

การจำลองแบบและการทดลองของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

Modelling and Experiment of Essential Oil Distillation from Leech Lime

ธีระเดช ชีวนันทชัย^{1*} อติรักษ์ กาญจนหฤทัย²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ถนน พัฒนาการ แขวงสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
โทร 02-321-6930-9 ต่อ 1203 , โทรสาร 02-321-4444

*E-mail: theeradet_ch@kbu.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี 12000

Theeradet Cheewananthachai^{1*} Adirak Kanchanaharuthai²

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University , Suanluang , Bangkok 10250 , Thailand
Tel: +66-02-321-6930-9 Ext.1203 , Fax: +66-02-321-4444

*E-mail: theeradet_ch@kbu.ac.th

²Department of Electrical and Electronics Engineering, College of Engineering, Rangsit University Pathumthani 12000, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด โดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำซึ่งไอน้ำจะนำพาน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดออกมา จากนั้นจะถูกควบแน่นด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ ให้น้ำกลายเป็นของเหลวซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่ได้ประกอบด้วยน้ำปนรวมกับน้ำมันหอมระเหยและเป็นการแยกน้ำมันออกจากน้ำ ด้วยความหนาแน่นของสารสองชนิดที่แตกต่างกัน โดยเครื่องกลั่นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ หม้อต้ม, ถังควบแน่น, ถังแยกน้ำมันออกจากน้ำ และ ตัวควบคุมกระแสไฟของระบบเครื่องกลั่น โดยหม้อต้มทำจากเหล็กไร้สนิม เบอร์ 304 มีความจุน้ำและเปลือกมะกรูดได้ปริมาตร 25 ลิตร ใช้ฮีตเตอร์ขนาด 3000 วัตต์ ในการต้มให้ความร้อน ถังควบแน่นทำเป็นทรงกระบอกมีท่อทองแดงขดเป็นคอยล์สปริงขดอยู่ด้านในท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ถังควบแน่นสามารถบรรจุน้ำที่ใช้ควบแน่นได้ 10.77 ลิตร

จากการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหยได้ทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่ได้ออกมา โดยได้ทดลองที่ความดันต่างๆ ที่ความดัน 1 bar,gauge อุณหภูมิ 120 °C ที่ความดัน 1.5 bar,gauge อุณหภูมิ 125 °C , ความดัน 2 bar,gauge อุณหภูมิ 130 °C และความดัน 2.5 bar,gauge อุณหภูมิ 135 °C การเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองที่พัฒนาจากวิธีเชิงตัวเลขโดยนำข้อมูลที่ได้มา Curve fitting โดยแบบจำลองที่ได้สามารถทำนายผลถึงปริมาณการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดได้ดี จากการทดลองพบว่าจุดที่ปริมาณการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ได้ดีที่สุด ทำการกลั่นที่ความดัน 2.5 bar,gauge ที่อุณหภูมิ

135 °C ได้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดประมาณ 177 มิลลิลิตรต่อการใช้วัตถุดิบผิวมะกรูด 5 กิโลกรัมในระบบการกลั่นแบบแบชต่อหนึ่งครั้ง โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง สมบัติทางกายภาพที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.8672 และเปอร์เซ็นต์ปริมาณการกลั่นน้ำมันหอมระเหยได้ 3.07 %w/w (น้ำหนักน้ำมันมะกรูดต่อวัตถุดิบน้ำหนักผิวมะกรูด)

คำหลัก การกลั่น, น้ำมันหอมระเหย, มะกรูด

Abstract

The purpose of this research was to study the mathematical equation model in predicting distillation of Essential leech lime oil. It was distilled leech lime with water vapor that conducted essential oil out of its skin and condensed it becoming essential leech lime oil. On the other hand, the result of the products was to mix between water and essential leech lime oil. The main tools consisted of four parts: a still, a condenser, an oil separator, and electrical controlling board.

The still is made of stainless steel No.304 that holds capacity of water was about 20 liters and a heater was 3000 watts for continuous electrical distribution. Additionally, the cylindrical condenser contained a copper coil in the form of spring coil with 12.7 millimeters diameter. The holding capacity of water in the condenser was 10.77 liters.

The test results showed that the Essential leech lime Oil Distiller at 1 bar,gauge of temperature 120 Celsius, pressure of 1.5 bar,gauge of temperature 125 Celsius, pressure of 2 bar,gauge

of temperature 130 Celsius, and 2.5 bar.gauge of temperature 135 Celsius. Results of the study from the model was used in creating a curve fitting numerical model From the experiment, it was found that the essential leech lime oil at pressure of 2.5 bar of temperature 135 Celsius was the most capable of extracting essential oil 177 millilitres per 5 kilograms of leech lime skins. Each time for distillation was used for 4 hours and the specific gravity of essential leech lime oil was 0.8672, its density was 867.2 kilogram per a cubic meter, and the flow rate of essential oil products was 3.07 %w/w

Keywords: Essential Oil, Distillation, Leech Lime

1. บทนำ

พืชสมุนไพรได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย หลังจากที่ถูกกล่เลยมานาน ปัจจุบันพืชสมุนไพรได้มีบทบาทในการดูแลสุขภาพของผู้บริโภคทั้งในแง่การป้องกันโรค การรักษาโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่ไม่สามารถรักษาด้วยยาแผนปัจจุบัน รุรกิจด้านยาหรืออาหารเสริมได้จับตามองว่าจะนำพืชสมุนไพรมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ได้อย่างไร จึงควรมีข้อมูลที่ถูกต้องสำหรับผู้ผลิตภาคอุตสาหกรรมและผู้บริโภคผลิตภัณฑ์นั้น

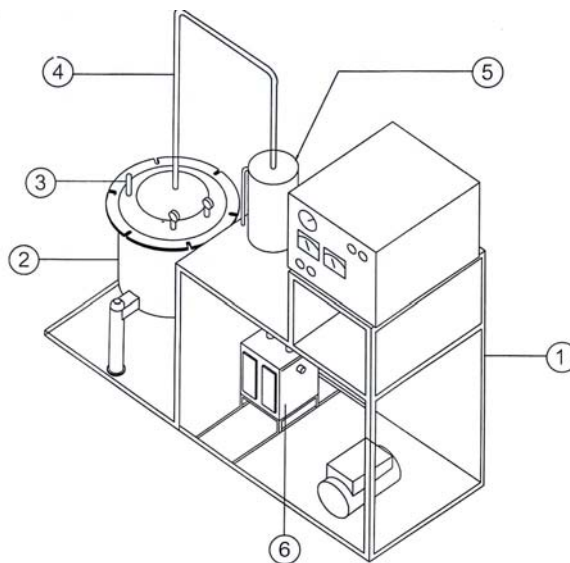
ปัจจุบันสมุนไพรกำลังเป็นพืชเศรษฐกิจต่างประเทศกำลังหาทางเข้ามาทำการลงทุนและคัดเลือกสมุนไพรไทยนำไปสกัดหาตัวยาเพื่อรักษาโรคบางโรค บางบริษัทก็ส่งสมุนไพรไทยไปสกัดหาสาระสำคัญในประเทศของเขาและนำสาระสำคัญนั้นๆไปใช้ในอุตสาหกรรมการเตรียมยา เครื่องสำอาง น้ำหวาน ลูกกวาด อาหารเพื่อสุขภาพและอื่น ๆ น้ำมันหอมระเหย เป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่ได้จากสมุนไพร ซึ่งในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหยกำลังเป็นที่นิยมของประชาชนกันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง ด้วยการสูดดมใช้กับเตาระเหย ใช้ผสมในน้ำมันนวดตัว หรือใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อให้กลิ่นหอม ปริมาณความต้องการใช้น้ำมันหอมระเหยจึงมีมากขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ประเทศไทยเรายังผลิตน้ำมันหอมระเหยได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ อีกทั้งค่านิยมที่เรายังใช้น้ำมันหอมระเหยจากต่างประเทศ ทำให้เราต้องนำเข้าน้ำมันหอมระเหยจากต่างประเทศปีละหลายพันล้านบาท

การสกัดสมุนไพรนั้น เป็นขั้นตอนหนึ่งที่จำเป็น ซึ่งจะได้ สารสกัดจากสมุนไพรเพื่อที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบ ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากสมุนไพร ซึ่งในปัจจุบัน ในอุตสาหกรรม ขนาดกลาง และใหญ่ ได้มีการใช้เครื่องสกัดสมุนไพรที่มีราคาสูง และขนาดใหญ่ ทางผู้จัดทำโครงการนี้จึงได้พิจารณาที่จะพัฒนาสร้าง เครื่องสกัดสมุนไพร ที่มีขนาดเล็กลง และราคาก็ถูกลง เพื่อเป็นประโยชน์ กับ อุตสาหกรรมในครัวเรือน และอุตสาหกรรมในชุมชน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การกลั่นด้วยไอน้ำเป็นวิธีทำสารให้บริสุทธิ์หรือเป็นวิธีแยกองค์ประกอบของสารต่างๆโดยใช้เทคนิคการกลั่นแบบแอ๊ชซึ่งเป็นวิธีการกลั่นโดยการนำเอาผิวมะกรูดกับน้ำบรรจุลงหม้อต้มแล้วให้ความร้อนแก่ผิวมะกรูดกับ ทำให้ระเหยน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

ออกมาปะปนผสมกับน้ำ อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ไอน้ำกลายเป็นไอพาเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาทำการควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ซึ่งเราจะได้น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่มีคุณภาพซึ่งมีความเข้มข้น



รูปที่ 1 เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด

ส่วนประกอบเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย 1. โครงเครื่อง 2. ถังกลั่นภายในมีขดของฮีตเตอร์ 3. ฝาถังกลั่นประกอบด้วยเกวียดความดัน, เกวียดอุณหภูมิ, วาล์วนิรภัย 4. ท่อไอน้ำ 5. คอนเดนเซอร์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.1 การสมดุลพลังงานของหม้อต้มกลั่นน้ำมันหอมระเหย

จากกฎอนุรักษ์พลังงานที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์จะได้

$$Q - W = \Delta H + \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

กระบวนการดังกล่าวไม่มีงาน, พลังงานจลน์, พลังงานศักย์ ดังนั้น

$$Q = \Delta H + \Delta U$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad Q = m(h_e - h_i) + \Delta U \quad (1)$$

จากกฎพลังงานสามารถหาอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นได้ดังนี้

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i$$

กระบวนการดังกล่าวการให้ความร้อนและงานมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้สมการ

$$\sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_i h_i$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

$$\dot{m}_{\text{water}} = \frac{\dot{m}_{\text{steam}}(h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (2)$$

โดยที่ U พลังงานภายใน (KJ) , u_f พลังงานภายในจำเพาะ (KJ/kg.k) , m มวล (kg) , V ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg) , C_p ค่าความจุความร้อน (KJ/kg.k) , $\dot{m}$ อัตราการไหล (kg/s) , x ค่าคุณภาพไอน้ำ (%) , h ค่าเอนทาลปีจำเพาะ (KJ/kg.k) , Q ค่าความร้อน (KJ) ,

h_f เอนทาลปีจำเพาะที่อยู่ในสถานะของเหลว (KJ/kg.k) ,
 h_{fg} เอนทาลปีจำเพาะที่อยู่ในสถานะของผสม (KJ/kg.k)

2.2 การคำนวณเกี่ยวกับการกลั่น

การกลั่นเป็นกระบวนการระเหยและกระบวนการควบแน่น ใช้สำหรับการแยกองค์ประกอบของสารต่างๆ ในสารละลาย โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดหรือค่าการระเหยสัมพัทธ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการกระจายของสารระหว่างสถานะที่เป็นก๊าซ (gas phase) โดยสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะระเหยออกมาด้วยปริมาณมากกว่า

เทคนิคการกลั่นแบบเบ๊ช เป็นวิธีการกลั่นโดยการนำของเหลวมาบรรจุลงในหม้อต้มช้า แล้วให้ความร้อนแก่ของเหลวที่ต้องการกลั่นของเหลวเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยกลายเป็นไอเคลื่อนที่ผ่านหอกลั่นและควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งที่เครื่องควบแน่น ซึ่งจะได้ของเหลวที่มีความเข้มข้นขององค์ประกอบจุดเดือดต่ำมีค่าสูงขึ้นระหว่างการกลั่นสัดส่วนโดยโมลของของเหลวในหม้อต้มช้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อกระบวนการดำเนินไป ความเข้มข้นของส่วนประกอบที่ระเหยง่ายในหม้อต้มช้าจะลดลง

การสมดุลมวลและความร้อนของสารระเหยในหอกลั่นเป็นดังนี้

$$Q_u = \frac{d}{dt} M u + m_e h_e + q_{loss} \quad (3)$$

เมื่อ M = มวลของสารละลายในหอกลั่น (kg), M_e = อัตราการไหลของไอในหอกลั่น (kg/s) , h_e = เอนทาลปีของไอในหอกลั่น (KJ/kg) , u = พลังงานภายในของสารละลายในหอกลั่น (KJ/kg)

โดยอัตราการสูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อกลั่นสามารถหาได้โดยการเขียนสมการสมดุลพลังงานที่ผิวสัมผัสหม้อกลั่นกับฉนวน ซึ่งอัตราการสูญเสียความร้อนเขียนได้เป็น

$$q_{loss} = (T_{s,1} - T_{s,2})/R_t \quad (4)$$

เมื่อ $T_{s,1}$ = อุณหภูมิในหม้อกลั่น , $T_{s,2}$ = อุณหภูมิภายนอกหม้อกลั่น , R_t = ความต้านทานความร้อนรวม

จากการสมดุลมวลในหม้อกลั่น ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลมวลรวมและสมการสมดุลมวลน้ำมันหอมระเหยตามลำดับ

$$\frac{dM}{dt} = -m_e \quad (5)$$

$$\frac{dx_{e,l} M}{dt} = -x_{e,v} m_e \quad (6)$$

เมื่อ $x_{e,l}$ = สัดส่วนโมลในเฟสของเหลว

$x_{e,v}$ = สัดส่วนโมลในเฟสไอ

กระบวนการกลั่นน้ำมันหอมระเหยและน้ำที่สถานะสมดุลของระบบสารสององค์ประกอบ คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารสององค์ประกอบจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของระบบ สำหรับสารละลายสององค์ประกอบการคำนวณความดันในเฟสไอที่อยู่ในสถานะสมดุลกับเฟสของเหลวที่อุณหภูมิต่างๆหาได้ดังนี้ [6]

$$P_t = \gamma_{e,l} x_{e,l} P_e + \gamma_{w,l} x_{w,l} P_w \quad (7)$$

เมื่อ P_t = ความดันรวม (kPa) , P_e = ความดันไอน้ำมันหอมระเหย (kPa) , P_w = ความดันไอของน้ำ (kPa) , $x_{w,l}$ = สัดส่วนโมลของน้ำในของเหลว , $\gamma_{e,l}$ = สัมประสิทธิ์กิจกรรมในเฟสของเหลวของน้ำมันหอมระเหย , $\gamma_{w,l}$ = สัมประสิทธิ์กิจกรรมในเฟสของเหลวของน้ำ

สัดส่วนโมลของน้ำมันหอมระเหยในเฟสไอ (y) เป็นดังนี้

$$y = \frac{\gamma_{e,l} x_{e,l} P_e}{P_t} \quad (8)$$

3. อุปกรณ์และวิธีการ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำนายภายใต้ขอบเขตเงื่อนไขของระบบการกลั่นที่ได้ออกแบบ ระบบการกลั่นที่ได้จากการออกแบบเพื่อใช้กลั่นน้ำมันหอมระเหย ให้ได้เปอร์เซ็นต์ปริมาณการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ 3.07 % w/w (น้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักผิวมะกรูด) โดยลักษณะของเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในการทำนายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริงที่ทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

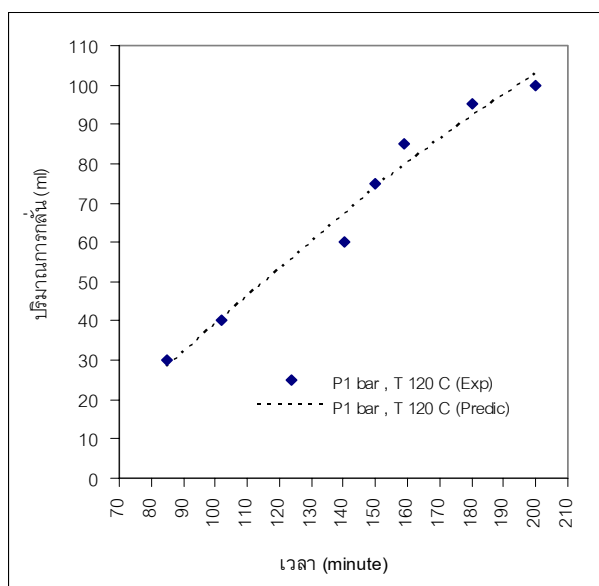
ความจุรวมหม้อต้ม	25 ลิตร
ผิวมะกรูด	5 kg
ปริมาณน้ำที่ใช้กลั่น	20 ลิตร
การต้มให้ความร้อนใช้อัตเตอร์ขนาด	3000 วัตต์
เส้นผ่านศูนย์กลางตัวแลกเปลี่ยนความร้อน	12.7 มิลลิเมตร
ทำจากท่อทองแดงขัดเป็นคอปเปอร์สปีริง	
ปริมาตรตัวควบแน่นบรรจุน้ำที่ใช้หล่อเย็น	10.77 ลิตร
ความดันและอุณหภูมิทำการทดสอบที่ 4 ระดับ	

ความดัน 1 bar.gauge อุณหภูมิ 120 °C , ที่ความดัน 1.5 bar.gauge อุณหภูมิ 125 °C , ความดัน 2 bar.gauge อุณหภูมิ 130 °C และ ความดัน 2.5 bar.gauge อุณหภูมิ 135 °C

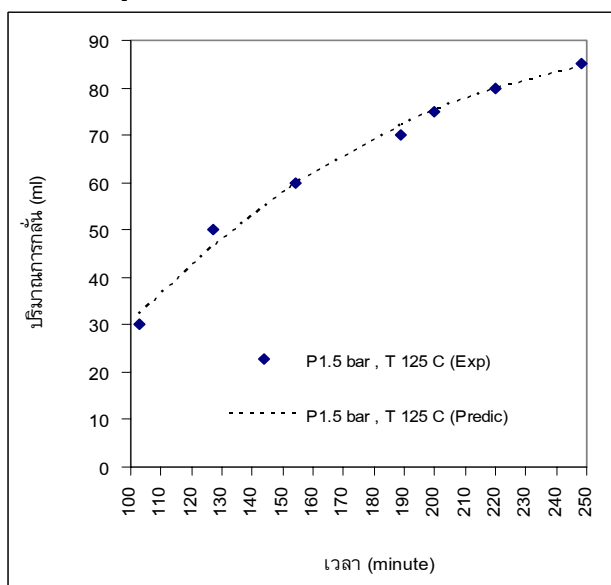
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

จากการทดลองที่ความดันที่ 1 bar.gauge 120 °C ใช้มวลผิวมะกรูด 5 กิโลกรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร ใช้เวลาในการต้ม 3.20 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าได้น้ำมันหอมระเหยปนตะกอนรวม 100 ml เมื่อนำน้ำมันมาแยกได้น้ำมันหอมระเหย 30 ml อีก 70 ml เป็นคราบตะกอน สีน้ำมันหอมระเหยมีสีเขียวใสส่วนคราบตะกอนที่ได้มีสีเขียวขุ่น ดังนั้นข้อมูลความดันที่ 1 bar.gauge จึงไม่เหมาะสมในการกลั่นเพราะน้ำมันหอมระเหยที่ได้มีเขียวเนื่องจากอุณหภูมิที่ 120 °C โดยมีความร้อนไม่สูงพอที่จะทำลายสีเขียวของคลอโรฟิลล์ของผิวมะกรูดและอีกทั้งที่ความดัน 1 bar.gauge น้ำมันหอมระเหยก็ได้้น้อยเพราะแรงดันดังกล่าวไม่สามารถผลักดันน้ำมันที่อยู่ในผิวมะกรูดออกมาได้มากพอที่จะกลั่นออกมาเป็นน้ำมันหอมระเหย



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 1 bar 120 °C

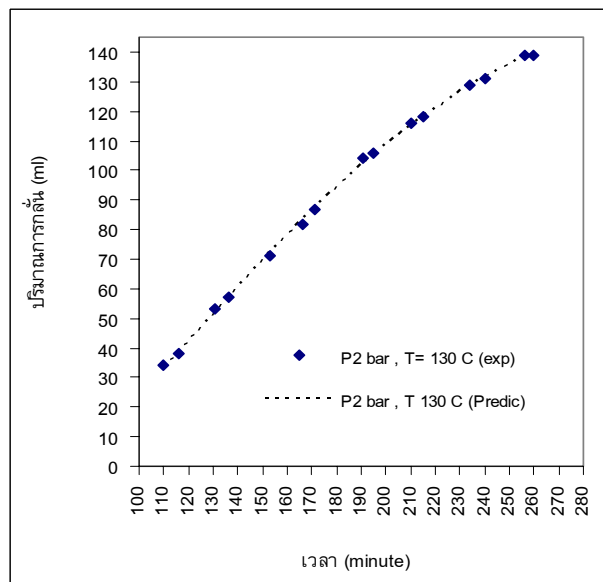


รูปที่ 3 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 1.5 bar 125 °C

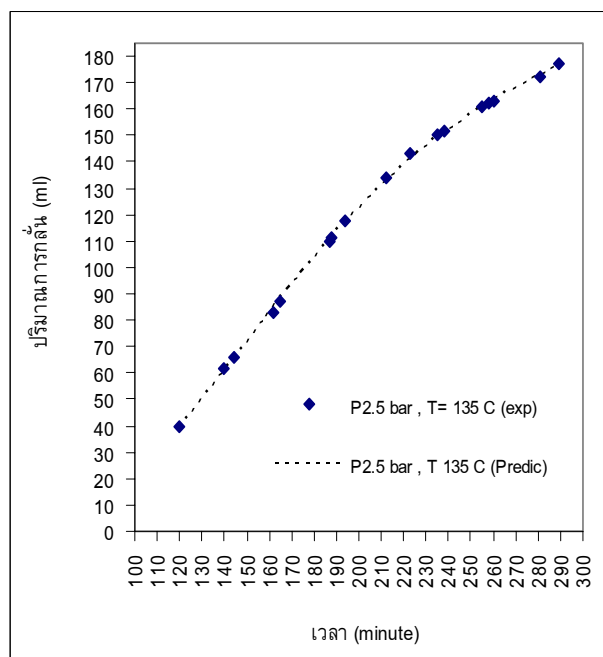
จากการทดลองที่ความดัน 1.5 bar.gauge 125 °C ใส่ผิวมะกรูด 5 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ใช้เวลาในการต้ม 4.08 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าได้น้ำมันหอมระเหยปนตะกอนรวม 85 ml เมื่อนำน้ำมันมาแยกได้น้ำมันหอมระเหย 60 ml อีก 25 ml เป็นคราบตะกอน ซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่ได้มีสีเขียวใสส่วนคราบตะกอนมีสีเขียวขุ่นเช่นเดียวกับความดันที่ 1 bar.gauge ดังนั้นข้อมูลที่ 1.5 bar.gauge ก็ยังไม่เหมาะสมกับการกลั่นน้ำมันหอมระเหยยังเหมือนกับข้อมูลการทดลองที่ 1 bar.gauge แต่ก็มีข้อแตกต่างคือในปริมาณน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น ปริมาณคราบตะกอนลดลง

จากการทดลองที่ความดันที่ 2 bar.gauge อุณหภูมิ 130 °C โดยใส่ผิวมะกรูด 5 กิโลกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ใช้เวลาต้ม 4.08 ชั่วโมง ได้น้ำมันหอมระเหย 138.67 ml เมื่อนำน้ำมันมาแยกได้น้ำมันหอมระเหย 105 ml และได้คราบตะกอน 33.67 ml สีของน้ำมันหอมระเหยที่ได้มีสีเหลืองใสส่วนคราบตะกอนมีสีน้ำตาลเข้ม เห็นได้น้ำมันหอม

ระเหยที่ความดันที่ 2 bar.gauge 130 °C สีของน้ำมันที่ได้มีสีเหลืองใส กลิ่นหอมของมะกรูดอีกทั้งไม่มีกลิ่นเหม็นเขียว แสดงว่าความดันดังกล่าวส่งผลทำให้น้ำมันออกจากผิวมะกรูดได้ดีกว่าที่ 1 bar.gauge 1.5 บาร์ และอุณหภูมิจุดเดือดที่ 130 °C ทำให้ปริมาณของน้ำมันระเหยจากมะกรูดอยู่ในเกณฑ์พอใช้



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2 bar 130 °C

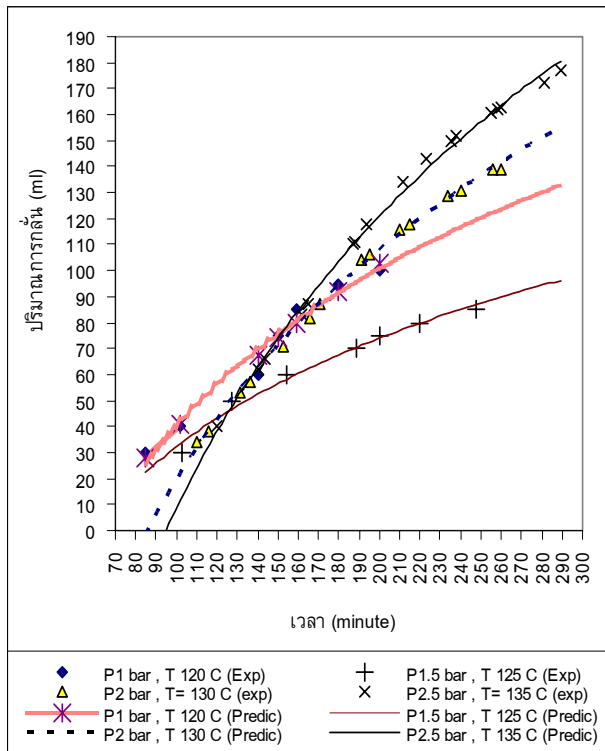


รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2.5 bar 135 °C

จากการทดลองที่ความดัน 2.5 bar.gauge อุณหภูมิ 135 °C โดยใส่ผิวมะกรูด 5 kg ต่อน้ำ 20 ลิตร ใช้เวลาในการต้ม 4.45 ชั่วโมง ได้น้ำมันหอมระเหยรวม 177.28 ml หลังจากนำมาแยกได้น้ำมันหอมระเหย 170 ml และได้ไขมันเป็นคราบตะกอน 2.28 มิลลิลิตร

ทั้งนี้ที่ความดัน 2.5 bar.gauge 135 °C ที่ทำการทดลองเฉลี่ย 2 ครั้ง ได้น้ำมันหอมระเหยในปริมาณมากที่สุดกว่าทุกความดันที่ใช้ในการ

ทดลองที่ 1 , 1.5 2 bar.gauge ตามลำดับตลอดทั้งสี่ของน้ำมันหอมระเหยมีสีเหลืองใสซึ่งใกว่าความดันทั้งหมดที่ได้ทำการทดลองจากผลการทดลองดังกล่าวเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลการทดลองรวม

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณการกลั่นน้ำมัน

หอมระเหยจากผิวมะกรูด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายในรูปแบบการทำนายตั้งสมการที่ 9 ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 1

$$\text{ปริมาณการกลั่นน้ำมันหอมระเหย} = \exp \left[\left(A + \left(\frac{B}{\text{time}} \right) + C \cdot [\ln \cdot (\text{time})] \right) \right] \quad (9)$$

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทำนายปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเทียบกับเวลาในการกลั่น

ความดันเกจ , อุณหภูมิ	A	B	C	R ²
P=1 bar , T=120 C	4.61875	-170.767	0.164174	0.98780
P=1.5 bar , T=125 C	9.83817	-288.076	-0.769528	0.99493
P=2 bar , T=130 C	11.5671	-422.976	-0.898869	0.99972
P=2.5 bar , T=135 C	14.2621	-539.600	-1.27474	0.99964

โดยที่ค่าคงที่ A , B และ C แสดงในตารางที่ 1 จากสมการทำนายปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดในสมการที่ 9 โดยค่าคงที่ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความดันและอุณหภูมิในหม้อต้มกลั่นสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำนายโดยใช้รูปแบบโพลีโนเมียลถึงสมการที่ 10 ,11 และ 12 โดยค่าคงที่ต่างๆแสดงในตารางที่ 2 และ 3

$$A = m + (n \cdot P) + (o \cdot P^2) + (q \cdot T) + (s \cdot T^2) \quad (10)$$

$$B = m + (n \cdot P) + (o \cdot P^2) + (q \cdot T) + (s \cdot T^2) \quad (11)$$

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของโพลีโนเมียลในสมการที่ 10 และ 11

	m	n	o	q	s	R ²
A	-4.4876	14.6070	-2.5829	-0.0926	0.00058	.98994
B	102.509	-114.84	12.8550	13.1920	-0.1217	0.99958

$$C = m + (n \cdot P) + (o \cdot P^2) + (s \cdot P^3) + (q \cdot T) + (u \cdot T^2) + (v \cdot T^3) \quad (12)$$

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของโพลีโนเมียลในสมการที่ 12

C	m	n	o	s
	6.510718	-15.1459	7.876106	-1.39707
	q	u	v	R ²
	0.031214	-0.000219	0.000001	1

โดยที่ตัวแปร P คือ ความดันที่ใช้ในการกลั่น (bar)

T คือ อุณหภูมิของไอน้ำและน้ำมันในถังกลั่น (°C)

m , n , o , q, s, u และ v คือ ค่าคงที่

4.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ในการสร้างเครื่อง

4.3.1 การคำนวณค่าไฟฟ้า

เลือกใช้ Heater 3000 W = 3 kW

ใช้เวลาในการต้ม 4 ชั่วโมง / ครั้งจะได้

$$= 13 \text{ kW} \times \frac{4 \text{ hr}}{\text{ครั้ง}} \times \frac{1 \text{ ครั้ง}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{30 \text{ วัน}}{1 \text{ เดือน}}$$

ค่าไฟฟ้าจาก Heater = 360 kW. hr/ เดือน

เลือกใช้ปั๊มน้ำ 0.45 hp = 0.3357 kW เวลาที่ใช้ในการควบแน่น

$$2.45 \text{ hr} \text{ จะได้} = 0.3357 \text{ kW} \times \frac{2.70 \text{ hr}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{1 \text{ ครั้ง}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{30 \text{ วัน}}{1 \text{ เดือน}}$$

ค่าไฟฟ้าจาก Pump = 27.192 kW. hr / เดือน

∴ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 360 + 27.192 = 387.192 kW. hr / เดือน

ดังนั้นคิดค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในแต่ละเดือนจะได้

หน่วยที่ 1-150 150 × 1.8047 = 270.71 บาท

หน่วยที่ 151-400 237.192 × 2.7781 = 658.94 บาท

ค่าบริการ = 40.90 บาท

รวม = 970.55 บาท

คิดภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% = 970.55 × 0.07 = 67.94 บาท

$$\begin{aligned}\text{รวมเงินค่าใช้ไฟฟ้า} &= 970.55 + 67.94 \\ &= 1,038.49 \text{ บาท / เดือน}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าไฟฟ้าต่อครั้ง} &= 34.62 \text{ บาท} \\ \text{ค่าไฟฟ้าต่อปี} &= 12461.88 \text{ บาท}\end{aligned}$$

4.3.2 ค่าวัตถุดิบ

มะกรูดราคาจากสวน 100 ผล 20 บาท

จากการทดลองมะกรูด 23 ผล : 1 kg

ใช้มะกรูด 12 kg : 1 ครั้งการกลั่น (โดยได้ผิวมะกรูด 5 kg)

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น จำนวนผลมะกรูดที่ใช้} &= \frac{23 \text{ ผล} \times 12 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \\ \text{ราคาต่อครั้ง} &= \frac{276 \text{ ผล} \times 20 \text{ บาท}}{100 \text{ ผล}} = 55.20 \text{ บาท/ครั้ง} \\ \text{ราคาต่อเดือน} &= \frac{55.20 \text{ บาท}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{1 \text{ ครั้ง}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{30 \text{ วัน}}{1 \text{ เดือน}} \\ &= 1,656 \text{ บาท/เดือน} \\ \text{ราคาต่อปี} &= \frac{1,656 \text{ บาท}}{\text{เดือน}} \times \frac{12 \text{ เดือน}}{1 \text{ ปี}} \\ &= 19,872 \text{ บาท/ปี}\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ค่ามะกรูดที่ใช้ในการกลั่น 19,872 บาท/ปี

4.3.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการสร้างเครื่อง

จากการทดลอง ที่ความดัน 2.5 bar 135 °C ได้ปริมาณน้ำมัน
ระเหย 170 ml / 1 ครั้ง ดังนั้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้

$$\begin{aligned}\text{คิดเป็นเดือน} &= \frac{170 \text{ ml}}{1 \text{ ครั้ง}} \times \frac{1 \text{ ครั้ง}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{30 \text{ วัน}}{1 \text{ เดือน}} \\ &= 5,100 \text{ ml / เดือน} \\ \text{คิดเป็นรายปี} &= \frac{5,100 \text{ ml}}{\text{เดือน}} \times \frac{12 \text{ เดือน}}{1 \text{ ปี}} = 61,200 \text{ ml / ปี}\end{aligned}$$

ราคาน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูด 10 ml ราคา 130 บาท

$$\begin{aligned}\text{ราคาต่อครั้ง} &= \frac{170 \text{ ml}}{\text{ครั้ง}} \times \frac{130 \text{ บาท}}{10 \text{ ml}} = 2,210 \text{ บาท / ครั้ง} \\ \text{ราคาต่อเดือน} &= \frac{2,210 \text{ บาท}}{\text{ครั้ง}} \times \frac{1 \text{ ครั้ง}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{30 \text{ วัน}}{1 \text{ เดือน}} \\ &= 66,300 \text{ บาท / เดือน} \\ \text{ราคาต่อปี} &= \frac{66,300 \text{ บาท}}{\text{เดือน}} \times \frac{12 \text{ เดือน}}{1 \text{ ปี}} = 795,600 \text{ บาท / ปี}\end{aligned}$$

$$R ; \text{ รายได้} = 795,006 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned}C ; \text{ รายจ่าย} &= \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าวัตถุดิบ} \\ &= 12,461.88 + 19,872 \\ &= 32,333.88 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$F ; \text{ ต้นทุนคงที่ (งบประมาณในการสร้างเครื่อง)} = 27,164 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned}N ; \text{ ปริมาณการผลิต (ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้)} \\ = 61,200 \text{ ml / ปี}\end{aligned}$$

$$P ; \text{ ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย} \quad 13 \text{ บาท : 1 ml}$$

$$\begin{aligned}P ; \text{ กำไร} &= R - C \\ &= 795,600 - 32,333.88 \\ &= 763,266.12 \text{ บาท}\end{aligned}$$

V ; ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

$$\text{จากสูตร } C = F + N \cdot V$$

$$\begin{aligned}V &= \frac{C - F}{N} \\ &= \frac{32,333.88 - 27,164}{61,200} \\ &= 0.08\end{aligned}$$

N* ; ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน

$$\begin{aligned}N^* &= \frac{F}{P - V} \\ &= \frac{27,164}{13 - 0.08} \\ &= 2,102.48 \text{ ml}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ราคาของจุดคุ้มทุน} &= \frac{2,102.48 \text{ ml} \times 130 \text{ บาท}}{10 \text{ ml}} \\ &= 27,332.24 \text{ บาท}\end{aligned}$$

5. สรุป

จากกราฟแสดงผลการทดลองใน ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้
จากการกลั่นโดยใช้ผิวมะกรูด 5 kg ต่อ น้ำ 20 ลิตร ที่ความดัน
2.5 bar, gauge อุณหภูมิ 135 °C ใช้เวลาในการต้ม 4 ชั่วโมง ปริมาณ
น้ำมันหอมระเหยที่ได้ 170 มิลลิกรัม ซึ่งได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ
การทดลองที่ความดัน 1, 1.5, 2 bar, gauge

เนื่องจากความดันที่ 2.5 bar, gauge สามารถกลั่นน้ำมันหอม
ระเหยจากผิวมะกรูดออกมาได้มากที่สุด อีกทั้งอุณหภูมิ 135 °C เป็น
อุณหภูมิที่เหมาะสมในการระเหยตัวของไอน้ำและน้ำมันหอมระเหย
ก่อนที่ความดันจะผลักดันไอน้ำและนำเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาด้วย
สีและกลิ่นที่ได้มีลักษณะสีเหลืองใสกลิ่นหอมจากผิวมะกรูดมีค่าความ
ถ่วงจำเพาะ 0.8672 และค่าความหนาแน่น 867.2 kg/m³ ได้
เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหย 3.07 % w/w

ในส่วนจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ทำนายปริมาณน้ำมันหอมระเหย
จากผิวมะกรูดจากการกลั่นในหม้อต้ม โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง
สามารถทำนายได้ดี ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(Coefficient of
determination) ค่า R² เฉลี่ยประมาณที่ 0.9955 ดังนั้นสมการที่ทำนาย
สามารถให้เกณฑ์ในการพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(Coefficient
of determination); R² ได้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชำมรงค์ มากคง และ สุพจน์ แยมสิริ เครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม พ.ศ.2542 หน้า 170-263.
- [2] พรประสิทธิ์ คงบุญ ณัฐวรายศ ชีระพงษ์ ว่องรัตนไพศาล และ ทนงเกียรติศิริโรจน์ "การกลั่นเอธานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อน" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 ภูเก็ต ประเทศไทย 14-16 ตุลาคม 2545 หน้า 683-688.
- [3] จิรศักดิ์ จิระวารี และวีระชัย แก่นทรัพย์ "เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยแสงอาทิตย์" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537
- [4] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานน้ำมันพืชมะกูด. กรุงเทพมหานคร: เข็ญ.ก. นิตมรัตน์โอเปอเรชั่น, มอก. 2078-2544
- [5] รศ สุนันท์ ศรีณญนิตย์, การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัทดวงกมล, 2545