

สมรรถนะและต้นทุนการผลิตของการกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการกลั่นสกัด

Performance and Production Cost of Solar Ethanol Distillation Using an Extractive Distillation Technique

สิโรจน์ คูหาวิจิตร ณัฐ วรยศ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ สัมพันธ์ ไชยเทพ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200 โทรศัพท์ 053-944146 E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

Siroj Kuhavichit Nat Vorayos Tanongkiat Kiatsiriroat Sumpum Chaitep
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Chiang Mai University
239 Huay Keaw Rd. Muang District Chiang Mai 50200 Tel. 053-944146 E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาผลกระทบบของตัวแปรต่างที่มีต่อสมรรถนะและต้นทุนการผลิตของระบบการกลั่นเอทานอล พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เทคนิคการกลั่นสกัดซึ่งได้แก่ อัตราการป้อนสารละลาย ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ โดยในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการทำการทดลองกับระบบการกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ และขั้นตอนที่สองจะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะจำลองสมรรถนะของระบบโดยมีผลการทดลองจากในขั้นตอนแรกเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อนำผลไปคำนวณหาสมรรถนะและต้นทุนการผลิตของระบบการกลั่นตลอดทั้งปีต่อไป เมื่อนำผลการทดลองในขั้นแรกไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นพบว่ามีความคลาดเคลื่อนระหว่างผลจากแบบจำลองกับผลการทดลองอยู่ 15 % และเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ศึกษาผลกระทบบของตัวแปรต่างๆ ทำให้ทราบสภาวะที่ทำให้ระบบการกลั่นมีสมรรถนะสูงสุดและให้ต้นทุนมีค่าต่ำที่สุดด้วย ระบบที่ใช้สารละลายเอทานอลตั้งต้นที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าระบบที่มีสมรรถนะสูงสุดจะสามารถผลิตสารละลายเอทานอลได้ 907.76 ลิตรต่อปี ที่ความเข้มข้น 96.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อัตราการป้อนสารและความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เท่ากับ 0.075 ลิตรต่อนาทีและ 2 เปอร์เซ็นต์โดยมวลตามลำดับ ซึ่งจะมีต้นทุนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์เท่ากับ 12.97 บาทต่อลิตร

คำหลัก เอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ กลั่นสกัด แคลเซียมคลอไรด์ แผงรับรังสีอาทิตย์แบบทอสุญญากาศ

Abstract

This research work focuses on the formulation of mathematical models to predict the performance and production cost of the solar ethanol distillation using extractive distillation technique. The

simulations are carried out for the continuous distillation system before being compared with the results from the experiment to confirm the accuracy of the mathematical modeling. The experiment setup is based on the distillation system with 50 L reboiler heated by the 3.6 m² vacuum tube solar collector. A number of parameters such as quantity of concentration of calcium chloride, feeding rate and the concentration of charging flux are alters during the experiment. The comparison between results from the mathematical model and the experiment shows just 15% difference. Results from the experiment, the concentration of product from research's system is higher than normal distillation system. The simulation then shows the prediction of the system's annual production based on Chiang Mai under the condition. Starting with 10% concentration charging solution, the maximum performance at minimum cost of the system with 50 L reboiler is achieved with 2 % by weight of calcium chloride, 3.6 m² solar collector and 0.075 L/min feeding rate the productivity of 863.04L/year with the concentration of 96.1 % at the price of 12.97 Baht/L.

Keyword: Solar Ethanol Extractive Distillation Calcium chloride Vacuum tube solar collector

1. บทนำ

ปัจจุบันเอทานอลเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำเข้จากต่างประเทศ เนื่องจากเอทานอลสามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตร ทำให้เอทานอลเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามเอทานอลที่ผลิตจากผลผลิตทางการเกษตรจะมีค่าความเข้มข้นของเอทานอลค่อนข้างต่ำ(ประมาณ 8-10%โดยปริมาตร)จึงไม่สามารถ

นำไปใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทันที เนื่องจากเอทานอลที่จะสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันจะต้องมีความเข้มข้นสูงกว่า 95% โดยปริมาตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล ซึ่งกระบวนการกลั่นเป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่ายและสะดวก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าได้มีการนำรังสีอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนมาใช้ในการระบบการกลั่นเอทานอลในรูปแบบต่างๆ เช่น ทนงเกียรติและมรุต[1] ได้ใช้แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเป็นตัวรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์สามารถผลิตเอทานอลได้เข้มข้น 48% โดยปริมาตร ต่อมาพรประสิทธิ์[2] ได้เปลี่ยนชนิดของตัวรับรังสีอาทิตย์จากแบบแผ่นเรียบไปเป็นแบบท่อความร้อนพบว่าระบบสามารถผลิตเอทานอลความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 80-85% โดยปริมาตรมีอัตราการผลิตประมาณ 1680 ลิตรต่อปี จากงานวิจัยทั้งสองจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ เอทานอลที่ผลิตได้ยังไม่สูงพอที่จะนำไปใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากสารละลายเอทานอล-น้ำสามารถเกิดปรากฏการณ์ เอซีโรโทรพ(Azeotropic)แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ก็คือ เทคนิคการกลั่นสกัด เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการกลั่น

การกลั่นสกัดคือการเติมสารเคมีอีกชนิดหนึ่งลงไปในการละลายเพื่อที่จะทำลายปรากฏการณ์เอซีโรโทรพ ซึ่งสารที่นิยมใช้มักจะเป็นสารเคมีประเภทเกลือ โดยที่ในงานวิจัยนี้จะใช้แคลเซียมคลอไรด์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคการกลั่นสกัดสามารถผลิตเอทานอลได้ที่มีความเข้มข้นประมาณ 99.7-100 % โดยปริมาตร(Diego Barba [3]) เมื่อนำเทคนิคการกลั่นสกัดมาประยุกต์ใช้กับระบบการกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ได้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงและต้นทุนในการผลิตต่ำอีกด้วย

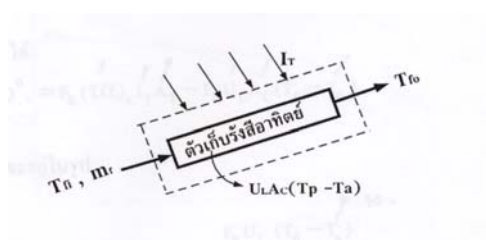
งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อสมรรถนะและต้นทุนการผลิตของระบบการกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เทคนิคการกลั่นสกัดซึ่งได้แก่ อัตราการป้อนสารละลายความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในระบบการกลั่นสามารถแบ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ 2 ส่วนดังนี้

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงรับแสงอาทิตย์

สมดุลพลังงานที่แผงรับแสงอาทิตย์



รูป 1 แสดงแบบจำลองรังสีอาทิตย์

แผงรับรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ให้กลายเป็นความร้อนป้อนให้แก่ของไหลทำงานที่ไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ การทำการคำนวณสมดุลพลังงานที่แผงรับแสงอาทิตย์ มีส่วนสำคัญในการทำให้สารละลายเอทานอลมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยพลังงานความร้อนที่ได้รับจากแผงรับรังสีอาทิตย์ (Duffie and Bechman, 1980) ดังสมการ (1) และรูป 1

$$Q_u = (\tau\alpha)_e I_T A_C - U_L A_C (T_p - T_a) \quad (1)$$

2.2.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกลั่น

2.2.1 อิทธิพลของเกลือต่อสมดุลไอ-ของเหลว (Salt effect)

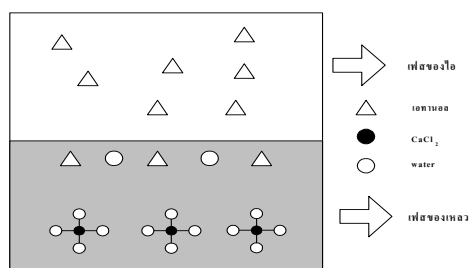
หากเติมสารจำพวกเกลือลงในสารละลายซึ่งมีองค์ประกอบที่ระเหยได้จะทำให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์เปลี่ยนไป ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเรียกว่า อิทธิพลของเกลือในสมดุลไอ-ของเหลว (Salt effect) ในบรรดาองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในสารละลาย องค์ประกอบใดที่เกลือสามารถละลายได้มากกว่าความดันไอจะลดลงและจะทำให้จุดเดือดเพิ่มมากขึ้นซึ่งในงานวิจัยนี้องค์ประกอบดังกล่าวก็คือ น้ำ กลไกของการเกิดอิทธิพลของเกลือในสมดุลไอ-ของเหลวก็คือ เกลือจะเข้าไปจับองค์ประกอบที่เกลือสามารถละลายได้มาก(Selective solvation) ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำในระบบลดลงดังแสดงในรูป 2

จากกลไกการเกิดอิทธิพลของเกลือในสมดุลไอ-ของเหลว จะคำนวณหาค่าความเข้มข้นของน้ำที่แท้จริง (x_{1a}) จากสมการ

$$x_{2a} = \frac{x_2 - Sx_3}{(x_2 - Sx_3) + x_2} \quad (2)$$

และสำหรับสัดส่วนความเข้มข้นที่แท้จริงของเอทานอลหาได้จาก

$$x_{1a} = 1 - x_{2a} \quad (3)$$



รูป 2 อิทธิพลของเกลือในสมดุลไอ-ของเหลวกับการเกิด Selective solvation

ที่มา : วีรพจน์ ลือประสิทธิ์กุล (2536)

โดยที่ค่า S คือค่าการจับกลุ่มแบบคัดเลือกของเกลือในสารละลายหาได้จาก

$$S = S_0 x'_1 \quad (4)$$

สำหรับค่า S_0 คือค่าการละลายของตัวทำละลายบริสุทธิ์ (น้ำ-แคลเซียมคลอไรด์)หาได้จากสมการของ Shuzo Ohe (1998)

$$S_0 = (x_1 - a_{\text{solvent}}) / [(1 - a_{\text{solvent}}) x_3] \quad (5)$$

ซึ่ง a_{solvent} คือค่า สัมประสิทธิ์ของสารละลาย(Activity Coefficient) โดยที่ระบบน้ำ-แคลเซียมคลอไรด์หาได้จาก

$$a_{\text{solvent}} = \gamma x_{\text{solvent}} \quad (6)$$

ของน้ำ-แคลเซียมคลอไรด์ใช้สมการของ Patill et al. (1991)

$$\gamma = -16.801x_3^2 - 3.01x_3 + 1 \quad (7)$$

2.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลั่นสกัด

ในงานวิจัยนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกลั่นจะใช้วิธีการ Tridiagonal Matrix ซึ่งต้องอาศัยสมการแมช(MESH) ซึ่งประกอบไปด้วย สมการสมดุลมวลสาร (M) สมการสมดุลเคมี (E) สมการสัดส่วนโมลของทุกองค์ประกอบ (S) สมการสมดุลพลังงาน (H) โดยที่ระบบการกลั่นสามารถแสดงได้ทั้งในรูปแบบ 2 และ 3 ตามลำดับ

จากรูป 2 และ 3 สามารถเขียนสมการ MESH ได้ดังต่อไปนี้
สมการสมดุลมวลรอบชั้น j

$$L_{j-1} + V_{j+1} + F_j - (L_j + U_j) - (V_j + W_j) = 0 \quad (8)$$

สมการสมดุลมวลแต่ละองค์ประกอบ (i) รอบชั้น j

$$L_{j-1}x_{i,j-1} + V_{j+1}y_{i,j+1} + F_jz_{i,j} - (L_j + U_j)x_{i,j} - (V_j + W_j)y_{i,j} = 0 \quad (9)$$

สมการสมดุลเอนทัลปีของเหลว

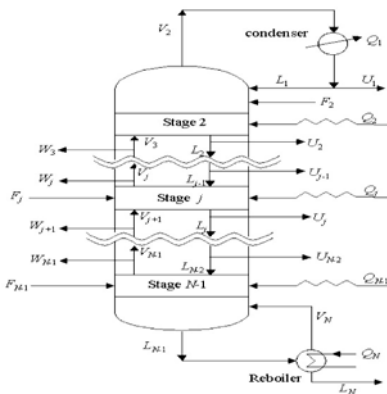
$$K_{i,j}x_{i,j} - y_{i,j} = 0 \quad (10)$$

สมการปริมาณสัมพัทธ์

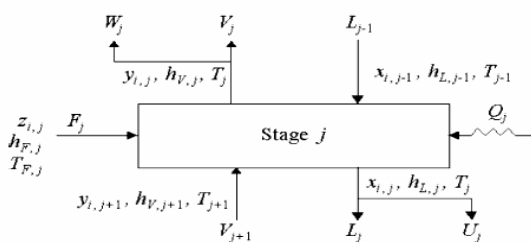
$$\sum_{i=1}^C (x_{i,j} - y_{i,j}) = 0 \quad (11)$$

สมการสมดุลพลังงานรอบชั้น j

$$L_{j-1}h_{L,j-1} + V_{j+1}h_{V,j+1} + F_jh_{F,j} - (L_j + U_j)h_{L,j} - (V_j + W_j)h_{V,j} = 0 \quad (12)$$



รูป 3 แบบจำลองของหอกลั่นตามวิธี Tridiagonal Matrix (ที่มา Mario Llano-Restrepo et.al (2003))



รูป 4 แสดงลักษณะการไหลในแต่ละชั้นของระบบกลั่น (ที่มา Mario Llano-Restrepo et.al (2003))

2.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

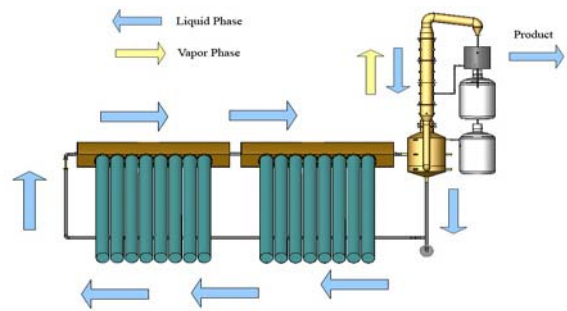
มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญมากต่อการตัดสินใจออกแบบและสร้าง เนื่องจากเป็นเหตุผลหลักประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนการกลั่น (Distillation cost) ของระบบกลั่นนั้น สามารถทำได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนรายปี

ต้นทุนเป็นมูลค่าสำคัญที่จะนำมาช่วยในการตัดสินใจในการลงทุน โดยต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์มักจะกำหนดอยู่ในรูปของเงินลงทุนต่อผลผลิตที่ได้ทั้งหมด ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการกลั่นเป็นดังนี้

$$\text{ต้นทุนการกลั่นเอทานอล} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด}}{\text{ปริมาณเอทานอลทั้งหมดที่ผลิตได้}} \quad (17)$$

3.วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยส่วนนี้จะเป็นการทดสอบระบบการกลั่นสกัดโดยใช้แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศขนาด 3.6 ตารางเมตร เป็นแหล่งพลังงานสำหรับระบบการกลั่นเพื่อหาสมรรถนะของระบบการกลั่นเมื่อใช้ความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมคลอไรด์อยู่ในช่วง 0-10% โดยมวลของสารละลาย โดยที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลมีค่าเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอัตราการป้อนสารละลายเข้าหอกลั่นเท่ากับ 0.05 และ 0.10 ลิตรต่อนาทีตามลำดับแสดงได้ดังรูป 5

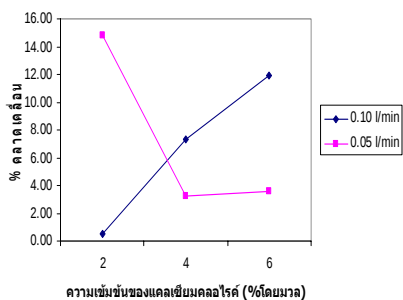


รูป 5 ลักษณะการทำงานของระบบการกลั่นที่ใช้ในการวิจัย

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จุดประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายหา สมรรถนะของระบบกลั่นที่ตัวแปรต่างๆ ที่ทำการศึกษา โดยก่อนที่ใช้แบบจำลองทำนายสมรรถนะของระบบกลั่นจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองเพื่อให้ได้ความแตกต่างระหว่างผลทั้งสองให้น้อยที่สุด เพื่อความแม่นยำในการทำนายสมรรถนะการกลั่นตลอดทั้งปีต่อไป



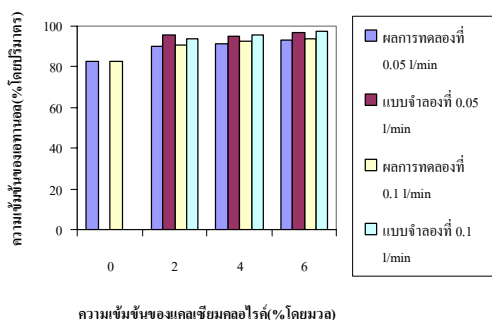
(ข)

รูป 6 การเปรียบเทียบค่าแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลการคำนวณจากแบบจำลองที่ 40 %ของเอทานอลเริ่มต้น

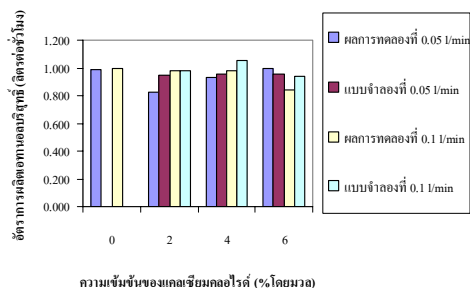
จากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณที่ได้พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 15 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงสามารถใช้แบบจำลองศึกษาสมรรถนะของระบบกลั่นที่ตัวแปรที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ และอัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบการกลั่น โดยที่ตัวแปรทั้งสองจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบการกลั่นดังต่อไปนี้

4.2 ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

จากผลการทดลองพบว่าระบบการกลั่นปกติจะมีสมรรถนะในด้านความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่าระบบการกลั่นที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ดังรูป 8 ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการผลิตเอทานอลในด้านความเข้มข้นของระบบกลั่น



(ก)



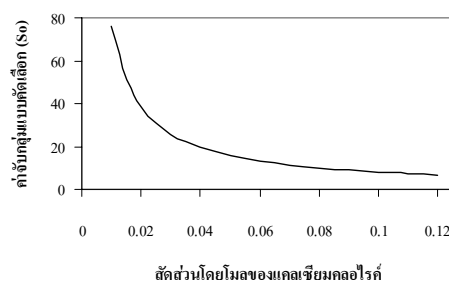
(ข)

รูป 8 เปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น

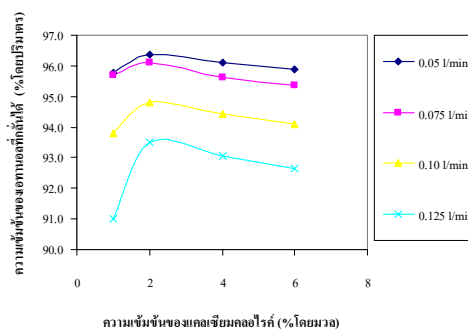
(ก) ด้านความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์

(ข) ด้านอัตราผลิตเอทานอลบริสุทธิ์

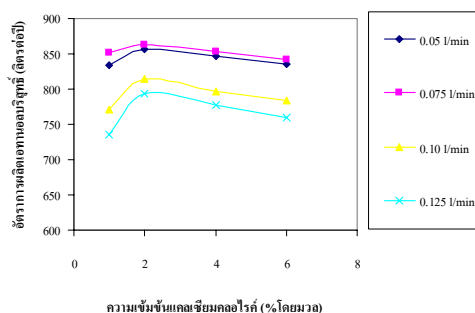
ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบนี้ก็คือ ปรากฏการณ์อิทธิพลของเกลือในสมมูลไอ-ของเหลว (Salt-Effect) ซึ่งอนุภาคของเกลือจะเข้าไปจับกับอนุภาคของน้ำเพื่อไม่ให้รั่วหายไปพร้อมกับไอของเอทานอลได้ สำหรับตัวแปรที่ใช้แสดงความสามารถในการจับอนุภาคของน้ำจะแสดงในรูปค่าการจับกลุ่มแบบคัดเลือกของเกลือ (Selective salvation, S_0) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ดังในรูป 9



รูป 9 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการจับกลุ่มแบบคัดเลือกกับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์



(ก)



(ข)

รูป 10 สมรรถนะของระบบกลั่นปกติที่ได้จากแบบจำลอง

(ก) สมรรถนะในด้านความเข้มข้น

(ข) สมรรถนะในด้านอัตราการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์

จากรูป 8ก. จะเห็นได้ระบบกลั่นที่ไม่มีการเติมเกลือจะผลิตเอทานอลที่ความเข้มข้นต่ำกว่าระบบที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากจากระบบที่ไม่มีแคลเซียมคลอไรด์จะไม่มีปรากฏการณ์อิทธิพลของเกลือในสมดุลไอ-ของเหลว (Salt-Effect) ที่ช่วยตรึงอนุภาคของน้ำในสารละลายจึงทำให้ได้ความเข้มข้นของเอทานอลที่ต่ำกว่าระบบที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ เมื่อใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นทำนายสมรรถนะในด้านต่างๆของระบบกลั่นจะได้ดังรูป 10

จากรูป 10ก. พบว่าระบบที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำๆจะสามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงกว่าระบบที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากจากการจับกลุ่มแบบคัดเลือกของเกลือจะมีค่าสูงที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำๆดังรูป 9 จึงทำให้ระบบการกลั่นมีความสามารถในการผลิตเอทานอลที่ความเข้มข้นสูงกว่าระบบกลั่นปกติ จากการคำนวณพบว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ 2 % จะมีความสามารถในการผลิตเอทานอลในด้านความเข้มข้นสูงที่สุดคือสามารถผลิตเอทานอลที่ความเข้มข้น 96.1 %

สำหรับอัตราการการผลิตเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นเกลือ พบว่าอัตราการผลิตของสารละลายเอทานอลมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำบางส่วนในสารละลายถูกเกลือดึงไว้จึงทำให้อัตราการผลิตที่ได้ลดลงแต่ความเข้มข้นของสารละลายจะมากขึ้นแสดงในรูป 8

จากรูป 8ข. จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตของระบบกลั่นปกติและระบบกลั่นสกัดมีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อใช้แบบจำลองทำนายอัตราการผลิตเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 863 ลิตรต่อปี ดังแสดงในรูป 10ข.

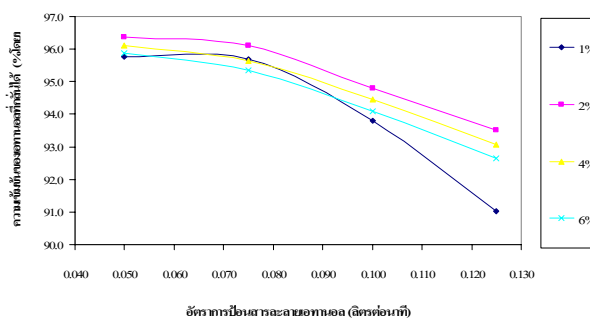
4.3 อัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่ระบบ

อัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่หอกลั่นจะมีผลต่อสมรรถนะการกลั่นโดยตรงกล่าวคือหากป้อนสารละลายเข้าสู่หอกลั่นในอัตราที่มากเกินไปความร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอที่จะทำให้สารละลายเอทานอลเกิดการกลั่นตัวได้ส่วนกรณีนี้ที่ป้อนสารละลายเข้าสู่หอกลั่นในอัตราที่น้อยเกินไป สารละลายจะระเหยหมดอย่างรวดเร็วทำให้ผลผลิตที่ได้ในแต่ละวันน้อยและมีความเข้มข้นของเอทานอลต่ำ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาถึงผลของอัตราการป้อนสารละลายเข้าสู่หอกลั่นที่มีต่อสมรรถนะการกลั่นเพื่อหาอัตราการป้อนสารที่ทำให้เกิดสมรรถนะสูงสุด

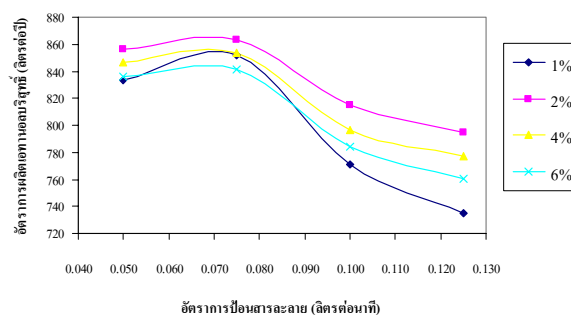
จากรูป 8ข. พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสารละลายจาก 0.05 ลิตรต่อนาที่ไปเป็น 0.10 ลิตรต่อนาที่ ระบบกลั่นจะมีอัตราการผลิตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณเอทานอลที่เพิ่มมากขึ้นในระบบที่ใช้ใช้อัตราการป้อนสูงจึงทำให้อัตราการผลิตเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อนำแบบจำลองมาทำนายผลกระทบของอัตราการป้อนสารที่มีผลต่ออัตราการผลิตของระบบการกลั่นได้ดังรูป 12

เมื่อใช้แบบจำลองทำนายอัตราการผลิตเอทานอลพบว่า มีลักษณะคล้ายๆกับผลการทดลองกล่าวคือเมื่อใช้อัตราการป้อนที่มีค่าสูงอัตราการผลิตจะลดลง เนื่องจากในงานวิจัยนี้สารละลายที่ป้อนมีอุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายในระบบกลั่นเมื่อป้อนสารในอัตราที่สูงจะทำให้อุณหภูมิในระบบกลั่นลดลงทำให้อัตราการผลิตลดลง แต่หากใช้อัตราการป้อนสารน้อยเกินไปปริมาณเอทานอลในสารป้อนจะมีน้อยจึงทำให้อัตราการผลิตเอทานอลลดลงตามไปด้วย จากรูป 12 จะเห็น

ได้ว่าอัตราการป้อนสารที่ทำให้สมรรถนะของระบบกลั่นสูงสุดเท่ากับ 0.075 ลิตรต่อนาที่



(ก)



(ข)

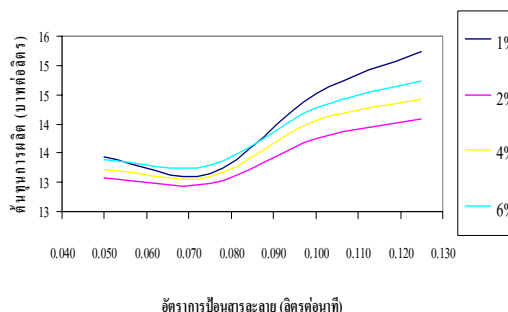
รูป 12 ผลกระทบของอัตราการป้อนสารต่อสมรรถนะของระบบกลั่นสกัด

(ก) สมรรถนะในด้านความเข้มข้น

(ข) สมรรถนะในด้านอัตราการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์

4.4 ต้นทุนการผลิตเอทานอล

ต้นทุนการผลิตเอทานอลเป็นตัวแปรสำคัญในการตัดสินใจนำระบบกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ เมื่อนำสภาวะต่างๆที่ใช้ศึกษามาคำนวณหาต้นทุนการผลิตจะได้ดังรูป 13



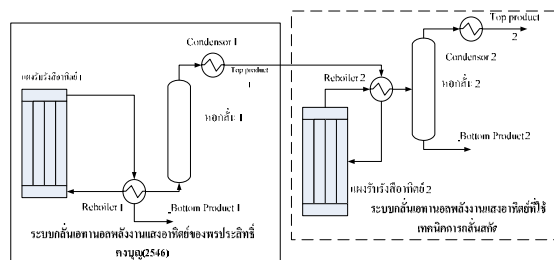
รูป 13 ต้นทุนการผลิตของระบบกลั่นเอทานอลที่ได้จากแบบจำลอง

เมื่อใช้ข้อมูลจากแบบจำลองมาคำนวณหาต้นทุนการผลิตเอทานอลพบว่า ต้นทุนการผลิตเอทานอลต่ำที่สุดเท่ากับ 12.97 บาทต่อลิตร

4.5 การใช้งานระบบกลั่นสกัดร่วมกับระบบกลั่นปกติ

จากการศึกษาในข้างต้นพบว่าระบบการกลั่นสกัดสามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 96.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเมื่อใช้กับสารละลายเริ่มต้น 40% โดยปริมาตร

แต่ในการกลั่นเอทานอลทั่วไปสารละลายเอทานอลเริ่มต้นจะมีความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 10 % โดยปริมาตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ระบบการกลั่นปกติมาใช้ร่วมกับระบบกลั่นสกัดเพื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 10% ไปเป็น 40% โดยปริมาตรซึ่งในงานวิจัยนี้จะระบบกลั่นของพรประสิทธิ์ [2] ดังรูป 14



รูป 14 การใช้งานระบบกลั่นปกติร่วมกับระบบกลั่นสกัด

จากระบบในรูป 14 เมื่ออาศัยข้อมูลของพรประสิทธิ์ [2] และกรคำนวณจากแบบจำลองที่สร้างพบว่าระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลจาก 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรไปเป็น 96.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในอัตราการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 890 ลิตรต่อปีและมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 23.3 บาทต่อลิตร

6. สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการทำการทดลองกับระบบการกลั่นเอทานอลพลังงานแสงอาทิตย์ และขั้นตอนที่สองจะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะจำลองสมรรถนะของระบบโดยมีผลการทดลองจากในขั้นตอนแรกเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อนำผลไปคำนวณหาสมรรถนะและต้นทุนการผลิตของระบบการกลั่นตลอดทั้งปีต่อไป เมื่อนำผลการทดลองในขั้นแรกไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นพบว่ามีความคลาดเคลื่อนระหว่างผลจากแบบจำลองกับผลการทดลองอยู่ 15 %

เมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายสมรรถนะของระบบกลั่น เพื่อที่จะให้หาสภาวะที่ทำให้สมรรถนะของระบบกลั่นมากที่สุดเพื่อที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุดด้วย จากการศึกษาค้นคว้าดังกล่าวคือ ระบบที่ใช้อัตราการป้อนสารเท่ากับ 0.075 ลิตรต่อวินาที ณ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งจะทำให้ได้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 12.97 บาทต่อลิตรเอทานอลบริสุทธิ์

7. อักษรย่อและสัญลักษณ์

A_c พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ (m^2)

a_{Solution} ค่าสัมประสิทธิ์ของระบบ

F_j อัตราการป้อนสารที่ชั้น j (kg/min)

$h_{L,j}$ เอนทัลปีของของเหลวที่ออกจากชั้น j

$h_{V,j}$ เอนทัลปีของไอที่ออกจากชั้น j (kJ/kg)

$h_{F,j}$ เอนทัลปีของสารป้อนที่เข้าชั้น j (kJ/kg)

$K_{i,j}$ ค่าคงที่สมดุลเคมี

L_j อัตราการไหลของของเหลวที่ออกจากชั้น j (kg/min)

S ค่าคงที่ของการจับกลุ่มแบบคัดเลือกของ ระบบ

U_L ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวตู้ดูดรังสีอาทิตย์ ($W/m^2 K$)

U_j อัตราการการชักสาร(ของเหลว)ออกจากชั้น j (kg/min)

V_j อัตราการไหลของไอที่ออกจากชั้น j (kg/min)

W_j อัตราการการชักสาร(ไอ)ออกจาก ชั้น j (kg/min)

$x_{i,j}$ สัดส่วนโดยมวลของสาร i ที่ชั้น j ที่เป็นของเหลว

$y_{i,j}$ สัดส่วนโดยมวลของสาร i ที่ชั้น j ที่เป็นไอ

$z_{i,j}$ สัดส่วนโดยมวลของสาร i ที่ชั้น j ของกระแสป้อน

γ สัมประสิทธิ์กิจกรรมของระบบน้ำ- เกลือ

$\tau\alpha$ ผลคูณประสิทธิภาพค่าส่งผ่านและดูดกลืนของแผงรับแสงอาทิตย์

8. เอกสารอ้างอิง

1. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และมรกต ตันติเจริญ. 2524. การกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
2. พรประสิทธิ์ คงบุญ. 2546. การกลั่นเอทานอลด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
3. วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. 2536. วิศวกรรมการกลั่นจากห้องทดลองถึงโรงงาน, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) , กรุงเทพฯ
4. Diego B., Brandani V. and Giacomo G., 1985. "Hyperazotropic Ethanol Salted-out by Extractive Distillation." Chemical Engineering Science, Vol.40, No.12, pp2287-2292
5. Llano-Restrepo, M. and Aguilar-Arias, J. 2003. "Modling and Simulation of Saline Extractive Distillation Columns for the Production of Absolute Ethanol." Computer and Chemical Engineering, Vol.27, pp.527-549
6. Seader J.D and Henley E.J. 1998. "Separation Process Principle." John Wiley & Son, Inc
7. Shuzo Ohe.1998."Prediction of salt effect on vapor-liquid equilibria." Fluid phase equilibria, Vol.144, pp.119-129