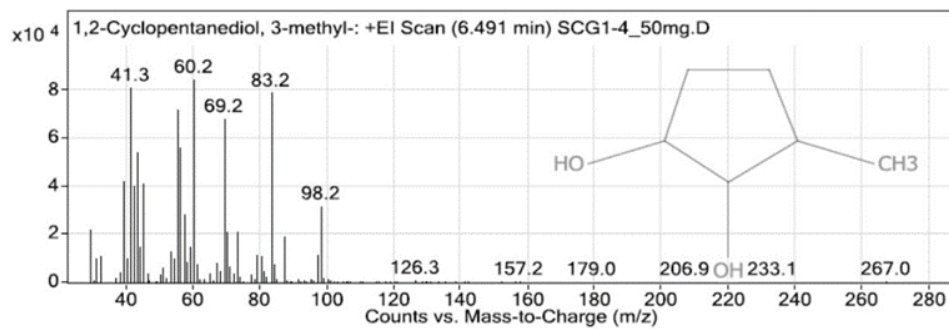
รูปที่ ๓.26 Furfural



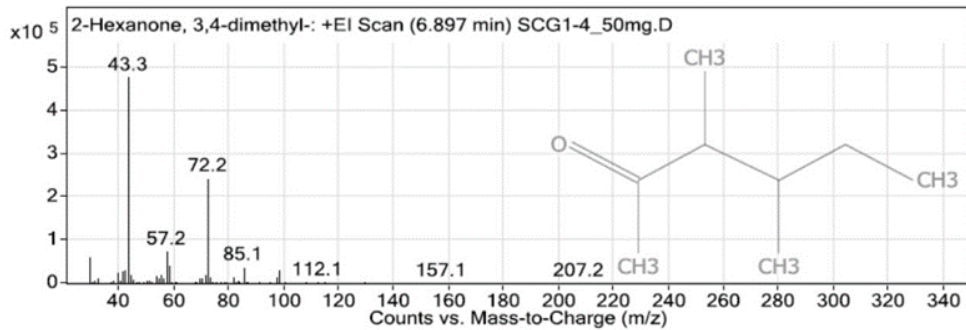
รูปที่ ๓.27 Cyclopentanone, 2-methyl-



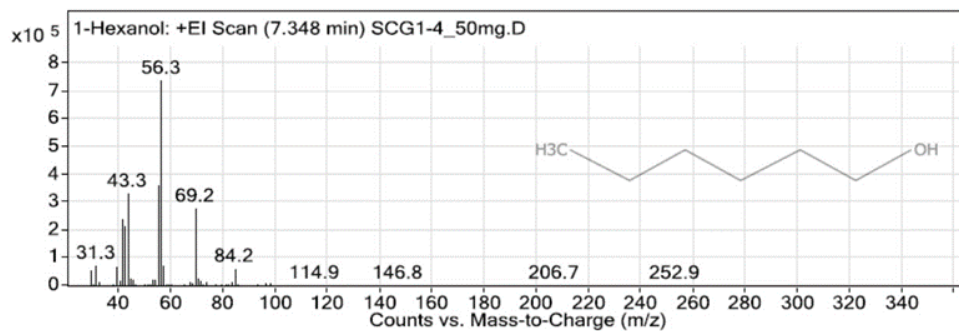
รูปที่ ๓.๒๘ Cyclopentanol, 2-methyl-, cis-



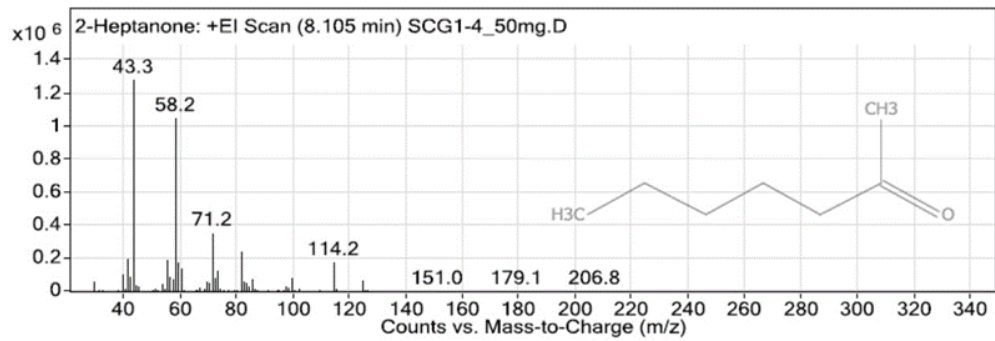
รูปที่ ๓.๒๙ 1,2-Cyclopentanediol, 3-methyl-



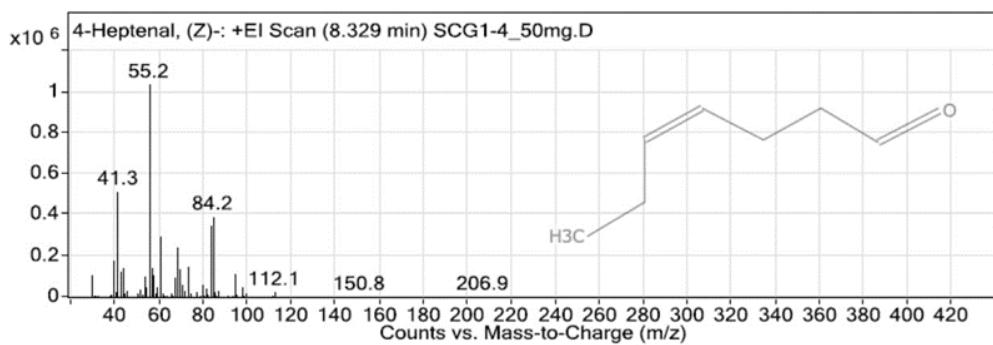
รูปที่ ๓.๓๐ 2-Hexanone, 3,4-dimethyl-



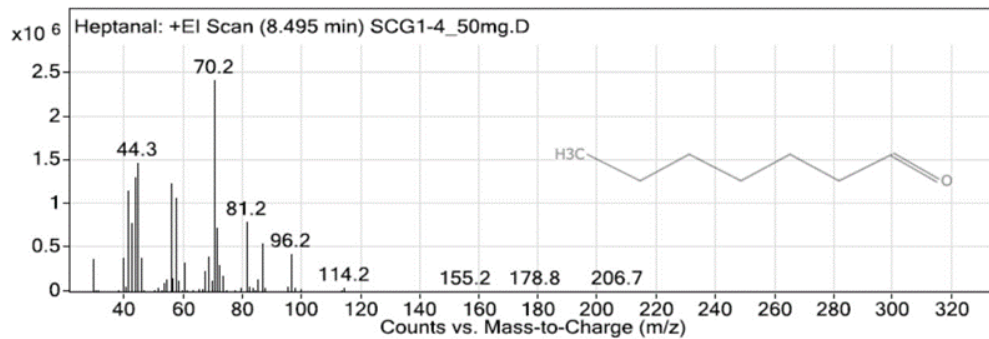
รูปที่ ๓.๓๑ 1-Hexanol



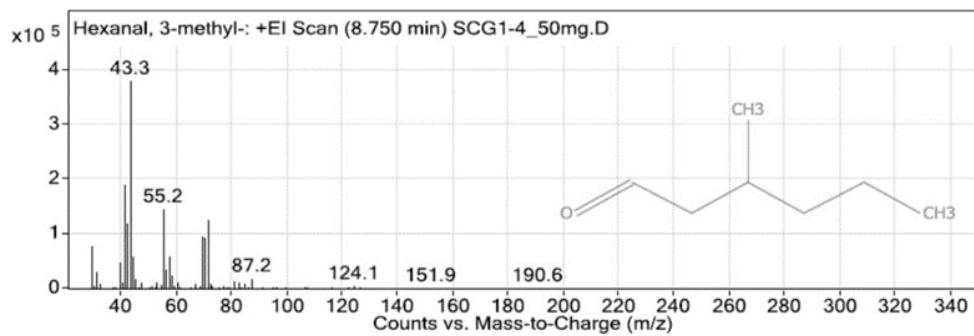
รูปที่ ๓.32 2-Heptanone



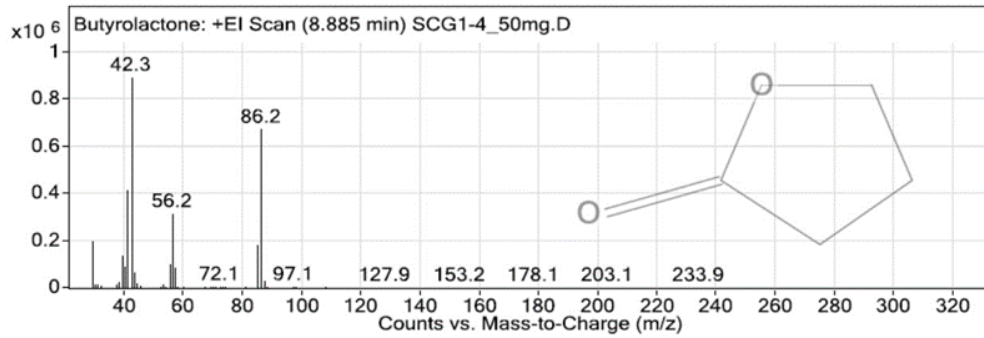
รูปที่ ๓.33 4-Heptenal, (Z)-



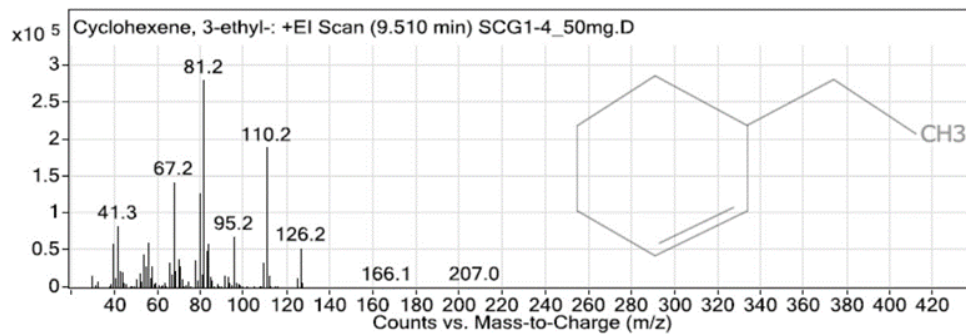
รูปที่ ๓.34 Heptanal



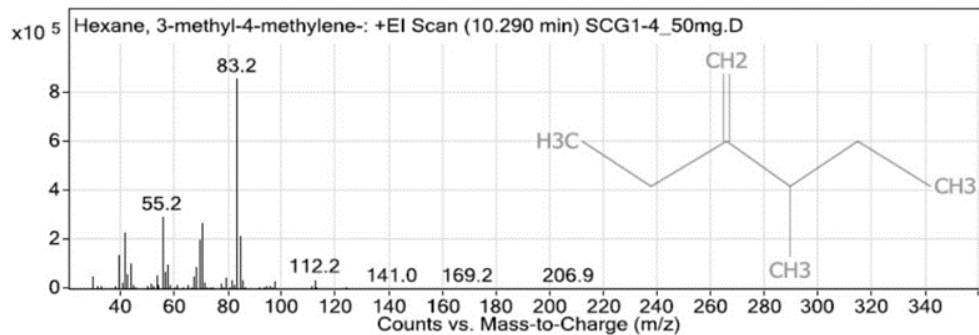
รูปที่ ๓.35 Hexanal, 3-methyl-



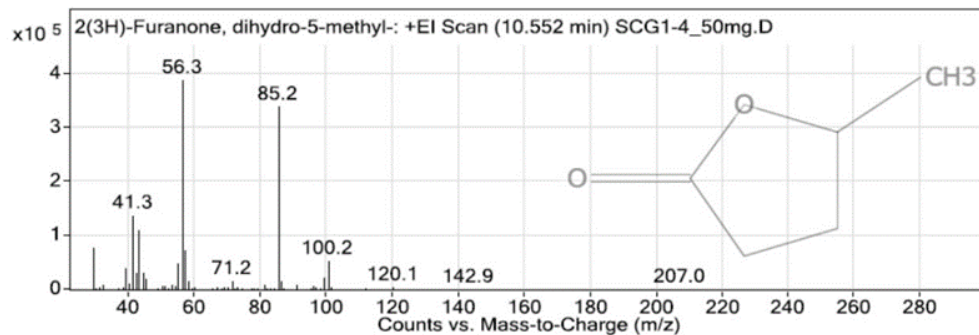
รูปที่ ๓.36 Butyrolactone



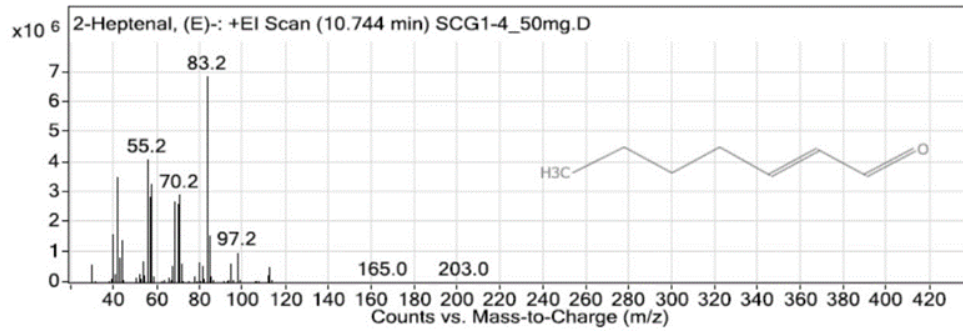
รูปที่ ๓.37 Cyclohexene, 3-ethyl-



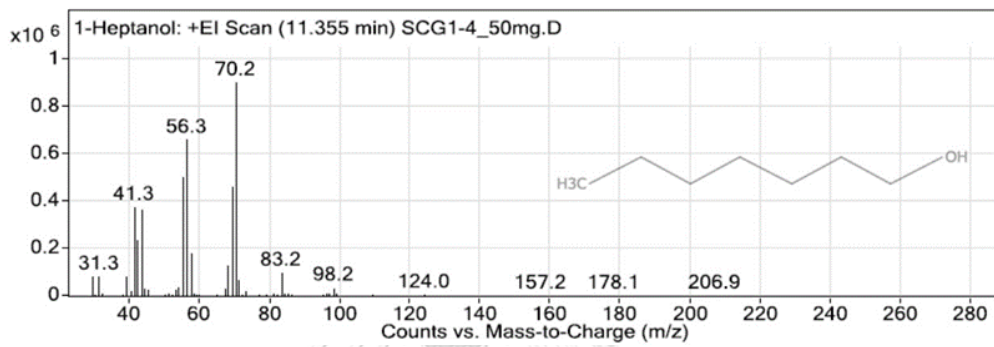
รูปที่ ๓.38 Hexane, 3-methyl-4-methylene-



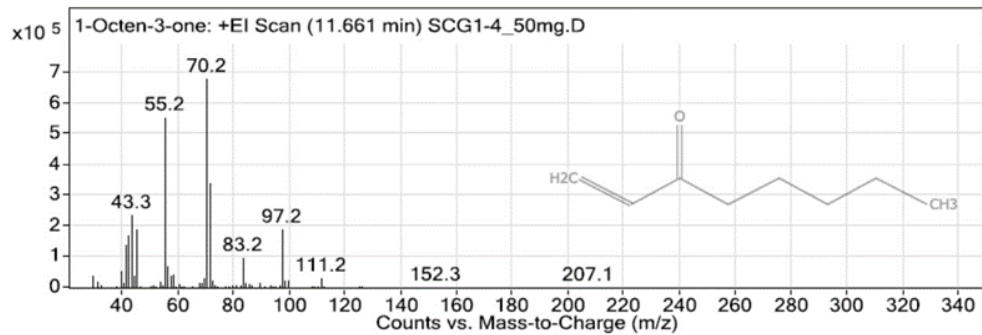
รูปที่ ๓.39 2(3H)-Furanone, dihydro-5-methyl-



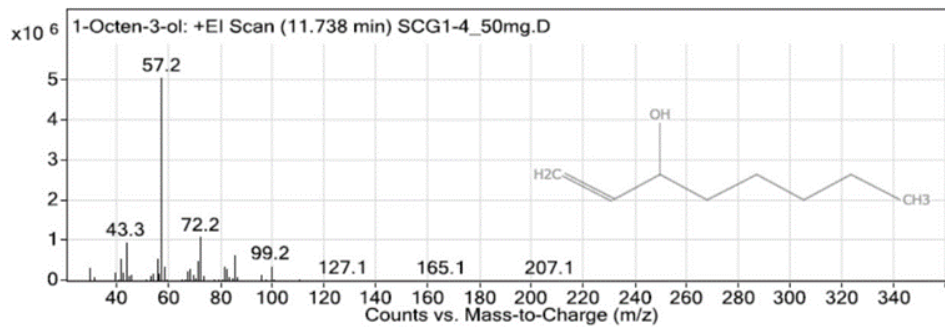
รูปที่ ๓.๔๐ 2-Heptenal, (E)-



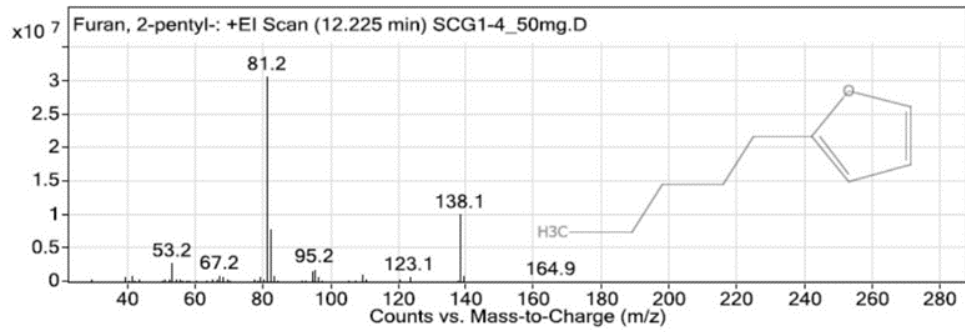
รูปที่ ๓.๔๑ 1-Heptanol



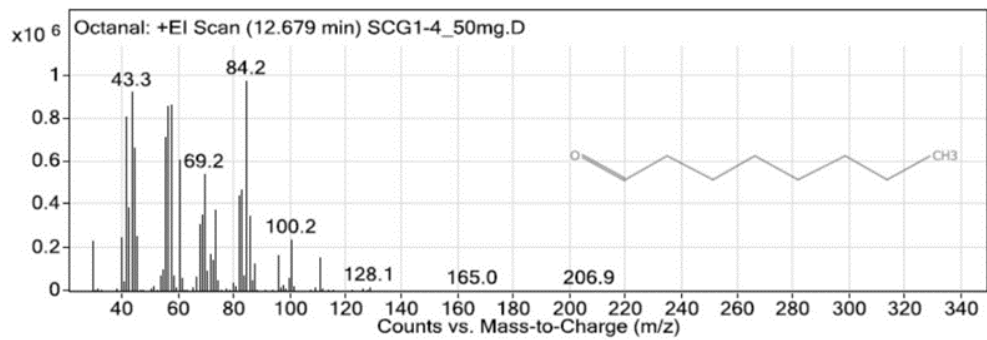
รูปที่ ๓.๔๒ 1-Octen-3-one



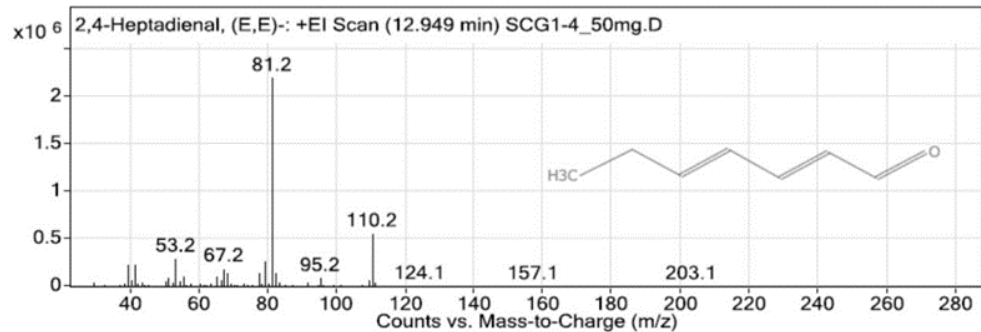
รูปที่ ๓.๔๓ 1-Octen-3-ol



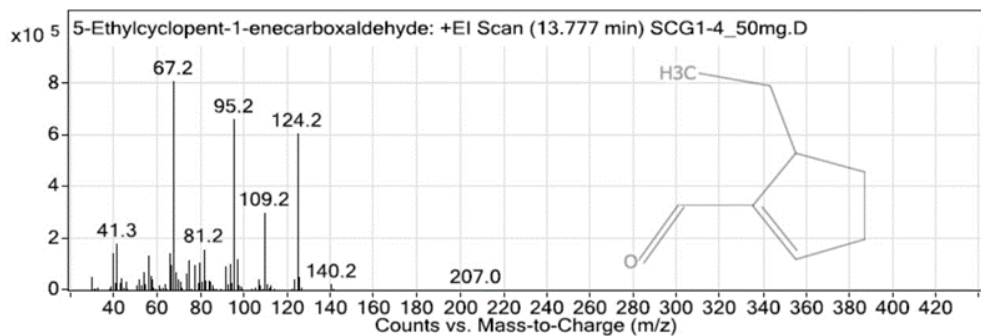
รูปที่ ๓.๔๔ Furan, 2-pentyl



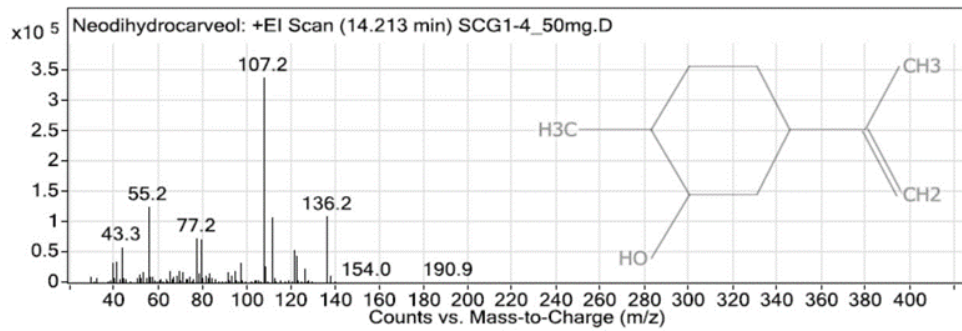
รูปที่ ๓.๔๕ Octanal



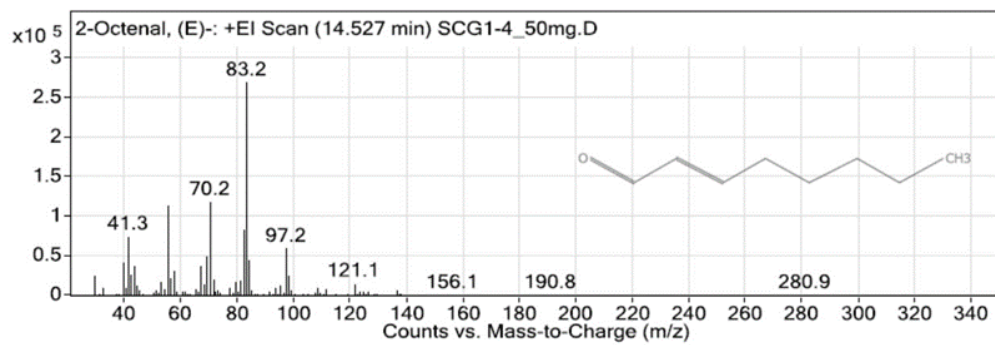
รูปที่ ๓.๔๖ 2,4-Heptadienal, (E,E)-



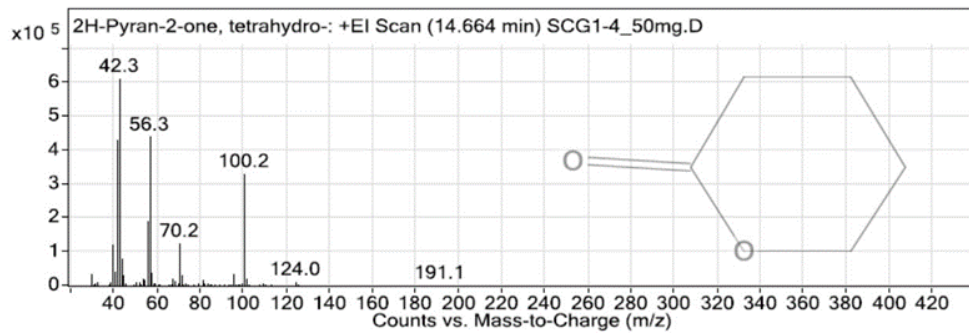
รูปที่ ๓.๔๗ 5-Ethylcyclopent-1-enecarboxaldehyde



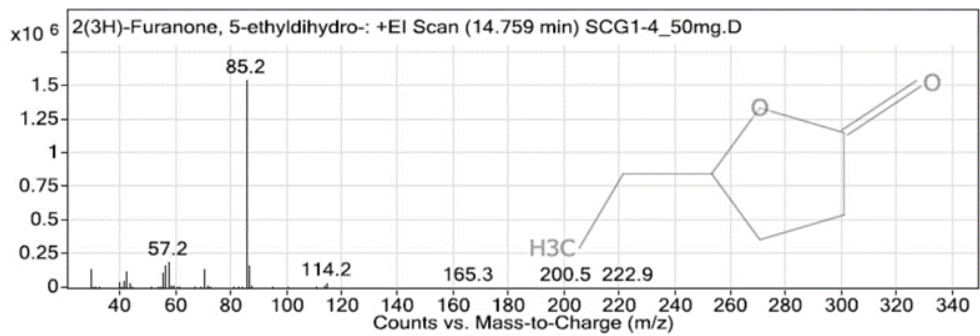
รูปที่ ๓.48 Neodihydrocarveol



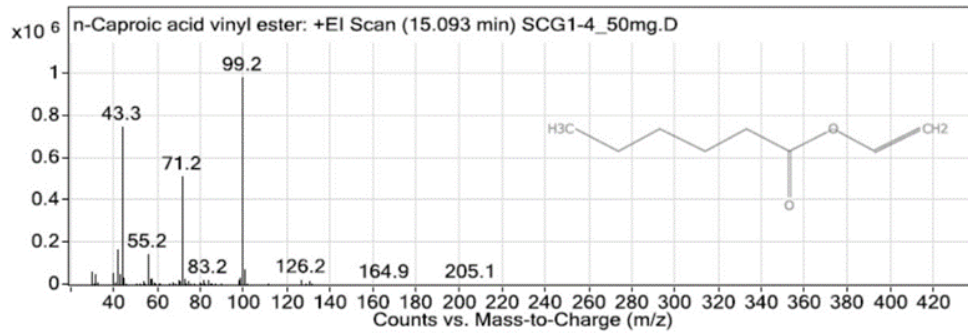
รูปที่ ๓.49 2-Octenal, (E)-



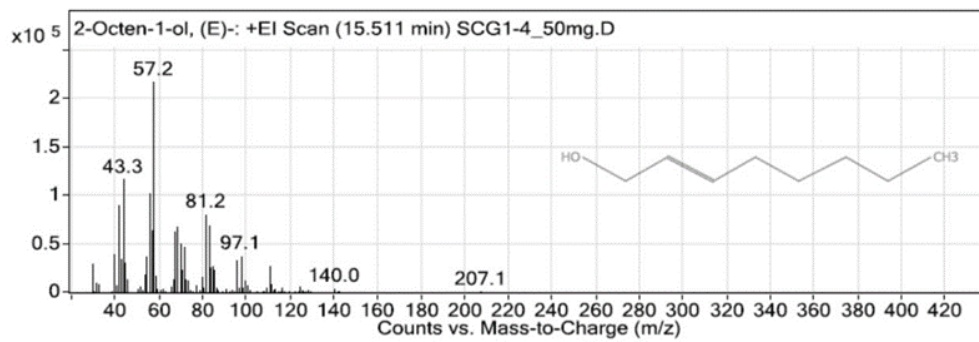
รูปที่ ๓.50 2H-Pyran-2-one, tetrahydro-



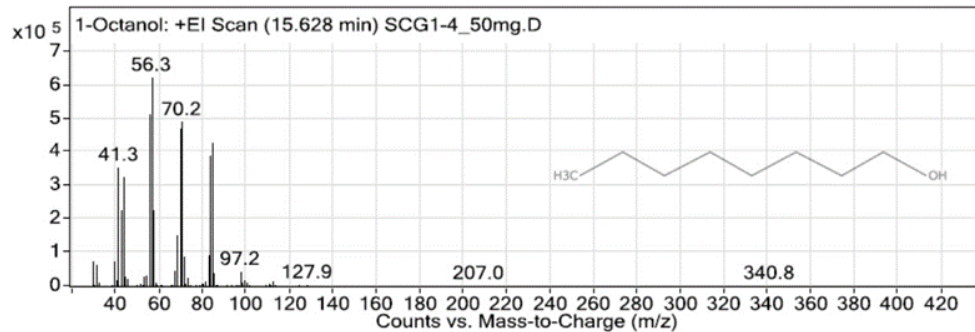
รูปที่ ๓.51 2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro-



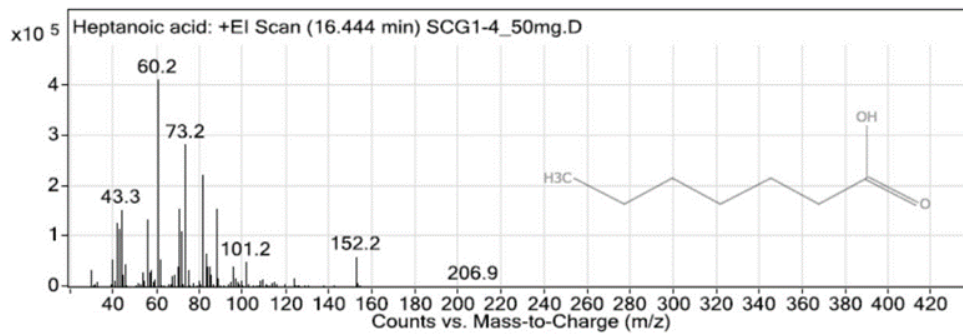
រូបទី ១.52 n-Caproic acid vinyl ester



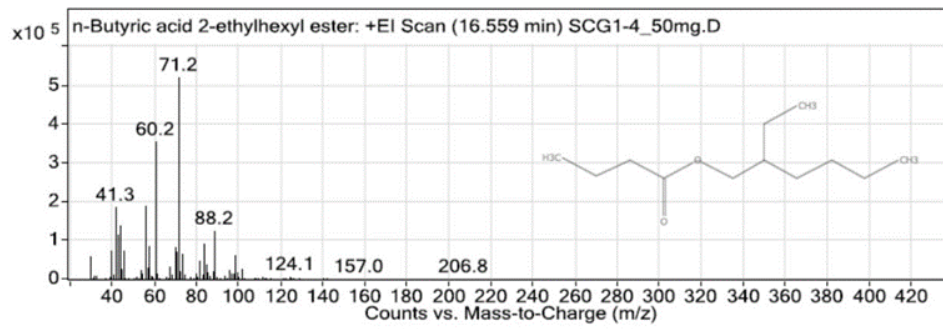
រូបទី ១.53 2-Octen-1-ol



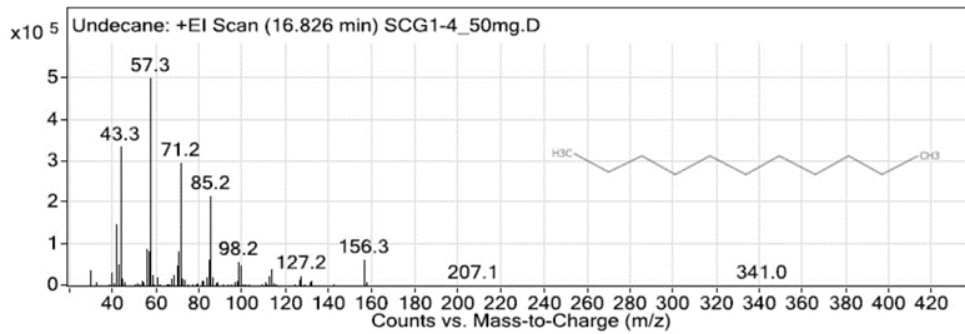
រូបទី ១.54 1-Octanol



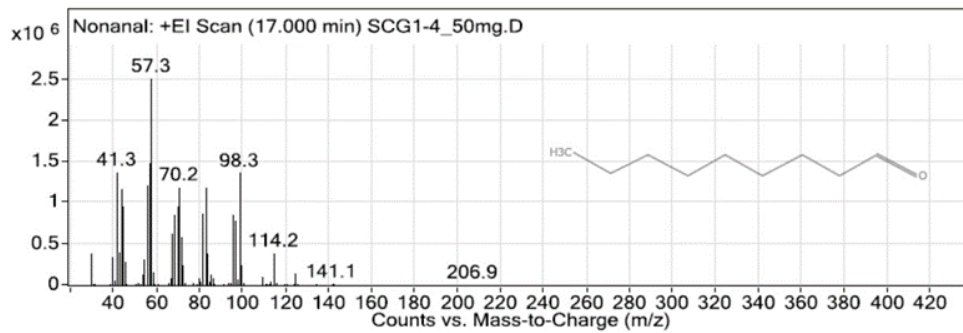
រូបទី ១.55 Heptanoic acid



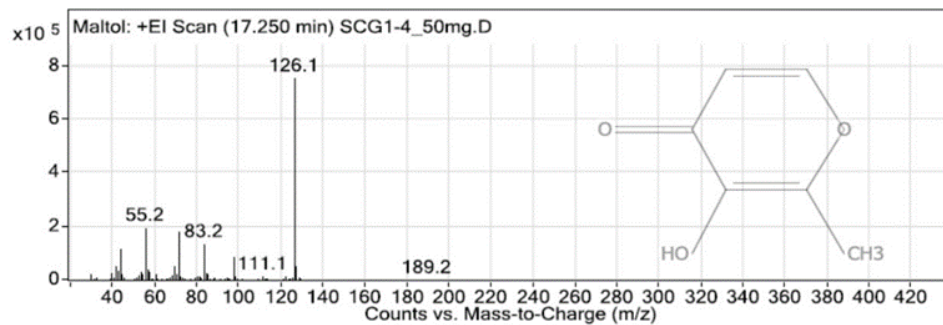
รูปที่ ๓.56 n-Butyric acid 2-ethylhexyl ester



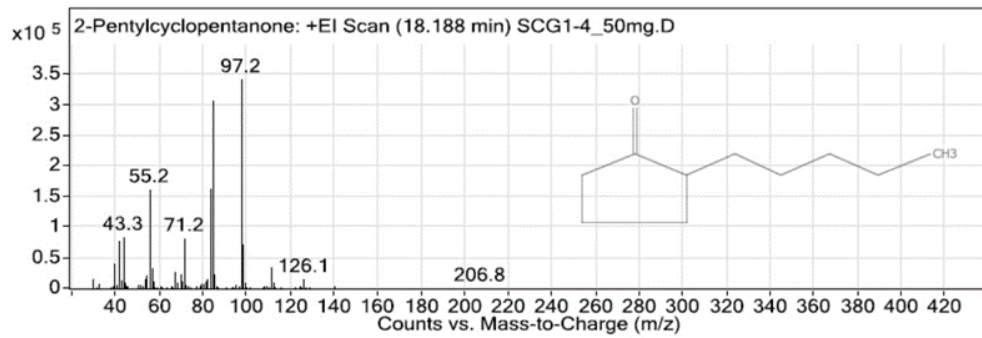
รูปที่ ๓.57 Undecane



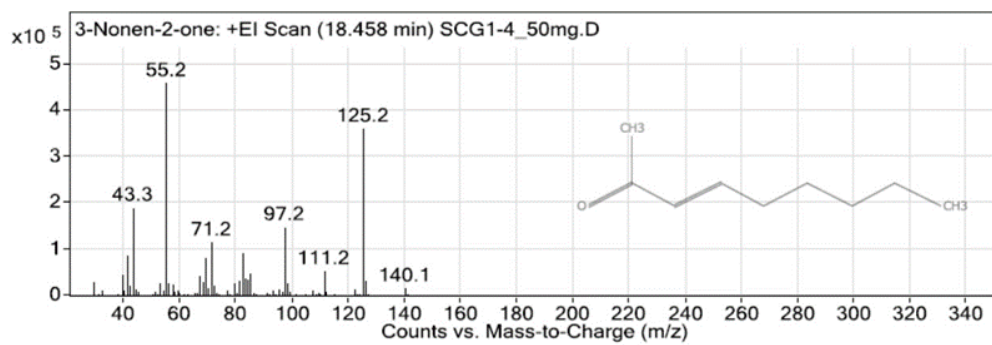
รูปที่ ๓.58 Nonanal



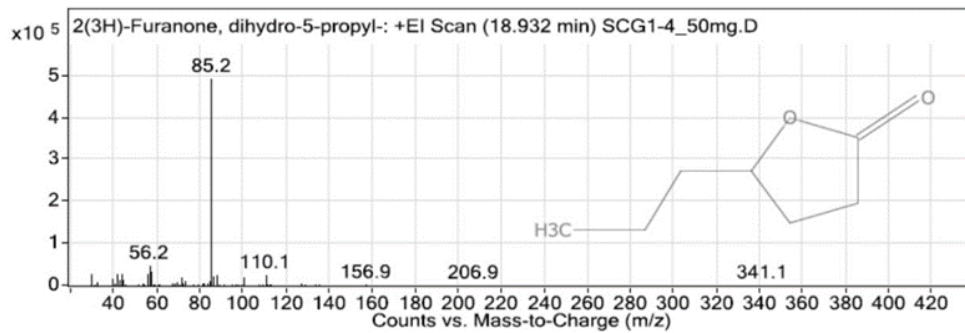
รูปที่ ๓.59 Maltol



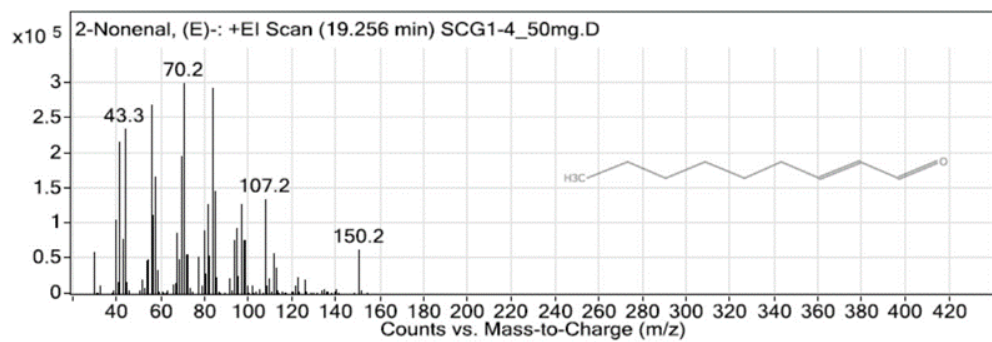
รูปที่ ๖.60 2-Pentylcyclopentanone



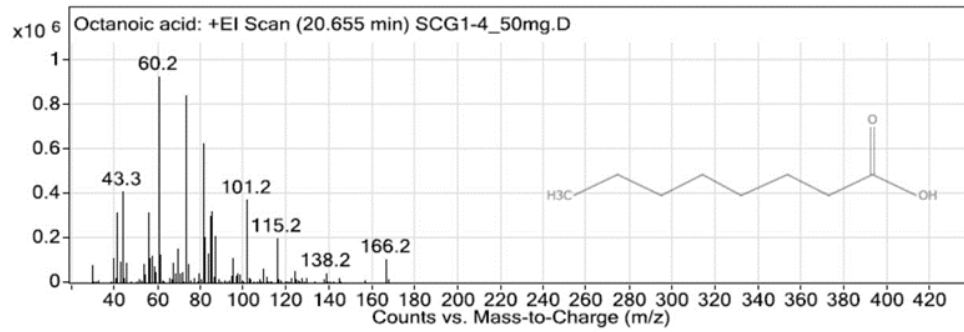
รูปที่ ๖.61 3-Nonen-2-one



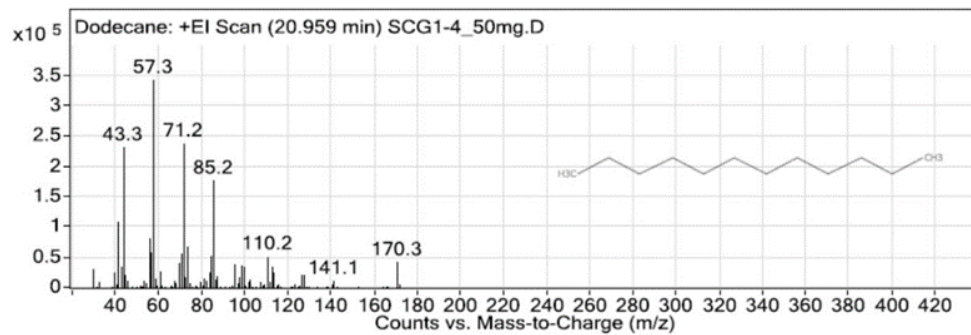
รูปที่ ๖.62 2(3H)-Furanone, dihydro-5-propyl-



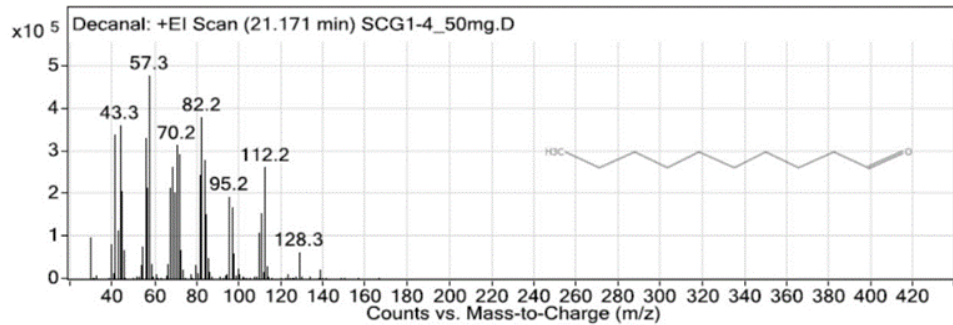
รูปที่ ๖.63 2-Nonenal, (E)-



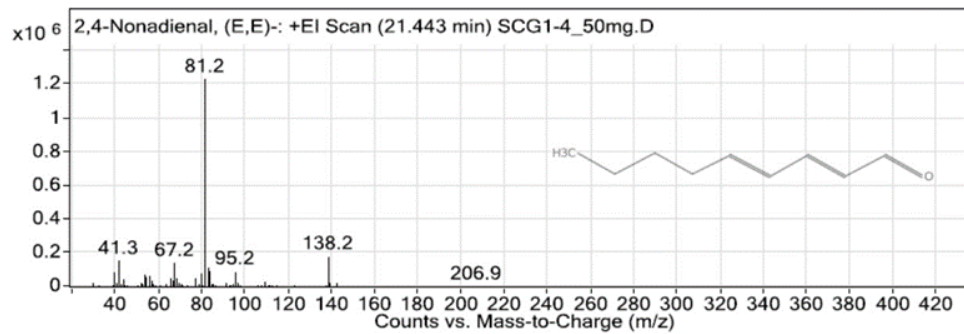
รูปที่ ๓.64 Octanoic acid



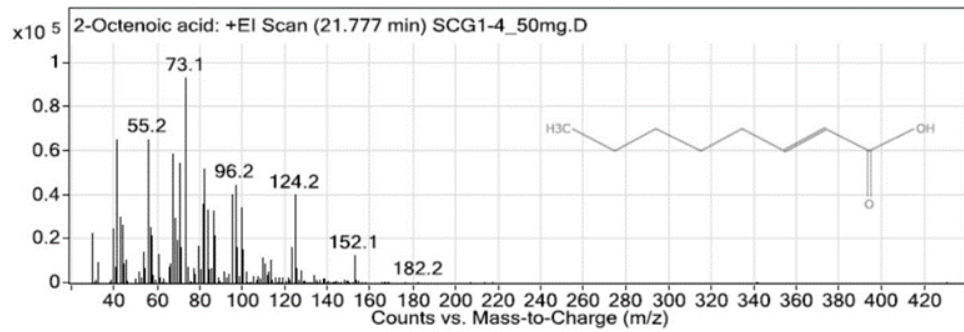
รูปที่ ๓.65 Dodecane



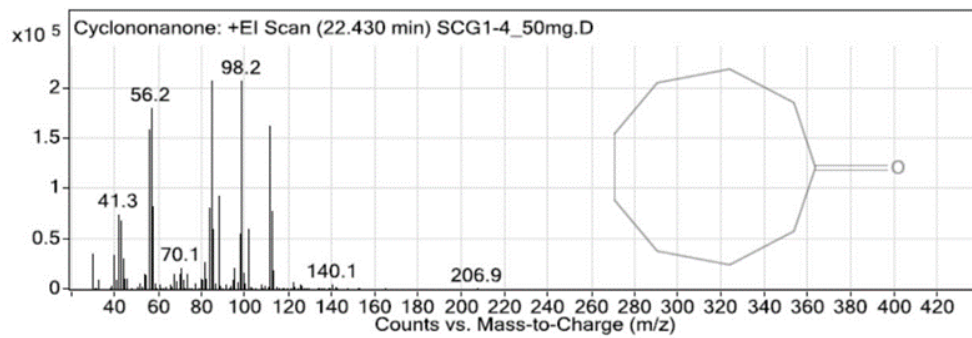
รูปที่ ๓.66 Decanal



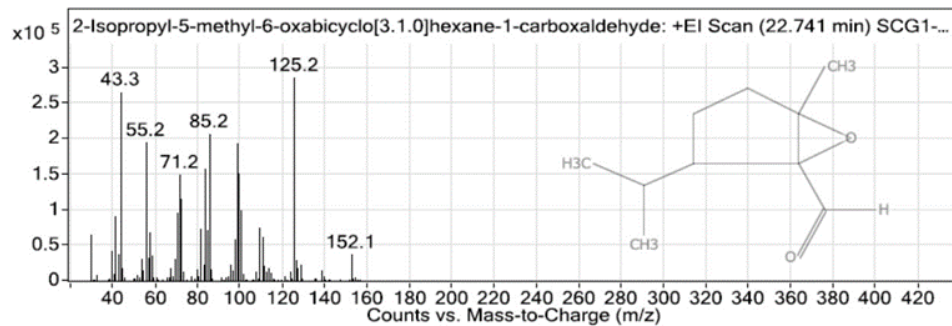
รูปที่ ๓.67 2,4-Nonadienal



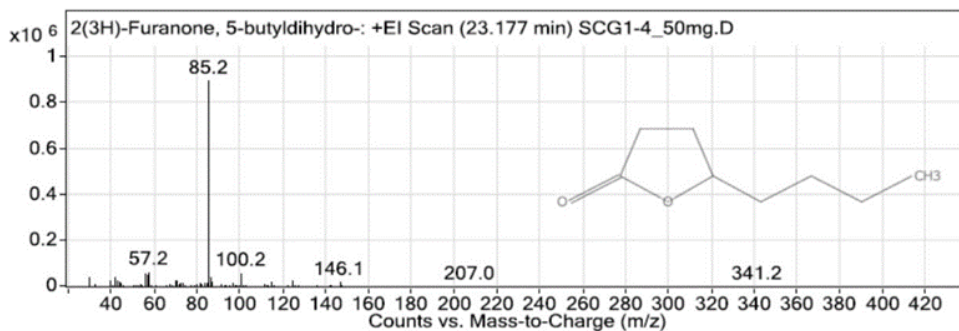
រូបទី ៦៨ 2-Octenoic acid



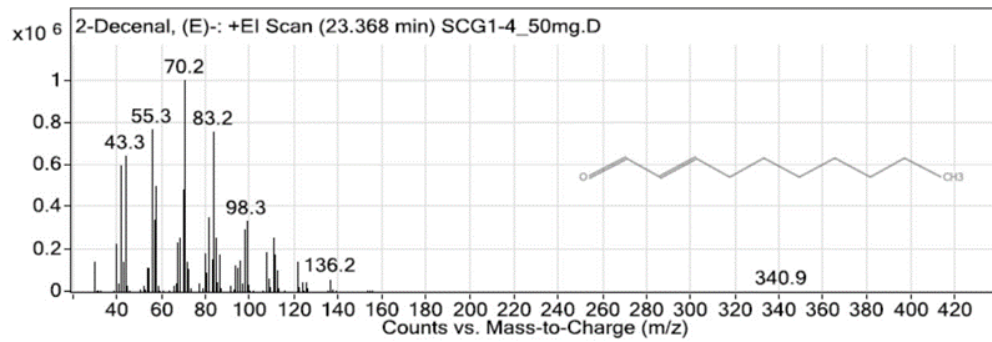
រូបទី ៦៩ Cyclononane



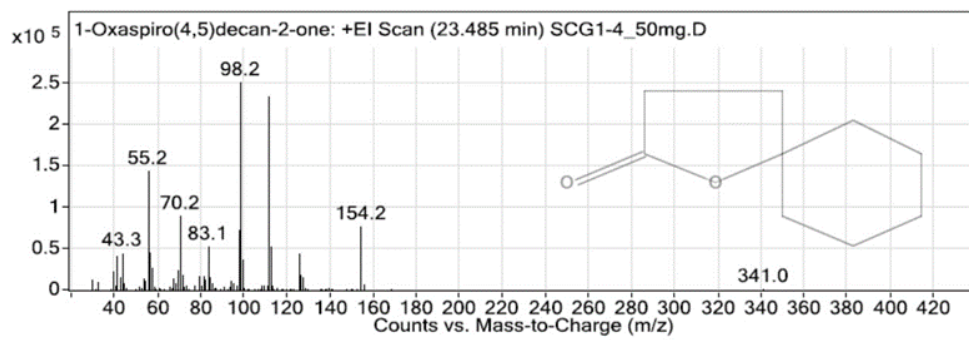
រូបទី ៧០ 2-Isopropyl-5-methyl-6-oxabicyclo[3.1.0]hexane-1-carboxaldehyde



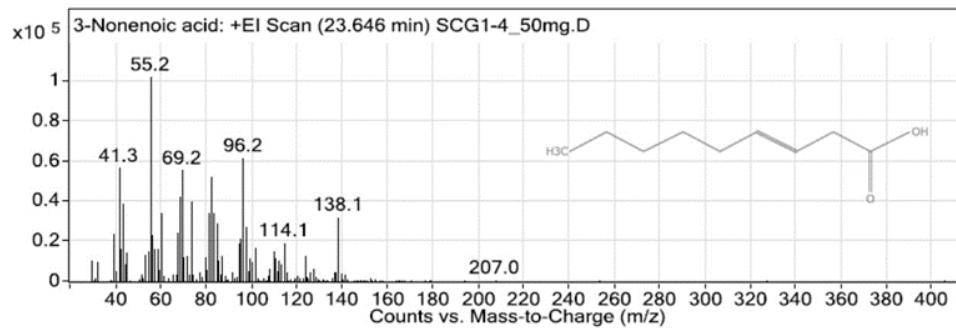
រូបទី ៧១ 2(3H)-Furanone, 5-butylidihydro-



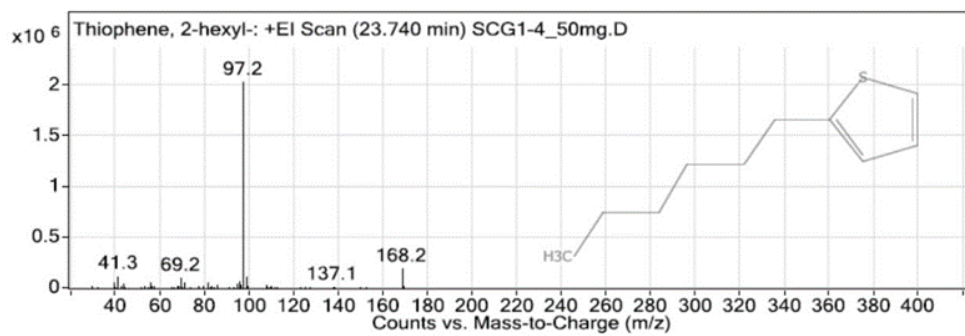
รูปที่ ง.72 2-Decenal, (E)-



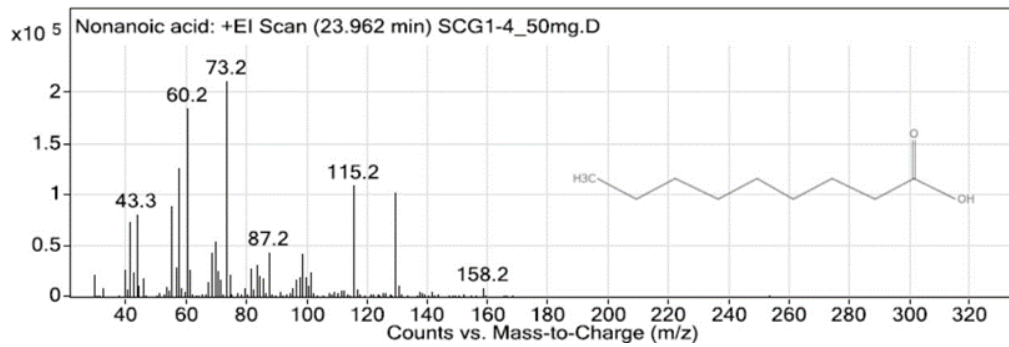
รูปที่ ง.73 1-Oxaspiro(4,5)decan-2-one



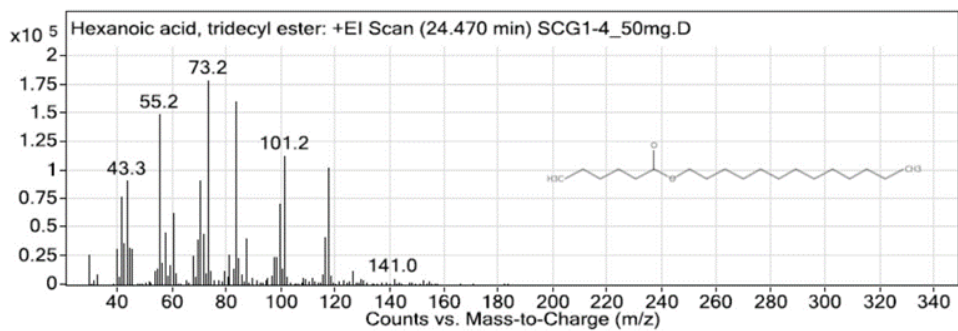
รูปที่ ง.74 3-Nonenoic acid



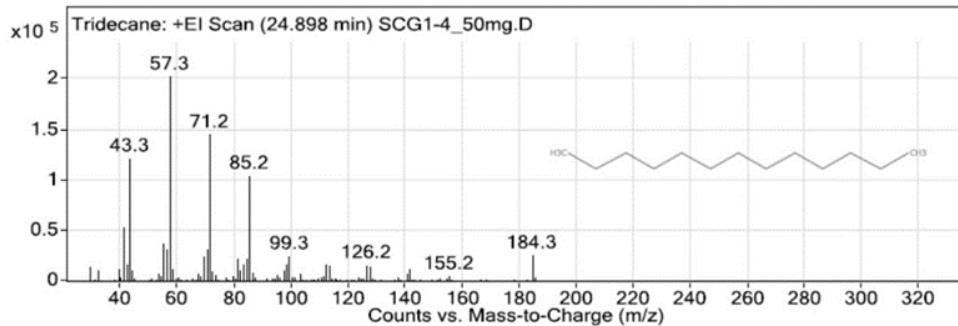
รูปที่ ง.75 Thiophene, 2-hexyl-



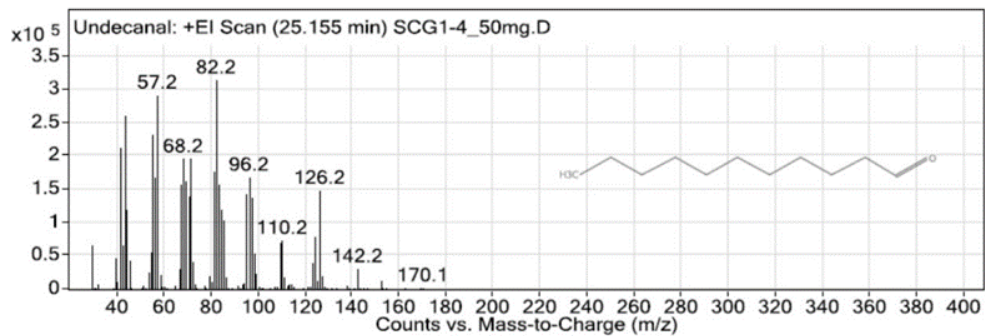
รูปที่ ๓.76 Nonanoic acid



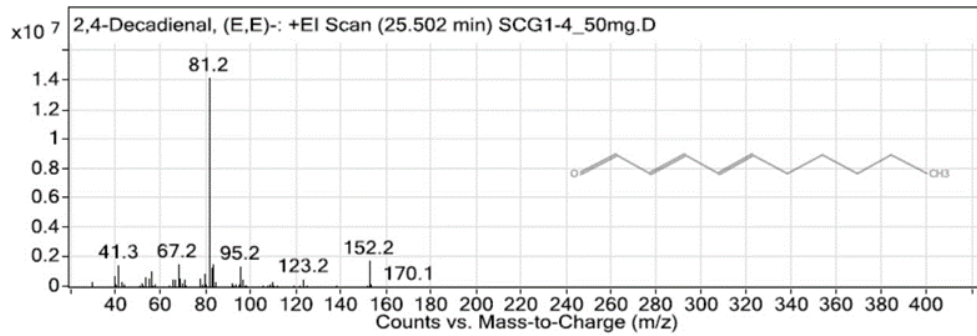
รูปที่ ๓.77 Hexanoic acid, tridecyl ester



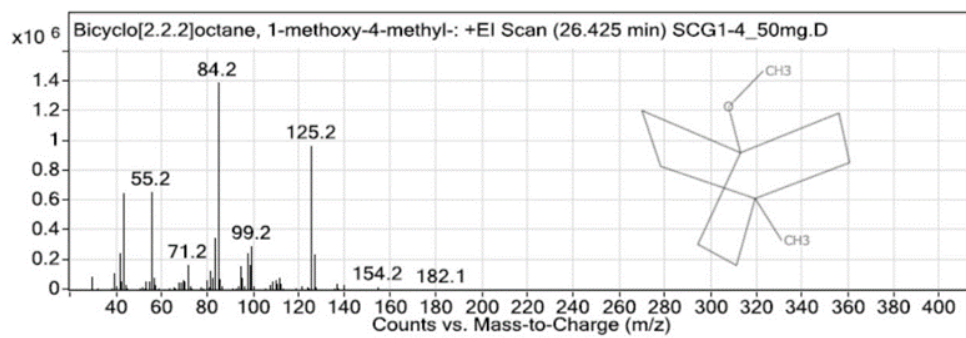
รูปที่ ๓.78 Tridecane



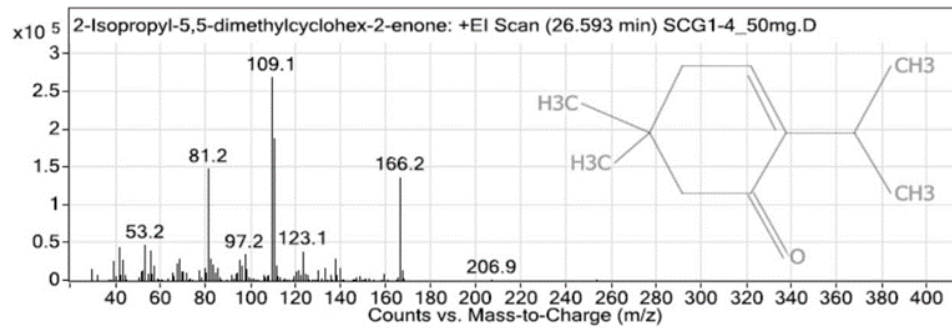
รูปที่ ๓.79 Undecanal



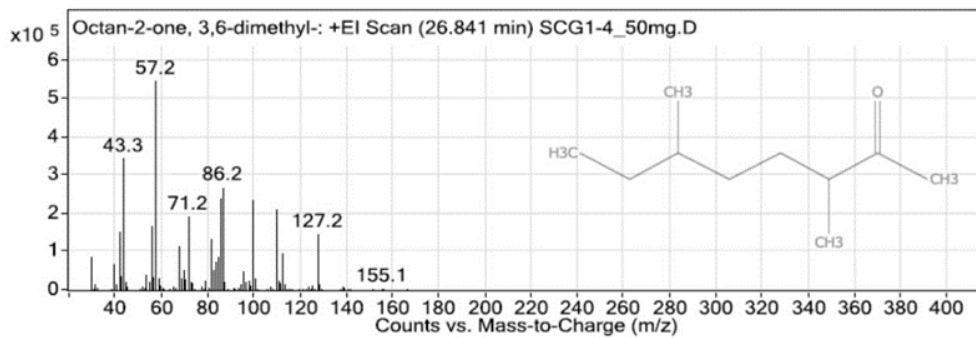
รูปที่ ๓.80 2,4-Decadienal



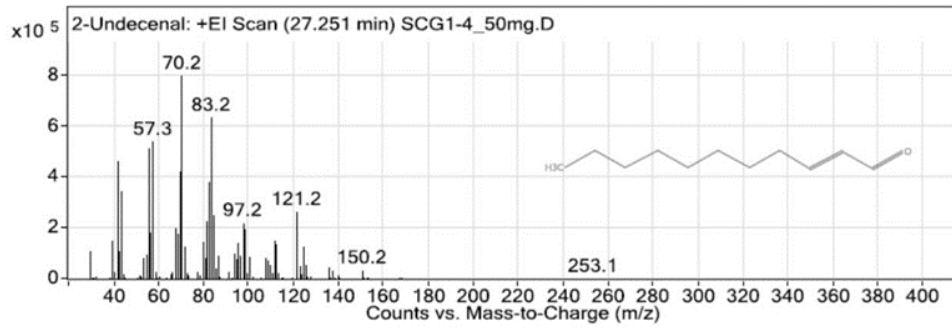
รูปที่ ๓.81 Bicyclo[2.2.2]octane, 1-methoxy-4-methyl-



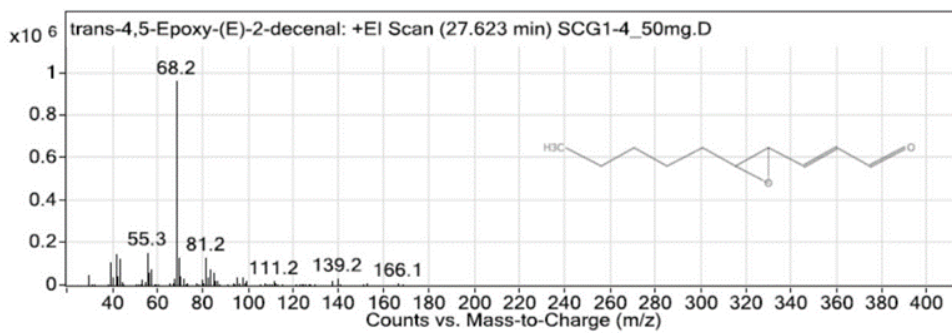
รูปที่ ๓.82 2-Isopropyl-5,5-dimethylcyclohex-2-enone



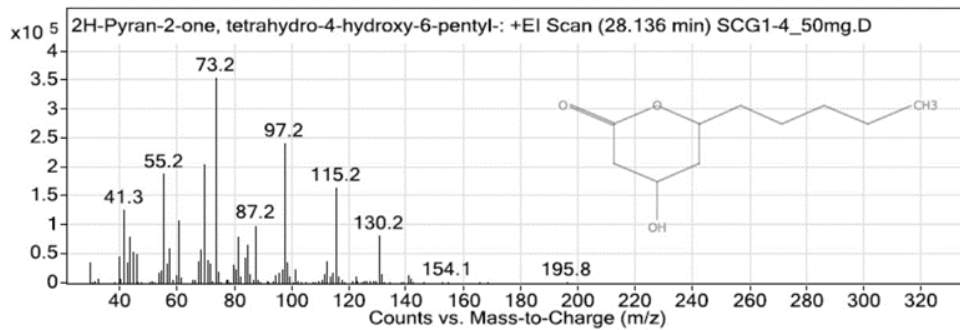
รูปที่ ๓.83 Octan-2-one, 3,6-dimethyl-



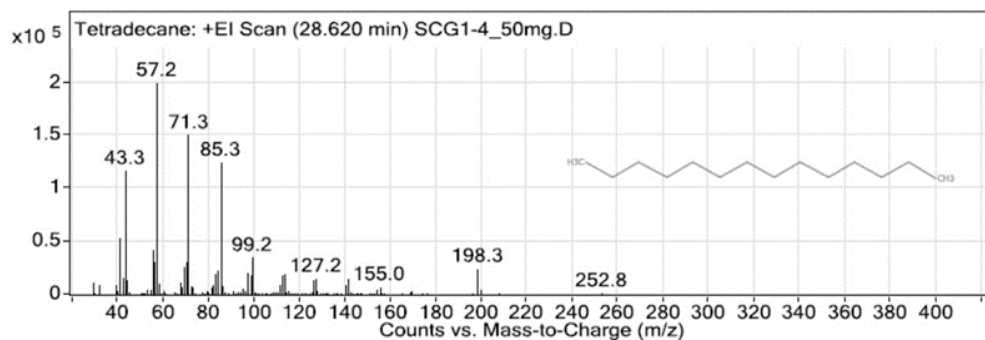
รูปที่ ๓.84 2-Undecenal



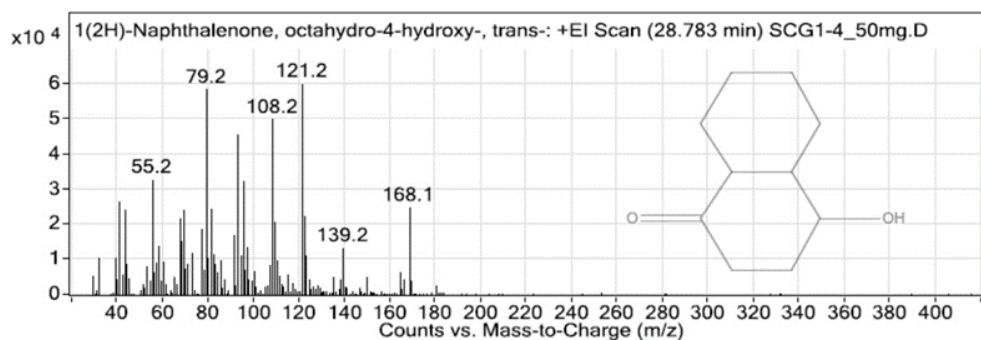
รูปที่ ๓.85 trans-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal



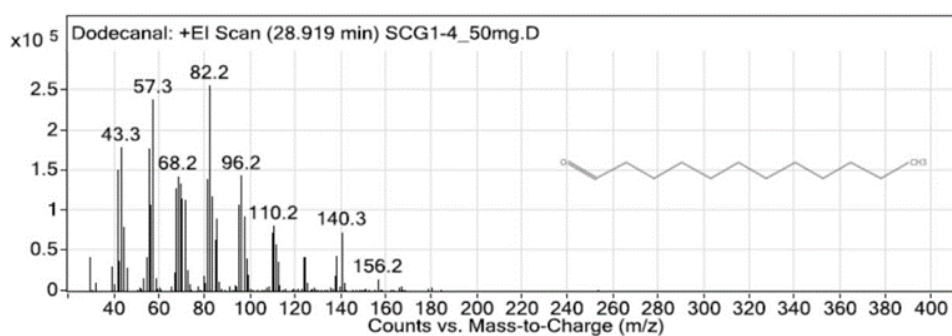
รูปที่ ๓.86 2H-Pyran-2-one, tetrahydro-4-hydroxy-6-pentyl-



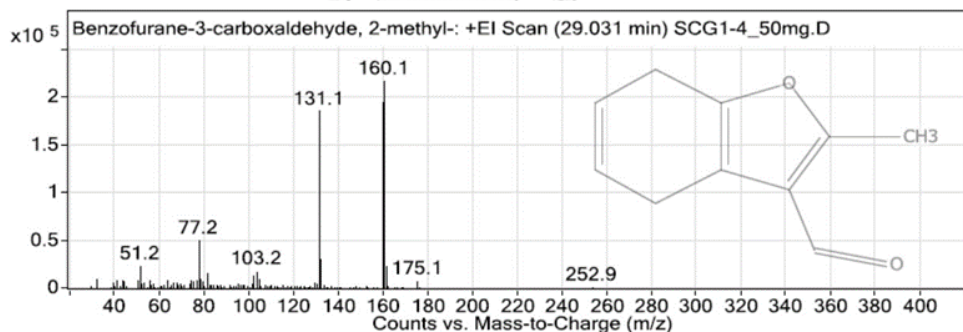
รูปที่ ๓.87 Tetradecane



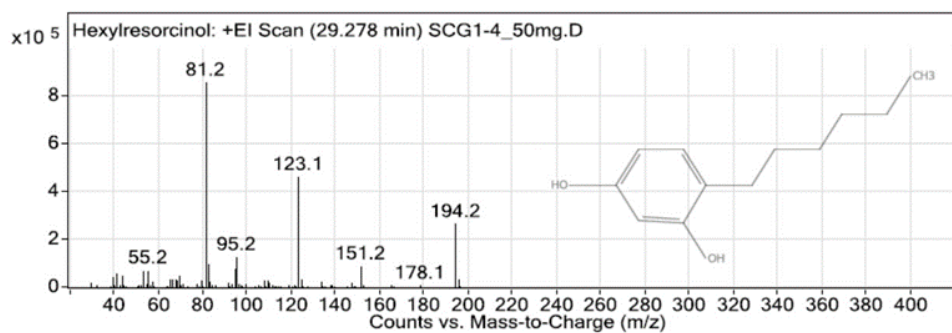
រូបទី ១.៨៨ 1(2H)-Naphthalenone, octahydro-4-hydroxy-, trans-



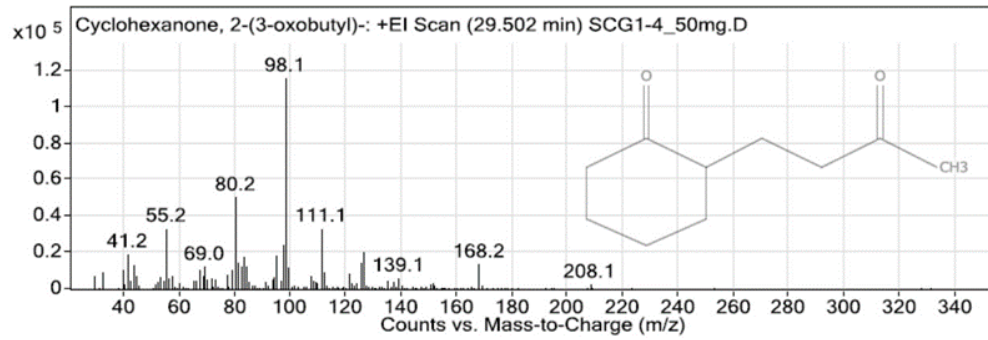
រូបទី ១.៨៩ Dodecanal



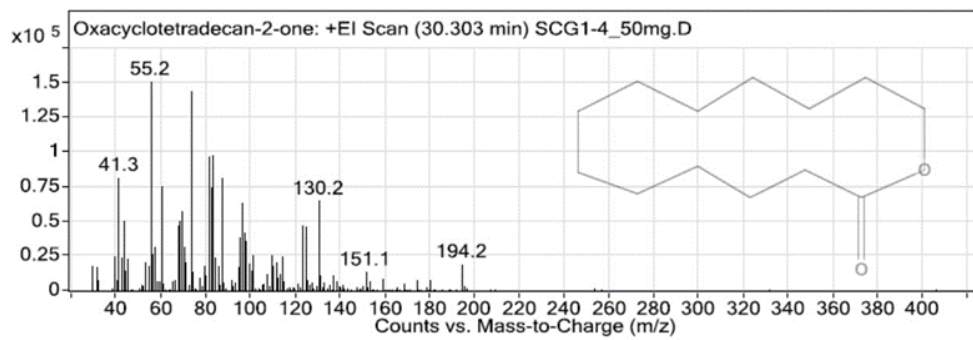
រូបទី ១.៩០ Benzofurane-3-carboxaldehyde, 2-methyl-



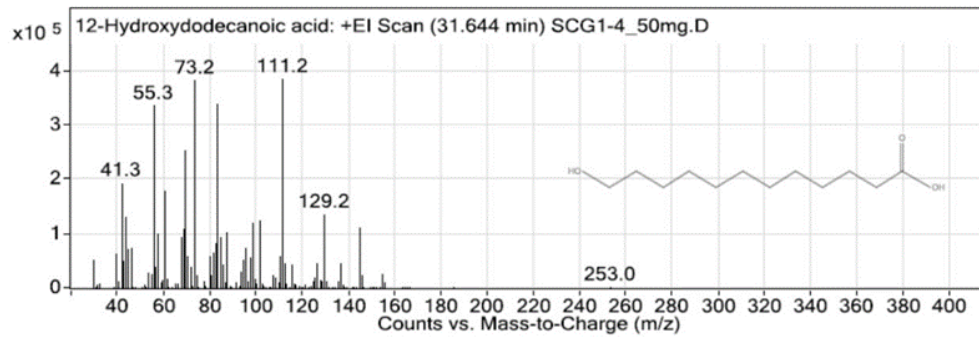
រូបទី ១.៩១ Hexylresorcinol



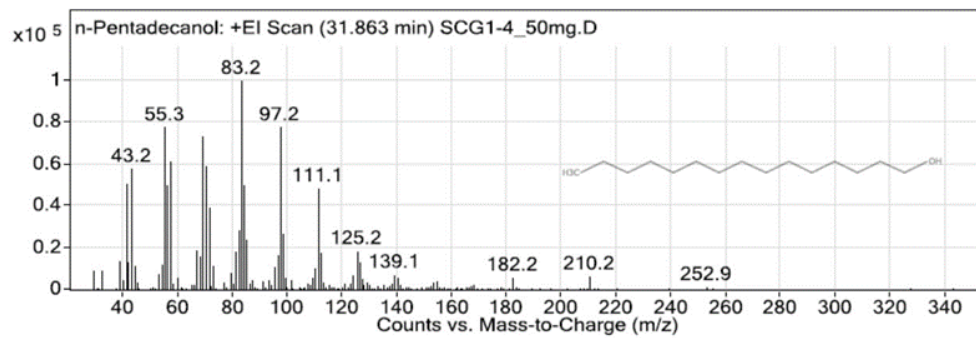
រូបទី ១.៩២ Cyclohexanone, 2-(3-oxobutyl)-



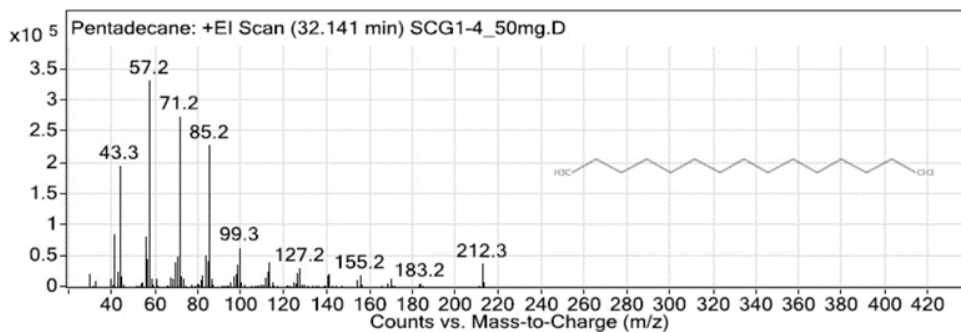
រូបទី ១.៩៣ Oxacyclotetradecan-2-one



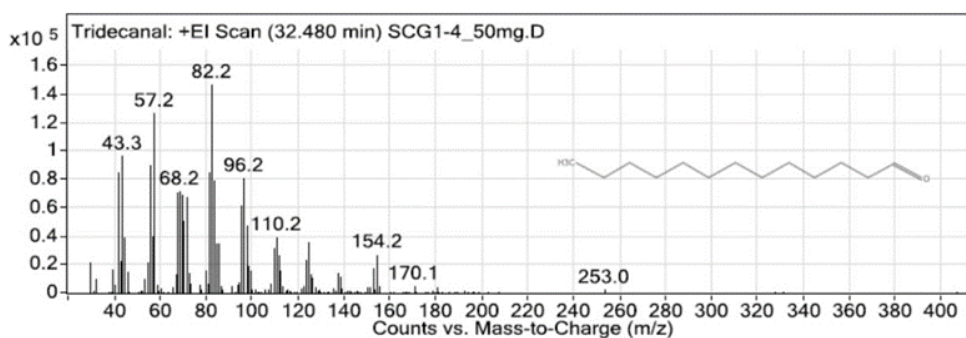
រូបទី ១.៩៤ 12-Hydroxydodecanoic acid



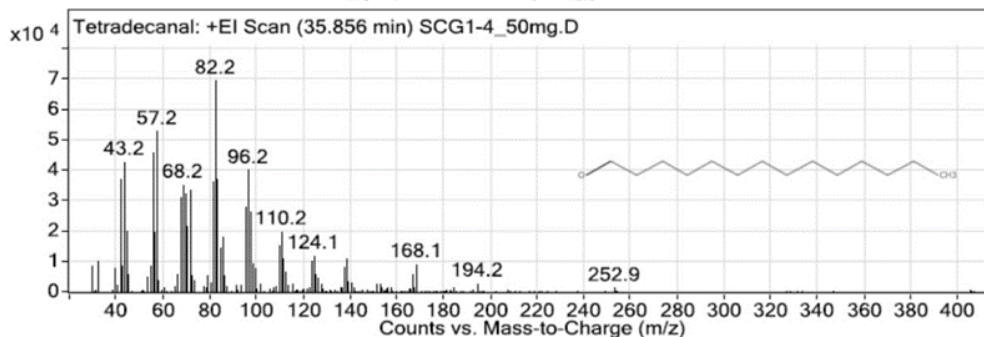
រូបទី ១.៩៥ n-Pentadecanol



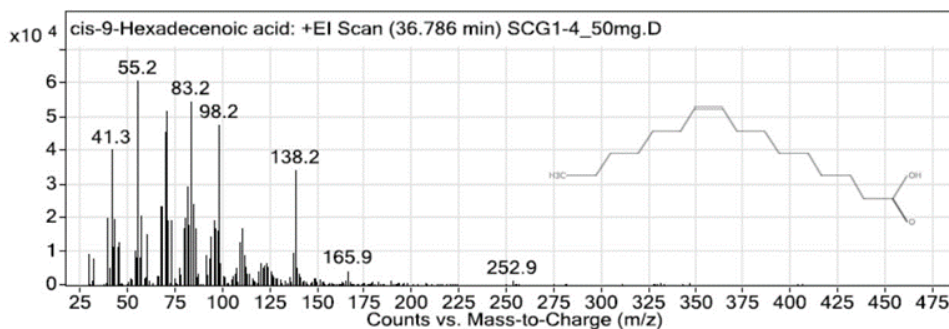
รูปที่ ๓.๙๖ Pentadecane



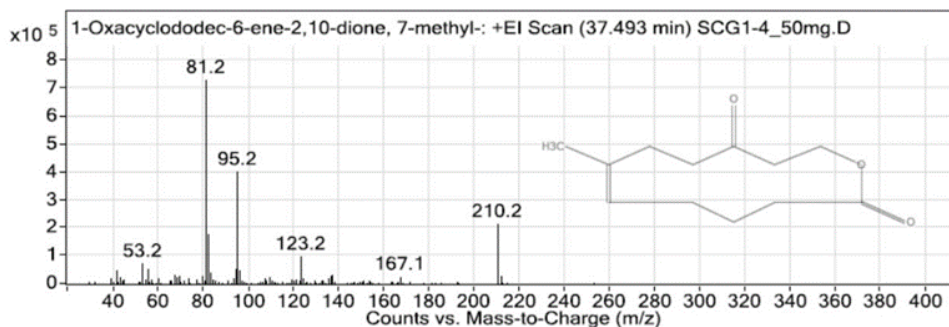
รูปที่ ๓.๙๗ Tridecanal



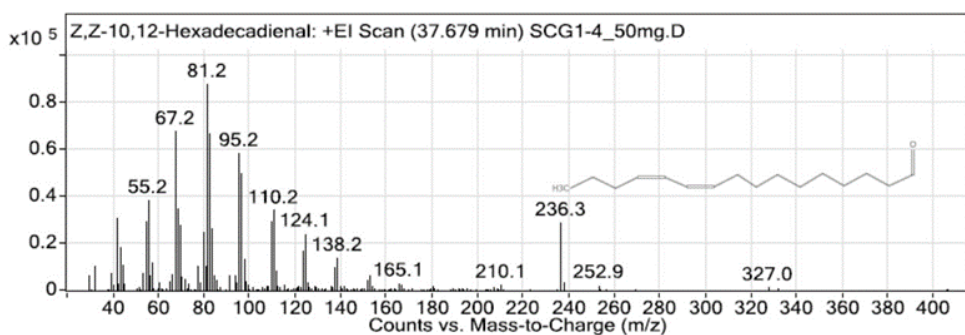
รูปที่ ๓.๙๘ Tetradecanal



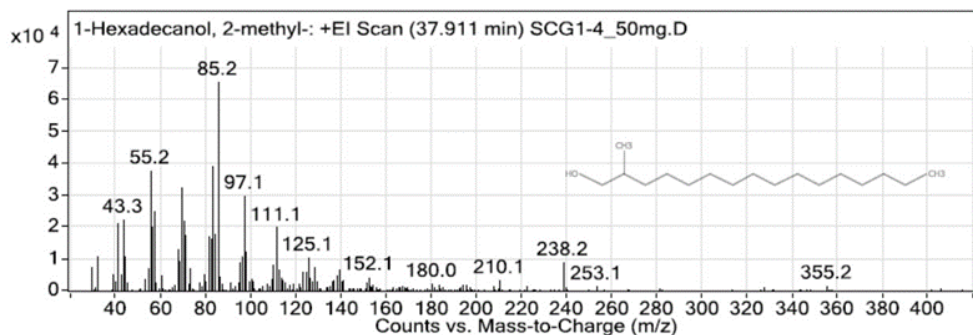
รูปที่ ๓.๙๙ cis-9-Hexadecenoic acid



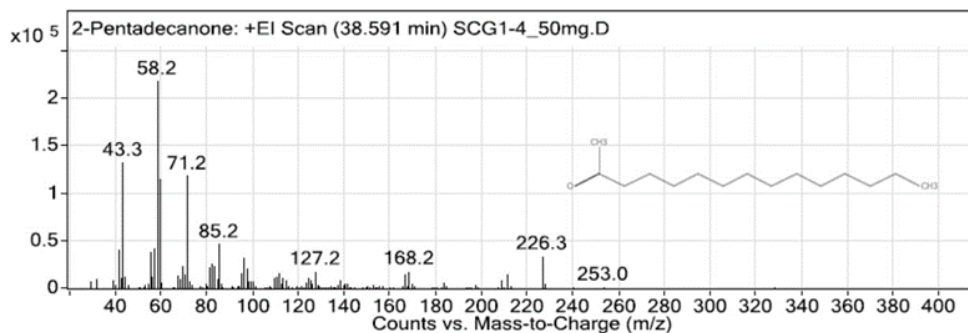
รูปที่ ๑.100 1-Oxacyclododec-6-ene-2, 10-dione, 7-methyl-



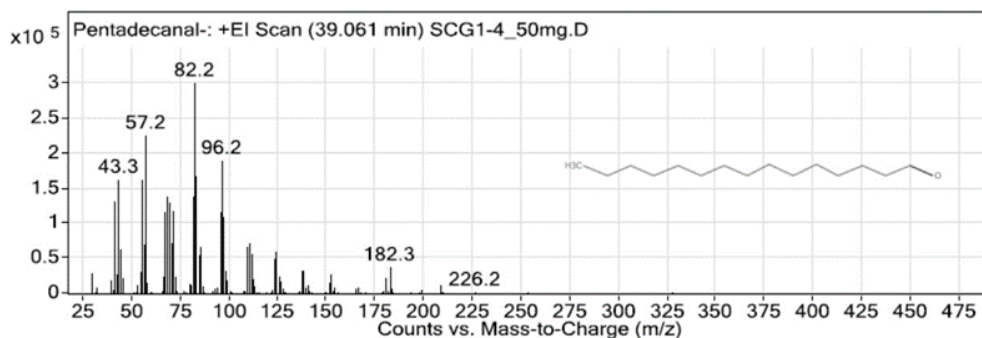
รูปที่ ๑.101 z,z-10,12-Hexadecadienal



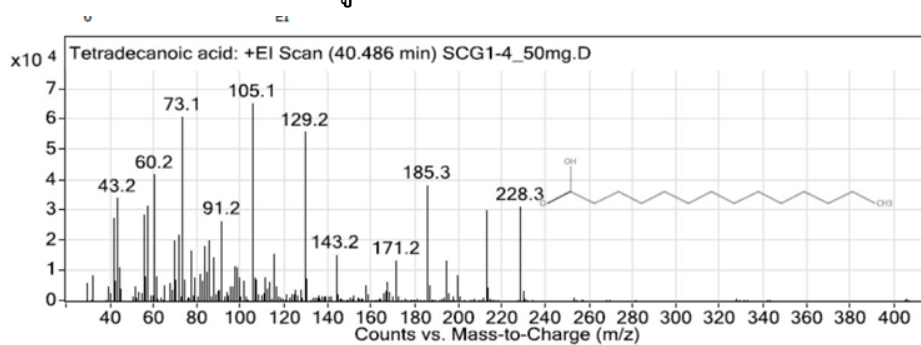
รูปที่ ๑.102 1-Hexadecanol, 2-methyl-



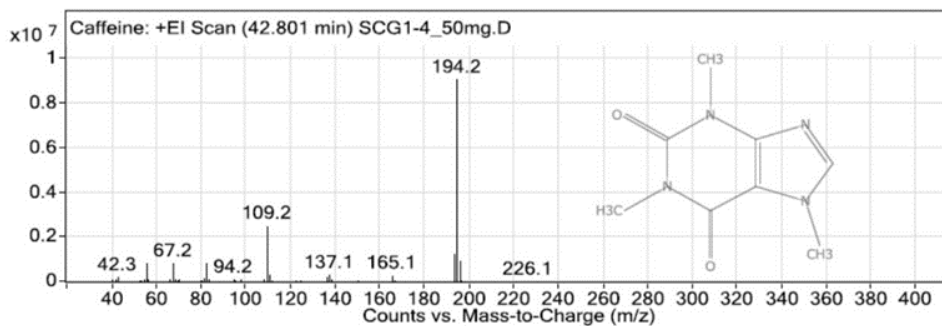
รูปที่ ๑.103 2-Pentadecanone



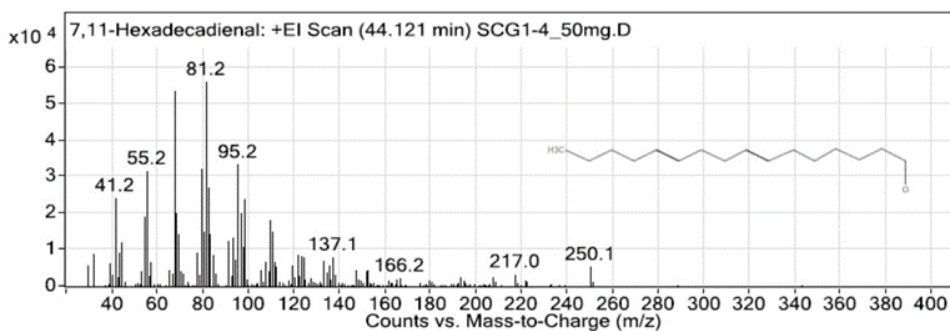
รูปที่ ง.104 Pentadecana



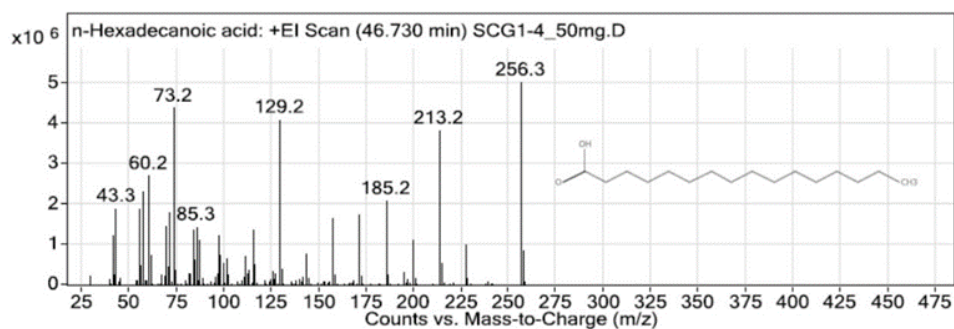
รูปที่ ง.105 Tetradecanoic acid



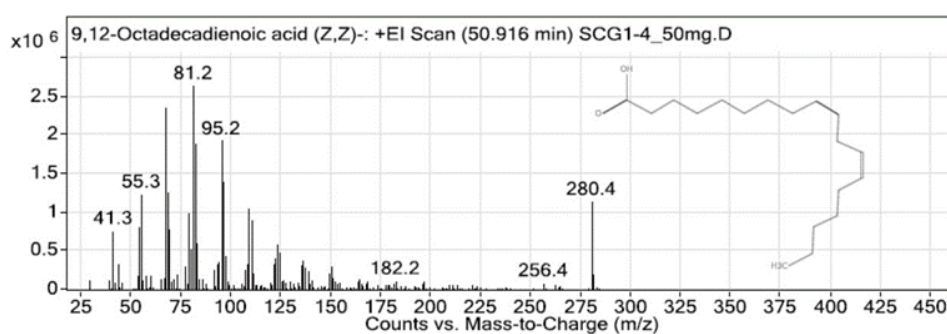
รูปที่ ง.106 Caffeine



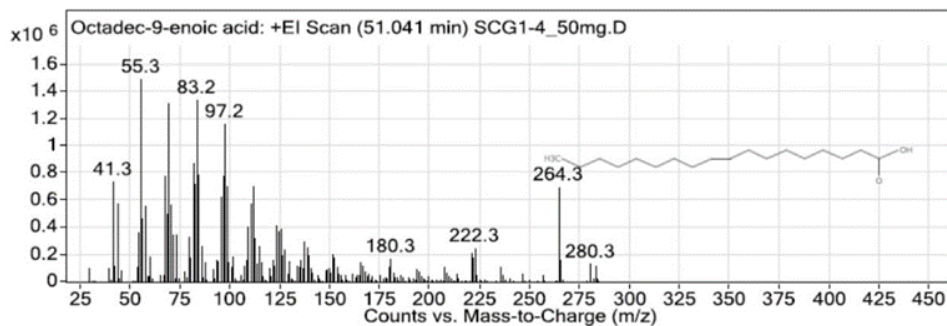
รูปที่ ง.107 7,11-Hexadecadienal



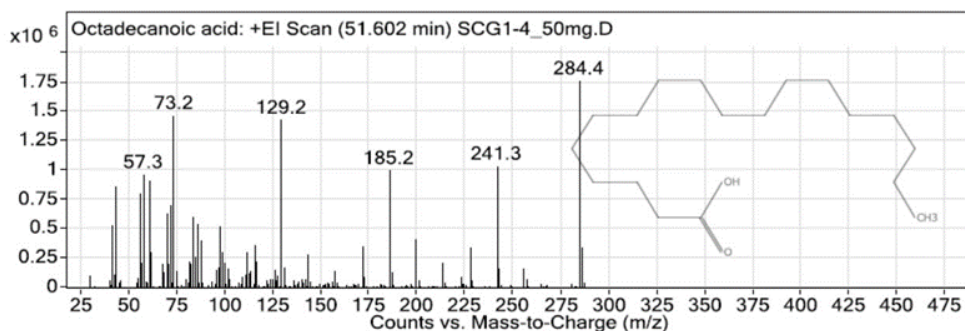
រូបទី ១.108 n-Hexadecanoic acid



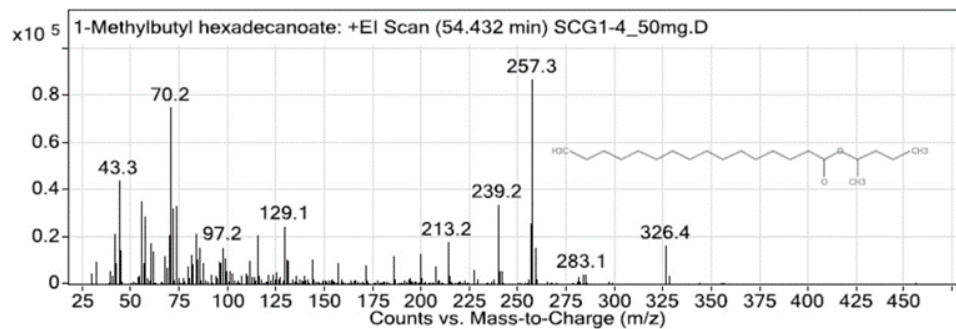
រូបទី ១.109 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-



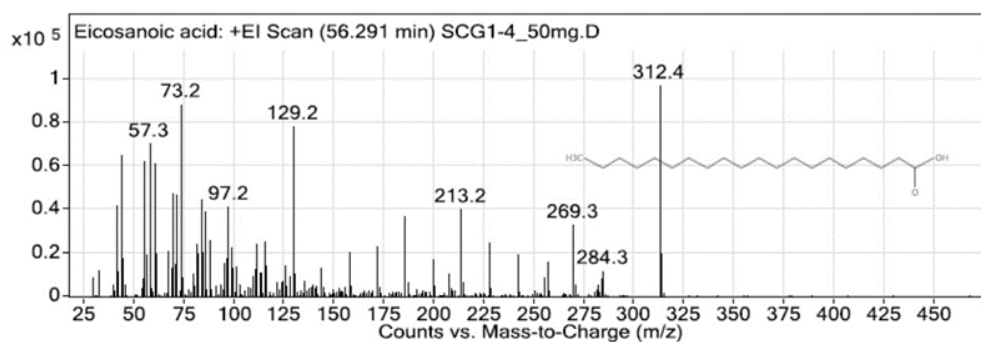
រូបទី ១.110 Octadec-9-enoic acid



រូបទី ១.111 Octadecanoic acid



รูปที่ ง.112 1-Methylbutyl hexadecanoate



รูปที่ ง.113 Eicosanoic acid

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กนกพร ผลมานะ
วัน เดือน ปี เกิด	24 เมษายน 2538
สถานที่เกิด	สระบุรี
วุฒิการศึกษา	ระดับปริญญาตรีคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	33 ม.1 ต.เขาพระ อ.รัตภูมิ จ.สงขลา 90180



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY