



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ	การพัฒนาช้อนอิเล็กโทรลิซิสสำหรับตัดแปลงรสชาติกิมจิและการวิเคราะห์สารประกอบในกิมจิโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี Development of an electrolysis spoon for adjustable flavor of Kimchi and the analysis compound in Kimchi with Gas chromatography-mass spectrometry		
ชื่อนิสิต	นางสาววรรณรดา จิระนันท์วุฒิ	เลขประจำตัว	6033086123
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2563		

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาช้อนอิเล็กโทรลิซิสสำหรับดัดแปลงรสชาติกิมจิและการวิเคราะห์
สารประกอบในกิมจิโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี
Development of an electrolysis spoon for adjustable flavor of
Kimchi and the analysis compound in Kimchi with gas
chromatography-mass spectrometry

โดย

นางสาววรรณรดา จิระนันท์วุฒิ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

โครงการ การพัฒนาซ็อนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตัดแปลงรสชาติภูมิและการวิเคราะห์
สารประกอบในภูมิโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

โดย นางสาววรรณรดา จิระนนท์วุฒิ

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|---------------------------------------|------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ หนูจักร | ประธานกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา | กรรมการ |
| 3. อาจารย์ ดร.ชฎิล กุลสิงห์ | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



(อาจารย์ ดร.ชฎิล กุลสิงห์)
อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิรี โยვნ)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 25 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

ชื่อโครงการ การพัฒนาซ็อนอิเล็กโทรลิซิสสำหรับตัดแปลงรสชาติภูมิและการวิเคราะห์
 สารประกอบในภูมิโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

ชื่อนิติในโครงการ นางสาววรรณรดา จิระนนทวุฒิ เลขประจำตัว 6033086123

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ชฎิล กุลสิงห์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีการพัฒนาวิธีการตัดแปลงรสชาติและกลิ่นของภูมิเพื่อให้สามารถมีคุณสมบัติตามความต้องการ ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า (electrolysis) โดยใช้ขั้วอะลูมิเนียมในรูปแบบต่างๆ 2 ขั้วเป็นอิเล็กโทรด ขั้วบวกและขั้วลบผ่านลงในสารละลายภูมิโดยตรงเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ขึ้นมาเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นในภูมิ และนำไปสู่การตัดแปลงองค์ประกอบ ทางกลิ่นของภูมิให้มีความแตกต่างจากเดิม รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวิธีนี้ ไปใช้ในการลดระยะเวลาในการหมัก โดยทำการเก็บสารตัวอย่างที่ได้จากการทำ electrolysis ทุกๆ 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 1 ชั่วโมง30นาที และ 2 ชั่วโมง เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบการเกิดสารกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้ทำ electrolysis ในแต่ละช่วงเวลาได้ การใช้วิธีนี้เพื่อที่จะศึกษาระยะเวลาการหมักของภูมิให้ได้เวลาที่เร็วที่สุดและได้ปรับเปลี่ยนรสชาติของภูมิได้ สารสารละลายตัวอย่างภูมิจะถูกระดมวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟีแผ่นเคลือบบาง (TLC) ในการแยกสารบนแผ่นซิลิกาเจลเพื่อที่จะศึกษาการแยกของสารอย่างง่าย สภาวะ TLC ที่เลือกใช้คือ ระบบตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีนและเอทิลอะซิเตต (อัตราส่วนปริมาตร 93:7) จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่เห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนไปศึกษาต่อโดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับจุลภาค (HS-SPME) เตรียมสารตัวอย่างเพื่อเลือกสกัดสารระเหยง่ายโดยการให้ความร้อน 70 °C เป็นเวลา 40 นาที และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (GC-MS) สามารถระบุสารระเหยง่ายในภูมิก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้ พบว่าหลังจากผ่านการช็อดไฟฟ้า 30 นาที Citronellol, Trisulfide, di-2-propenyl และ (E)- β -Famesene มีปริมาณลดลง และมีสารชนิดใหม่เกิดขึ้นเช่น 3H-1,2-Dithiole ที่มีกลิ่น คล้ายหน่อไม้ฝรั่งทำสุก ตัวอย่างที่ผ่านการช็อดไฟฟ้า 1 ชั่วโมง จะมีปริมาณ (E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane, 2-Vinyl-4H-1,3-dithiine และ (E)-3,7-dimethyl-2,6-Octadienal ที่ลดลง และมีสารชนิดใหม่เกิดขึ้นคือ 3-Carene ที่มีกลิ่นคล้ายมะนาว สูดท้ายนี้ สารที่ผ่านการช็อดไฟฟ้า 2 ชั่วโมง (E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane, Trisulfide, methyl 2-propenyl มีปริมาณลดลง แต่ Geraniol ที่มีกลิ่นหอมของดอกไม้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และเกิด cis-Chrysanthenol ที่มีกลิ่นเผ็ดขึ้นใหม่ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่วิธีการที่พัฒนาขึ้นมานี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการทำซ็อนที่มีความสามารถปรับเปลี่ยนสารระเหยที่เกี่ยวข้องกับรสชาติและกลิ่นของภูมิซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดคุณภาพของอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถทำได้ง่าย

คำสำคัญ: เทคนิคโครมาโตกราฟีแผ่นเคลือบบาง, วิธีทางไฟฟ้า, เทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งระดับจุลภาค และเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี

Project Title Development of an electrolysis spoon for adjustable flavor of Kimchi and the analysis compound in Kimchi with gas chromatography-mass spectrometry

Student Name Miss Wanrada Jiranantawut Student ID 6033086123

Advisor Name Dr. Chadin Kulsing

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

Abstract

This research develops a method for modifying the flavor and smells of kimchi which is based on electrolysis mechanism using two aluminum electrodes with different platforms as the anode and cathode. The applied electrodes were directly immersed into kimchi or the kimchi solution enabling electrochemical reactions of the volatile compounds which led to change of the taste, composition and smell of the kimchi. In addition, the potential of the approach to fasten the fermentation time was investigated. To this end, the electrolyzed kimchi samples were collected at 30 min, 1 h, 1.5 h and 2 h in order to be compared with the untreated samples at collected different fermentation times. All the Kimchi samples were initially analyzed using thin-layer chromatography (TLC) providing separation on silica gel plates in order to simply screen out for usable electrolysis condition. The selected TLC method applied the mobile phase system of toluene and ethyl acetate (93:7 v/v ratio). The samples with distinctive results were further analyzed using headspace solid phase microextraction (HS-SPME) technique, where they were prepared using the extraction temperature and time of 70°C and 40 min, respectively. The extracted samples were then injected into a system of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) for volatile compound identification. It was found that after 30 min electrolysis treatment, amounts of Citronellol, Trisulfide, di-2-propenyl, and (*E*)- β -Farnesene were reduced. The new compound was also observed which was 3H- 1,2-Dithiole with the odor of cooked asparagus. 1 hour electrolytic sample showed decreasing amount of (*E*)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl) disulfane, 2-Vinyl-4H-1,3-dithiine and (*E*)-3,7-dimethyl-2,6-Octadienal. The observed new compound was 3-Carene with the citrus smell. Finally, the 2 h electrolysis resulted in the decrease of (*E*)-1-Allyl-2- (prop-1-en- 1-yl) disulfane, Trisulfide, methyl 2-propenyl with the increasing amount of Geraniol (floral odor). *cis*-Chrysanthenol with the spicy smell was newly observed. The established approach showed a capability to simply adjust the kimchi taste and smells. With further development, this can be applied as a spoon for adjustable quality of food in the future.

Keywords: thin-layer chromatography, electrocoagulation, Headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ ดร.ชฎิล กุลสิงห์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ดูแลและให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่องมาโดยตลอด ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ หนูจักร และ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชาที่ยินดีสละเวลาในการตรวจทานแก้ไข และให้เกียรติเป็นกรรมการโครงการการเรียนการสอนเพื่อ ประสพการณ์ในครั้งนี้

อีกทั้งผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมทั้งรุ่นพี่ในห้องปฏิบัติการที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้กำลังใจตลอดในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในด้านนี้ต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
1.4.1 สารเคมีที่ให้กลิ่นและรสชาติในกิมจิ	2
1.4.2 เทคนิค thin-layer chromatography (TLC)	3
1.4.3 เทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis)	8
1.4.4 เทคนิค solid-phase microextraction (SPME)	9
1.4.5 แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GCMS)	11
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
บทที่ 2 การทดลอง	14
2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์	14
2.2 รายการสารเคมี	14
2.3 รายการวัตถุดิบในการหมักสารตัวอย่างกิมจิ	15
2.4 วิธีการทดลอง	15
2.4.1 การเตรียมหมักกิมจิ	15
2.4.2 การเตรียมแผ่น TLC (TLC Separation)	16
2.4.3 การเตรียมตัวอย่างลงบนแผ่น TLC	17
2.4.4 การช็อตไฟฟ้าโดยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrocoagulation)	17
2.4.5 การวิเคราะห์สารระเหยในตัวอย่างกิมจิด้วยเครื่อง GC-MS	19

	ช
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	21
3.1 การประยุกต์ใช้เทคนิค TLC ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างกิมจิ	21
3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคทางไฟฟ้ากับสารตัวอย่างกิมจิ	21
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวตัวอย่างกิมจิด้วยเทคนิค GC-MS	29
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	52
เอกสารอ้างอิง	53
ประวัติผู้วิจัย	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิ Control แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS	30
ตารางที่ 3.2 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิหลังจากช็อคไฟฟ้า 30 นาที ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ากับแผ่นอะลูมิเนียม 9V1A แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS	32
ตารางที่ 3.3 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิหลังจากช็อคไฟฟ้า 1 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ากับแผ่นอะลูมิเนียม 9V1A แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS	37
ตารางที่ 3.4 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิหลังจากช็อคไฟฟ้า 2 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ากับแผ่นอะลูมิเนียม 9V1A แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS	39
ตารางที่ 3.5 การเปรียบเทียบกลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิ ก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 30 นาที	44
ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบกลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิ ก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 1 ชั่วโมง	47
ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบกลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิ ก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 2 ชั่วโมง	50

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ลำดับสภาพขั้วของตัวทำละลายอินทรีย์	4
รูปที่ 1.2 ประสิทธิภาพในการชะสารตัวอย่างของตัวทำละลายอินทรีย์	5
รูปที่ 1.3 การวางกระดาษกรองที่เปียกชุ่มด้วยตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ใน TLC chamber	6
รูปที่ 1.4 วิธีการวางแผ่น TLC ในปีกเกอร์ และภาชนะแก้วสำหรับใช้แช่แผ่น TLC	7
รูปที่ 1.5 การสกัดแบบ (1) จุ่มลงในตัวอย่างโดยตรง (2) สกัดแบบ headspace	9
รูปที่ 1.6 การสกัดสารตัวอย่างจากขวด glass vial	10
รูปที่ 1.7 ขั้นตอนการ Desorption เข้าสู่ระบบ GC-MS	10
รูปที่ 1.8 องค์ประกอบเครื่อง Gas Chromatograph – Mass Spectrometry	12
รูปที่ 1.9 เครื่อง GC-MS AGILENT 7890GC/ 7000C GC/MS Triple Quad	12
รูปที่ 2.1 กิมจิที่ทำการหมัก	16
รูปที่ 2.2 การเตรียมแผ่น TLC	16
รูปที่ 2.3 การ load สารตัวอย่างลงบนแผ่น TLC	17
รูปที่ 2.4 เครื่อง Dc Power Supply KORAD KA3005D	17
รูปที่ 2.5 ขั้วสปริง	18
รูปที่ 2.6 ขั้วแผ่นอะลูมิเนียม	19
รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการนำสารตัวอย่างกิมจิเข้าสู่เครื่อง GC-MS	19
รูปที่ 3.1 แผ่น TLC แผ่นที่ 1 Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 แผ่นที่ 2 Toluene:Ethyl acetate เป็น 7:93 และแผ่นที่ 3 Ethyl acetate:Hexane เป็น 8:2	21
รูปที่ 3.2 แผ่น TLC Control ครั้งที่ 1 (แผ่นซ้าย) ครั้งที่ 2 (แผ่นขวา) จับเวลาทุกๆ 2, 5, 10, 20 และ 30 นาที	22
รูปที่ 3.3 แผ่น TLC สารตัวอย่างกิมจิ Control ช่วงเวลาเป็นทุกๆ 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 2 นาที และ 5 นาที	22
รูปที่ 3.4 แผ่น TLC สารตัวอย่างกิมจิ Control กับ Methanol ครั้งที่ 1 (แผ่นซ้าย) ครั้งที่ 2 (แผ่นขวา) ในช่วงเวลาทุกๆ 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 2 นาที และ 5 นาที	23
รูปที่ 3.5 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ control ที่ช็อตไฟฟ้า ช่วงเวลา 0 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที และ 3 นาที และกิมจิที่สำเร็จรูปทำการช็อตไฟฟ้าที่ช่วงเวลา 0 วินาที และ 3 นาที	24
รูปที่ 3.6 แผ่น TLC Control ที่ใช้ช้อนในการช็อต จับเวลาทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 1นาที, 2นาที, 5นาที และ 10นาที	25

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 แผ่น TLC Control ที่ใช้แผ่นอะลูมิเนียมในการซ้ด จับเวลาทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 1นาทื, 2นาทื, 5นาทื และ 10นาทื ทั้งหมด 3 ครั้ง ตามลำดับ	25
รูปที่ 3.8 แผ่น TLC เปรียบเทียบสารตัวอย่างในกิมจิที่เป็น Control และ After เริ่มจุดซ้ดที่ 2 ครั้ง จนถึง 7 ครั้ง ตามลำดับ	26
รูปที่ 3.9 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ เปรียบเทียบ Control, After1, After2 และ After3 ความต่างศักย์ 9 V เป็นเวลา 5 นาทื	26
รูปที่ 3.10 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ Control และที่ช่วงเวลาทุกๆ 15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาทื และ 3 นาทื	27
รูปที่ 3.11 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิแบบ Non-Vegetable ที่ช่วงเวลา 0 นาทื, 30 นาทื และ 1 ชั่วโมง	28
รูปที่ 3.12 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิแบบ Vegetable ที่ช่วงเวลา 0 นาทื, 30 นาทื, 1ชั่วโมง, 1.5 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และเปรียบเทียบกับสารอย่างกิมจิที่ไม่ผ่านการซ้ด ที่เวลา 0 นาทื และ 2ชั่วโมง	28
รูปที่ 3.13 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ control กับ สารตัวอย่างกิมจิที่สำเร็จรูป (รูปซ้ด) และแผ่น TLCที่นำไปส่องเครื่อง UV (รูปขวา)	29
รูปที่ 3.14 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจีก่อนและหลังซ้ดไฟฟ้า ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 30 นาทื	44
รูปที่ 3.15 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจีก่อนและหลังซ้ดไฟฟ้า ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 1 ชั่วโมง	47
รูปที่ 3.16 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจีก่อนและหลังซ้ดไฟฟ้า ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 2 ชั่วโมง	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

гимจิเป็นอาหารเครื่องเคียงของประเทศเกาหลีที่ผู้คนนิยมรับประทาน กิมจิมีรสชาติเปรี้ยว เค็ม และหวาน โดยรสชาติที่เกิดขึ้นจากการหมักของผักหลายชนิด เช่น ผักกาดขาว แครอท เป็นต้น เมื่อหมักเป็นเวลานานจะทำให้กิมจิมีรสชาติเปรี้ยว เค็ม และหวาน โดยการหมักกิมจิทำให้เกิดสารจำนวนมากในกิมจิ[1] ได้แก่ Sugar, Organic acid, Amino acid และ Polyol นอกจากนี้เกิดแบคทีเรียชนิดโพรไบโอติกส์ เช่น แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) ที่ช่วยสร้างให้ระบบย่อยอาหารมีการทำงานที่ดี มากกว่านั้นประโยชน์ของกิมจิสามารถเสริมสร้างการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และเหมาะกับผู้ที่ต้องการจะลดความอ้วน เพราะมีแคลอรีที่ต่ำมาก

ทางผู้ทำวิจัยสนใจที่จะทำให้ช่วงเวลาในการหมักของกิมจินั้นใช้เวลาที่น้อยที่สุด โดยการใช้เทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) [2] เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบง่ายที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนด ขั้วแคโทด ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์กับกิมจิทำให้สามารถปรับรสชาติของกิมจิได้ตามความต้องการ ข้อดีของทางไฟฟ้า คือ ใช้สารเคมีน้อยมาก ต้นทุนการดำเนินการต่ำ ไม่จำเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารตัวอย่าง แต่ข้อเสียคือขั้วแอโนดจะค่อยๆถูกกัดกร่อนไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประสิทธิภาพของขั้วลดลง เนื่องจากสารและองค์ประกอบทางเคมีของกิมจิมีจำนวนมากประมาณ 60-120 สาร ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้เทคนิค thin-layer chromatography (TLC) [3] ทำการแยกสารอย่างง่ายก่อนโดยอาศัยคุณสมบัติความมีขั้วของสารและความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของสารผ่านเฟสคงที่บนแผ่น TLC เทคนิคดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์สารเบื้องต้นที่วิธีการง่าย ใช้อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน มีความไวในการวิเคราะห์สูง (sensitivity) และสามารถทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างได้หลายๆตัวในเวลาเดียวกัน แต่จะพบปัญหาและอุปสรรคหลายประการ เช่น เมื่อยกแผ่น TLC ออกมาแล้วพบว่า จุดของสารที่หยดลงไปสีจางมองแทบไม่เห็น มองไม่ชัด หรือจุดซ้อนกันจนแยกไม่ออกและมีจุดมากมายจนแยกไม่ได้ว่าเป็นสารใดบ้าง

ดังที่กล่าวมาผู้ทำวิจัยสนใจที่จะระบุสารในกิมจิโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) เป็นวิธีที่สามารถระบุชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในกิมจิได้ค่อนข้างแม่นยำ มากไปกว่านั้นสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางเชิงปริมาณ (quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ได้อย่างถูกต้อง สามารถเปรียบเทียบผลวิเคราะห์กับฐานข้อมูล (NIST Library 2017) เพื่อความถูกต้องได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปลงรสชาติกิมจิด้วยซ็อนอิเล็กโทรลิซิส
2. ระบุสารในกิมจิโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการดัดแปลงรสชาติกิมจิยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่ยังมีผู้ที่สนใจที่จะวิเคราะห์สารในกิมจิโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) เพื่อระบุชนิดของสารระเหยง่ายในกิมจิ ดังนี้

จากตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการระบุองค์ประกอบของกิมจิโดยการประยุกต์ใช้เทคนิค GC-MS เพื่อศึกษาวิธีการหมักกิมจิในการเข้าใจแบคทีเรียที่มีชื่อว่า *Lactobacillus plantarum* [1,9] โดยในงานวิจัยนี้ได้บ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของสาร lactic acid, glycerol, pyrotartaric acid, pentanedioic acid, 2-keto-1-gluconic acid, ribonic acid, isocitric acid และ palmitic acid รวมถึงการลดลงของสาร valine, leucine, propanoic acid, threonine, proline, glutamine, citric acid, adenine, fructose, glucose, galactose, myo-inositol และ sucrose ในระหว่างการหมักกิมจิ ดังนั้นจุดสำคัญของงานวิจัยนี้คือการประยุกต์ใช้เมตาบอลิซึมที่ใช้ GC-MS สำหรับการระบุและประเมินคุณภาพของการหมักกิมจิได้

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิค solid-phase microextraction (SPME) มีการเตรียมกิมจิในขวดโพลีเอทิลีน หมักเป็นเวลา 34 วัน ที่อุณหภูมิ 6 °C เป็นเทคนิคในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สารระเหยง่ายในระดับปริมาณน้อย โดยใช้ควบคู่กับเทคนิค GC-MS [4,10,11] เพื่อเป็นการระบุสารในกิมจิได้และเป็นสิ่งสำคัญในการยืนยันคุณภาพและรสชาติของกิมจิ และมีข้อดีคือ มี sensitivity สูง เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นและการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในกิมจิลงบนไฟเบอร์ที่มีรูพรุนบาง แล้วฉีดเข้าไปในเครื่อง GC-MS ทำให้สามารถระบุสารได้ถึงประมาณ 60 ชนิด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ไม่มีการใช้เทคนิค TLC ร่วมกับเทคนิค GC-MS และไม่มีการใช้ electrolysis กับกิมจิ จึงทำให้งานวิจัยนี้สนใจที่จะพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก และสามารถดัดแปลงรสชาติกิมจิได้อย่างสมบูรณ์ในอนาคต

1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 สารเคมีที่ให้กลิ่นและรสชาติในกิมจิ [1]

สารในกิมจิมีความสำคัญในการเป็นปัจจัยในรสชาติและกลิ่นของกิมจิ มีสารมากกว่า 100 ชนิด อาจมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับกรรมวิธี กระบวนการทำ เครื่องปรุง ของแต่ละสูตรซึ่งส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ free sugars (เช่น glucose และ fructose) organic acids (เช่น lactic acid และ acetic acids) amino acids (เช่น alanine และ valine) และ polyol (เช่น glycerol และ mannitol)

นอกจากนี้สารที่ระเหยได้ในกิมจิ (Volatile flavors) พบว่ามีจำนวนมากกว่า 60 ชนิด โดยจะมีสารประกอบซัลเฟอร์ที่มีบทบาทสำคัญต่อกลิ่นรสของกิมจิและกลิ่นที่แรง [5] เช่น disulfide, trisulfide, tetrasulfide เป็นต้น แหล่งที่มาของสารประกอบซัลเฟอร์ในกิมจิมาจากผักกาดขาว พริก กระเทียม ขิง และต้นหอม

1.4.2 เทคนิค thin-layer chromatography (TLC)

การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC เป็นวิธีการแยกสารที่สามารถแยกสารที่มีปริมาณน้อยๆ ที่อาศัยเฟสคงที่ (stationary phase) และ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ที่จะเคลื่อนพาสารบนตัวดูดซับขึ้นไปตามแผ่น TLC ในขณะที่เดียวกันตัวดูดซับก็จะพยายามยึดสารนั้นไว้ จึงทำให้สารเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าตัวทำละลายทำให้มีระยะทางเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

ประโยชน์ของเทคนิค TLC คือ ใช้แยกสารที่มีปริมาณน้อยๆได้ และเป็นวิธีการที่มีความจำเพาะสูง ทำได้ง่าย รวดเร็ว และประหยัดกว่าวิธีการแยกสารอื่นๆ

1.4.2.1 หลักการของ TLC

TLC เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการกระจายของสารระหว่างวัฏภาคหนึ่งซึ่งเป็นตัวดูดซับที่เคลือบอยู่บนแผ่นแก้ว หรือแผ่นพลาสติกแข็ง และตัวทำละลายซึ่งเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เคลื่อนผ่านตัวดูดซับ TLC จึงจัดเป็น solid-liquid adsorption chromatography เช่นเดียวกับคอลัมน์โครมาโตกราฟี

หลักการของ TLC นั้น คือวัฏภาคหนึ่งจะถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระจก แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติกบางๆ สารจะถูกแต้มไว้ที่ใกล้ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโดยใช้หลอดแคปิลลารี จากนั้นจึงนำแผ่นดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่ใส่วัฏภาคเคลื่อนที่ไว้ตั้งต้น ๆ เมื่อตัวทำละลายถูกดูดซึมขึ้นไปตามตัวดูดซับด้วย capillary action ก็จะพาสารตัวอย่างขึ้นไปด้วย จึงเกิดการแยกของสารเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น หากใช้ซิลิกาเป็นวัฏภาคหนึ่งและใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ สารที่มีขั้วน้อยจะละลายได้ดีในวัฏภาคเคลื่อนที่จึงเคลื่อนที่ขึ้นไปพร้อมกับวัฏภาคเคลื่อนที่ ส่วนสารที่มีขั้วมากจะถูกดูดซับไว้ที่วัฏภาคหนึ่งหรือซิลิกาจึงไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้น้อย จึงเกิดการแยกขึ้นในระบบ

เนื่องจากใช้สารปริมาณน้อยมากในการแยก เทคนิค TLC จึงเหมาะสมเป็นเครื่องมือวิเคราะห์มากกว่าที่จะเป็นเครื่องมือในการแยกสารเพื่อเก็บแต่ละองค์ประกอบ

1.4.2.2 การเลือกใช้ตัวทำละลายสำหรับเทคนิค TLC

ประสิทธิภาพในการแยกสารขึ้นอยู่กับเลือกใช้ระบบตัวทำละลายที่เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ เนื่องจากสารผสมที่อยู่ในสารตัวอย่างมีสภาพขั้วที่แตกต่างกัน หากเป็นสารที่มีขั้วมากก็就会被ดูดซับไว้ที่ซิลิกาเจลได้ดีจึงไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้น้อย ส่วนสารที่มีสภาพขั้วต่ำซึ่งละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ จะเคลื่อนที่ไปกับวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ดี จึงทำให้เกิดการแยกในระบบ

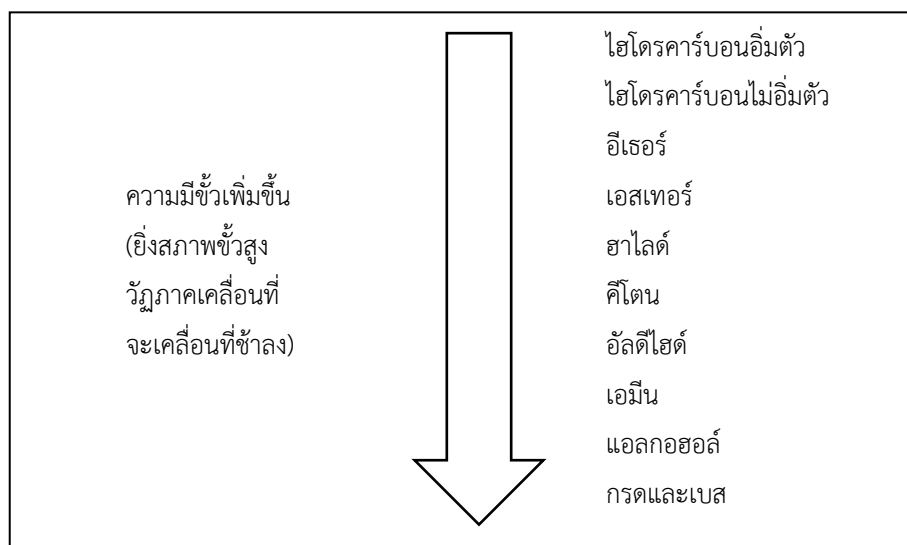
ระบบตัวทำละลายที่เหมาะสม ต้องสามารถนำสารผสมในตัวอย่างเคลื่อนที่ออกจากจุดที่แต้มสารได้ทุกสาร ช่วงค่า Rf ที่ถือว่าเป็นระบบตัวทำละลายที่ดี ควรเคลื่อนที่สารให้มีช่วงค่า Rf ตั้งแต่ 0.15 – 0.85 (ตามทฤษฎีควรเป็น 0.2 – 0.4)

ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ อาจเป็นระบบตัวทำละลายเดี่ยวหรือเป็นระบบตัวทำละลายผสมก็ได้ การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมมีขั้นตอนในการเลือกดังนี้ เนื่องจากปกติแผ่น TLC จะมีวัฏภาคนิ่งเป็นซิลิกาเจล (silica gel) ซึ่งมีขั้วสูง ตัวทำละลายที่จะเลือกจะมีสภาพขั้วต่ำกว่า ดังนั้นจึงควรเลือกตัวทำละลายที่มีขั้วต่างกันมาหลาย ๆ ชนิด เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซีน อีเทอร์ และเมทานอล เรียงลำดับตามจากสภาพขั้วต่ำไปยังสภาพขั้วสูง การใช้กรดคาร์บอกซิลิก เช่น กรดอะซิติกก็สามารถใช้ได้แต่จะใช้ในอัตราส่วนที่ต่ำเพราะกรดมีฤทธิ์กัดกร่อนและมีขั้วสูงมาก เมทิลีนคลอไรด์และคลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลายที่ดี แต่มีความเป็นพิษจึงควรใช้เท่าที่จำเป็นเท่านั้น

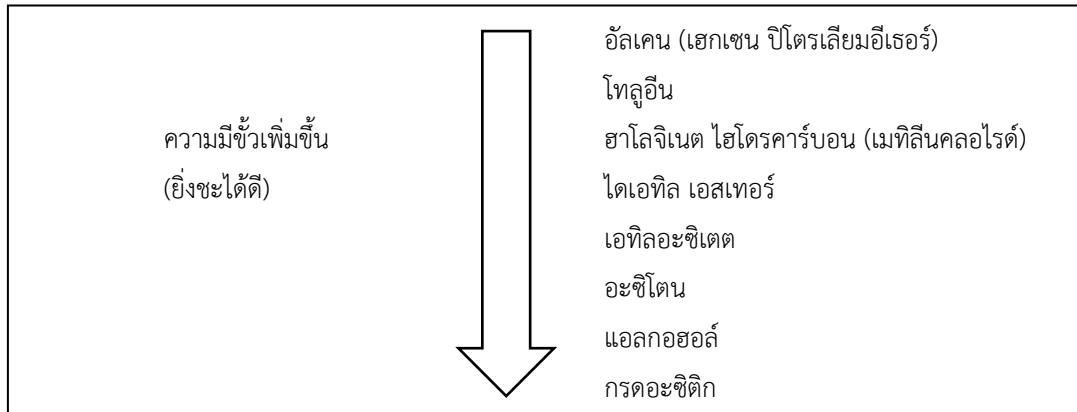
เมื่อเรียงลำดับความมีขั้วของตัวทำละลายอินทรีย์แล้ว ให้วางแผ่น TLC ที่แต้มสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ลงบนแผ่น TLC แล้ววางลงในตัวทำละลายแต่ละชนิด ๆ ละแผ่น หาค่า Rf ของแต่ละแผ่นที่วางในตัวทำละลายแต่ละชนิด แล้วจึงเลือกตัวทำละลายที่สามารถแยกสารได้ดีที่สุด

หากระบบตัวทำละลายเดี่ยวไม่สามารถแยกสารได้ชัดเจน จะต้องเลือกใช้ระบบตัวทำละลายผสม โดยการผสมตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน กับตัวทำละลายมีขั้วเช่น เอทิล อะซิเตต หรืออะซิโตน ในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

ระบบตัวทำละลายผสมที่นิยมใช้กันมากคือ เริ่มต้นตัวทำละลายผสมระหว่างเอทิล อะซิเตต (EtOAc)/เฮกเซน (Hexane) ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นจึงปรับอัตราส่วนให้ได้ตามความเหมาะสม แต่การปรับอัตราส่วนจะมีผลกับค่า Rf ของสารด้วย



รูปที่ 1.1 ลำดับสภาพขั้วของตัวทำละลายอินทรีย์



รูปที่ 1.2 ประสิทธิภาพในการชะสารตัวอย่างของตัวทำละลายอินทรีย์

1.4.2.3 แผ่น TLC สำเร็จรูป

ในปัจจุบัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC จึงมีผู้ผลิตแผ่น TLC สำเร็จรูปขึ้นมาจำหน่าย ข้อดีของแผ่น TLC สำเร็จรูป คือ ผิวของของแข็งดูดซับจะเรียบ เป็นเนื้อเดียวกันและอัดแน่นฉาบบนแผ่นแก้ว พลาสติก และอะลูมิเนียมอย่างดี ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นสำหรับ ฉาบตัวดูดซับนี้มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

1.4.2.3.1 แผ่น TLC ที่ใช้แผ่นแก้วเป็นของแผ่นสำหรับฉาบตัวดูดซับ ข้อดีคือ แก้วไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี และหาได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ แก้วมีความเปราะบาง แตกได้ง่าย มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ต้องใช้แก้วหนา 1.3 มิลลิเมตร และจำเป็นจะต้องใช้วัสดุอื่น ๆ มาห่อหุ้มเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นแก้วแตกอีกด้วย

1.4.2.3.2 แผ่น TLC ที่ใช้แผ่นพลาสติกเป็นแผ่นสำหรับฉาบตัวดูดซับ จะใช้แผ่นโพลีเอสเตอร์ที่มีความหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ข้อดีคือมีความทนต่อทำละลายได้เกือบทุกชนิด เนื่องจากแผ่นที่ฉาบได้จะมีความบาง จึงใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย สามารถใช้กรรไกรตัดได้ตามขนาดที่ต้องการใช้ และยังสามารถตัดส่วนของสารตัวอย่างที่แยกออกแต่ละส่วนแล้วออกไปเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อได้อีก การใช้แผ่น TLC ที่ฉาบบนแผ่นพลาสติกนี้ต้องใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส

1.4.2.3.3 แผ่น TLC ที่ใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นแผ่นสำหรับตัวดูดซับ แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้จะมีความหนาเพียงประมาณ 0.15 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งถือว่าบางมาก จึงตัดด้วยกรรไกรได้ง่ายกว่าการตัดแผ่น TLC แบบพลาสติก โดยส่วนมากผู้ผลิตจะผลิตแผ่น TLC แบบนี้ในขนาดประมาณ 20 x 20 เซนติเมตร ซึ่งก็สามารถตัดตามขนาดที่ต้องการใช้ได้เช่นเดียวกับแบบแผ่นพลาสติก

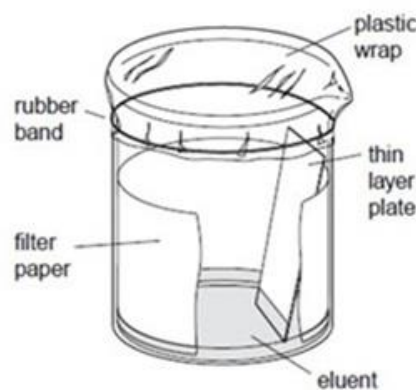
1.4.2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC

1.4.2.4.1 การเตรียม TLC Chamber สำหรับการ develop แผ่น TLC

1.4.2.4.1.1 เตรียมตัวทำละลายผสมที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการจะแยก

1.4.2.4.1.2 เติมตัวทำละลายในภาชนะอาจเป็นปิกเกอร์หรือโถแก้วที่มีขนาดเหมาะสมกับแผ่น TLC ที่ใช้ เติมตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ กะประมาณให้ระดับของตัวทำละลายสูงจากก้นภาชนะไม่เกินระดับที่ขีดไว้บนแผ่น TLC ให้เส้นที่ขีดไว้อยู่เหนือระดับตัวทำละลายเล็กน้อย ปิดฝาให้สนิทแล้ว ตั้งไว้สักครู่เพื่อให้ไอของตัวทำละลายอิ่มตัวในระบบ

การทำให้ภายในภาชนะอิ่มตัวด้วยไอของตัวทำละลายเคลื่อนที่ เป็นการป้องกันไม่ให้ตัวดูดซับที่เป็นเฟสที่อยู่กับที่แห้งก่อนที่จะทำการทดลองเสร็จ โดยเมื่อวางแผ่น TLC ลงในภาชนะที่อิ่มตัวด้วยไอของตัวทำละลายเคลื่อนที่ ของแข็งที่เป็นตัวดูดซับส่วนด้านบนที่ยังไม่เปียกด้วยตัวทำละลายเคลื่อนที่จะดูดซับไอระเหยที่อยู่ภายในภาชนะไว้จนตัวดูดซับอิ่มตัวด้วยไอของตัวทำละลายเคลื่อนที่ ตัวทำละลายเคลื่อนที่ที่ซึมผ่านตัวดูดซับจากด้านล่างจะระเหยออกจากตัวดูดซับได้ช้าลงหรือไม่ระเหยออกไป ทำให้ตัวทำละลายเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับได้เร็วขึ้น ผลการแยกจึงมีประสิทธิภาพดีกว่าและเร็วกว่าการที่ไม่ได้ทำให้ภายในภาชนะอิ่มตัวด้วยไอของตัวทำละลายเคลื่อนที่เสียก่อน ดังกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อไปนี้



แหล่งที่มา: <https://elife-news.blogspot.com/2017/11/chamber-tlc.html?view=flipcard>

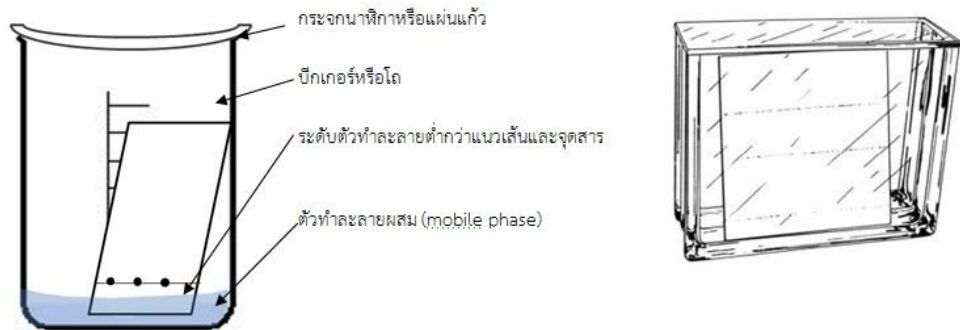
รูปที่ 1.3 การวางกระดาษกรองที่เปียกชุ่มด้วยตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ใน TLC chamber

1.4.2.5 การใส่สารตัวอย่างลงในแผ่น TLC

1.4.2.5.1 ลากเส้นเบา ๆ อย่าให้ทะลุซิลิกาเจลที่เคลือบจนถึงแผ่นแก้ว ให้ห่างจากขอบประมาณ 1 – 1.5 เซนติเมตร ที่ด้านใดด้านหนึ่งของแผ่น TLC

1.4.2.5.2 หยด (spot) สารละลายที่ต้องการจะแยกด้วยหลอดคิปลารูเล็ก พยายามอย่าให้จุดที่หยด (spot) ลงไปมีขนาดใหญ่เกินไป ลงบนซิลิกาเจลตามแนวเส้นที่ลากไว้ให้มีระยะห่างพอสมควรแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง

1.4.2.5.3 นำแผ่น TLC มาวางในภาชนะ ปิดภาชนะด้วยกระจกนาฬิกาหรือแผ่นแก้วปิดโถ เพื่อป้องกันมิให้ตัวทำละลายระเหย



แหล่งที่มา: <https://elife-news.blogspot.com/2017/11/chamber-tlc.html?view=flipcard>

รูปที่ 1.4 วิธีการวางแผ่น TLC ในบีกเกอร์ และภาชนะแก้วสำหรับใช้แผ่น TLC

1.4.2.5.4 ตั้งทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายสูงขึ้นประมาณสามในสี่ของแผ่น TLC นำออกมาทำเครื่องหมายที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่มาถึง (solvent front) แล้วปล่อยให้แห้งด้วยอากาศ หรือเป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าร้อน (Dryer)

1.4.2.6 การอ่านผลหรือตรวจสอบผลการ develop แผ่น TLC

1.4.2.6.1 หากสารตัวอย่างที่วิเคราะห์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ผู้ทดลองสามารถนำแผ่น TLC วิเคราะห์ผลได้เลย

1.4.2.6.2 สารตัวอย่างบางประเภทต้องนำไปย้อมด้วยสารเคมีชนิดอื่นก่อนจึงสามารถเห็นจุดของสารตัวอย่างที่แยกได้ เช่น การนำแผ่น TLC ไปวางไว้ในภาชนะที่เต็มไปด้วยไอระเหยของไอโอดีน ซึ่งไอระเหยของไอโอดีนจะถูกซึบเข้าไปในสารอินทรีย์ที่อยู่บนแผ่น TLC สารตัวอย่างที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อดูดซับไอระเหยของไอโอดีนแล้วจะเปลี่ยนสีจากไม่มีสีกลายเป็นสีน้ำตาล จากนั้นจึงต้องรีบใช้ดินสอวงรอบจุดของสารตัวอย่างไว้ก่อนที่สีของจุดนั้นจะหายไปเมื่อวางทิ้งไว้ระยะหนึ่ง

1.4.2.6.3 การอ่านแผ่น TLC ภายใต้แสง UV ซึ่งต้องใช้ตัวดูดซับที่ผสมอินดิเคเตอร์ฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent indicator) ซึ่งเมื่อแผ่น TLC กระทบแสง UV ที่ช่วงความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จะสะท้อนแสงออกมาเป็นสีเขียว ดังนั้นเมื่อมีสารตัวอย่างที่สามารถดูดซับแสง UV ได้ตรงจุดใดบนแผ่น TLC ก็จะทำให้เกิดการเรืองแสงของแผ่น TLC เกิดเป็นจุดสีม่วงขึ้นที่จุดนั้น ๆ จึงทำให้สามารถสังเกตเห็นจุดของสารตัวอย่างที่ develop ได้

ในบางครั้งสารตัวอย่างอาจจะมีทั้งสารที่ต้องย้อมด้วยไอโอดีนก่อนและสารที่ต้องอ่านผ่านแสง UV ดังนั้นจึงอาจใช้ทั้งสองวิธีเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นจุดของสารตัวอย่างได้แม่นยำยิ่งขึ้น

1.4.3 เทคนิคทางไฟฟ้า (electrocoagulation) [8,12]

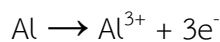
1.4.3.1 หลักการของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

การให้กระแสไฟฟ้าตกคร่อมบนขั้วไฟฟ้า ทำให้ขั้วไฟฟ้าชนิดแอโนดละลายออกมาเป็นไอออน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค หรือไอออนที่อยู่ในน้ำ กล่าวคือทำให้สารปนเปื้อนต่าง ๆ มีการหักล้างประจุจนมีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า เกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และแยกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการปล่อยให้ตกตะกอน หรือการลอยตะกอน

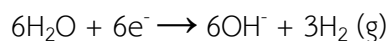
เซลล์ที่ใช้ตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบง่ายที่ประกอบด้วยขั้วแอโนด และขั้วแคโทด ขั้วทั้งสองอาจเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยส่วนมากจะใช้อะลูมิเนียม (Al) หรือเหล็ก (Fe) เมื่อจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกจะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี และเกิดไอออนของอะลูมิเนียม (Al^{3+}) หรือ ไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) ขึ้นที่ขั้วแอโนด ไอออนเหล่านี้จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ กระบวนการนี้สอดคล้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีแบบดั้งเดิมซึ่งใช้สารเร่งตะกอน (coagulant) ส่วนใหญ่เป็นเกลือของอะลูมิเนียมหรือเหล็ก

1.4.3.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

ในกรณีที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าจะมีการละลายไอออนของอะลูมิเนียม (Al^{3+}) เช่นเดียวกับการใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ดังสมการ



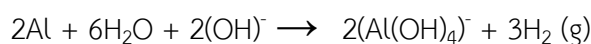
และปฏิกิริยาที่แคโทดจะให้ OH^{-} และแก๊ส H_2 ดังนี้



เมื่อ Al^{3+} ละลายออกมาในน้ำ บางส่วนรวมตัวกับ OH^{-} เป็นโมโนเมอร์ของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ปะปนในน้ำ เช่น $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^{+}$, $Al(OH)_3$ และ $Al(OH)_4^{-}$ โดยขึ้นกับค่า pH ของตัวกลาง ในตัวกลางที่มีค่า pH เป็นค่าจะพบโมโนเมอร์ที่มีประจุบวกมาก โมโนเมอร์ดังกล่าวสามารถเกิดโพลิเมอร์เช่นเป็น $Al_2(OH)_2^{4+}$, $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$, $Al_3O_4(OH)_{24}^{7+}$ และ $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$ ได้ บางส่วนจะอยู่ในรูปโมโนเมอร์ และในที่สุดจะกลายเป็น $Al(OH)_3$ ที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ



ขณะที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมจะค่อย ๆ ละลายไป ส่วน OH^{-} ที่เกิดขึ้นซึ่งมีสมบัติเป็นด่างจะกัดเซาะที่ขั้วไฟฟ้าเกิดปฏิกิริยาให้แก๊ส H_2 ขึ้นดังสมการต่อไปนี้



อย่างไรก็ตามการใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าก็มีข้อดีที่มีการเกิดโพลิเมอร์เซชัน และเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีประจุหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับดี ดังนั้นการเลือกชนิดของขั้วไฟฟ้าจึงต้องพิจารณาถึงข้อดีข้อด้อยของวัสดุขั้วไฟฟ้างกล่าว อีกทั้งชนิดของสิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำก็ให้ผลแตกต่างกันอีกด้วย

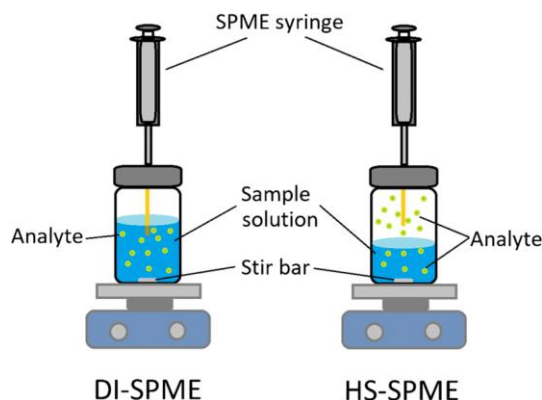
1.4.4 เทคนิค solid-phase microextraction (SPME) [6]

เป็นเทคนิคการเตรียมตัวอย่างหรือสกัดตัวอย่างโดยใช้ตัวดูดซับ (Absorbent) หรือ ไฟเบอร์ (Fiber) ที่มีความจำเพาะเจาะจง (Selective) ต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างของแข็งและของเหลว ช่วยลดเวลาในการเตรียมตัวอย่างและช่วยลดของเสีย (Waste) ที่เกิดจากสารละลายอินทรีย์ในห้องปฏิบัติการ

เทคนิค SPME ได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม นิติวิทยาศาสตร์ เกษษกรรม อาหาร เครื่องดื่ม และสารให้กลิ่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

1.4.4.1 หลักการของการเตรียมตัวอย่างโดยเทคนิค SPME

สารที่สนใจถูกดูดซับที่ไมโครไฟเบอร์(microfiber) SPME ทำจาก fused silica เคลือบด้วยฟิล์มบาง ๆ ประมาณ 7-100 ไมครอน เป็นชนิดเดียวกับวัสดุภาคคงที่ในคอลัมน์ของ GC สารที่ต้องการสกัด อาจละลายอยู่ในน้ำหรือระเหยอยู่ในช่องว่างเหนือสารละลาย สามารถดูดซับมาอยู่ที่ผิวของไฟเบอร์ได้ 2 วิธี คือ (1) โดยการจุ่มไฟเบอร์ลงในสารละลายตัวอย่างโดยตรง (direct immersion technique) หรือ (2) โดยให้ไฟเบอร์อยู่เหนือสารละลายตัวอย่างหรือตัวอย่างของแข็ง (headspace technique) ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดที่ปิดสนิทด้วยฝาปิดทำด้วยยางกันรั่ว (rubber septum)

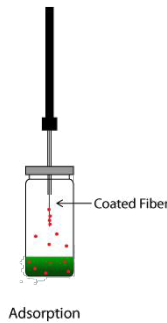


แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-Di-SPME-and-HS-SPME-sampling-modes_fig1_344068259

รูปที่ 1.5 การสกัดแบบ (1) จุ่มลงในตัวอย่างโดยตรง (2) สกัดแบบ headspace

1.4.4.2 ขั้นตอนการสกัดสาร

1.4.4.2.1 ขั้นตอนการสกัด เริ่มต้นโดยการเสียบเข็มที่ใช้ปกป้องไฟเบอร์เซพตัมของขวดใส่ตัวอย่าง จากนั้นกดด้ามของ SPME ให้ไฟเบอร์ซึ่งอยู่ภายในเข็มโผล่ออกมา ตั้งไว้ให้สารที่สนใจในตัวอย่างถูกดูดซับที่ผิวของไฟเบอร์ เมื่อครบเวลาสำหรับการสกัดให้ดึงด้ามของอุปกรณ์ขึ้นเพื่อเก็บไฟเบอร์เข้าสู่ภายในกระบอกเข็มเพื่อการปกป้องไฟเบอร์ที่เปราะบางซึ่งอาจเสียหายได้ง่ายด้วยแรงกระแทก และดึง SPME holder ออกจากขวดสารตัวอย่าง



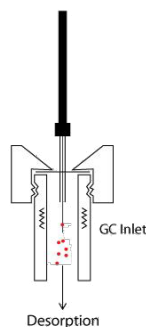
แหล่งที่มา: <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/headspace-solid-phase-microextraction>

molecular-biology/headspace-solid-phase-microextraction

รูปที่ 1.6 การสกัดสารตัวอย่างจากขวด glass vial

1.4.4.2.2 ขั้นตอน Desorption เป็นขั้นตอนการนำไฟเบอร์ SPME ที่ผ่านขั้นตอนการสกัดสารเข้าสู่จุดฉีด (injection port) ของ GC เพื่อนำสารที่สกัดได้โดยไฟเบอร์เข้าสู่ระบบ GC หรือ GC-MS โดยการเสียบเข็มลงบนจุดฉีด ของเครื่อง GC จากนั้นกดก้านเข็ม เพื่อเลื่อนตำแหน่งของไฟเบอร์ซึ่งอยู่ภายในเข็มให้โผล่ออกมา สารที่สนใจในตัวอย่างระเหยออกจากผิวของไฟเบอร์ด้วยอุณหภูมิของจุดฉีด เมื่อครบเวลาสำหรับ desorption ให้ดึงด้ามของอุปกรณ์ขึ้นเพื่อเก็บไฟเบอร์กลับเข้าสู่ภายในกระบอกเข็ม

การฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยสกัดสารแบบเดียวกันกับ GC แต่ฉีดเข้าตรงวาล์วฉีดสาร (ตำแหน่ง load) ขณะที่ไฟเบอร์อยู่ในเข็ม จากนั้นดันก้านเข็มเพื่อให้ไฟเบอร์ออกมาและสับสวิทช์ไปยังตำแหน่งฉีด inject ตัวทำละลายจะชะสารออกจากไฟเบอร์เพื่อเข้าสู่คอลัมน์ต่อไปดังรูปที่ 1.7



แหล่งที่มา: <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/headspace-solid-phase-microextraction>

รูปที่ 1.7 ขั้นตอนการ Desorption เข้าสู่ระบบ GC-MS

1.4.4.3 ชนิดของไฟเบอร์

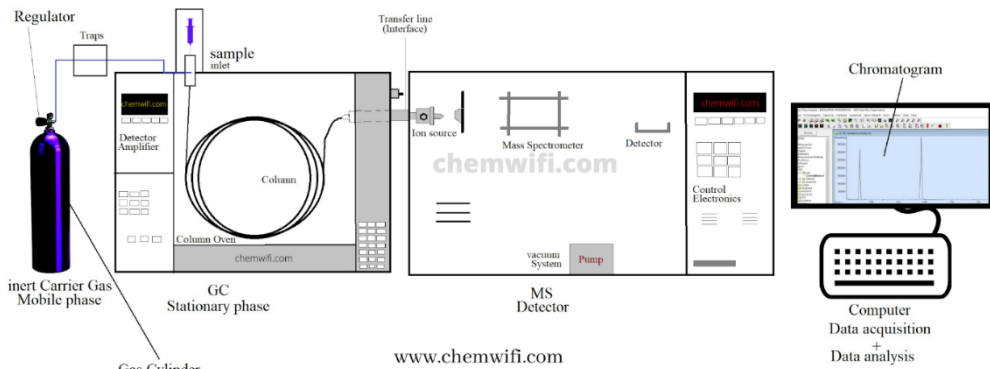
มีให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวัด ทั้งแบบมีหัว หัวปานกลาง หัวสูง ความหนาของฟิล์มแตกต่างกัน เช่น พอลิไดเมทิลไซลอกเซน PDMS หนา 7, 30, 85 และ 100 ไมโครเมตร สำหรับสารที่ระเหยง่าย ไม่มีหัว แต่ถ้าสารนั้นระเหยง่ายมากจะเลือกใช้ฟิล์มหนามากขึ้น กรณีที่ใช้กับสารมีหัวและไม่มีหัว เช่น PDMS/DVB และ CAR/PDMS กรณีที่ใช้กับสารมีหัวสูงควรเลือกใช้ CAR/DVB และ PDMS/DVB เป็นต้น

1.4.5 แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) [7]

1.4.5.1 หลักการของแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS)

GC - MS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สารตัวอย่างที่นำเครื่อง Gas Chromatograph (GC) มาต่อเข้ากับเครื่อง Mass Spectrometry (MS) โดยที่ GC จะมีหน้าที่เป็นส่วนแยกตัวอย่าง แล้วนำสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่อง MS ในส่วนของ GC นั้น จะใช้คอลัมน์เป็นแบบ capillary column และใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซพา (carrier gas) เท่านั้น จากหลักการข้างต้น จะเห็นได้ว่า GC-MS อาศัยการทำงานของเครื่อง GC ซึ่งใช้แยกพวกก๊าซหรือสารที่ระเหยง่าย โดยอาศัยหลักการที่สารนั้นถูกดูดซับหรือแผ่กระจายไปในระหว่าง stationary phase และ mobile phase ซึ่ง stationary phase อาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่เคลือบอยู่บนของแข็งก็ได้และ mobile phase เป็นก๊าซ สำหรับความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง GC นั้นได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยๆ ได้ ในระดับไมโครกรัมหรือน้อยกว่า ด้วยวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว สารที่ออกจากเครื่อง GC จะเป็นสารบริสุทธิ์ในสถานะก๊าซรวมกับก๊าซพา เมื่อนำเครื่อง GC มาประกอบกับเครื่อง MS โดยเครื่อง MS จะทำหน้าที่เป็นเครื่องตรวจวัด (detector) ชนิดหนึ่งของ GC ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและมวลโมเลกุลของสาร โดยมีหลักการที่ว่าเมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างในสถานะก๊าซเข้าสู่เครื่อง MS จะถูกทำให้กลายเป็นไอออนที่มีประจุบวก แล้วแยกไอออนและส่วนที่เกิดจากการ fragmentation ของไอออนออกจากกันตามค่ามวลต่อประจุ (mass to charge ratio หรือ m/c) ของไอออนเหล่านั้น หลังจากแยกไอออนเหล่านี้แล้วก็จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดเพื่อบันทึกข้อมูลออกมาเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง relative abundance กับ m/C) เรียกว่า mass spectrum จากหลักการที่กล่าวมา เครื่อง MS สามารถใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างบริสุทธิ์ที่มีปริมาณน้อยเป็นไมโครกรัมหรือน้อยกว่า โดยสารที่นำมาวิเคราะห์จะต้องระเหยง่ายพอควรและสามารถนำ mass spectrum มาใช้ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและมวลโมเลกุลของสารได้ โดยปกติสารตัวอย่างที่จะเข้าไปสู่ส่วนผลิตไอออน (ionization chamber) ของเครื่อง MS จะต้องอยู่ในสภาพก๊าซ ดังนั้นสารที่ออกจากเครื่อง GC จะต้องผ่านบริเวณที่เชื่อมต่อ (interface) ซึ่งบริเวณนี้ ทำให้สารอยู่ในสถานะความดัน $10^{-4} - 10^{-7}$ ทอร์ และสามารถแยกก๊าซพาออกไป จะเหลือเฉพาะสารตัวอย่างเท่านั้นที่ผ่านเข้าสู่เครื่อง MS

กล่าวโดยสรุป GC - MS ถูกสร้างขึ้นมาโดยที่ต้องการให้ GC มีหน้าที่หลักในการแยก (separation) สารแต่ละชนิดในสารตัวอย่างออกจากกัน ส่วน MS จะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารหรือ ยืนยันชนิดของสารตัวอย่างนั่นเอง โดยหลักการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ ดังรูปที่ 1.8



แหล่งที่มา: <https://www.chemwifi.com/2020/12/fundamental-gc-ms.html>

รูปที่ 1.8 องค์ประกอบเครื่อง Gas Chromatography – Mass Spectrometry

ปัจจุบันการใช้ GC - MS ในงานวิเคราะห์สารตัวอย่าง มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน เนื่องจากมีการนำ คอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานทุกขั้นตอน โดยผู้ใช้เพียงแต่ศึกษาคำสั่งต่างๆ ที่สั่งให้เครื่องทำงาน รวมทั้ง การวิเคราะห์ผลที่ได้ ก็มีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกบรรจุในคอมพิวเตอร์ไว้ โดยเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์ โครงสร้างของสารตัวอย่างที่เรียกว่า library searching เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของสารตัวอย่างกับ โครงสร้างของสารที่ได้บรรจุข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้ว ทำให้ GC-MS มีข้อได้เปรียบ (advantages) คือ สามารถ แยกสารแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบในสารตัวอย่างและวิเคราะห์สารแต่ละชนิดได้ในเวลาเดียวกันจากที่กล่าว มานั้น จะเห็นได้ว่า GC - MS อาศัยหลักการของ GC และ MS เข้ามาประกอบกันโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามา ควบคุมการทำงานของ GC และ MS รวมทั้งการแสดงผลของการวิเคราะห์ด้วย ดังรูปที่ 1.9



แหล่งที่มา: <http://www.speciation.net/Database/Instruments/Agilent-Technologies-Inc/7000C-Triple-Quadrupole-GCMS-System-;i3263>

รูปที่ 1.9 เครื่อง GC-MS AGILENT 7890GC/ 7000C GC/MS Triple Quadrupole

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

คาดว่าจะการวิจัยนี้จะสามารถทำให้พัฒนาหลักการเพื่อนำไปสู่การพัฒนาชิ้นอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) และได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่น่าสนใจของสารระเหยง่ายในกิมจิด้วยเทคนิค thin layer chromatography (TLC) และเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์

1. TLC Silica gel 60 F₂₅₄ 25 Aluminum sheets 20 cm x 20 cm x 0.15 m (Merck, Germany)
2. Solid phase micro extraction fiber (50/30 µm DVB/CAR/PDMS, grey, Sigma-Aldrich, Bellefonte, PA)
3. เครื่อง GC-QqMS (7890A-7000, Agilent technologies Inc.)
4. เครื่อง Dc Power Supply (KORAD, Korea)
5. เครื่อง UV
6. สายปากคีบสีแดงและดำ ความยาว 50 ซม.
7. แท่งอะลูมิเนียมอิเล็กโทรด
8. สปริงอิเล็กโทรด
9. ฝาเกลียวอะลูมิเนียม (Thermo Fisher Scientific, USA)
10. เครื่องแก้ว ได้แก่ ปีกเกอร์ แท่งแก้ว กระจกนาฬิกา กระบอกตวง
11. ขวด glass vial ขนาด 20 มิลลิลิตร (Thermo Fisher Scientific, USA)
12. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
13. ไมโครปิเปต และ ปิเปตทิป ขนาด 20,100 และ 1000 µL (Eppendorf, Germany)
14. ชุดขาตั้งและแคลมป์จับ
15. คัตเตอร์
16. คีมคีบสแตนเลส

2.2 รายการสารเคมี

1. โทลูอิน CAS Number: 108-88-3 (Merck, Germany)
2. เอทิล อะซีเตท CAS Number: 141-78-6 (Merck, Germany)
3. เฮกเซน CAS Number: 110-54-3 (Merck, Germany)
4. สารมาตรฐานแอลเคน C₈-C₂₀ CAS Number: 71011-12-6 (Sigma Aldrich, USA)

2.3 รายการวัตถุดิบในการหมักสารตัวอย่างกิมจิ

1. ผักต่างๆ ได้แก่ ผักกาดขาว แครอท หัวไชเท้า หัวหอม ต้นหอม ชিং กระเทียม
2. พริกป่นเกาหลีแบบหยาบและแบบละเอียด
3. เครื่องปรุงต่างๆ ได้แก่ น้ำปลา น้ำตาล เกลือ
4. แป้งข้าวเหนียว
5. น้ำเปล่า
6. เบกกิ้งโซดา

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 การเตรียมหมักกิมจิ

2.4.1.1 นำผักกาดขาว ต้นหอมหั่นให้เรียบร้อย นำไปแช่น้ำทำความสะอาดในน้ำเปล่า 10 ลิตรและเบกกิ้งโซดา $\frac{1}{2}$ ช้อนโต๊ะ แช่ไว้ 15 นาที เสร็จแล้วล้างด้วยน้ำเปล่าและนำขึ้นสะเด็ดน้ำ

2.4.1.2 นำผักกาดขาวหมักกับเกลือป่น ใส่ให้ทั่วผัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยต้องคอยมาคลุกเคล้าผักทุกๆ 30 นาที

2.4.1.3 นำต้นหอมที่ล้างไว้มาหั่นเป็นท่อนๆ ให้เรียบร้อย จากนั้นนำแครอทและหัวไชเท้าล้างและปอกเปลือกให้สะอาด จากนั้นหั่นซอยเป็นเส้น

2.4.1.4 ทำแป้งกวนสำหรับหมักกิมจิ โดยเทน้ำเปล่า และแป้งข้าวเหนียวลงไปในหม้อ คนให้เข้ากัน และนำไปกวนจนแป้งสุกดี โดยใช้ไฟอ่อน เมื่อสุกแล้วพักให้เย็นตัว

2.4.1.5 นำผักกาดที่แช่ไว้ครบ 2 ชั่วโมงมาล้างน้ำเปล่าให้สะอาด

2.4.1.6 ทำเครื่องหมักกิมจิ โดยนำ หอมหัวใหญ่ หั่นชิ้นเล็ก สาเล่ กระเทียมจินปลอกเปลือก ชিংหั่นแฉ่น น้ำปลา ปั่นให้ละเอียดเข้ากัน เทใส่ถาด

2.4.1.7 ใส่น้ำตาลทรายไม่ฟอกสี พริกเกาหลีแบบหยาบและแบบละเอียด และแป้งกวนที่เตรียมไว้ คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นชิมรสตามชอบ

2.4.1.8 นำต้นหอม หัวไชเท้า แครอท ลงไปในเครื่องที่เตรียมไว้ คลุกเคล้าให้เข้ากัน สุกทำยค่อยๆ ใส่ผักกาดขาวลงไป และคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง

2.4.1.9 นำกิมจิใส่ลงในภาชนะที่มีฝาปิด ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กิมจิที่ทำการหมัก

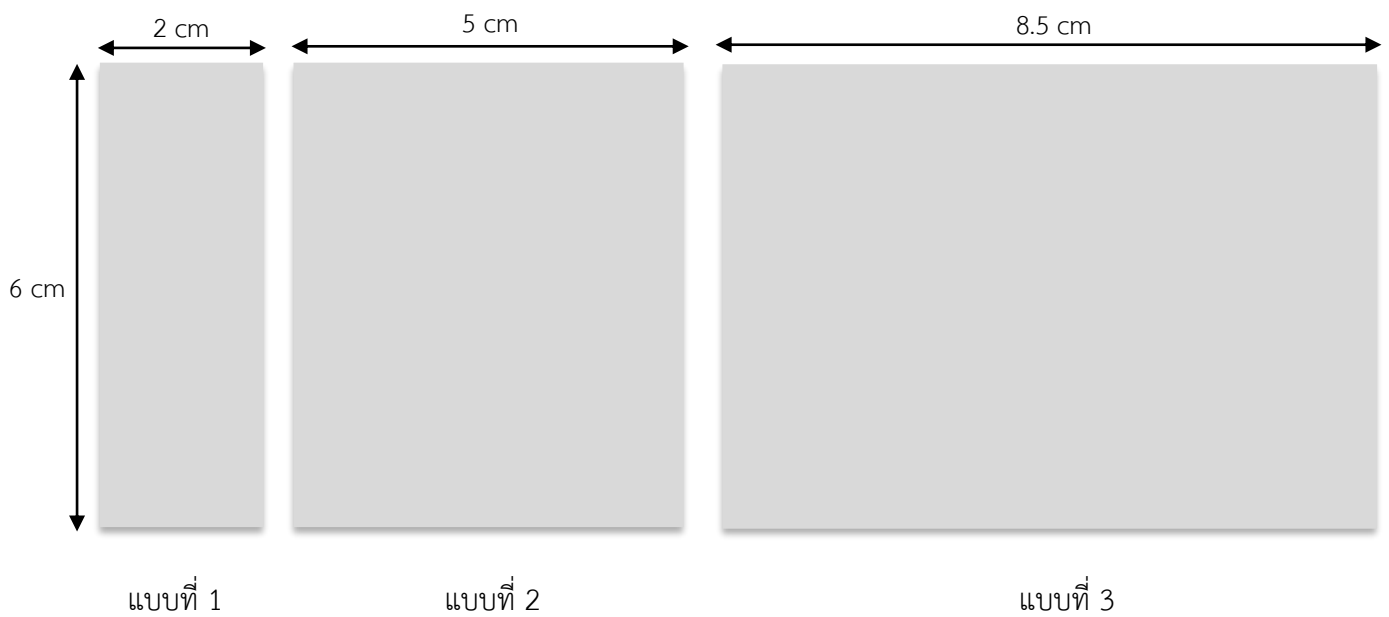
2.4.2 การเตรียมแผ่น TLC (TLC Separation)

มีการเตรียมแผ่น TLC ตัดด้วยคัตเตอร์ทั้งหมด 3 แบบ ดังรูปที่ 2.2

แบบที่ 1 แผ่น TLC มีขนาด ความกว้าง 2 เซนติเมตร x ความยาว 6 เซนติเมตร

แบบที่ 2 แผ่น TLC มีขนาด ความกว้าง 5 เซนติเมตร x ความยาว 6 เซนติเมตร

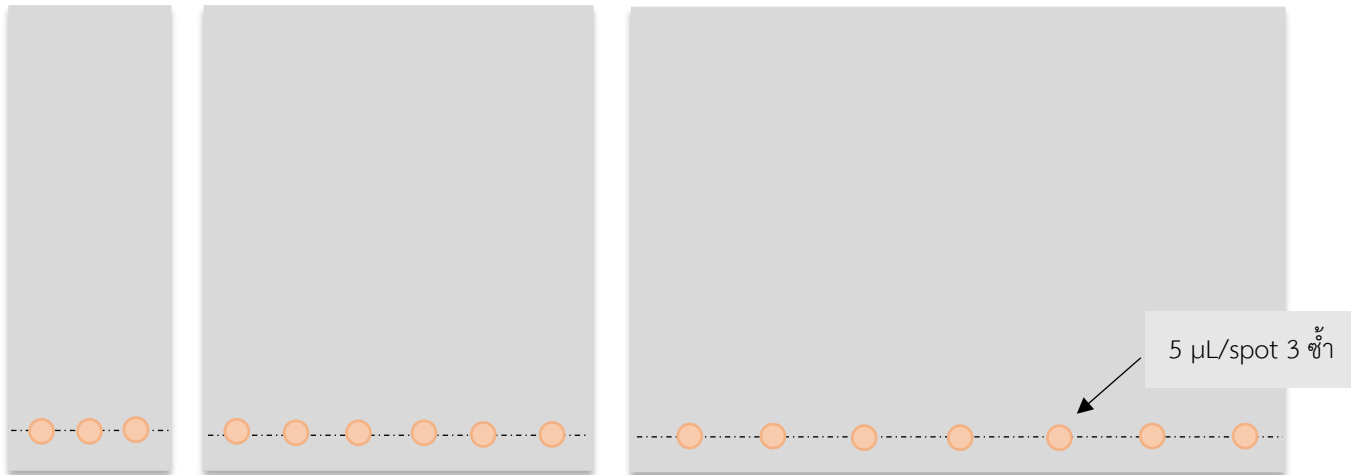
แบบที่ 3 แผ่น TLC มีขนาด ความกว้าง 8.5 เซนติเมตร x ความยาว 6 เซนติเมตร



รูปที่ 2.2 การเตรียมแผ่น TLC

2.4.3 การเตรียมตัวอย่างลงบนแผ่น TLC

เตรียมสารตัวอย่างกิมจิผสมกับน้ำโดยอัตราส่วน กิมจิ 10 mL : น้ำ 10 mL และ load สารตัวอย่างกิมจิที่ผสมแล้วลงบนแผ่น TLC ด้วยไมโครปิเปตขนาด 20 μ L ปริมาตร 5 μ L/spot ซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 จุด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การ load สารตัวอย่างลงบนแผ่น TLC

2.4.4 การชื้อตไฟฟ้าโดยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis)

นำสารตัวอย่างกิมจิที่ได้ผสมกับน้ำแล้วมาชื้อตไฟฟ้าด้วย electrolysis ใช้เครื่อง Dc Power Supply KORAD KA3005D ดังรูปที่ 2.4 โดยให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วแคโทดและแอโนด จะแบ่งตามขั้วที่ใช้ผ่าน ดังนี้



แหล่งที่มา: <https://www.it-elec.com/product/468/dc-power-supply-korad-ka3005d>

รูปที่ 2.4 เครื่อง Dc Power Supply KORAD KA3005D

2.4.4.1 การช็อตไฟฟ้าด้วยขั้วสปริง

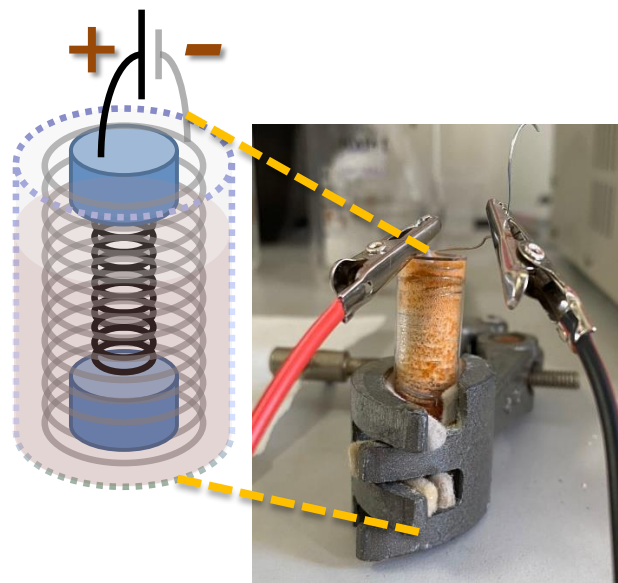
2.4.4.1.1 ช่วงเวลาที่ใช้ในการช็อตไฟฟ้า

จะแบ่งเวลาที่ใช้ช็อตไฟฟ้าเป็น 4 ช่วง คือ 15วินาที, 30วินาที, 1นาที่ และ 3นาที่ โดยให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ(สายสีดำ) และขั้วบวก(สายสีแดง) เพื่อศึกษาว่าช่วงเวลาที่จะเหมาะสมที่สุดที่จะทำให้สารตัวอย่างกิมจิสามารถเปลี่ยนสารประกอบได้

2.4.4.1.2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าของการหมักแบบ non-vegetable

เริ่มช็อตไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าไฟฟ้า 9 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเริ่มที่

1.00 แอมแปร์



รูปที่ 2.5 ขั้วสปริง

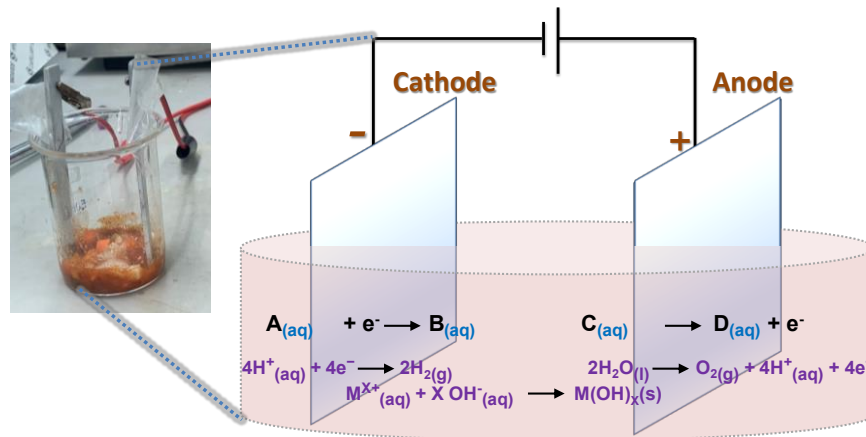
2.4.4.2 การช็อตไฟฟ้าด้วยขั้วสปริงขั้วอะลูมิเนียมแบบแผ่น

2.4.4.2.1 ช่วงเวลาที่ใช้ในการช็อตไฟฟ้าของการหมักแบบ Non-vegetable และแบบ Vegetable

- จะแบ่งเวลาที่ใช้ช็อตไฟฟ้าเป็น 4 ช่วง คือ 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 1ชั่วโมง30 นาที และ 2 ชั่วโมง โดยให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ(สายสีดำ) และขั้วบวก(สายสีแดง) เพื่อศึกษาว่าช่วงเวลาที่จะเหมาะสมที่สุดที่จะทำให้สารตัวอย่างกิมจิสามารถเปลี่ยนสารประกอบได้

2.4.4.2.2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าของการหมักแบบ Non-vegetable และแบบ Vegetable

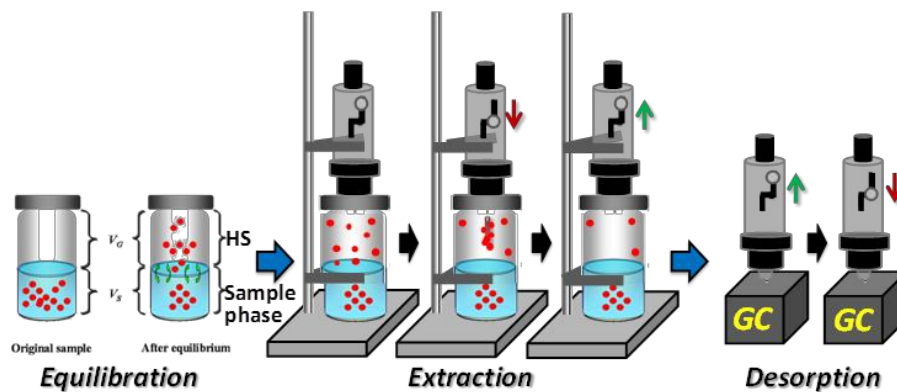
- เริ่มช็อตไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าไฟฟ้า 9 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าเริ่มที่ 1.00 แอมแปร์



รูปที่ 2.6 ขั้วแผ่นอะลูมิเนียม

2.4.5 การวิเคราะห์สารระเหยในตัวอย่างกิมจิด้วยเครื่อง GC-MS

นำสารตัวอย่างกิมจิที่ผ่านการชื้อดด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาที แล้วใช้เข็มเสียบไป septum ของขวดใส่ตัวอย่าง จากนั้นกดด้ามของ SPME ให้ไฟเบอร์ซึ่งอยู่ภายในเข็มโผล่ออกมา ตั้งไว้ให้สารที่สนใจในตัวอย่างถูกดูดซับที่ผิวของไฟเบอร์ เมื่อครบเวลา 45 นาที ให้ดึงด้ามของอุปกรณ์ขึ้นเพื่อเก็บไฟเบอร์เข้าสู่ภายในกระบอกเข็ม หลังจากนั้นนำไฟเบอร์ SPME ที่ผ่านขั้นตอนการสกัดสารเข้าสู่จุดฉีด (injection port) ของ GC-MS เพื่อนำสารที่สกัดได้โดยไฟเบอร์เข้าสู่ระบบ GC/MS โดยการเสียบเข็มลงบนจุดฉีด ของเครื่อง GC-MS จากนั้นกดก้านเข็ม เพื่อเลื่อนตำแหน่งของไฟเบอร์ซึ่งอยู่ภายในเข็มให้โผล่ออกมา สารที่สนใจในตัวอย่างระเหยออกจากผิวของไฟเบอร์ด้วยอุณหภูมิของจุดฉีด เมื่อครบเวลา 5 นาที ให้ดึงด้ามของอุปกรณ์ขึ้นเพื่อเก็บไฟเบอร์กลับเข้าสู่ภายในกระบอกเข็ม ใช้เวลาในการรันตัวอย่างกิมจิ 55 นาที



รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการนำสารตัวอย่างกิมจิเข้าสู่เครื่อง GC-MS

โดยสภาวะที่ใช้สำหรับการรันตัวอย่างกิมจิใน GC-MS คือ injection port ที่ 220 องศาเซลเซียสและใช้เวลา desorption ทั้งหมด 5 นาที แล้ววิเคราะห์โดยเครื่อง GC-QqMS (7890A-7000, Agilent technologies Inc.) นำไปใช้ภายใต้โหมด Single Q scan ร่วมกับ Quadrupoles อื่นๆในโหมดถ่ายไอออน ไอออน กลุ่มสารระเหยง่ายจะถูกคัดแยกบน HP-5 MS capillary column (30 m 0.25 mm i.d., 0.25 μ m film thickness; J&W Scientific, USA) ที่ใช้ ultra-high purity helium (99.999%) เป็นแก๊สนำพา (carrier gas) ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส 1 มิลลิลิตร/1 นาที สารตัวอย่างที่สกัดจะฉีดเข้าที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส (desorption temperature) ภายใต้โหมด splitless อุณหภูมิของ GC oven เพิ่มจาก 40 ถึง 240 องศาเซลเซียส ในอัตรา 4 องศาเซลเซียส/1 นาที อุณหภูมิของ ion source ในเครื่อง MS อยู่ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ความต่างศักย์ของ electron ionization ที่ใช้ คือ -70 eV และ Mass spectra จะได้รับในช่วง 30-300 Da ด้วยเวลาสแกน 100 ms และได้มีการฉีดสารมาตรฐานแอลเคน C₈-C₂₀ (Sigma Aldrich, USA) ที่สภาวะเดียวกันกับตัวอย่างกิมจิเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ Retention time ของสารมาตรฐานแอลเคน C₈-C₂₀ กับสารตัวอย่าง

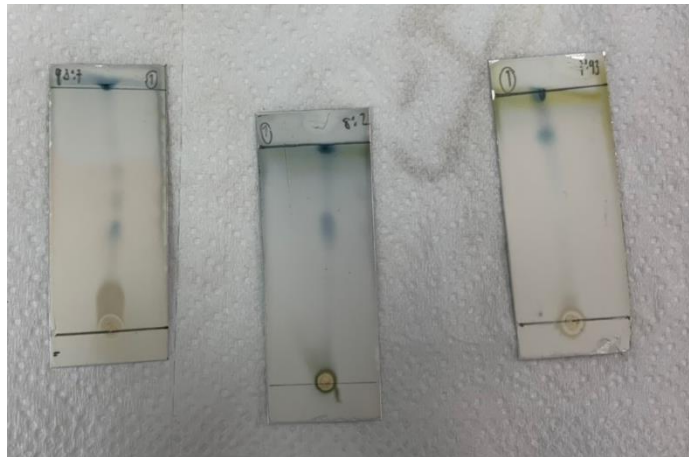
บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การประยุกต์ใช้เทคนิค TLC ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างกิมจิ

3.1.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thin-layer Chromatography (TLC)

ทำการหาภาวะที่เหมาะสมโดยการใช้ 3 อัตราส่วนเพื่อเทียบหาว่าสารและอัตราส่วนใดสามารถทำให้เกิดการแยกสารได้ดีที่สุดโดยใช้เทคนิค Thin-layer Chromatography (TLC) อัตราส่วนที่ 1 คือ Toluene : Ethyl acetate เป็น 93:7 อัตราส่วนที่ 2 คือ Toluene : Ethyl acetate เป็น 7:93 และอัตราส่วนที่ 3 คือ Ethyl acetate : Hexane เป็น 8:2 พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนที่ 1 (Toluene : Ethyl acetate เป็น 93:7) เนื่องจากสารสามารถเคลื่อนที่ได้แตกต่างกันมากที่สุด



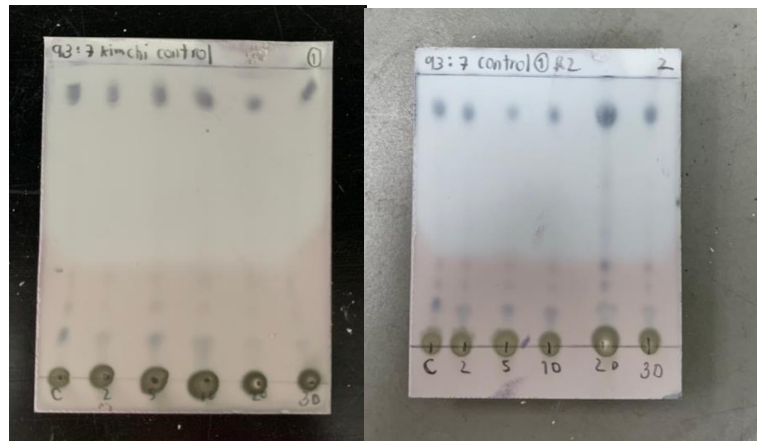
รูปที่ 3.1 แผ่น TLC แผ่นที่ 1 Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 แผ่นที่ 2 Toluene:Ethyl acetate เป็น 7:93 และแผ่นที่ 3 Ethyl acetate:Hexane เป็น 8:2

3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) กับสารตัวอย่างกิมจิ

3.2.1 การเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการใช้เทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis)

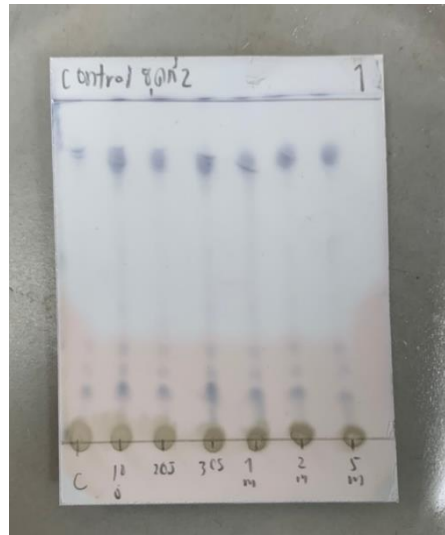
3.2.1.1 ขดลวดสปริงอิเล็กทรอนิกส์

ทำการใช้ขดลวดสปริงในการช็อตไฟฟ้า โดยใช้สารตัวอย่างกิมจิที่เป็น Control ด้วยกระแสไฟฟ้า 2 V ช็อต ทุกๆ 2, 5, 10, 20 และ 30 นาที ทำซ้ำทั้งหมด 2 ครั้ง โดยใช้ mobile phase คือ Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 จากนั้นนำแผ่น TLC ชุบ Vaniline รอจนแห้งแล้วนำแผ่นไปให้ความร้อนต่อ เมื่อสังเกตพบว่าสารมีการแยกกันเกิดขึ้นแต่ยังไม่ค่อยชัดมาก แต่ค่อนข้างชัดที่ 20 นาที



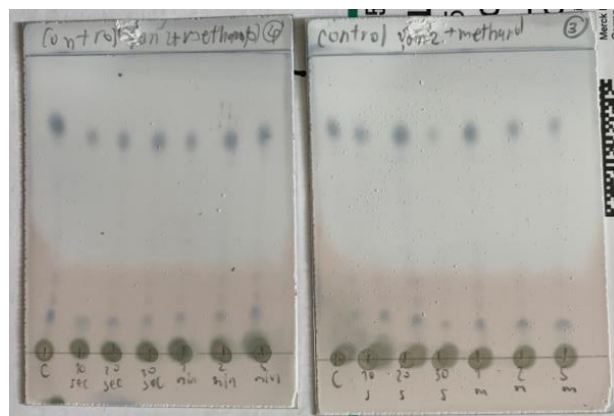
รูปที่ 3.2 แผ่น TLC Control ครั้งที่ 1 (แผ่นซ้าย) ครั้งที่ 2 (แผ่นขวา)
จับเวลาทุกๆ 2, 5, 10, 20 และ 30 นาที

เนื่องจากช่วงเวลาค่อนข้างนานไป คาดว่าสารอาจจะเกิดปฏิกิริยาก่อน จึงทำการเปลี่ยนช่วงเวลาเป็นทุกๆ 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 2 นาที และ 5 นาที โดยสารตัวอย่างกิมจิที่เป็น Control ช็อตที่กระแสไฟฟ้า 2 V และใช้ mobile phase คือ Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 จากนั้นนำแผ่น TLC ชุบ Vaniline รอจนแห้งแล้วนำแผ่นไปให้ความร้อน พบว่าสารจะแยกได้ดีที่ช่วงเวลา 30 วินาที



รูปที่ 3.3 แผ่น TLC สารตัวอย่างกิมจิ Control ช่วงเวลาเป็นทุกๆ 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 2 นาที และ 5 นาที

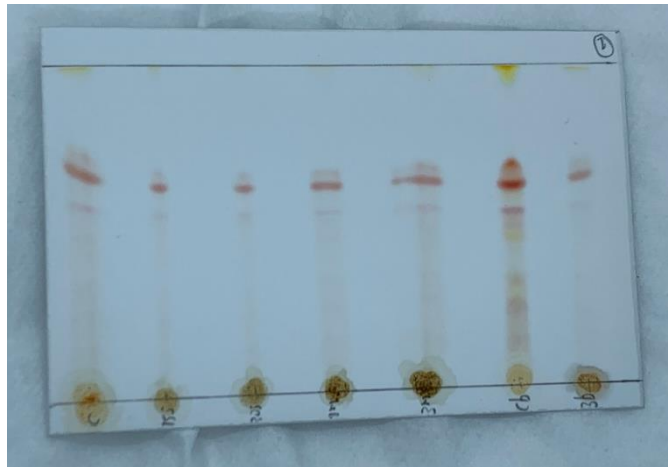
หลังจากนั้นได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้สารตัวอย่างกิมจิ Control กับ Methanol ในอัตราส่วน 50:50 แล้วนำแผ่น TLC ไปชို့ตโดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 V ชို့ต ทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30 วินาที, 1นาทื, 2นาทื และ 5นาทื ใช้ mobile phase คือ Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 จากนั้นนำแผ่น TLC ชุบ Vaniline รอจนแห้งแล้วนำแผ่นไปให้ความร้อน ทำซ้ำทั้งหมด 2 ครั้ง พบว่าการแยกของสารเห็นไม่ชัดเจน ดังนั้นวิธีนี้สามารถบอกได้ว่าการเลือกใช้ mobile phase ที่เหมาะสม Toluene:EtOAc เมื่อเปรียบเทียบกับmethanol



รูปที่ 3.4 แผ่น TLC สารตัวอย่างกิมจิ Control กับ Methanol ครั้งที่ 1 (แผ่นซ้าย) ครั้งที่ 2 (แผ่นขวา) ในช่วงเวลาทุกๆ 10 วินาที, 20 วินาที, 30 วินาที, 1 นาทื, 2 นาทื และ 5 นาทื

3.2.1.1.1 เปรียบเทียบสารตัวอย่างกิมจิ control กับ สารตัวอย่างกิมจิที่สำเร็จรูปที่ช่วงเวลาต่างๆ

นำสารตัวอย่างกิมจิแบบหมักเองและกิมจิที่ทำสำเร็จรูป โดยใช้ขั้วสปริงในการชို့ตไฟฟ้า สารตัวอย่างกิมจิแบบหมักเอง จะทำการชို့ตไฟฟ้าที่ช่วงเวลา 0 วินาที, 30 วินาที, 1 นาทื และ 3 นาทื ส่วนกิมจิที่ทำสำเร็จรูปทำการชို့ตไฟฟ้าที่ช่วงเวลา 0 วินาที และ 3 นาทื ที่ความต่างศักย์ 9 V โดยให้กระแสไฟฟ้าในช่วงค่า 1.000-0.000 A แล้วจึง spot ซ้ำที่จุด 3 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลจากการชို့ตไฟฟ้า แสดงสารประกอบทางเคมีมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.5 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ control ที่ช็อตไฟฟ้า ช่วงเวลา 0 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที และ 3 นาที และกิมจิที่ทำสำเร็จรูปทำการช็อตไฟฟ้าที่ช่วงเวลา 0 วินาที และ 3 นาที

3.2.1.2 อิเล็กโทรดแบบซ้อน

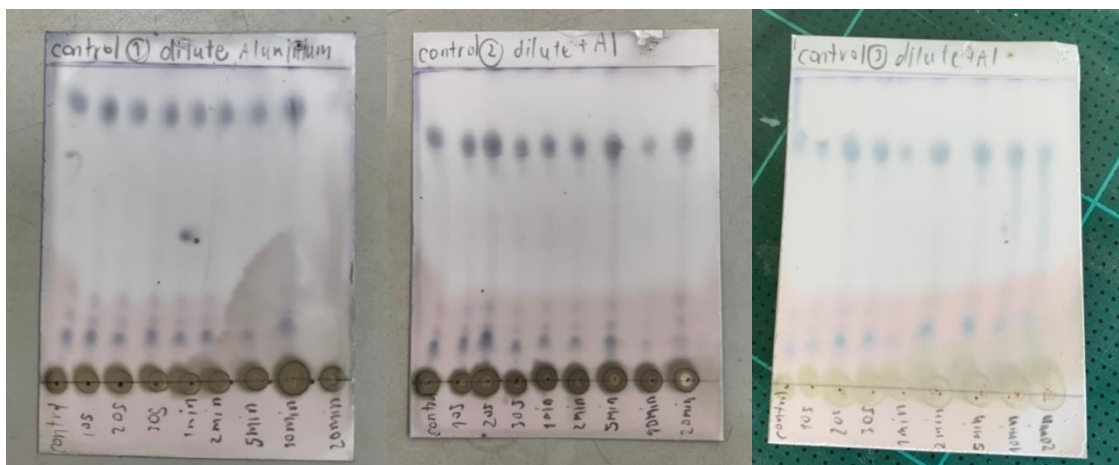
วิธีการนี้ใช้ศึกษาช่วงเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงสารจากการหมักกิมจิ โดยการใช้ซ้อนในการช็อตไฟฟ้า ใช้สารตัวอย่างกิมจิที่เป็น Control ด้วยกระแสไฟฟ้า 4V ทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 1นาที, 2นาที, 5นาที และ 10นาที โดยใช้ mobile phase คือ Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 จากนั้นนำแผ่น TLC ชุบ Vaniline รอจนแห้งแล้วนำแผ่นไปให้ความร้อนต่อ แต่เมื่อดูจากแผ่น TLC ดังรูปที่ 3.5 แสดงการแยกของสารในกิมจิไม่ชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกใช้ขั้วสปริงสามารถให้สามารถแยกสารในกิมจิได้ดีกว่าอิเล็กโทรดแบบซ้อน



รูปที่ 3.6 แผ่น TLC Control ที่ใช้ซ้อนในการช็อต จับเวลาทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 1 นาที, 2นาที, 5นาที และ 10นาที

3.2.1.3 แผ่นอะลูมิเนียมอิเล็กโทรด

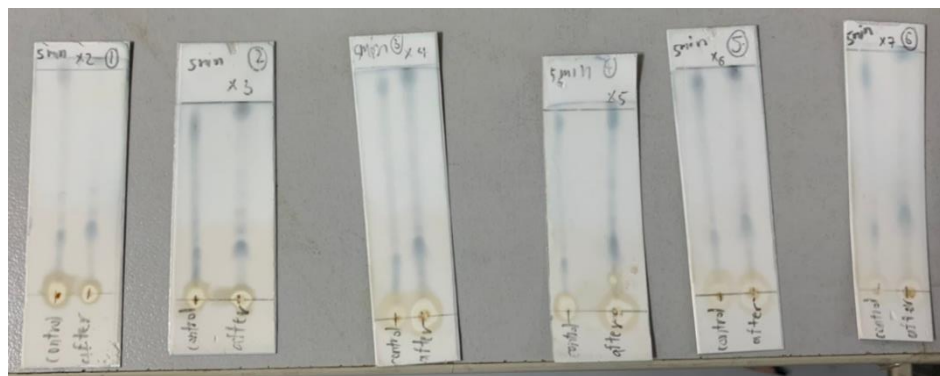
เนื่องจากสารตัวอย่างชั้นและไม่เพียงพอสอดคล้องการนำไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าไม่เกิด จึงทำการเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารตัวอย่าง โดยการใส่น้ำเพิ่ม 200 μL 3 ครั้ง รวมเป็น 600 μL และเริ่มทำการช็อตที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4V ช็อตทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 1นาที, 2นาที, 5นาที, 10นาที และ 20นาที โดยใช้ mobile phase คือ Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 จากนั้นนำแผ่น TLC ชุบ Vaniline รอจนแห้งแล้วนำแผ่นไปให้ความร้อนต่อทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง พบว่าที่ 5 นาทีจะเป็นเวลาที่เหมาะสมที่จะทำการช็อตมากที่สุด เพราะเกิดการแยกสารได้ชัดเจนมากที่สุด



รูปที่ 3.7 แผ่น TLC Control ที่ใช้แผ่นอะลูมิเนียมในการช็อต จับเวลาทุกๆ 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 1นาที, 2นาที, 5นาที และ 10นาที ทั้งหมด 3 ครั้ง ตามลำดับ

3.2.2 การหาจำนวนการทำซ้ำในการจุดลงบนแผ่น TLC

ในการทำการทดลองจะให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 4 V เป็นเวลา 5 นาที แตกต่างกันที่จำนวนในการซ้ำจุดบนแผ่น TLC โดยเริ่มที่ 2 ครั้ง และเพิ่มจำนวนไปถึง 7 ครั้ง ใช้ขดลวดสปริง และทำการเปรียบเทียบ Control (ไม่ผ่านการช็อต) และ After (หลังจากช็อตไปแล้ว 5 นาทีแล้ว spot) ใช้ mobile phase คือ Toluene:Ethyl acetate เป็น 93:7 จากนั้นนำแผ่น TLC ชุบ Vaniline รอจนแห้งแล้วนำแผ่นไปให้ความร้อนต่อ พบว่าจำนวนการทำซ้ำ 3 ครั้ง ต่อจุดจะสังเกตการแยกของสารได้ดีที่สุด



รูปที่ 3.8 แผ่น TLC เปรียบเทียบสารตัวอย่างในกิมจิที่เป็น Control และ After เริ่มจุดซ้ำที่ 2 ครั้ง จนถึง 7 ครั้ง ตามลำดับ

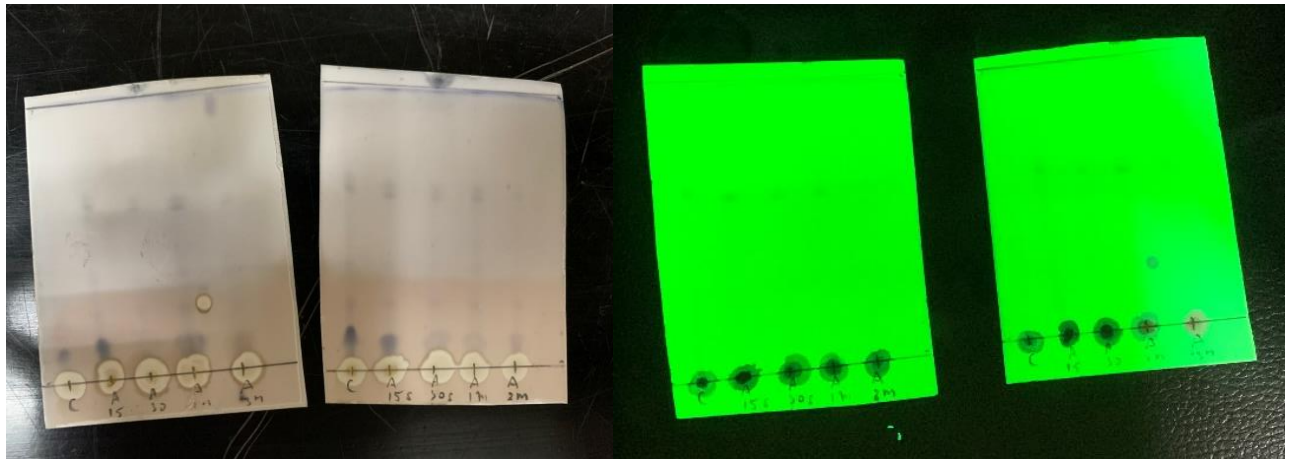
3.2.3 การศึกษาขดลวดสปริงบนแผ่น TLC

เนื่องจากใช้ขดลวดสปริงสามารถให้ผลการแยกได้ดีที่สุด จึงทำการทดลองที่ความต่างศักย์ 9 V ในส่วนของ Control จะ spot ที่จุด 3 ซ้ำ ในส่วนของ After จะนำสารตัวอย่างกิมจิไปช็อตเป็นเวลา 5 นาที ทำซ้ำ 3 รอบ (เป็น After1, After2 และ After3) แล้วจึง spot ซ้ำที่จุด 3 ครั้ง ทำทั้งหมด 2 รอบ พบว่าสารที่ได้รับ การช็อตไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือเกิดการแยกได้ดีขึ้น มีการทำซ้ำ 3 รอบสำเร็จเกิด สภาวะที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์สารตัวอย่างกิมจิ



รูปที่ 3.9 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ เปรียบเทียบ Control, After1, After2 และ After3 ความต่างศักย์ 9 V เป็นเวลา 5 นาที

ทำการทดลองที่ความต่างศักย์ 9 V ในส่วนของ Control จะ spot ที่จุด 3 ซ้ำ และนำสารตัวอย่างกิมจิ ไปชို့ตทุกๆ 15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที และ 3 นาที แล้วจึง spot ซ้ำที่จุด 3 ครั้ง ทำซ้ำอีก 1 รอบ พบว่า สารที่ได้รับการชို့ตไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือเกิดการแยกได้ดีขึ้นและเมื่อนำแผ่น TLC ไปดูภายใต้ UV ไม่พบแถบสีของสาร (ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ดังนั้นการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงเวลาชို့ตไฟฟ้าต่างๆ ทำให้ทราบว่ามีผลต่อสารตัวอย่างกิมจิเป็นอย่างมาก



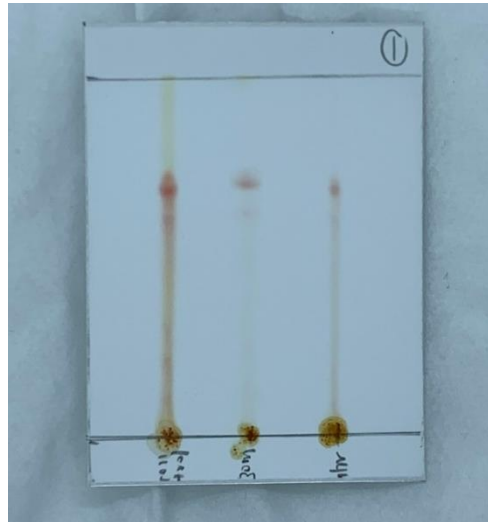
รูปที่ 3.10 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ Control และที่ช่วงเวลาทุกๆ 15 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที และ 3 นาที

3.2.4 การศึกษาแผ่นอะลูมิเนียมบนแผ่น TLC แบบ Non-Vegetable และ Vegetable ที่ช่วงเวลาต่างๆ

การใช้ขดลวดสปริงในการชို့ตไฟฟ้าสามารถให้ผลในการแยกได้ชัดเจนที่สุดก็จริง แต่ทว่าก็มีข้อเสีย คือ สปริงจะทำการชို့ตได้ไม่กี่ครั้งก็จะต้องเปลี่ยนขั้วสปริงตลอดเวลา จึงเปลี่ยนมาใช้แผ่นอะลูมิเนียมที่ทนต่อการกัดกร่อนของขั้วได้ดีมากกว่า จึงทำการศึกษาสารตัวอย่างกิมจิแบบ Non-Vegetable และ Vegetable ดังนี้

3.2.4.1 สารตัวอย่างกิมจิแบบ Non-Vegetable

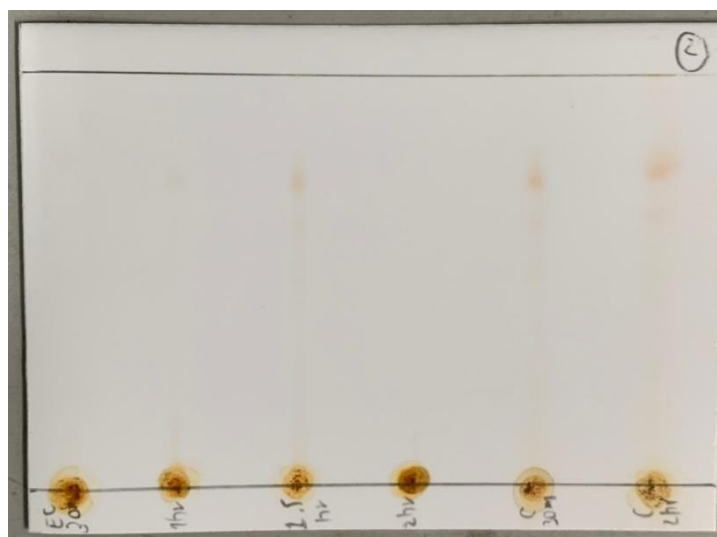
นำสารตัวอย่างทำเป็นอัตราส่วน น้ำกิมจิ : น้ำ เป็น 5mL : 2mL โดยใช้ขั้วอะลูมิเนียมไปชို့ตไฟฟ้า ที่ช่วงเวลา 0 นาที, 30 นาที และ 1 ชั่วโมง ที่ความต่างศักย์ 9 V โดยให้กระแสไฟฟ้าในช่วงค่า 1.000-0.001 A แล้วจึง spot ซ้ำที่จุด 3 ครั้ง พบว่าสารที่ผ่านการชို့ตไฟฟ้ามุ่งค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างกิมจิที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิแบบ Non-Vegetable
ที่ช่วงเวลา 0 นาที, 30 นาที และ 1 ชั่วโมง

3.2.4.2 สารตัวอย่างกิมจิแบบ Vegetable

ทำการชื้อดไฟฟ้าโดยตรง เพื่อที่จะศึกษาการหมักกิมจิระหว่างการชื้อดไฟฟ้าไปด้วย จึงทำการใส่ผักกาดขาว แครอท หัวไชเท้า ต้นหอม ด้วยอัตราส่วน 1:1:1:1 แล้วนำสารตัวอย่างทำเป็นอัตราส่วน กิมจิ : น้ำ เป็น 5mL : 2mL โดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม ไปชื้อดไฟฟ้า ที่ช่วงเวลา 0 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 1.5 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบกับสารอย่างกิมจิที่ไม่ผ่านการชื้อดที่เวลา 0 นาที และ 2 ชั่วโมง ที่ความต่างศักย์ 9 V โดยจะให้กระแสไฟฟ้าในช่วงค่า 0.060-0.000 A แล้วจึง spot ซ้ำที่จุด 3 ครั้ง พบว่าสารที่ผ่านการชื้อดไฟฟ้ามีองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างกิมจิที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ที่ 1.5 ชั่วโมง ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก จึงนำสารตัวอย่างกิมจิ 0 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์เทคนิค GC-MS ต่อไป



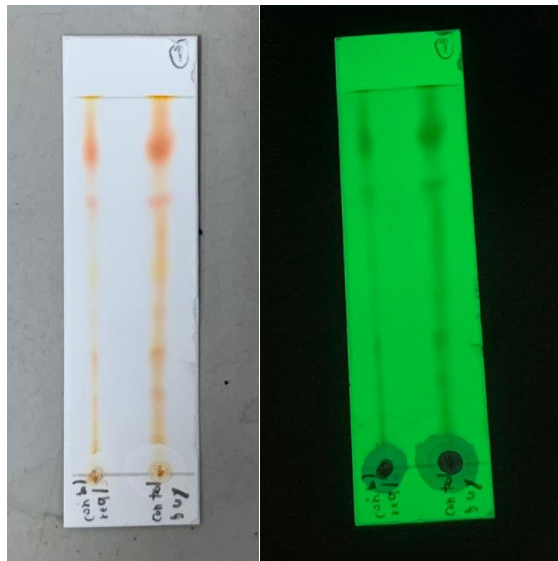
รูปที่ 3.12 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิแบบ Vegetable ที่ช่วงเวลา 0 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 1.5 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และเปรียบเทียบกับสารอย่างกิมจิที่ไม่ผ่านการชื้อดที่เวลา 0 นาที และ 2 ชั่วโมง

3.2.5 การเปรียบเทียบสารตัวอย่างกิมจิที่สำเร็จรูป (ศึกษาเพิ่มเติม)

เนื่องจากต้องการที่จะเปรียบเทียบกิมจิที่ผู้วิจัยทำเองกับกิมจิที่สำเร็จรูปแล้วว่ามีสารประกอบที่แตกต่างกันหรือไม่ จึงทำการศึกษาสารตัวอย่างกิมจิ ดังนี้

3.2.5.1 เปรียบเทียบสารตัวอย่างกิมจิ control กับ สารตัวอย่างกิมจิที่สำเร็จรูป

นำสารตัวอย่างกิมจิแบบหมักเองและกิมจิที่สำเร็จรูป นำไป spot ที่จุด 3 ซ้ำ แล้วนำไปใช้ mobile phase และนำไปส่อง UV พบว่ามีสารประกอบที่แตกต่างกันเล็กน้อย



รูปที่ 3.13 แผ่น TLC ของสารตัวอย่างกิมจิ control กับ สารตัวอย่างกิมจิที่สำเร็จรูป (รูปซ้าย) และแผ่น TLC ที่นำไปส่องเครื่อง UV (รูปขวา)

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกิมจิด้วยเทคนิค GC-MS

3.3.1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกิมจิ Control แบบ Vegetable เปรียบเทียบกับการทำไฟฟ้าเคมีที่เวลา 30 นาที, 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ด้วยเทคนิค GC-MS

ตารางที่ 3.1 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิ Control แบบ Vegetable ที่
ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS

PopKimchi-Vegetable-AIEC-Ctrl						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Unknown	2.12	-	-	-	-	-
Trimethylsilyl fluoride	3.264	429	86079	7.59	699	704
Unknown	4.095	-	-	-	-	-
Unknown	5.043	-	-	-	-	-
Unknown	5.462	-	-	-	-	-
1,2-dichloro-1-ethoxyethane	6.165	865	24013	2.12	367	400
2-propenylmethylsulfide	7.064	920	14185	1.25	588	607
Unknown	7.236	-	-	-	-	-
Unknown	8.063	-	-	-	-	-
3H-1,2-Dithiole	8.45	952	26048	2.3	523	534
Unknown	8.712	-	-	-	-	-
β -Myrcene	9.557	991	6188	0.55	485	704
Unknown	9.935	-	-	-	-	-
Eucalyptol	10.8	1032	33054	2.92	556	622
Cyclohexanone, oxime	12.507	1074	163667	14.44	473	580
Unknown	13.048	-	-	-	-	-
(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	13.299	1103	29197	2.58	713	740
4-methyl-2-Pyridinamine	13.505	1113	3791	0.33	498	686
Unknown	14.064	-	-	-	-	-
2-propenylmethyltrisulfide	14.549	1142	72427	6.39	781	813
2-Isobutyl-3-methylpyrazine	14.88	1134	3332	0.29	503	641
Citronellal	15.154	1153	3632	0.32	528	650
Unknown	15.375	-	-	-	-	-
trans-Verbenol	15.584	1144	18441	1.63	622	717
Unknown	16.015	-	-	-	-	-
Neodihydrocarveol	16.261	1192	85117	7.51	479	572
Unknown	16.511	-	-	-	-	-
2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	17.133	1206	170216	15.02	777	778
Citronellol	17.847	1228	12975	1.14	558	630
(1R,5S,6R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl acetate	18.213	1239	400929	35.37	678	679

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-ALEC-Ctrl						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Geraniol	18.73	1255	19777	1.74	623	677
(E)-3,7-dimethyl-2,6-Octadienal	19.246	1270	850203	75.01	843	846
Unknown	19.667	-	-	-	-	-
Unknown	20.018	-	-	-	-	-
Di-2-propenyltrisulfide	20.185	1297	675782	59.62	831	843
N,N-dibutylformamide	20.586	1310	7143	0.63	444	523
N-Acetyl-DL-valine, ethyl ester	21.062	1328	65939	5.82	468	533
Unknown	21.243	-	-	-	-	-
Unknown	21.505	-	-	-	-	-
N-(phenylmethylene)- 1-Butanamine	21.853	1368	3700	0.33	503	683
Unknown	21.94	-	-	-	-	-
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	21.967	1354	2132	0.19	526	633
Unknown	22.153	-	-	-	-	-
N-(phenylmethylene)- 1-Butanamine	22.357	1368	5100	0.45	484	741
Ylangene	22.701	1372	22612	2	547	598
Geranyl acetate	22.938	1382	6628	0.58	611	731
1-Ethenyl-1-methyl-2,4-bis-(1-methylethenyl)cyclohexane	23.231	1391	12710	1.12	598	641
Di-epi- α -cedrene	23.666	1400	6556	0.58	542	577
Caryophyllene	24.084	1419	13256	1.17	595	628
4-(2,6,6-trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-2-Butanone	24.375	1424	3351	0.3	462	569
β -Copaene	24.524	1432	5354	0.47	489	578
4,11,11-trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-3-ene	25.11	1460	13901	1.23	532	629
(E)- β -Famesene	25.246	1457	8335	0.74	646	774
(1R,4S,5S)-1,8-Dimethyl-4-(prop-1-en-2-yl)spiro[4.5]dec-7-ene	25.361	1471	17214	1.52	533	802
(1R,4S,5S)-1,8-Dimethyl-4-(prop-1-en-2-yl)spiro[4.5]dec-7-ene	25.816	1475	21549	1.9	551	567
1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methylbenzene	26.059	1483	445682	39.32	841	889
(1S,4aR,8aS)-1-Isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	26.454	1496	1133428	100	737	744
Benzohydroxamic acid, 2TMS derivative	26.647	1494	24886	2.2	475	496
β -Bisabolene	26.834	1509	460599	40.64	735	747

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-ALEC-Ctrl						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Unknown	27.105	-	-	-	-	-
3-((1S)-1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-1-cyclohexene	27.299	1524	413310	36.47	811	845
(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	27.52	1533	31970	2.82	713	785
Tetrasulfide, di-2-propenyl	27.701	1532	22285	1.97	444	670
(1S,2R,5R)-2-Methyl-5-((R)-6-methylhept-5-en-2-yl)bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	27.835	1543	9009	0.79	460	631
Germacrene B	28.247	1557	14461	1.28	570	602
Caryophyllene oxide	28.472	1581	6182	0.55	596	687
Unknown	29.368	-	-	-	-	-
Unknown	29.92	-	-	-	-	-
(3aR,6R,8aR)-7,7-Dimethyl-8-methylenehexahydro-1H-3a,6-methanoazulen-3(2H)-one	30.077	1605	3222	0.28	505	614
Unknown	30.274	-	-	-	-	-
Longiverbenone	30.963	1649	5819	0.51	530	666
4-(Pentafluoropropanoylamino)benzoic acid, 2TMS derivative	31.507	1651	3171	0.28	462	496
Z-11-Pentadecenal	32.665	1694	4013	0.35	621	700
Methyl tetradecanoate	32.961	1725	4603	0.41	534	684

ตารางที่ 3.2 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิหลังจากช็อคไฟฟ้า 30 นาที ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ากับแผ่นอะลูมิเนียม 9V1A แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS

PopKimchi-Vegetable-ALEC-30min						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Ethylenediamine	2.122	612	985878	20.55	573	790
Trimethylsilyl fluoride	3.441	429	101654	2.12	716	721
Unknown	5.047	-	-	-	-	-
Dimethyl Sulfoxide	5.365	824	188006	3.92	904	905
2-propenylmethyl disulfide	7.182	920	164624	3.43	753	784

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-ALEC-30min						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
(Z)-1-Methyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	7.834	932	15294	0.32	391	633
Camphene	8.082	952	5834	0.12	572	807
3H-1,2-Dithiole	8.447	952	38283	0.8	773	779
6-methyl-5-Hepten-2-one	9.563	986	24094	0.5	585	678
Unknown	9.938	-	-	-	-	-
Unknown	10.258	-	-	-	-	-
Eucalyptol	10.843	1032	102919	2.15	737	754
Unknown	11.197	-	-	-	-	-
Phenyloxirane	11.358	1057	2047	0.04	519	724
Unknown	11.561	-	-	-	-	-
Cyclohexanone, oxime	12.583	1074	4797114	100	420	548
Diallyl disulphide	13.048	1081	246782	5.14	621	646
(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	13.298	1103	585139	12.2	847	853
6-Methyl-3,5-heptadiene-2-one	13.518	1107	21497	0.45	523	750
(E)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propylsulfane	13.818	1118	10814	0.23	488	514
Unknown	14.081	-	-	-	-	-
2-Ketoisocaproic acid, TMS derivative	14.202	1122	1358	0.03	406	558
Unknown	14.33	-	-	-	-	-
2-propenylmethyltrisulfide	14.564	1142	351800	7.33	822	831
Camphor	14.779	1145	1303	0.03	483	646
trans-Verbenol	14.893	1144	10491	0.22	586	624
Unknown	15.02	-	-	-	-	-
Citronellal	15.166	1153	13174	0.27	664	683
Unknown	15.373	-	-	-	-	-
cis-Chrysanthenol	15.589	1162	72806	1.52	608	611
2-Mercapto-3,4-dimethyl-2,3-dihydrothiophene	15.816	1152	1986	0.04	494	774
2-((3,3-Dimethyloxiran-2-yl)methyl)-3-methylfuran	15.943	1176	18039	0.38	555	663
Terpinen-4-ol	16.023	1177	1587	0.03	457	626
Carane, 4,5-epoxy-, trans	16.209	1179	94637	1.97	570	609
α -Terpineol	16.524	1189	105793	2.21	760	835
2,6,6-Trimethyl-1,3-cyclohexadiene-1-carboxaldehyde	16.75	1201	10576	0.22	573	604
2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	17.152	1206	69362	1.45	729	731
Unknown	17.48	-	-	-	-	-
Citronellol	17.849	1228	51733	1.08	756	776

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-ALEC-30min						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Neral	18.241	1240	1353265	28.21	886	888
(1R,5S,6R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl acetate	18.623	1262	5563	0.12	558	618
(6,6-Dimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-yl)methyl acetate	18.731	1254	90488	1.89	687	708
Geraniol	18.915	1255	4255	0.09	559	665
(E)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienal	19.284	1270	2832533	59.05	860	861
(+)-cis-Verbenol, acetate	19.725	1279	4842	0.1	455	498
Unknown	19.924	-	-	-	-	-
2-Undecaneone	20.029	1294	8375	0.17	700	815
Trisulfide, di-2-propenyl	20.235	1297	3746078	78.09	875	876
1-Allyl-3-propyltrisulfane	20.594	1314	65062	1.36	778	803
Cyclonona-1,2,6-triene	20.769	1309	1461	0.03	429	555
5-Butyldihydro-2(3H)thiophenone	20.894	1312	31179	0.65	438	514
(Z)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane	21.075	1329	53833	1.12	646	759
Unknown	21.242	-	-	-	-	-
2-Amino-1-phenylethanol, TMS derivative	21.49	1340	9993	0.21	437	492
Unknown	21.607	-	-	-	-	-
α -Cubebene	21.847	1351	13057	0.27	669	726
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	21.966	1354	8631	0.18	621	674
Unknown	22.143	-	-	-	-	-
(1S,2S,3aR,4R,5S,7aS,8R)-5-Isopropyl-1,7a-dimethyloctahydro-1H-1,2,4-(epimethanetriyl)indene	22.353	1368	5984	0.12	529	623
(1S,2S,3aR,4R,5S,7aS,8R)-5-Isopropyl-1,7a-dimethyloctahydro-1H-1,2,4-(epimethanetriyl)indene	22.421	1368	1089	0.02	500	648
Ylangene	22.537	1372	1226	0.03	553	661
Copaene	22.748	1376	79762	1.66	585	666
Geranyl acetate	22.943	1382	20204	0.42	716	750
4-Isopropyl-7-methyl-3-methyleneoctahydro-1H-cyclopenta[2,3]cyclopropa[1,2-a]benzene	23.158	1389	1304	0.03	669	788
1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(prop-1-en-2-yl)cyclohexane	23.232	1391	35389	0.74	657	686
2-ethylidene-6-methyl-3,5-heptadienal	23.347	1395	1491	0.03	532	636

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-ALEC-30min						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Unknown	23.558	-	-	-	-	-
(1R,5R)-2-Methyl-5-((R)-6-methylhept-5-en-2-yl)bicyclo[3.1.0]hex-2-ene	23.663	1402	19447	0.41	674	801
1-(1-(Methylthio)propyl)-2-propyldisulfane	23.857	1431	2676	0.06	660	761
3-Methoxycyclohexanecarboxylic acid (isomer 1)	23.95	1411	5045	0.11	443	468
Caryophyllene	24.084	1419	67175	1.4	748	823
Unknown	24.327	-	-	-	-	-
Erucin	24.484	1437	18443	0.38	585	743
trans-Raphasatin	24.605	1442	56584	1.18	649	783
4-(2,6,6-Trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-2-butanone	24.94	1433	4680	0.1	473	503
(E)-6,10-Dimethylundeca-5,9-dien-2-one	25.103	1453	18862	0.39	638	667
(E)- β -Farnesene	25.24	1457	23502	0.49	682	772
4,11,11-trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-3-ene	25.368	1460	20480	0.43	552	623
1,4,6-Trimethyl-1,2,3,3a,4,7,8,8a-octahydro-4,7-ethanoazulene	25.554	1460	2542	0.05	540	680
4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-methylenebicyclo[4.1.0]heptane	25.683	1455	1237	0.03	468	499
(2S,4aR,8aR)-4a,8-Dimethyl-2-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	25.816	1494	30353	0.63	522	726
1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)cyclohexa-1,3-diene	25.96	1480	13141	0.27	629	726
1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methylbenzene	26.061	1483	813406	16.96	833	884
Unknown	26.279	-	-	-	-	-
5-(1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-2-methyl-1,3-cyclohexadiene	26.456	1495	1538468	32.07	845	854
Unknown	26.651	-	-	-	-	-
Unknown	26.74	-	-	-	-	-
β -Bisabolene	26.837	1509	810034	16.89	811	817
(1R,4aS,8aS)-1-Isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	26.934	1513	16206	0.34	662	701
Unknown	27.103	-	-	-	-	-

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-ALEC-30min						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
3-((1S)-1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-1-cyclohexene	27.305	1524	682352	14.22	871	903
4,5,7,7a-Tetrahydro-4,4,7a-trimethyl-2(6H)benzofuranone	27.391	1532	2273	0.05	549	663
(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	27.525	1533	85918	1.79	747	811
Di-2-propenyltetrasulfide	27.703	1532	128969	2.69	637	752
Crotamiton	27.834	1550	5782	0.12	442	479
Unknown	27.921	-	-	-	-	-
(1S,2S,4R)-(-)- α,α -dimethyl-1-vinyl-o-menth-8-ene-4-methanol	28.062	1549	11810	0.25	551	722
β -Germacrene	28.251	1557	16238	0.34	550	556
Ledol	28.474	1565	31558	0.66	596	645
Unknown	28.806	-	-	-	-	-
6-Ethyl-4,5,7-trithia-2,8-decadiene	29.006	1603	2502	0.05	445	689
Unknown	29.147	-	-	-	-	-
trans-Sesquisabinene hydrate	29.247	1581	5338	0.11	567	733
6-Methyl-4,5,8-trithia-1,10-undecadiene	29.36	1597	7523	0.16	554	688
(5S,6R,7S,10R)-7-Isopropyl-2,10-dimethylspiro[4.5]dec-1-en-6-ol	29.454	1586	842	0.02	517	619
6-(1-Hydroxymethylvinyl)-4,8a-dimethyl-3,5,6,7,8,8a-hexahydro-1H-naphthalen-2-one	29.71	1909	2733	0.06	542	578
Caryophylla-4(12),8(13)-dien-5 α -ol	29.922	1637	13750	0.29	561	616
Unknown	30.125	-	-	-	-	-
Unknown	30.284	-	-	-	-	-
Unknown	30.408	-	-	-	-	-
13-nor-Eremophil-1(10)-en-11-one	30.711	1629	2884	0.06	490	594
2-tert-Butyl-6-methyl-phenol mesylate	30.948	1665	7530	0.16	526	562
Unknown	31.067	-	-	-	-	-
11,11-Dimethyl-4,8-dimethylenebicyclo[7.2.0]undecan-3-ol	31.176	1646	1466	0.03	490	595
Unknown	31.425	-	-	-	-	-
Unknown	32	-	-	-	-	-
Pentadecanal	32.662	1715	5044	0.11	632	820

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-30min						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Methyl tetradecanoate	32.958	1725	8681	0.18	565	737
β -Nootkatol	33.059	1712	6128	0.13	557	661
Unknown	33.905	-	-	-	-	-
4-Aminobenzoic acid, 2TMS derivative	35.736	1848	848	0.02	430	479
Unknown	37.14	-	-	-	-	-
Methyl tetradecanoate	38.099	1725	8561	0.18	573	727

ตารางที่ 3.3 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิหลังจากช็อคไฟฟ้า 1 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ากับแผ่นอะลูมิเนียม 9V1A แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS

PopKimchi-Vegetable-AIEC-1hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
(\pm)-2,5-Dimethoxy-4-Iodoamphetamine	1.214	1956	7975	1.84	501	596
sec-Butylamine	2.095	493	63849	14.76	584	848
Trimethylsilyl fluoride	3.271	429	20426	4.72	602	626
Unknown	5.05	-	-	-	-	-
Dimethyl Sulfoxide	5.231	824	57208	13.23	862	940
Disulfide, methyl 2-propenyl	6.997	920	15784	3.65	545	573
Disulfide, methyl 2-propenyl	7.276	920	5363	1.24	483	560
(E)-1-Methyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	7.723	940	2728	0.63	394	664
7,7-Dimethyl-2-methylenenorbornane	7.991	950	1727	0.4	497	598
Dihydro-2(3H)-thiophenone	8.436	952	4306	1	454	575
Unknown	8.65	-	-	-	-	-
Unknown	9.941	-	-	-	-	-
3-Carene	10.755	1011	14572	3.37	522	622
Cyclohexanone, oxime	12.47	1074	174018	40.23	447	554
Diallyl disulphide	12.979	1081	30577	7.07	539	587
(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	13.234	1103	39282	9.08	717	725
Unknown	13.472	-	-	-	-	-
Unknown	13.765	-	-	-	-	-
Unknown	14.055	-	-	-	-	-
Methyl 2-propenyltrisulfide	14.527	1142	29032	6.71	665	681

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-1hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Unknown	15.373	-	-	-	-	-
Unknown	15.582	-	-	-	-	-
Unknown	15.912	-	-	-	-	-
2-Caren-4-ol	16.233	1181	7585	1.75	452	545
α -Terpineol	16.502	1189	5465	1.26	568	662
2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	17.132	1206	10749	2.49	562	585
Unknown	17.828	-	-	-	-	-
Neral	18.192	1240	85914	19.86	778	827
Linalyl acetate	18.738	1257	4162	0.96	566	677
(E)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienal	19.208	1270	167943	38.83	784	846
Di-2-propenyltrisulfide	20.157	1297	184648	42.69	831	861
1-Allyl-3-propyltrisulfane	20.578	1314	9482	2.19	547	719
(Z)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane	21.071	1329	15576	3.6	590	699
Unknown	21.244	-	-	-	-	-
Unknown	21.964	-	-	-	-	-
4-Chloro-2,3,5-trimethylphenol, trifluoroacetate	22.145	1332	4112	0.95	468	504
Ylangene	22.741	1372	5269	1.22	469	554
Geranyl acetate	22.93	1382	1182	0.27	400	619
Unknown	23.239	-	-	-	-	-
Ylangene	23.672	1372	608	0.14	462	632
Unknown	24.074	-	-	-	-	-
Unknown	24.662	-	-	-	-	-
Unknown	25.096	-	-	-	-	-
Unknown	25.242	-	-	-	-	-
Unknown	25.358	-	-	-	-	-
3,7,7-Trimethyl-11-methylenespiro[5.5]undec-2-ene	25.828	1476	1489	0.34	477	571
Unknown	25.954	-	-	-	-	-
1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methylbenzene	26.053	1483	36610	8.46	651	753
5-(1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-2-methyl-1,3-cyclohexadiene	26.437	1495	87404	20.21	757	827
Unknown	26.646	-	-	-	-	-
α -Farnesene	26.83	1508	37006	8.56	738	788
(R)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)cyclohexa-1,4-diene	26.925	1514	882	0.2	512	704
Unknown	27.089	-	-	-	-	-

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-1hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
3-((1S)-1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-1-cyclohexene	27.286	1524	38065	8.8	700	730
Guaia-9,11-diene	27.521	1521	1160	0.27	443	535
Di-2-propenyltetrasulfide	27.689	1532	10683	2.47	508	661
Unknown	27.913	-	-	-	-	-
Unknown	28.077	-	-	-	-	-
(1S,2R,5R)-2-Methyl-5-((R)-6-methylhept-5-en-2-yl)bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	28.242	1543	1542	0.36	499	665
Caryophyllene oxide	28.482	1581	1839	0.43	476	656
Unknown	29.382	-	-	-	-	-
Unknown	30.083	-	-	-	-	-
Unknown	30.27	-	-	-	-	-
Unknown	30.952	-	-	-	-	-
Unknown	31.519	-	-	-	-	-
Unknown	32.01	-	-	-	-	-
Unknown	32.68	-	-	-	-	-
Unknown	32.952	-	-	-	-	-
Unknown	33.076	-	-	-	-	-
Hexadecanoic acid, methyl ester	38.108	1926	4700	1.09	514	670

ตารางที่ 3.4 กลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิหลังจากช็อคไฟฟ้า 2 ชั่วโมง ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้ากับแผ่นอะลูมิเนียม 9V1A แบบ Vegetable ที่ตรวจพบจากเทคนิค GC-MS

PopKimchi-Vegetable-AIEC-2hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Ethylenediamine	1.958	612	1022515	5.22	663	758
Trimethylsilyl fluoride	3.456	429	25805	0.13	563	671
Unknown	5.05	-	-	-	-	-
Dimethyl Sulfoxide	5.316	824	3155732	16.11	934	938
2-propenylmethyl disulfide	7.154	920	758592	3.87	839	842
Methylpropyl disulfide	7.635	932	34598	0.18	613	644
(Z)-1-Methyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	7.85	932	29026	0.15	644	670

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-2hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
2,2-dimethyl-5-methylidenebicyclo[2.2.1]heptane	8.129	940	32321	0.17	687	727
3H-1,2-Dithiole	8.457	952	75646	0.39	814	819
Dimethyl trisulfide	8.772	970	24477	0.12	493	696
6-Methyl-5-hepten-2-one	9.407	986	175227	0.89	795	816
Unknown	9.938	-	-	-	-	-
Eucalyptol	10.837	1032	523277	2.67	800	807
Diallyl disulphide	12.644	1081	19586124	100	929	929
3-Methyl-6-(1-methylethylidene)-cyclohexene	12.895	1086	5070	0.03	615	849
Diallyl disulphide	13.056	1081	1274683	6.51	571	601
(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	13.309	1103	1346262	6.87	843	855
Dipropyldisulfide	13.524	1107	111066	0.57	576	720
(E)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propyldisulfane	13.821	1118	66487	0.34	614	622
Unknown	14.066	-	-	-	-	-
2-propenylmethytrisulfide	14.576	1142	635439	3.24	874	882
1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-one	14.879	1142	28126	0.14	656	686
methylpropyltrisulfide	15.016	1150	30790	0.16	478	755
3,7-Dimethyl-6-octenal	15.167	1152	37228	0.19	763	830
Unknown	15.366	-	-	-	-	-
cis-Chrysanthenol	15.588	1162	244329	1.25	672	673
2-((3,3-Dimethyloxiran-2-yl)methyl)-3-methylfuran	15.938	1176	77094	0.39	559	656
Spiro[4.5]decan-2-one	16.21	1180	190850	0.97	629	662
α -Terpineol	16.527	1189	282753	1.44	863	881
2,6,6-Trimethylcyclohexa-1,3-dienecarbaldehyde	16.753	1201	23841	0.12	599	617
Decanal	17.017	1206	6482	0.03	605	695
2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	17.143	1206	87364	0.45	767	771
4,5-dimethyl-2-(2-methylpropyl) Thiazole	17.377	1220	98297	0.5	473	511
Citronellol	17.855	1228	243781	1.24	868	885
Neral	18.247	1240	1892929	9.66	887	889
(1R,5S,6R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl acetate	18.622	1262	25869	0.13	591	616
Geraniol	18.748	1255	560736	2.86	897	899
(Z)-3,7-dimethyl-3,6-Octadien-1-ol	18.913	1240	3384	0.02	522	612
(E)-3,7-Dimethylocta-2,6-dienal	19.284	1270	3048882	15.57	882	882

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-2hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
Bornyl acetate	19.724	1285	11036	0.06	569	660
Unknown	19.926	-	-	-	-	-
2-Undecanone	20.03	1294	19566	0.1	718	796
Trisulfide, di-2-propenyl	20.243	1297	5592849	28.56	892	893
1-Allyl-3-propyltrisulfane	20.608	1314	464112	2.37	867	878
5-Butyldihydro-2(3H)thiophenone	20.895	1312	49516	0.25	416	487
(Z)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane	21.07	1329	111949	0.57	603	751
Unknown	21.242	-	-	-	-	-
(±)-Phenylpropanolamine, trimethylsilyl ether	21.499	1358	16553	0.08	464	493
α-Cubebene	21.855	1351	11202	0.06	511	549
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	21.962	1354	16649	0.09	746	861
Unknown	22.146	-	-	-	-	-
(1S,2S,3aR,4R,5S,7aS,8R)-5-Isopropyl-1,7a-dimethyloctahydro-1H-1,2,4-(epimethanetriyl)indene	22.346	1368	24148	0.12	601	679
Isoledene	22.699	1375	106554	0.54	664	696
Geranyl acetate	22.942	1382	75290	0.38	801	843
1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(prop-1-en-2-yl)cyclohexane	23.233	1391	112716	0.58	656	694
(1R,5R)-2-Methyl-5-((R)-6-methylhept-5-en-2-yl)bicyclo[3.1.0]hex-2-ene	23.66	1402	40474	0.21	691	887
1-(1-(Methylthio)propyl)-2-propyldisulfane	23.85	1431	14608	0.07	541	784
Caryophyllene	24.085	1419	64598	0.33	678	767
4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexenyl)but-3-en-2-yl acetate	24.319	1428	14061	0.07	542	572
γ-Elemene	24.571	1434	27420	0.14	576	763
trans-Raphasatin	24.615	1442	165945	0.85	789	826
cis-β-Farnesene	24.815	1444	10090	0.05	528	775
1,1,4,7-Tetramethyl-1a,2,3,4,6,7,7a,7b-octahydro-1H-cyclopropa[e]azulene	24.933	1447	7119	0.04	507	524
(E)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one	25.105	1453	29690	0.15	661	738
(E)-β-Farnesene	25.24	1457	60785	0.31	707	802
4,11,11-trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-3-ene	25.371	1460	41860	0.21	616	697
1,4,6-Trimethyl-1,2,3,3a,4,7,8,8a-octahydro-4,7-ethanoazulene	25.568	1460	7080	0.04	473	601

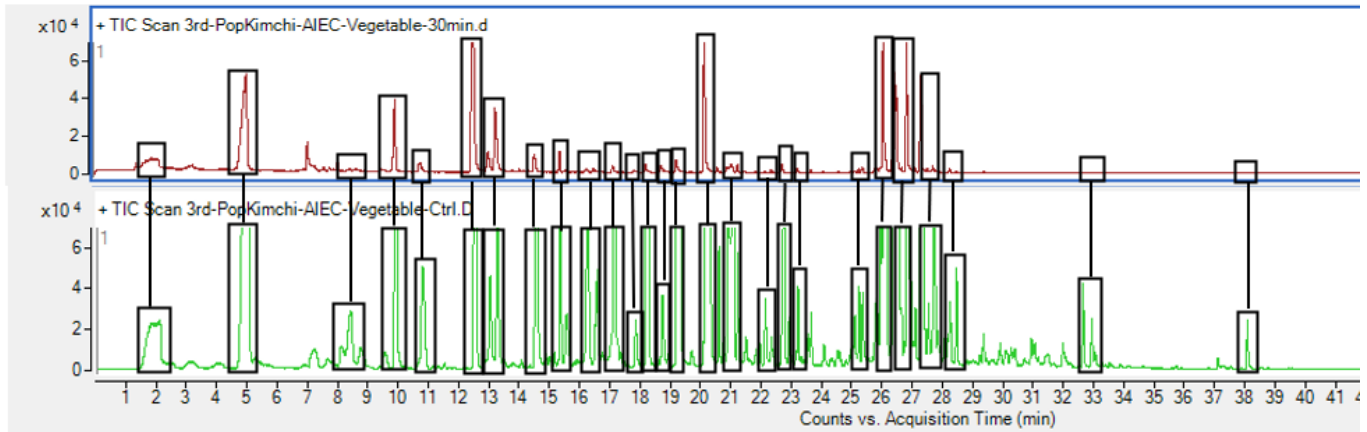
(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-2hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
(R)-3,7,7-Trimethyl-11-methylenespiro[5.5]undec-2-ene	25.811	1476	55317	0.28	559	560
1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methylbenzene	26.067	1483	1760648	8.99	865	918
1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)naphthalene	26.289	1485	2892	0.01	577	672
[S-(R*,S*)]-5-(1,5-dimethylhexen-4-yl)-2-methyl-1,3-cyclohexa-1,3-diene	26.469	1495	4059682	20.73	876	880
Unknown	26.778	-	-	-	-	-
β -Bisabolene	26.843	1509	1851049	9.45	828	830
(1S-(1 α ,4 α ,4 α ,6 α ,8 β))-decahydro-4-isopropyl-1,6-dimethyl-naphthalene (γ -cadinene)	26.938	1513	26549	0.14	699	722
(2S,4aR,8aR)-4a,8-Dimethyl-2-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	27.105	1517	34565	0.18	650	752
3-((1S)-1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-1-cyclohexene	27.311	1524	1328689	6.78	897	921
5,6,7,7a-tetrahydro-4,4,7a-trimethylbenzofuran-2(4H)-one	27.396	1532	6791	0.03	548	626
(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	27.524	1533	92989	0.47	791	842
Tetrasulfide, di-2-propenyl	27.705	1532	99241	0.51	652	779
5-(2,3-Dimethyltricyclo[2.2.1.0 ^{2,6}]heptan-3-yl)pentan-2-one	27.828	1523	5683	0.03	496	601
Unknown	27.914	-	-	-	-	-
1R,1 α ,3 α ,4 β -4-Ethenyl- α , α ,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)cyclohexanemethanol	28.068	1549	23056	0.12	612	730
3,7,11-Trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-ol	28.18	1564	2470	0.01	536	618
(1E,5E)-1,5-Dimethyl-8-(propan-2-ylidene)cyclodeca-1,5-diene	28.252	1557	23948	0.12	638	646
Ledol	28.476	1565	42660	0.22	630	649
N-acetyl-fenfluramine	28.806	1588	3576	0.02	484	549
10-Oxapentacyclo[6.3.1.1(3,6).0(2,7).0(9,11)]tridecane	29.013	1574	2281	0.01	455	658
(1R,2R,4S,6S,7S,8S)-8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0 ^{2,7}]decan-4-ol	29.238	1586	11513	0.06	595	647

(ต่อ)

PopKimchi-Vegetable-AIEC-2hr						
Name	Time	Retention Index	Area	Area%	Match	R Match
		literature				
N-Acetyl-S-ethyl-L-cysteine, ethyl ester	29.369	1599	13021	0.07	457	505
(1R,2R,4S,6S,7S,8S)-8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0 ^{2,7}]decan-4-ol	29.693	1586	4922	0.03	495	636
Caryophyllene oxide	29.919	1581	21361	0.11	592	625
N-(phenylmethylene)- Cyclohexanamine	30.119	1658	20286	0.1	483	556
Unknown	30.283	-	-	-	-	-
Isospathulenol	30.406	1638	9958	0.05	505	519
(1R,4S,4aR,8aS)-4-Isopropyl-1,6-dimethyl-1,2,3,4,4a,7,8,8a-octahydronaphthalen-1-ol	30.727	1645	3021	0.02	483	583
Decahydro- α,α ,4a-trimethyl-8-methylene-2-naphthalenemethanol	30.951	1649	6984	0.04	596	700
1,4-Dimethyl-7-(prop-1-en-2-yl)decahydroazulen-4-ol	31.07	1655	9698	0.05	505	608
1,4-Dimethyl-7-(prop-1-en-2-yl)decahydroazulen-4-ol	31.179	1655	2428	0.01	518	638
Allyl ionone 2	31.423	1679	14007	0.07	481	603
2-((2R,4aR,8aS)-4a-Methyl-8-methylenedecahydronaphthalen-2-yl)acrylaldehyde	32.003	1691	17620	0.09	573	665
Unknown	32.662	-	-	-	-	-
Methyl tetradecanoate	32.953	1725	11521	0.06	604	762
Unknown	33.067	-	-	-	-	-
(1S,3aR,4R,8R,8aS)-1-Isopropyl-3a-methyl-7-methylenedecahydro-4,8-epithioazulene	33.283	1744	3166	0.02	490	743
Ethylenediamine	33.517	1738	2660	0.01	536	632
Trimethylsilyl fluoride	34.706	1561	1712	0.01	482	607
Unknown	35.2	-	-	-	-	-
Dimethyl Sulfoxide	35.618	1903	3014	0.02	421	490
2-propenylmethyldisulfide	37.335	1889	1796	0.01	412	452
Methylpropyldisulfide	38.094	1926	9375	100	527	712
(Z)-1-Methyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	42.053	2396	1473	15.71	564	604

3.3.2 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าที่ช่วงเวลาต่างๆ



รูปที่ 3.14 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 30 นาที

จากโครมาโทแกรมเปรียบเทียบก่อนและหลังช็อคไฟฟ้า 30 นาทีจะเห็นว่าส่วนใหญ่สารระเหยจะมีปริมาณที่ลดลง เช่น Retention time นาทีที่ 18 สาร Citronellol, นาทีที่ 21 สาร Di-2-propenyltrisulfide นาทีที่ 25.5 สาร (*E*)- β -Farnesene มีปริมาณลดลง และจะมีสารเดิมที่เปลี่ยนเป็นสารตัวใหม่ เช่น Retention time นาทีที่ 8.5 สาร β -Myrcene เปลี่ยนเป็น สาร 3H-1,2-Dithiole อาจเป็นเพราะว่ากระบวนการหมักกิมจิยังใช้เวลาที่ไม่เพียงพอต่อการหมัก

ตารางที่ 3.5 การเปรียบเทียบกลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 30 นาที

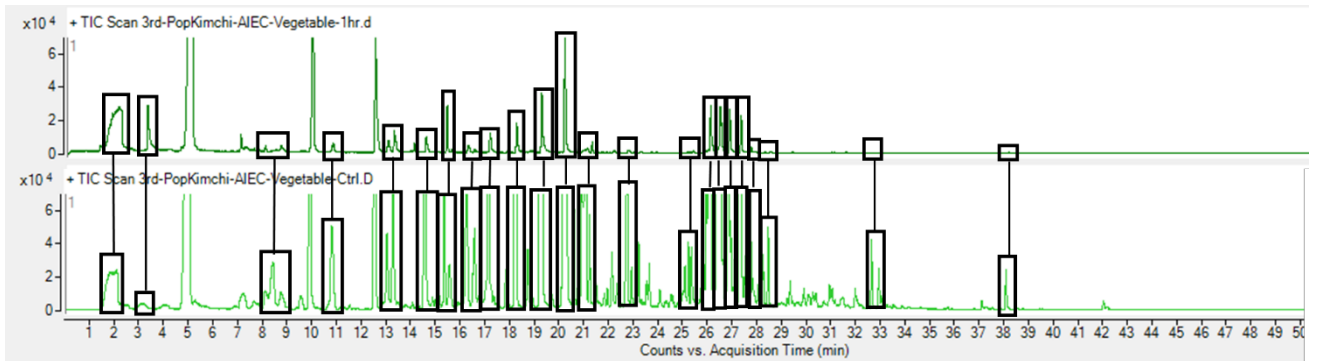
Control				After AI-EC 30 minutes				
Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	
1	2-Undecanone 2,4-dinitrophenylhydrazone	47.39	2988	fruity	Ethylenediamine	20.55	612	Ammonia-like
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	β -Myrcene	0.55	991	spicy	3H-1,2-Dithiole	0.8	952	cooked asparagus
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Eucalyptol	2.92	1032	herbal	Eucalyptol	2.15	1032	herbal
6	Cyclohexanone, oxime	14.44	1074	minty acetone	Cyclohexanone, oxime	100	1074	minty acetone

(ต่อ)

Control				After AI-EC 30 minutes				
Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	
7	(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	2.58	1103	sulfurous alliaceous	Diallyl disulphide	5.14	1081	garlic oil
8	2-propenylmethyl trisulfide	6.39	1142	alliaceous creamy garlic onion	Camphor	0.03	1145	strong mothball-like
9	trans-Verbenol	1.63	1144	balsamic	cis-Chrysanthenol	1.52	1162	spicy
10	(1R,2S,5S)-neodihydrocarveol	7.51	1192	-	α -Terpineol	2.21	1189	pine terpene lilac citrus woody floral
11	2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	15.02	1206	soft-necked garlics	2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	1.45	1206	soft-necked garlics
12	Citronellol	032	1153	floral	Citronellol	1.08	1228	floral
13	(1S,5R,6R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl acetate	35.37	1239	-	Neral	28.21	1240	citrus
14	Geraniol	1.74	1255	floral	(1R,5S,6R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl acetate	0.12	1262	-
15	(E)-3,7-Dimethylocta-2,6-dienal	75.01	1270	citrus	(E)-3,7-Dimethylocta-2,6-dienal	59.05	1270	citrus
16	Di-2-propenyl trisulfide	59.62	1297	sulfurous	Di-2-propenyl trisulfide	78.09	1297	sulfurous
17	N-Acetyl-DL-valine, ethyl ester	5.82	1328	sweet	(Z)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane	1.12	1329	sulfurous
18	1-Butanamine, N-(phenylmethylene) -	0.33	1368	ammoniacal	-	-	-	-
19	Ylangene	2.00	1372	sesquiterpenoids	Copaene	1.66	1376	woody

(ต่อ)

	Control				After AI-EC 30 minutes			
	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description
20	[1S-(1 α ,2 β ,4 β)]-1-Methyl-2,4-bis(methylvinyl)-1-vinylcyclohexane	1.12	1391	herbal	β -Cubebene	0.03	1389	-
21	(E)- β -Famesene	0.74	1457	woody	(E)- β -Famesene	0.49	1457	woody
22	1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)benzene	39.32	1483	monoterpenoids	1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)benzene	16.96	1483	monoterpenoids
23	Benzohydroxamic acid, 2TMS derivative	2.2	1494	-	β -Bisabolene	16.89	1509	balsamic
24	Tetrasulfide, di-2-propenyl	1.97	1532	sulfurous	(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	1.79	1533	fruity
25	Caryophyllene oxide	0.55	1581	woody	Ledol	0.66	1565	woody
26	Methyl tetradecanoate	0.41	1725	waxy	β -Nootkatol	0.13	1712	citrus
27	-	-	-	-	Methyl tetradecanoate	0.18	1725	waxy



รูปที่ 3.15 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 1 ชั่วโมง

จากโครมาโทแกรมเปรียบเทียบก่อนและหลังช็อคไฟฟ้า 1 ชั่วโมง จะเห็นว่ามีทั้งสารระเหยที่มีปริมาณลดลง, เพิ่มขึ้น และเกิดสารใหม่ ทางด้านของสารที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ Retention time นาทีที่ 3 สาร Trimethylsilyl fluoride สารระเหยที่มีปริมาณลดลง เช่น Retention time นาทีที่ 13 สาร (*E*)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane, Retention time นาทีที่ 17 สาร 2-Vinyl-4H-1,3-dithiine และ Retention time นาทีที่ 19.3 สาร (*E*)-3,7-dimethyl 2,6-Octadienal และสารเดิมที่เปลี่ยนเป็นสารใหม่ เช่น Retention time นาทีที่ 10.8 สาร Eucalyptol เปลี่ยนเป็นสาร 3-Carene และ Retention time นาทีที่ 27 สาร β -Bisabolene เปลี่ยนเป็นสาร (R)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)cyclohexa-1,4-diene

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบกลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังช็อคไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 1 ชั่วโมง

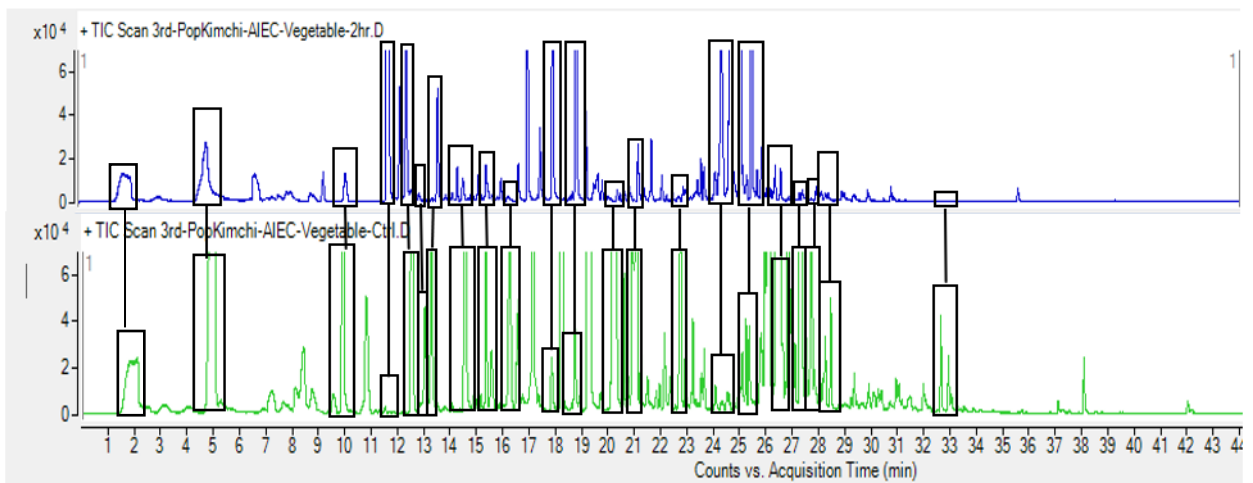
	Control			After Al-EC 1 hour				
	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description
1	2-Undecanone 2,4-dinitrophenylhydrazide	47.39	2988	fruity	sec-Butylamine	14.76	493	fishy ammonia
2	Trimethylsilyl fluoride	7.59	429	pungent irritating	Trimethylsilyl fluoride	4.72	429	pungent irritating
3	3H-1,2-Dithiole	2.3	952	cooked asparagus	Dihydro-2(3H)-thiophenone	1.00	952	Burnt garlic aroma
4	Eucalyptol	2.92	1032	herbal	3-Carene	3.37	1011	citrus
5	(<i>E</i>)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	2.58	1103	sulfurous alliaceous	(<i>E</i>)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	9.08	1096	sulfurous alliaceous
6	Trisulfide, methyl 2-propenyl	6.39	1142	alliaceous creamy garlic onion	Trisulfide, methyl 2-propenyl	6.71	1142	alliaceous creamy garlic onion

(ต่อ)

	Control			After AI-EC 1 hour				
	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description
7	l-Proline, n-heptafluorobutyryl-, ethyl ester	4.76	1344	waxy	-	-	-	-
8	(1R,2S,5S)-neodihydrocarveol	7.51	1192	-	2-Caren-4-ol	1.75	1181	-
9	2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	15.02	1206	soft-necked garlics	2-Vinyl-4H-1,3-dithiine	2.49	1206	soft-necked garlics
10	(1S,5R,6R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl acetate	35.37	1239	-	Neral	19.86	1240	citrus
11	(E)-3,7-dimethyl 2,6-Octadienal	75.01	1270	citrus	(E)-3,7-dimethyl 2,6-Octadienal	38.83	1270	lemon-like
12	Di-2-propenyltrisulfide	59.62	1297	sulfurous	Di-2-propenyltrisulfide	42.69	1297	sulfurous
13	N-Acetyl-DL-valine, ethyl ester	5.82	1328	sweet	(Z)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane	3.6	1329	sulfurous
14	Ylangene	2.00	1372	sesquiterpenoids	Ylangene	1.22	1376	sesquiterpenoids
15	(E)- β -Farnesene	0.74	1457	woody	-	-	-	-
16	1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)benzene	39.32	1483	monoterpenoids	1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)benzene	8.46	1483	monoterpenoids
17	Benzohydroxamic acid, 2TMS derivative	2.2	1494	-	[S-(R*,S*)]-1,3-Cyclohexadiene, 5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-2-methyl	20.21	1495	spicy
18	β -Bisabolene	40.64	1509	balsamic	(R)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-yl)cyclohexa-1,4-diene	0.2	1514	-
19	(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	2.82	1533	fruity	Guaia-9,11-diene	0.27	1533	woody

(ต่อ)

	Control			After AI-EC 1 hour				
	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description
20	(1S,2R,5R)-2-Methyl-5-((R)-6-methylhept-5-en-2-yl)bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	0.79	1543	herbal	-	-	-	-
21	Caryophyllene oxide	0.55	1581	woody	Caryophyllene oxide	0.43	1581	woody
22	Methyl tetradecanoate	0.41	1725	waxy	-	-	-	-
23	-	-	-	-	Hexadecanoic acid, methyl ester	1.09	1926	waxy



รูปที่ 3.16 การเปรียบเทียบโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังช็อตไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 2 ชั่วโมง

จากโครมาโทแกรมเปรียบเทียบก่อนและหลังช็อตไฟฟ้า 2 ชั่วโมง จะเห็นว่า มีทั้งสารระเหยที่มีปริมาณลดลง, เพิ่มขึ้น และเกิดสารใหม่ สารที่มีปริมาณลดลง ได้แก่ Retention time นาทีที่ 13.2 สาร (*E*)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane และ นาทีที่ 14.5 สาร 2-propenylmethyltrisulfide สารที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ Retention time นาทีที่ 18.5 สาร Geraniol และสารที่เกิดเป็นสารใหม่ ได้แก่ Retention time นาทีที่ 15.5 สาร trans-Verbenol เปลี่ยนเป็น สาร cis-Chrysanthenol และ Retention time นาทีที่ 21 สาร N-Acetyl-DL-valine, ethyl ester เปลี่ยนเป็น สาร (*Z*)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบกลุ่มสารระเหยที่สนใจและให้กลิ่นหลักในสารตัวอย่างกิมจิก่อนและหลังซัอดไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (electrolysis) ไป 2 ชั่วโมง

	Control			After AL-EC 2 hours				
	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description
1	2-Undecanone 2,4-dinitrophenylhydrazone	47.39	2988	fruity	Ethylenediamine	5.22	612	Ammonia-like
2	N-trimethylsilyl-4-tert-Butylaniline	48.53	1512	-	-	-	-	-
3	N-pentafluoropropionyl-4-tert-Butylaniline	17.27	1440	leathery	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Cyclohexanone, oxime	14.44	1074	minty acetone	Diallyl disulphide	100	1081	alliaceous
6	2-Ketoisocaproic acid, TMS derivative	1.42	1122	acidic	3-methyl-6-(1-methylethylidene)cyclohexene	0.03	1086	herbal
7	(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	2.58	1103	sulfurous alliaceous	(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane	6.87	1103	sulfurous alliaceous
8	2-propenylmethyl trisulfide	6.39	1142	alliaceous creamy garlic onion	2-propenylmethyl trisulfide	3.24	1142	alliaceous creamy garlic onion
9	trans-Verbenol	1.63	1144	balsamic	cis-Chrysanthenol	1.25	1162	-
10	(1 α ,2 β ,5 α)-2-methyl-5-(1-methylethenyl)-Cyclohexanol	7.51	1192	-	Spiro[4.5]decan-2-one	0.97	1180	woody
11	Citronellol	0.32	1153	floral	1-Allyl-3-propyltrisulfane	2.37	1314	sulfurous
12	Geraniol	1.74	1255	floral	Geraniol	2.86	1255	floral
13	Di-2-propenyltrisulfide	59.62	1297	sulfurous	Di-2-propenyltrisulfide	28.56	1297	sulfurous
14	N-Acetyl-DL-valine, ethyl ester	5.82	1328	sweet	(Z)-1-Allyl-3-(prop-1-en-1-yl)trisulfane	0.57	1329	sulfurous
15	Geranyl acetate	0.58	1382	floral	Isoledene	0.54	1375	-

(ต่อ)

	Control				After AI-EC 2 hours			
	Compound	Area%	ILit*	Odor Description	Compound	Area%	ILit*	Odor Description
16	4-(2,6,6-Trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-2-butanone	0.30	1428	floral	γ -Elemene	0.4	1434	green woody oily
17	(E)- β -Farnesene	0.74	1457	woody	1,4,6-Trimethyl-1,2,3,3a,4,7,8,8a-octahydro-4,7-ethanoazulene	0.04	1460	-
18	(1S,4aR,8aS)-1-Isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	100	1496	woody	-	-	-	-
19	(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	2.82	1533	fruity	[S-(R*,S*)]-3-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-Cyclohexene	6.78	1524	herbal
20	(1S,2R,5R)-2-Methyl-5-((R)-6-methylhept-5-en-2-yl)bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	0.79	1543	herbal	(E)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	0.47	1533	fruity
21	Caryophyllene oxide	0.55	1581	woody	3,7,11-Trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-ol	0.01	1564	floral
22	Z-11-Pentadecenal	0.35	1694	fresh waxy	-	-	-	-

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อพัฒนาวิธีการตัดแปลงรสชาติของกิมจิเพื่อให้สามารถมีรสชาติตามความต้องการของผู้ที่สนใจ ซึ่งใช้วิธี electrolysis โดยใช้แท่งอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรดผ่านสารตัวอย่างกิมจิ เพื่อตัดแปลงรสชาติ องค์ประกอบ กลิ่นของกิมจิให้มีความแตกต่างจากเดิม มีการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบการเกิดสารในแต่ละช่วงเวลาได้ และนำสารตัวอย่างกิมจิวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค TLC เพื่อที่จะศึกษาประสิทธิภาพของการแยกสาร และนำไปใช้เทคนิค HS-SPME เตรียมสารตัวอย่างเพื่อเลือกสกัดสารระเหยง่ายแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS สามารถระบุสารระเหยสารตัวอย่างกิมจีก่อนและหลัง electrolysis ที่แตกต่างกันได้ โดยมีสารระเหยง่ายที่มีปริมาณลดลง เพิ่มขึ้น และเปลี่ยนแปลงไปจากสารเดิม ได้แก่ สารที่ผ่านการช็อคไฟฟ้า 30 นาที Citronellol, Trisulfide, di-2-propenyl และ (*E*)- β -Famesene มีปริมาณลดลง และมีสารตัวใหม่คือ 3H-1,2-Dithiole สารที่ผ่านการช็อคไฟฟ้า 1 ชั่วโมง จะมี (*E*)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane, 2-Vinyl-4H-1,3-dithiine และ (*E*)-3,7-dimethyl-2,6-Octadienal ปริมาณลดลง และสารใหม่คือ 3-Carene สุดท้ายนี้สารที่ผ่านการช็อคไฟฟ้า 2 ชั่วโมง (*E*)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)disulfane, Trisulfide, methyl 2-propenyl มีปริมาณลดลง แต่ Geraniol จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และได้ cis-Chrysanthenol เป็นสารตัวใหม่

การนำเทคนิค electrolysis โดยใช้แท่งอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรดนั้น เป็นการเสนอแนวทางการย่นระยะเวลาในกระบวนการหมักกิมจิ และสามารถเปลี่ยนแปลงของสาร รสชาติและกลิ่นของกิมจิให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคโดยใช้อุปกรณ์อย่างง่ายได้ มากไปกว่านั้นทางผู้ทำวิจัยคาดว่าในอนาคตจะสามารถใช้แผ่นแพลทินัมแทนแผ่นอะลูมิเนียม เพราะแพลทินัมจะไม่กร่อนและไม่มีสารตกค้างในกิมจิ และสามารถพัฒนาไปใช้ชั้นแพลทินัมได้ เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Seong-Eun, Y. Seon-A, S. Seung-Ho, L. Kyoung-In, N. Chang-Su, S. Hong-Seok. GC-MS based metabolomics approach of Kimchi for the understanding of *Lactobacillus plantarum* fermentation characteristics. *LWT - Food Science and Technology*. 2016, 68, 313-321.
- [2] ดร. สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation). *วารสารเทคนิค*. 2551, 283, 1-10.
- [3] Laëtitia Fougère, David Da Silva, Emilie Destandau, Claire Elfakir. TLC-MALDI-TOF-MS-based identification of flavonoid compounds using an inorganic matrix. *Phytochemical Analysis*. 2019, 30, 218-225.
- [4] Ye-Seul Hwang, Ji-Su Yang, Hae-Won Lee, Ji-Hyoung Ha. Optimization and comparison of headspace hot injection and trapping, headspace solid-phase microextraction, and static headspace sampling techniques with gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of volatile compounds in kimchi. *LWT - Food Science and Technology*. 2020, 134, 110155.
- [5] WD Hur. Volatile flavor components in kimchi. *Bull Food Tech*. 1994, 7, 3-12.
- [6] Ezel Boyacı, Ángel Rodríguez-Lafuente, Krzysztof Gorzynski, Fatemeh Mirnaghi, Érica A. Souza-Silva, Dietmar Hein, Janusz Pawliszyn. Sample preparation with solid phase microextraction and exhaustive extraction approaches: Comparison for challenging cases. *Analytica Chimica Acta*. 2015, 873, 14-30.
- [7] รศ.ดร.อรอุมา ภูंपระเสริฐ, ผศ.ร.ต.อ.(ญ) มาลัย สติรพันธุ์. เทคนิคการคู่อต่อเครื่องมือวิเคราะห์ทางเภสัชศาสตร์. *บทความพื้นฟูวิชาการสำหรับการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์*. 2549, 3, 1-23.
- [8] Isaya Thaveesangsakulthai, Sumrit Wacharasindhu, Viwat Vchirawongkwin, Thumnoon Nhujak, Orawon Chailapakul, Chadin Kulsing. Development of Electrocoagulation and Detection Approaches for Manipulation of Volatile Compound Profiles in Organic Medium Supported Using Two-Phase Electrolyte System. *ChemistrySelect*. 2020, 5, 11630-11636.
- [9] Sang Hyeon Jeong, Se Hee Lee, Ji Young Jung, Eun Jin Choi, Che Ok Jeon. Microbial Succession and Metabolite Changes during Long-Term Storage of Kimchi. *Institute of Food Technologists*. 2013, 78, M763-M769.
- [10] Seong-Eun Park, Seung-Ho Seo, Eun-Ju Kim, Chang-Su Na, Hong-Seok Son. Effects of different fermentation temperatures on metabolites of Kimchi. *Food Bioscience*. 2018, 23, 100-106.

- [11] Yun-Jeong Choi, Sojin Yong, Min Jung Lee, Sung Jin Park, Ye-Rang Yun, Sung-Hee Park, Mi-Ai Lee. Changes in volatile and non-volatile compounds of model kimchi through fermentation by lactic acid bacteria. *LWT - Food Science and Technology*. 2019, 105, 118-126.
- [12] Simona Lucakova, Irena Branyikova, Sara Kovacikova, Martin Pivokonsky, Monika Filipenska, Tomas Branyik, Marek C. Ruzicka. Electrocoagulation reduces harvesting costs for microalgae. *Bioresource Technology*. 2021, 323, 124606.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาววรรณรดา จิระนนท์วุฒิ เกิดเมื่อวันที่ 20 เดือนกันยายน พ.ศ. 2541 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดกรุงเทพฯ เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 88/836 แขวงดาวคะนอง เขตธนบุรี จังหวัดกรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10600 อีเมล ji.wanrada@gmail.com