

การเปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลัก *Ocimum citriodourum* Vis. ที่
ได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตและการกลั่นด้วยไอน้ำ



นายจรีพงศ์ เม่นหาวา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

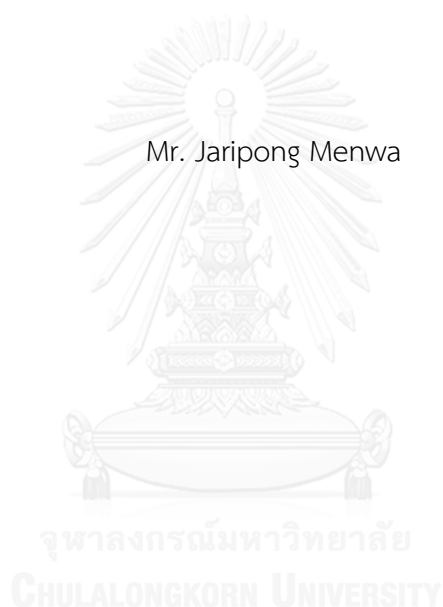
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF ESSENTIAL OILS COMPOSITIONS OF LEMON BASIL *Ocimum
citriodourum* Vis. STRAW OBTAINED BY SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION
AND HYDRODISTILLATION

Mr. Jaripong Menwa



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

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจาก
พางแมงลัก *Ocimum citriodourum* Vis. ที่ได้จากการ
สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตและการ
กลั่นด้วยไอน้ำ

โดย

นายจริพงษ์ เม่นหวา

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลภุชงค์ แสงวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิณชิตระนนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. ศศิธร สรรพอคำ)

จริพงษ์ เม่นหวา : การเปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลัก *Ocimum citriodourum* Vis. ที่ได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต และการกลั่นด้วยไอน้ำ (COMPARISON OF ESSENTIAL OILS COMPOSITIONS OF LEMON BASIL *Ocimum citriodourum* Vis. STRAW OBTAINED BY SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION AND HYDRODISTILLATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสุทธิ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว, 72 หน้า.

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากต้นแมงลักที่สีเมล็ดออกแล้ว (ฟางแมงลัก) ด้วยเฮกเซน การต้มกลั่น และคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (ความดันช่วง 150-300 บาร์ อุณหภูมิช่วง 40-70 องศาเซลเซียส เวลาสกัด 20 นาที) ค่าร้อยละผลได้การสกัดสูงสุดเท่ากับ 4.11 เมื่อสกัดด้วยเฮกเซนในเครื่องสกัดแบบซอกส์เลต การต้มกลั่นและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตมีค่าร้อยละผลได้การสกัด 0.07 และในช่วง 0.70-1.21 ตามลำดับ ที่ความดันคงที่การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากทำให้สารสกัดละลายและแพร่ดีขึ้น เมื่ออุณหภูมิคงที่การเพิ่มความดันทำให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มความดันทำให้ความหนาแน่นคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น สารที่สกัดได้จากการต้มกลั่นเป็นของเหลว ในขณะที่สารสกัดจากเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตมีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว สันฐานวิทยาของต่อมน้ำมันหอมระเหยทั้งการสกัดด้วยเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตมีลักษณะยู่ตัวเหมือนกัน แต่การต้มกลั่นทำให้ต่อมน้ำมันแตกจากภายใน องค์ประกอบทางเคมีน้ำมันหอมระเหยวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์ พบองค์ประกอบประมาณ 19 ชนิด องค์ประกอบหลักวิเคราะห์ตามปริมาณที่พบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในน้ำมันหอมระเหยคือ ลินาโลอล นีเรียล เจอแรนเนียล คาริโอฟิลลินออกไซด์

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5771932623 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS:

JARIPONG MENWA: COMPARISON OF ESSENTIAL OILS COMPOSITIONS OF LEMON BASIL *Ocimum citriodourum* Vis. STRAW OBTAINED BY SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION AND HYDRODISTILLATION. ADVISOR: PROF. SOMKIAT NGAMPRESERTSITH, Ph.D., CO-ADVISOR: RUENGWIT SAWANGKAEW, Ph.D., 72 pp.

Extraction of essential oil from lemon basil (*Ocimum citriodourum*) straw using hexane, hydrodistillation and supercritical carbon dioxide (temperature 40-70 °C, pressure 150-300 bar and extraction time 20 min) were investigated in this study. The highest extraction yield was 4.11%, when extracted by hexane in the Soxhlet extractor. The extraction yields of hydrodistillation and supercritical carbon dioxide were 0.07% and 0.70-1.21%, respectively. The extraction yield increased with increasing temperature at constant pressure because the essential oil can dissolve and diffuse well in supercritical carbon dioxide. Raising the extraction pressure at a constant temperature led to a higher carbon dioxide density. The oil extracted by hydrodistillation contained only volatile compounds while the oil from the supercritical carbon dioxide and hexane extraction composed both volatile and higher molecular weight compounds. The morphology of essential oil gland from hexane and supercritical carbon dioxide methods were collapsed but the oil gland from hydrodistillation was blasted. The extracted samples were subjected to GC-MS to analyze the composition. The presence of 19 compounds found in lemon basil essential oil. The main components in essential oil from all extraction methods were linalool, neral, geranial and caryophyllene oxide.

Department: Chemical Technology Student's Signature

Field of Study: Chemical Technology Advisor's Signature

Academic Year: 2016 Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนวทาง และช่วยสนับสนุนจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นพิตา ทิณูชีระนันท์ และอาจารย์ ดร.ศศิธร สรรพอคำ ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ยิ่ง

ขอขอบพระคุณทุนวิทยบัณฑิต ทุนจากภาควิชาเคมีเทคนิค และโครงการทุนพัฒนาศักยภาพการวิจัยเชิงสถาบันของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนด้านค่าเล่าเรียนและทุนวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง และขอขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือจากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ช่างเทคนิค และบุคลากรทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและช่วยอบรมการใช้เครื่องมือในการใช้ห้องปฏิบัติการ และที่ขาดไม่ได้เลยขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในภาควิชาเคมีเทคนิคและนอกภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัยที่อนุเคราะห์ตัวอย่างฟางแมงลักเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 น้ำมันหอมระเหย	4
2.1.1 ประวัติน้ำมันหอมระเหย.....	4
2.1.2 การจำแนกกลิ่นน้ำมันหอมระเหย	9
2.1.3 ฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันหอมระเหย.....	9
2.1.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย	9
2.1.5 กลไกการออกฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหย	10
2.1.6 ข้อควรระวังในการใช้น้ำมันหอมระเหย	10
2.2 แมงลัก	10
2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	10

2.2.2 การปลุกแฉงลัก	11
2.2.3 การเก็บเกี่ยว.....	12
2.2.4 การใช้ประโยชน์จากแฉงลัก	14
2.3 เทคนิคการสกัดน้ำมันหอมระเหย.....	15
2.3.1 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย.....	15
2.3.2 การสกัดด้วยไขมันเย็น	16
2.3.3 การสกัดด้วยการกลั่น.....	17
2.3.4 การบีบอัด.....	18
2.3.5 การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต.....	18
2.4 ของไหลภาวะเหนือวิกฤต	19
2.4.1 หลักเกณฑ์การเลือกตัวทำละลายเพื่อใช้เป็นตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต	21
2.4.2 ปัจจัยและตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต	21
2.4.3 การนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	27
3.1.1 อุปกรณ์	27
3.1.2 สารเคมี.....	27
3.2 รายละเอียดวัตถุดิบและสารเคมี.....	27
3.2.1 รายละเอียดวัตถุดิบ	27
3.2.2 รายละเอียดสารเคมี.....	28
3.3 รายละเอียดวิธีการทดลอง.....	28
3.3.1 การเตรียมฟางแฉงลัก.....	28

3.3.2 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยชุดสกัดแบบซอกซ์เลต	28
3.3.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น	30
3.3.4 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Carbon dioxide Extraction).....	31
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากฟางแมงลัก	34
3.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	34
3.4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์.....	35
3.4.3 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	37
4.1 ผลได้การสกัดน้ำมันหอมระเหย	37
4.1.1 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยเฮกเซน	37
4.1.2 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น	37
4.1.3 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	38
4.2 ผลวิเคราะห์สัณฐานวิทยาต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลัก	43
4.3 การหาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์.....	47
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	51
4.5 ภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55

5.2 ข้อเสนอแนะ	55
รายการอ้างอิง	56
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก ข้อมูลและผลการทดลอง	64
ภาคผนวก ข กราฟสารมาตรฐาน.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	72



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ต้นแมงลัก	1
รูปที่ 1.2 เมล็ดแมงลัก	2
รูปที่ 2.1 ต้นแมงลักหลังการเก็บเกี่ยว	11
รูปที่ 2.2 กลีบเลี้ยงดอกแมงลัก	12
รูปที่ 2.3 การนวดฝัดแมงลักแบบเปียก	13
รูปที่ 2.4 เชื้อราที่สร้างสารอะฟลาทอกซิน	13
รูปที่ 2.5 เครื่องจักรที่ใช้ขนาดฝัดแมงลักแบบแห้ง	14
รูปที่ 2.6 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	16
รูปที่ 2.7 การสกัดด้วยไขมันเย็น	16
รูปที่ 2.8 การต้มกลั่น	17
รูปที่ 2.9 การกลั่นด้วยไอน้ำ	18
รูปที่ 2.10 แผนภาพ ความดัน-อุณหภูมิ ของสารบริสุทธิ์ทั่วไป	19
รูปที่ 2.11 เครื่องสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต	20
รูปที่ 3.1 ฟางแมงลักที่ผ่านการสีแห้ง	28
รูปที่ 3.2 ชุดสกัดแบบซอกซ์เลต	29
รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน	30
รูปที่ 3.4 ชุดสกัดแบบต้มกลั่น	31
รูปที่ 3.5 ชุดการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	33
รูปที่ 3.6 GC รุ่น 7890A ของ Agilent Technologies	34
รูปที่ 3.7 GC-MS รุ่น GCMS-QP2010 ของ Shimadzu	35
รูปที่ 3.8 SEM รุ่น JSM-6610LV ของ JEOL	36

รูปที่ 4.1 สารสกัดหลังระเหยตัวทำละลายออก	37
รูปที่ 4.2 สารที่สกัดได้จากการต้มกลั่น.....	38
รูปที่ 4.3 สารที่สกัดได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต.....	38
รูปที่ 4.4 น้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ที่ความดันต่างๆ	40
รูปที่ 4.5 น้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	42
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลได้การสกัดจากทั้ง 3 เทคนิค	43
รูปที่ 4.7 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ยังไม่ผ่านการสกัด.....	44
รูปที่ 4.8 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน	44
รูปที่ 4.9 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	45
รูปที่ 4.10 ฟอสโฟลิพิด.....	46
รูปที่ 4.11 การแพร่ของน้ำมันหอมระเหยผ่านเซลล์พืช	46
รูปที่ 4.12 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วยการต้มกลั่น	47
รูปที่ 4.13 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากฟางแมงลักด้วยเฮกเซน	48
รูปที่ 4.14 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยสกัดจากฟางแมงลักด้วยวิธีต้มกลั่น	48
รูปที่ 4.15 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยสกัดจากฟางแมงลักด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต.....	49
รูปที่ 4.16 ปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักจากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ.....	52
รูปภาคผนวก ข.1 กราฟมาตรฐานลินาโลอล.....	70
รูปภาคผนวก ข.2 กราฟมาตรฐานนีเรียล	70
รูปภาคผนวก ข.3 กราฟมาตรฐานเจอแรนเนียล	71
รูปภาคผนวก ข.4 กราฟมาตรฐานคาร์ีโอฟิลลีนออกไซด์	71

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย	5
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างขององค์ประกอบทางเคมีบางชนิดที่พบในน้ำมันหอมระเหย....	6
ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของ แก๊ส ของไหลภาวะเหนือวิกฤต และของเหลว ของคาร์บอนไดออกไซด์.....	20
ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการต่างๆ	26
ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	34
ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์.....	35
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของสารสกัดที่สกัดได้จากฟางแมงลักด้วยเทคนิคการสกัดต่างๆ	49
ตารางที่ 4.2 ภาวะที่ดีที่สุดของการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	53
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลได้การสกัดและปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจาก ฟางแมงลักที่สกัดจากเฮกเซน การต้มกลั่น และคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	54
ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยเฮกเซน	64
ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น	64
ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือ วิกฤตอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	64
ตารางภาคผนวกที่ ก.4 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือ วิกฤตอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	66
ตารางภาคผนวกที่ ก.5 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือ วิกฤตอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	67
ตารางภาคผนวกที่ ก.6 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือ วิกฤตอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แมงลัก (*Ocimum citriodorum* Vis.) เป็นพืชสมุนไพรล้มลุกในสกุลของกะเพรา-โหระพา ลักษณะของต้นจะคล้ายกับต้นกะเพราแสดงดังรูปที่ 1.1 แต่มีสีของใบอ่อนกว่ากะเพรา ความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20-40 เซนติเมตร และใบมีกลิ่นค่อนข้างแรง แมงลักเกิดจากการผสมสายพันธุ์ของโหระพา 2 สายพันธุ์ (คือ *Ocimum basilicum* และ *Ocimum americanum*) สามารถพบได้ในแถบ เอเชีย, แอฟริกา อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ (1,2) นิยมนำมาใช้เป็นสมุนไพรเนื่องจากมีสรรพคุณที่หลากหลาย เช่น เปลือกต้นและรากใช้แก้ไอต่างชนิดกัน เมล็ดใช้เป็นยาระบาย ใบช่วยแก้อาการวิงเวียนศีรษะและช่วยขับลมในลำไส้ (3) นอกจากนี้เป็นสมุนไพร แมงลักยังนิยมนำมาประกอบอาหาร เช่น ใบใส่ในแกงเลียงหรือแกงกะทิ รับประทานกับขนมจีน เมล็ดนำมาผสมกับเครื่องต้ม เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยจากแมงลักมีองค์ประกอบและปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ช่วงฤดูของการเก็บผลผลิต (4) ภูมิภาค อากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน พื้นที่เพาะปลูก ดินที่ใช้ปลูก ตลอดจนเทคนิคและวิธีที่ใช้สกัด (5) นอกจากนี้มีรายงานว่า แต่ละส่วนของแมงลักจะมีองค์ประกอบและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกัน (6) จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยของต้นแมงลักพบว่า มีองค์ประกอบกว่า 71 ชนิด (4)



รูปที่ 1.1 ต้นแมงลัก (7)

ปกติแมงลักปลูกเพื่อใช้ประโยชน์ 2 ส่วนคือ ใบสดใช้ประกอบอาหารคาว และเมล็ดซึ่งเก็บเกี่ยวจากต้นแห้งตาก ฟางแมงลักหลังเก็บเกี่ยวเป็นของเสียและเป็นส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว เกษตรกรจะนำไปเผาทิ้ง ทางกลุ่มวิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญที่จะนำของเสียที่เกิดขึ้นมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้เกิดประโยชน์ งานวิจัยนี้จะนำฟางแมงลักที่ได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและ

พัฒนาการเกษตรสุโขทัย กรมวิชาการเกษตร มาใช้เป็นตัวอย่างสกัดน้ำมันหอมระเหย แห่ลงเพาะปลูกแมงลักในประเทศไทยอยู่ที่จังหวัดสุโขทัย ในพื้นที่ 3 อำเภอได้แก่ อำเภอศรีสำโรง อำเภอสวรรคโลก และอำเภอทุ่งเสลี่ยม ซึ่งมีพื้นที่การเพาะปลูกมากกว่า 1,500 ไร่ และให้ผลผลิตเมล็ดแมงลักประมาณ 100-200 กิโลกรัมต่อไร่ เมล็ดแมงลักที่ผลิตได้แสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เมล็ดแมงลัก

น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้น มีกลิ่นเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของพืชแต่ละสายพันธุ์ สารเหล่านี้อาจจะสะสมอยู่ตามใบ ลำต้น ผล ดอก เมล็ด หรือรากของพืชแต่ละชนิด (8) น้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบทางเคมีซับซ้อนประกอบไปด้วยสารอินทรีย์มากกว่า 100 ชนิด องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเทอร์พีนส์ (Terpenes) เป็นหลัก กลิ่นหอมจากน้ำมันหอมระเหยที่สร้างขึ้นจะช่วยชักนำให้แมลงช่วยผสมเกสร ปกป้องพืชจากสัตว์และแมลงศัตรูพืช (9) ป้องกันเชื้อรา และแบคทีเรีย (10) น้ำมันหอมระเหยมีผลต่อร่างกายมนุษย์ในหลายด้าน เช่น มีผลต่อระบบการทำงานของต่อมน้ำเหลืองและเม็ดเลือดขาว ช่วยขจัดเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย ช่วยบรรเทาอาการอักเสบ (11-13) ช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อย คลายกล้ามเนื้อ มีผลต่อระบบประสาทกระตุ้นความจำ ช่วยผ่อนคลายความรู้สึก (8) กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน (14) น้ำมันหอมระเหยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม (8,15) ยา และอาหาร (16) ใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ใช้ในธุรกิจสปา

วิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยมีหลายวิธี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) การแช่ในไขมันเย็น (Enfleurage) การสกัดด้วยการกลั่น (Distillation) การบีบอัด (Expression) และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical carbon dioxide extraction)

ในงานวิจัยนี้สนใจเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น เปรียบเทียบกับการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากฟางแมงลัก และหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลัก ระหว่างวิธีสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตและการต้มกลั่น

1.2.2 ศึกษาองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลัก สกัดโดยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตและการต้มกลั่น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เปรียบเทียบร้อยละผลได้ของการสกัดและองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากการสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตและการต้มกลั่น ตัวแปรที่สนใจศึกษาสำหรับการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตคืออุณหภูมิและความดัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

1.4.2 ทราบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากฟางแมงลัก

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ค้นคว้าศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัย ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมันหอมระเหย

1.5.2 จัดเตรียมชุดเครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.5.3 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้วิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

1.5.4 ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้การต้มกลั่น

1.5.5 ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้วิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ (40-70 องศาเซลเซียส) และความดัน (150-300 บรรยากาศ) ที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 20 กรัมต่อนาที

1.5.6 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากทั้ง 2 วิธีข้างต้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์ (Gas chromatography–mass spectrometer : GC–MS) วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography : GC) และวิเคราะห์สัณฐานวิทยาต่อมน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

1.5.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่พบได้ในพืช ซึ่งเก็บอยู่ในท่อหรือต่อมภายในหรือภายนอกของเซลล์ชั้นกับพืชแต่ละสายพันธุ์ น้ำมันหอมระเหยเป็นของเหลว มีองค์ประกอบซับซ้อน มีสีและกลิ่นเฉพาะตัว ขึ้นกับองค์ประกอบที่พบ พืชสร้างน้ำมันหอมระเหยขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ป้องกันแมลงศัตรูพืชหรือดึงดูดแมลงที่ช่วยในการผสมเกสร

2.1.1 ประวัติน้ำมันหอมระเหย

การใช้พืชที่มีกลิ่นหอมมีประวัติความเป็นมายาวนานหลายพันปี พืชหอมเหล่านี้ถูกใช้ในพิธีกรรมต่างๆ เช่น พิธีบูชาเทพเจ้าและใช้รักษาโรค นอกจากนี้ยังพบว่ามีการนำพืชหอมบางชนิดมาใช้ในการเก็บรักษาศพเพื่อไม่ให้เน่าเปื่อย เช่น อบเชย (Cinnamon) เทียนข้าวเปลือก (Dill seed) โหระพา (Sweet basil) และลูกผักชี (Coriander seed) โดยน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืชเหล่านี้มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี (17)

มีหลักฐานและบันทึกทางประวัติศาสตร์ว่า ชาวอียิปต์มีการนำเครื่องหอมมาใช้ประโยชน์ในช่วง 4,500 ปีก่อนคริสตกาล ส่วนมากใช้ในพิธีกรรมทางศาสนาและการบูชาเทพเจ้า (18) ในสมัยกรีก มีการนำความรู้เกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหยมาประยุกต์ใช้ในการแพทย์และเครื่องสำอาง ซึ่งคาดว่าได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องน้ำมันหอมระเหยมาจากอียิปต์ แล้วถ่ายทอดศาสตร์ทางด้านการแพทย์และการรักษาโรคแก่ชาวโรมัน ต่อมาชาวโรมันได้มีการนำเครื่องหอมไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ และยังมีมีการนำไปผสมผสานประยุกต์ใช้กับศาสตร์ด้านอื่น เช่น การนวด สำหรับประเทศในแถบทวีปเอเชีย เช่น จีนและอินเดีย พบหลักฐานการเกี่ยวกับการใช้พืชหอมมาเป็นสมุนไพรเพื่อรักษาโรค ใช้ในพิธีกรรมทางศาสนาและบูชาเทพเจ้า ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับประวัติศาสตร์ของอียิปต์ ในประเทศจีนมีการบันทึกในตำราเกี่ยวกับสมุนไพรว่า ชาวจีนสามารถแยกสารหอมจากพืชได้มากกว่า 300 ชนิด (17) อีกทั้งในตำราอายุรเวทของอินเดีย มีการค้นพบพืชกว่า 700 ชนิดที่สามารถสกัดเพื่อนำมาเป็นยารักษาโรคได้ โดยตำรานี้ได้กล่าวประโยชน์ถึงพืชหอมหลายชนิดเช่น ไม้จันทน์ ขิง มดยอบ อบเชย ผักชี และกระวาน เป็นต้น (19)

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 นักเคมีชาวฝรั่งเศส เรเน่ มอริซ กัตฟอส (René Maurice Gattefosse) ได้ค้นพบประสิทธิภาพการรักษาแผลไฟไหม้ของน้ำมันหอมระเหยจากน้ำมันลาเวนเดอร์ เป็นชนิดแรก จากนั้นก็ค้นคว้าเกี่ยวกับประโยชน์ของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากพืชชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

ทั้งประโยชน์ด้านการแพทย์และเครื่องสำอาง และเรเน่ มอริช กัตฟอส บัญญัติศัพท์คำว่า “Aromatherapy” เป็นครั้งแรกในปีค.ศ. 1928 (17)

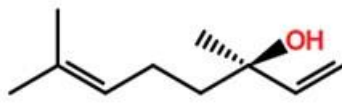
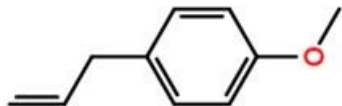
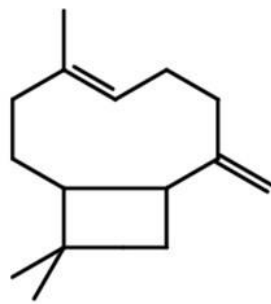
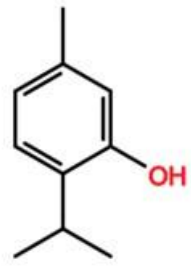
องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยและโครงสร้างของสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหย แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

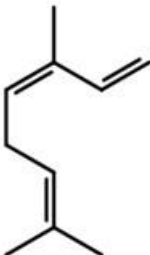
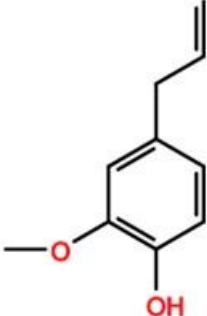
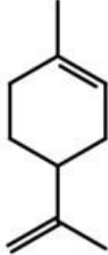

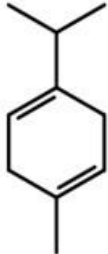
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย (19)

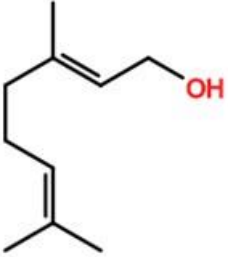
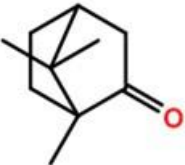
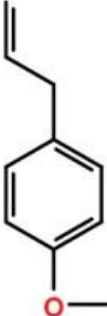
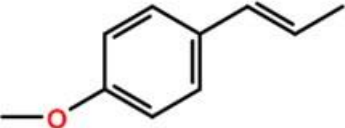
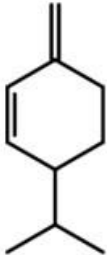
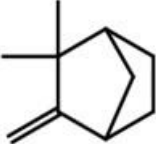
หมู่ฟังก์ชัน	องค์ประกอบเคมี	น้ำมันหอมระเหย
โมนเทอร์พีน	แคมเฟน (Camphene) ไดเพนทีน (Dipentene) ไดโมนีน (Dimonene) ลิโมนีน (Limonene) มายรีน (Myrene) โอลิมีน (Ocimene) ฟิล แลนดรีน (Phellandrene) แอลฟาและ บีตาพีนีน (Alpha & beta pinenes) แอลฟา และบีตาเทอร์พีนีน (Alpha & beta terpinene)	มะกรูด มะนาว พีช ตระกูลส้ม จูนิเปอร์ สับปะรด กายาน พีช ตระกูลสน เช่น สนไซ เพรส สนซีด้า เป็นต้น
เสสควิเทอร์พีน	บิซโบลีน (Bisbolene) แคดเนน (Cadenene) คา มาซูลีน (Chamazulene) แอลฟาและบีตาคาร์ โอฟิลลีน (Alpha & beta Caryophyllene) ฟา มาซีน (Famasene)	ดอกคาร์โมมายล์ สาย พันธุ์เยอรมัน ดอก ยาร์โรว์ เมอร์ พริกไทยดำ
โมนเทอร์พีนอลและ เสสควิเทอร์พีนอล	เบนซิล แอลกอฮอล์ (Benzyl alcohol) บิซา โบลอล (Bisabolol) บอร์นีออล (Borneol) คา โรทอล (Carotol) ซิโตรนัลลอล (Citronelol) เฟมซอล (Famesol) เจอแรนอล (Geraniol) ลา เวนดูลอล (Lavendulol) ลินาโลอล (Linalool) เมนทอล (Menthol) นีรอล (Nerol) นีโรลิดอล (Nerolidol) แพทโซลลอล (Patcholol) เทอร์พีนีออล (Terpinol) เวท เวอร์รอล (Vetverol)	โหระพา เจอเรเนียม กุหลาบ พัลมาโรซ่า ดอกส้ม ตรีโคร์หอม ลาเวนเดอร์ ลาเวน ดินล์ พิมเสน ไม้ จันทร์ หล้าแฝก เตย หอม สระแห่น มะนาว
ออกไซด์	1,8-ซินีโอล (1,8-Cineole) ยูคาลิปโทลี (Eucalyptole) ลินาโลอล ออกไซด์ (Linalool oxide)	ยูคาลิปตัส เนียโอลี กระวาน โรสแมรี่

หมู่ฟังก์ชัน	องค์ประกอบเคมี	น้ำมันหอมระเหย
ฟีนอลและฟีนิลโพเพน	เมทิล ยูจีนอล (Methyl eugenol) (Carvacrol) ชาวิคอล (Chavicol) (Estragole) ยูจีนอล (Eugenol) (Thymol)	ไทม์ ไบกระวาน ยี่หระ่า กานพลู ลูก จันทน์เทศ

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างขององค์ประกอบทางเคมีบางชนิดที่พบในน้ำมันหอมระเหย (20)

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุลและน้ำหนัก โมเลกุล	สูตรโครงสร้าง
ลินาโลอล	$C_{10}H_{18}$ M = 154.249	
เมทิล ชาวิคอล	$C_{10}H_{12}O$ M = 148.202	
คาร์วีโอฟิลลีน	$C_{15}H_{24}$ M = 204.351	
ไทมอล	$C_{10}H_{14}O$ M = 150.218	

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุลและน้ำหนัก โมเลกุล	สูตรโครงสร้าง
โอสิมีน	$C_{10}H_{16}$ $M = 136.234$	
ยูจีนอล	$C_{10}H_{12}O_2$ $M = 164.200$	
ลิโมนีน	$C_{10}H_{16}$ $M = 136.234$	
1,8-ซินีโอล	$C_{10}H_{18}O$ $M = 154.249$	
เทอร์พีนีน	$C_{10}H_{16}$ $M = 136.234$	

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุลและน้ำหนัก โมเลกุล	สูตรโครงสร้าง
เจอแรนอล	$C_{10}H_{18}O$ $M = 154.249$	
แคมฟอร์	$C_{10}H_{16}O$ $M = 152.233$	
เอสทราโกล์	$C_{10}H_{12}O$ $M = 148.202$	
อะนิโทล	$C_{10}H_{12}O$ $M = 148.202$	
ฟิลแลนดรีน	$C_{10}H_{16}$ $M = 136.234$	
แคมฟิน	$C_{10}H_{16}$ $M = 136.234$	

น้ำมันหอมระเหยแสดงสมบัติตามองค์ประกอบทางเคมี มีงานวิจัยสรุปว่า การแสดงสมบัติของน้ำมันหอมระเหยเป็นการออกฤทธิ์โดยรวมขององค์ประกอบทั้งหมด บางครั้งองค์ประกอบที่มีปริมาณน้อยอาจเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพและกลิ่นของพืชชนิดนั้นๆ (9) พืชสายพันธุ์เดียวกัน อาจมีสารเคมีในน้ำมันหอมระเหยต่างกัน เนื่องจากตัวแปรที่ส่งผลต่อองค์ประกอบ เช่น พื้นที่เพาะปลูก ความสูงจากระดับน้ำทะเล สภาพอากาศ ปริมาณความชื้น แร่ธาตุในดิน ฤดูกาลเก็บเกี่ยว การใส่ปุ๋ย นอกจากนี้แต่ละส่วนของพืช เช่น ลำต้น ใบและราก มีองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกันอีกด้วย (21,22)

2.1.2 การจำแนกกลิ่นน้ำมันหอมระเหย

2.1.2.1 กลิ่นนำ (Top note) คือ กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในกลุ่มสารระเหยง่าย มีกลิ่นคงทนน้อยกว่า 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิปกติ ได้แก่ กลิ่นมะนาว กลิ่นส้ม กลิ่นมะกรูด กลิ่นดอกส้ม เป็นต้น (23)

2.1.2.2 กลิ่นพื้น (Middle note) เป็นกลิ่นที่จะได้กลิ่นต่อจากกลิ่นนำ เนื่องจากเป็นสารเคมีระเหยยากกว่าสารเคมีในกลิ่นนำ มีกลิ่นคงทนอยู่ได้ประมาณ 4-8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิปกติ ได้แก่ กลิ่นก้านพลู กลิ่นกระดังงา กลิ่นกุหลาบ เป็นต้น (23)

2.1.2.3 กลิ่นหลัก (Bottom note or base note) เป็นกลิ่นที่รับรู้ได้หลังสุด คงอยู่ได้นานกว่า 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิปกติ ได้แก่ กลิ่นวานิลลา กลิ่นอบเชย กลิ่นไม้สน เป็นต้น (23)

2.1.3 ฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยจากพืชแต่ละชนิดจะออกฤทธิ์ต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบที่พบในน้ำมันหอมระเหยและปริมาณที่ได้รับ (Dose) ตัวอย่างการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ ต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial) ต้านเชื้อรา (Antifungal) ต้านเชื้อไวรัส (Antiviral) ลดการอักเสบ (Anti-inflammatory) ต้านมะเร็ง (Anti-tumor) ต้านอนุมูลอิสระ (Anti-oxidant)ไล่แมลงและไล่อุง (Insect/mosquito repellent action) และมีผลต่อการหลั่งฮอร์โมนของร่างกาย (Hormonal action) เป็นต้น (24)

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายแนวทาง เช่น ใช้ดม (Inhaler) ใช้ประคบ (Compress) ใช้ใส่ในเตาระเหย (Fragrancer) ใช้ผสมน้ำอาบ (Bathing) ใช้แช่เท้า (Foot bath) ฉีดพ่นละอองฝอย (Room sprays) หยอดลงบนหมอน (Pillow talk) ใช้ทำเทียนหอม (Scented candles) และนวดตัว (Aromatherapy massage) เป็นต้น (23)

2.1.5 กลไกการออกฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหย

2.1.5.1 การออกฤทธิ์ที่เกิดจากน้ำมันหอมระเหยเข้าไปทำปฏิกิริยากับฮอร์โมนและเอ็นไซม์ในร่างกาย (17)

2.1.5.2 การออกฤทธิ์ที่น้ำมันหอมระเหยไปกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารเคมีออกมา เช่น กลิ่นแคลรีเสจ (Clary sage) จะทำให้สมองหลั่งสารเอนเคฟาลิน (Enkephalins) ซึ่งสารชนิดนี้จะช่วยลดความเจ็บปวด (17)

2.1.5.3 การออกฤทธิ์ทางด้านจิตใจ เกิดจากเมื่อมีการสูดดมกลิ่นหอมเข้าไปแล้วจะมีการแสดงออกทางอารมณ์และความรู้สึก แต่การแสดงออกนั้นจะขึ้นอยู่กับ เพศ ช่วงอายุ และขึ้นกับความสามารถในการได้กลิ่นของแต่ละบุคคลด้วย (17)

2.1.6 ข้อควรระวังในการใช้น้ำมันหอมระเหย

2.1.6.1 ก่อนจะใช้น้ำมันหอมระเหยควรจะนำมาเจือจางก่อนทาผิวหนัง (17,23)

2.1.6.2 ไม่ควรนำน้ำมันหอมระเหยมาหยอดตา หยอดหู (17,23)

2.1.6.3 ไม่ควรรับประทานน้ำมันหอมระเหย ยกเว้นอยู่ในการดูแลของผู้เชี่ยวชาญ (17,23)

2.1.6.4 หลีกเลี่ยงการใช้น้ำมันหอมระเหยเมื่อมีอาการแพ้ และควรรีบไปพบแพทย์ (17,23)

2.1.6.5 สตรีมีครรภ์ควรมีแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญดูแลอย่างใกล้ชิด (17,23)

2.1.6.6 การใช้น้ำมันหอมระเหยในเด็กเล็กควรใช้น้ำมันที่อ่อนโยน (17,23)

2.2 แมงลัก

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แมงลักเป็นพืชล้มลุกในสกุลของกะเพรา-โหระพา มีใบเป็นใบเดี่ยวเล็กกลมรี สีเขียวอ่อน ชื่อสามัญเดิมเรียกกันว่า Hairy basil เนื่องจากจะมีขนอ่อนสีขาวที่บริเวณก้านใบและยอดอ่อน ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อมาเป็น Lemon basil เพราะมีกลิ่นคล้ายส้มผสมมะนาว ต้นแมงลักมีลำต้นสูงโดยเฉลี่ย 20-40 เซนติเมตร โคนลำต้นแข็ง กิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยม ลักษณะของดอกจะเป็นช่อ อยู่ตามปลายกิ่ง เมื่อกลิบบดกรวงก็จะเห็นผลขนาดเล็กสีน้ำตาลเข้ม ภายในมีเมล็ดอยู่ 4 เมล็ด (25)

อาณาจักร : Plantae

หมวด : Magnoliophyta

ชั้น : Magnoliopsida

อันดับ : Lamiales

วงศ์ : Lamiaceae

สกุล : *Ocimum*

สปีชีส์ : *O. x citriodorum*

ชื่อทวินาม : *Ocimum x citriodorum* Vis.

ชื่อสามัญ (ไทย) : แมงลัก นางลัก มังลัก (ภาคกลาง) กอมก้อขาว (ภาคเหนือ) ผักอีตู๋ (ภาคอีสาน)

ชื่อสามัญ (อังกฤษ) : Hoary Basil, Hairy Basil, Lemon Basil, Thai Lemon Basil

2.2.2 การปลูกแมงลัก

ต้นแมงลักเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในดินที่ระบายน้ำได้ดี มีการปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวใบและเมล็ดนำมาใช้ประโยชน์ การปลูกแมงลักเริ่มจากการเพาะเมล็ดในแปลงเพาะชำ ในช่วงปลายฤดูฝนช่วงต้นเดือนกันยายน เมื่อต้นกล้าอายุได้ประมาณ 3-4 สัปดาห์ จึงย้ายลงไปปลูกในแปลงที่เตรียม ในการนำกล้าลงปลูกควรตัดยอดและปลายรากออกบ้าง เพื่อให้แมงลักแตกยอดได้เร็วและลดการคายน้ำ ถ้าในช่วงปลูกมีฝนน้อยจะใช้วิธีคลุมปลูก แต่ถ้าฝนตกมาก ดินเปียกสามารถใช้ไม้แทงดินให้เป็นช่องฝังรากต้นกล้าลงไปแล้วกดให้แน่น

แมงลักเป็นพืชที่ทนความแห้งแล้งได้ดี ถ้ามีฝนตกมากเกินไปจะทำให้แมงลักแตกใบอ่อนใหม่ส่งผลให้เกิดช่อดอกช้าลง และแก่ไม่สม่ำเสมอ ถ้ามีฝนตกในขณะที่เมล็ดแมงลักเริ่มแก่จะทำให้เมล็ดร่วงจากช่อดอกไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (26)



รูปที่ 2.1 ต้นแมงลักหลังการเก็บเกี่ยว



รูปที่ 2.2 กลีบเลี้ยงดอกแมงลัก

2.2.3 การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวเมล็ดแมงลักโดยทั่วไปจะเก็บเกี่ยวเมื่อแมงลักมีอายุ 90-120 วัน โดยมากมักเก็บเกี่ยวในช่วงกลางเดือนธันวาคมถึงมกราคม ลักษณะของแมงลักที่เก็บเกี่ยวได้ คือ ช่อดอกมีสีน้ำตาลเกือบทั้งดอก (มากกว่าร้อยละ 80) ช่อดอกที่เกี่ยวแล้ว จะนำมาผึ่งแดดให้แห้งก่อนนวดหรือฝัด โดยมัดช่อดอกเป็นพ่อนวางสุมด้วยกันแสดงดังรูปที่ 2.1 ช่อดอกแมงลักแห้งมีกลีบเลี้ยงปิดยากต่อการที่จะนวดหรือฝัดให้เมล็ดออกมา รูปที่ 2.2 แสดงกลีบเลี้ยงของแมงลักที่มีเมล็ดแมงลักบรรจุอยู่ ดังนั้นก่อนที่จะนวดหรือฝัดเมล็ดแมงลักออกจากช่อ จึงมีการพรมน้ำแล้วทิ้งไว้ 3-4 ชั่วโมง เพื่อให้กลีบเลี้ยงเปิดออกก่อนนวดเมล็ดออกด้วยการตีคล้ายกับการนวดข้าวดังรูปที่ 2.3 แต่การพรมน้ำทำให้ความชื้นในเมล็ดแมงลักสูง และเกิดเชื้อราสกุลแอสเพอร์จิลลัส (*Aspergillus*) ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน (*Aflatoxin*) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (27) ในประเทศไทยจังหวัดสุโขทัยเป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกเมล็ดแมงลักมากที่สุด โดยกระจายปลูกอยู่ในพื้นที่ อ.เมือง อ.ศรีสำโรง อ.สวรรคโลก อ.ทุ่งเสลี่ยม และ อ.ศรีสัชนาลัย รวมประมาณ 1,500 ไร่



รูปที่ 2.3 การนวดฟัดแมงลักแบบเปียก (26)



รูปที่ 2.4 เชื้อราที่สร้างสารอะฟลาทอกซิน (28)

การปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซินทำให้ไม่สามารถส่งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรออกไปต่างประเทศได้ รูปที่ 2.4 เป็นเชื้อราที่สร้างสารอะฟลาทอกซินที่พบจากการพรมน้ำก่อนนวดหรือฟัดแมงลัก โดยสหภาพยุโรปและประเทศญี่ปุ่นจำกัดปริมาณอะฟลาทอกซินปนเปื้อนในสินค้าเกษตรไม่เกิน 20 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) แนวทางหนึ่งของการขจัดสารอะฟลาทอกซินในแมงลักคือการนวดฟัดแบบแห้ง (29) ซึ่งเปลี่ยนรูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้ในการนวดฟัดจากการตีเป็นการบดทำให้กระเปาะหุ้มเมล็ดแตกออก (28) รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการนวดฟัดแมงลักแบบแห้ง



รูปที่ 2.5 เครื่องจักรที่ใช้ขนาดฝัดแมงลักแบบแห้ง

2.2.4 การใช้ประโยชน์จากแมงลัก

การปลูกแมงลักนิยมปลูกเพื่อใช้ประโยชน์จากใบและเมล็ด มุ่งเน้นในเรื่องเกี่ยวกับอาหารและสมุนไพร ใบแมงลักใช้ประกอบอาหารได้หลายอย่าง เช่น ห่อหมก แกงเลียง อ่อม แกงคั่ว ขนมะจิ้น ส่วนเมล็ดจะแช่น้ำให้พอง ใช้ทำขนมหรือรับประทานกับน้ำแข็งใส ไอศกรีม เป็นต้น สำหรับใบและเมล็ดแมงลักยังมีสรรพคุณที่หลากหลาย เช่น ใบแมงลักมีฤทธิ์ช่วยขับลมในลำไส้ บรรเทาอาการอึดอัด ไม่สบายท้อง เมล็ดแมงลักช่วยให้ระบบขับถ่ายของร่างกายทำงานได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำแมงลักมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.6 เช่น การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้วหลังการเก็บเกี่ยว น้ำมันหอมระเหยจากแมงลักส่วนใหญ่สกัดจากต้นและใบสด มีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันหอมระเหยจากแมงลัก เช่น ใช้ต้านเชื้อราและแบคทีเรีย (9) ใช้ไล่แมลงและศัตรูพืช (9) ช่วยผ่อนคลายและปรับระบบประสาท (23) เป็นต้น ฟางแมงลักหลังสกัดน้ำมันหอมระเหยสามารถนำมาทำก้อนเชื้อเพาะเห็ดได้ มีการวิจัยเกี่ยวกับการนำเมือกจากเมล็ดแมงลักมาใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร เช่น ทำสารคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม (30) ทำเป็นสารเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์ขนม (31) และใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ (32) เป็นต้น เมล็ดแมงลักสามารถนำมาบดและสกัดน้ำมันโอเมกา 3 ใช้ทดแทนแหล่งน้ำมันโอเมกา 3 จากสัตว์ เหมาะกับผู้ที่รับประทานมังสวิรัต ส่วนเมล็ดที่บดและสกัดน้ำมันออกแล้ว นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ช่วยเพิ่มเส้นใยอาหารได้

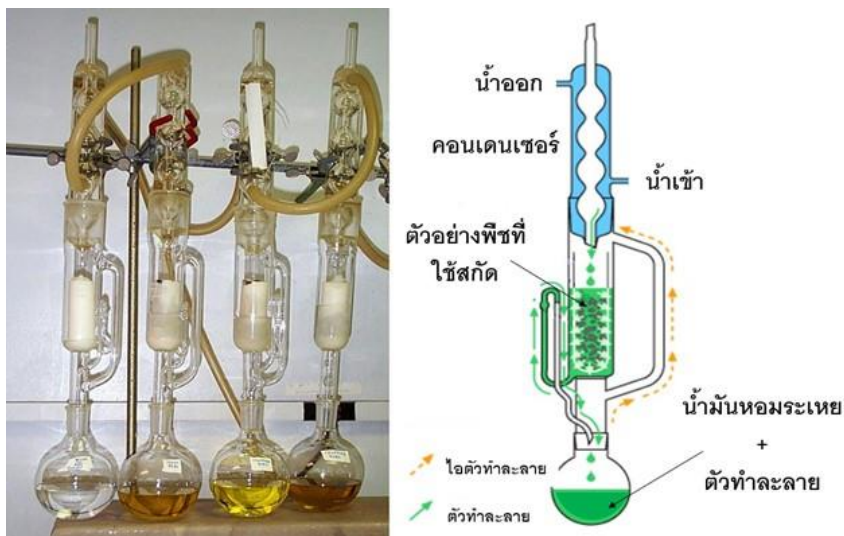


รูปที่ 2.6 การใช้ประโยชน์จากขมิ้น

2.3 เทคนิคการสกัดน้ำมันหอมระเหย

2.3.1 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

หลักการของการสกัดด้วยตัวทำละลายคือ การเลือกใช้ตัวทำละลายที่สามารถละลายสารที่ต้องการออกมาได้ วิธีนี้เหมาะกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชที่ไม่สามารถสกัดด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำได้ เนื่องจากการกลั่นด้วยไอน้ำใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้องค์ประกอบบางชนิดในน้ำมันหอมระเหยสลายตัวได้ (9,33) ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ เฮกเซน ปีโตรเลียมอีเทอร์ เมทิลลีนคลอไรด์ เป็นต้น (34) การสกัดด้วยตัวทำละลายแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (35)

2.3.2 การสกัดด้วยไขมันเย็น

การสกัดด้วยไขมันเย็นใช้ไขมันสัตว์ที่มีสมบัติในการดูดกลิ่นได้ดี นิยมนำมาใช้สกัดกลิ่นหอมจากดอกไม้ที่ไม่สามารถสกัดด้วยการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำได้ (23) หรือใช้สกัดกลิ่นหอมจากดอกไม้ที่มีองค์ประกอบที่สลายตัวง่ายไม่ทนต่อความร้อน เช่น มะลิ และช่อนกลิ่น กระบวนการสกัดด้วยไขมันเย็นเริ่มจากนำไขมันสัตว์ที่เตรียมไปเกลี่ยลงบนถาด ไขมันที่ใช้นี้ต้องปราศจากกลิ่นและมีความแข็งพอเหมาะ ถ้าไขมันแข็งเกินไปจะทำให้ดูดกลิ่นไม่ดี แต่ถ้าอ่อนเกินไปจะทำให้เอาดอกไม้ออกยาก อุณหภูมิที่ใช้สกัดทำที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำดอกไม้สดไปวางบนไขมันที่เตรียมไว้ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.8 เมื่อครบเวลาที่กำหนดทำการเปลี่ยนเอาดอกสดชุดใหม่มาวางอีก และทำซ้ำเพื่อให้ไขมันสะสมกลิ่นได้มากพอ (9)



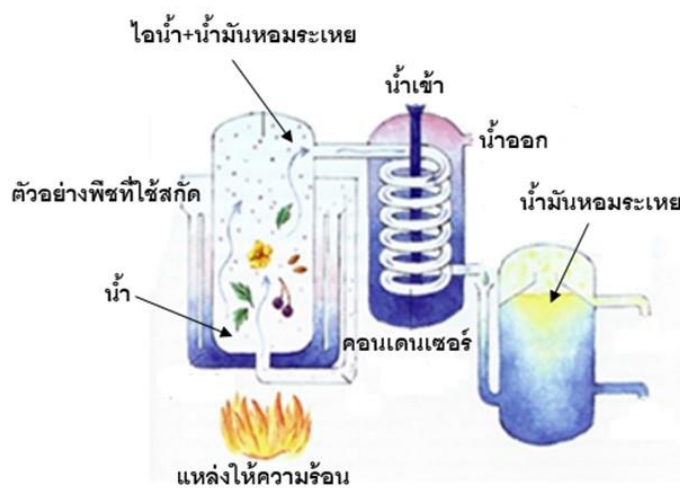
รูปที่ 2.8 การสกัดด้วยไขมันเย็น (36)

2.3.3 การสกัดด้วยการกลั่น

การกลั่นแบ่งออกได้อีก 2 วิธีดังนี้

2.3.3.1 การกลั่นด้วยน้ำร้อน (Water distillation) หรือการต้มกลั่น (Hydrodistillation)

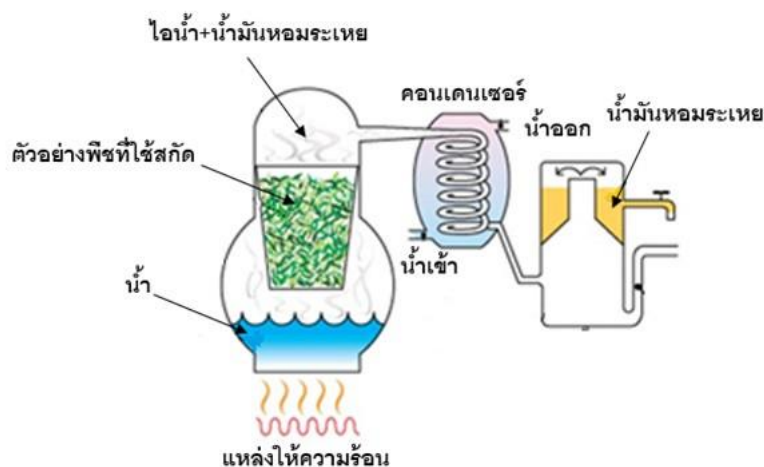
เป็นวิธีที่นิยมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยทั่วไป ทำโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำและให้ความร้อนจนน้ำเดือด ถ้าตัวอย่างได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมออาจจะทำให้น้ำมันหอมระเหยที่ได้มีกลิ่นไหม้ปนมา (23) รูปที่ 2.9 แสดงรูปการต้มกลั่น เมื่อไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) น้ำมันหอมระเหยและน้ำจะกลายเป็นของเหลวแยกชั้น



รูปที่ 2.9 การต้มกลั่น (37)

2.3.3.2 การกลั่นไอน้ำ (Steam distillation)

วิธีนี้ใช้ตะแกรงรองตัวอย่างที่ต้องการสกัด และต้มน้ำไว้ใต้ตัวอย่าง ไอน้ำจะลอยผ่านพืช สกัดน้ำมันหอมระเหยออกมา แสดงดังรูปที่ 2.10 ตัวอย่างที่นำมาสกัดมีอุณหภูมิสม่ำเสมอว่าการต้มกลั่น ทำให้คุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจึงดีกว่าการต้มกลั่น การสกัดแบบนี้นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยในอุตสาหกรรม (9,23) เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยออกจากตัวอย่างได้ง่ายกว่าการต้มกลั่นซึ่งแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำ



รูปที่ 2.10 การกลั่นด้วยไอน้ำ (38)

2.3.4 การบีบอัด

การบีบอัดด้วยมือหรือเครื่องจักรทำให้ต่อมน้ำมันหอมระเหยแตกออกจากเซลล์พืชได้ เทคนิคนี้เหมาะสำหรับ พืชตระกูลส้ม เนื่องจากพืชตระกูลนี้จะมีต่อมน้ำมันหอมระเหยสะสมอยู่ใต้ผิวเปลือกจำนวนมาก ซึ่งจะแตกออกได้ง่ายเมื่อถูกบีบ (23,38)

2.3.5 การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต

การใช้ของไหลภาวะเหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลายสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้าง เช่น ใช้สกัดน้ำมันหอมระเหย (39) กลิ่น สี สารออกฤทธิ์จากธรรมชาติ และใช้ช่วยในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (40) เป็นต้น สมบัติเด่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤตได้แก่

2.3.5.1 สมบัติการถ่ายโอน (Transportation property)

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีสมบัติในการแพร่ดี เนื่องจากมีความหนืดต่ำ ทำให้สามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างของตัวอย่างที่ต้องการสกัดได้ดี ความสามารถในการถ่ายโอนนี้สามารถควบคุมด้วยการปรับอุณหภูมิและความดันให้ได้ค่าที่ต้องการ (41)

2.3.5.2 สมบัติการทำละลาย (Solvent power property)

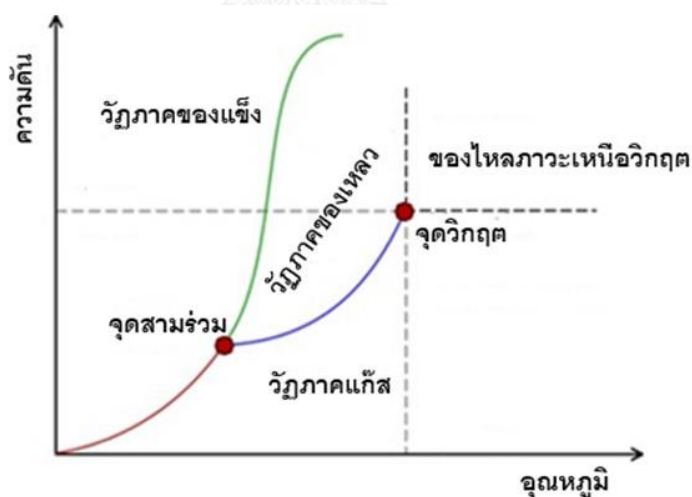
ตัวทำละลายทั่วไปมีสมบัติการทำละลายคงที่ ซึ่งต่างจากของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่สามารถเลือกปรับสมบัติการทำละลายได้ จากการปรับอุณหภูมิและความดัน โดยความดันมีผลต่อสมบัติการทำละลายมากกว่าอุณหภูมิ (41)

2.3.5.3 สมบัติในการเลือกสกัด (Selectivity property)

การเลือกสกัดเป็นสมบัติที่ติดอ็อกของของไหลภาวะเหนือวิกฤต ทำได้โดยการปรับอุณหภูมิและความดัน เพื่อเลือกสกัดสารที่ต้องการและมีสารที่ไม่ต้องการน้อยที่สุด (41)

2.4 ของไหลภาวะเหนือวิกฤต

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตคือ สารในสถานะที่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าอยู่ในสถานะของเหลวหรือสถานะแก๊ส เกิดขึ้นเมื่อสารนั้นมีอุณหภูมิและความดันอยู่เหนือจุดวิกฤต รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพ ความดัน-อุณหภูมิ (Pressure-temperature phase diagram) ของสารบริสุทธิ์ทั่วไป จากแผนภาพแสดงสถานะของสารทั้ง 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยมีเส้นโค้งของการหลอมละลาย (Fusion line) แบ่งระหว่างสถานะของแข็งกับของเหลว และเส้นโค้งความดันไอ (Boiling line) เป็นเส้นแบ่งสถานะระหว่างของเหลวกับแก๊ส โดยมีจุดที่อยู่ระหว่าง 3 สถานะคือจุดสามร่วม (Triple point) เป็นจุดสมดุลของสารทั้ง 3 สถานะ และมีจุดวิกฤต (Critical point) เป็นจุดสิ้นสุด (41) โดยอุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature) คือ อุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สสามารถเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวได้เมื่อเพิ่มความดัน และความดันวิกฤต (Critical pressure) คือ ความดันสูงสุดที่ของเหลวสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ภาวะที่ของไหลมีทั้งอุณหภูมิและความดันอยู่เหนือค่าวิกฤตจะเรียกว่า ของไหลภาวะเหนือวิกฤต



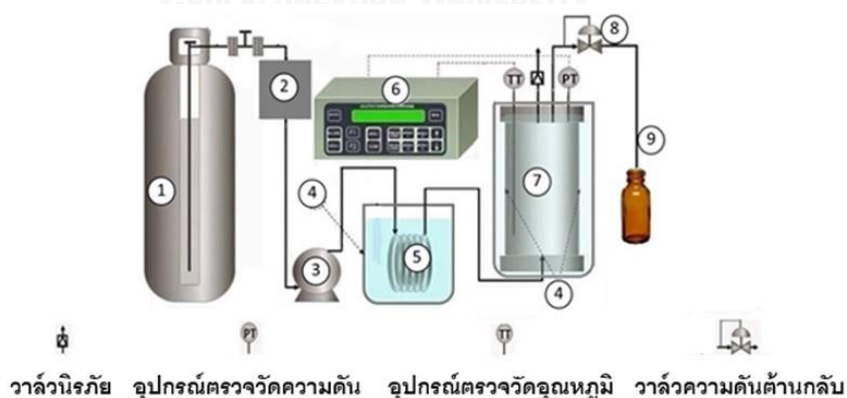
รูปที่ 2.11 แผนภาพ ความดัน-อุณหภูมิ ของสารบริสุทธิ์ทั่วไป (42)

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีสมบัติทางเคมีฟิสิกส์อยู่ระหว่างของเหลวกับแก๊ส แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของ แก๊ส ของไหลสถานะเหนือวิกฤต และของเหลว ของคาร์บอนไดออกไซด์ (41)

สถานะ	คาร์บอนไดออกไซด์		
	ความหนาแน่น ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ความหนืด ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	สัมประสิทธิ์การแพร่ ของแนฟทาลีนใน คาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
แก๊ส 313 เคลวิน, 1 บาร์	2	16	5.1×10^{-6}
ของไหลสถานะเหนือวิกฤต 313 เคลวิน, 100 บาร์	632	17	1.4×10^{-8}
ของเหลว 300 เคลวิน, 500 บาร์	1029	133	8.7×10^{-9}

จากตารางจะเห็นว่า ค่าความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์สถานะเหนือวิกฤตมีค่าใกล้เคียงกับของเหลวทำให้สามารถนำมาใช้เป็นตัวทำละลายได้ดี สำหรับค่าความหนืดและสัมประสิทธิ์ในการแพร่จะมีค่าใกล้เคียงกับแก๊ส ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์สถานะเหนือวิกฤตสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างของตัวอย่างได้ง่าย ด้วยเหตุนี้การใช้ของไหลสถานะเหนือวิกฤตจึงนำมาใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลายอย่างกว้างขวาง



รูปที่ 2.12 เครื่องสกัดด้วยของไหลสถานะเหนือวิกฤต

1. ท่อคาร์บอนไดออกไซด์เหลว
2. ระบบหล่อเย็น
3. ปั๊มแรงดันสูง
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
6. เครื่องควบคุม
7. เครื่องสกัด
8. วาล์วความดันต้านกลับ
9. ขวดเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างเครื่องสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตดังแสดงในรูปที่ 2.12 ขั้นตอนแรกบรรจตัวอย่างที่ต้องการสกัดในเครื่องสกัด (หมายเลข 7) ก่อนเริ่มการสกัดปิดวาล์วความดันด้านกลับ (Back-pressure regulator) (หมายเลข 8) ก่อนเปิดวาล์วถังคาร์บอนไดออกไซด์ (หมายเลข 1) ระบบหล่อเย็น (หมายเลข 2) ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นของเหลว จากนั้นปั๊มคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบโดยใช้ปั๊มแรงดันสูง (หมายเลข 3) แล้วปรับเพิ่มความดันด้วย Back-pressure regulator อ่างควบคุมอุณหภูมิ (หมายเลข 4) ใช้เพิ่มอุณหภูมิเพื่อทำให้คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ภาวะเหนือวิกฤตก่อนเข้าเครื่องสกัด โดยเก็บตัวอย่างที่ขวดหมายเลข 9

2.4.1 หลักเกณฑ์การเลือกตัวทำละลายเพื่อใช้เป็นตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต

2.4.1.1 ปลอดภัยไม่เป็นพิษ เช่น แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) เป็นแก๊สพิษ มีฤทธิ์กัดกร่อน เป็นอันตรายต่อผู้ทำวิจัย และสามารถสร้างความเสียหายต่อเครื่องสกัดได้

2.4.1.2 ไม่เกิดการเผาไหม้หรือระเบิดได้ง่าย เช่น โพรเพน (Propane) เป็นแก๊สไวไฟ และสามารถระเบิดได้เมื่อเกิดการรั่วไหลในบริเวณที่มีเปลวไฟหรือประกายไฟ

2.4.1.3 ตัวทำละลายที่เลือกใช้ต้องเหมาะสมกับเครื่องสกัดทั้งค่าความดันวิกฤตและอุณหภูมิวิกฤตต้องอยู่ภายใต้ขีดจำกัดของเครื่องสกัด

2.4.1.4 ตัวทำละลายต้องไม่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์

2.4.1.5 ตัวทำละลายต้องแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย

2.4.1.6 ความสามารถในการทำละลายของตัวทำละลายต้องดีเมื่อเป็นของไหลภาวะเหนือวิกฤต

ตัวทำละลายที่เป็นของไหลภาวะเหนือวิกฤตในอุตสาหกรรมนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากมีอุณหภูมิ-ความดันวิกฤตต่ำ ไม่มีพิษ ไม่ใช่แก๊สไวไฟ ราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และง่ายในการแยกจากผลิตภัณฑ์ (43-45)

2.4.2 ปัจจัยและตัวแปรที่มีผลต่อเทคนิคการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต

ในการสกัดแต่ละเทคนิค ร้อยละผลได้ องค์ประกอบและปริมาณขององค์ประกอบ จะแตกต่างกัน สำหรับเทคนิคการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตจะขึ้นกับปัจจัยและตัวแปรดังนี้

2.4.2.1 อุณหภูมิและความดัน

การปรับอุณหภูมิและความดันจะมีผลต่อ ความหนาแน่น การแพร่ และความหนืดของของไหลภาวะเหนือวิกฤต เมื่ออุณหภูมิคงที่ การเพิ่มความดันส่งผลให้ความหนาแน่นและความหนืดของ

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตเพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเข้ามาอยู่ใกล้กัน ส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ลดลง ในทางกลับกัน เมื่อความดันคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความหนาแน่นและความหนืดของของไหลภาวะเหนือวิกฤตลดลง เนื่องจากโมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเคลื่อนที่ได้อิสระมากขึ้น การแพร่จึงเกิดได้ดีขึ้น ทั้งนี้ร้อยละผลได้การสกัดจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบและองค์ประกอบที่ต้องการสกัด (33,46)

2.4.2.2 ขนาดอนุภาค

ขนาดอนุภาคของตัวอย่างที่ใช้สกัดมีผลต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ อนุภาคขนาดเล็กจะให้ร้อยละผลได้การสกัดออกมามากกว่า เนื่องจากผิวสัมผัสระหว่างตัวอย่างและตัวทำละลายมีมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ การถ่ายโอนมวล (Mass transfer) จึงเกิดได้ดีกว่า (46,47)

2.4.2.3 อัตราการไหลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต

อัตราการไหลคือปริมาณของของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่ใช้ต่อเวลา การเพิ่มอัตราการไหลจะทำให้ผลได้การสกัดดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลเป็นการเพิ่มโมเลกุลของตัวทำละลายเข้าไปในระบบ เมื่อโมเลกุลของตัวทำละลายมากทำให้สามารถเข้าไปล้อมตัวถูกละลายได้ง่ายขึ้น (46,47)

2.4.2.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด

การสกัดที่ใช้เวลามากจะให้ผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวทำละลายจะมีเวลาเพียงพอที่จะเข้าไปสกัดตัวถูกละลายออกมา การใช้เวลาในการสกัดที่น้อยไปอาจจะสกัดสารได้เพียงบางส่วนจากพื้นผิวของอนุภาคเท่านั้น (46,47)

2.4.2.5 ตัวทำละลายร่วม

การเติมตัวทำละลายร่วม เช่น เอทานอลหรือ แอซีโตน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารที่มีขั้วในตัวอย่างไม่ได้ แต่การเติมตัวทำละลายร่วมมากเกินไปอาจเกิดการปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ (33,47)

2.4.3 การนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม

การนำของไหลภาวะเหนือวิกฤตมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร (Food industry) ใช้แยกสารคาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟ (Decaffeination) มีโรงงานผลิตอยู่ในประเทศเยอรมัน (Kaffee HAG AG) และอิตาลี (SKW-Trostberg) สกัดสีจากพริกหวานเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร มีโรงงานผลิตอยู่ในประเทศญี่ปุ่น (Mohri Oil Mills) อุตสาหกรรมน้ำหอมและเครื่องสำอาง (Cosmetic industry) ใช้สกัดกลิ่นหอมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ มีโรงงานผลิตอยู่ในประเทศฝรั่งเศส (Camilli Albert & Louie) และเยอรมัน (Flavex GmbH) (48,49) เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Al-Kateb และคณะ (4) ศึกษาองค์ประกอบสารระเหยจากของเหลวที่สกัดได้จากแต่ละส่วนของต้นแมงลัก (*Ocimum citriodorum* Vis) ในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตที่ได้จากการตัดมัลลันด้วยเทคนิค SPME-GC/MS สารประกอบหลักที่พบในน้ำมันหอมระเหยจากต้นแมงลักคือ ซีทรอล (Citral) ลินาโลอล (Linalool) และ เอสตราโกล์ (Estragole) ซีทรอลเป็นองค์ประกอบหลักที่มีกลิ่นคล้ายมะนาว พบปริมาณมากถึงร้อยละ 79 และ 65 ของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดออกมาได้ทั้งหมดจากแมงลักในช่วงหลังออกดอก (Post-flowering) และ ออกดอกเต็มที่ (Full-flowering) ตามลำดับ ปริมาณของซีทรอลจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 42 ในช่วงก่อนออกดอก (Pre-flowering) ลินาโลอลมีปริมาณสม่ำเสมอในทุกๆช่วงของการเจริญเติบโต (ร้อยละ 2-3) เอสตราโกล์ พบในปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดออกมาได้ทั้งหมดในช่วงก่อนออกดอก และลดลงเหลือร้อยละ 2 และ 0.4 ในช่วงออกดอกเต็มที่และหลังออกดอก ตามลำดับ น้ำมันหอมระเหยที่ได้ออกมาจากแต่ละส่วนของต้นแมงลักมีปริมาณและให้กลิ่นต่างกัน น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากใบและดอกมีซีทรอลร้อยละ 64.5 เท่ากัน ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากกิ่งมีซีทรอลร้อยละ 58 ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากใบ ดอก และกิ่งมีลินาโลอลร้อยละ 3 13 และ 11 ตามลำดับ

Zhao และคณะ (33) ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัส (*Eucalyptus loxophleba* ssp. *lissophloia*) โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิในช่วง 40-80 องศาเซลเซียส ความดันในช่วง 10-50 เมกะพาสคัล เวลาที่ใช้สกัดในช่วง 30-150 นาที จากผลการทดลองพบว่า ความดันเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลได้ผลของความดันและอุณหภูมิมีอันตรกิริยา (Interaction) กัน กล่าวคือร้อยละผลได้สูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ความดันสูง แต่การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ร้อยละผลได้ลดลงที่ความดันต่ำ เมื่อเปรียบเทียบการสกัดใบยูคาลิปตัสด้วยซอกซ์เลต และการตัดมัลลัน พบว่าการสกัดด้วยซอกซ์เลตให้ร้อยละผลได้สูงสุดในขณะที่การตัดมัลลันให้ร้อยละผลได้ต่ำที่สุด โดยร้อยละผลได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตมีค่าอยู่ระหว่างทั้ง 2 วิธี องค์ประกอบที่ได้จากการสกัดแต่ละวิธีเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS พบว่า องค์ประกอบหลักของสารสกัดคือ 1,8-ซินีโอล (1,8-cineole) องค์ประกอบที่พบจากการสกัดทั้ง 3 เทคนิคแตกต่างกันทั้งองค์ประกอบและปริมาณ การตัดมัลลันสกัดได้เฉพาะองค์ประกอบที่ระเหยได้ง่ายเท่านั้น ในขณะที่การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตและการสกัดด้วยวิธีซอกซ์เลตสกัดได้ทั้งองค์ประกอบที่ระเหยง่ายและสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ผลของการเติมเอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมร้อยละ 5 ถึง 15 ในของไหลภาวะเหนือวิกฤต พบว่าประสิทธิภาพการสกัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายร่วม เนื่องจากเอทานอลเป็นสารมีขั้ว สารมีขั้วในใบยูคาลิปตัสจึงถูกสกัดออกมา ทำให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น

Zhao และคณะ (46) ศึกษาการสกัดน้ำมันเมล็ดมะรุม (*Moringa oleifera*) ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยใช้ระบบ SFT Custom SCW-SFE ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ อัตราการไหลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต และเวลาที่ใช้สกัด จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความดัน เวลาที่ใช้ในการสกัดและอัตราการไหลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต ทำให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการสกัดที่ได้ก็ขึ้นกับความดันที่ใช้สกัด คล้ายกับงานวิจัยของ Zhao และคณะ (33) กล่าวคือ ร้อยละผลได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ความดันสูง นอกจากนี้พบว่าขนาดอนุภาคมีผลต่อร้อยละผลได้เช่นกัน เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น เพราะว่าพื้นที่ผิวของอนุภาคที่สัมผัสกับตัวทำละลายมีมากขึ้น การถ่ายโอนมวล จึงเกิดได้ดีขึ้น ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคที่เล็กลง

Chiao Yang และคณะ (47) ศึกษาการสกัดกรดโปรโทคาเทคซุอิก (protocatechuic acid) จากต้นเป่าจื่อเหลียน (*Scutellaria barbata* D. Don) โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต และมีน้ำเป็นตัวทำละลายร่วม ที่ภาวะการทดลองดังนี้ ความดันในช่วง 16.2-30.0 เมกะพาสคัล อุณหภูมิในช่วง 45-75 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต 2.2 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณตัวทำละลายร่วมร้อยละ 0-15.6 และขนาดอนุภาคของวัตถุดิบใช้สกัด 0.925 0.725 0.55 0.355 และขนาดเล็กกว่า 0.21 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า ร้อยละผลได้การสกัดกรดโปรโทคาเทคซุอิกเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคที่เล็กลง อย่างไรก็ตาม ร้อยละผลได้การสกัดลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 75 ไปถึง 80 องศาเซลเซียส เพราะการเพิ่มอุณหภูมิการสกัด เมื่อความดันคงที่ ทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดลดลง ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลจะทำให้ร้อยละผลได้การสกัดดีขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของตัวทำละลายในระบบเพิ่มขึ้น อันตรกิริยาระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายจะเกิดดีขึ้น เมื่อลดขนาดอนุภาคลงส่งผลให้การสกัดมีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของอนุภาคที่สัมผัสกับตัวทำละลายมีมากขึ้น การละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายเกิดง่ายขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อขนาดของอนุภาคที่นำมาใช้สกัดมีขนาดเล็กกว่า 0.21 มิลลิเมตร ผลได้จากการสกัดจะลดลง เนื่องจากอนุภาคอัดตัวกันแน่นเกินไปแต่ก็มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการเติมน้ำเป็นตัวทำละลายร่วมทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะว่ากรดโปรโทคาเทคซุอิกเป็นสารมีขี้ผึ้ง จึงสามารถละลายในน้ำได้ดี

Carovic-Stanko และคณะ (50) ศึกษาองค์ประกอบและฤทธิ์การต่อต้านแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสกุล *Ocimum* 7 taxa (taxa : จำนวน species+subspecies+var.) ได้แก่

O. americanum *O. basilicum* ‘Genovese’ *O. basilicum* var. *difforme* *O. basilicum* var. *purpurascens* *O. campechianum* *O. x citriodorum* Vis. และ *O. kilimandscharicum* สกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีต้มกลั่น ใช้เวลาสกัด 3 ชั่วโมง องค์ประกอบที่ได้จากการสกัดจากพืชแต่ละชนิด เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS พบองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยโดยรวม 69 องค์ประกอบ น้ำมันหอมระเหยที่สกัดจาก *O. basilicum* var. *difforme* มีจำนวนองค์ประกอบมากที่สุด 32 องค์ประกอบ และ *O. basilicum* var. *purpurascens* พบองค์ประกอบน้อยที่สุด 10 องค์ประกอบ ผลการทดสอบการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย 8 ชนิดคือ *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Listeria ivanovii*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus aureus* และ *Staphylococcus epidermis* โดยใช้เทคนิคการแพร่ของสารชีวภาพที่เติมลงบนกระดาษกรอง (Disc diffusion techniques) ผลการทดลองพบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* 0157:H7 ถูกยับยั้งได้ดี เมื่อทดสอบด้วยน้ำมันหอมระเหยจาก *O. basilicum* “Genovese” ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจาก *O. americanum* และ *O. x citriodorum* Vis มีประสิทธิภาพดีมากในการต่อต้าน *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus aureus* และ *Staphylococcus epidermis* อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยจาก *O. x citriodorum* Vis ยังมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *Listeria monocytogenes* และ *Listeria ivanovii* ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชชนิดอื่นๆ น้ำมันหอมระเหยจาก *O. basilicum* var. *purpurascens* มีความสามารถในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยที่สกัดจาก *O. basilicum* var. *difforme* *O. campechianum* และ *O. kilimandscharicum* มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียแบบอ่อนๆ

การเลือกเทคนิคการสกัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับ สารสำคัญที่ต้องการสกัด การใช้ประโยชน์ ปริมาณสารสำคัญในตัวอย่าง รวมถึงความรู้และความเชี่ยวชาญของผู้ใช้งาน เทคนิคการสกัดแต่ละเทคนิคมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการต่างๆ

วิธีการสกัด	ข้อดี	ข้อเสีย
การสกัดด้วยตัวทำละลาย	ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง (5)	อาจมีการตกค้างของตัวทำละลายและการสลายตัวทางความร้อนขณะกลั่นแยกตัวทำละลาย (51,52)
การสกัดด้วยไขมันเย็น	เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายไม่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน	ใช้เวลานานและความแข็งของไขมันต้องพอเหมาะไม่อ่อนจนเกินไป (9)
การสกัดด้วยการต้มกลั่น	เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายและใช้กันอย่างแพร่หลาย (5,11)	การสกัดวิธีนี้ใช้อุณหภูมิที่สูงอาจทำให้องค์ประกอบบางชนิดในน้ำมันหอมระเหยเกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ (11,53)
การบีบอัด	เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายไม่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน	เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันมากแต่ได้น้ำมันหอมระเหยน้อยและไม่บริสุทธิ์ (5)
การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	ไม่มีสารพิษตกค้าง ใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัด (44,54,55) คาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้สกัดนำกลับมาใช้ใหม่ได้และง่ายในการแยกออกจากน้ำมันหอมระเหย ความหนืดของตัวทำละลายน้อยและความสามารถในการละลาย (solvent power) สูง (55)	เครื่องมือแพงกว่าการสกัดแบบดั้งเดิมและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารไม่มีขั้ว ดังนั้นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ที่สกัดได้จะเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (33)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- ชุดสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet extraction apparatus)
- ชุดสกัดด้วยการต้มกลั่น (Clevenger type apparatus)
- ชุดสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical fluid extraction Apparatus)
- เครื่องชั่งดิจิตอล (Analytical balance)
- เครื่องทำความร้อน (Heating mantle)
- เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography : GC)
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์ (Gas chromatography mass spectrometry : GC-MS)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM)

3.1.2 สารเคมี

- เฮกเซน (n-Hexane, C_6H_{14}) : เกรดการค้า (Commercial grade)
- เฮปเทน (n-Heptane, C_7H_{16}) : เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
- น้ำปราศจากไอออน (DI water)
- คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) : เกรดอาหาร (Food grade)
- สารมาตรฐาน (Standard) : ลินาโลอล (Linalool) ซิตรอล (Citral) คาร์ีโอฟิลลิน ออกไซด์ (Caryophyllene oxide)

3.2 รายละเอียดวัตถุดิบและสารเคมี

3.2.1 รายละเอียดวัตถุดิบ

ฟางแมงลักได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย
เก็บเกี่ยวช่วงเดือนธันวาคม 2559

3.2.2 รายละเอียดสารเคมี

เฮกเซน เกรดการค้า ขนาด 15 กิโลกรัม ของ ZEN POINT สั่งซื้อจาก Earth Cheme Lab
 เฮปเทน เกรดวิเคราะห์ ขนาด 2.5 ลิตร ของ FISHER สั่งซื้อจาก APEX CHEMICALS CO., LTD.
 คาร์บอนไดออกไซด์ เกรดอาหาร ขนาด 7 ลูกบาศก์เมตร สั่งซื้อจาก Praxair สารมาตรฐาน
 ลินาโลอล 99% ขนาด 1 มิลลิลิตร ซิทรอล เกรดวิเคราะห์ ขนาด 1 มิลลิลิตร คาร์ีโอฟิลีนออกไซด์
 99% ขนาด 1 กรัม ของ Sigma-Aldrich สั่งซื้อจาก A.C.S. Xenon Limited Partnership

3.3 รายละเอียดวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลัก (*Ocimum
 citriodourum* Vis.) ที่สีเมล็ดออกด้วยการนวดฝัดแบบแห้งโดยใช้การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์
 ภาวะเหนือวิกฤตและการต้มกลั่น ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

3.3.1 การเตรียมฟางแมงลัก

นำฟางแมงลักที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมาตากแห้งโดยการผึ่งลมที่อุณหภูมิห้อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อรา หลังจากนั้นนำไปจัดเก็บไว้ในภาชนะแห้ง ลักษณะฟางแมงลักที่ผ่านการสีแห้งแสดงดังรูปที่ 3.1



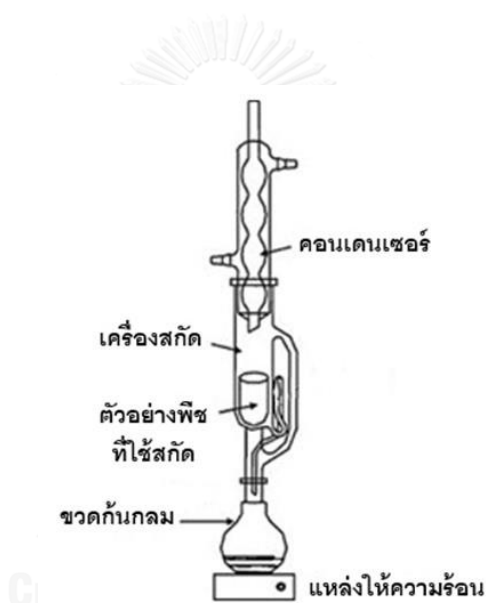
รูปที่ 3.1 ฟางแมงลักที่ผ่านการสีแห้ง

3.3.2 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยชุดสกัดแบบซอกซ์เลต

ชุดสกัดซอกซ์เลตประกอบด้วย คอนเดนเซอร์ ซอกซ์เลตเอกซ์แทรกเตอร์ (Soxhlet
 extractor) ขนาด 100 มิลลิลิตร เซลลูโลสทิมเบิล (Cellulose thimble) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.3

เซนติเมตร ยาว 9.4 เซนติเมตร ของ Whatman ขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร เครื่องทำความร้อน รุ่น model EMA 0250/CEB ของ Barnstead-Electrothermal หลังจากสกัดตัวอย่างเสร็จ นำสารละลายตัวอย่างที่ละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน รุ่น LABOROTA 4300 control ของ Heidolph

ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟางแมงลัก 7 กรัม ใส่ในเซลล์ลูโลสทิมเบิล แล้วตั้งชุดการทดลองดังรูปที่ 3.2 โดยใช้ขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้เฮกเซน 300 มิลลิลิตร ดำเนินการสกัดเป็นเวลา 15 ชั่วโมง ปรับอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อนเท่ากับ 69 องศาเซลเซียส นำสารละลายที่สกัดได้ไประเหยเฮกเซนออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 175 มิลลิบาร์ รูปที่ 3.3 เพื่อหาผลได้การสกัดและนำมาวิเคราะห์หาปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC และ GC-MS



รูปที่ 3.2 ชุดสกัดแบบซอกซ์เลต (52)



รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน

3.3.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น

ชุดสกัดต้มกลั่นประกอบด้วย คอนเดนเซอร์ ชุดรองรับน้ำมันหอมระเหย (Clevenger-type apparatus) สั่งซื้อจาก SCITRADER CO., LTD. ขวดก้นกลมขนาด 2000 มิลลิลิตร และเครื่องทำความร้อน รุ่น WHM 12015 ของ Wisd ทำความร้อนได้สูงสุด 450 องศาเซลเซียส

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของฟางแมงลัก 400 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมแล้วตั้งชุดการทดลองการสกัดแบบต้มกลั่น ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นเติมน้ำ 1,500 มิลลิลิตร แล้วดำเนินการสกัดเป็นเวลา 15 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด เก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยเพื่อนำไปคำนวณหาผลได้การสกัดและนำมาวิเคราะห์หาปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC และ GC-MS



รูปที่ 3.4 ชุดสกัดแบบต้มกลับ

3.3.4 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Carbon dioxide Extraction)

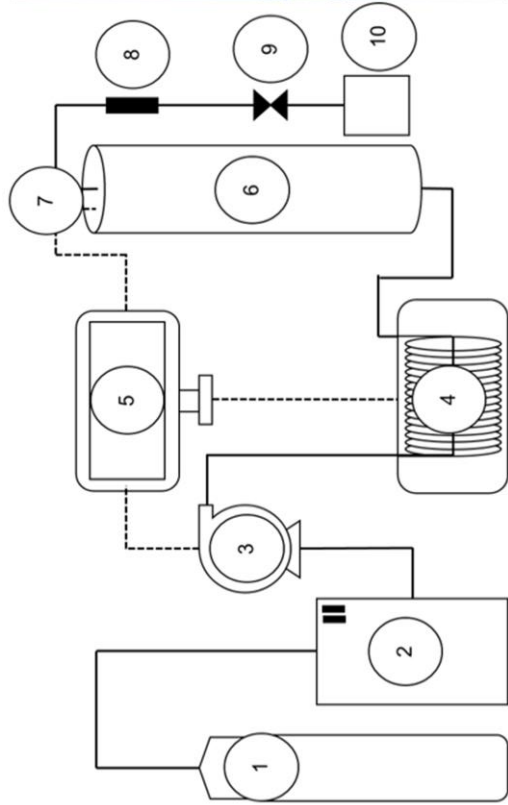
ชุดสกัดคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตประกอบด้วย ท่อคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบหล่อเย็น รุ่น model RH165VHET ของ MITSUBISHI สั่งซื้อจาก SIAM COMPRESSOR INDUSTRY ปัมแรงดันสูง รุ่น model P-50 ของ Thar จากสหรัฐอเมริกา ทำความดันได้สูงสุด 1000 บาร์ เครื่องควบคุม รุ่น PM-0245-5 ของ WEINVIEW อ่างควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วย เครื่องทำความร้อน รุ่น HWT100 ทำอุณหภูมิได้ช่วง 15-85 องศาเซลเซียส และอ่างน้ำ รุ่น OBN 18 ของ Heto จากเดนมาร์ก เครื่องสกัด ความยาว 90 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1.9 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.2 เซนติเมตร ทรานสดิวเซอร์ใช้วัดความดัน (Pressure transducers) รุ่น PCE-28 ของ APLISENS S.A. ใช้วัดความดันในช่วง 0-400 บาร์ เทอร์โมคัปเปิลใช้วัดอุณหภูมิในระบบ ทั้งความดันและอุณหภูมิในระบบจะแสดงผลที่จอควบคุม และวาล์วควบคุมความดัน (Back-pressure regulator) ของ Swagelok ช่วงความดันที่ใช้ 3.48-413.69 บาร์

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตใช้ชุดการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตดังแสดงในรูปที่ 3.5 บรรจุฟางแมงลักประมาณ 20 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ในเครื่องสกัด (หมายเลข 6) โดยมีความหนาแน่นของเบด (Bed density) ในเครื่องสกัดคือ 0.09 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ก่อนเริ่มการสกัด ปิดวาล์วความดันด้านกลับ (หมายเลข 9) ก่อนเปิดวาล์วถังคาร์บอนไดออกไซด์ (หมายเลข 1) ระบบหล่อเย็น (หมายเลข 2) ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นของเหลว จากนั้นปั๊มคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบโดยใช้ปั๊มแรงดันสูง (หมายเลข 3) แล้วปรับเพิ่มความดันด้วย Back-pressure regulator อ่างควบคุมอุณหภูมิ (หมายเลข 4) ใช้เพิ่มอุณหภูมิเพื่อ

ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ภาวะเหนือวิกฤตก่อนเข้าเครื่องสกัด เมื่อความดันและอุณหภูมิในระบบถึงค่าที่ต้องการจึงเริ่มจับเวลา โดยเก็บตัวอย่างทุก 30 นาที (หมายเลข 10) จนกระทั่งน้ำหนักสะสมของสารสกัดไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง GC และ GC-MS

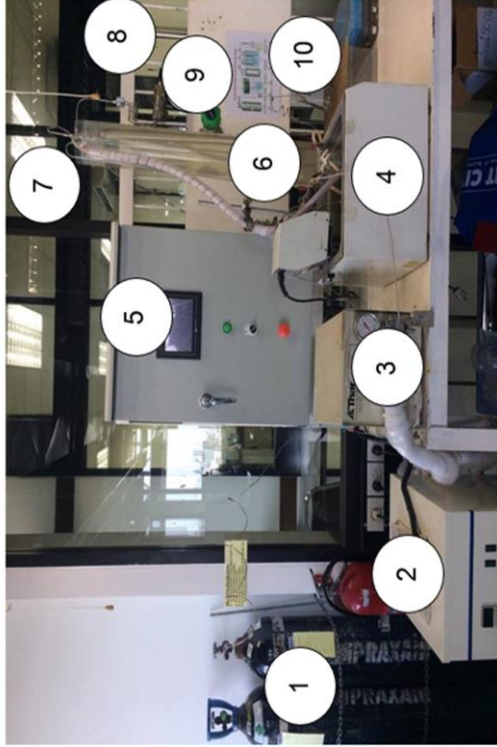
ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของความดันต่อผลได้การสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ 150 200 250 และ 300 บาร์ และศึกษาผลของอุณหภูมิการสกัดที่ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส





รูปที่ 3.5 ชุดการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

1. ท่อคาร์บอนไดออกไซด์
2. เครื่องทำความเย็น
3. ปั๊มแรงดันสูง
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. เครื่องควบคุม
6. เครื่องสกัด
7. เฮอร์เมติกเปิด
8. ทรานส์มิชชันเซอร์
9. วาล์วควบคุมความดัน
10. ขวดเก็บตัวอย่าง



3.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากฟางแมงลัก

3.4.1 วิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

วิเคราะห์ปริมาณของสารที่สกัดได้ปริมาตร 0.2 ไมโครลิตร ด้วย GC รุ่น 7890A ของ Agilent Technologies แสดงดังรูปที่ 3.6 แยกสารระเหยด้วยแคปิลารีคอลัมน์ชนิด HP-5 ยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 1 ไมโครเมตร ใช้ฮีเลียม (He) เป็นแก๊สดำพา (Carrier gas) ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.1 และใช้ดีเทกเตอร์ชนิด FID (Flame ionization detector) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบน้ำมันหอมระเหย



รูปที่ 3.6 GC รุ่น 7890A ของ Agilent Technologies

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

Condition	Valve
Carrier gas (He) flow rate	1 mL/min
Makeup gas (He) pressure	46 kPa
Hydrogen Flow (FID)	30 mL/min
Air Flow (FID)	200 mL/min
Nitrogen Flow (FID)	25 mL/min
Detector temperature (FID)	250 °C
Inject volume	0.2 μ L

3.4.2 วิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์

วิเคราะห์องค์ประกอบของสารที่สกัดได้ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร ด้วย GC-MS รุ่น GCMS-QP2010 ของ Shimadzu แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยใช้ภาวะของเครื่องแบบ split mode แยกสารระเหยด้วยแคปิลารีคอลัมน์ชนิด DB-5ms ยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ชั้นเคลือบหนา 0.25 ไมโครเมตร ใช้ฮีเลียม (He) เป็นแก๊สตัวพา (Carrier gas) ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.2 ระบุชนิดสารโดยการเปรียบเทียบข้อมูล Mass spectrum ของสารแต่ละพีค (Peak) กับฐานข้อมูล NIST 147 library



รูปที่ 3.7 GC-MS รุ่น GCMS-QP2010 ของ Shimadzu

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์

Condition	Valve
Molecular weight scan range	40-550 m/z
Injection temperature	220 °C
Ion source temperature	200 °C
Interface temperature	230 °C
Solvent cut time	5 min
Temperature program rate	50 °C for 2 min increased to 220 °C at 5 °C/min 220 °C for 2 min

3.4.3 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาต่อมไขมันหอมระเหยของฟางแมงลักโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

วิเคราะห์สัณฐานวิทยาต่อมไขมันหอมระเหยของฟางแมงลัก ด้วยเครื่อง SEM รุ่น JSM-6610LV ของ JEOL แสดงดังรูปที่ 3.8 ที่กำลังขยาย 150 และ 650 เท่า โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการสกัด สกัดด้วยเฮกเซน ต้มกลั่น และคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ 3.8 SEM รุ่น JSM-6610LV ของ JEOL

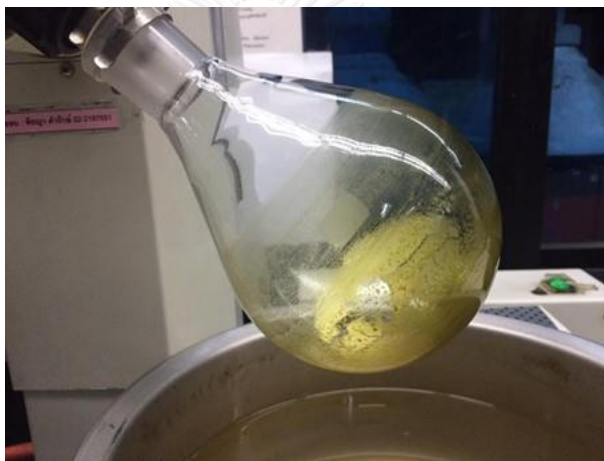
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลได้การสกัดน้ำมันหอมระเหย

4.1.1 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยเฮกเซน

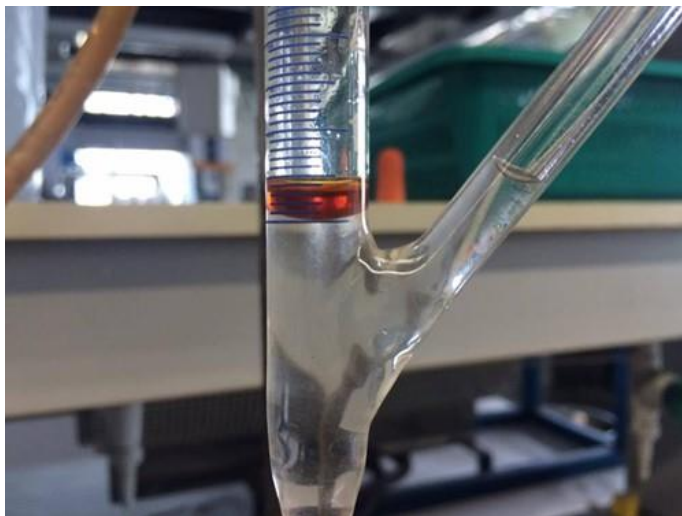
การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยเฮกเซน ตัวอย่างฟางแมงลัก 7 กรัม เฮกเซน 300 มิลลิลิตร ใช้เวลาสกัด 15 ชั่วโมง หลังการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความดัน 175 มิลลิบาร์ ร้อยละผลได้การสกัดเท่ากับ 4.11 สารที่สกัดได้มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว รูปที่ 4.1 แสดงสารสกัดได้หลังระเหยตัวทำละลายออก



รูปที่ 4.1 สารสกัดหลังระเหยตัวทำละลายออก

4.1.2 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น

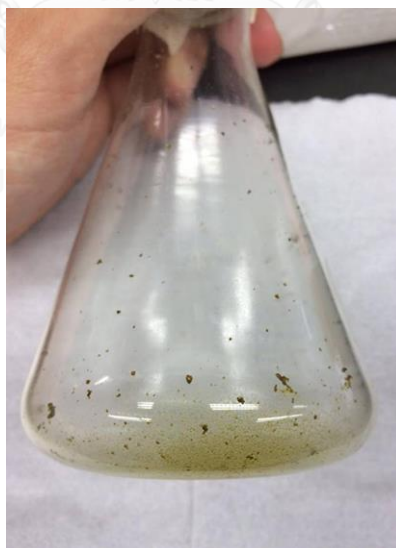
การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยการต้มกลั่น ตัวอย่างฟางแมงลัก 400 กรัม ต้มในน้ำ 1500 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาสกัด 15 ชั่วโมง จากการทดลองร้อยละผลได้การสกัดเท่ากับ 0.07 คิดเป็นร้อยละ 1.70 ของการสกัดด้วยเฮกเซน ลักษณะสารที่สกัดได้เป็นของเหลว สีน้ำมันหอมระเหยมีสีน้ำตาลปนแดง แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สารที่สกัดได้จากการต้มกลั่น

4.1.3 สกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ศึกษาตัวแปร 2 ตัว คือความดันช่วง 150-300 บาร์ และอุณหภูมิช่วง 40-70 องศาเซลเซียส อัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 20 กรัมต่อนาที ใช้เวลาสกัด 3 ชั่วโมง สารที่สกัดได้มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เหมือนกับการใช้เฮกเซนสกัด

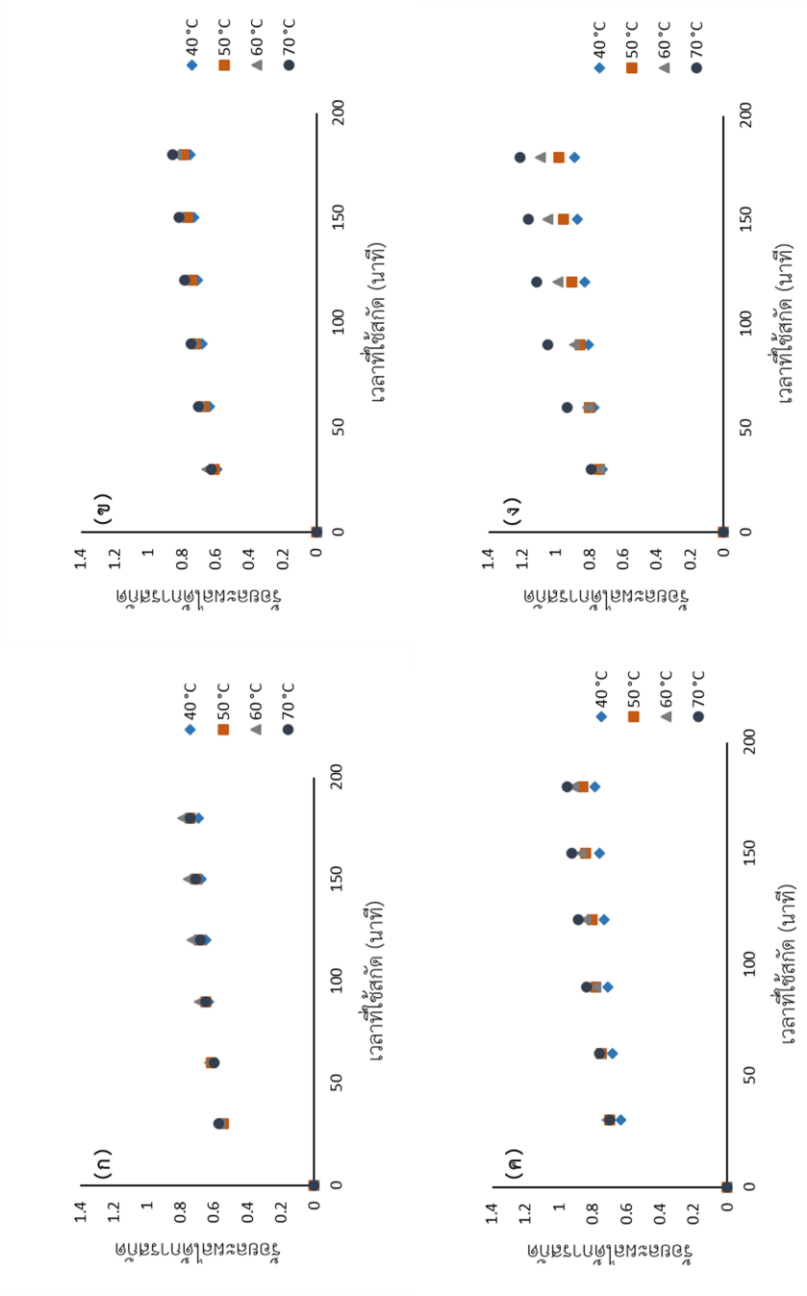


รูปที่ 4.3 สารที่สกัดได้จากคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

4.1.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลได้การสกัดน้ำมันหอมระเหยที่ความดันต่างๆ

ในการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดันคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้น พิจารณาที่ความดัน 150 200 และ 250 บาร์ รูป 4.4 (ก)-(ค) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ร้อยละผลได้จากการสกัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาที่ใช้สกัด ที่ความดัน 300 บาร์ ร้อยละผลได้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง แต่จะทำให้สารเกิดการละลายและแพร่ได้ดีขึ้น ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อผลได้การสกัดมากกว่าความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง



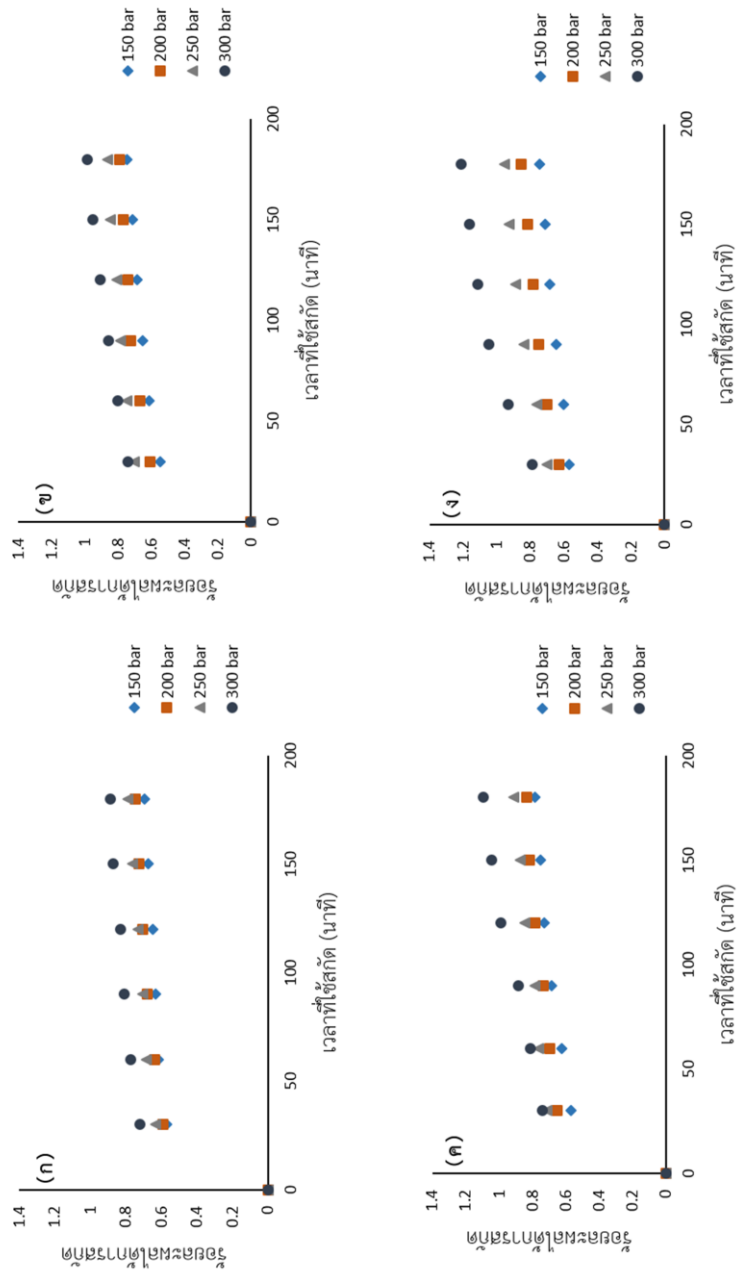


รูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำที่ระเหยจากฟางแห้งเล็กด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภาวะเหนือวิกฤต ที่ความดันต่างๆ (ก) 150 บาร์ (ข) 200 บาร์ (ค) 250 บาร์ (ง) 300 บาร์

4.1.3.2 อิทธิพลของความดันต่อผลได้การสกัดที่อุณหภูมิต่างๆ

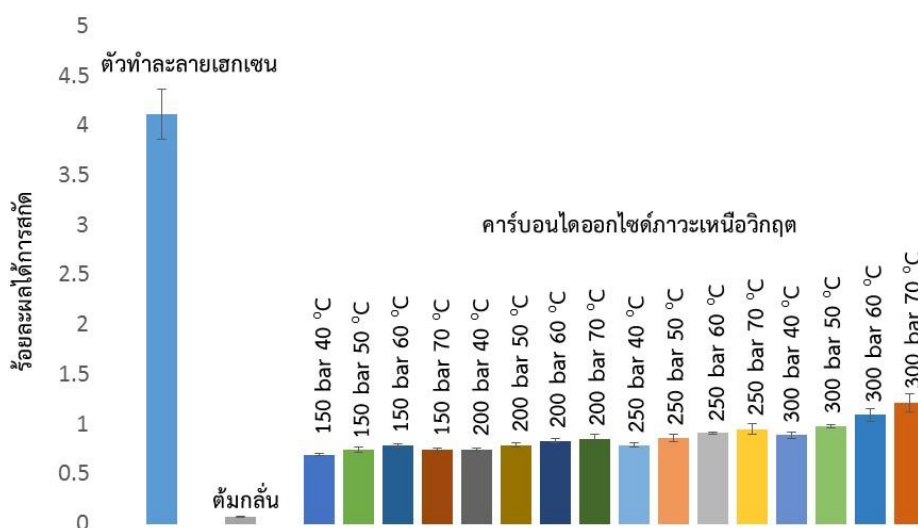
พิจารณาผลของการปรับความดัน เมื่ออุณหภูมิคงที่พบว่า การเพิ่มความดันจาก 150 บาร์ ไปถึงความดัน 300 บาร์ ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้สกัด แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก)-(ง) เพราะว่าการเพิ่มความดันจะทำให้ค่าความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทำให้คาร์บอนไดออกไซด์มีสมบัติใกล้เคียงของเหลว ทำให้อันตรกิริยาระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลายเกิดได้ดี (53) ส่งผลให้การสกัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ที่ความดันสูงกว่า 300 บาร์ สันนิษฐานว่าร้อยละผลได้การสกัดมีแนวโน้มสูงขึ้น เพราะการเพิ่มความดันทำให้ความสามารถในการทำละลายของตัวทำละลาย (Solvent power) เพิ่มขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดของถังสกัดซึ่งทนความดันสูงสุดที่ 300 บาร์ จึงไม่สามารถนำเสนอผลการทดลองที่ความดันมากกว่า 300 บาร์ ได้ ที่อุณหภูมิสูงอาจจะมีองค์ประกอบอื่นๆออกมาจากน้ำมันหอมระเหยที่ต้องการจึงทำให้ค่าผลได้สูงขึ้นแบบเด่นชัด





รูปที่ 4.5 น้ำมันหอมระเหยจากพวงแมงลักสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ที่อุณหภูมิต่างๆ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส (ค) 60 องศาเซลเซียส (ง) 70 องศาเซลเซียส

สังเกตกราฟรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าเวลาในช่วง 30 นาทีแรก ร้อยละผลได้การสกัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการสกัดจะเกิดบริเวณผิวของฟางแมงลัก หลังจากนั้นการสกัดจะได้สารเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากสารที่ต้องการสกัดอยู่ลึกภายในโครงสร้าง ร้อยละผลได้การสกัดจากเทคนิคนี้ อยู่ในช่วง 0.70-1.21

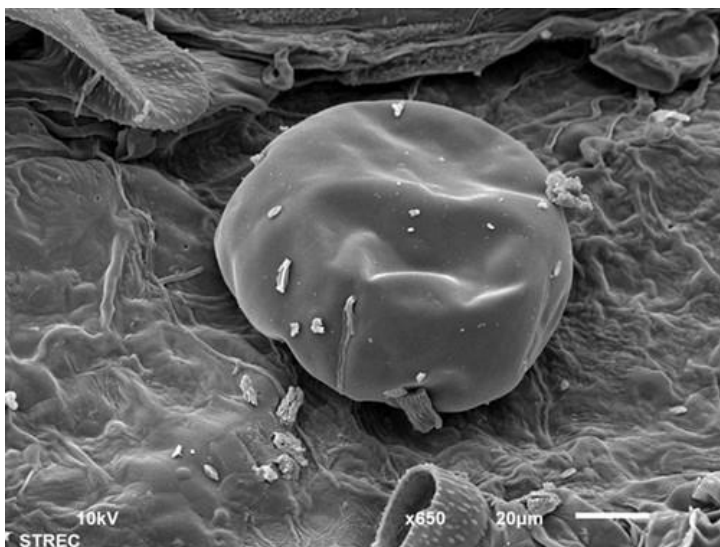


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลได้การสกัดจากทั้ง 3 เทคนิค

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละผลได้การสกัดจากทั้ง 3 เทคนิค เฮกเซนสามารถสกัดสารออกมาได้มากที่สุดร้อยละ 4.11 คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตให้ผลได้ในช่วง 0.70-1.21 ทั้ง 2 วิธีข้างต้นสามารถสกัดได้ทั้งสารที่ระเหยได้ง่ายและสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การต้มกลั่นให้ร้อยละผลได้ต่ำสุดคือ 0.07 วิธีนี้สกัดได้เฉพาะสารที่ระเหยได้ง่ายเท่านั้น

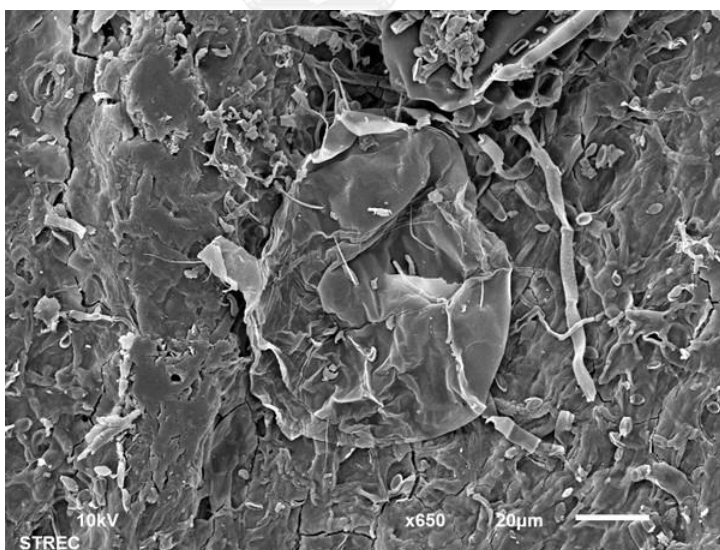
4.2 ผลวิเคราะห์สัณฐานวิทยาต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลัก

ต่อมน้ำมันหอมระเหยที่พบในพืชมีอยู่ 2 ชนิด คือ ต่อมภายใน (internal secretory structure) พบอยู่ภายในเซลล์พืช เช่น ต้นยูคาลิปตัส ต้นก้านพลู เป็นต้น และ ต่อมภายนอก (external secretory structure) พบที่พื้นผิวของพืชบริเวณใบและดอก เช่น ต้นโหระพา ต้นแมงลัก เป็นต้น (56) รูปที่ 4.7 แสดงต่อมน้ำมันหอมระเหยที่กำลังขยาย 650 เท่า



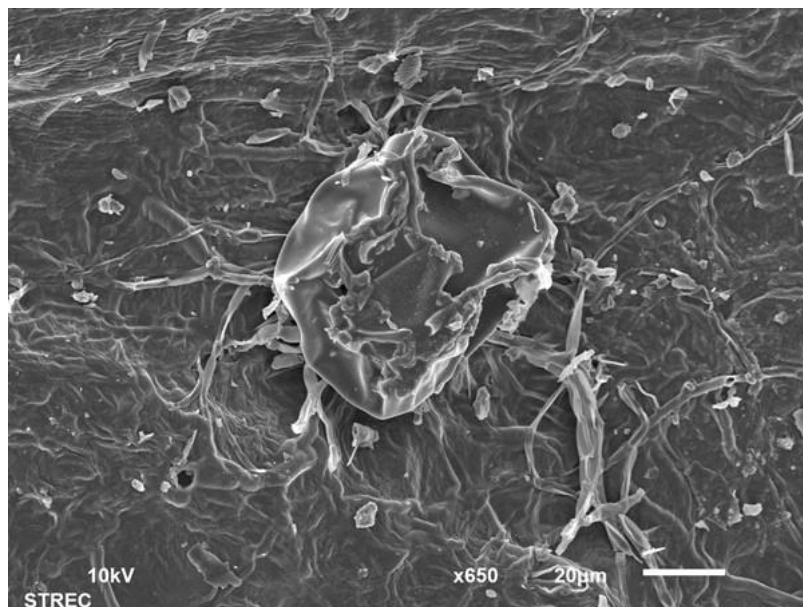
รูปที่ 4.7 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ยังไม่ผ่านการสกัด

ต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนมีลักษณะยุบลง แสดงดังรูปที่ 4.8 พื้นผิวโดยรอบไม่เรียบเมื่อเทียบกับตอนที่ยังไม่ได้สกัด (รูปที่ 4.7) แสดงว่าเฮกเซนไม่เพียงแต่สกัดน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในต่อมน้ำมันหอมระเหยเท่านั้น แต่ยังสามารถสกัดสารที่อยู่บริเวณพื้นผิวของฟางแมงลักด้วย



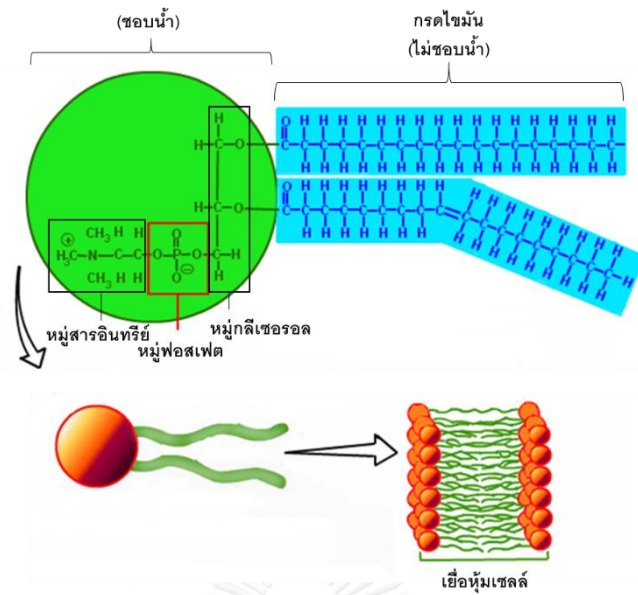
รูปที่ 4.8 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน

รูปที่ 4.9 คือพื้นผิวบริเวณกลีบเลี้ยงที่ผ่านการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยและพื้นที่โดยรอบหลังการสกัดมีลักษณะคล้ายกับการสกัดด้วยเฮกเซน (57) เพราะทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และเฮกเซนเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้วเหมือนกัน

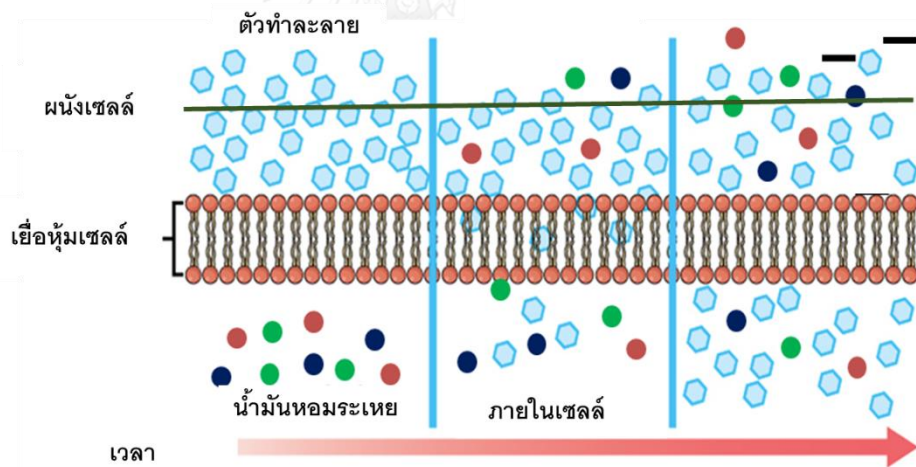


รูปที่ 4.9 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

กลไกหนึ่งที่เฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตใช้สกัดคือการแพร่ เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด (phospholipid) เป็นส่วนประกอบสำคัญ (58) รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะฟอสโฟลิพิด ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟส 1 หมู่ และมีกรดไขมัน 2 หมู่ จับกับกลีเซอรอล ทำให้เฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตสกัดสารที่อยู่บริเวณพื้นผิวและแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ หลังจากที่ทำละลายแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แล้ว น้ำมันหอมระเหยจะแพร่ออกจากเซลล์โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นจากด้านที่มีความเข้มข้นสูงไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ รูปที่ 4.11 แสดงการแพร่ของน้ำมันหอมระเหยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์



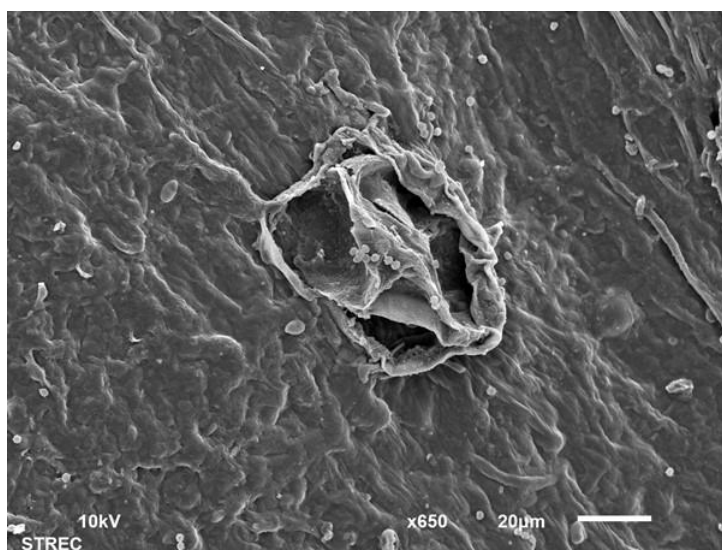
รูปที่ 4.10 ฟอสโฟลิพิด (59)



รูปที่ 4.11 การแพร่ของน้ำมันหอมระเหยผ่านเซลล์พืช (60)

ความแตกต่างระหว่างตัวทำละลายไม่มีขั้ว 2 ชนิดนี้คือขนาดโมเลกุลของตัวทำละลาย โดยขนาดโมเลกุลของเฮกเซนมีขนาดใหญ่กว่าคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เฮกเซนเข้าไปล้อมโมเลกุลของน้ำมันหอมระเหยได้ดีกว่า อีกทั้งเวลาที่ใช้สกัดมีความแตกต่างกัน การสกัดด้วยเฮกเซนใช้เวลาสกัด 15 ชั่วโมง แต่การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ใช้เวลาเพียง 3 ชั่วโมง เนื่องจากของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีสมบัติการแพร่ผ่านดีกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลว

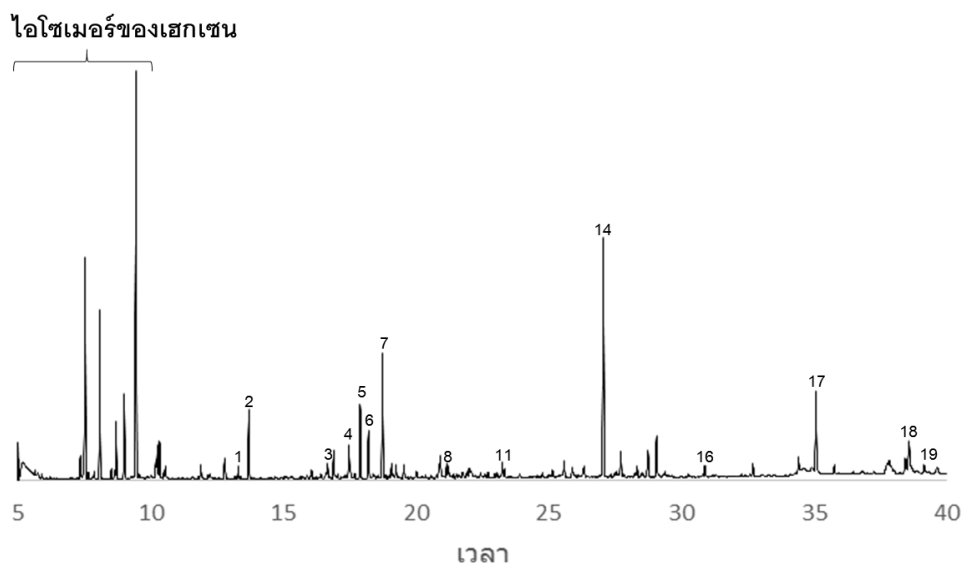
ต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่สกัดด้วยการต้มกลั่นแสดงดังรูปที่ 4.12 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยแตกต่างจากการสกัดด้วยเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เนื่องจากการต้มกลั่นใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้สารที่อยู่ภายในเซลล์เกิดการขยายตัวจนทำให้ต่อมน้ำมันหอมระเหยแตก (61) จากนั้นสารที่ออกมาจากต่อมน้ำมันจะลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าแล้วเกิดการระเหยขึ้นไปกับไอน้ำแล้วควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ลงมาเป็นน้ำมันหอมระเหยแยกชั้นกับน้ำ



รูปที่ 4.12 ลักษณะต่อมน้ำมันหอมระเหยของฟางแมงลักที่ผ่านการสกัดด้วยการต้มกลั่น

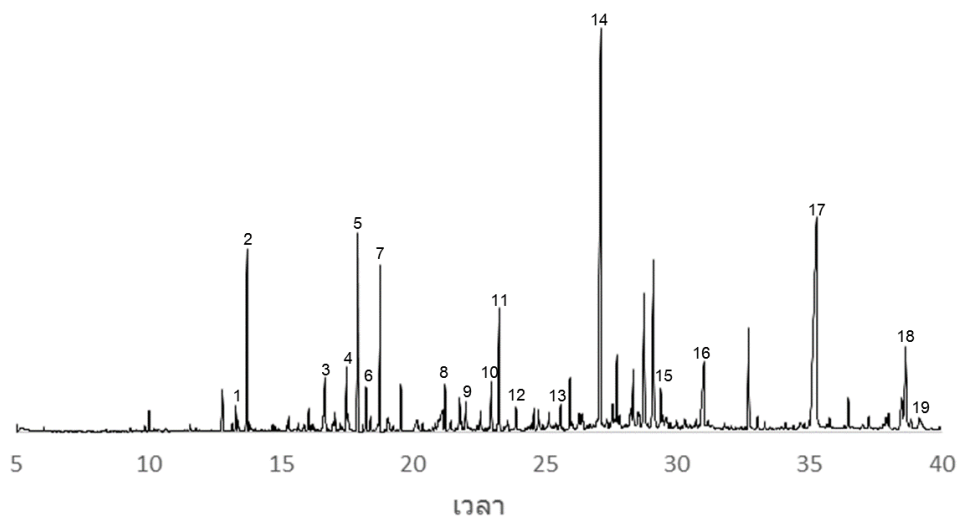
4.3 การหาค่าประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ประกอบแมสสเปกโทมิเตอร์

องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยที่พบขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย แม้ว่าจะเป็นพืชชนิดเดียวกัน เช่น ช่วงฤดูของการเก็บผลผลิต ภูมิภาค อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน พื้นที่เพาะปลูก ดินที่ใช้ปลูก ตลอดจนเทคนิคและวิธีที่ใช้สกัด การสกัดด้วยเฮกเซน ช่วง 5-10 นาทีแรก พบการตกค้างของตัวทำละลายที่เป็นไอโซเมอร์ของเฮกเซน เนื่องจากเฮกเซนที่ใช้สกัดเป็นเกรดการค้ารูปที่ 4.13 แสดงโครมาโทแกรมของสารสกัดจากฟางแมงลักด้วยเฮกเซน แสดงให้เห็นว่าร้อยละผลได้การสกัดด้วยเฮกเซน ประกอบด้วย น้ำมันหอมระเหย สารสกัดร่วม และตัวทำละลายเฮกเซนที่ตกค้างหลังกระบวนการระเหยตัวทำละลายออก



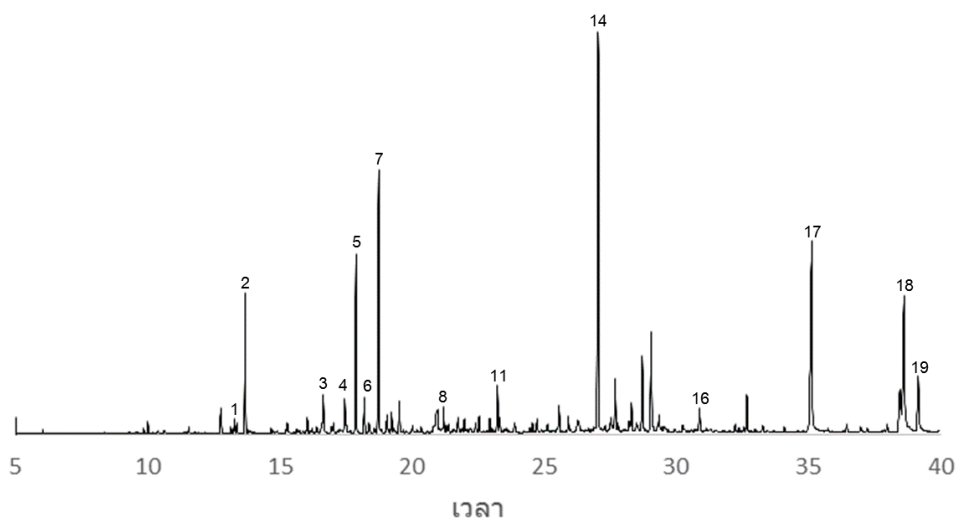
รูปที่ 4.13 โครมาโทแกรมของสารสกัดจากฟางแมงลักด้วยเฮกเซน

การต้มกลั่นส่วนมากสกัดได้สารที่ระเหยง่าย รูปที่ 4.14 แสดงโครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยสกัดจากฟางแมงลักด้วยวิธีต้มกลั่น



รูปที่ 4.14 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยสกัดจากฟางแมงลักด้วยวิธีต้มกลั่น

องค์ประกอบสารสกัดจากเทคนิคการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลาย คล้ายกับการสกัดด้วยเฮกเซน มากกว่าการต้มกลั่น เนื่องจากเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่นเดียวกัน รูปที่ 4.15 แสดงโครมาโทแกรมของสารสกัดจากฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ 4.15 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยสกัดจากฟางแมงลักด้วย
คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของสารที่สกัดได้จากฟางแมงลักด้วยตัวทำละลายต่างๆ การสกัดด้วยเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต องค์ประกอบที่พบส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกัน เนื่องจากตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด เป็นสารไม่มีขั้ว ลักษณะสารสกัดมีทั้งสารระเหยง่ายและสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังรูปที่ 4.1 และ 4.3 แสดงในหัวข้อที่ 4.1 สำหรับการต้มกลั่น สารที่สกัดได้ส่วนมากนั้นเป็นของเหลว มีลักษณะดังรูปที่ 4.2 การต้มกลั่นสามารถสกัดสารน้ำหนักโมเลกุลสูงบางชนิด เช่น กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดสเตียริก (Stearic acid) ได้เล็กน้อย กรดไขมันเหล่านี้เป็นสารที่เคลือบอยู่บนลำต้นของแมงลักตามธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของสารสกัดที่สกัดได้จากฟางแมงลักด้วยเทคนิคการสกัดต่างๆ

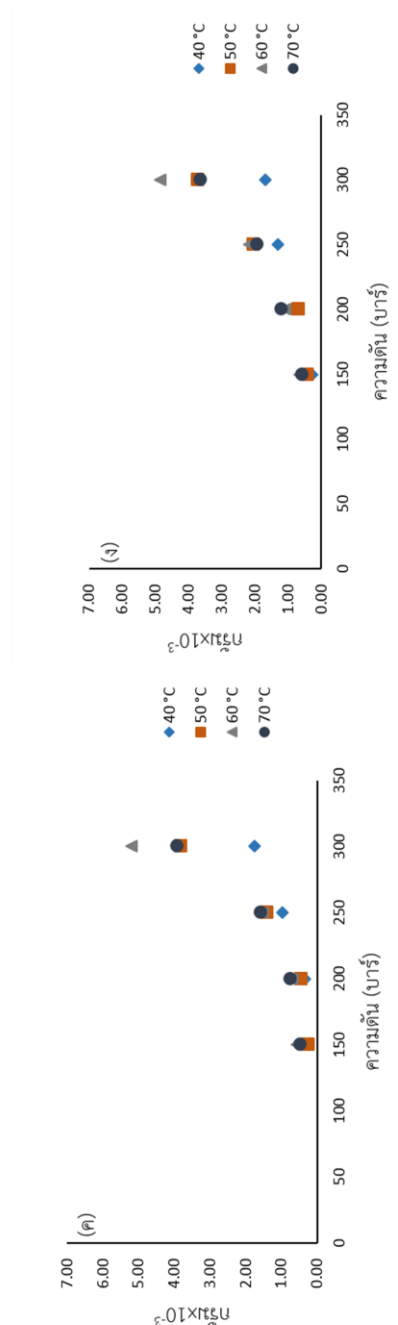
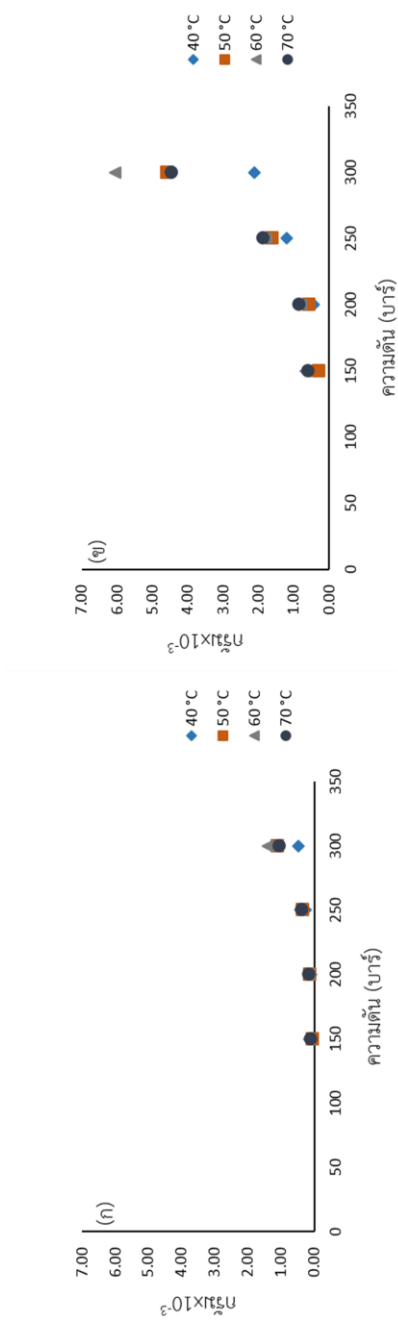
พีค	องค์ประกอบ	เฮกเซน	ร้อยละ พื้นที่	ต้มกลั่น	ร้อยละ พื้นที่	คาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต	ร้อยละ พื้นที่
1	ลินาโลอล ออกไซด์	✓	1.46	✓	1.96	✓	1.70
2	ลินาโลอล	✓	8.25	✓	8.13	✓	7.62
3	แอลฟา-เทอปีออล	✓	1.85	✓	2.28	✓	1.59
4	นِيرอล	✓	4.49	✓	2.73	✓	1.61
5	นِيرียล	✓	9.47	✓	6.51	✓	10.37
6	เจอแรนนอล	✓	6.44	✓	1.77	✓	1.98

พีค	องค์ประกอบ	เฮกเซน	ร้อยละ พื้นที่	ต้มกลั่น	ร้อยละ พื้นที่	คาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต	ร้อยละ พื้นที่
7	เจอรานเนียล	✓	15.13	✓	4.96	✓	15.74
8	นิรียล แอซีเตต	✓	1.27	✓	1.68	✓	1.18
9	แอลฟา-บัวโรบินิน	-	-	✓	1.19	-	-
10	คาร์โอฟิลลีน	-	-	✓	2.00	-	-
11	ทรานส์-แอลฟา- เบอร์กาโมทีน	✓	2.59	✓	4.71	✓	2.55
12	ซูมูลีน	-	-	✓	0.91	-	-
13	แอลฟา-บิซาโบลีน	-	-	✓	2.01	-	-
14	คาร์โอฟิลลีน ออกไซด์	✓	33.29	✓	25.08	✓	26.78
15	แอลฟา- บิซาโบลอล	-	-	✓	1.56	-	-
16	กรดมายริสติก	✓	1.23	✓	5.24	✓	1.30
17	กรดปาล์มิติก	✓	11.13	✓	25.00	✓	18.74
18	กรดลิโนลีนิก	✓	2.27	✓	1.93	✓	4.61
19	กรดสเตียริก	✓	1.15	✓	0.35	✓	4.22

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนองค์ประกอบจากทั้ง 3 วิธี การสกัดพางแมงลักด้วยเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตพบ 14 องค์ประกอบ เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้ว จึงสามารถสกัดได้สารเหมือนกัน การต้มกลั่นพบจำนวนองค์ประกอบ 19 องค์ประกอบ ปริมาณองค์ประกอบที่แตกต่างกันระหว่างตัวทำละลายไม่มีขั้วและการต้มกลั่น สันนิษฐานว่าการสกัดด้วยเฮกเซนองค์ประกอบบางตัวหายไประหว่างขั้นตอนการระเหยตัวทำละลายออก (62) การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต สันนิษฐานว่าองค์ประกอบบางตัวหายไปขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง (63) เนื่องจากตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยมีปริมาณน้อยมาก ทำให้ออกจากเครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตเป็นละออง

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 วิธี (คิดเทียบจากตัวอย่าง 20 กรัมเท่ากัน) มีองค์ประกอบหลักเหมือนกันคือ ลินาโลอล นิเรียล เจอแรนเนียล และ คาร์โอฟิลลีนออกไซด์ ปริมาณองค์ประกอบหลักโดยรวมของการสกัดด้วยเฮกเซน คือ 114.36×10^{-3} กรัม ประกอบด้วย ลินาโลอล 10.77×10^{-3} กรัม นิเรียล 37.31×10^{-3} กรัม เจอแรนเนียล 33.07×10^{-3} กรัม และ คาร์โอฟิลลีนออกไซด์ 33.21×10^{-3} กรัม การต้มกลั่นมี ปริมาณองค์ประกอบหลักรวมคือ 3.78×10^{-3} กรัม ประกอบด้วย ลินาโลอล 0.29×10^{-3} กรัม นิเรียล 1.36×10^{-3} กรัม เจอแรนเนียล 1.19×10^{-3} กรัม และ คาร์โอฟิลลีนออกไซด์ 0.94×10^{-3} กรัม การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักแสดงดังรูปที่ 4.16 เมื่อเพิ่มความดัน ปริมาณองค์ประกอบหลักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณองค์ประกอบหลักทุกตัวลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไป แม้ว่าการละลายและการแพร่ได้ดีขึ้น แต่ก็ทำให้อันตรกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำมันหอมระเหยลดลง เพราะโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ห่างกัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณองค์ประกอบทั้ง 4 ตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงต่างจากที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียสที่มีการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบแบบเลขชี้กำลัง (Exponential) ปริมาณผลได้องค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักมีความแตกต่างกัน จากร้อยละผลได้องค์ประกอบโดยรวมทั้งหมดที่สกัดได้จากฟางแมงลักดังแสดงในหัวข้อ 4.1 หัวข้อที่ 4.4 แสดงเฉพาะปริมาณองค์ประกอบหลักที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรกที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยเท่านั้น แต่ในหัวข้อที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละองค์ประกอบโดยรวมทั้งหมด การสกัดด้วยเฮกเซนได้ร้อยละผลได้องค์ประกอบรวมเท่ากับ 4.11 ประกอบด้วย น้ำมันหอมระเหย สารสกัดร่วม และตัวทำละลายที่ตกค้าง ร้อยละผลได้องค์ประกอบรวมของการต้มกลั่นเท่ากับ 0.07 ประกอบด้วย น้ำมันหอมระเหยเพียงอย่างเดียว และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ร้อยละผลได้องค์ประกอบรวมอยู่ในช่วง 0.70-1.21 ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยและสารสกัดร่วม ไม่มีการเจือปนของตัวทำละลาย



รูปที่ 4.16 ปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักจากการสกัดด้วย

คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

(ก) ลิโนโลอล (ข) นิเรียล (ค) เจอแรนนิล (ง) คาร์โพลิทีนออกไซด์

4.5 ภาวะดีที่สุดสำหรับการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ภาวะดีที่สุดของการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต แสดงดังตารางที่ 4.4 คือ ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นภาวะที่สามารถสกัดสารองค์ประกอบหลักที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพออกมาได้มากที่สุด พิจารณาจากกราฟที่ 4.16 โดยองค์ประกอบหลักที่สกัดมีสมบัติและฤทธิ์ทางชีวภาพแตกต่างกันออกไป ลินาโลอลมีฤทธิ์ต้านเชื้อราบางชนิด เช่น *Microsporium gypseum* (20) ใช้เป็นยาไล่แมลง (64) และยังเป็นสารที่นิยมนำไปใช้ในด้านสุนทรบำบัดมีฤทธิ์ช่วยผ่อนคลาย (17) ซิทรอลเป็นสารผสมระหว่างนี้เรียลและเจอแรนเนียลซึ่งเป็นไอโซเมอร์กัน มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งรา (65) และแบคทีเรียบางชนิดได้ (66) นอกจากนี้ ซิทรอลยังเป็นสารสำคัญที่ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระด้วย (67) คาร์ีโอฟิลีนออกไซด์ มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราบางชนิด (68) และเป็นสารที่ช่วยระงับการปวดและต้านการติดเชื้อได้ (69)

ตารางที่ 4.2 ภาวะดีที่สุดของการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ตัวแปร	คาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต
ความดัน (บาร์)	300
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60
เวลาสกัด (นาท)	180
คาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ (กรัมต่อ 20 กรัมฟางแมงลัก)	3600

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลได้การสกัดและปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักที่สกัดจากเฮกเซน การต้มกลั่น และคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดด้วยเฮกเซนมีผลได้องค์ประกอบและปริมาณองค์ประกอบหลักสูงสุด ตามด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เนื่องจากเฮกเซนมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า ทำให้เฮกเซนสามารถล้อมรอบตัวถูกละลายได้ดีกว่า และการต้มกลั่นมีผลได้การสกัดและปริมาณองค์ประกอบหลักน้อยที่สุด เพราะว่าการต้มกลั่นสกัดได้เฉพาะสารระเหยเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลได้การสกัดและปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากฟางแมงลักที่สกัดจากเฮกเซน การต้มกลั่น และคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (หน่วย กรัมต่อ 20 กรัมฟางแมงลัก)

ตัวแปร	เฮกเซน	ต้มกลั่น	คาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต
ผลได้การสกัด	82.31×10^{-2}	1.41×10^{-2}	21.85×10^{-2}
ลินาโลอล	10.77×10^{-3}	0.29×10^{-3}	1.41×10^{-3}
นีเรียล	37.31×10^{-3}	1.36×10^{-3}	6.06×10^{-3}
เจอแรนเนียล	33.07×10^{-3}	1.19×10^{-3}	5.19×10^{-3}
คาร์โอฟิลีนออกไซด์	33.21×10^{-3}	0.94×10^{-3}	4.85×10^{-3}



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเลือกใช้วิธีการสกัดมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย การสกัดด้วยเฮกเซนจะให้ผลได้โดยรวมออกมาสูงสุด แต่วิธีนี้จะมีการตกค้างของเฮกเซนปนเปื้อนมากับน้ำมันหอมระเหยและสามารถสกัดสารไม่มีขั้วที่ไม่ต้องการออกมาด้วย วิธีดั้งเดิมที่ใช้กันคือการต้มกลั่น วิธีนี้จะให้ผลได้โดยรวมออกมาน้อยที่สุด แต่องค์ประกอบที่ได้ส่วนใหญ่คือน้ำมันหอมระเหยที่ต้องการ และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ผลได้อยู่ระหว่าง 2 วิธีข้างต้น และไม่พบการปนเปื้อนของตัวทำละลาย ลักษณะผลิตภัณฑ์จากการสกัดด้วยเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต มีลักษณะเหมือนกันคือเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว เนื่องจากตัวทำละลายทั้ง 2 เป็นสารไม่มีขั้วเหมือนกัน แต่การต้มกลั่นสกัดได้สารที่เป็นของเหลวเท่านั้น สอดคล้องกับลักษณะของต่อมน้ำมันหอมระเหย ทั้งการสกัดด้วยเฮกเซนและคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตจะมีลักษณะแบบเดียวกัน แต่การต้มกลั่นทำให้ต่อมน้ำมันหอมระเหยแตก วิธีสกัดที่ให้ปริมาณองค์ประกอบหลักโดยรวมซึ่งประกอบด้วย ลิโนโลอล นิเรียล เจอแรนเนียล และ คาร์โอฟิลลีนออกไซด์ จากมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ การสกัดด้วยเฮกเซน การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต และการต้มกลั่นตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่สกัดจากฟางแมงลักที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว สามารถแยกได้ด้วยเครื่องแยก (Fractionator) ซึ่งสารแต่ละชนิดมีค่าการละลายในคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกันเมื่อเปลี่ยนความดัน ดังนั้นการติดตั้งเครื่องแยกโดยลดความดันเป็นลำดับหลายๆชุด จะช่วยให้แยกน้ำมันหอมระเหยได้ อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องแยก จำเป็นจะต้องใช้วัตถุดิบปริมาณมาก เพื่อให้มีตัวอย่างเพียงพอกับการแยกต่อในแต่ละขั้น

รายการอ้างอิง

1. Paton A, Putievsky E. Taxonomic problems and cytotoxic relationships between and within varieties of *Ocimum basilicum* and related species (Labiatae). *Kew Bulletin* 1996;509-24
2. Viña A, Murillo E. Essential oil composition from twelve varieties of basil (*Ocimum* spp) grown in Colombia. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 2003;14:744-9
3. แมงลัก [Internet]. [cited 12 ธันวาคม, 2558]. Available from: http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_05_8.htm.
4. Al-Kateb H, Mottram DS. The relationship between growth stages and aroma composition of lemon basil *Ocimum citriodorum* Vis. *Food chemistry* 2014;152:440-6
5. ดร. ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี. 2545. การผลิตสมุนไพรและเครื่องเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตร
6. Charles DJ, Simon JE. Comparison of extraction methods for the rapid determination of essential oil content and composition of basil. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 1990;115:458-62
7. Lemon basil [Internet]. [cited Oct 16, 2559]. Available from:
8. Cai L, Cao A, Li Y, Song Z, Leng L, Li J. The effects of essential oil treatment on the biogenic amines inhibition and quality preservation of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets. *Food Control* 2015;56:1-8
9. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2553. น้ำมันหอมระเหยไทย ตอนที่ 1. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
10. Baratta MT, Dorman H, Deans SG, Figueiredo AC, Barroso JG, Ruberto G. Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils. *Flavour and fragrance journal* 1998;13:235-44
11. Arranz E, Jaime L, López de las Hazas MC, Reglero G, Santoyo S. Supercritical fluid extraction as an alternative process to obtain essential oils with anti-inflammatory properties from marjoram and sweet basil. *Industrial Crops and Products* 2015;67:121-9

12. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology* 2008;46:446-75
13. Hussain AI, Anwar F, Sherazi STH, Przybylski R. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry* 2008;108:986-95
14. Khajeh M, Yamini Y, Bahramifar N, Sefidkon F, Reza Pirmoradei M. Comparison of essential oils compositions of *Ferula assa-foetida* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. *Food Chemistry* 2005;91:639-44
15. Khajeh M, Yamini Y, Shariati S. Comparison of essential oils compositions of *Nepeta persica* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and steam distillation methods. *Food and Bioproducts Processing* 2010;88:227-32
16. Grayer RJ, Veitch NC, Kite GC, Price AM, Kokubun T. Distribution of 8-oxygenated leaf-surface flavones in the genus *Ocimum*. *Phytochemistry* 2001;56:559-67
17. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2553. น้ำมันหอมระเหยไทย ตอนที่2. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
18. History of essential oils [Internet]. [cited Aug 25, 2016]. Available from: <https://healingscents.net/blogs/learn/18685859-history-of-essential-oils>.
19. Introduction to essential oils and history [Internet]. [cited Sep 19, 2016]. Available from: <http://www.healingfrances.net>.
20. Pandey AK, Singh P, Tripathi NN. Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 2014;4:682-94
21. Matias EFF, Alves EF, Silva MKN, Carvalho VRA, Figueredo FG, et al. Seasonal variation, chemical composition and biological activity of the essential oil of *Cordia verbenacea* DC (Boraginaceae) and the sabinene. *Industrial Crops and Products* 2016;87:45-53
22. Sarrazin SL, da Silva LA, de Assuncao AP, Oliveira RB, Calao VY, et al. Antimicrobial and seasonal evaluation of the carvacrol-chemotype oil from *Lippia organoides* kunth.

23. พัชราริณี มุณีลโฑ. 2550. การสกัดพืชหอมและน้ำมันหอมระเหย. นนทบุรี: พิมพ์ทอง
24. Ali B, Al-Wabel NA, Shams S, Ahamad A, Khan SA, Anwar F. Essential oils used in aromatherapy: A systemic review. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 2015;5:601-11
25. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของแมงลัก [Internet]. [cited 25 สิงหาคม, 2559]. Available from: <http://www.the-than.com/samonpai/S/g.html>
26. แมงลักพืชที่ปลูกง่ายรายได้พอควร [Internet]. [cited 15 สิงหาคม 2554]. Available from: <http://www.thaikasetsart.com>.
27. ชินภูติ อ. สารพิษแอฟลาทอกซินในผลิตผลเกษตรและวิธีการลดสารพิษก่อนบริโภค. ว. ข่าวสารโรคพืชและจุลชีววิทยา 2543;10:34-40
28. ดิวเข้มผู้ผลิตแมงลักส่งออกแหล่งใหญ่ไทย สกัดสารก่อมะเร็งกระจาย [Internet]. [cited 15 สิงหาคม 2558]. Available from: <http://www.manager.co.th/Local/ViewNews.aspx?NewsID=9580000027022>.
29. จุฬาฯจับมือกรมวิชาการเกษตรผลิตเครื่องนวดเมล็ดแมงลักป้องกันสารก่อมะเร็ง [Internet]. [cited 12 ธันวาคม, 2558]. Available from: <http://www.newsplus.co.th/60583>.
30. ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง, ระวีวรรณ วงศ์วรรณ. การพัฒนาสูตรไอศกรีมจากน้อยหน่าโดยใช้ผงเมือกจากเมล็ดแมงลักเป็นสารให้ความคงตัว. ว. เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม 2553;5:36-46
31. กมลทิพย์ สัจจอนันตกุล, มาลี ชิมศรีสกุล. ผลการใช้ผงเมือกแมงลักเป็นสารเพิ่มความเหนียวในผลิตภัณฑ์บะหมี่สุกแห้ง. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร 2546;268-76
32. ภัทราริย์ อิทมาตร์, Yasunori Hamauzu, วิรงรอง ทองดีสุนทร. การยืดอายุการเก็บรักษาแตงกวาญี่ปุ่นโดยใช้สารเคลือบผิวบริโภคได้จากเมือกเมล็ดแมงลักและเมล็ดควินซ์จีน. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร 2559;47:381-4
33. Zhao S, Zhang D. Supercritical CO₂ extraction of Eucalyptus leaves oil and comparison with Soxhlet extraction and hydro-distillation methods. Separation and Purification Technology 2014;133:443-51
34. Bowyer JR, Pleil JD. Comparison of supercritical fluid extraction and Soxhlet extraction of organic compounds from carpet samples. Journal of Chromatography A 1997;787:171-9

35. Soxhlet apparatus [Internet]. [cited Oct 21, 2016]. Available from: <http://www.aquaculture.ugent.be/Education/coursematerial/online%20courses/ATA/analysis/crudprot.htm>.
36. Différentes méthodes de fabrication [Internet]. [cited Sep 26, 2016]. Available from: <http://diodor.e-monsite.com/pages/differentes-methodes-de-fabrication.html>.
37. What are essential oils? [Internet]. [cited Sep 26, 2016]. Available from: <http://www.purclean.org/what-are-essential-oils>.
38. Extraction methods [Internet]. [cited Sep 26, 2016]. Available from: <http://www.union-nature.com/eng/extraction.html>.
39. Eikani MH, Goodarznia I, Mirza M. Supercritical carbon dioxide extraction of cumin seeds (*Cuminum cyminum* L.). *Flavour and Fragrance Journal* 1999;14:29-31
40. Cooper AI. Polymer synthesis and processing using supercritical carbon dioxide. *Journal of Materials Chemistry* 2000;10:207-34
41. สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม, อาทิตย์ รังสีสันติวานนท์. การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด. ว. ศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2546;11:37-42
42. Phase diagram [Internet]. [cited Sep 26, 2016]. Available from: <http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/index.html>.
43. De Oliveira PF, Machado RAF, Bolzan A, Barth D. Supercritical fluid extraction of hernandulcin from *Lippia dulcis* Trev. *The Journal of Supercritical Fluids* 2012;63:161-8
44. García-Abarrio S, Martín L, Burillo J, Della Porta G, Mainar A. Supercritical fluid extraction of volatile oil from *Lippia alba* (Mill.) cultivated in Aragón (Spain). *The Journal of Supercritical Fluids* 2014;94:206-11
45. Zulkafli ZD, Wang H, Miyashita F, Utsumi N, Tamura K. Cosolvent-modified supercritical carbon dioxide extraction of phenolic compounds from bamboo leaves (*Sasa palmata*). *The Journal of Supercritical Fluids* 2014;94:123-9
46. Zhao S, Zhang D. A parametric study of supercritical carbon dioxide extraction of oil from *Moringa oleifera* seeds using a response surface methodology. *Separation and Purification Technology* 2013;113:9-17

47. Yang Y-C, Wei M-C, Huang T-C, Lee S-Z. Extraction of protocatechuic acid from *Scutellaria barbata* D. Don using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids* 2013;81:55-66
48. Supercritical Applications [Internet]. [cited Jul 7, 2016]. Available from: <http://www.supercriticalfluid.org/Applications.149.0.html>.
49. Supercritical fluid extraction [Internet]. [cited Jul 17, 2016]. Available from: <http://eng.ege.edu.tr/~otles/SupercriticalFluidsScienceAndTechnology/Wc735b103f9542.htm>.
50. Carović-Stanko K, Orlić S, Politeo O, Strikić F, Kolak I, et al. Composition and antibacterial activities of essential oils of seven *Ocimum* taxa. *Food Chemistry* 2010;119:196-201
51. Díaz-Maroto MC, Pérez-Coello MS, Cabezudo MD. Supercritical carbon dioxide extraction of volatiles from spices: Comparison with simultaneous distillation–extraction. *Journal of Chromatography A* 2002;947:23-9
52. Luque de Castro MD, Priego-Capote F. Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A* 2010;1217:2383-9
53. Yamini Y, Khajeh M, Ghasemi E, Mirza M, Javidnia K. Comparison of essential oil compositions of *Salvia mirzayanii* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. *Food Chemistry* 2008;108:341-6
54. Donelian A, Carlson L, Lopes T, Machado R. Comparison of extraction of patchouli (*Pogostemon cablin*) essential oil with supercritical CO₂ and by steam distillation. *The Journal of Supercritical Fluids* 2009;48:15-20
55. Guan W, Li S, Yan R, Tang S, Quan C. Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. *Food Chemistry* 2007;101:1558-64
56. Exploring aromatherapy [Internet]. [cited Oct 29, 2016]. Available from: <https://naha.org/explore-aromatherapy/about-aromatherapy/what-are-essential-oils/>.
57. Conde-Hernández LA, Espinosa-Victoria JR, Trejo A, Guerrero-Beltrán JÁ. CO₂-supercritical extraction, hydrodistillation and steam distillation of essential oil

- of rosemary (*Rosmarinus officinalis*). *Journal of Food Engineering* 2017;200:81-6
58. รศ. ปรีชา สุวรรณพินิจ, ผศ. นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. 2544. ฟอสโฟลิพิด. pp 249-251. กรุงเทพฯ: บริษัท ไฮเอ็ดพับลิชชิ่ง จำกัด
 59. Phospholipids [Internet]. [cited Oct 29, 2016]. Available from: <http://chemistry.tutorvista.com/biochemistry/phospholipids.html>.
 60. Diffusion [Internet]. [cited 23 พฤษภาคม, 2559]. Available from: <https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/structure-and-function-of-plasma-membranes-5/passive-transport-65/diffusion-331-11468/>.
 61. Budel JM, Duarte MR, Döll-Boscardin PM, Farago PV, Matzenbacher NI, et al. Composition of essential oils and secretory structures of *Baccharis anomala*, *B. megapotamica* and *B. ochracea*. *Journal of Essential Oil Research* 2012;24:19-24
 62. Machalova Z, Sajfrtova M, Pavela R, Topiar M. Extraction of botanical pesticides from *Pelargonium graveolens* using supercritical carbon dioxide. *Industrial Crops and Products* 2015;67:310-7
 63. Safaralie A, Fatemi S, Sefidkon F. Essential oil composition of *Valeriana officinalis* L. roots cultivated in Iran: Comparative analysis between supercritical CO₂ extraction and hydrodistillation. *Journal of chromatography A* 2008;1180:159-64
 64. Chang CL, Cho IK, Li QX. Insecticidal activity of basil oil, trans-anethole, estragole, and linalool to adult fruit flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. *Journal of economic entomology* 2009;102:203-9
 65. Silva Cde B, Guterres SS, Weisheimer V, Schapoval EE. Antifungal activity of the lemongrass oil and citral against *Candida* spp. *The Brazilian journal of infectious diseases : an official publication of the Brazilian Society of Infectious Diseases* 2008;12:63-6
 66. Cimanga K, Kambu K, Tona L, Apers S, De Bruyne T, et al. Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some

aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo.

Journal of ethnopharmacology 2002;79:213-20

67. Rabbani SI, Devi K, Khanam S, Zahra N. Citral, a component of lemongrass oil inhibits the clastogenic effect of nickel chloride in mouse micronucleus test system. Pakistan journal of pharmaceutical sciences 2006;19:108-13
68. Runyoro D, Ngassapa O, Vagionas K, Aligiannis N, Graikou K, Chinou I. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of four *Ocimum* species growing in Tanzania. Food chemistry 2010;119:311-6
69. Caryophyllene oxide [Internet]. [cited 10 กรกฎาคม, 2560]. Available from: <http://www.chemfaces.com/natural/Caryophyllene-oxide-CFN99239.html>.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ข้อมูลและผลการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยเฮกเซน

ครั้ง	เวลาสกัด (ชั่วโมง)	น้ำหนักฟางแมงลัก (กรัม)	ผลได้ (กรัม)	ร้อยละผลได้
1	15	7.1134	0.3052	4.2905
2	15	7.3990	0.3124	4.2222
3	15	7.0818	0.2711	3.8281
เฉลี่ย				4.1136
ค่าเบี่ยงเบน				0.2496

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยการต้มกลั่น

เวลาสกัด (ชั่วโมง)	ร้อยละผลได้การสกัด			เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3		
15	0.0698	0.0737	0.0672	0.0703	0.0033

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม			เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3		
	0	0	0	0	0	
	30	0.5750	0.5814	0.5563	0.5709	0.0131
	60	0.6451	0.6114	0.5968	0.6178	0.0248
150	90	0.6526	0.6318	0.6188	0.6344	0.0170
	120	0.6585	0.6503	0.6413	0.6500	0.0086
	150	0.6814	0.6763	0.6663	0.6746	0.0077
	180	0.6859	0.6967	0.7023	0.6950	0.0083
200	0	0	0	0	0	0

ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	30	0.5050	0.6070	0.6619	0.5913	0.0796
	60	0.5902	0.6354	0.6824	0.6360	0.0461
	90	0.6795	0.6529	0.7098	0.6807	0.0285
	120	0.6994	0.6908	0.7287	0.7063	0.0199
	150	0.7164	0.7263	0.7357	0.7261	0.0097
	180	0.7373	0.7423	0.7661	0.7486	0.0154
	0	0	0	0	0	0
	30	0.6622	0.6335	0.6038	0.6332	0.0292
	60	0.7264	0.6740	0.6492	0.6832	0.0394
250	90	0.7299	0.7289	0.6646	0.7078	0.0374
	120	0.7478	0.7434	0.7010	0.7307	0.0258
	150	0.7642	0.7754	0.7433	0.7610	0.0163
	180	0.7721	0.8129	0.7802	0.7884	0.0216
	0	0	0	0	0	0
	30	0.6720	0.7542	0.7407	0.7223	0.0441
	60	0.7362	0.7886	0.7941	0.7729	0.0320
300	90	0.8178	0.7961	0.8105	0.8081	0.0111
	120	0.8382	0.8175	0.8290	0.8282	0.0104
	150	0.8945	0.8529	0.8629	0.8701	0.0217
	180	0.9233	0.8703	0.8753	0.8897	0.0293

ตารางภาคผนวกที่ ก.4 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
150	0	0	0	0	0	0
	30	0.5261	0.5516	0.5557	0.5444	0.0160
	60	0.5976	0.6405	0.6034	0.6138	0.0233
	90	0.6264	0.6730	0.6481	0.6492	0.0233
	120	0.6746	0.7020	0.6834	0.6867	0.0140
	150	0.6920	0.7249	0.7162	0.7111	0.0171
	180	0.7163	0.7569	0.7570	0.7434	0.0234
200	0	0	0	0	0	0
	30	0.5197	0.6684	0.6278	0.6053	0.0768
	60	0.6372	0.6948	0.6712	0.6677	0.0290
	90	0.7201	0.7342	0.7061	0.7202	0.0141
	120	0.7366	0.7672	0.7226	0.7421	0.0228
	150	0.7636	0.7881	0.7450	0.7656	0.0216
	180	0.7796	0.8185	0.7755	0.7912	0.0238
250	0	0	0	0	0	0
	30	0.6746	0.7158	0.7106	0.7003	0.0224
	60	0.7267	0.7718	0.7419	0.7468	0.0230
	90	0.7445	0.8073	0.8005	0.7841	0.0344
	120	0.7584	0.8298	0.8248	0.8044	0.0398
	150	0.8130	0.8583	0.8606	0.8440	0.0268
	180	0.8185	0.8823	0.8785	0.8597	0.0358
300	0	0	0	0	0	0
	30	0.7231	0.7425	0.7579	0.7412	0.0175
	60	0.7535	0.7944	0.8572	0.8017	0.0522
	90	0.8014	0.8717	0.8981	0.8571	0.0500
	120	0.8917	0.9002	0.9250	0.9056	0.0173

ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	150	0.9731	0.9321	0.9524	0.9525	0.0205
	180	0.9965	0.9665	0.9833	0.9821	0.0150

ตารางภาคผนวกที่ ก.5 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
150	0	0	0	0	0	0
	30	0.5460	0.5843	0.5726	0.5676	0.0196
	60	0.6098	0.6047	0.6666	0.6270	0.0344
	90	0.6391	0.6808	0.7422	0.6874	0.0518
	120	0.7158	0.7097	0.7630	0.7295	0.0292
	150	0.7427	0.7211	0.7948	0.7529	0.0379
	180	0.7685	0.7858	0.8073	0.7872	0.0194
	200	0	0	0	0	0
30		0.5538	0.6493	0.7516	0.6516	0.0989
60		0.6630	0.6658	0.7521	0.6936	0.0506
90		0.7419	0.6862	0.7740	0.7341	0.0444
120		0.7950	0.7505	0.8114	0.7857	0.0315
150		0.8238	0.7899	0.8314	0.8150	0.0221
180		0.8352	0.8083	0.8534	0.8323	0.0227
250		0	0	0	0	0
	30	0.6736	0.7148	0.7516	0.7133	0.0390
	60	0.7333	0.7828	0.7710	0.7624	0.0258
	90	0.7669	0.8043	0.7819	0.7844	0.0188
	120	0.8731	0.8397	0.8162	0.8430	0.0286
	150	0.8978	0.8507	0.8644	0.8710	0.0242
	180	0.9284	0.9047	0.9027	0.9119	0.0143

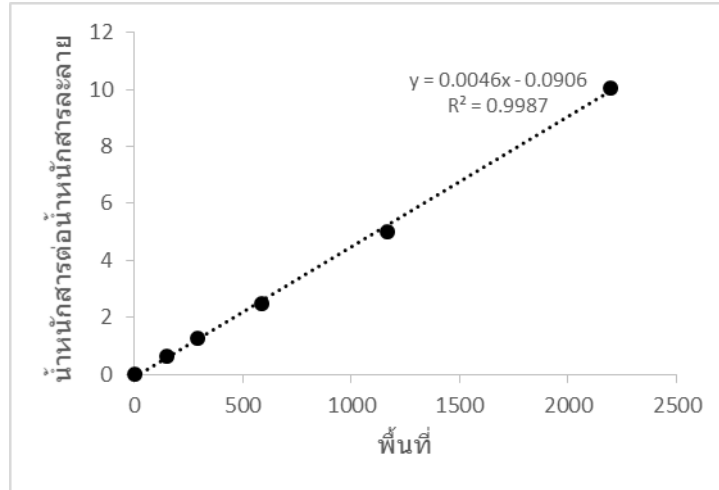
ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	0	0	0	0	0	0
	30	0.7289	0.7157	0.7733	0.7393	0.0301
	60	0.7848	0.7810	0.8634	0.8097	0.0465
300	90	0.8924	0.8438	0.9207	0.8857	0.0389
	120	1.0105	0.9914	0.9631	0.9883	0.0238
	150	1.1001	1.0412	0.9950	1.0454	0.0527
	180	1.1266	1.1279	1.0239	1.0928	0.0597

ตารางภาคผนวกที่ ก.6 ร้อยละผลได้การสกัดฟางแมงลักด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

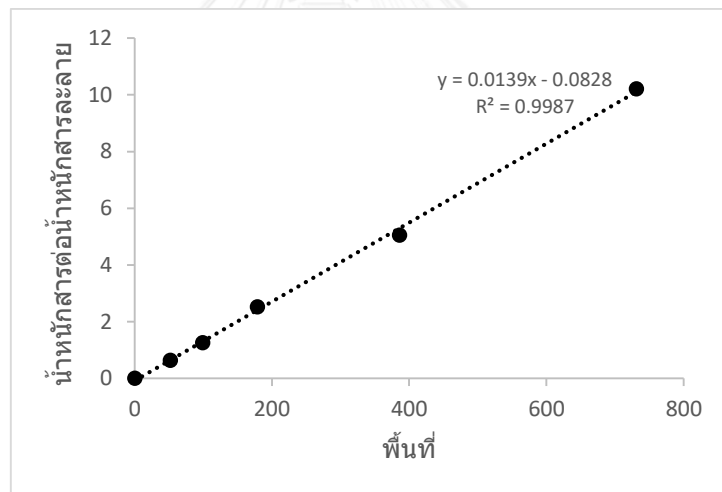
ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	0	0	0	0	0	0
	30	0.5954	0.5339	0.5800	0.5698	0.0320
	60	0.6387	0.5673	0.5975	0.6012	0.0358
150	90	0.6824	0.6228	0.6339	0.6464	0.0317
	120	0.7023	0.6682	0.6734	0.6813	0.0184
	150	0.7132	0.7117	0.7099	0.7116	0.0017
	180	0.7276	0.7581	0.7428	0.7429	0.0152
	0	0	0	0	0	0
	30	0.5431	0.6066	0.7291	0.6263	0.0945
	60	0.6546	0.6725	0.7805	0.7025	0.0681
200	90	0.6938	0.7244	0.8238	0.7473	0.0680
	120	0.7319	0.7828	0.8318	0.7822	0.0500
	150	0.7735	0.8138	0.8622	0.8165	0.0444
	180	0.8176	0.8447	0.9011	0.8545	0.0426
250	0	0	0	0	0	0
	30	0.6015	0.7338	0.7591	0.6981	0.0847

ความดัน (บาร์)	เวลาสกัด (นาที)	ร้อยละผลได้การสกัดสะสม				
		รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	60	0.7027	0.7728	0.8026	0.7594	0.0512
	90	0.7875	0.8861	0.8335	0.8357	0.0493
	120	0.8399	0.9041	0.9169	0.8870	0.0413
	150	0.8843	0.9415	0.9474	0.9244	0.0349
	180	0.8983	0.9944	0.9649	0.9525	0.0493
300	0	0	0	0	0	0
	30	0.7651	0.7947	0.8018	0.7872	0.0194
	60	0.8937	0.9616	0.9428	0.9327	0.0350
	90	1.0050	1.1051	1.0265	1.0455	0.0527
	120	1.1172	1.1739	1.0454	1.1122	0.0644
	150	1.1976	1.2098	1.0798	1.1624	0.0718
	180	1.2195	1.2960	1.1152	1.2102	0.0907

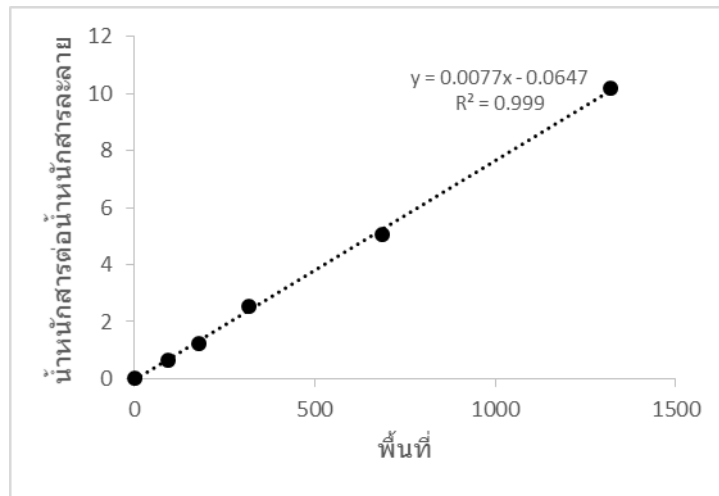
ภาคผนวก ข
กราฟสารมาตรฐาน



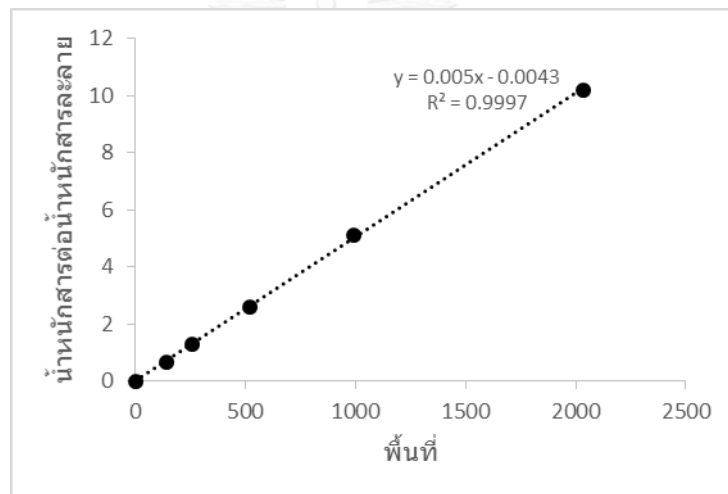
รูปภาคผนวก ข.1 กราฟมาตรฐานลินาโลอล



รูปภาคผนวก ข.2 กราฟมาตรฐานนี้เรียล



รูปภาคผนวก ข.3 กราฟมาตรฐานเจอแรนเนียล



รูปภาคผนวก ข.4 กราฟมาตรฐานคาร์ิโอฟิลลีนออกไซด์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจริพงษ์ เม่นหวา เกิดเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2534 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ หอวัง นนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2556 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต ในสาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 และนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ The 26 th National Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Science Conference (TICHe2016) and The 6 th International Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Science Conference (ITICHe2016) เมื่อวันที่ 26-28 ตุลาคม พ.ศ. 2559

