การตรวจวัดสารระเหยจากการคั่วเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องมือสำหรับตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา

Measuring of Volatile Compound from Roasting of Coffee Beans Using Portable Air Quality Device

พลาธิป คัคโนภาส[1*] และ นภัสนันท์ เขียวเขว้า[2]

[1]ภาควิชาเคมี-ฟิสิกส์ กองวิชาวิทยาศาสตร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

[2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Palathip Kakanopas[1*] and Napassanan Khiawkhwao[2]

[1]Chemistry-Physics Department Sciences Division, Academic Faculty,

Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

[2]Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University

palathip_ka@rtaf.mi.th

Received 16 January 2025

Revised 17 March 2025

Accepted 25 March 2025

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการจำหน่ายเครื่องดื่มกาแฟเกิดขึ้นทั่วประเทศไทยอย่างแพร่หลาย ทำให้เกิดการแข่งขันทางการค้าสูง ผู้ประกอบการจึงมีการลงทุนตกแต่งสถานที่ให้มีบรรยากาศที่สวยงาม มีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ราคาที่สมเหตุสมผลเพื่อดึงดูดผู้บริโภคให้มาใช้บริการ แต่อีกหนึ่งปัจจัยสำคัญคือการคั่วเมล็ดกาแฟแต่ละสายพันธุ์ให้มีกลิ่นที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่อรสชาติโดยตรง จึงมีการพัฒนากรรมวิธีมากมายในการผลิตและการคั่วเมล็ดกาแฟเพื่อให้ได้กลิ่นและรสชาติที่กลมกล่อม ซึ่งเทคนิคที่นิยมใช้วิเคราะห์กลิ่นหรือสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ได้จากการคั่วเมล็ดกาแฟ คือ แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) แต่เทคนิคดังกล่าวต้องการผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์และมีราคาแพง จึงไม่เหมาะกับผู้ประกอบการรายย่อยทั่วไป ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดสารระเหยจากการคั่วเมล็ดกาแฟ (อาราบิก้า โรบัสต้า และชี้ชะมด) ด้วยเครื่องมือสำหรับตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา เพื่อให้ผู้ประกอบการรายย่อยสามารถพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟได้ตามต้องการ โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณระหว่างเทคนิคที่ใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา และแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่ามีค่า R^2 = 0.9792

คำสำคัญ: การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย, การคั่วเมล็ดกาแฟ, กลิ่นของกาแฟ, การวิเคราะห์เชิงปริมาณ, เครื่องวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา

Abstract

The coffee beverage industry has proliferated across Thailand, leading to intense competition. To attract customers, businesses have invested in aesthetically pleasing spaces, amenities, and affordable prices. However, another crucial factor is the roasting of coffee beans to achieve the right aroma, which directly influences the taste. Various methods have been developed for roasting coffee beans to obtain a harmonious flavor profile. Gas chromatography is a popular technique for analyzing the volatile organic compounds produced during roasting, but it requires specialized expertise and is costly, making it unsuitable for small-scale businesses. This research aimed to develop a technique for measuring volatile compounds from roasted coffee beans (Arabica, Robusta and Civet coffee) using portable air quality device. This would enable small-scale businesses to develop and assess the quality of their coffee beans as needed. A comparison of quantitative analysis results between the portable air quality monitor and gas chromatography revealed a correlation coefficient (R^2) of 0.9792.

Keywords: Volatile Organic Compounds Measurement, Coffee Bean Roasting, Coffee Aroma, Quantitative Analysis, Portable Air Quality Device

1. บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างมาก เนื่องจากเป็นเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีนซึ่งจะออกฤทธิ์กระตุ้นประสาท ทำให้ภายหลังจากดื่มกาแฟสามารถนั่งทำงานระหว่างวันหรือขับขี่ยานพาหนะได้โดยไม่รู้สึกง่วง อีกทั้งในปัจจุบันมีการพัฒนาสายพันธุ์เมล็ดกาแฟ กรรมวิธีในการผลิตเพื่อให้รสชาติ กลิ่น และส่วนผสมให้ตอบสนองความต้องการผู้บริโภคมากขึ้น จึงส่งผลให้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 มีการแข่งขันการส่งออกเมล็ดกาแฟในแต่ละภูมิภาคทั่วโลกสูงถึง 6,828 กิโลกรัมและสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] แต่ละผู้ประกอบการจะมีกรรมวิธีเฉพาะในการคั่วเมล็ดกาแฟเพื่อให้เมล็ดกาแฟมีกลิ่นหอมซึ่งกลิ่นของกาแฟเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ [2] โดยการคั่วเมล็ดกาแฟจะมี 3 ระดับ ได้แก่ การคั่วระดับอ่อน คั่วระดับกลาง และคั่วระดับเข้ม ซึ่งแต่ละระดับของการคั่วจะใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เมล็ดกาแฟแตกออก (Cracking) และมีการปลดปล่อยกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของเมล็ดกาแฟที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) เช่น Polyphenols, Amino Acids, Caffeine และส่วนที่ส่งกลิ่นหอม เช่น 4-vinylguaiacol, Guaiacol, Phenol, Indol, Furfural, Phenylacetaldehyde Methanethiol, 2-methylfuran Pyridine และ Furfural โดยระยะเวลาในการแตกออกของเมล็ดกาแฟ (Cracking Time) เป็นช่วงที่เกิดกลิ่นมากที่สุด [3, 4] เพื่อรักษาคุณภาพของกาแฟ การตรวจวัดสารระเหยจากการคั่วเมล็ดกาแฟจึงเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการไม่ควรละเลย

โดยปัจจุบันเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและกึ่งระเหยง่าย (Semi Volatile Compound) คือ แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography; GC) โดยหลักการวิเคราะห์ของเทคนิคดังกล่าวจะอาศัยปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างเฟสนิ่ง (Stationary Phase) คือ สารที่เคลือบหรือบรรจุอยู่ภายในคอลัมน์ (Column) และเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) คือ โมเลกุลของสารตัวอย่าง (Analyte) [5, 6] แต่ด้วย

เครื่องมือ GC มีราคาสูง ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์และซ่อมบำรุง จึงไม่เหมาะกับผู้ประกอบการทั่วไปที่ต้องการตรวจสอบหรือพัฒนาคุณภาพสินค้าเมล็ดกาแฟก่อนวางจำหน่าย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาเทคนิคการนำเครื่องตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่องมือแบบพกพาหรือเครื่องวัดคุณภาพอากาศที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดในการศึกษาผลของระยะเวลาของการคั่วเมล็ดกาแฟต่อการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟ เพื่อลดต้นทุน สร้างความสะดวกในการวิเคราะห์ และส่งเสริมให้ผู้ประกอบการรายย่อยที่ต้องการพัฒนากรรมวิธีในการผลิตและตรวจสอบคุณภาพกลิ่นของเมล็ดกาแฟเพื่อเพิ่มมูลค่าแก่สินค้า

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 ตัวอย่างสายพันธุ์เมล็ดกาแฟที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ อาราบิก้า (จากจังหวัดเชียงราย) โรบัสต้า (จากจังหวัดชุมพร) และขี้ชะมด (จากประเทศอินโดนีเซีย)

2.2 เครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพาที่นำมาวิเคราะห์มีวางจำหน่ายทั่วไป เป็นชนิดเซนเซอร์ตรวจวัดการกระจายของแสง ได้แก่ 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 ทุกเครื่องมือมีค่า Resolution = 0.001 mg/m^3 และ Accuracy = ±0.03 mg/m^3

2.3 ปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ในการคั่วเมล็ดกาแฟเป็นระยะเวลา 50 นาที โดยมีการจดบันทึกทุกๆ 5 นาที

2.4 ปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ในการคั่วเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ 200 225 และ 250 ^{o}C

2.5 ปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ในการคั่วเมล็ดกาแฟที่ถูกเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 4 8 และ 12 เดือน

2.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณระหว่างเทคนิคที่ใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา และแก๊สโครมาโทกราฟี

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

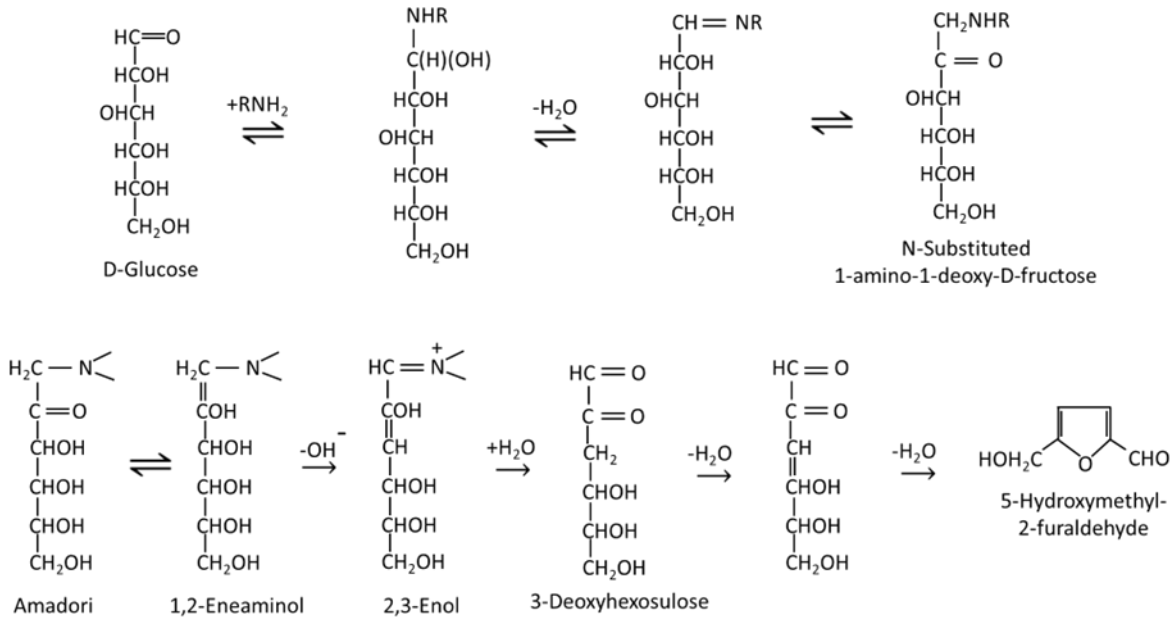
3.1 ชนิดของเมล็ดกาแฟ

กาแฟมีสองสายพันธุ์หลัก คือ อาราบิก้าและโรบัสต้า โดยอาราบิก้า (Coffea Arabica) มีต้นกำเนิดจากเอธิโอเปีย ให้รสชาติซับซ้อนและมีกลิ่นหอม เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อนกว่า และมีปริมาณคาเฟอีนน้อยกว่าโรบัสต้า (Coffea Canephora) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากแอฟริกา จะให้รสชาติเข้มและขมกว่า และมีปริมาณคาเฟอีนสูงกว่า เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการความกระปรี้กระเปร่า [7, 8] นอกจากนี้ยังมีกาแฟขี้ชะมด (Civet Coffee) ซึ่งได้จากมูลของชะมด (Paradoxurus Hermaphroditus) มีรสชาติเป็นเอกลักษณ์และมีราคาแพง เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและมีปริมาณจำกัด โดยกาแฟขี้ชะมดนั้นเกิดจากการที่ชะมดจะกินผลกาแฟสุกเข้าไป เอนไซม์ในกระเพาะของชะมดจะช่วยย่อยเนื้อและเปลือกของผลกาแฟ เหลือไว้แต่เมล็ดกาแฟที่ไม่ถูกย่อย จากนั้นจึงเก็บมูลชะมดที่ยังมีเมล็ดกาแฟอยู่มาล้างทำความสะอาด คั่ว และบดเพื่อนำมาชงเป็นกาแฟ ซึ่งกระบวนการนี้ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟ ทำให้เกิดรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ [9]

3.2 กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ

ภายหลังจากการแปรรูปเมล็ดกาแฟสุกเพื่อคัดคุณภาพและแยกสิ่งแปลกปลอมออก จะได้เป็นผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟสำหรับนำไปคั่วต่อไป โดยการคั่วเมล็ดกาแฟจะเป็นการให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ ใช้ความร้อนไปสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ (คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล และโปรตีน) โดยไม่ใช้แก๊สออกซิเจน ผลที่ได้ คือ สารระเหยที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กลง หรือสารให้กลิ่น [10-12]

ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) คือ ปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่ง (Reducing Sugar) เช่น น้ำตาลคีโทส (Ketose) ฟรักโทส (Fructose) และ ซูโครส (Sucrose) กับกรดอะมิโน (Amino Acid) หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆภายในเมล็ดกาแฟที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์โดยใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดสีน้ำตาล กลิ่น และรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของเมล็ดกาแฟนั้นๆ โดยขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้ (รูปที่ 1) 1) น้ำตาลรีดิวซ์ซิ่ง (Sugar Reducing) เป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลซูโครสรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลามีน (Glycosylamine) 2) ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) ทำให้โมเลกุลของน้ำหลุดออกจากไกลโคซิลามีนกลายเป็นอิมีน (Imines) จากนั้นจึงมีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่เป็นสารประกอบอะมาโดรี (Amadori Rearrangement) เป็นแอลโดซามีน (Aldosamine) หรือ คีโตซามีน (Ketosamine) 3) ปฏิกิริยาอีโนไลเซชั่น (Enolization) คือ ปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอะมาโดรีทำให้หมู่คีโตนถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลได้เป็น 1,2-Eneaminol จากนั้นมีการหลุดออกของหมู่ไฮดรอกซิลกลายเป็น 3-Deoxyhexosulose 4) ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบฟูแรน (Furan) คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde (HMF) โดย HMF เป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์ (Polymerization) ได้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีสีน้ำตาลที่ไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถละลายน้ำได้ [13, 14]



รูปที่ 1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) [15, 16]

ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น (Caramelization) คือ ปฏิกิริยาเช่นเดียวกับไพโรไลซิสที่น้ำตาลซูโครสและคาร์โบไฮเดรตสลายตัวจากความร้อนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กลง ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) อีกส่วนหนึ่งจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ (ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น) ที่ให้รสชาติต่างๆ (หวาน เปรี้ยว และขม) และกลิ่นน้ำตาลไหม้ [15-17]

3.3 การวิเคราะห์สารระเหยในเมล็ดกาแฟ

Puvipirom, J. et al. [18] วิเคราะห์สารระเหยที่สกัดจากเมล็ดกาแฟโรบัสต้าของไทยที่ผ่านการอบ 15 นาที ด้วยอุณหภูมิ 240 °C ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปคโตรเมทรี (Gas-chromatography-mass Spectrometry; GC-MS) HP-6890 คอลัมน์ HP-Innowax 60 เมตร × 0.25 มิลลิเมตร × 0.25 ไมโครเมตร อุณหภูมิ

เริ่มต้น 40 °C อุณหภูมิสุดท้าย 220 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 °C/min โดยใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา อัตราการไหล 40 cm^3/s พบสารระเหย 52 ชนิด ได้แก่ ไพราซีน (Pyrazine) ฟูแรน (Furan) ฟีนอล (Phenol) ไพร์โรล (Pyrrole) คีโตน (Ketone) อัลดีไฮด์ (Aldehyde) เป็นต้น

G. H. Lee. et al. [19] วิเคราะห์กลิ่นที่ได้จากการคั่วเมล็ดกาแฟด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์การดม (Sniff Port) คือ Gas-Chromatgraphy-Olfactometry (GCO) โดยใช้ดีเทคเตอร์ชนิด Flame Ionization Detector (FID) ซึ่งเทคนิคนี้ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการดมกลิ่นกาแฟมาทดสอบการดม พบว่าสารระเหยที่ให้กลิ่นที่ส่งผลต่อกลิ่นกาแฟได้แก่ 2,3-pentanedione และ 2-ethyl-3,5- Dimethylpyrazine เป็นต้น

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การศึกษาระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ

4.1.1 ชั่งเมล็ดกาแฟ อาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ชนิดละ 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร

4.1.2 ติดตั้งเครื่องมือการจำลองการคั่วเมล็ดกาแฟ (รูปที่ 2) โดยใช้เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate Stirrer) (MI0102003, Four E's Scientific, China) ในการให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟ วางเครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพาเหนือบีกเกอร์ เพื่อตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ

4.1.3 เมื่ออุณหภูมิของ Hotplate Stirrer บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่เวลา 5-50 นาที

4.1.4 ทำการทดลองซ้ำโดยใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพา 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 โดยทำการทดลองในห้องปิดที่มีค่าฝุ่น 30-40 $\mu g/m^3$

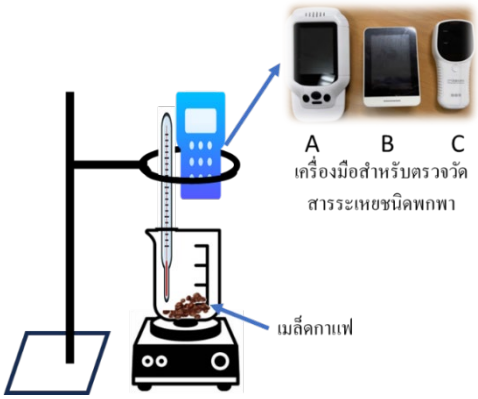
4.2 การศึกษาอุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟที่เวลา 50 นาที

4.2.1 ชั่งเมล็ดกาแฟ อาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ชนิดละ 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร

4.2.2 ติดตั้งเครื่องมือการจำลองการคั่วเมล็ดกาแฟ (รูปที่ 2) โดยใช้ Hotplate Stirrer ให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟ วางเครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพาเหนือบีกเกอร์ 5 เซนติเมตร เพื่อตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ

4.2.3 บันทึกค่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือที่อุณหภูมิ 200 225 และ 250 °C

4.2.4 ทำการทดลองซ้ำโดยใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพา 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 โดยทำการทดลองในห้องระบบปิดที่มีค่าฝุ่นอยู่ในช่วง 30-40 $\mu g/m^3$



รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องมือการคั่วเมล็ดกาแฟโดยเครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพา (A) Air Quality Monitor ZYG-101 (B) KKmoom Air Quality Detector และ (C) ATO-AIR-DM502

4.3 การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟหลังจากการคั่ว

4.3.1 ชั่งเมล็ดกาแฟ อาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ชนิดละ 10 กรัม ลงในภาชนะปิดสนิทพร้อมใส่สารดูดความชื้น

4.3.2 เก็บเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 4 8 และ 12 เดือน

4.3.3 ติดตั้งเครื่องมือการจำลองการคั่วเมล็ดกาแฟ (รูปที่ 2) โดยใช้ Hotplate Stirrer ให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟ วางเครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพาเหนือบีกเกอร์ 5 เซนติเมตร เพื่อตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ

4.3.4 บันทึกค่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือที่อุณภูมิ 250 °C

4.3.5 ทำการทดลองซ้ำโดยใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัดสารระเหยชนิดพกพา 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 โดยทำการทดลองในห้องระบบปิดที่มีค่าฝุ่นอยู่ในช่วง 30-40 $\mu g/m^3$

4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณระหว่างเทคนิคที่ใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา และแก๊สโครมาโทกราฟี

4.4.1 ชั่งเมล็ดกาแฟ อาราบิก้า 10 กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร

4.4.2 ติดตั้งเครื่องมือการจำลองการคั่วเมล็ดกาแฟ (รูปที่ 2) โดยใช้ Hotplate Stirrer ให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟ 250 °C เป็นระยะเวลา 5-50 นาที

4.4.3 นำเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วมาใส่ในภาชนะปิด

4.4.4 นำกระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร ดูดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่บริเวณเหนือเมล็ดกาแฟ 3 เซนติเมตร

4.4.6 ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโทรเมตรี (JMS-T200GC) คอลัมน์ ZB-WAX, 30 m × 0.18 mm, 0.18 mm อุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C (3 min) อุณหภูมิสุดท้าย 250 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Ramp Rate) 30 °C/min

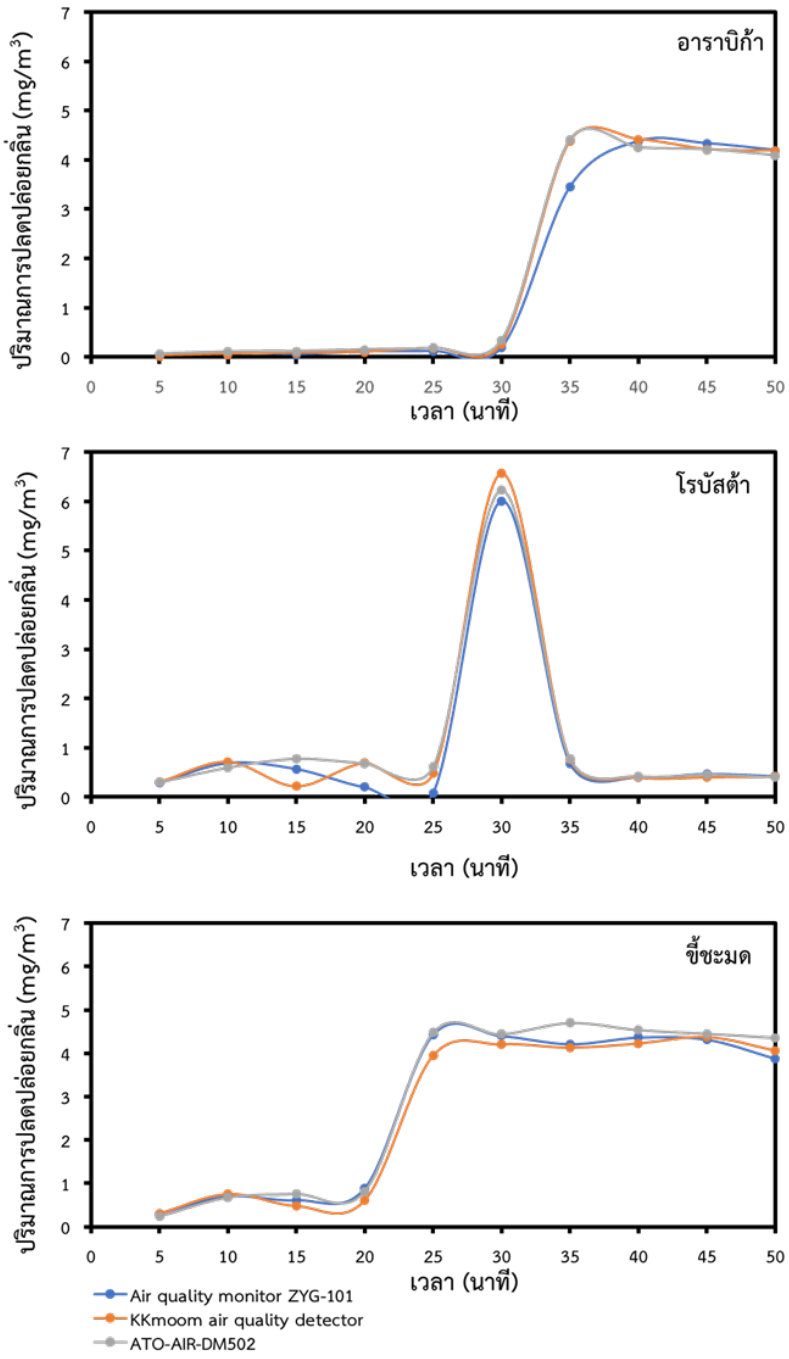
5. ผลการวิจัย

5.1. ระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ 250 °C

จากการศึกษาระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ด้วยเครื่อง 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 ที่อุณหภูมิ 250°C ระยะเวลา 5-50 นาที ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นและอุณหภูมิในการคั่วจะได้ผลดังรูปที่ 3 พบว่าระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมดแล้วเกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงที่สุดคือ 35 30 และ 25 นาที ตามลำดับ เมล็ดกาแฟขี้ชะมดจะใช้เวลาในการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายน้อยที่สุด เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตมาจากมูลของชะมด ทำให้เปลือกของเมล็ดกาแฟผ่านการย่อยโดยน้ำย่อยของชะมดมาก่อนแล้ว จึงง่ายต่อการแตกตัวเมื่อได้รับความร้อน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศ ที่อุณหภูมิ 250°C ระยะเวลา 5-50 นาที

เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3)								
	อาราบิก้า			โรบัสต้า			ขี้ชะมด		
	Air Quality Monitor ZYG-101	KKmoom Air Quality Detector	ATO-AIR-DM502	Air Quality Monitor ZYG-101	KKmoom Air Quality Detector	ATO-AIR-DM502	Air Quality Monitor ZYG-101	KKmoom Air Quality Detector	ATO-AIR-DM502
5	0.058 ±0.012	0.033 ±0.013	0.078 ±0.010	0.288 ±0.010	0.302 ±0.025	0.298 ±0.018	0.299 ±0.010	0.302 ±0.004	0.238 ±0.012
10	0.107 ±0.005	0.062 ±0.022	0.117 ±0.016	0.692 ±0.035	0.716 ±0.023	0.598 ±0.017	0.693 ±0.013	0.753 ±0.006	0.68 ±0.016
15	0.061 ±0.015	0.087 ±0.016	0.129 ±0.015	0.571 ±0.004	0.217 ±0.002	0.778 ±0.018	0.605 ±0.016	0.478 ±0.006	0.758 ±0.018
20	0.118 ±0.007	0.104 ±0.020	0.163 ±0.014	0.202 ±0.013	0.693 ±0.003	0.685 ±0.024	0.879 ±0.014	0.606 ±0.023	0.819 ±0.029
25	0.126 ±0.011	0.188 ±0.003	0.197 ±0.018	0.085 ±0.018	0.479 ±0.019	0.613 ±0.023	4.431 ±0.007	3.953 ±0.018	4.478 ±0.035
30	0.198 ±0.016	0.269 ±0.004	0.349 ±0.005	6.011 ±0.017	6.567 ±0.017	6.234 ±0.017	4.403 ±0.009	4.213 ±0.019	4.443 ±0.47
35	3.462 ±0.016	4.398 ±0.001	4.422 ±0.014	0.685 ±0.011	0.758 ±0.004	0.774 ±0.011	4.214 ±0.024	4.136 ±0.042	4.704 ±0.035
40	4.387 ±0.014	4.427 ±0.019	4.262 ±0.002	0.404 ±0.015	0.399 ±0.007	0.426 ±0.011	4.367 ±0.027	4.232 ±0.018	4.541 ±0.002
45	4.343 ±0.041	4.225 ±0.020	4.224 ±0.023	0.468 ±0.004	0.401 ±0.014	0.455 ±0.018	4.32 ±0.001	4.382 ±0.053	4.456 ±0.003
50	4.204 ±0.028	4.194 ±0.014	4.107 ±0.015	0.423 ±0.003	0.415 ±0.018	0.402 ±0.025	3.877 ±0.009	4.068 ±0.047	4.362 ±0.011



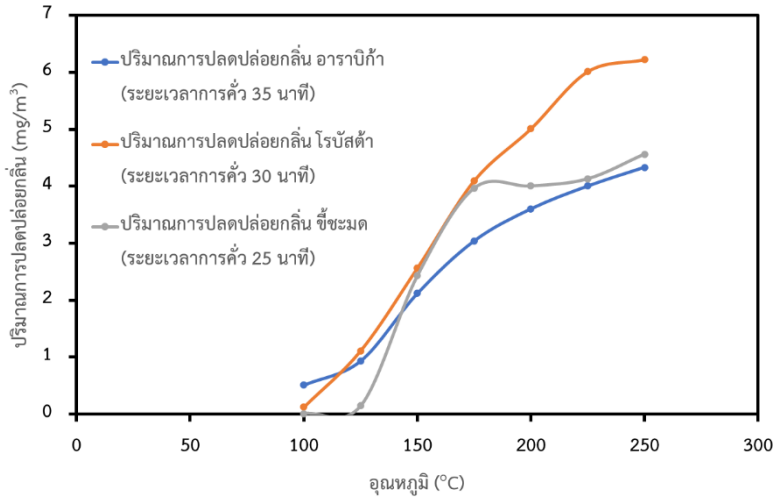
รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟ (mg/m^3) ที่ระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด 5-50 นาที ด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศ 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 ที่อุณหภูมิ 250°C

5.2. อุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟที่มีผลต่อการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด เป็นระยะเวลา 35 30 และ 25 นาที ตามลำดับ ด้วยเครื่อง 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 ที่อุณหภูมิ 100-250 °C ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 และเมื่อนำค่าเฉลี่ยมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นและอุณภูมิในการคั่วจะได้ผลดังรูปที่ 4 พบว่า อุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมดแล้วเกิดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงที่สุด คือ 200-250 °C เนื่องจากเปลือกของเมล็ดกาแฟประกอบไปด้วยน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตที่มีเพคตินเป็นส่วนประกอบ และมีน้ำอยู่ภายใน เมื่อน้ำได้รับความร้อนและเดือดจึงพยายามหาช่องทางออกมา และอุณหภูมิถึงจุดที่เปลือกของเมล็ดกาแฟเสียสภาพ น้ำที่เดือดจึงดันออกมาทางปลายเมล็ดกาแฟ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด เป็นระยะเวลา 35 30 และ 25 นาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 100-250°C ด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศ

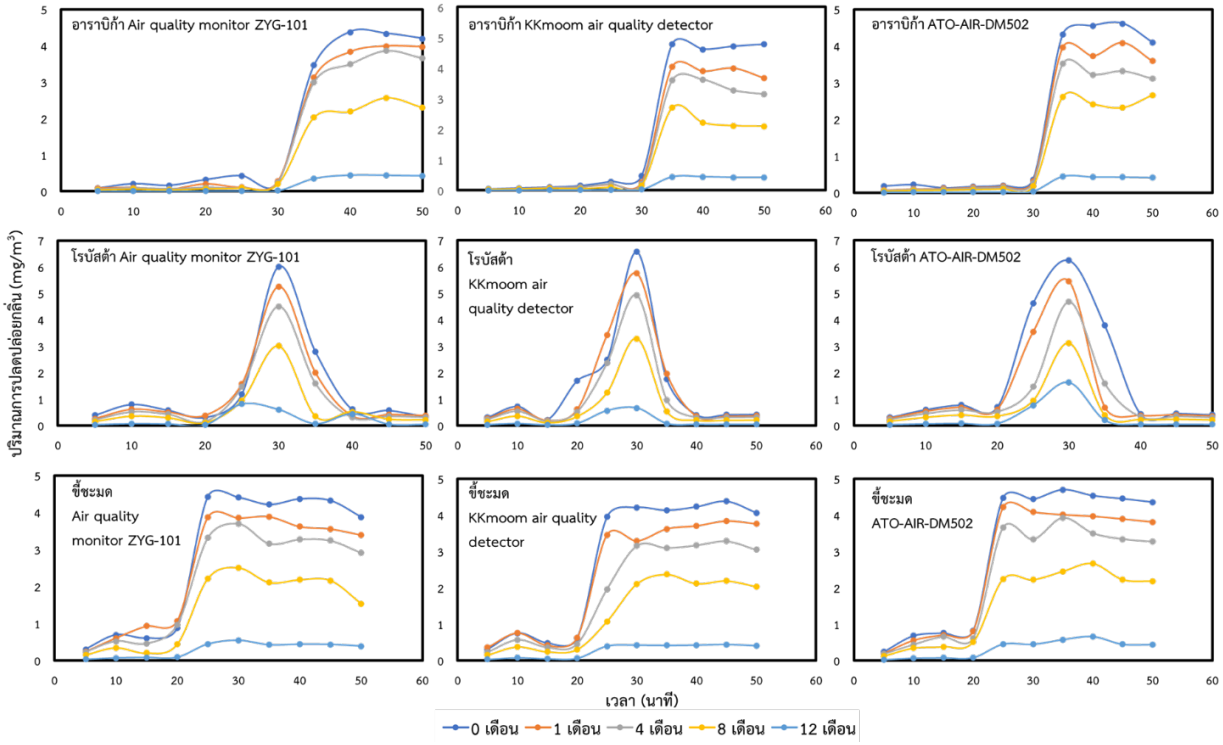
อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3)		
(°C)	อาราบิก้า	โรบัสต้า	ขี้ชะมด
100	0.512±0.011	0.125±0.012	0.012±0.015
125	0.936±0.014	1.114±0.012	0.147±0.045
150	2.122±0.020	2.568±0.015	2.431±0.030
175	3.042±0.014	4.098±0.014	3.967±0.005
200	3.604±0.030	5.011±0.018	4.004±0.007
225	4.004±0.011	6.014±0.019	4.131±0.014
250	4.333±0.018	6.224±0.014	4.564±0.008



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟ (mg/m^3) จากการคั่วเมล็ดกาแฟ อาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด เป็นระยะเวลา 35 30 และ 25 นาที ตามลำดับ ด้วยเครื่อง 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 ที่อุณหภูมิ 100-250 °C

5.3. ระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟภายหลังการคั่ว

จากการศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟ อาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ที่ถูกเก็บรักษาภายหลังการคั่วเป็นระยะเวลา 1 4 8 และ 12 เดือน ด้วยเครื่อง 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 เป็นระยะเวลา 5-50 นาที ที่อุณหภูมิ 250 °C ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นและเวลาการเก็บรักษาภายหลังการคั่วเมล็ดกาแฟจะได้ผลดังรูปที่ 5 เนื่องจากยิ่งเก็บเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วเป็นระยะเวลานาน จะทำให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ให้กลิ่นหอมของกาแฟสลายตัวไป



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟ (mg/m^3) เมล็ดกาแฟ อาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ที่ถูกเก็บรักษาภายหลังการคั่วเป็นระยะเวลา 1, 4, 8 และ 12 เดือน ด้วยเครื่อง 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 เป็นระยะเวลา 5-50 นาที ที่อุณหภูมิ 250 °C

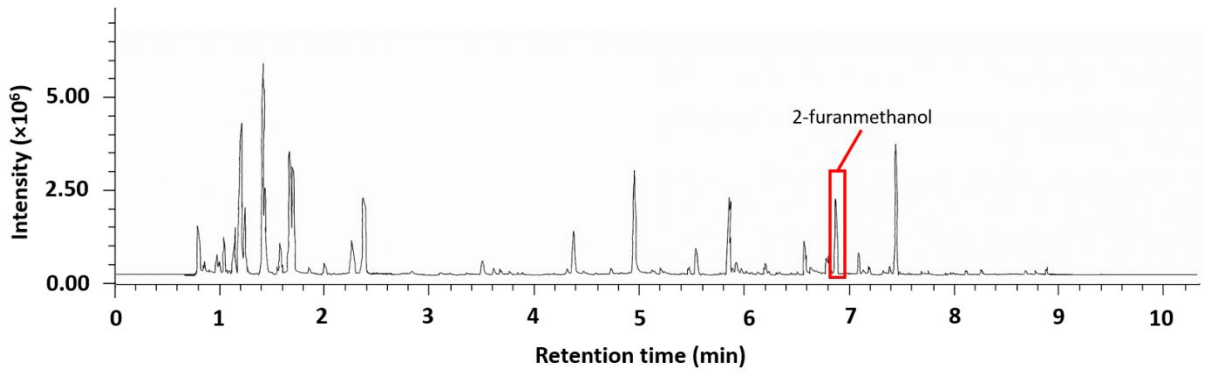
5.4. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณระหว่างเทคนิคที่ใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพา และแก๊สโครมาโทกราฟี

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ 1) ระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ 2) อุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟ และ 3) ระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟหลังการคั่ว ผู้วิจัยจะเลือกผลการทดลองที่ให้การปลดปล่อยกลิ่นที่มากที่สุดของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โดยเก็บข้อมูลที่ระยะเวลาการคั่ว 25 27 30 33 และ 35 นาที เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นและเวลาเป็นเส้นตรง (อุณหภูมิในการคั่ว 250°C และระยะเวลาในการเก็บรักษาหลังคั่วเมล็ดกาแฟ 1 เดือน) มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง 1) Air Quality Monitor ZYG-101 2) KKmoom Air Quality Detector และ 3) ATO-AIR-DM502 เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โดยเก็บข้อมูลที่ระยะเวลาการคั่ว 25 27 30 33 และ 35 นาที ที่อุณหภูมิ 250°C และระยะเวลาในการเก็บรักษาหลังคั่วเมล็ดกาแฟ 1 เดือน

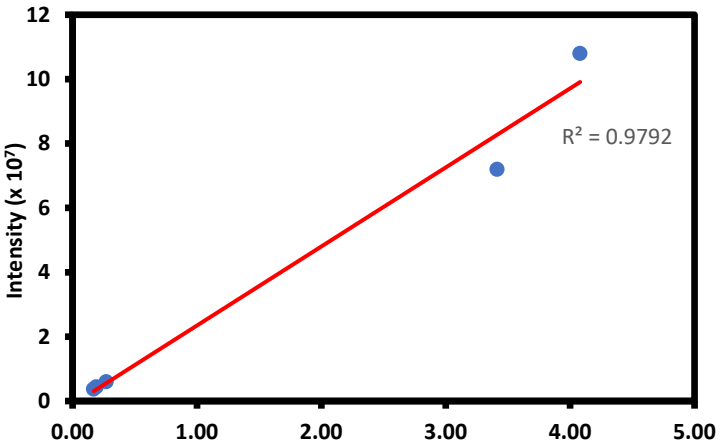
เวลา (นาที)	ค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3)			
	Air quality Monitor ZYG-101	KKmoom Air Quality Detector	ATO-AIR-DM502	ค่าเฉลี่ย
25	0.126	0.188	0.197	0.511±0.03
27	0.150	0.191	0.235	0.576±0.04
30	0.198	0.269	0.349	0.816±0.08
33	3.221	3.335	3.684	3.413±0.24
35	3.254	4.445	4.542	4.080±0.71

และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-TOFMS คอลัมน์ ZB-WAX 30 เมตร × 0.18 มิลลิเมตร อุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C (3 นาที) อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 °C/นาที และอุณหภูมิสุดท้าย 250 °C (10 นาที)) (รูปที่ 7) โดยให้สารมาตรฐานเพื่อวัดปริมาณเป็น 2-furanmethanol (Merck 97-99-4) มีค่า t_R = 7.22 นาที และเก็บข้อมูลที่ระยะเวลาการคั่วเมล็ดกาแฟ 25 27 30 33 และ 35 นาที



รูปที่ 7 โครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์การปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ระยะเวลาการคั่ว 30 นาที อุณหภูมิ 250°C และระยะเวลาในการเก็บรักษาหลังคั่วเมล็ดกาแฟ 1 เดือน ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-TOFMS คอลัมน์ ZB-WAX 30 เมตร × 0.18 มิลลิเมตร อุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C (3 นาที) อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 °C/นาที และอุณหภูมิสุดท้าย 250 °C (10 นาที))

จากการทดลองพบว่าสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยกลิ่น และพื้นที่ใต้พีกสารมาตรฐาน 2-furanmethanol (ที่ t_R = 7.22) วินาที ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นจึงนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพาและเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีมาสร้าง Correlation Plot พบว่า ค่า R^2 มีค่าเป็น 0.9792 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 Correlation Plot ระหว่าง Intensity ของสารมาตรฐาน 2-furanmethanol ที่มีค่า t_R = 7.22 (Merck 97-99-4) ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-TOFMS คอลัมน์ ZB-WAX 30 เมตร × 0.18 มิลลิเมตร อุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C (3 นาที) อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 °C/นาที และอุณหภูมิสุดท้าย 250 °C (10 นาที)) และค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยกลิ่น (mg/m^3) ระยะเวลาการคั่ว 25 27 30 33 และ 35 นาที

6. สรุป

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพาทั้งสามชนิด ระยะเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และขี้ชะมด ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 25-30 นาที หากเก็บรักษาเมล็ดกาแฟไว้นาน ปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นจะลดลง และเมื่อนำผลการทดลองการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าไปเปรียบเทียบกับเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิคด้วย Correlation Plot ได้ค่า R^2 เป็น 0.9792 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศชนิดพกพาในการตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยกลิ่นของเมล็ดกาแฟในเบื้องต้นได้ จึงเหมาะกับผู้บริโภคที่ต้องการคั่วเมล็ดกาแฟด้วยตัวเองหรือผู้ประกอบการรายย่อยที่ต้องการตรวจคุณภาพและปรับปรุงกรรมวิธีในการคั่วเมล็ดกาแฟ

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิเคราะห์การปลดปล่อยกลิ่นที่ได้จากการคั่วเมล็ดกาแฟในสภาวะต่างๆ ได้ทำการทดลองในห้องปิดที่มีค่าฝุ่น 30-40 µg/m^3 ดังนั้น หากผู้ประกอบการนำเทคนิคที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอไปประยุกต์ใช้ อาจต้องหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีฝุ่น กลิ่นน้ำหอมปรับอากาศ กลิ่นดอกไม้ และกลิ่นกายของผู้ทดลอง เป็นต้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ รศ. ดร.ชฎิล กุลสิงห์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

9. เอกสารอ้างอิง

[1] อภิชาติ จิณแพทย์ และ เอื้อมพร รัตนสิงห์, “การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, หน้า 69-78, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2564.

[2] M. Kleinwächter, G. Bytof and D. Selmar, *Coffee in Health and Disease Prevention, Preedy, V. R. Ed*., San Diego: Academic Press, 2015, 73-81.

[3] U. Jumhawan, S. P. Putri, Yusianto, T. Bamba and E. Fukusaki, "Quantification of coffee blends for authentication of Asian palm civet coffee (Kopi Luwak) via metabolomics: A proof of concept," *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 122, no. 1, pp. 79-84, July 2016.

[4] U. Jumhawan, S. P. Putri, Yusianto, E. Marwani, T. Bamba and E. Fukusaki, "Selection of discriminant markers for authentication of Asian palm civet coffee (Kopi Luwak): a metabolomics approach," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 61, no. 33, pp.7994-8001, August 2013.

[5] P. Kakanopas, P. Janta, S. Vimolmangkang, F. Hermatasia and C. Kulsing, "Retention index based approach for simulation of results and application for validation of compound identification in comprehensive two-dimensional gas chromatography," *Journal of Chromatography A*, vol. 1679, pp.463394, August 2022.

[6] S. Pojjanapornpun, et al., "Simulation of peak position and response profiles in comprehensive two-dimensional gas chromatography," *Journal of Chromatography A*, vol. 1607, December 2019.

[7] I. Blank and W. Grosch, "On the Role of (–)-2-Methylisoborneol for the Aroma of Robusta Coffee," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 16, pp. 4653-4656, July 2002.

[8] Z. Wang, et al., "Effect of monosaccharide composition and proportion on the bioactivity of polysaccharides: A review," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 254, January 2024.

[9] M. Muzaifa, D. Hasni, A. Patria, F. Febriani and A. Abubakar, "Sensory and microbial characteristics of Civet coffee," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 165-171, January 2018.

[10] P. B. Andrade, R. Leitao, R. M. Seabra, M. B. Oliveira and M. A. Ferreira, "Development of an HPLC/diode array detector method for simultaneous determination of seven hydroxy cinnamic acids in green coffee," *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, vol. 20, no. 13, pp. 2023-2030, August 1997.

[11] A. Amanpour and S. Selli, "Differentiation of Volatile Profiles and Odor Activity Values of Turkish Coffee and French Press Coffee," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 40, no. 5, pp. 1116-1124, December 2015.

[12] O. Al-abbasy, S. Younus, A. Rashan and O. Sheej Ahmad, "Maillard reaction: formation, advantage, disadvantage and control. A review," *Food Science and Applied Biotechnology*, vol. 7, no.1, pp. 145-161, March 2024.

[13]M. Adrover, B. Vilanova, J. Frau, F. Munoz and J. Donoso, “The pyridoxamine action on Amadori compounds: a reexamination of its scavenging capacity and chelating effect,” *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, vol. 16, no. 10, pp. 5557-5569, May 2008.

[14] N. Tamanna and N. Mahmood, “Food Processing and Maillard Reaction Products: Effect on Human Health and Nutrition,” *International journal of food science*, vol. 2015, January 2015.

[15] G. Sengar and H. K. Sharma, “Food caramels: a review,” *Journal of Food Science and Technology*, vol. 51, no. 9, pp. 1686-1696, February 2014.

[16] L. W. Kroh, “Caramelisation in food and beverages,” *Food Chemistry*, vol. 51, no. 4, pp. 373-379, January 1994.

[17] U. Jumhawan, S. P. Putri, Yusianto, E. Marwani, T. Bamba and E. Fukusaki, “Contribution of roasted grains and seeds in aroma of oleang (Thai coffee drink),” *International Food Research Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 583-588, January 2012.

[18] J. Puvipirom and S. Chaiseri, “Contribution of roasted grains and seeds in aroma of oleang (Thai coffee drink),” *International Food Research Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 583-588, January 2012.

[19] G. H. Lee, O. Suriyaphan and K. R. Cadwallder, “Aroma components of cooked tail meat of American lobster (Homarus americanus),” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, no. 9, pp. 4324-4332, August 2001.