ปริมาณ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจาก ผลมะกรูด ขมิ้นและไพล จากระบบการกลั่นด้วยไอน้ำ สำหรับกิจกรรมสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน

Quantity, Physical and Chemical Properties of Essential Oil from Kaffir Lime, Turmeric and Plai by Steam Distillation for School Botanic Garden Activity

กฤษฎา บุญชม[1]*, ปริยาพร กองคำ[2]

Kritsada Boonchom[1]*, Pariyaporn Kongkham [2]

[1] ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

[1] Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

[2] โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

[2] Chiang Mai Rajabhat University Demonstration School, Chiang Mai Rajabhat University

* E-mail: Kritsada_boo@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ จากระบบกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำที่สร้างขึ้น สำหรับการพัฒนาเป็นชุดกิจกรรมจัดการเรียนการสอนบูรณาการสวนพฤกษศาสตร์ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยทำการศึกษาปริมาณสมบัติทางกายภาพและต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจาก มะกรูด ขมิ้นและไพล จากการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยเตรียมวัตถุดิบในลักษณะที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาถึงเวลาในการเตรียมวัตถุดิบ และเตรียมวัตถุดิบชนิดละ 2 กิโลกรัม เก็บตัวอย่างน้ำมันหอมระเหย ทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ร้อยละของผลผลิตโดยมวลและความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหย จาก ผิวมะกรูด มะกรูดหั่นเป็นแว่น ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นบาง ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นและทุบ ไพลหั่นเป็นชิ้นบางและไพลหั่นชิ้นและทุบ มีค่าดังนี้ 0.407 0.314 0.107 0.076 0.187 0.185 และ 0.88±0.01 0.89±0.01 0.87±0.01 0.85±0.02 0.91±0.01 0.89±0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และพบว่าการเตรียมไพลใช้เวลาน้อยกว่าขมิ้นเนื่องจากหัวใหญ่และเนื้อไม่แข็ง เมื่อเปรียบเทียบการเตรียมในสองลักษณะ สำหรับมะกรูดการเตรียมผิวใช้เวลามากว่า น้ำมันที่ได้ออกมามีคุณสมบัติใกล้เคียงกันและปริมาณแตกต่างกันไม่มาก เมื่อนำปัจจัยเวลามาคำนวณต้นทุนการผลิตในรูปค่าแรงงานในการผลิตน้ำมันหอมระเหยจาก ผิวมะกรูด มะกรูดหั่นเป็นแว่น ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นบาง ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นและทุบ ไพลหั่นเป็นชิ้นบางและไพลหั่นชิ้นและทุบ พบว่ามีค่าดังนี้ 44.79 38.68 68.57 88.40 51.85 และ 49.93 บาทต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้ประกอบการพัฒนาชุดกิจกรรมที่บูรณาการสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนและสะเต็มศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: น้ำมันหอมระเหย การกลั่นด้วยไอน้ำ สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน

Abstract

This research aimed to study basic data of science and economics of the essential oil by using constructed system. It was developed to support a set of teaching activities integrating with to botanical garden of ChiangMai Rajabhat University Demonstration School. The study of quantity, physical properties, chemical properties and the production cost of essential oil extracted from kaffir lime, turmeric and plai were conducted by steam distillation. Raw materials were prepared in different ways for studied preparing time of raw materials. The essential oil was sampling every 30 minutes for 2 hours. The results showed that percentage of yield by mass and density of essential oils of kaffir lime skin, the sliced kaffir lime, thin sliced turmeric, sliced and smashed turmeric, thin sliced plai, sliced and smashed plai were 0.407, 0.314, 0.107, 0.076, 0.187 and 0.185 %w/w and 0.88 ± 0.01, 0.89 ± 0.01, 0.87 ± 0.01, 0.85 ± 0.02, 0.91 ± 0.01 and 0.89 ± 0.01 g/cm^3, respectively. It was found that preparation of plai takes less time than that of turmeric. When comparing preparations step of materials between those two methods of thin sliced pieces and smashed one, it was found that kaffir lime skin preparation takes a lot of time, but the obtained oil showed similar properties with less difference. Time factor was used to calculate the essential oil production costs in terms of labor costs. The cost values for kaffir lime skin, the sliced kaffir lime, thin sliced turmeric, sliced and smashed turmeric, thin sliced plai, sliced and smashed plai were 44.79 38.68 68.57 88.40 51.85 and 49.93 baht per cm^3, respectively. The data will be used to develop a set of activities that integrate with school botanical gardens and STEM education in next step.

Keywords: Essential oil, Steam distillation system, School botanic garden

บทนำ

น้ำมันหอมระเหยถูกนำมาใช้ประโยชน์ มากว่า 5,000 ปี โดยนำมา ใช้เป็นเครื่องประทินกลิ่นกาย ใช้ถนอมอาหาร ใช้ในการเก็บรักษาร่างไร้วิญญาณหรือมัมมี่ การใช้กลิ่นบำบัดอาการทางร่างกายและปรุงแต่งอารมณ์ที่เรียกขานกันในปัจจุบันว่า สุคนธบำบัด (aromatherapy) ทำให้ศาสตร์นี้เริ่มแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน (กองการแพทย์ทางเลือก, 2550) สำหรับประเทศไทยก็มีการใช้น้ำมันหอมระเหยจากพืชมาเป็นเวลาช้านาน ในการรักษา เช่น การเข้ากระโจมอยู่ไฟ เข้ากระโจมแก้หวัด การนำมานวดประคบ ซึ่งการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชก็มีหลากหลายวิธี เช่น การกลั่นด้วยไอน้ำ การสกัดด้วยตัวละลาย หรือการบีบอัด เป็นต้น ซึ่งในประเทศไทยมีงานวิจัยเรื่อง การสกัดน้ำมันหอมระเหย การวิเคราะห์องค์ประกอบ การนำไปใช้ประโยชน์ มากว่าสิบปี ซึ่งงานวิจัยการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำก็มีหลากหลายทั้งการกลั่นในด้วยเครื่องมือในห้องทดลอง หรือ แบบที่สร้างขึ้น ดังเช่น สายสมร ลำลอง และพงษ์นรินทร์ ยอดสิงห์ (2559) ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก กานพลู อบเชย ตะไคร้หอม ใบพลู ใบแก้ว ใบยูคาลิปตัส ผิวมะกรูด และใบมะกรูด โดยการต้มกลั่นด้วยเครื่องมือในห้องทดลอง ได้ร้อยละผลผลิต

เท่ากับ 3.43, 2.64, 1.27, 0.68, 0.40 และ 0.07 ตามลำดับ เพื่อนำน้ำมันหอมระเหยไปใช้ประโยชน์ในการยับยั้งเชื้อราบนแผ่นยางพารา ขณะที่ นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์และคณะ (2562) ได้พัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยเชิงพาณิชย์ ขนาด 500 ลิตร ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิต พบว่าได้ผลผลิตร้อยละ 0.31 (%w/w) และมีต้นทุนการผลิต 8,837.41 บาทต่อลิตร แตกต่างจากงานที่ได้ดำเนินการในรายงานวิจัยฉบับนี้เป็นการทำเพื่อให้เป็นประโยชน์ทางด้านการศึกษา เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนต่อยอดงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน โดยจะพัฒนาชุดกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนบูรณาการงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนกับสะเต็มศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ประกอบด้วย กิจกรรม 2 กิจกรรม คือ การศึกษาการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชในสวนพฤกษศาสตร์ด้วยเครื่องกลั่นด้วยไอน้ำที่สร้างขึ้นและการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการนำผลผลิตจากการกลั่นไปใช้ประโยชน์ โดยจะดำเนินการในขั้นตอนต่อไปต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้

ในการวิจัยครั้งจึงมุ่งเน้นกิจกรรมศึกษาการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชในสวนพฤกษศาสตร์ซึ่งเป็นกิจกรรมต่อยอดงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน จากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ชนิดของพืช จำนวน ลักษณะวิสัยของพืช ส่วนประกอบต่างของพืชและการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชในโรงเรียน เพื่อสร้างคู่มือครูในการจัดกิจกรรม ที่ประกอบด้วยขั้นตอนหรือแนวทางการดำเนินการ ข้อมูลพื้นฐานเชิงวิทยาศาสตร์ องค์ความรู้ที่เชื่อมโยงกิจกรรมกับสาระในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคม ศาสนาและวัฒนธรรม ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แนวทางการสรุปกิจกรรม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างระบบกลั่นด้วยไอน้ำ และศึกษาปริมาณ สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจาก ผลมะกรูด ขมิ้นและไพล ด้วยระบบการกลั่นด้วยไอน้ำสำหรับต่อยอดงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานเชิงวิทยาศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ ของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากพืชตัวอย่างในสวนพฤกษศาสตร์ของโรงเรียน ได้แก่ ผลมะกรูด ขมิ้นและไพล ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การเชื่อมโยงกับในสาระวิชาตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง นอกจากนั้นเพื่อให้ได้กรอบการดำเนินงาน การบันทึกและการรายงานผล ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยรวมถึงทักษะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะนำไปสู่ชุดกิจกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่ประกอบด้วยคู่มือครูและแบบฝึกกิจกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) ศึกษาปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากผลมะกรูด ขมิ้นและไพล ด้วยระบบการกลั่นด้วยไอน้ำที่สร้างขึ้น

2) ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากผลมะกรูด ขมิ้นและไพล ได้แก่ ความหนาแน่น ค่าความเป็นกรดเบสและสี

3) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FTIR

4) เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดด้วยวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน ได้แก่ การหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และการหั่นเป็นชิ้นและทุบ สำหรับขมิ้นและไพล และสำหรับมะกรูด หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และปลอกเฉพาะผิวมะกรูด

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาปริมาณ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจาก ผลมะกรูด ขมิ้นและไพล โดยวิธีการกลั่นแบบไอน้ำ สำหรับขมิ้นและไพล เปรียบเทียบการเตรียมในสองลักษณะ คือ หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และหั่นเป็นชิ้นแล้วทุบ ส่วนผลมะกรูดจะศึกษาการหั่นเป็นแว่นๆ กับการปลอกเอาเฉพาะเปลือกผลมะกรูด โดยมีรายละเอียดของ เครื่องมือ อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยระบบไอน้ำ (Steam distillation unit) ที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย ตัวหม้อผลิตไอน้ำทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร สูง 0.32 เมตร ปริมาตร 0.0226 ลูกบาศก์เมตร (22,608 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 22.608 ลิตร) มีตระแกรงรองรับวัตถุดิบ มาตรวัดระดับน้ำ เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ พร้อมฝาปิดประกอบชุดควบแน่นไอน้ำ ระบบหมุนเวียนน้ำใช้ปั๊มน้ำ SEBO wp-500D 55 วัตต์ 4,500 ลิตรต่อชั่วโมง ระบบให้ความร้อนเป็นเตาแก๊สสามารถปรับความดันได้ และถังน้ำสำหรับการหมุนเวียนน้ำในชุดควบแน่นไอน้ำ

ภาพที่ 1 อุปกรณ์ต่างของระบบกลั่นไอน้ำน้ำมันหอมระเหยด้วยไอน้ำ
(ก) ตัวหม้อไอน้ำพร้อมฝาประกอบชุดควบแน่นไอน้ำ (ข) มาตรวัดอุณหภูมิ (ค) มาตรวัดระดับน้ำ (ง) ตระแกรงรองรับวัตถุดิบ (จ) ระบบให้พลังงานความร้อน (ฉ) ปั๊มน้ำ (ช) ตัวเตาปรับความดัน

เครื่องการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงอินฟราเรด (Fourier transform infrared Spectrometer ; FTIR) ของ Perkin Elmer รุ่น Frontier ความยาวคลื่น 450 – 4,000 cm^{-1}

กระดาษลิตมัสแบบยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal indicator)

เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยมสองตำแหน่ง ของ METTLER รุ่น 2002-s

และบีกเกอร์ หลอดฉีดยา กรวยแยกสาร นาฬิกาจับเวลา

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. เตรียมวัตถุดิบและเตรียมหม้อกลั่นไอน้ำ

เตรียมวัสดุดิบ ซึ่งเป็นวัสดุสด ใน 2 ลักษณะคือ หั่นเป็นชิ้นบางๆ และหั่นเป็นชิ้นพอประมาณแล้วทุบ สำหรับไพลและขมิ้น สำหรับมะกรูดเตรียมโดยหั่นเป็นแว่นบางและปอกเปลือกมะกรูดเฉพาะผิว โดยเตรียมวัตถุดิบ อย่างละ 2 กิโลกรัม วัสดุถูกเก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคม – เมษายน พ.ศ. 2562

เตรียมหม้อกลั่นไอน้ำ โดยติดตั้งระบบให้ความร้อน เติมน้ำลงในหม้อ 5 ลิตร (5,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร) นำวัตถุดิบ มาวางบนตะแกรง ในหม้อกลั่นไอน้ำ

2. ทำการกลั่นน้ำมันหอมระเหย บันทึกปริมาณ มวลและปริมาตรกับเวลาที่ทำการกลั่น โดยเก็บตัวอย่างของเหลวที่ได้จากกระบวนการกลั่นทุกๆ 30 นาที เป็นเวลารวมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง (เพื่อให้สอดคล้องกับชั่วโมงการเรียนในโรงเรียน) จากนั้นแยกน้ำกับน้ำมันหอมระเหยโดยใช้กรวยแยกและบันทึกผล คำนวณหาร้อยละผลผลิตโดยมวลของน้ำมันหอมระเหย (ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากวัตถุดิบต่างๆ

สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่
1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่อง FTIR
2. ความหนาแน่นของน้ำมัน
3. ค่า pH
4. สี

4. ศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากไพลที่กลั่นได้ ประกอบด้วยปัจจัย 1.ค่าแรงงาน 2.ค่าเชื้อเพลิง 3.ค่าวัตถุดิบ

5. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย

ภาพที่ 2 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การหาความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) (Brown, 2007)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำมันหอมระเหย m คือ มวลของน้ำมันหอมระเหย (กรัม) และ V คือ ปริมาตรของน้ำมันหอมระเหย (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

การหาร้อยละผลผลิตโดยมวลของน้ำมันหอมระเหย สามารถคำนวณได้จาก

$$\%w/w = \left(\frac{m_o}{M_m}\right) \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่ $\%w/w$ คือ ร้อยละผลผลิตโดยมวลของน้ำมันหอมระเหย m_o คือ มวลของน้ำมันหอมระเหยที่ผลิตได้ (กรัม) และ M_m คือ มวลสดของพืชวัตถุดิบที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย (กรัม)

การหาร้อยละผลผลิตโดยมวลของน้ำมันหอมระเหย สามารถคำนวณได้จาก

$$\%v/w = \left(\frac{V}{M_m}\right) \times 100\% \quad (3)$$

โดยที่ $\%v/w$ คือ ร้อยละผลผลิตโดยมวลของน้ำมันหอมระเหย และ V คือ ปริมาตรของน้ำมันหอมระเหยที่ผลิตได้ (กรัม)

ผลการวิจัย

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยและสมบัติทางกายภาพและเคมี แสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยจากกระบวนการกลั่นด้วยไอน้ำของไพล ขมิ้น และมะกรูด ทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ชนิดและลักษณะของวัตถุดิบ	ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยที่กลั่นได้ในเวลาต่าง ๆ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)				ปริมาณรวมเฉลี่ย (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	30 นาที แรก ช่วงที่ 1	30 นาที ถัดไป ช่วงที่ 2	30 นาที ถัดไป ช่วงที่ 3	30 นาที ถัดไป ช่วงที่ 4	
ไพลหั่นเป็นชิ้นบางๆ	1.40±0.06	1.63±0.03	0.73±0.03	0.33±0.03	4.10±0.06
ไพลหั่นเป็นชิ้นและทุบ	1.30±0.06	1.57±0.03	0.83±0.03	0.47±0.03	4.17±0.09
ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นบางๆ	1.33±0.03	0.83±0.03	0.27±0.03	ไม่สามารถแยกชั้นน้ำมันได้	2.43±0.03
ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นและทุบ	1.13±0.03	0.43±0.03	0.23±0.03	ไม่สามารถแยกชั้นน้ำมันได้	1.80±0.06
ลูกมะกรูดหั่นเป็นแว่นบาง	2.13±0.03	2.63±0.03	1.63±0.03	1.23±0.03	7.63±0.07
ผิวมะกรูด	2.93±0.00	3.43±0.03	2.53±0.00	1.93±0.03	10.83±0.03

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (เก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\text{ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error)} = \frac{S.D.}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

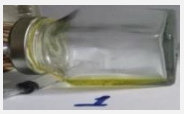
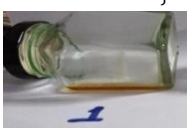
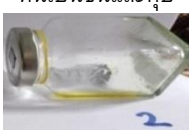
โดยที่ $S.D.$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ n คือ จำนวนครั้งในการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันหอมระเหยจากไพล ขมิ้น และมะกรูด

ชนิดและลักษณะของวัตถุดิบ	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) 30°C	ร้อยละผลผลิตโดยมวล (%w/w)	ร้อยละผลผลิตโดยมวล (%V/w)	ค่า pH
ไพลหั่นเป็นชิ้นบางๆ	0.91±0.01	0.187	0.205	5.0
ไพลหั่นเป็นชิ้นและทุบ	0.89±0.01	0.185	0.209	5.0
ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นบางๆ	0.87±0.01	0.107	0.122	3.0
ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นและทุบ	0.85±0.02	0.076	0.090	3.0
ลูกมะกรูดหั่นเป็นแว่น	0.89±0.01	0.314	0.351	5.0
ผิวมะกรูด	0.88±0.01	0.407	0.462	5.0

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (เก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ตารางที่ 3 สีของน้ำมันหอมระเหยจากไพล ขมิ้น และมะกรูด

ชนิดของวัตถุดิบ	สีของน้ำมันหอมระเหยแต่ละรูปแบบของการเตรียมวัตถุดิบ	
ไพล	หั่นเป็นชิ้นบางๆ	หั่นเป็นชิ้นและทุบ
		
ขมิ้น	หั่นเป็นชิ้นบางๆ	หั่นเป็นชิ้นและทุบ
		
มะกรูด	หั่นเป็นแว่น	ผิวมะกรูด

ตารางที่ 4 แสดงต้นทุนการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากไพล ขมิ้น และมะกรูด

ชนิด	ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อมิลลิลิตร)	ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ไพลหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ	30.81[1]	ไพล กิโลกรัมละ 40 บาท ใช้ 2 กิโลกรัม การกลั่นใช้เวลา 2 ชั่วโมง การเตรียมวัตถุดิบใช้เวลา 18 นาที
	51.85[2]	
ไพลหั่นเป็นชิ้นและทุบ	30.30[1]	ไพล กิโลกรัมละ 40 บาท ใช้ 2 กิโลกรัม การกลั่นใช้เวลา 2 ชั่วโมง การเตรียมวัตถุดิบใช้เวลา11 นาที
	49.93[2]	
ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ	38.99[1]	ขมิ้น กิโลกรัมละ 30 บาท ใช้ 2 กิโลกรัม การกลั่นใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง การเตรียมวัตถุดิบใช้เวลา 25 นาที
	68.57[2]	
ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นและทุบ	52.64[1]	ขมิ้น กิโลกรัมละ 30 บาท ใช้ 2 กิโลกรัม การกลั่นใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง การเตรียมวัตถุดิบใช้เวลา 13 นาที
	88.40[2]	
ลูกมะกรูดหั่นเป็นแว่น	27.04[1]	มะกรูด กิโลกรัมละ 80 บาท ใช้ 2 กิโลกรัม การกลั่นใช้เวลา 2 ชั่วโมง การเตรียมวัตถุดิบใช้เวลา 22 นาที
	38.68[2]	
ผิวมะกรูด	33.82[1]	มะกรูด กิโลกรัมละ 80 บาท ใช้ 4 กิโลกรัม การกลั่นใช้เวลา 2 ชั่วโมง การเตรียมวัตถุดิบใช้เวลา 70 นาที
	44.79[2]	
แก๊สหุงต้ม 15 กิโลกรัม 345 บาท คิดเป็น 23 บาทต่อกิโลกรัม และ ระดับแรงดันแก๊สที่เปิดในการกลั่นมี อัตราการสิ้นเปลือง 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง		
ค่าแรงงานวันละ 300 บาท ดังนั้น ค่าแรงงาน เท่ากับ 37.5 บาทต่อชั่วโมง หรือ 0.625 บาทต่อนาที ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยยูนิตละ 3 บาท		

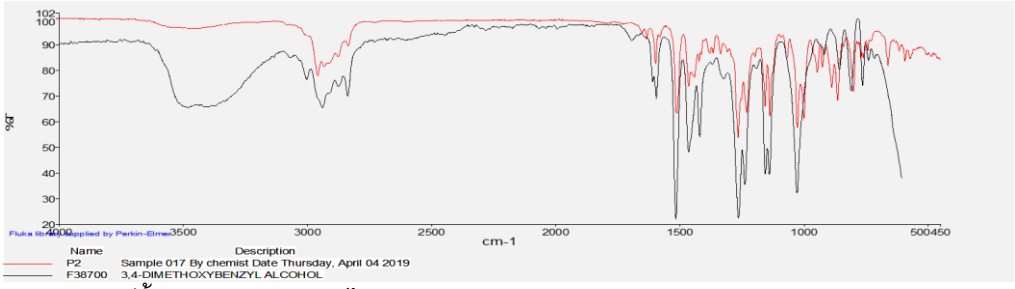
หมายเหตุ xx.xx[1] เป็นกรณีที่พิจารณาเฉพาะราคาวัตถุดิบ เชื้อเพลิงและค่าไฟฟ้า และ xx.xx[2] เป็นกรณีที่พิจารณา ราคาวัตถุดิบ เชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้าและค่าแรงงาน ทั้งสองกรณีไม่รวมค่า เครื่องมือ อุปกรณ์

ต้นทุนการผลิตแสดงในตารางที่ 4 แสดงในสมการที่ (5)

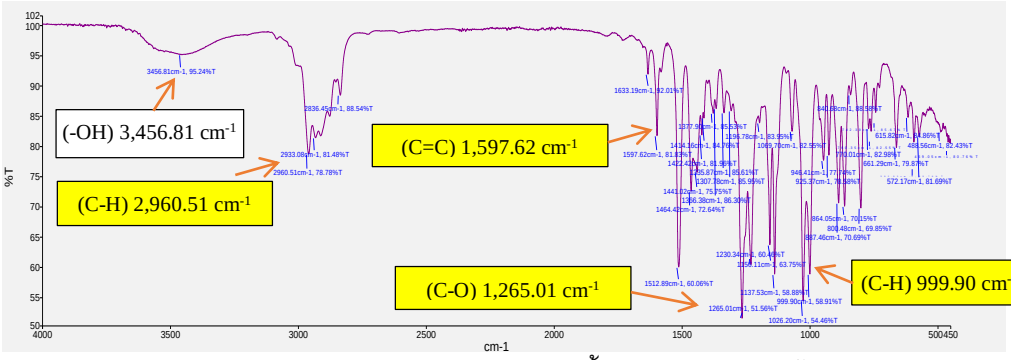
$$\text{ต้นทุนการผลิต} = \frac{\text{ราคาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต}}{\text{ปริมาตรของน้ำมันหอมระเหยที่ผลิตได้}} \qquad (5)$$

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ได้แก่ ค่าแรงงาน ค่าวัตถุดิบและค่าเชื้อเพลิงหรือค่าไฟฟ้า

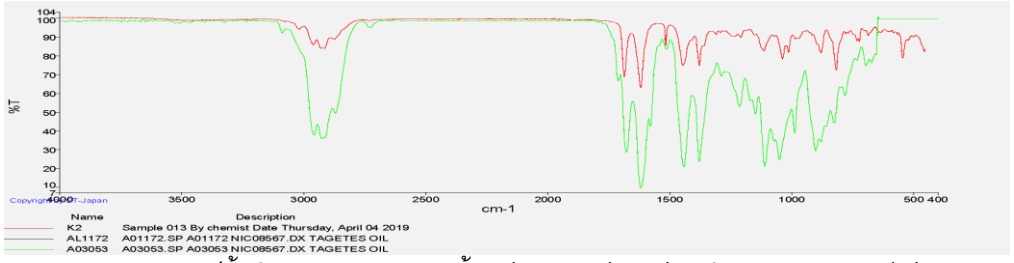
การจำแนกสารที่ทำให้เกิดความหอมตามโครงสร้างเคมีด้วยเทคนิค FTIR ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชแต่ละชนิดให้ผลดังนี้



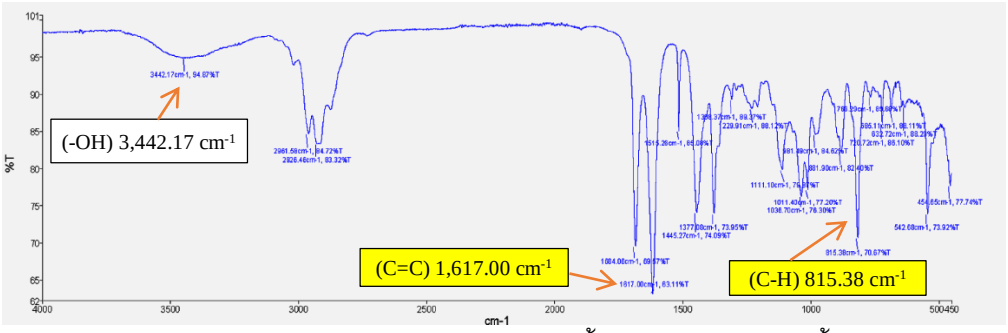
(ก) ผลวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยจากไพล(สีแดง)เปรียบเทียบกับสาร 3,4-Dimethoxybenzyl Alcohol (สีดำ)



(ข) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากไพล

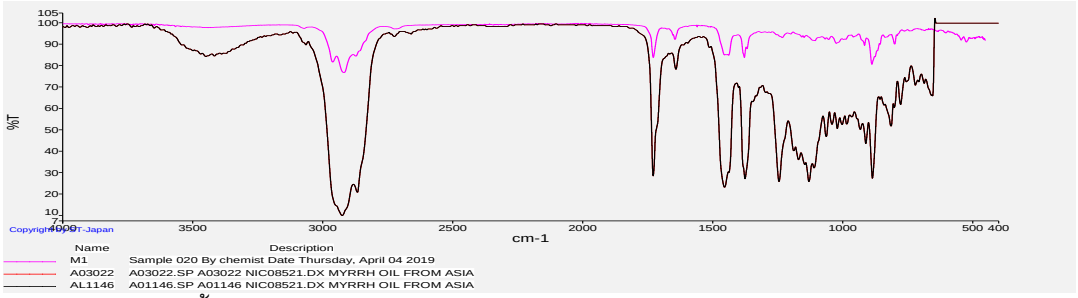


(ค) ผลวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น (สีแดง) เปรียบเทียบกับ Tagetes oil (สีเขียว)

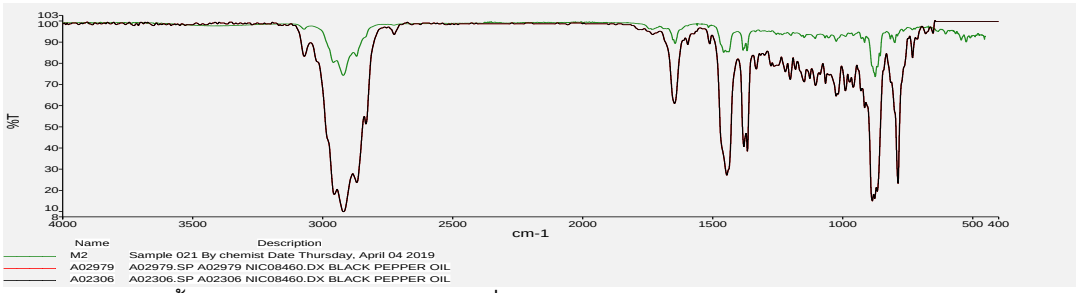


(ง) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น

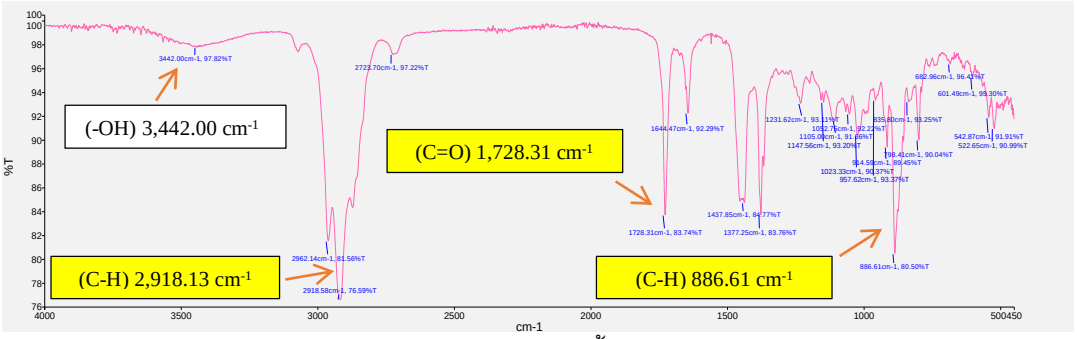
ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากไพล (ก และ ข) และขมิ้น (ค และ ง) ด้วยเทคนิค FTIR



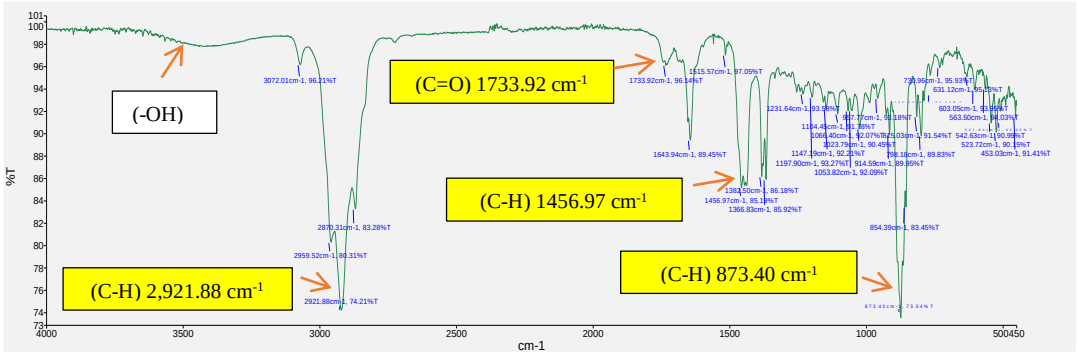
(ก) ผลวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด (สีชมพู) เปรียบเทียบกับสาร Myrrh oil (Asia) (สีดำ)



(ข) ผลวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยจากลูกมะกรูดหั่นบาง ๆ (สีเขียว) เปรียบเทียบกับ Black pepper oil (สีดำ)



(ค) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด



(ง) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากลูกมะกรูดหั่นบาง ๆ

ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด (ก และ ข) และจากลูกมะกรูดหั่นบาง ๆ (ค และ ง) ด้วยเทคนิค FTIR

การเปรียบเทียบเอกลักษณ์ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชแต่ละชนิด ด้วยเทคนิค FTIR จะวิเคราะห์เป็นสองขั้นตอนคือ เปรียบเทียบร้อยละของรูปแบบการดูดกลืนรังสีกับสารมาตรฐานในเครื่อง FTIR ของ Perkin Elmer รุ่น Frontier และ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจากรูปแบบพีคประกอบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำมันหอมระเหยจากไพล (ภาพที่ 3 (ก)) จากการเตรียมวัตถุดิบใน 2 ลักษณะ คือ หั่นเป็นชิ้นบางและหั่นเป็นชิ้นและทุบ พบว่ามีรูปแบบการดูดกลืนรังสีเหมือนกันและสอดคล้องกับ 3,4-dimethoxybenzyl alcohol ร้อยละ 84.37 ซึ่งเป็นสารที่เป็นอนุพันธ์เบนซีนของสารหอมที่เป็นได้ทั้งแอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตนหรือเอสเทอร์ จากงานวิจัยของ (Kumar, 2010) เสนอว่าน้ำมันหอมระเหย ร้อยละ 90 - 95 ของน้ำหนักน้ำมัน มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน monoterpene และsesquiterpene รวมทั้งอนุพันธ์ของออกซิเจนที่มีออกซิเจนกับ อัลดีไฮด์ แอลกอฮอล์และเอสเทอร์ คุณสมบัติเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามวิธีการปลูก พื้นที่ปลูก ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่องค์ประกอบก็ยังเป็น 2 กลุ่มคือ ไฮโดรคาร์บอนซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย terpenes และสารประกอบที่มีออกซิเจนซึ่งส่วนใหญ่เป็นแอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ เอสเทอร์ คีโตน ฟีนอลและออกไซด์ จากภาพที่ 3 (ข) พีคหลักที่มีการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดสูงสุดคือที่ความยาวคลื่น 1,265.01 cm^{-1} สอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันของเอสเทอร์ (C-O stretching) แต่ยังมีพีครองนอกเหนือจากกลุ่ม C-O stretching ของเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ คือ C-H (OOP bending) ของหมู่ฟังก์ชันอัลคีน ความยาวคลื่น 999.90 cm^{-1} และ C-H stretching ของหมู่ฟังก์ชันอัลเคน ความยาวคลื่น 2,960.51 cm^{-1} และ C=C stretching ฟังก์ชันของเบนซีน ความยาวคลื่น 1,597.62 cm^{-1} ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยจากไพลจึงมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและมีองค์ประกอบของเอสเทอร์ด้วยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saowaluck Bua-in และ Yingyong Paisooksantivatana (Bua-in, S.,Paisooksantivatana, Y.,2009) ทำการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากหัวไพลในพื้นที่ในประเทศไทยและพบว่าในพื้นที่ในภาคเหนือ มีองค์ประกอบหลักเป็นสาร sabinene, terpinen-4-ol and DMPBD ((*E*)-1(3, 4-dimethylphenyl) butadiene) แต่มีองค์ประกอบรองคือ terpinyl acetate ซึ่งเป็นสารกลุ่มเอสเทอร์

น้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น (ภาพที่ 3 (ค)) จากการเตรียมวัตถุดิบใน 2 ลักษณะคือ หั่นเป็นชิ้นบางและหั่นเป็นชิ้น และทุบ มีรูปแบบการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดเหมือนกันและสอดคล้องกับ tagetes oil ร้อยละ 68.16 ซึ่งคือน้ำมันดอกดาวเรือง แต่จากภาพที่ 3 (ง) จุดที่ชัดเจนที่สุดคือ การดูดกลืนรังสีสูงสุดเป็นที่ความยาวคลื่น 1,617.00 cm^{-1} สอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันของเบนซีน (C=C stretching) แต่ไม่มีพีคที่สอดคล้องกับแอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตนหรือเอสเทอร์ ตามการจำแนกสารหอมตามโครงสร้างเคมี ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ตามค่าการดูดกลืนรังสีสูงสุดลำดับที่สามที่ความยาวคลื่น 815.38 cm^{-1} เป็นหมู่ฟังก์ชันอัลคีน(C-H (OOP bending)) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moghaddam, Omidbiagi และ Sefidkon (2007) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดอกดาวเรือง ประกอบไปด้วย limonene dihydrotagetone (Z)-tagetone (E)-ocimenone และ a-terpineol ซึ่งในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมีสาร limonene อยู่ในกลุ่ม (กองการแพทย์ทางเลือก, 2550)

น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดและน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดหั่นบางๆ (ภาพที่ 4 (ก) และ (ข)) ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดสอดคล้องกับ myrrh oil (Asia) ร้อยละ 82.15 และ black pepper oil ร้อยละ 91.65 ตามลำดับ โดยที่รูปแบบของกราฟการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดคล้ายกัน และจากภาพที่ 4 (ค) จุดที่ชัดเจนที่สุด คือ การดูดกลืนรังสีสูงสุดเป็นที่ความยาวคลื่น 2,918.13 cm^{-1} สอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชัน CH_3 CH_2 และ CH ของอัลเคน (C-H stretching) ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด จัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นอกจากนั้นยังมีพีคที่มีความเข้มลำดับที่สองสนับสนุน ที่ความยาวคลื่น 886.61 cm^{-1} C-H (OOP bending)) และพีคของหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์ (O-H stretching) ที่ความยาวคลื่น 3,442.00 cm^{-1} และพีคของหมู่ฟังก์ชันแอลดีไฮด์ (C=O stretching) ที่ความยาวคลื่น 1,728.31 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kasuan และคณะ (2013) ที่ศึกษาว่าน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดจะมีสาร citronellal ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มแอลดีไฮด์ อยู่ร้อยละ 7.8 ในผลผลิตจากมาเลเซีย และร้อยละ 4.2 ในผลผลิตจากไทย ในหมู่ฟังก์ชันของแอลกอฮอล์ก็จะมีสาร linalool ร้อยละ 1.0 ในผลผลิตจากมาเลเซีย ร้อยละ 0.5 ในผลผลิตจากไทย

ภาพที่ 4 (ง) พีคหลักคือที่ความยาวคลื่น 2,921.88 cm^{-1} สอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชัน CH_3 CH_2 และ CH ของอัลเคน (C-H stretching) และมีพีครองที่ความยาวคลื่น 873.40 cm^{-1} C-H (OOP bending)) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kasuan และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดในประเทศไทย พบว่าองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยคือ สาร limonene มีอยู่ถึงร้อยละ 29 แต่ในมาเลเซียมีร้อยละ 19.8 นอกจากนั้นยังมีพีคของหมู่ฟังก์ชันแอลดีไฮด์ (C=O stretching) ที่ความยาวคลื่น 1,728.31 cm^{-1}

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจาก ผลมะกรูด ขมิ้นและไพล ใน 2 ลักษณะการเตรียมวัตถุดิบ พบว่าร้อยละของผลผลิตน้ำมันหอมระเหยโดยมวล จากผิวมะกรูดมีค่ามากที่สุด คือร้อยละ 0.407 และการเตรียมวัตถุดิบจากขมิ้นด้วยการหั่นเป็นชิ้นและทุบได้ผลผลิตต่ำสุดคือร้อยละ 0.076 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของผลผลิตมีค่าอยู่ระหว่าง 0.85 ถึง 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร มีค่า pH 3 ถึง 5 มีความเป็นกรด และเอกลักษณ์การดูดกลืนรังสีอินฟาเรดถูกใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

จากตารางที่ 1 แสดงปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เก็บได้ในแต่ละช่วง ช่วงละ 30 นาที ในการทดลองที่ออกแบบการเก็บตัวอย่าง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก็เพื่อในการนำไปประยุกต์ใช้จัดการเรียนการสอน จะได้สอดคล้องกับการจัดการเรียนการสอนสำหรับโรงเรียน เพราะโดยทั่วไปในการจัดชั่วโมงการจัดการเรียนการสอนจะไม่เกิน 2 ชั่วโมง สำหรับไพลในการเตรียมวัตถุดิบทั้งสองแบบ ได้ผลรวมของน้ำมันใกล้เคียงกันเนื่องจากเนื้อของไพลจะอ่อนกว่าขมิ้นเวลาหั่นและทุบจะทำให้เนื้อไพลแตกมากว่าขมิ้นทำให้

ไอน้ำได้มีโอกาสสัมผัสกับในส่วนเนื้อของไพลจนสามารถค่อย ๆ เข้าไปดึงน้ำมันในเนื้อได้มากขึ้นเมื่อเทียบชั่วโมงแรกกับชั่วโมงหลังกับการหั่นเป็นแผ่นบาง ๆ แต่สำหรับขมิ้นเนื้อค่อนข้างแข็งทำให้มีบางส่วนทุบไม่แตกจึงทำให้หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ได้น้ำมันมากว่าเพราะทำการกลั่นเพียง 2 ชั่วโมง ทำให้มีวัตถุดิบบางส่วนที่หนาและทุบไม่แตกไอน้ำไม่สามารถเข้าไปดึงน้ำมันได้ แต่ถ้าเพิ่มเวลาสูงขึ้นการหั่นและทุบก็น่าจะได้น้ำมันออกมาอีก รวมแล้วน่าจะได้ใกล้เคียงกันเหมือนไพล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chandra และคณะ (2016) ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับร้อยละของผลผลิตของขมิ้น พบว่า ร้อยละของผลผลิตจะขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบเป็นลักษณะเชิงเส้น และร้อยละของผลผลิตชั่วโมงในการกลั่นจะขึ้นแบบเชิงเส้นใน 4 ชั่วโมงแรกและจะคงที่และลดลงในชั่วโมงถัดไป โดยที่ 2 ชั่วโมงได้ร้อยละ 1.14 ซึ่งร้อยละของผลผลิตน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น และ Sukatta และคณะ (2009) ได้ศึกษา ร้อยละของผลผลิตไพลในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่า ร้อยละของผลผลิตที่ได้เป็น 1.137 1.262 และ 1.373 ดังนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมในเรื่องผลผลิตก็คือ พื้นที่ปลูก นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิในการกลั่นและปริมาณน้ำ (มุกริน หนูคง, นักรบ นาคประสม และภาวิณี อารีศรีสม, 2557) ตรงนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของระบบกลั่นแล้ว จะเห็นได้ว่านักวิจัยที่กล่าวมาในข้างต้น ได้ร้อยละผลผลิตที่สูงกว่า ร้อยละผลผลิตของระบบที่สร้างขึ้น อาจเนื่องมาจากระบบในการกลั่นเป็นระบบห้องปฏิบัติการซึ่งมีการควบคุมปัจจัยต่างได้ดีกว่า

จากการศึกษาการเตรียมใน 2 ลักษณะ พบว่าการเตรียมไพลใช้เวลาน้อยกว่าขมิ้นเนื่องจากหัวใหญ่กว่าและเนื้อไม่แข็ง สำหรับมะกรูดการเตรียมผิวใช้เวลามากว่าแต่น้ำมันที่ได้ออกมามีสมบัติใกล้เคียงกันและปริมาณแตกต่างกันไม่มาก เมื่อนำปัจจัยเวลามาคำนวณต้นทุนการผลิตในรูปค่าแรงงาน น้ำมันหอมระเหยจาก ผิวมะกรูด มะกรูดหั่นเป็นแว่น ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นบาง ขมิ้นหั่นเป็นชิ้นและทุบ ไพลหั่นเป็นชิ้นบางและไพลหั่นชิ้นและทุบ ได้ผลแสดงค่าดังตามตารางที่ 4

จากข้อมูลในข้างต้นได้แก่ ขั้นตอนและความรู้ที่เกี่ยวข้อง จะต้องถูกนำมาเรียบเรียงเชื่อมโยงกับ 8 กลุ่มสาระในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน ดังภาพที่ 5 เพื่อพัฒนาเป็นคู่มือครูและแบบกิจกรรมสำหรับต่อยอดไปสู่การทดลองใช้ โดยคู่มือครูและชุดกิจกรรมจะต้องถูกตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญและชุดกิจกรรมจะได้ถูกนำไปทดลองใช้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนากิจกรรมที่ต่อเนื่องคือ กิจกรรมสะเต็มศึกษาเทียนหอม โดยจะนำผลผลิตที่ได้จากกิจกรรมแรก ไปต่อยอดในเชิงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

ภาพที่ 5 แผนภาพการเชื่อมโยงกิจกรรมสู่ 8 กลุ่มสาระ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณแก่ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ผู้ให้ทุนวิจัย และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการทำงานจนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กองการแพทย์ทางเลือก. (2550). *ตำราวิชาการสุคนธบำบัด.* กรุงเทพมหานคร: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์, นิรุต อ่อนสลุง, สัณหวัจน์ ทองแดง, มงคล มีแสง, และศรายุทธ พลสีลา. (2562). การวิเคราะห์ต้นทุนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมเพื่อการจำหน่ายเชิงพาณิชย์. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20* (หน้า 56-60). ชลบุรี: โรงแรมฮาร์ดร็อค พัทยา.

มุกริน หนูคง, นักรบ นาคประสม และภาวิณี อารีศรีสม. (2557). *การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไพลด้วยการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ.* เชียงใหม่ :มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สายสมร ลำลอง, และพงษ์นรินทร์ ยอดสิงห์. (2559). การใช้น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่พบ บนแผ่นยางพารา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 18*(1), 30-38.

Brown, G. R. (2007). *Introductory physics I elementary mechanics*. North Carolina: Duke University.

Bua-in, S. & Paisooksantivatana, Y. (2009). Essential oil and antioxidant activity of Cassumunar ginger (Zingiberaceae: *Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr.) collected from various Parts of Thailand. *Kasetsart Journal : Natural Science, 43*(3), 467-475.

Chandra, A., Sumit, P., Garg, S.K. & Rathore, A.K. (2016). Extraction of turmeric oil by continuous water circulation distillation. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, *2*(2), 404-410.

Kasuan, N., Muhammad, Z., Yusoff, Z., Rahiman, M.H.F., Taib, M.N. & Haiyee, Z.A. (2013). Extraction of *Citrus hystrix* D.C. (kaffir lime) essential oil using automated steam distillation process: analysis of volatile compounds. *Malaysian Journal of Analytical Sciences, 17*(3), 359-369.

Kumar, K.S. (2010). *Extraction of essential oil using stream distillation*. (Bachelor's thesis). National Institute of Technology Rourkela, Department of Chemical Engineering.

Moghaddam, M., Omidbiagi, R. & Sefidkon, F. (2007). Changes in content and chemical composition of *Tagetes minuta* oil at various harvest times. *Journal of Essential Oil Research*, *19*(1), 18-20.

Sukatta, U., Rugthaworn, P., Punjee, P., Chidchenchey, S., Keeratinijakal, V. (2009). Chemical composition and physical properties of oil from Plai (*Zingiber cassumunar* Roxb.) obtained by hydro distillation and hexane extraction. *Kasetsart Journal : Natural Science, 43*(5), 212-217.

วันที่รับบทความ 29 ต.ค. 62, วันที่แก้ไขบทความ 23 ธ.ค 62, วันที่ตอบรับบทความ 5 เม.ย. 63