

วิศวกรรมอุณหภาพและการจัดการของการกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบท่อแก้วสุญญากาศ Thermal Engineering and Management of Ethanol Distillation with Vacuum Tube Solar Collector

จ.จิตติ พานิชกุล¹ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์² ณัฐ วรยศ^{3*}

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

Jor.jitti Panichakul¹ Tanongkiat Kiatsiriroat² Nat Vorayos^{3*}

^{1,2,3} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University Muang District, Chiang Mai 50200

*E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มความสามารถในการกลั่นและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายผลการกลั่นเอทานอลและหาต้นทุนการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากการทดลองของระบบกลั่นที่ใช้เทคนิคแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย หม้อต้มซ้ำขนาด 50 ลิตร ตัวเก็บรังสีแบบท่อแก้วสุญญากาศพื้นที่ 3.6 ตารางเมตรและหอกลั่นสูง 60 เซนติเมตร โดยทำการทดลองเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มความสามารถในการกลั่นด้วยรูปแบบต่างๆ อาทิ การใช้ขดลวดความร้อนเสริมแก่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ค่ารังสีอาทิตย์ต่ำกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตร การใช้ความร้อนทั้งที่คอนเดนเซอร์มาอุ่นสารละลายเอทานอลก่อนป้อนแก่ระบบกลั่น เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าแตกต่างไม่เกินร้อยละ 19 เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการกลั่นแบบต่อเนื่องด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อนเสริมมาทำนายผลการกลั่นตลอดทั้งปีภายใต้ค่ารังสีของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การกลั่นสารละลายเอทานอลที่มีปริมาณตั้งต้น 14 ลิตร มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศพื้นที่ 3.6 ตารางเมตรร่วมกับขดลวดความร้อนขนาด 300 วัตต์สามารถกลั่นกลั่นสารละลายเอทานอลได้ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 692.56 ลิตร ที่มีความเข้มข้น 73.59 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อคิดเป็นปริมาณเอทานอลสุรได้เท่ากับ 509.68 ลิตร มีต้นทุนการกลั่นเท่ากับ 13.04 บาทต่อลิตรเอทานอลบริสุทธิ์ นอกเหนือจากการทำนายข้างต้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายผลการกลั่นสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากระบบการกลั่นที่มีขนาดความจุหม้อต้มซ้ำไม่เกิน 50 ลิตร ได้ว่า ระบบการกลั่นเอทานอลแบบเติมสารอย่างต่อเนื่องด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้ว

สุญญากาศพื้นที่ 13.2 ตารางเมตรร่วมกับขดลวดความร้อน 800 วัตต์ทำการกลั่นจากสารละลายตั้งต้นปริมาณ 49 ลิตร ได้ปริมาณการกลั่นสูงสุดเท่ากับ 2493.83 ลิตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 73.64 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อคิดเป็นปริมาณเอทานอลบริสุทธิ์เท่ากับ 1837.12 ลิตร โดยมีต้นทุนการกลั่นต่ำที่สุดเท่ากับ 8.29 บาทต่อลิตรเอทานอลบริสุทธิ์

Abstract

The purpose of this study is to find the methods that could increase the solar alcohol distillation and to develop mathematical model for predicting the distillation rate and the distillation cost. In this experimental study, the starting 10% alcohol solution is fed continuously to the solar distiller which consists of 50 L reboiler, 3.6 m² evacuated solar collector and 60 cm distillation column. The methods used for increasing the alcohol concentration are: use of auxiliary heater to support the heating when the solar radiation is lower than 750 W/m², use of waste heat form condenser to preheat the feed solution before entering the distiller. The simulation data are also compared with those from the experiment and the results agree quite well within 19 % error. The mathematical model is also used to predict the annual performance of the solar distillation unit with the auxiliary heater under Chiang Mai climate. With the starting amount of 14 L with 10 % alcohol concentration, for 3.6 m² collector and 300 W heater, the maximum yield is 692.56 L at 73.59 % alcohol concentration or 509.68 L pure alcohol equivalent. The distillation cost is 13.04 Baht/L of pure alcohol. Moreover, when the size of

reboiler is less than 50 L, the optimum area of solar collector is 13.2 m² when it is operating with 800 W heater. The amount of the starting solution is 49 L. At this condition, the amount of the yield is equal 1837.12 L of which the distillation cost is 8.29 Baht/L of pure alcohol

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ โดยมีผู้วิจัย[4]ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกระจก 2 ชั้น แบบท่อแก้ว และแบบท่อความร้อนพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศสามารถผลิตเอทานอลให้มีปริมาณการกลั่นตลอดปีสูงสุดและต้นทุนที่ต่ำที่สุด ทำให้นักวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ในช่วงเวลาทดลองประสบปัญหาจากการที่เมฆเคลื่อนที่บังแสงอาทิตย์เป็นผลให้พลังงานความร้อนและอุณหภูมิลดลงเพื่อรักษาพลังงานความร้อนและอุณหภูมิให้ระบบกลั่นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจำเป็นต้องอาศัยพลังงานความร้อนเสริมเข้าช่วยนั่นก็คือ ขดลวดไฟฟ้าเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการให้พลังงานความร้อนในช่วงที่ค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ลดลงจากการมีเมฆบังและเป็นแหล่งพลังงานให้กับเอทานอลที่เริ่มทดลองใหม่ในตอนช่วงเช้าที่มีค่าความเข้มข้นต่ำจากนั้นใช้ข้อมูลทั้งหมดเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายสมรรถนะและต้นทุนในการกลั่นเอทานอลด้วยเทคนิคการกลั่นแบบเดิมสารอย่างต่อเนื่องและใช้หากลั่นโดยอาศัยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศเป็นแหล่งพลังงานความร้อนหลักและให้ขดลวดไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การคำนวณรังสีแสงอาทิตย์

การคำนวณรังสีแสงอาทิตย์นั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นค่าเวลาสุริยะ (Solar time) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard time) ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลหลักสองประการ ประการแรกคือ ความแตกต่างของลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้ในการคำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่นกับเส้นลองจิจูดเมริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการพิจารณา ประการที่สอง เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไปทั้งปีจึงทำให้เวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะแตกต่างกัน ซึ่งจะมีค่าชดเชยที่เรียกว่าสมการเวลา (Equation of time, E) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะและเวลามาตรฐานท้องถิ่นจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่รวบรวมโดย Duffie and Beckman [6] ดังนี้

$$\text{Solartime} - \text{Standard time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E, \text{min} \quad (1)$$

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B, \text{min} \quad (2)$$

$$B = \frac{360(n - 81)}{365} \quad (3)$$

เมื่อ E = สมการเวลา

n = วันที่ของปี

L_{st} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐาน

L_{loc} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่พิจารณา

รังสีอาทิตย์รวมที่ตกลงมาบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายสำหรับประเทศไทยรังสีกระจายจะคำนวณได้จากสมการที่รวบรวมโดย Duffie and Beckman [6] ดังนี้

$$\frac{H_d}{H} = -4.6408 + 26.5495 \left(\frac{H}{H_o} \right) - 28.3422 \left(\frac{H}{H_o} \right)^2 - 31.4546 \left(\frac{H}{H_o} \right)^3 + 46.4421 \left(\frac{H}{H_o} \right)^4 \quad (4)$$

เมื่อ H_d = รังสีกระจายรายวัน

H_o = รังสีรวมรายวันที่นอกชั้นบรรยากาศ

H = รังสีรวมรายวัน

รังสีแสงอาทิตย์รายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวันดังนี้

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (5)$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \quad (6)$$

เมื่อ I = รังสีอาทิตย์รายชั่วโมง

H = รังสีรวมรายวัน

ω = มุมชั่วโมง

รังสีกระจายรายชั่วโมงคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมงต่อค่ารังสีกระจายรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \quad (7)$$

ดังนั้นจะได้รังสีตรงรายชั่วโมงดังนี้

$$I_b = I - I_d \quad (8)$$

เมื่อ I_b = รังสีตรงรายชั่วโมง

I_d = รังสีกระจายรายชั่วโมง

I = รังสีรวมรายชั่วโมง

ในกรณีตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่วางเอียงเพื่อรับรังสีอาทิตย์ จะต้องคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนพื้นเรียบในแนวเอียง จากแนวระนาบที่มุมต่างๆ จะมีแนวทางในการคำนวณดังนี้

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \rho \quad (9)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (10)$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (11)$$

เมื่อ I_T = รังสีอาทิตย์รวมบนระนาบเอียง

I_b = รังสีตรงบนระนาบในแนวระดับ

I_d = รังสีกระจายบนระนาบในแนวระดับ

β = มุมเอียงจากแนวระดับ

θ = มุมตกกระทบรังสีตรงบนระนาบในแนวเอียง

θ_z = มุมตกกระทบรังสีตรงบนระนาบในแนวระดับ

ρ = แปรการสะท้อนรังสีจากพื้น

2.2 การคำนวณความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ระบบกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อความร้อน ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์จะรับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์และส่งผ่านความร้อนไปยังสารละลายเอทานอลที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสี ทำให้สารละลายเอทานอลเดือดกลายเป็นไอเคลื่อนเข้าสู่หอกลั่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารละลายเอทานอล ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดท่อความร้อนจะมีการสูญเสียความร้อนน้อยมาก [2] ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_u = (\tau \alpha) I_T A_c - U_L A_c (T_c - T_a) \quad (12)$$

$$Q_u = \eta I_T A_c \quad (13)$$

เมื่อ Q_u = อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (W)

A_c = พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

I_T = รังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

$\tau \alpha$ = ประสิทธิภาพค่าส่งผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสี

U_L = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากผิวดูดรังสี

T_c = อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

η = ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

2.3 การคำนวณเกี่ยวกับการกลั่น

การกลั่นเป็นกระบวนการระเหยและกระบวนการควบแน่น ใช้สำหรับการแยกองค์ประกอบของสารต่างๆ ในสารละลาย [4] โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือดหรือค่าการระเหยสัมพัทธ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับกากระจายของสารระหว่างสถานะที่เป็นก๊าซ (gas phase) โดยสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะระเหยออกมาด้วยปริมาณมากกว่า

การสมดุลมวลและความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของสารละลายในหอกลั่นเป็นดังนี้ [4]

$$Q_u = \frac{d}{dt} Mu + m_e h_e + q_{loss} \quad (14)$$

เมื่อ M = มวลของสารละลายในหอกลั่น (kg)

m_e = อัตราการไหลของไอในหอกลั่น (kg/s)

h_e = เอนทาลปีของไอในหอกลั่น (kJ/kg)

u = พลังงานภายในของสารละลายในหอกลั่น

การสมดุลมวลและความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับขดลวดของสารละลายในหอกลั่นเป็นดังนี้

$$Q_u + Q_h = \frac{d}{dt} Mu + m_e h_e + q_{loss} \quad (15)$$

โดยอัตราการสูญเสียความร้อนผ่านผนังหอกลั่นสามารถหาได้โดยการเขียนสมการดุลย์พลังงานที่ผิวสัมผัสหอกลั่นกับฉนวน ซึ่งอัตราการสูญเสียความร้อนเขียนได้เป็น

$$q_{loss} = (T_{s,1} - T_{s,2}) / R_t \quad (15)$$

เมื่อ $T_{s,1}$ = อุณหภูมิในหอกลั่น

$T_{s,2}$ = อุณหภูมินอกหอกลั่น

R_t = ความต้านทานความร้อนรวม

จากการสมดุลมวลในหอกลั่น ปริมาณของของเอทานอลที่กลั่นได้สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลมวลรวมและสมการสมดุลมวลเอทานอลตามลำดับ

$$\frac{dM}{dt} = -m_e \quad (16)$$

$$\frac{dx_{e,l} M}{dt} = -x_{e,v} m_e \quad (17)$$

เมื่อ $x_{e,l}$ = สัดส่วนโมลเอทานอลในเฟสของเหลว

$x_{e,v}$ = สัดส่วนโมลเอทานอลในเฟสไอ

กระบวนการกลั่นสารละลายเอทานอล-น้ำที่สภาวะสมดุลของระบบ สารสององค์ประกอบ คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารสอง องค์ประกอบจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของระบบ สำหรับสารละลาย สององค์ประกอบการคำนวณความดันในเฟสไอที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับ เฟสของเหลวที่อุณหภูมิต่างๆหาได้ดังนี้ [6]

$$P_t = \gamma_{e,l} x_{e,l} P_e + \gamma_{w,l} x_{w,l} P_w \quad (18)$$

เมื่อ P_t = ความดันรวม (kPa)

P_e = ความดันไอเอทานอล (kPa)

P_w = ความดันไอน้ำ (kPa)

$x_{w,l}$ = สัดส่วนโมลของน้ำในของเหลว

$\gamma_{e,l}$ = สัมประสิทธิ์กิจกรรมในเฟสของเหลวของเอทานอล

$\gamma_{w,l}$ = สัมประสิทธิ์กิจกรรมในเฟสของเหลวของน้ำ

สัดส่วนโมลของเอทานอลในเฟสไอ (y) เป็นดังนี้ [6]

$$y = \frac{\gamma_{e,l} x_{e,l} P_e}{P_t} \quad (19)$$

การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ในที่นี้จะใช้วิธีการหา ค่าใช้จ่ายรวมรายปี เพื่อใช้หาต้นทุนในการกลั่นเอทานอล โดยต้นทุน การ กลั่นหาได้จาก

$$\text{ต้นทุนการกลั่น} = \text{ต้นทุนรวมตลอดปี} / \text{ผลผลิตรวมตลอดปี} \quad (20)$$

3. ผลการทดลองกลั่นสารละลายเอทานอล

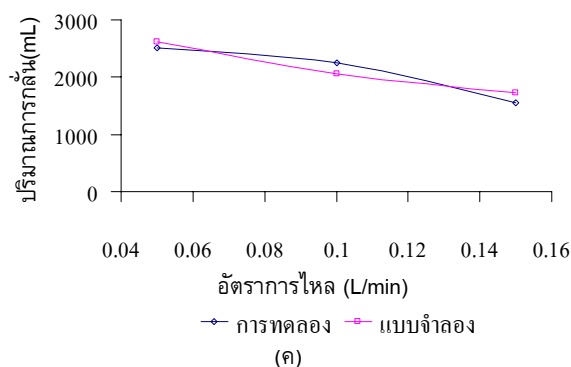
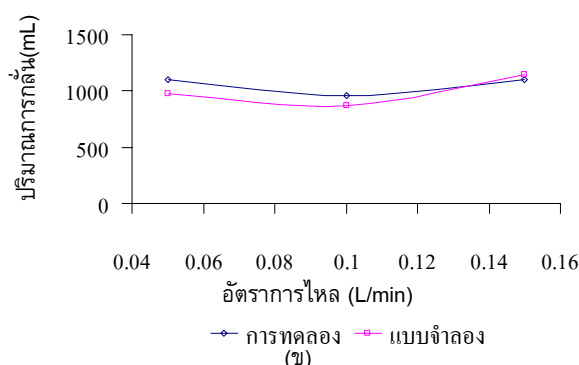
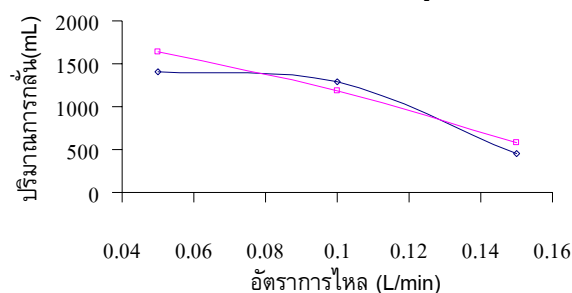
เพื่อศึกษาหาตัวแปรค่าต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะในการกลั่นจาก ปริมาณสารตั้งต้น 20 ลิตร ในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่มี ผลกระทบ 2 ตัวคือ อัตราการป้อนสารละลายเอทานอล และปริมาณ ความร้อนที่ใช้ในการกลั่นในขณะที่ยังมีค่ารังสีน้อยกว่า 750 วัตต์ต่อตาราง เมตร โดยปรับอัตราการป้อนสารละลายเอทานอลเข้าสู่ระบบกลั่น แบบต่อเนื่องซึ่งได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และขด ลวดความร้อนด้วยปริมาณคงที่ และการทดลองปรับอัตราความร้อนของ ขดลวดให้ระบบในช่วงที่ค่ารังสีน้อยจนทำให้การกลั่นตัวไม่ต่อเนื่อง- ขณะที่ยังอัตราการป้อนสารละลายเอทานอลเข้าระบบคงที่ ทั้งนี้ได้นำผล การทดลองแยกออกได้เป็น 2 หัวข้อดังนี้

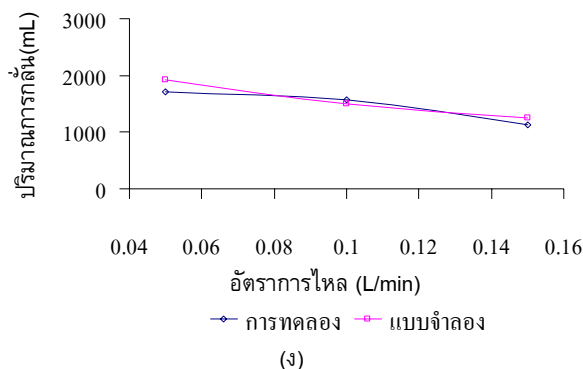
3.1 ผลของอัตราการป้อนสารที่มีต่อสมรรถนะการกลั่น

เพื่อศึกษาถึงผลของอัตราการป้อนสารละลายที่มีต่อสมรรถนะการ กลั่นเอทานอล ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกลั่นสารละลายเอทานอลโดยใช้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบทอแก้วสุญญากาศ ขนาด 3.6 ตารางเมตร ร่วมกับขดลวดความร้อนขนาด 1000 วัตต์ ระบบกลั่นเป็นแบบที่ใช้หอ กลั่นขนาดความสูงรวม 60 เซนติเมตร โดยการทดลองจะทำการป้อน สารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เข้า รับความร้อนทั้งจากคอนเดนเซอร์กลับใช้ใหม่ด้วยการอุ่นสารละลายเอ

ทานอลก่อนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการป้อนคงที่ที่ 0.05 0.10 และ 0.15 ลิตรต่อนาที

ช่วงเวลาทดลองตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. ในวันที่ 19 มีนาคม 2547 ทดลองป้อนสารละลายเอทานอลด้วยอัตรา 0.05 ลิตรต่อ นาที มีค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวัน 4.75 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตาราง เมตร ในวันที่ 17 มีนาคม 2547 ทดลองป้อนสารละลายเอทานอลด้วย อัตรา 0.10 ลิตรต่อนาที มีค่าความร้อนตลอดทั้งวัน 5.61 กิโลวัตต์- ชั่วโมงต่อตารางเมตร และวันที่ 6 เมษายน 2547 ทดลองป้อน สารละลายเอทานอลด้วยอัตรา 0.15 ลิตรต่อนาที มีค่าความร้อนตลอด ทั้งวัน 5.33 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร การทดลองของแต่ละวันใน ช่วงเวลาเริ่มต้นที่ 9.00 น. ระบบการกลั่นได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสี อาทิตย์ร่วมกับขดลวดขนาด 1000 วัตต์ จนกระทั่งอุณหภูมิสารละลาย เอทานอลถึงจุดเดือดและเริ่มกลั่นตัวแล้วจึงใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสี แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวโดยระบบการกลั่นถูกป้อนสารละลายเอทา นอลที่อัตราการไหลค่าต่างๆข้างต้นได้กล่าวมาจนกว่าอุณหภูมิของ สารละลายเอทานอลจะลดลงต่ำกว่าจุดเดือดหรือค่ารังสีอาทิตย์ต่ำกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้ได้ผลการกลั่นดังรูป 1





รูป 1 ปริมาณการกลั่นที่อัตราการป้อนสารละลายต่างๆจากการทดลองและแบบจำลอง (ก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ข) ตัวเก็บรังสีร่วมกับขดลวด 500 วัตต์ (ค) ปริมาณการกลั่นรวม (ง) ปริมาณเอทานอลรวม

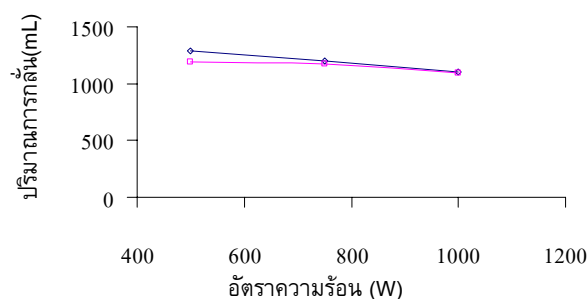
เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการกลั่นเอทานอลแบบเดิมสารอย่างต่อเนื่องที่อัตราการป้อนสารละลายเอทานอล 0.05 ลิตรต่อหน้าที่ กลั่นได้ปริมาณ 2625 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้น 73 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการป้อนสารละลายเอทานอล 0.10 ลิตรต่อหน้าที่ กลั่นได้ปริมาณ 2061 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้น 73 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราการป้อนสารละลายเอทานอล 0.15 ลิตรต่อหน้าที่ กลั่นได้ปริมาณ 1725 มิลลิลิตรที่ความเข้มข้น 73 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความแตกต่างของปริมาณการกลั่นไม่เกินร้อยละ 10.72

3.2 ผลของอัตราความร้อนเสริมที่มีต่อสมรรถนะการกลั่น

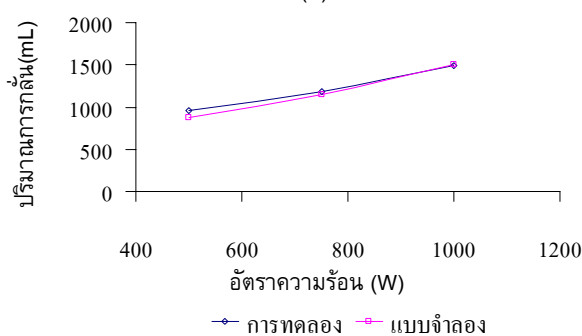
เพื่อศึกษาถึงผลของปริมาณความร้อนที่มีต่อสมรรถนะการกลั่นเอทานอล ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกลั่นสารละลายเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ ขนาด 3.6 ตารางเมตร ร่วมกับขดลวดความร้อนขนาด 1000 วัตต์ ให้ความร้อนแก่สารละลายเอทานอลในหม้อต้มซ้ำที่ปริมาณสารตั้งต้น 20 ลิตร จนกระทั่งอุณหภูมิถึงจุดเดือดและกลั่นตัว ระบบจะใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสีเพียงอย่างเดียว หลังจากเอทานอลเริ่มกลั่นตัว โดยการทดลองจะทำการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการป้อนคงที่ที่ 0.10 ลิตรต่อหน้าที่ จนกระทั่งอุณหภูมิในหม้อต้มซาลดลงหรือค่ารังสีลดลงน้อยกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ระบบจะความร้อนเสริมแก่ระบบที่อัตรา 500 750 และ 1000 วัตต์

ในการทดลองแต่ละวันเริ่มตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. ในวันที่ 17 มีนาคม 2547 ทดลองใช้ความร้อนเสริมปริมาณ 500 วัตต์ มีค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวัน 5.61 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ในวันที่ 8 เมษายน 2547 ทดลองใช้ความร้อนเสริมปริมาณ 750 วัตต์ มีค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวัน 5.65 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร และวันที่ 12 มีนาคม 2547 ทดลองใช้ความร้อนเสริมปริมาณ 1000 วัตต์ มีค่าความร้อนสะสมตลอดทั้งวัน 5.48 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร การทดลองของแต่ละวันในช่วงเวลาเริ่มต้นที่ 9.00 น. ระบบการกลั่นได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับขดลวดขนาด 1000 วัตต์ จนกระทั่งอุณหภูมิสารละลายเอทานอลถึงจุดเดือดและเริ่มกลั่นตัวแล้ว จึงใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวโดยระบบการกลั่นถูกป้อนสารละลายเอทานอลที่อัตราการไหลคงที่ที่ 0.10 ลิตรต่อ

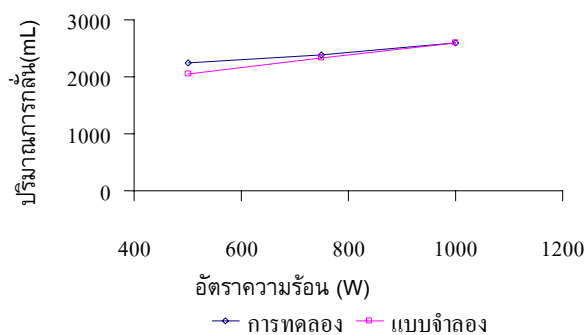
นาที จนกว่าอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลหรือค่ารังสีอาทิตย์ต่ำกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ระบบจะใช้ความร้อนเสริมที่ปริมาณดังที่กล่าวมาข้างต้นจนถึงเวลา 16.00 น.



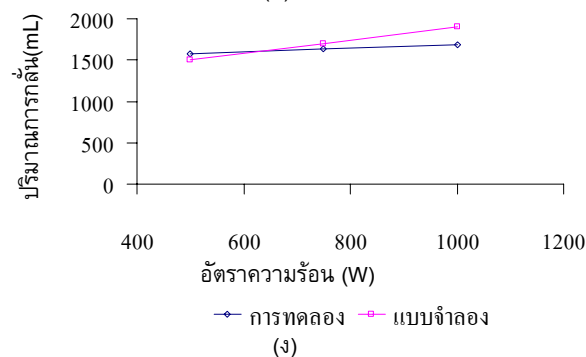
(ก)



(ข)



(ค)



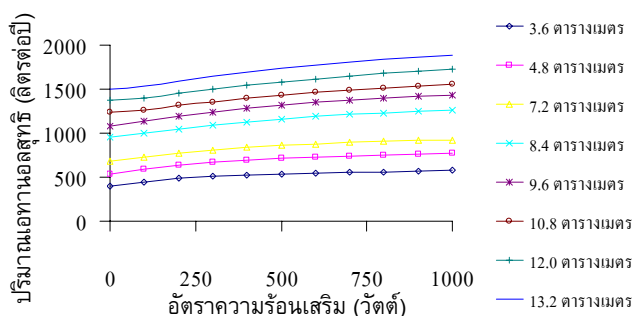
(ง)

รูป 2 ปริมาณการกลั่นที่ความร้อนเสริมปริมาณต่างๆ จากการทดลองและแบบจำลอง (ก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ข) ตัวเก็บรังสีร่วมกับขดลวด (ค) ปริมาณการกลั่นรวม (ง) ปริมาณเอทานอลรวม

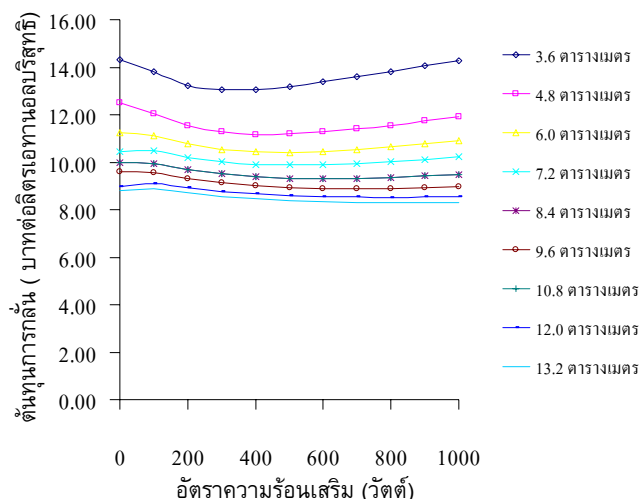
ปริมาณการกลั่นรวมตลอดทั้งวันเมื่อเทียบปริมาณกลั่นเอทานอลบริสุทธิ์นั้นแนวโน้มเป็นไปตามปริมาณความร้อนที่ได้รับข้างต้นตามผลทดลองในช่วงที่ค่ารังสีมากกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตรและช่วงที่ใช้ขดลวดความร้อนเสริม ปริมาณที่กลั่นได้ของขดลวดความร้อนเสริม 500 วัตต์เท่ากับ 1572 มิลลิลิตร ปริมาณที่กลั่นได้ของขดลวดความร้อนเสริม 750 วัตต์เท่ากับ 1641 มิลลิลิตร และปริมาณที่กลั่นได้ของขดลวดความร้อนเสริม 1000 วัตต์เท่ากับ 1684 มิลลิลิตร นำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ค่ารังสีและขดลวดความร้อนของการทดลองในแต่ละวัน ค่าความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 19.3

3.3 ต้นทุนการกลั่นเอทานอล

ผู้วิจัยได้ทำการหาต้นทุนการกลั่นของระบบการกลั่นเอทานอลแบบการเติมสารอย่างต่อเนื่องด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศร่วมกับขดลวดความร้อนเสริมที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ข้างต้น โดยทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภายใต้ค่ารังสีอาทิตย์ของจังหวัดเชียงใหม่จากระบบการกลั่นที่ประกอบไปด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศพื้นที่ 3.6 ตารางเมตรร่วมกับขดลวดความร้อนอัตราสูงสุด 3000 วัตต์ ให้ความร้อนแก่ระบบการกลั่นแบบต่อเนื่องจากสารตั้งต้นในหม้อต้มขนาดความจุสูงสุด 50 ลิตร กลั่นตัวโดยใช้หอกลั่นจำนวน 3 ชั้น ความสูงชั้นละ 20 เซนติเมตร และควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำทำนายที่ปริมาณสารตั้งต้น 14 ลิตร ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ระบบป้อนสารละลายเอทานอลเพื่อรักษาระดับและรับความร้อนเสริมที่อัตราต่างๆ ผลที่ได้ตลอดทั้งปี แสดงในรูป 3 และต้นทุนในรูป 4



รูป 3 ปริมาณเอทานอลบริสุทธิ์ที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกลั่นแบบการเติมสารอย่างต่อเนื่อง ณ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ค่าต่างๆ ร่วมกับขดลวดความร้อนเสริม



รูป 4.14 ต้นทุนการกลั่นเมื่อเทียบเป็นเอทานอลบริสุทธิ์ที่มีอยู่ในสารละลาย ที่ได้จากการทำนายระบบกลั่นแบบการเติมสารอย่างต่อเนื่อง ณ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ค่าต่างๆ ร่วมกับขดลวดความร้อนเสริม

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยครั้งนี้ การใช้ความร้อนเสริมและการป้อนสารในอัตราที่ตัวเก็บรังสีสามารถให้ความร้อนได้สามารถเพิ่มสมรรถนะระบบการกลั่น โดยระบบการกลั่นเอทานอลแบบการเติมสารอย่างต่อเนื่องด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศพื้นที่ 13.2 ตารางเมตรร่วมกับขดลวดความร้อนเสริม 800 วัตต์ ที่ปริมาณสารตั้งต้น 49 ลิตร ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีปริมาณการกลั่นสูงที่สุดเท่ากับ 2494.83 ลิตรสารละลายต่อปี ความเข้มข้นที่กลั่นได้เท่ากับ 73.64 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอทานอลบริสุทธิ์เท่ากับ 1837.12 ลิตร โดยมีต้นทุนการกลั่นต่ำที่สุดเท่ากับ 8.29 บาทต่อลิตรเอทานอล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนเงินลงทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษตร ชัยมณีวงศ์, "การกลั่นแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักมันสำปะหลังด้วยแสงอาทิตย์", มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปี พ.ศ. 2525
- [2] จิรศักดิ์ จิระวาริ และวีระชัย แก่นทรัพย์, "เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยแสงอาทิตย์", ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปี พ.ศ. 2523
- [3] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, "การออกแบบระบบพลังงานความร้อน", คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537
- [4] วีรพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล และคณะ . การผลิตเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน . สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, ปี พ.ศ. 2545
- [5] ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, "หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร", สำนักพิมพ์จุฬารังสรรค์มหาวิทยาลัย, ปี พ.ศ. 2530
- [6] Duffie, J. A. and Beckman, W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley & Sons, New York, 1980