



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การระบุสารที่ก่อให้เกิดการหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้การสกัดด้วย  
ไดคลอโรมีเทน  
Identification of rancid components contributing to off-flavor in  
freeze dried durian using Dichloromethane extraction

ชื่อนิสิต นายณัฐพล ตีสสม เลขประจำตัว 6033030023  
ภาควิชา เคมี  
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การระบุสารที่ก่อให้เกิดการหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้การสกัดด้วย  
ไดคลอโรมีเทน

Identification of rancid components contributing to off-flavor in  
freeze dried durian using Dichloromethane extraction

โดย

นายณัฐพล ตีสม

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

โครงการ การระบุสารก่อให้เกิดการหื่นในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้การสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน

โดย นายณัฐพล ตีสุม

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ ประไพรัชสิทธิ์ | ประธานกรรมการ        |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวพร วินยเวคิน   | กรรมการ              |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ดุบาส     | อาจารย์ที่ปรึกษา     |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพโรศิริศาล    | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ดุบาส)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพโรศิริศาล)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ โฮเว่น)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 27 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564

ชื่อโครงการ การระบุสารก่อให้เกิดการหินในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้การสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน

ชื่อนิติในโครงการ นายณัฐพล ตีสุม เลขประจำตัว 6033030023

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษณา ดุบาส

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพโรศิริศาล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

### บทคัดย่อ

สถานการณ์โควิด ส่งผลต่อการชะลอตัวของการส่งออกทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง โดยการส่งออกปรับลดลงจากปี 2562 ร้อยละ 30.53 ส่งผลให้ผู้ผลิตประสบปัญหาหากลิ่นหินในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งที่เก็บไว้เพื่อรอการส่งออก ดังนั้นในการศึกษาจึงมุ่งศึกษาสาเหตุของการเกิดกลิ่นหินและโครงสร้างของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหิน เพื่อนำไปพัฒนาวิธีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยในการศึกษานี้ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-ออลแฟกโทเมทรี เพื่อหากลิ่นที่แตกต่างระหว่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืนและไม่หืน พบว่ากลิ่นที่ตรวจวัดได้แบ่งออกในสามลักษณะ คือ กลิ่นที่พบทั้งในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืนและไม่หืน ได้แก่ กลิ่นคล้ายสบปะรด, กลิ่นคล้ายเนยแข็ง, กลิ่นคล้ายถั่ว, กลิ่นคล้ายแอปริคอต, กลิ่นคล้ายมะพร้าว, กลิ่นคล้ายแอปเปิล และ กลิ่นคล้ายน้ำมันเบนซิน ลักษณะที่ 2 คือ กลิ่นที่พบเพียงในทุเรียนอบแห้งแบบไม่หืน คือ กลิ่นคล้ายหัวหอมคั่วและกลิ่นคล้ายกำมะถัน ลักษณะสุดท้ายกลิ่นที่พบเพียงในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืน คือ กลิ่นหิน ในการระบุสารที่แตกต่างกันระหว่างทุเรียนดีและทุเรียนกลิ่นหินนั้น จะใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี ซึ่งพบว่าสารที่คาดว่าจะก่อให้เกิดกลิ่นหิน คือ กรดเดคาโนอิก และ กรดโดเดคาโนอิก โดยสารทั้งสองชนิดอาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์สายกลาง ในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งที่เก็บไว้นาน

คำสำคัญ: ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง, แก๊สโครมาโทกราฟี-ออลแฟกโทเมทรี, แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี

Project Title            identification of rancid components contributing to off-flavor in freeze dried durian using Dichloromethane extraction

Student Name            Misster Nattapon Deesom            Student ID 6033030023

Advisor Name            Assistant Professor Dr. Luxsana Dubas

Co-advisor Name        Professor Preecha Phuwapraisirisan, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

### **Abstract**

Because Covid-19 epidemic causing the exportation of freeze-dried durian decreased by 30.53 % from 2019, the manufacturer has encountered a problem of rancid smell in freeze-dried durian that it was stored for the exportation. Therefore, this study aims to investigate the causes of rancidity by identifying the substances that cause rancidity to develop the storage methods to prolong the shelf-life. The chemical profile study of both rancid and unspoiled freeze-dried durians by using gas chromatography – olfactometry was conducted and compared. The observed smell was divided into three groups. First, the smells found in both the rancid and unspoiled freeze-dried durian are similar to those of pineapple, cheese, nuts, apricot, coconut, apple and benzine oil. The second group is the smell only found in unspoiled freeze-dried durian that is similar to the smells of roasted onions and sulfur. Lastly, the rancid smell is only found in rancid freeze-dried durian. Gas chromatography-mass spectrometry was used to identify the products difference between unspoiled durian and rancid durian. The substances expected to produce rancid odors are decanoic acid and dodecanoic acid. Both substances may be caused by the hydrolytic rancidity process of medium chain triglycerides in long stored freeze-dried durian.

Keywords: Freeze-dried durian, Gas chromatography-Olfactory, Gas chromatography-Mass Spectrometry

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ดุบาส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ภูวไพริศริศาล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ตลอดจนตรวจทาน แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความใส่ใจตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ ประไพรัชสิทธิ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวพร วินยเวทิน ที่ให้เกียรติสละเวลาเป็นกรรมการสอบการวิจัยและตรวจสอบแก้ไขรายงานให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และเทคนิคปฏิบัติการอันเป็นพื้นฐานในการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา และขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการ และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษารวมทั้งกำลังใจ และขอขอบคุณบิดามารดาที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมาจนสามารถดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
1.5.1 เทคนิค Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE)	3
1.5.2 เทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O)	3
1.5.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง Gas chromatograph	4
1.5.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง Mass spectrometer	5
<b>บทที่ 2 การทดลอง</b>	8
2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์	8
2.2 สารเคมี	8
2.3 การสกัดสารระเหยง่ายออกจากตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง	9
2.3.1 เตรียมสารละลาย	9
2.3.2 สกัดสารในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย	10
2.3.3 การแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค GC-O	10
2.3.4 การทำให้สารเข้มข้นขึ้นโดยการกลั่น	10
2.4 การวิเคราะห์กลิ่นของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหื่นและไม่หื่นด้วยเทคนิค GC-O	11
2.4.1 การเตรียมสารตัวอย่าง	11
2.4.2 การหาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-O	12
2.4.4 การวิเคราะห์กลิ่นของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหื่นและไม่หื่นด้วยเทคนิค GC-O ในภาวะที่เหมาะสม	12
2.5 การวิเคราะห์หาสารระเหยง่ายทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหื่นและไม่หื่นด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectroscopy	12

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
2.6 การวิเคราะห์หา retention index ของ n-alkane ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry	13
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	<b>14</b>
3.1 การสกัดแยกสารละลายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง	14
3.2 สกัดแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE	14
3.3 การหาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หากลิ่นด้วยเทคนิค GC-O	15
2.3.1 Ramp rate	15
2.3.2 Flow rate	16
3.4 การวิเคราะห์หากลิ่นสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเทคนิค GC-O	18
3.5 วิเคราะห์หาสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเทคนิค GC-MS	21
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>24</b>
ข้อเสนอแนะ	25
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	28
ประวัติผู้วิจัย	30



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบสำคัญของ Solvent-assisted flavor evaporation	3
รูปที่ 1.2 แสดงถึงเครื่องมือ และการตรวจวิเคราะห์สารระเหย โดยเทคนิค GC-O	4
รูปที่ 1.3 แผนภาพ Gas Chromatography-Mass Spectrometry	5
รูปที่ 1.4 แสดงการสมการหลุดของอิเล็กตรอนจากการชนด้วยอิเล็กตรอน	5
รูปที่ 1.5 หลักการทำงานของ Electron Ionization	6
รูปที่ 1.6 หลักการทำงานของ Quadrupole Mass Analyzer	6
รูปที่ 1.7 หลักการทำงานของ Discrete dynode multiplier	7
รูปที่ 2.1 เครื่องปั่นแบบใช้มือหมุน	9
รูปที่ 2.2 การสกัดแยกชั้นของแข็งออกจากชั้นไดคลอโรมีเทน	10
รูปที่ 2.3 เครื่อง SAFE ส่วน Dropping funnel	10
รูปที่ 2.4 แสดงการกลั่นด้วย Vigreux column	10
รูปที่ 2.5 แสดงการกลั่นด้วย Micro distillation column	11
รูปที่ 3.1 สารละลายที่ได้จากการสกัดทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืนผ่านกรวยแยกด้วย ไดคลอโรมีเทน	14
รูปที่ 3.2 สารละลายที่ได้จากการสกัดแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE	15
รูปที่ 3.3 โครมาโทแกรมการแยกของสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (split ratio 20:1, flow rate 3.0 mL/min, T : 4 – 230 °C, ramp rate 3.0 °C/min)	20
รูปที่ 3.4 โครมาโทแกรมการแยกของสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (split ratio 20:1, flow rate 3.0 mL/min, T : 4 – 230 °C, ramp rate 3.0 °C/min)	21
รูปที่ 3.5 (ก) Decanoic acid (ข) Dodecanoic acid ซึ่งเป็นสารให้ความหืน	
รูปที่ 5.1 โครมาโทแกรมการแยกสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (flow rate 3.0 mL/min, ramp 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)	28
รูปที่ 5.2 โครมาโทแกรมการแยกสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (flow rate 3.0 mL/min, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)	28
รูปที่ 5.3 โครมาโทแกรมการแยกสารมาตรฐาน n-alkane (C8 – C20) ด้วยคอลัมน์ DB-5 (flow rate 3.0 mL/min, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)	29

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ลักษณะกลิ่นของสารตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ด้วย ramp rate เท่ากับ 3.0 °C/min และ 6.0 °C/min (คอลัมน์ชนิด DB-5, flow rate 3.0 mL/min, T: 40 – 230 °C)	16
ตาราง 3.2 ลักษณะกลิ่นของสารตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ด้วย column flow rate เท่ากับ 1.5 mL/min และ 3.0 mL/min (คอลัมน์ชนิด DB-5, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 - 230 °C)	17
ตาราง 3.3 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนและหีนด้วยเทคนิค GC-O	17
ตาราง 3.4 กลิ่นสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนที่ถูกตรวจวัดได้จากผู้ทดลอง โดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry	18
ตาราง 3.5 กลิ่นสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนที่ถูกตรวจวัดได้จากผู้ทดลอง โดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry	19
ตาราง 3.6 การเปรียบเทียบกลิ่นสารระเหยง่ายระหว่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีน และแบบหีน ที่ถูกตรวจวัดได้จากผู้ทดลอง โดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry	19
ตาราง 3.7 สารระเหยง่ายที่พบทั้งในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและไม่หีน และค่า Retention Index จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS	21
ตาราง 3.8 การคาดการณ์ความสอดคล้องของสารระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้ ด้วยเทคนิค GC-MS และกลิ่น	22

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง (Freeze-dried durian) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในไทยและต่างประเทศ บริษัทแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลายแห่งจึงแปรรูปทุเรียนสดเป็นทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งในปริมาณมาก ซึ่งประสบปัญหากลิ่นหืนของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งส่งผลต่อการจับจ่ายของผู้บริโภค ทำให้เสียมูลค่าทางการตลาด โดยคาดว่าเกิดจากการหืนในรูปแบบปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative rancidity)<sup>1</sup> ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปฏิกิริยาที่นำมาสู่สารข้างต้นและปรับปรุงแนวทางการแปรรูปทุเรียนเพื่อป้องกันการเกิดสารข้างต้นต่อไป

ปัจจุบันมีการศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยในตัวอย่างหลายชนิด เช่น การศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยในสุราจีน ด้วยเทคนิค Head-space-solid-phase microextraction (HS-SPME) และ simultaneous distillation and extraction (SDE) ร่วมกับ gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) และ gas chromatography-olfactometry (GC-O) เพื่อปรับปรุงคุณภาพกลิ่นของสุราจีน<sup>2</sup> การศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยในขนมปังหนึ่งก็ิ้ว ด้วยเทคนิค GC-MS และ GC-O ร่วมกับ Odor active values (OAV) เพื่อหาสารระเหยหลักของขนมปังหนึ่งก็ิ้ว<sup>3</sup> การศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยในไวน์หวงจี้ว ด้วยเทคนิค Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE), GC-O และ Aroma extract dilution analysis (AEDA) ร่วมกับ Odor specific magnitude estimation (Osme) และ OAV เพื่อหาสารระเหยหลักของไวน์หวงจี้ว<sup>4</sup> การศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยในลิ้นจี่ ด้วยเทคนิค Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE), GC-O/MS และ AEDA เพื่อหาสารระเหยหลักของลิ้นจี่<sup>5</sup> โดยกระบวนการทดลองข้างต้น เป็นการทดลองที่มุ่งหาสารระเหยหลักเป็นส่วนใหญ่

โครงการนี้จึงสนใจวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารให้กลิ่นหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งผ่านการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน และสกัดแยกสารประกอบระเหยง่าย (Volatile compound) ออกจากสารประกอบไม่ระเหย (Nonvolatile compound) ผ่านกระบวนการ Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE)<sup>6</sup> ผ่านกระบวนการ Gas-Chromatography-Olfactometry-(Flame ionization detector) (GCO)<sup>7-8</sup> และกระบวนการสุดท้ายวิเคราะห์เพื่อระบุโครงสร้างให้กลิ่นหืนหลัก ผ่านกระบวนการ Gas-Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)<sup>9-11</sup>

#### 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์หาสารให้กลิ่นหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถระบุโครงสร้างทางเคมีของสารให้กลิ่นหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง
2. เพื่ออธิบายกระบวนการเกิดสารหืนดังกล่าว ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาวิธียืดอายุของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งต่อไป

### 1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทุเรียนเป็นสินค้าที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งทุเรียนสด ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง ทุเรียนอบแห้ง และทุเรียนทอด ซึ่งเป็นสินค้าที่ส่งออกรายชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทยโดยมีการส่งออก ไทยจัดเป็นประเทศที่ส่งออกทุเรียนเป็นอันดับที่ 1 ของโลก จากจัดอันดับของ Global Trade Atlas โดยในปี 2562 มีปริมาณการส่งออกทุเรียนสดคิดเป็น 75.22%<sup>12</sup> ของทุเรียนสดในโลก และเพิ่มขึ้นในทุกๆปี นอกจากนี้ ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งที่เป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศ เช่น จีน ฮองกง อีกด้วย ซึ่งในช่วงสถานการณ์โควิดการส่งออกมีการชะลอตัว ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตที่รอการจำหน่ายจำนวนมาก และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน จึงส่งผลให้เกิดการเหม็นหืนขึ้น

Shi Feng และคณะ ได้ทำการสกัดแยกสารระเหยจากกลิ่นจืด โดยวิธี SAFE เพื่อแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหย จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้นในระดับ 10 ml โดยการกลั่นลำดับส่วนผ่าน Vigreux column จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้นในระดับ 1 ml โดยการกลั่นลำดับส่วนโดย micro distillation column เพื่อให้สารเข้มข้นพอที่จะสามารถตรวจวัดได้จากเครื่อง GC พบว่าสกัดสารระเหยออกจากสารตัวอย่าง อย่างมีประสิทธิภาพ<sup>5</sup>

จากงานวิจัยของ Jia-Xiao Li และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ทุเรียนหมอนทองสดไทย โดยใช้แคปิลารีคอลัมน์ DB-5 column ตัวตรวจวัด คือ flame ionization detection (FID) จากการทดลองพบว่า สามารถแยกองค์ประกอบของทุเรียนหมอนทองสดได้อย่างมีประสิทธิภาพและพบสารระเหยง่าย เช่น Ethyl butanoate ที่ให้กลิ่นผลไม้คล้ายสับปะรด และ Diethyl disulfide ที่ให้กลิ่นคล้ายหัวหอมคั่ว เป็นต้น<sup>13</sup>

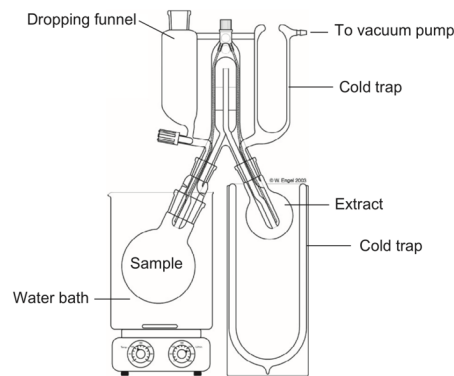
จากงานวิจัยของ Longhua Ma และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อระบุสารระเหยง่ายโดยใช้เทคนิค GC-MS โดยใช้แคปิลารีคอลัมน์ DB-5 column แหล่งผลิตไอออนคือ Electron Ionization (EI), ส่วนวิเคราะห์มวลคือ Quadrupole Mass Analyzer (QMS) จากการทดลองพบว่า สามารถแยกองค์ประกอบของสุราจีนและระบุชนิดของสารระเหยง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ<sup>2</sup>

จากข้อมูลงานวิจัยดังกล่าว จะเห็นได้ว่าเทคนิค SAFE สามารถนำมาใช้เพื่อสกัดสารระเหยง่ายออกจากทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง และในการวิเคราะห์หากกลิ่นหืนของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้ GC-O นั้น พบว่าคอลัมน์ชนิด DB-5 column ที่มีขั้วต่ำเป็นคอลัมน์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ โดยภาวะที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ column flow rate และ ramp rate ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสกัดสารให้ระเหยง่ายออกจากทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ วิเคราะห์หากกลิ่นในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเครื่อง GC-O และระบุสารให้กลิ่นหืนด้วยเครื่อง GC-MS

## 1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1.5.1 เทคนิค Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE)<sup>6</sup>

เทคนิค Solvent-assisted flavor evaporation เป็นเทคนิคสำหรับสกัดแยกสารระเหยง่าย (Volatile Compound) ออกจากสารไม่ระเหยภายใต้สุญญากาศ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถเลี่ยงการสูญเสียสารระเหยง่ายได้ดี และสารตัวอย่างจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสกัด โดยสารตัวอย่างที่ต้องการสกัดซึ่งละลายในตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น Diethyl ether หรือ Dichloromethane จะถูกบรรจุใน dropping funnel จากนั้นจึงหยดสารตัวอย่างลงในขวดกั่นกลมที่อยู่ในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิครั้งละประมาณ 2-3 หยด จากนั้นสารระเหยง่ายจะระเหยเป็นไอไปกลั่นตัวบนผนังของหลอดแก้วขวด (Collecting Vessel) ที่อยู่ตรงกลางระหว่างขวดกั่นกลม จากนั้นสารที่ถูกควบแน่นจะไปลงไปทางขวดกั่นกลมที่ถูกให้ความเย็นโดยถังที่บรรจุ (Cold trap) ตัวแรก สารที่ทำให้เย็นยิ่งยวด เช่น ไนโตรเจนเหลว โดยทำหน้าที่ทำให้เกิดควบแน่นการระเหยของสารระเหยง่าย หากมีสารที่สามารถระเหยออกไปได้ จะถูกควบแน่นใน Cold trap ตัวที่สอง ดังรูปที่ 1.1 สารระเหยง่ายที่ได้จากการสกัดได้จาก เทคนิค Solvent-assisted flavor evaporation ส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายใสไม่มีสี เนื่องจากไม่มีรงควัตถุหลงเหลืออยู่ในสารละลาย

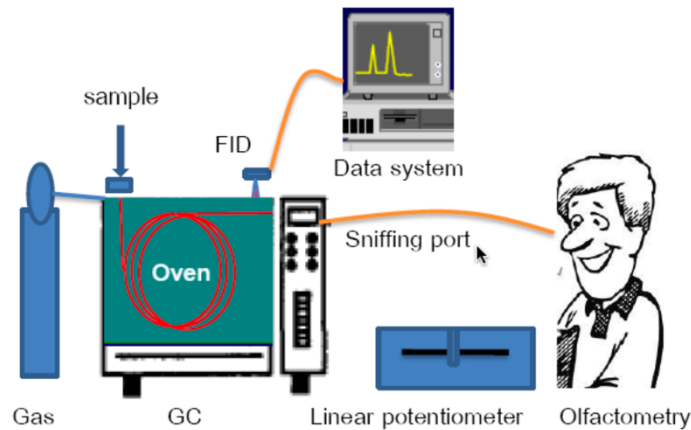


รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบสำคัญของ Solvent-assisted flavor evaporation

### 1.5.2 เทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O)<sup>7-8</sup>

เทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารให้กลิ่นที่สำคัญในอาหาร ดังรูปที่ 1.2 จากสารระเหยแต่ละตัวที่กำลังถูกแยกออกจากเครื่อง GC เนื่องจากบางพีคที่ถูกตรวจวัดได้จากเครื่อง GC กลับเป็นสารที่ไม่ให้กลิ่นเมื่อตรวจวัดโดยมนุษย์ และบางสารที่ให้กลิ่นแต่กลับไม่ขึ้นพีคที่เกิดจากการตรวจวัดโดยเครื่อง GC โดยเมื่อสารตัวอย่างถูกฉีดเข้าเครื่อง GC สารตัวอย่างที่ได้รับความร้อนจากตัวเครื่องจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สทั้งหมด จากนั้นโมเลกุลของสารตัวอย่างในสถานะแก๊สจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยอาศัยเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) หรือแก๊สพา (carrier gas) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแก๊สเฉื่อยที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลียม และไนโตรเจน ที่มีความบริสุทธิ์สูง ไม่มีน้ำและออกซิเจนเจือปน เป็นตัวพาเข้าคอลัมน์ที่บรรจุเฟสคงที่ (stationary phase) เอาไว้ หลักการในการแยกสารอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางเคมี ได้แก่ โครงสร้าง, น้ำหนักโมเลกุล และจุดเดือดที่ต่างกัน ที่ส่งผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ในเฟสที่

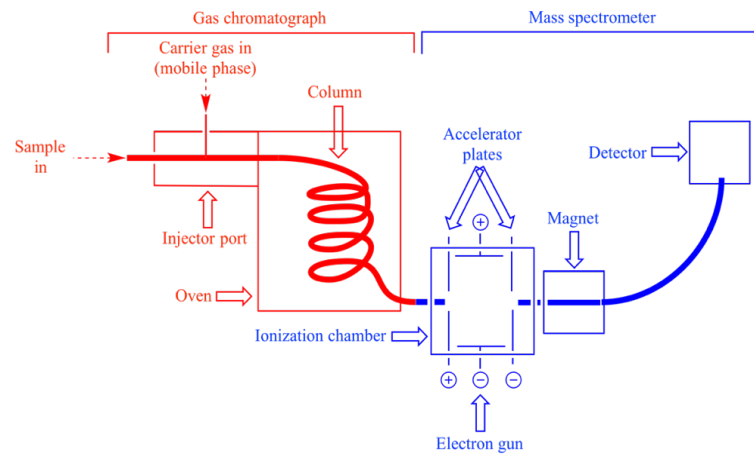
แตกต่างกัน สารที่มีอันตรกิริยาแบบ Partition ได้ดีกับเฟสคงที่จะเคลื่อนที่ช้าส่งผลให้อยู่ในคอลัมน์นานจึงออกมาช้า ในทางตรงข้ามสารที่เกิดอันตรกิริยาแบบ Partition ได้ไม่ดีกับเฟสเคลื่อนที่เร็วจะเคลื่อนที่เร็วจะออกจากคอลัมน์ก่อน โดยจะออกจากคอลัมน์สองทาง ทางแรกจะไปถูกตรวจวัดโดยตัวตรวจวัดในเครื่อง GC โดยแสดงผลในรูปของ Chromatogram ทางที่สองจะถูกส่งไปตรวจวัดโดย Odor detector ซึ่งเป็นมนุษย์ ดังรูปที่ 1.2 โดยแสดงผลเป็นตารางการบันทึกเวลาที่สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (Retention time), ความเข้มกลิ่น (Order intensity), ลักษณะของกลิ่น (Order quality)



รูปที่ 1.2 แสดงถึงเครื่องมือ และการตรวจวิเคราะห์สารระเหย โดยเทคนิค GC-O<sup>7</sup>

### 1.5.3 Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)<sup>9-11</sup>

เทคนิคแมสสเปกโทรเมทรี เป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของโมเลกุลรวมไปถึงการระบุโครงสร้างของสาร โดยวิเคราะห์สารตามอัตราส่วนมวลต่อประจุ ( $m/z$ ) ของอะตอม กลุ่มอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งไม่ใช่เทคนิคที่วัดน้ำหนักโดยตรง แต่ใช้การเปลี่ยนสารให้อยู่ในไอออนและใช้สมบัติของไอออนในการวัด โดยโมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวที่ถูกแยกที่เครื่อง GC จะถูกพาเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) ซึ่งเมื่อโมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวที่เข้าสู่เครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) จะได้รับพลังงานจากลำอิเล็กตรอนพลังงานสูง เช่น 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ที่บริเวณแหล่งกำเนิดไอออน เมื่อชนกับโมเลกุลของสารจะทำให้เกิดกระบวนการไอออไนเซชัน ทำให้โมเลกุลของสารอยู่ในรูปประจุ เรียกว่า “Molecular ion,  $M^+$  หรือ  $M^{+*}$ ” ซึ่งเป็นรูปแบบการแตกตัวของแต่ละโมเลกุลที่มีลักษณะเฉพาะ เรียกว่า “Mass spectrum”



รูปที่ 1.3 แผนภาพ Gas Chromatography-Mass Spectroscopy<sup>9</sup>

#### 1.5.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง Mass spectrometer<sup>10-11</sup>

เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass spectrometer) มีส่วนประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ Sample delivery, Ion sources, Mass analyzer, detector และ data system

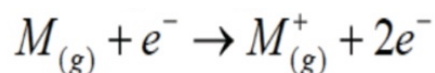
##### 1.5.4.1 Sample Delivery หรือการส่งตัวอย่าง

การส่งสารตัวอย่างมีทั้งในรูปแบบของการฉีดสารตัวอย่างเข้าระบบแมสสเปกโตรเมตรีโดยตรง (direct infusion) และใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี เพื่อแยกสารที่ต้องการวิเคราะห์ (analytes) ออกจากองค์ประกอบอื่นที่ในสารตัวอย่าง (matrix component) ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ Gas Chromatography ในการส่งสารตัวอย่างเข้าสู่ mass spectrometer

##### 1.5.4.2 แหล่งกำเนิดไอออน (Ion Sources)

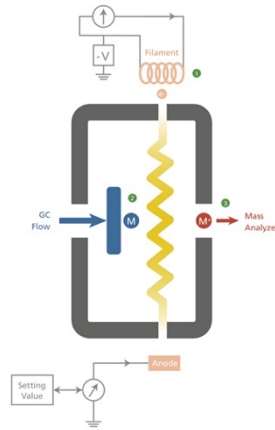
ทำหน้าที่เปลี่ยนสารตัวอย่างเป็นไอออน นิยมใช้กัน 2 แบบ คือ Electron Ionization (EI) เหมาะกับการพิสูจน์โครงสร้างและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร เพราะโมเลกุลของสารตัวอย่างแตกเป็นไอออนย่อยจำนวนมาก Chemical Ionization (CI) เหมาะกับการการหามวลโมเลกุลของสาร เพราะโมเลกุลของสารตัวอย่างไม่ค่อยแตกเป็นไอออนย่อย แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวถึง EI โดยละเอียดดังนี้

Electron Ionization (EI) เป็น Ion Sources ที่กระบวนการเกิดในลักษณะที่สารตัวอย่างจะชนกับอิเล็กตรอน ส่งผลให้โมเลกุลไอออนของสารตัวอย่าง มีพลังงานการหมุนและการสั่นสะเทือนหลงเหลืออยู่ในปริมาณมาก ทำให้โมเลกุลแตกเป็นไอออนย่อยจำนวนมาก สเปกตรัมมวลจึงมีรายละเอียด โดยอิเล็กตรอนถูกสร้างขึ้นจากขดลวดที่ถูกให้ความร้อน (heated filament) และถูกเร่งด้วยไฟฟ้าแรงสูง จากนั้นจะถูกส่งต่อไปที่ห้องแหล่งกำเนิดไอออน (ion sources chamber) ในลักษณะลำอิเล็กตรอน เช่น ลำอิเล็กตรอน 70eV ซึ่งจะชนกับโมเลกุลก๊าซที่ถูกแยกโดย GC ส่งผลให้อิเล็กตรอนหลุดจากโมเลกุลเกิดเป็น  $M^+$  ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงการสมการหลุดของอิเล็กตรอนจากการชนด้วยอิเล็กตรอน

ในบางกรณี โมเลกุล  $M^+$  มีความเสถียรและมีพลังงานส่วนเกิน ส่งผลให้การแตกตัวของโมเลกุลไม่ได้หยุดที่  $M^+$  แต่เกิดสามารถเกิดต่อไปเป็น  $M^{+*}$  จากความไม่เสถียรของ  $M^{+*}$  ประกอบกับพลังงานส่วนเกิน ทำให้เกิดการแตกตัวต่อเป็นไอออน  $m/z$  ที่เล็กลงหรือที่เรียกว่าไอออนที่แตกตัวออกมา (fragment ion) จากนั้นจะถูกส่งต่อไปที่ส่วนวิเคราะห์มวล (mass analyzer) ดังรูปที่ 1.5

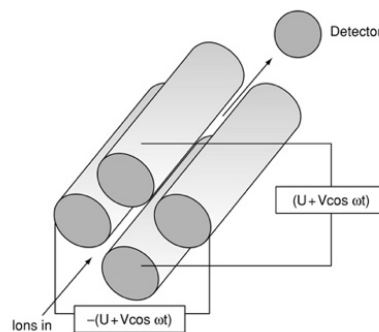


รูปที่ 1.5 หลักการทำงานของ Electron Ionization<sup>11</sup>

#### 1.4.5.3 ส่วนวิเคราะห์มวล (Mass Analyzer)

ทำหน้าที่วิเคราะห์ค่ามวลต่อประจุ ( $m/z$ ) ของอนุภาคที่ถูกส่งมาจากแหล่งกำเนิดไอออน โดยแยกไอออนตามค่าของไอออนนั้นๆ โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึง Quadrupole Mass Analyzer (QMS) เพราะเป็นวิธีที่นิยมใช้กับ Electron Ionization (EI) ซึ่งเหมาะกับการพิสูจน์โครงสร้างและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร ซึ่งกล่าวรายละเอียดดังนี้

Quadrupole Mass Analyzer (QMS) เป็น Mass Analyzer ที่จะทำให้ประจุจากแหล่งผลิตเคลื่อนเข้าไปในบริเวณช่องว่างตรงกลางระหว่างแท่งโลหะทั้งสี่ด้วย ion optic ดังรูปที่ 1.9 ซึ่งจะมีกลไกแยกแยะประจุออกไปสู่ส่วนตรวจวัด โดยการปรับค่าสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างดังกล่าว ส่งผลให้ไอออนที่มีค่ามวลต่อประจุ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะ สามารถเคลื่อนผ่านออกไปสู่ส่วนตรวจวัดได้ ขณะที่ประจุอื่นที่มีค่าต่างออกไปจะชนกับผนัง



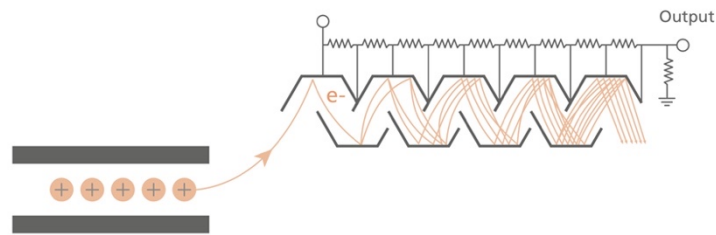
รูปที่ 1.6 หลักการทำงานของ Quadrupole Mass Analyzer<sup>11</sup>



#### 1.5.4.4 ส่วนตรวจวัดไอออน (Detector)

ทำหน้าที่ตรวจวัดค่ามวลต่อประจุ ( $m/z$ ) ของอนุภาคที่ถูกส่งมาจากส่วนวิเคราะห์มวล โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึง discrete dynode multiplier ซึ่งรายละเอียดดังนี้

Discrete dynode multiplier เป็น Detector ที่มีไดโนด (dynode) ประมาณ 10-25 ชั้นเรียงต่อกัน ศักย์ไฟฟ้าขั้วลบถูกต่อเข้ากับไดโนดแต่ละตัว โดยใช้ตัวต้านทานเข้าไปในจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าในแต่ละไดโนด เมื่อไอออนกระทบกับไดโนดแรก อิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมาจากพื้นผิวขั้วๆ ในแต่ละไดโนด ดังรูปที่ 1.7 ส่งผลให้เกิดผลิตอิเล็กตรอนมากขึ้นและกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น ในท้ายที่สุดสัญญาณจะขยายในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียลและตรวจวัด  $m/z$  แต่ละไอออนแล้วบันทึก จากนั้นแสดงผลออกมาในลักษณะแมสสเปกตรัม



รูปที่ 1.7 หลักการทำงานของ Discrete dynode multiplier<sup>11</sup>

## บทที่ 2 การทดลอง

### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-ออลแฟกโทเมทรี (Gas Chromatograph-Olfactometry, GC-O)  
รุ่น Nexis CC-2030 ยี่ห้อ Shimadzu
- 2.1.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) ใช้แหล่งผลิตไอออนคือ Electron Ionization (EI) และส่วนวิเคราะห์มวล คือ Quadrupole Mass Analyzer (QMS) รุ่น Agilent 7890A ยี่ห้อ Agilent
- 2.1.3 เครื่องโซลเวนต์-แอสซิสเทด เฟลเวอร์ อีแวพอเรเตอร์ (Solvent-assisted flavor evaporator, SAFE) ยี่ห้อ NK (สั่งเป่าเครื่องแก้วพิเศษ)
- 2.1.4 Vigreux column 600 มิลลิเมตร
- 2.1.5 Micro distillation column 20 มิลลิเมตร
- 2.1.6 ขวดกักกลม ขนาด 10.0, 500.0, 1000.0 มิลลิลิตร
- 2.1.7 ไมโครปิเปต ขนาด 20.00 – 200.00 ไมโครลิตร
- 2.1.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
- 2.1.11 ขวดไวโอล ขนาด 2.00 มิลลิลิตร
- 2.1.12 เครื่องปั่น ยี่ห้อ Ronic

### 2.2 สารเคมี

สารเคมี	grade	หมายเลข CAS	ยี่ห้อ	บริษัทที่ผลิต
1. Dichloromethane 99.9% v/v	AR	75-09-2	Merk	Merck KGaA, Damstadt, Germany
2. Sodium sulfate 99.9%	AR	7757-82-6	Merk	Merck KGaA, Damstadt, Germany
3. Nitrogen gas 99.999% v/v	UHP	7727-37-9	Linde	Linde, Bangkok, Thailand
4. Alkane standard Solution 99.9% v/v	AR	108-75-8	Merk	Merck KGaA, Damstadt, Germany
5. Helium gas 99.999%	UHP	7440-59-7	Linde	Linde, Bangkok, Thailand

สารเคมี	grade	หมายเลข CAS	ยี่ห้อ	บริษัทที่ผลิต
6. Hydrogen gas 99.999%	UHP	1333-74-0	Praxair	Praxair, Bangkok, Thailand

## 2.3 การสกัดสารระเหยง่ายออกจากตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง

### 2.3.1 เตรียมสารตัวอย่าง

2.3.1.1 ชั่งทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งทั้งแบบไม่หั่นและหั่นอย่างละประมาณ 50 g ในปิ๊กเกอร์ขนาด 50.0 mL แล้วทำการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้เหมือนกัน นำทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งไปปั่น เครื่องปั่นแบบใช้มือหมุนดังรูปที่ 2.1 โดยการหมุนหัวเครื่องปั่นสแตนเลสจนสุดร่อง จำนวน 5 รอบ รอบละ 10 วินาที

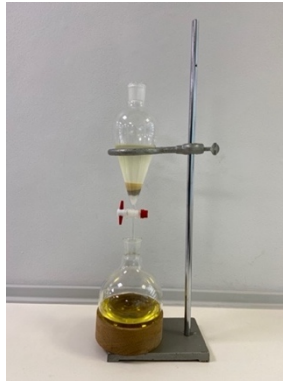


รูปที่ 2.1 เครื่องปั่นแบบใช้มือหมุน

2.3.1.2 กรองผ่านที่ร่อนแป้ขนาดตะแกรง 25 เมช (707 ไมครอน) โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 100.0 mL เป็นภาชนะรองรับตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งที่ถูกร่อนผ่านตะแกรงและใช้ช้อนตักสารเป็นตัวช่วยในการร่อน จากนั้นชั่งตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งประมาณ 40-45 g ลงในปิ๊กเกอร์ขนาด 1000.0 mL เติมโซเดียมซัลเฟตในอัตราส่วนทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งต่อโซเดียมซัลเฟต เป็น 1 : 1.5 ในที่นี้ เติมประมาณ 60 g เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง

### 2.3.2 สกัดสารในทุเรียนอบแห้งเยือกด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

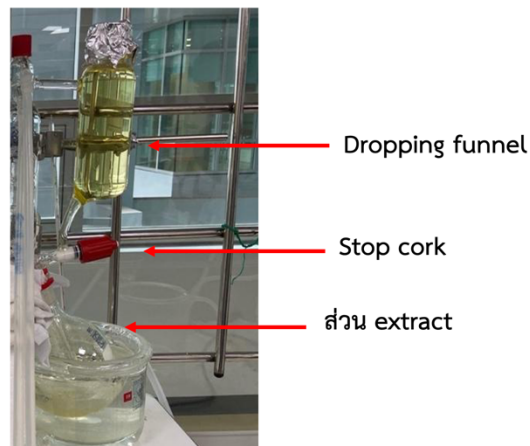
เติมไดคลอโรมีเทนประมาณ 200 mL ปั่นสารตัวอย่างด้วย Magnetic stirrer โดยหมุนปุมไปที่เบอร์ 2.5 ปั่นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นสกัดสารที่ระเหยง่ายและสารไม่ระเหยในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้กรวยแยกขนาด 1000.0 mL เทส่วนสารละลายที่ได้จากการปั่นลงกรวยแยกขนาด 1000.0 mL ผ่านกรวยแก้ว ซึ่งมีขวดกั้นกลมขนาด 1000.0 mL เป็นภาชนะรองรับ ดังรูปที่ 2.2 ทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นเติมโซเดียมซัลเฟตและแกว่งสารละลายจนโซเดียมซัลเฟตมีลักษณะคล้ายเกล็ดหิมะลอยฟุ้งในสารละลาย



รูปที่ 2.2 การสกัดทุเรียนด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน

### 2.3.3 การแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE

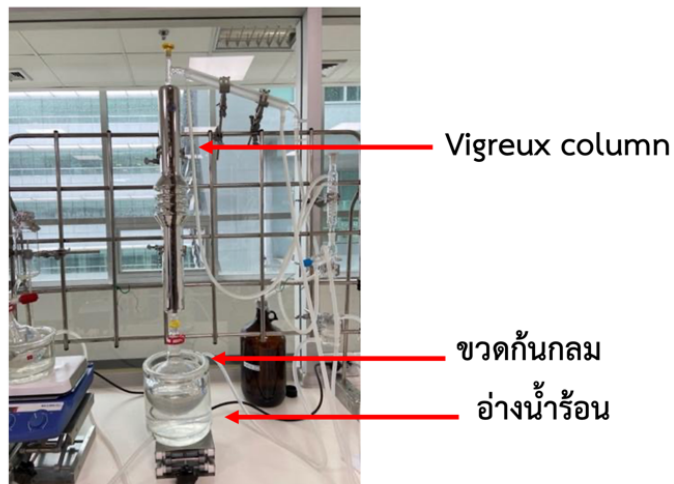
ปรับความดันภายในเครื่อง SAFE ให้เป็นสภาวะสุญญากาศ โดยเปิดปั๊มที่ต่อกับอยู่กับเครื่อง SAFE ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในการปรับความดันให้ได้ค่าที่ต้องการ คือประมาณ  $10^{-2}$  mbar เติมสารละลายที่สกัดได้ใน Dropping funnel ของเครื่อง SAFE ดังที่รูป 2.3 เริ่มการสกัดโดยการไขจุก (stopcock) ให้สารละลายลงไปในส่วนการสกัด (extract) ที่อยู่ด้านล่างที่อยู่ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 40 °C โดยไขในลักษณะหมุนจุกเปิด และปิดให้สารละลายหยดเพียง 2-3 หยดต่อครั้ง (หมุนเปิดค้างไว้ประมาณ 2-3 วินาที) เพื่อไม่ให้ความดันในปั๊มเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.3 เครื่อง SAFE ส่วน Dropping funnel

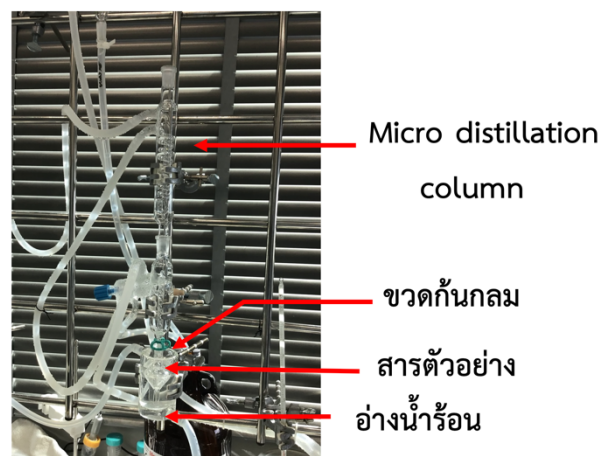
### 2.3.4 การเพิ่มความเข้มข้นสารตัวอย่างโดยการระเหยไดคลอโรมีเทน

ระเหยไดคลอโรมีเทนผ่าน Vigreux column ให้สารละลายเหลือปริมาตรประมาณ 10 mL (ขอบบนของสารละลายอยู่เหนือ Boiling stone พอดี) โดยต่อขวดก้นกลมขนาด 1000.0 mL ที่อยู่ในอ่างน้ำร้อนประมาณ 40 °C เข้ากับ Vigreux column ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการกลั่นด้วย Vigreux column

ระเหยไดคลอโรเทนมีผ่าน Micro distillation column ให้สารละลายเหลือปริมาตรประมาณ 1 mL (ขอบบนของสารละลายอยู่เหนือ Boiling stone พอดี) โดยต่อขวดกั้นกลมขนาด 10.0 mL อยู่ในอ่างน้ำร้อน ประมาณ 40 °C เข้ากับ Micro distillation column ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการกลั่นด้วย Micro distillation column

## 2.4 การวิเคราะห์กลิ่นของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและไม่หีนด้วยเทคนิค GC-O

### 2.4.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

เตรียมสารตัวอย่างโดยถ่ายสารจากขวดกั้นกลมที่ผ่านการกลั่นด้วย micro distillation column ลงในขวดกำหนดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ด้วยไมโครปิเปตขนาด 20 – 200 ไมโครลิตรและปรับปริมาตรด้วยไดคลอโรมีเทน

## 2.4.2 การหาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-O

การหาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry โดยคอลัมน์ที่ใช้ capillary column ชนิด DB-5 ความยาวคอลัมน์ 30 m inner diameter 0.25 mm film thickness 0.25  $\mu\text{m}$  ตัวตรวจวัดชนิด FID ทำการฉีดสารตัวอย่างโดยเครื่องโครมาโทกราฟี ปริมาตร 1  $\mu\text{L}$  split ratio เท่ากับ 20:1 injector temperature 230  $^{\circ}\text{C}$  split/splitless injection mode ตัวตรวจวัด detector temperature 250  $^{\circ}\text{C}$  แก๊สพา คือ แก๊สฮีเลียม โดยใช้ Temperature program เนื่องจากสามารถแยกสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนออกจากกันได้สมบูรณ์ โดยตัวแปรที่จะศึกษาคือ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของ Oven (ramp rate) และ อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ (column flow rate)

### 2.4.2.1 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของ Oven (Ramp rate)

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของ oven มีผลต่ออัตราการชะออกของสารจากคอลัมน์ ส่งผลต่อการแยกของสารในคอลัมน์ โดย ramp rate ที่ทำการศึกษา คือ 3 และ 6  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  โดยกำหนดให้ initial temperature ของ oven เท่ากับ 40  $^{\circ}\text{C}$  (hold 3 min) และ final temperature เท่ากับ 230  $^{\circ}\text{C}$  (hold 1 min) ทั้งนี้ในการทดลองนี้กำหนดให้ column flow rate เท่ากับ 3 mL/min ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

### 2.4.2.2 อัตราการไหล (Flow rate)

อัตราการไหลของสารในคอลัมน์ มีผลต่อการทำอันตรกิริยาของสารกับเฟสคงที่ ส่งผลต่อการแยกของสารในคอลัมน์ โดยทำการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง โดยกำหนด flow rate ที่ 2 ระดับคือ 1.5 mL/min และ 3.0 mL/min โดยใช้ ramp rate ที่เหมาะสมจากผลการทดลอง ตอนที่ 2.4.2.1 ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

## 2.4.3 การวิเคราะห์กลิ่นของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและไม่หีนด้วยเทคนิค GC-O ในภาวะที่เหมาะสม

ในการระบุกลิ่นทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งที่แตกต่างกันในทุเรียนแบบหีนและไม่หีนด้วยเครื่อง GC-O นั้น จะทำการดมกลิ่นและบันทึกเวลาที่เริ่มได้กลิ่น ระบุ ลักษณะกลิ่น ระบุความเข้มของกลิ่น โดยทำการทดลองดมซ้ำ 15 ครั้ง ต่อการสกัด 1 ครั้ง

## 2.5 การวิเคราะห์หาสารระเหยง่ายทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและไม่หีนด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry

ทำการฉีดสารตัวอย่างโดยเครื่องโครมาโทกราฟี ภาวะที่ใช้ injection port ที่ 220  $^{\circ}\text{C}$  และใช้เวลา desorption ทั้งหมด 5 นาที แล้ววิเคราะห์โดยเครื่อง GC-QqQMS (7890A-7000, Agilent technologies Inc.) โหมด Single Q scan ร่วมกับ Quadrupoles อื่นๆในโหมดถ่ายโอนไอออน กลุ่มสารระเหยง่ายจะถูกคัดแยกบน HP-5 MS capillary column (30 m 0.25 mm i.d., 0.25  $\mu\text{m}$  film thickness; J&W Scientific, USA) ที่ใช้ ultra-high purity helium (99.999%) เป็นแก๊สนำพา (carrier gas) ด้วยอัตราการไหล 3 mL/min สารตัวอย่างที่สกัดจะฉีดเข้าที่อุณหภูมิ 220  $^{\circ}\text{C}$  (desorption temperature) ภายใต้อัตราการไหล split 1:10 ในส่วน

ของอุณหภูมิของ GC oven ตั้งโปรแกรมให้เพิ่มจาก 40 ถึง 300 °C ในอัตรา 4 °C/min อุณหภูมิของ ion source ในเครื่อง MS จะถูกจัดตั้งที่อุณหภูมิ 230 °C ความต่างศักย์ของ electron ionization ที่ใช้ คือ -70 eV และ Mass spectra จะได้รับในช่วง 40-300 Da ด้วยเวลาสแกน 100 ms

## 2.6 การวิเคราะห์หา retention index ของ n-alkane ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry

เตรียมสารละลายมาตรฐาน n-alkane เข้มข้น 20 mg/L ในตัวทำละลายเฮกเซน ทำได้โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน n-alkane เข้มข้น 40 mg/L ด้วยไมโครปิเปตขนาด 20 - 200  $\mu$ L ปริมาตรรวม 0.500 mL ลงในขวดไวโอลขนาด 2.0 mL ตามด้วยปิเปตตัวทำละลายเฮกเซน ปริมาตรรวม 0.500 mL ลงในขวดไวโอล จากนั้นวิเคราะห์หา retention index ของ n-alkane ในเครื่อง GC-MS โดยฉีดสารละลายมาตรฐาน n-alkane เพื่อวิเคราะห์หา retention index ของ n-alkane ในเครื่อง GC-MS

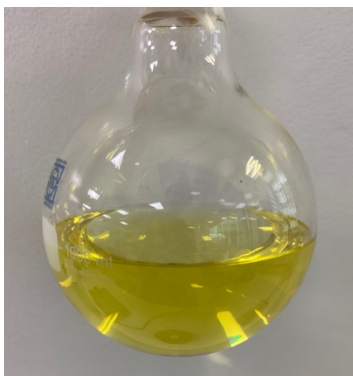
### บทที่ 3

#### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

การวิเคราะห์หาสารก่อให้เกิดการหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยใช้วิธีการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย และทำการสกัดแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE และวิเคราะห์หากลิ่นด้วยเทคนิค GC-O และระบุโครงสร้างของกลิ่นที่ตรวจวัดได้จากเทคนิค GC-O ด้วยเทคนิค GC-MS

#### 3.1 การสกัดแยกสารละลายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง

การสกัดสารละลายออกจากทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งผ่านกรวยแยกด้วยไดคลอโรมีเทน (Solvent extraction) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลาง (Polarity index 3.5) พบว่าได้สารละลายสีเหลืองใส ซึ่งคาดว่าอาจมีสารที่มีขั้วปานกลาง ที่สามารถเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วเป็นแรงไดโพล-ไดโพล จึงสามารถละลายได้ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนได้ดี หรืออาจจะมีสารที่มีขั้วสูง เนื่องจากสามารถละลายในไดคลอโรมีเทนได้เช่นกันเพียงแต่ละลายได้บางส่วน เช่นเดียวกันสำหรับสารที่มีขั้วต่ำ โดยผลการสกัดแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สารละลายที่ได้จากการสกัดทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืนผ่านกรวยแยกด้วยไดคลอโรมีเทน

#### 3.2 การสกัดแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE

การสกัดแยกสารด้วยเทคนิค SAFE เพื่อแยกองค์ประกอบที่ระเหยง่ายในสารละลายที่สกัดได้ จากการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนจากสารอื่นๆ เช่น แซนโทฟิลล์<sup>14</sup> ซึ่งเป็นรงควัตถุในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง ซึ่งมีจุดเดือดสูงประมาณ 702 °C ที่ 760 mmHg และเป็นสารไม่ระเหย จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าสารละลายใสไม่มีสีเป็นข้อสังเกตว่าสารระเหยง่ายที่สกัดได้เป็นสารไม่มีสี (colorless compound)





รูปที่ 3.2 สารละลายที่ได้จากการสกัดแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE

### 3.3 การหาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หากลิ้นด้วยเทคนิค GC-O

การวิเคราะห์กลิ่นด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry เป็นเทคนิคที่อาศัยการตรวจสอบโดยใช้ตัวตรวจวัด 2 ชนิด โดยตัวตรวจวัดที่ใช้กับเครื่อง GC และตรวจสอบผ่านการรับกลิ่นด้วยจมูกมนุษย์เป็นสำคัญ จากการที่กลิ่นของสารบางกลิ่นไม่สามารถตรวจวัดได้โดย detector ของเครื่อง GC ดังนั้น การศึกษากลิ้นในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งจึงจำเป็นต้องหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจโดยมนุษย์ในการแยกของกลิ่นของสารระเหยต่างๆ ในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกของกลิ่น ได้แก่ ramp rate และ flow rate ของเฟสเคลื่อนที่ ซึ่งมีผลการทดลองในรายละเอียดดังแสดงต่อไปนี้ ทั้งนี้ เพื่อให้ชื่อรูปและตารางกระชับ จะแสดงรายละเอียดเฉพาะ ปัจจัยที่ศึกษาการเปรียบเทียบนั้น

#### 3.3.1 Ramp rate

สารละลายระเหยง่ายจากทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หั่น มีสารระเหยง่ายหลายหลายตัว ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง จึงใช้ค่า ramp rate ไม่สูง โดยกำหนดค่า ramp rate ได้แก่ 3.0 และ 6.0 °C/min โดยควบคุมปัจจัยอื่นๆ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการแยกของกลิ่น ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.1 เห็นได้ว่าเมื่อใช้ ramp rate 6.0 °C/min นั้นพบว่าสามารถดมกลิ่นได้หลายกลิ่นในแต่ละเวลาการดมที่เกิดจากการดมซ้ำ 5 ครั้ง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเร็วมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิของคอลัมน์สูงขึ้นในอัตราเร็วที่มากเกินไป สารแยกออกจากคอลัมน์เร็วขึ้น จึงทำให้สารระเหยออกจากคอลัมน์ในระยะเวลาที่ใกล้กัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ ภาวะการทดลองที่ใช้ ramp rate 3.0 °C/min พบกลิ่นเพียงกลิ่นเดียวเป็นส่วนใหญ่ในแต่ละเวลาที่เริ่มได้กลิ่น สาร ซึ่งบ่งชี้ได้ว่า ramp rate 3.0 °C/min สามารถแยกกลิ่นของสารแยกกันได้สมบูรณ์ ดังนั้น ramp rate ที่เหมาะสมคือ 3.0 °C/min เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ตาราง 3.1 ลักษณะกลิ่นของสารตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ด้วย ramp rate เท่ากับ 3.0 °C/min และ 6.0 °C/min (คอลัมน์ชนิด DB-5, flow rate 3.0 mL/min, T: 40 – 230 °C)

ลำดับ	เวลาที่เริ่มได้กลิ่นสาร (นาที)	ramp rate (°C/min)	
		3.0	6.0
		ลักษณะกลิ่น	ลักษณะกลิ่น
1	~ 5	คล้ายผลไม้	คล้ายผลไม้, คล้ายเนยแข็ง
2	~ 7	คล้ายเนยแข็ง	คล้ายถั่ว
3	~ 9	คล้ายถั่ว	สมุนไพร, คล้ายผลไม้
4	~ 11	สมุนไพร, คล้ายผลไม้	-
5	~ 15	-	คล้ายผลไม้
6	~ 17	คล้ายผลไม้	คล้ายกำมะถัน, คล้ายผลไม้
7	~ 19	คล้ายกำมะถัน	-
8	~ 22	คล้ายผลไม้	คล้ายน้ำมันเบนซิน
9	~ 24	คล้ายน้ำมันเบนซิน	คล้ายน้ำมันเบนซิน
10	~ 28	คล้ายน้ำมันเบนซิน	คล้ายดอกไม้
11	~ 30	คล้ายดอกไม้	-

### 3.3.2 Flow rate

ประสิทธิภาพการแยกขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงศึกษาอัตราการไหลของแก๊สฮีเลียมที่มีผลต่อการแยกของกลิ่นที่อัตราการไหล 2 ค่า คือ 1.5 mL/min และ 3.0 mL/min โดยควบคุมปัจจัยอื่นๆ ตามการทดลองที่ 2.4.2.2 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการแยกของกลิ่น ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.2 พบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลของแก๊สที่ 3.0 mL/min ไม่พบการซ้อนกันของกลิ่นที่เวลาเดียวกัน เช่น เวลาที่ผู้ทดลองเริ่มได้กลิ่นสารนาที่ที่ 11.24 – 11.85 พบกลิ่นคล้ายสมุนไพรเพียงกลิ่นเดียว เป็นต้น ในส่วนของอัตราการไหลของแก๊สที่ 1.5 mL/min พบการซ้อนกันของกลิ่น ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารเคลื่อนที่ช้ากว่า sample band ทำให้สารอยู่ในคอลัมน์นานกว่า พีคจึงมีความกว้างมากขึ้น พีคของสารจึงทับซ้อนกัน เช่น เวลาที่ผู้ทดลองเริ่มได้กลิ่นสารนาที่ที่ 12.43 – 12.80 พบทั้งกลิ่นคล้ายสมุนไพรและคล้ายผลไม้ เป็นต้น ดังนั้น flow rate ที่เหมาะสมคือ 3.0 mL/min

ตาราง 3.2 ลักษณะกลิ่นของสารตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ด้วย column flow rate เท่ากับ 1.5 mL/min และ 3.0 mL/min (คอลัมน์ชนิด DB-5, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)

ลำดับ	column flow rate (mL/min)			
	1.5		3.0	
	เวลาที่เริ่มได้กลิ่นสาร (นาท)	ลักษณะกลิ่น	เวลาที่เริ่มได้กลิ่นสาร (นาท)	ลักษณะกลิ่น
1	6.56 – 6.74	คล้ายผลไม้	5.15 – 5.80	คล้ายผลไม้
2	7.74 – 8.15	คล้ายเนยแข็ง	6.85 – 7.01	คล้ายเนยแข็ง
3	10.35 – 10.68	คล้ายถั่ว	9.23 – 9.60	คล้ายถั่ว
4	12.43 – 12.80	คล้ายสมุนไพร, คล้ายผลไม้	11.24 – 11.85	สมุนไพร
5			15.03 – 15.44	คล้ายผลไม้
6	18.36 – 18.99	คล้ายผลไม้	17.07 – 17.49	คล้ายผลไม้
7	20.55 – 21.04	คล้ายกำมะถัน, คล้ายผลไม้	19.16 – 19.60	คล้ายกำมะถัน
8			22.33 – 22.65	คล้ายผลไม้
9	25.53 – 25.87	คล้ายน้ำมันเบนซิน	24.12 – 24.90	คล้ายน้ำมันเบนซิน
10	29.21 – 29.54	คล้ายน้ำมันเบนซิน	28.20 – 28.74	คล้ายน้ำมันเบนซิน
11	31.87 – 32.42	คล้ายดอกไม้	30.22 – 30.73	คล้ายดอกไม้

ผลการศึกษากาหาวะที่เหมาะสมทั้งหมดในการวิเคราะห์กลิ่นของทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนด้วยเทคนิค GC-O สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนและหีนด้วยเทคนิค GC-O

GC parameter	GC condition
Analytical column	capillary column ชนิด DB-5 ((5%-Phenyl)-methylpolysiloxane) (30 m x 0.25 mm i.d., 0.25 µm film) ยี่ห้อ Agilent J&W GC column, USA
Carrier gas	Helium, flow rate 3.0 mL/min
Oven temperature	temperature program: 40 (3 min) – 230 (1 min), ram rate 6 °C/min total analysis time 66.33 min
Injector temperature	230 °C
Detector	Flame ionization detector (FID)
Detector temperature	250 °C
- hydrogen	32.0 mL/min

GC parameter	GC condition
- air	200.0 mL/min
- make up gas (nitrogen)	24.0 mL/min

### 3.4 การวิเคราะห์หากลิ่นสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเทคนิค GC-O

การวิเคราะห์หากลิ่นของสารระเหยง่ายด้วยเทคนิค GC-O เป็นการตรวจหากลิ่นที่สามารถพบได้ในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืนและแบบไม่หืน สำหรับการดมซ้ำ 15 ครั้งต่อการสกัดสารตัวอย่าง 1 ครั้ง เพื่อความถูกต้องของการดมจากการทดลองและลำดับกลิ่นตามเวลาที่เริ่มได้กลิ่นของสารระเหยง่าย พบว่าทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืนมีกลิ่นหลากหลาย โดยกลิ่นที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด 11 กลิ่น ดังแสดงในตารางที่ 3.4 สำหรับทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืน ดังแสดงในตารางที่ 3.5 พบว่ามีกลิ่นที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด 11 กลิ่น เมื่อนำผลการตรวจวัดกลิ่นของสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืนและแบบหืนมาเปรียบเทียบกับดังตารางที่ 3.6 พบว่าสามารถจำแนกกลิ่นได้ 3 ลักษณะ โดยกลิ่นในลักษณะแรก คือ กลิ่นของสารระเหยง่ายที่ยังคงได้กลิ่นจากทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืนและแบบไม่หืน ได้แก่ กลิ่นคล้ายสับปะรด, กลิ่นคล้ายเนยแข็ง, กลิ่นคล้ายถั่ว, กลิ่นคล้ายแอปเปิ้ล, กลิ่นคล้ายมะพร้าว, กลิ่นคล้ายแอปเปิ้ล, กลิ่นคล้ายน้ำมันเบนซินทั้งสองกลิ่น โดยเมื่อเทียบกันแล้วกลิ่นของสารระเหยง่ายข้างต้นที่ตรวจวัดได้จากทั้งทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืนและแบบไม่หืนจะเริ่มได้กลิ่นที่เวลาใกล้เคียงกัน กลิ่นในลักษณะที่ 2 คือ กลิ่นที่ได้กลิ่นเฉพาะในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืน ได้แก่ กลิ่นคล้ายหัวหอมคั่ว และกลิ่นคล้ายกำมะถัน กลิ่นในลักษณะที่ 3 คือ กลิ่นที่ได้กลิ่นเฉพาะในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืน ได้แก่ กลิ่นหืน

**ตารางที่ 3.4** กลิ่นสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืนที่ถูกตรวจวัดได้จากผู้ทดลอง โดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry

ลำดับ	เวลาที่เริ่มได้กลิ่น (นาที)	ลักษณะกลิ่น	ความเข้มข้นกลิ่น (5>1)	ระบุกลิ่น
1	5.11 – 5.85	คล้ายผลไม้	1	ผลไม้คล้ายสับปะรด
2	6.93 – 7.04	คล้ายเนยแข็ง	2	เนยแข็ง
3	9.25 – 9.57	คล้ายถั่ว	2	ถั่ว
4	11.25 – 11.85	สมุนไพร	1	สมุนไพรคล้ายหัวหอมคั่ว
5	15.07 – 15.46	คล้ายผลไม้	2	ผลไม้คล้ายแอปเปิ้ล
6	17.05 – 17.52	คล้ายผลไม้	3	ผลไม้คล้ายมะพร้าว
7	19.16 – 19.67	คล้ายกำมะถัน	4	กำมะถัน
8	22.33 – 22.63	คล้ายผลไม้	2	ผลไม้คล้ายแอปเปิ้ล
9	24.10 – 24.85	คล้ายน้ำมันเบนซิน	2	น้ำมันเบนซิน
10	28.23 – 28.71	คล้ายน้ำมันเบนซิน	1	น้ำมันเบนซิน

ลำดับ	เวลาที่เริ่มได้กลิ่น (นาทีก)	ลักษณะกลิ่น	ความเข้มข้นกลิ่น (5>1)	ระบุกลิ่น
11	30.21 – 30.75	ดอกไม้	3	ดอกไม้คล้ายกล้วยไม้

ตารางที่ 3.5 กลิ่นสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนที่ถูกตรวจวัดได้จากผู้ทดลอง โดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry

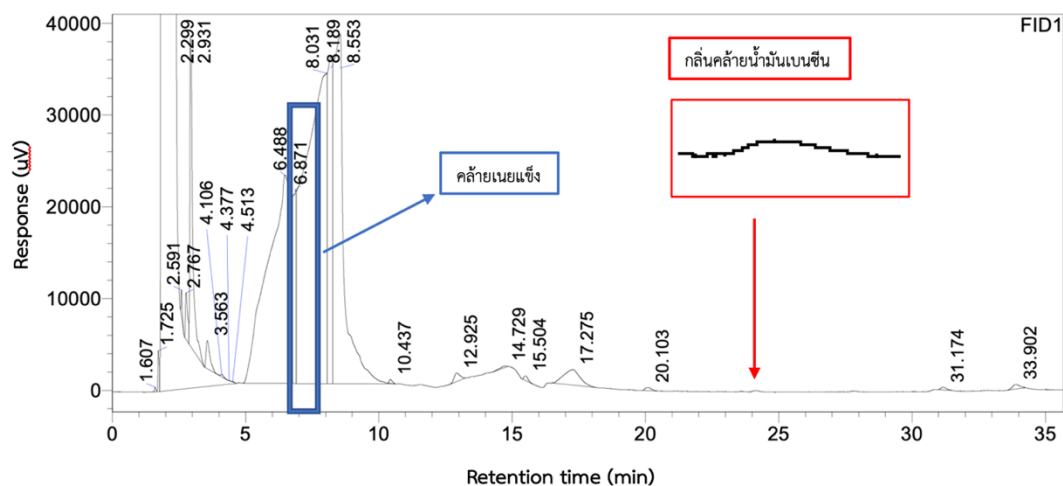
ลำดับ	เวลาที่เริ่มได้กลิ่น (นาทีก)	ลักษณะกลิ่น	ความเข้มข้นกลิ่น (5>1)	ระบุกลิ่น
1	5.65 – 5.75	คล้ายผลไม้	1	ผลไม้คล้ายสับปะรด
2	7.08 – 7.13	คล้ายเนยแข็ง	1	เนยแข็ง
3	9.25 – 9.57	คล้ายถั่ว	1	ถั่ว
4	15.79 – 15.90	คล้ายผลไม้	1	ผลไม้คล้ายแอปเปิ้ล
5	17.50 – 17.83	คล้ายผลไม้	2	ผลไม้คล้ายมะพร้าว
6	21.00 – 21.08	หีน	3	หีน
7	19.16 – 19.67	คล้ายผลไม้	2	สมุนไพรคล้ายแอปเปิ้ล
8	24.23 – 24.67	คล้ายน้ำมันเบนซิน	3	น้ำมันเบนซิน
9	27.80 – 27.93	หีน	2	หีน
10	28.32 – 28.56	คล้ายน้ำมันเบนซิน	2	น้ำมันเบนซิน
11	30.15 – 30.47	คล้ายดอกไม้	2	ดอกไม้คล้ายกล้วยไม้

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบกลิ่นสารระเหยง่ายระหว่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนและแบบหีน ที่ถูกตรวจวัดได้จากผู้ทดลอง โดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry

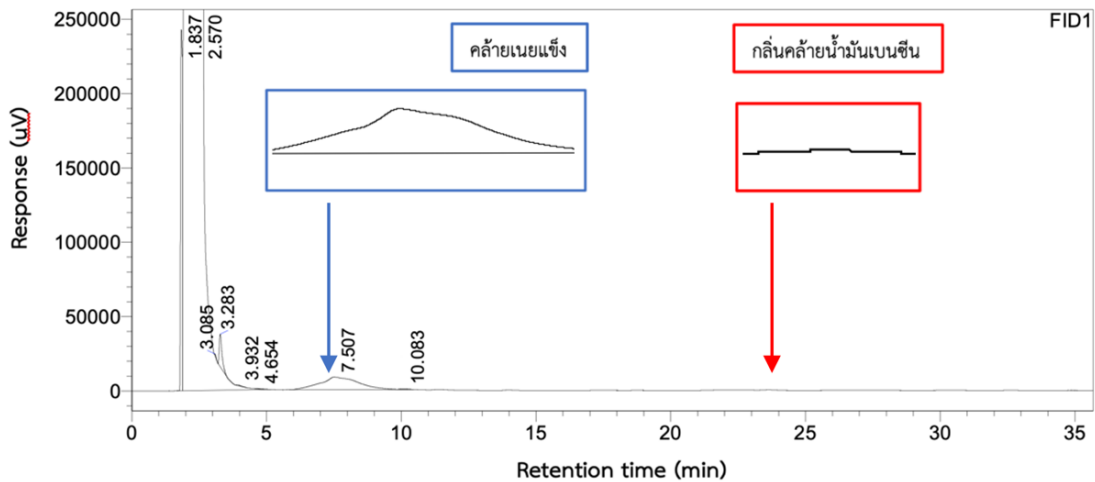
ลำดับ	ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีน			ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีน		
	เวลาที่เริ่มได้กลิ่น (นาทีก)	ลักษณะกลิ่น	ค.เข้มข้น (5>1)	ลักษณะกลิ่น	ค.เข้มข้น (5>1)	เวลาที่เริ่มได้กลิ่น (นาทีก)
1	5.11 – 5.85	คล้ายผลไม้	1	คล้ายผลไม้	1	5.11 – 5.85
2	6.93 – 7.04	คล้ายเนยแข็ง	2	คล้ายเนยแข็ง	1	6.93 – 7.04
3	9.25 – 9.57	คล้ายถั่ว	2	คล้ายถั่ว	1	9.25 – 9.57
4	11.25 – 11.85	สมุนไพร	1	คล้ายผลไม้	1	11.25 – 11.85
5	15.07 – 15.46	คล้ายผลไม้	2	คล้ายผลไม้	2	15.07 – 15.46
6	17.05 – 17.52	คล้ายผลไม้	3	หีน	3	17.05 – 17.52
7	19.16 – 19.67	คล้ายกำมะถัน	4	คล้ายผลไม้	2	19.16 – 19.67

ลำดับ	ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีน			ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีน		
	เวลาที่เริ่มได้ กลิ่น (นาที)	ลักษณะกลิ่น	ค.เข้ม (5>1)	ลักษณะกลิ่น	ค.เข้ม (5>1)	เวลาที่เริ่มได้ กลิ่น (นาที)
8	22.33 – 22.63	คล้ายผลไม้	2	คล้ายน้ำมันเบนซิน	3	22.33 – 22.63
9	24.10 – 24.85	คล้ายน้ำมันเบนซิน	2	หีน	2	24.10 – 24.85
10	28.23 – 28.71	คล้ายน้ำมันเบนซิน	1	คล้ายน้ำมันเบนซิน	2	28.23 – 28.71
11	30.21 – 30.75	คล้ายดอกไม้	3	คล้ายดอกไม้	2	30.21 – 30.75

เมื่อนำกลิ่นที่ถูกตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมที่ได้จากการตรวจวัดโดย FID detector ผ่านการเปรียบเทียบเวลาที่ผู้วิจัยเริ่มได้กลิ่นกับ Retention time ของสารจะพบว่า มีหลายพีก เมื่อนำมาเทียบกับพีกของสารแล้วได้พีกลักษณะกว้าง (Peak broad) การที่พีกมีลักษณะดังกล่าว อาจเป็นพีกที่เกิดจากสารหลายตัวที่ไม่แยกออกจากกัน แต่ยังคงได้กลิ่นเพียงกลิ่นเดียว เนื่องจากสารหลายตัวที่ชะออกจากคอลัมน์พร้อมกัน อาจมีเพียงสารชนิดเดียวที่เป็นสารที่ให้กลิ่นหรือพีกที่กว้างนี้อาจเป็นสารระเหยง่ายตัวเดียว เช่น พีกของกลิ่นคล้ายเนยแข็ง ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ในกรอบสีน้ำเงิน นอกจากนี้พบสารที่ให้กลิ่นที่ไม่ได้รายงานค่าสัญญาณด้วยตัวตรวจวัด FID ซึ่งอาจเกิดจากสารมีปริมาณน้อยกว่าพารามิเตอร์ในการกำหนดค่าสัญญาณของพีกจึงไม่ได้แสดงค่า retention time ในโครมาโทแกรม แต่ยังสามารถเห็นสัญญาณขนาดเล็กในโครมาโทแกรม และสามารถตรวจวัดกลิ่นจากสารระเหยง่ายโดยผู้วิจัยได้ เช่น พีกของกลิ่นคล้ายน้ำมันเบนซิน ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ในกรอบสีแดง



รูปที่ 3.3 โครมาโทแกรมการแยกของสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (split ratio 20:1, flow rate 3.0 mL/min, T : 4 – 230 °C, ramp rate 3.0 °C/min)



รูปที่ 3.4 โครมาโทแกรมการแยกของสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีน

ด้วยคอลัมน์ DB-5 (split ratio 20:1, flow rate 3.0 mL/min, T : 4 – 230 °C, ramp rate 3.0 °C/min)

### 3.5 วิเคราะห์หาสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเทคนิค GC-MS

การวิเคราะห์หาสารที่สกัดจากทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและแบบไม่หีนด้วยเทคนิค GC-MS เพื่อระบุสารก่อให้เกิดกลิ่นหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง พบสารในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนและแบบหีนจำนวน 43 และ 58 สาร ตามลำดับ เมื่อนำผลการตรวจวัดสารของสารระเหยง่ายในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนและแบบหีนมาเปรียบเทียบกัน พบว่าสามารถจำแนกสารได้ 3 ลักษณะ โดยในสารลักษณะแรก คือ สารระเหยง่ายที่พบทั้งทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและแบบไม่หีน จำนวน 17 สาร ดังแสดงในตารางที่ 3.7 โดยการใช้การเปรียบเทียบ Retention Index ของสารเนื่องจากสารแต่ละชนิดจะมี Retention Index เฉพาะตัวจากสารระเหยง่ายในลักษณะที่ 2 คือ สารที่พบเฉพาะในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีนมีจำนวน 26 สาร และสารระเหยง่ายในลักษณะที่ 3 คือ สารที่พบเฉพาะในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนมีทั้งหมด 41 สาร

ตารางที่ 3.7 สารระเหยง่ายที่พบทั้งในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีนและไม่หีนและค่า Retention Index จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

สารระเหยง่าย	Retention Index
3-Ethyl-2,5-dimethyl-3-hexene	925
Ethyl butanoate	944
Ethyl hexanoate	1000
2,3-Dimethyl-5-ethylpyrazine	1090
3,5-Diethyl-2-methylpyrazine	1162
Ethyl octanoate	1196
1-Methoxy-4-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene	1249

สารระเหยง่าย	Retention Index
alpha-ethylidene-benzeneacetaldehyde	1279
Propyl octanoate	1290
Ethyl decanoate	1390
Tetradecane	1400
Caryophyllene	1419
Ethyl methyl phthalate	1449
Ethyl dodecanoate	1595
Hexadecane	1600
N-(trimethylsilyl)-N-[4-[(trimethylsilyl)oxy]phenyl] Acetamide	1625
Ethyl tetradecanoate	1794

การเปรียบเทียบกลิ่นของสารระเหยง่ายที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิค GC-O กับสารระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิค GC-MS จะเปรียบเทียบโดยใช้ค่า Retention Index ของสาร n-alkane ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคทั้งสอง แต่เนื่องด้วยสถานการณ์โควิด จึงไม่สามารถทำการหาค่า Retention index ด้วยเทคนิค GC-O ได้ ผู้วิจัยจึงได้คาดการณ์สารระเหยง่ายที่พบทั้งในทุเรียนอบแห้งเปลือกแข็งแบบหีนและไม่หีนที่มีแนวโน้มจะตรงกับกลิ่นของสารระเหยง่ายที่พบทั้งในทุเรียนอบแห้งเปลือกแข็งแบบหีนและไม่หีน โดยใช้ข้อมูลของงานวิจัยเกี่ยวกับสารระเหยง่าย ดังแสดงในตารางที่ 3.8

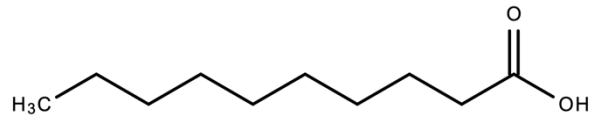
จากการวิเคราะห์สารระเหยง่ายที่พบเฉพาะในทุเรียนอบแห้งเปลือกแข็งแบบหีน คาดว่าสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหีน คือ Decanoic acid<sup>15</sup> และ Dodecenoic acid<sup>15</sup> ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดเป็นสารที่จำพวก Medium-chain fatty acid (MCFA) ที่มีคาร์บอนในสายโซ่คาร์บอนอยู่ในช่วง 4 – 12 เป็นสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหีนได้ เช่น การเกิดกลิ่นหีนจากกรดไขมันในนม<sup>16</sup> ซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 3.5 – 5.0 ในขณะที่ทุเรียนมีไขมันอยู่ร้อยละ 5.3

**ตารางที่ 3.8** การคาดการณ์ความสอดคล้องของสารระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้ ด้วยเทคนิค GC-MS และกลิ่น

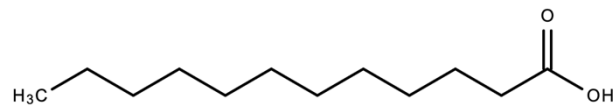
สารระเหยง่าย	ระบุกลิ่น	งานวิจัยที่อ้างอิง
Ethyl butanoate	ผลไม้คล้ายสับปะรด	17
Ethyl hexanoate	เนยแข็ง	13
2,3-Dimethyl-5-ethylpyrazine	ถั่ว	18
Ethyl octanoate	ผลไม้คล้ายแอปเปิ้ล	17
Propyl octanoate	ผลไม้คล้ายมะพร้าว	18
Ethyl decanoate	ผลไม้คล้ายแอปเปิ้ล	18



สารระเหยง่าย	ระบุกลิ่น	งานวิจัยที่อ้างอิง
Tetradecane	น้ำมันเบนซิน	19
Ethyl dodecanoate	น้ำมันเบนซิน	22
Ethyl tetradecanoate	ดอกไม้คล้ายกล้วยไม้	21



(ก) Decanoic acid



(ข) Dodecanoic acid

รูปที่ 3.5 (ก) Decanoic acid (ข) Dodecanoic acid ซึ่งเป็นสารให้ความหอม

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาโครงสร้างของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็ง โดยวิเคราะห์เทียบระหว่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หืนและหืน ด้วยการสกัดแยกสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนโดยการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน และสกัดแยกสารระเหยง่ายออกจากสารไม่ระเหยด้วยเทคนิค SAFE จากนั้นนำไปวิเคราะห์กลิ่นด้วยเทคนิค GC-O โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กลิ่น ซึ่งมี 2 ปัจจัย ได้แก่ ramp rate และ column flow rate จากการวิเคราะห์ ramp rate โดยใช้ค่า ramp rate ที่ต่างกัน 2 ค่าคือ 3.0 และ 6.0 °C/min พบว่าค่า ramp rate 3.0 °C/min ทำให้กลิ่นของสารแยกกันได้ดีที่สุด เมื่อทดสอบ column flow rate โดยใช้อัตราการไหล 1.5 และ 3.0 mL/min พบว่ากลิ่นของสารแยกกันได้ดีสมบูรณ์ เมื่อใช้อัตราการไหลเท่ากับ 3.0 mL/min จากนั้นใช้ภาวะเดียวกันในการวิเคราะห์หาสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนด้วยเทคนิค GC-MS

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์สรุปได้ว่าภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์กลิ่นในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเทคนิค GC-O คือ การใช้คอลัมน์เป็น capillary column ชนิด DB-5 ทำการฉีดสารตัวอย่างโดยตรง ปริมาตร 1 µL อุณหภูมิของ Oven ในการแยกสาร initial temperature เท่ากับ 40 °C (hold 3 min ) final temperature เท่ากับ 230 °C (hold 1 min) ramp rate เท่ากับ 3.0 °C/min column flow rate เท่ากับ 3.00 mL/min และ detector temperature 250 °C

ผลการวิเคราะห์ทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งด้วยเทคนิค GC-O พบว่ากลิ่นที่พบจำแนกเป็น 3 ลักษณะ คือ กลิ่นที่พบในทั้งทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืนและไม่หืน ได้แก่ กลิ่นคล้ายสับปะรด, กลิ่นคล้ายเนยแข็ง, กลิ่นคล้ายถั่ว, กลิ่นคล้ายแอปเปิ้ล, กลิ่นคล้ายมะพร้าว, กลิ่นคล้ายแอปเปิ้ล กลิ่นคล้ายน้ำมันเบนซิน ซึ่งมี 2 กลิ่น ณ เวลาที่เริ่มได้กลิ่นที่ต่างกัน ลักษณะที่ 2 คือ กลิ่นที่พบเพียงในทุเรียนอบแห้งแบบไม่หืน คือ กลิ่นคล้ายหัวหอมคั่วและกลิ่นคล้ายกำมะถัน ลักษณะสุดท้ายกลิ่นที่พบเพียงในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหืน คือ กลิ่นหืน ซึ่งมี 2 กลิ่น ณ เวลาที่เริ่มได้กลิ่นที่ต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ที่ใช้ภาวะของการวิเคราะห์สารเช่นเดียวกับ เทคนิค GC-O พบว่าสารที่สอดคล้องกับกลิ่นหืนที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค GC-O คือ Decanoic acid และ Dodecanoic acid ซึ่งเป็นสารจำพวก Medium-Chain fatty acid ที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนได้

### ข้อเสนอแนะ

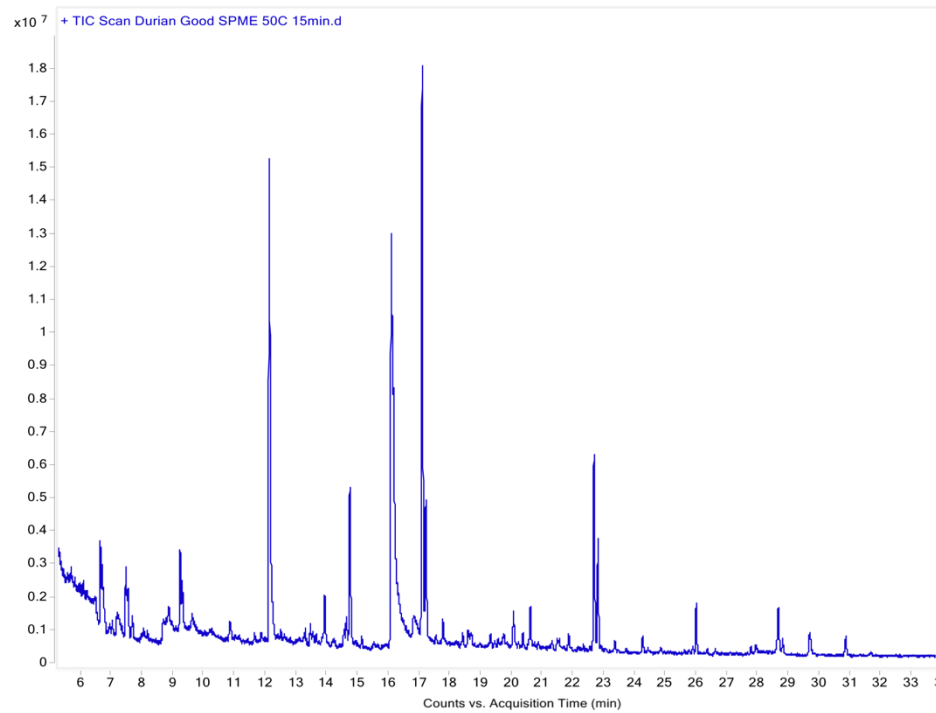
การวิเคราะห์หากลิ้นหินในทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งโดยเทคนิค GC-O ในรายงานฉบับนี้ เป็นผลการทดลองจากผู้ทดลองดมกลิ่นเพียงคนเดียว เพื่อให้เกิดความแม่นยำและถูกต้องในการระบุกลิ่นมากขึ้น ควรการวิเคราะห์หากลิ้นดังเทคนิคข้างต้นโดยผู้ทดลองคนอื่นและเนื่องด้วยสถานการณ์ COVID ที่มีการแพร่ระบาดอย่างรุนแรงทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดลองในขั้นต่อไปได้ คือการวิเคราะห์หาความแรงของกลิ่น (FD factor) ด้วยเทคนิค AEDA ซึ่งทางผู้วิจัยคาดว่าน่าจะสามารถเพิ่มความมั่นใจในการระบุกลิ่นมากกว่า การใช้ระดับความเข้มกลิ่นจากการตรวจวัดโดยผู้ทดลองเพียงอย่างเดียวและการที่ไม่สามารถฉีดสาร n-alkane ใน GC-O การฉีด n-alkane ทั้งใน GC-O และ GC-MS และหาค่า Retention index เพื่อใช้ในการเปรียบ เปรียบ ภาวะการวิเคราะห์ของเทคนิคทั้งสอง ทำให้สามารถนำกลิ่นของสารระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้จากเทคนิค GC-O มาเปรียบเทียบกับสารระเหยง่ายที่ตรวจวัดได้จากเทคนิค GC-MS ได้ ส่งผลให้มีความน่าเชื่อถือ ในการระบุสารมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

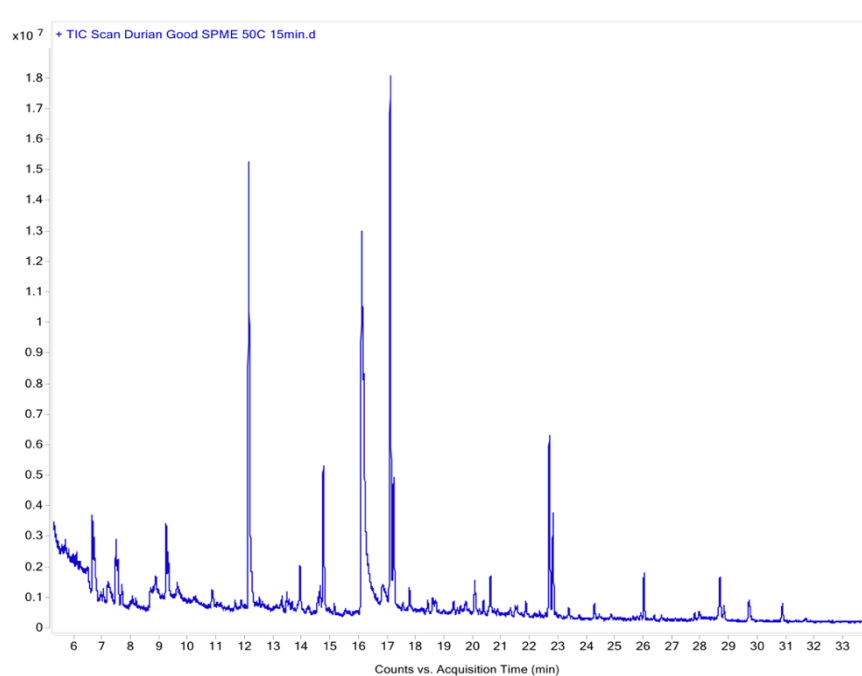
1. Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2010, 3-32
2. Longhua M, Wenjie Gao, Feng Chen, Qingran Meng, HS-SPME and SDE combined with GC-MS and GC-O for characterization of off-flavor compounds in Zhizhonghe Wujiapi medicinal liquor, Food Research International, 2020, 137, 109590
3. Juan Wang, Changjiang Yuan, Xiulin Gao, Yongliang Kang, Mingquan Huang, Jihong Wu, Yiping Liu, Jinglin Zhang, Hehe Li, Yuyu Zhang, Characterization of key aroma compounds in Huangjiu from northern China by sensory-directed flavor analysis, Food Research International, 2020, 134, 109238
4. Shi feng, Mingyang Huang, Jonathan Henry Crane, Yu Wang, Characterization of key aroma-active compounds in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.), Journal of Food and Drug Analysis, 2018, 26, 497-503
5. J.S.Elmore, 2 – Extraction techniques for analysis of aroma compounds, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2015, 31-46
6. ดร. กาญจนา มัทธทวิ, ความสำคัญของกลิ่นรสอาหาร กับการตรวจวิเคราะห์กลิ่นอาหารโดยเทคนิค Gas chromatography-olfactometry (GC-O), วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 2553, 1, หน้า 13-17
7. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, สำนักพิมพ์ บริษัท ชวนพิมพ์ 50 จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2555, หน้า 243-318
8. ellner, B. d. A., Dugo, P., Dugo, G., & Mondello, L. Gas chromatography- olfactometry in food flavour analysis. Journal of Chromatography A, 2008, 1186(1-2), 123-143
9. Environmental Engineering, Gas-Chromatography-Mass Spectrometry (GCMS), Retrieved from. <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatograph-mass-spectrometer-gcms> (accessed 9/1/2021)
10. ณัฐธิดา ศรีบุญวรกุล, การประยุกต์ใช้แมสสเปกโตรเมทรี ในห้องปฏิบัติการวิจัยทางคลินิก, วารสารเทคนิคการแพทย์ ปีที่ 45, ฉบับที่ 3, 2560
11. Shimadzu, Shimadzu's Fundamental Guide to Gas Chromatography Mass Spectrometry (GCMS), Retrieved from. <https://www.shimadzu.eu.com/sites/shimadzu.seg/files/SEG/GCMSBASIC.pdf> (accessed 11/3/2021)
12. กระทรวงพาณิชย์, ทูเรี่ยน ราชแห่งผลไม้ไทย ถูกใจคนต่างแดน, Retrieved from. [http://www.tpso.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn\\_240863.pdf](http://www.tpso.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn_240863.pdf) (15/3/2021)

13. Jia-Xiao Li, Peter Schieberle, and Martin Steinhaus, Characterization of the Major Odor-Active Compounds in Thai Durian (*Durio zibethinus* L. 'Monthong') by Aroma Extract Dilution Analysis and Headspace Gas Chromatography–Olfactometry, *J. Agric. Food Chem.*, **2012**, 60, 11253–11262
14. Pulok K.Mukherjee, *Bioactive Phytochemicals and Their Analysis, Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs*, Chapter 7, pp. 237-328, *Evaluating Natural Products and Traditional Medicine*, **2019**,
15. Juliane Elisa Welke, Mauro Zanús, Marcelo Lazzarotto, Cláudia Alcaraz Zini, Quantitative analysis of headspace volatile compounds using comprehensive two-dimensional gas chromatography and their contribution to the aroma of Chardonnay wine, *Food Research International*, **2014**, 59, 85–99
16. R. A. Scanlan Lois, A. Sather E.A., Contribution of Free Fatty Acids to the Flavor of Rancid Milk<sup>1</sup>, *Journal of Dairy Science*, 48, 1965, 1582-1584
17. Joycelyn, Soo Mun Peng, Volatile Ester and Sulfur Compounds in Durians & a Suggested Approach to Enhancing Economic Value of Durians, *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture (MJSA)*, **2019**, 3(2), 5-15
18. Gong Xiaowei, Han Yi, Zhu JianCai, Hong Liu, Zhu Donglai, Liu JunHua, Zhang Xia, Niu YunWei, Xiao ZuoBing, Identification of the aroma-active compounds in Longjing tea characterized by odor activity value, gas chromatography- olfactometry, and aroma recombination, *International Journal of Food Properties*, **2017**, 20, 1107–1121
19. Angélique Villière, Sarah Le Roy, Catherine Fillonneau, Fabrice Guillet, Hugues Falquerho, Sabine Bousely, Carole Prost, Evaluation of aroma profile differences between sué, sautéed, and pan-fried onions using an innovative olfactometric approach, **2015**, 1-19
20. Jinyuan Sun, Qinya Li, Siqi Luo, Jinglin Zhang, Mingquan Huang, Feng Chen, Fuping Zheng, Xiaotao Sun, Hehe Li, Characterization of key aroma compounds in Meilanchun sesame flavor style baijiu by application of aroma extract dilution analysis, quantitative measurements, aroma recombination, and omission/addition experiments, *RSC Adv.*, 2018, 8, 23757–2376
21. Niu Yunwei, Liu Ying, Xiao Zuobing, Evaluation of Perceptual Interactions between Ester Aroma Components in Langjiu by GC-MS, GC-O, Sensory Analysis, and Vector Model, *Foods* 2020, 9, 183

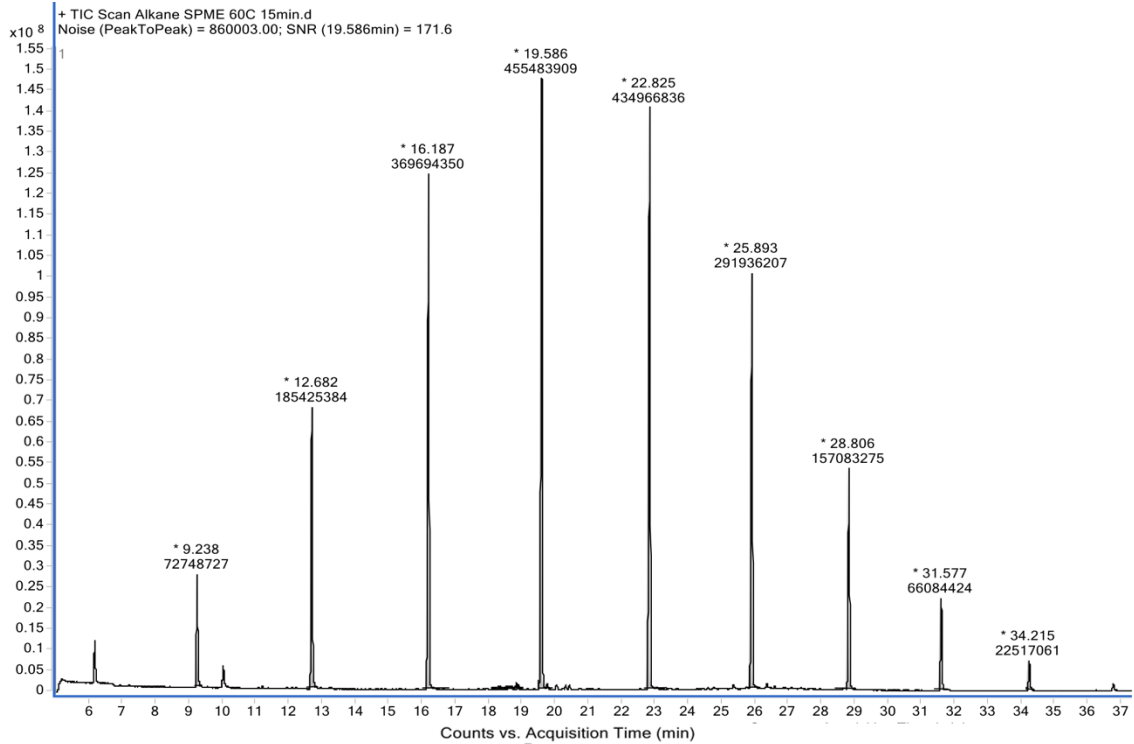
## ภาคผนวก



รูปที่ 5.1 โครมาโทแกรมการแยกสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบไม่หีน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (flow rate 3.0 mL/min, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)



รูปที่ 5.2 โครมาโทแกรมการแยกสารตัวอย่างทุเรียนอบแห้งเยือกแข็งแบบหีน ด้วยคอลัมน์ DB-5 (flow rate 3.0 mL/min, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)



รูปที่ 5.3 โครมาโทแกรมการแยกสารมาตรฐาน n-alkane (C8 – C20)

ด้วยคอลัมน์ DB-5 (flow rate 3.0 mL/min, ramp rate 3.0 °C/min, T: 40 – 230 °C)

### ประวัติผู้วิจัย

นายณัฐพล ตีสุม เกิดเมื่อวันที่ 18 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2541 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนประสาธวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2559 เคยได้รับรางวัลทุนการศึกษาองค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก (อผส) เมื่อ พ.ศ. 2556 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 เคยได้รับรางวัลทุนการศึกษาการศึกษาองค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก (อผส) เมื่อ พ.ศ. 2561 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 76 ตำบลแวงมุด อำเภอกาบเชิง จังหวัดสุรินทร์ รหัสไปรษณีย์ 32210 อีเมล 6033030023@student.chula.ac.th