

การกลั่นเอทานอลจากข้าวจ้าวหวานด้วยกระบวนการรีฟลักซ์

Distillation Ethanol From Sweet Sorghum by Reflux Distillation

ณัฐกานต์ ยิมวารี (Nattakan Yimwaree)* ดร.กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย (Dr.Kittichai Triratanasirichai)**

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นของเอทานอลตั้งต้นและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงโดยกระบวนการกลั่นแบบรีฟลักซ์ (Reflux distillation) ขนาดเครื่องกลั่น 20 ลิตร ให้ความร้อนผ่านฮีตเตอร์ (Heater) ภายในเครื่องกลั่น เพื่อต้มสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นต่ำระเหยไปเป็นไอน้ำผ่านไปควบแน่นเพื่อให้ความเข้มข้นสูงขึ้นโดยใช้สารละลายเอทานอล-น้ำที่ความเข้มข้นตั้งต้น 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิในการกลั่น 90–93 องศาเซลเซียสได้เอทานอลที่ความเข้มข้น 58.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากนั้นนำไปกลั่นซ้ำครั้งที่ 2 ที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิในการกลั่น 79–80 องศาเซลเซียส ได้เอทานอลที่ความเข้มข้น 85.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และนำไปกลั่นซ้ำครั้งที่ 3 ที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 85.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ใช้อุณหภูมิในการกลั่น 76–77 องศาเซลเซียสได้เอทานอลที่ความเข้มข้น 91.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และนำไปกลั่นซ้ำครั้งที่ 4 ที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิในการกลั่น 76 องศาเซลเซียสได้เอทานอลที่ความเข้มข้นสุดท้าย 92.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ABSTRACT

The objectives of this thesis were to study factor of initial ethanol concentration and temperature for distillation ethanol from sweet sorghum to high concentration by reflux distillation, were size of pot 20 L and heating by internal heater in pot for boiling ethanol–water mixtures were initial low concentration to evaporated and condensed to high concentration by reflux distillation . Ethanol–water mixtures were initial concentration 10.0 % by volume can produce ethanol by temperature for distillation was 90–93°C and result ethanol concentration to 58.4 % by volume, next step distillation repeat second times at ethanol 58.0 % by volume and temperature for distillation ethanol was 79–80° C result can produce ethanol concentration to 85.2 % by volume, next step distillation repeat third times at ethanol 85.0 % by volume and temperature for distillation ethanol was 76–77° C result can produce ethanol concentration to 91.2 % by volume and distillation repeat fourth times at ethanol 90.0 % by volume and temperature for distillation ethanol was 76 ° C can produce ethanol final concentration to 92.3 % by volume .

คำสำคัญ : เอทานอล ข้าวจ้าวหวาน การกลั่นแบบรีฟลักซ์

Key Words : Ethanol, Sweet sorghum, Reflux distillation

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ในปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงมีมูลค่าสูงถึง 752,783 ล้านบาท และมีแนวโน้มว่าจะสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศจากการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นอีกในปี พ.ศ. 2551 เนื่องจากน้ำมันมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในการนี้กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์เพื่อส่งเสริมการใช้แก๊สโซฮอล์โดยตั้งเป้าหมายในการผลิตเอทานอลให้ได้ 3.0 ล้านลิตร/วัน ในปี พ.ศ. 2554 เพื่อสนองต่อนโยบายดังกล่าว จึงได้มีการอนุมัติให้ตั้งโรงงานผลิตเอทานอล จำนวน 45 โรงงาน โดยมีเป้าหมายการผลิตรวมกัน 11.115 ล้านลิตร/วัน อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ความต้องการวัตถุดิบซึ่งก็คือกากน้ำตาลและมันสำปะหลังจากทั้ง 45 โรงงานพบว่าเกิดการขาดแคลนวัตถุดิบหลักคือกากน้ำตาลประมาณ 0.67 ล้านตัน มันสำปะหลังประมาณ 6.51 ล้านตันและอ้อย 4.13 ล้านตัน ดังนั้นการหาวัตถุดิบทางเลือกชนิดอื่นเพื่อที่จะมาเสริมประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานผลิตเอทานอลจึงมีความจำเป็น (กระทรวงพลังงาน, 2551)

จากการวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่นพบว่า ข้าวฟ่างหวาน (Sweet sorghum) เป็นพืชหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลโดยใช้ประโยชน์จากน้ำคั้นในลำต้นเป็นหลักซึ่งมีรสชาติดหวานคล้ายกับน้ำอ้อยสามารถให้ผลผลิตลำต้นสด 5-10 ตันต่อไร่ภายในระยะเวลา 100-110 วัน ลำต้นสด 1 ตันสามารถผลิตเอทานอลได้ 60-70 ลิตร ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับอ้อย ในปัจจุบันนักวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่นได้คัดเลือกข้าวฟ่างหวานสายพันธุ์ใหม่โดยให้ชื่อว่าพันธุ์ มข.40 และได้ผลิตเมล็ดพันธุ์เพื่อรอการส่งเสริมให้กับเกษตรกรนำไปทดลองปลูกไว้บ้างแล้ว

อย่างไรก็ตามข้าวฟ่างหวานจัดว่าเป็นพืชใหม่ที่ยังไม่มีการปลูกในเชิงพาณิชย์ดังนั้นในขั้นแรกนี้

จำเป็นต้องให้หน่วยงานภาครัฐเข้ามาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก เพื่อให้เกษตรกรเกิดความคุ้นเคยในการผลิตข้าวฟ่างหวานเพื่อป้อนโรงงานผลิตเอทานอลต่อไป

ขณะเดียวกันการพัฒนาศักยภาพด้านเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลขนาดเล็กในระดับชุมชนก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้เกิดการส่งเสริมการใช้เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนและลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในพื้นที่ได้เป็นอย่างดีและยังสามารถสร้างอาชีพและรายได้ให้กับชุมชนได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าการพัฒนาเทคโนโลยีการกลั่นเอทานอลขนาดเล็กยังไม่มีมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายตลอดจนในภาคอุตสาหกรรมพบว่าใช้การกลั่นลำดับส่วนที่สภาวะสูญญากาศรวมกับการใช้กระบวนการโมเลกุล่าซีฟ (Molecular sieve) ซึ่งเป็นสารประเภทซีโอไลท์ (Zeolite) ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นเทคโนโลยีนำเข้าจากต่างประเทศมีราคาแพง ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการกลั่นเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานด้วยกระบวนการ รีฟลักซ์ (Reflux distillation) เพื่อศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องต่อไป

เอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน

จากตารางที่ 1 พบว่าข้อได้เปรียบที่สำคัญของข้าวฟ่างหวานเมื่อเปรียบเทียบกับพืชพลังงานชนิดอื่นๆ เช่นมันสำปะหลังหรืออ้อยคือข้าวฟ่างหวานมีอัตราการเจริญเติบโตสูงมีช่วงอายุการเก็บเกี่ยวสั้นคือประมาณ 100-110 วันทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณปีละ 2-3 ครั้ง มีความต้องการน้ำชลประทานน้อยกว่าอ้อยประมาณ 4 เท่า ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ทนสภาพแห้งแล้งได้ดีและคุณภาพของน้ำหวานใกล้เคียงกับน้ำอ้อยซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักทำให้สามารถนำมาใช้ในการหมักเอทานอลได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้าวฟ่างหวานกับพืชพลังงานอ้อยและข้าวโพด

หัวข้อ	ข้าวฟ่างหวาน	อ้อย	ข้าวโพด
อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	4	12	4
ความต้องการน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)	4,000	36,000	8,000
ผลผลิตลำต้น (ตัน/ไร่)	5.6	12	7.2
เอทานอลจากน้ำหวาน (ลิตร/ไร่)	224	896	-
เอทานอลจากเมล็ด (ลิตร/ไร่)	121.6	-	224
ต้นทุนการผลิต-ให้น้ำ (บาท/ไร่)	1,256	5,253	1,515
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/กิโล)	0.5	0.8	5.34
ต้นทุนเอทานอล (ลิตร/ตัน)	70	70	375
ต้นทุนการผลิต (บาท/ลิตร)	8.33	11.42	14.24

(Badger, 2002, พรเทพ, 2549)

หมายเหตุ

สมมติให้มูลค่าในการแปรรูปเป็นเอทานอลจากทุกพืชเท่ากัน

1. เมล็ดข้าวฟ่าง 1 ตันผลิตเอทานอลได้ 380 ลิตร น้ำหวานจากต้นข้าวฟ่าง 1 ตัน ผลิตเอทานอลได้ 40 ลิตร ชากลำต้นข้าวฟ่างและอ้อย 1 ตัน ผลิตเอทานอลได้ 250 ลิตร
2. เมล็ดข้าวโพด 1 ตัน ผลิตเอทานอลได้ 400 ลิตร ลำต้นข้าวโพด 1 ตันผลิตเอทานอลได้ 227 ลิตร
3. ข้าวฟ่างหวานต้องการการให้น้ำ 2 ครั้ง ข้าวโพด 4 ครั้ง คิดเป็นเงิน 100 บาทต่อไร่
4. อัตราแลกเปลี่ยนเงิน 1 US \$ = 33 บาท

นอกจากนี้ในลำต้นข้าวฟ่างหวานยังมีสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้ จากคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้นทำให้ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่มีความเหมาะสมและมีศักยภาพสูงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานมีขั้นตอนหลัก ๆ ที่สำคัญ 3 ขั้นตอนคือ 1) การเตรียมวัตถุดิบ 2) การหมัก และ 3) การกลั่นให้บริสุทธิ์ โดยกระบวนการกลั่น เอทานอลในภาคอุตสาหกรรมใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วนร่วมกับเทคโนโลยีเมมเบรนเพอแวกพอเรชันและโมเลกูล่าซีฟซึ่งมีต้นทุนสูง ได้มีการศึกษาวิจัยมากมายที่พยายามพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาทดแทนหรือใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเหล่านี้และมีความเป็นไปได้ว่าสารพอลิเมอร์บางชนิดจากแหล่งชีวมวลเช่นแป้งหรือยางธรรมชาติมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ดึงน้ำออกจากเอทานอลเช่นการใช้เทคนิคเพอแวกพอเรชันโดย

ใช้เยื่อเลือกผ่านเมทริกซ์ผสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีโอไลต์ (จริยา, 2552) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำพลังงานทดแทนมาใช้ในการกระบวนการกลั่นเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูง เช่นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนการถ่ายเทมวลในเครื่องกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเอทานอล (พิชัย, 2539) การศึกษาการวิเคราะห์สมรรถนะการกลั่นเอทานอลแสงอาทิตย์แบบการเดือดโดยตรง (นรินทร์, 2547) การศึกษาการจัดการเชิงความร้อนของการกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ (จ.จิตติ, 2548) ตลอดจนการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์ (สามารถ, 2550) ซึ่งสามารถสรุปเปรียบเทียบกระบวนการแยกน้ำออกจากเอทานอลได้ดังตารางที่ 2 พบว่าการกลั่นเอทานอลแบบรีฟลักซ์เป็นกระบวนการง่ายและมีการลงทุนต่ำ ตลอดจนความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้มีความเข้มข้นสูงเหมาะสำหรับ

พัฒนาศักยภาพด้านเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลขนาดเล็กใช้เป็นพลังงานทางเลือกในระดับชุมชน

การกลั่นแบบรีฟลักซ์ (reflux still)

เป็นกระบวนการกลั่นแยกคีนเอทานอลให้กลายเป็นของเหลวกลับไปยังภาชนะอีกอันหนึ่ง โดยการติดตั้งวัสดุตัวกลางเข้าไปในคอลัมน์ (packed column) ในตำแหน่งระหว่างเครื่องควบแน่นกับหม้อต้ม เมื่อไอน้ำไหลผ่านวัสดุตัวกลางในคอลัมน์จะทำให้เกิดการควบแน่นและหยดกลับลงไปยังหม้อต้มของเหลวที่เกิดการควบแน่นและหยดกลับ (reflux liquid) นี้จะช่วยให้ไอน้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น และเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น หากวัสดุตัวกลางในคอลัมน์ยิ่งยาวมากเท่าไรของเหลวที่หยดย้อนกลับก็จะเพิ่มมากขึ้น ผลผลิตที่ได้ก็จะบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

สมดุลระหว่างไอและของเหลว

สภาวะสมดุลสามารถแยกได้เป็น

1. สภาวะสมดุลทางความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง 2 ภูมิภาคจะคงที่ทำให้อุณหภูมิทั้ง 2 เท่ากันโดย

$$(T)_{\text{liquid}} = (T)_{\text{vapour}} \dots\dots\dots(1)$$

2. สภาวะสมดุลเชิงกล ความดันระหว่าง 2 ภูมิภาคจะคงที่ทำให้ความดันทั้ง 2 เท่ากันโดย

$$(P)_{\text{liquid}} = (P)_{\text{vapour}} \dots\dots\dots(2)$$

3. สภาวะสมดุลทางเคมี อัตราการระเหยและควบแน่นระหว่าง 2 ภูมิภาคจะคงที่ทำให้ปริมาณของการควบแน่นและระเหย 2 ภูมิภาคเท่ากัน ซึ่งความเข้มข้นหรือปริมาณของ 2 ภูมิภาคไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

$$(\text{Chemical Potential})_{\text{liquid}} = (\text{Chemical Potential})_{\text{vapour}} \dots\dots\dots(3)$$

รูปแบบและแหล่งข้อมูลสมดุล (Form and Sources of Equilibrium Data)

การพิจารณาหาสมดุลระหว่างภูมิภาคที่ถูกต้องสามารถหาได้จากการทดลองเท่านั้น สำหรับสมดุลระหว่างไอและของเหลวสามารถหาได้จากการทดลองโดยเครื่องมือ และทำการวัดเข้มข้นโดยอุปกรณ์วัดความเข้มข้นที่สมดุล จากนั้นความเข้มข้นสมดุลสามารถที่จะคำนวณได้ แต่การคำนวณค่อนข้างซับซ้อน และระบบ 2 องค์ประกอบ เช่น น้ำและเอทานอล ผลรวมอัตราส่วน โมลของสารต้องเท่ากับ 1

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบกระบวนการแยกน้ำออกจากเอทานอล

กระบวนการแยกน้ำออกจากเอทานอล	ประเภทกระบวนการ	ความเข้มข้นเอทานอลที่ได้ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ลักษณะกระบวนการ / การลงทุน
การกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์	การกลั่นแบบไม่มีรีฟลักซ์	66-78	ต้นทุนการกลั่น 8.29 บาท / ลิตร (จ.จิตติ, 2548)
การกลั่นแบบรีฟลักซ์	การกลั่นแบบมีรีฟลักซ์	80-94.4	กระบวนการง่าย การลงทุนต่ำ (http://homedistiller.org/calc.htm , 2552)
การกลั่นลำดับส่วน	การกลั่นแบบมีรีฟลักซ์	95 ขึ้นไป	การลงทุนสูง ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (ชนิตพล, 2553)
การกลั่นด้วยการเติมสารตัวที่ 3	ใช้สารประกอบดูดซับน้ำ	99.5	มีสารพิษเจือปน (Raragnani <i>et al.</i> , 2010)
กระบวนการโมเลกุลซีฟ	ใช้สารประเภทซีโอไลต์ดูดซับน้ำ	99.5	การลงทุนสูงและต้องเปลี่ยนสาร ซีโอไลต์ทุก ๆ 5 ปี (จิระเดช, 2546 และ ชนิตพล, 2553)
เมมเบรนโดยขบวนการเพอแวนเพอเรชัน	ใช้เยื่อเมมเบรนเลือกผ่านน้ำออกจากเอทานอล	99.5	กระบวนการยุ่งยากและการลงทุนสูง (นิรชร, 2552, ชนิตพล, 2553)

ในแต่ละวัฏภาค

$$x_A + x_B = 1 \dots\dots\dots(4) \text{ และ}$$

$$y_A + y_B = 1 \dots\dots\dots(5)$$

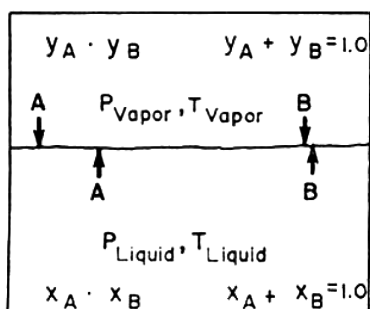
โดย X เป็นอัตราส่วนโมลของของเหลว

Y เป็นอัตราส่วนโมลของของไอ

ตัวห้อย A, B แทนสารที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และสำหรับเอทานอล-น้ำ สามารถเขียนได้เป็น

$$x_{\text{EtOH}} + x_w = 1 \dots\dots\dots(6)$$

$$y_{\text{EtOH}} + y_w = 1 \dots\dots\dots(7)$$



รูปที่ 1 ระบบการสัมผัสของของเหลว-ไอของ 2 องค์ประกอบที่อุณหภูมิและความดันคงที่ (<http://www.che-kku.com>, 2552)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นของเอทานอลตั้งต้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการกลั่นเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานให้มีความบริสุทธิ์สูงโดยกระบวนการกลั่นแบบรีฟลักซ์ และด้วยข้อจำกัดด้านวัตถุดิบข้าวฟ่างหวาน ดังนั้นในศึกษาการกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์จะใช้เอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทำการเจือจางกับน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเอทานอลตามต้องการสำหรับใช้ในงานวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

ศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 10.0, 58.0, 85.0 และ 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงที่ 78, 81 และ 93 องศาเซลเซียสโดยกระบวนการกลั่นแบบรีฟลักซ์ขนาดเครื่องกลั่น 20

ลิตรโดยแต่ละครั้งจะทำการทดสอบหาความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ปริมาตรเอทานอลตั้งต้น 5 ลิตร

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1. ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น

ความเข้มข้นของเอทานอลตั้งต้น กำหนดจากความเข้มข้นที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลที่ 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แล้วนำความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้เป็นความเข้มข้นตั้งต้นสำหรับการกลั่นทดสอบในครั้งต่อไป โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเอทานอลเป็นค่าความเข้มข้นสุดท้ายที่ได้จากการกลั่นครั้งก่อน จนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นสุดท้ายเอทานอลที่ความบริสุทธิ์สูง

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล

อุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลพิจารณาจากสมดุลไอ-ของเหลวเอทานอลและน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆของเอทานอลตั้งต้น จากตารางที่ 3 ความสัมพันธ์สมดุลระหว่างน้ำและเอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ ที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 10.0, 58.0, 85.0 และ 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มี 3 ค่า คือ 78, 81 และ 93 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์สัดส่วนเชิงปริมาตรสมดุลระหว่างน้ำและเอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ

สัดส่วนเชิงปริมาตรสมดุลระหว่างน้ำและเอทานอล (มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตร)		
อุณหภูมิที่ใช้ในการ กลั่นเอทานอล (องศาเซลเซียส)	เอทานอล ตั้งต้นในสถานะ ของเหลว (x)	เอทานอลที่ กลั่นได้ใน สถานะไอ (y)
93.1	0.10	0.53
81.8	0.58	0.81
79.4	0.80	0.87
78.9	0.85	0.89
78.5	0.90	0.91
78.4	0.91	0.92

(<http://homedistiller.org/calc.htm>, 2552)

วิธีการทดลอง

1. ทำการผสมสารละลายเอทานอลตั้งต้น 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรกับน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามต้องการ โดยทำการทดลองที่ 5 ลิตรต่อครั้งการทดลอง และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อระบบที่ออกแบบการทดลอง

2. เติมเอทานอลตั้งต้นที่เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามที่ออกแบบการทดลองลงในหม้อต้มเอทานอล

3. เปิดเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิในหม้อต้มและอุณหภูมิไอระเหยเอทานอล

4. เปิดฮีตเตอร์ให้ความร้อนเอทานอลในหม้อต้มตามอุณหภูมิที่ได้ออกแบบทดลองโดยมีการบันทึกเวลาที่ใช้ตลอดการทดลอง

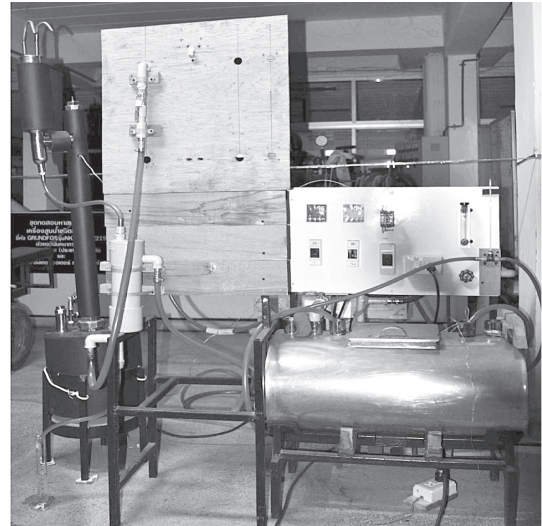
5. ทำการต้มเอทานอลโดยบันทึกค่าอุณหภูมิในหม้อต้ม อุณหภูมิไอระเหย จนกระทั่งไอระเหยเอทานอลระเหยขึ้นด้านบนจึงเริ่มเปิดปั้มน้ำควบแน่น (ปริมาตรน้ำควบแน่น 70 ลิตร) กำหนดอัตราการไหลของน้ำควบแน่น 10 เมตรต่อชั่วโมง เพื่อควบแน่นไอระเหยเอทานอล โดยบันทึกอุณหภูมิ น้ำควบแน่นเข้าและออก

6. วัดอุณหภูมิและความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้ ตลอดจนบันทึกปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ตลอดช่วงการทดลอง

7. บันทึกค่าความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้สำหรับใช้เป็นความเข้มข้นตั้งต้นในการกลั่นครั้งต่อไป เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ความบริสุทธิ์สูง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องกลั่นเอทานอล
2. แอลกอฮอล์มิเตอร์
3. เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter)
6. กระจกตวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร



รูปที่ 2 เครื่องกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์



รูปที่ 3 แอลกอฮอล์มิเตอร์

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเอทานอลตั้งต้น 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรแปลงค่าความเข้มข้นโดยเจือจางกับน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้ได้เอทานอลความเข้มข้นตามต้องการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

1. ผลการศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้นที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์ให้มีความบริสุทธิ์สูง

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นเอทานอลจากงานวิจัยที่กลั่นเอทานอลจากเครื่องกลั่นระบบรีฟลักซ์เทียบกับกลั่นเอทานอลทาง ทฤษฎีที่ความสัมพันธ์สมมูลระหว่างน้ำและเอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ

กลั่นลำดับ ที่	กลั่นเอทานอลทางทฤษฎี		กลั่นเอทานอลจากเครื่องกลั่นระบบรีฟลักซ์	
	ความเข้มข้น เอทานอลตั้งต้น (เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตร)	ความเข้มข้นเอทานอล ที่กลั่นได้เทียบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร)	ความเข้มข้น เอทานอลตั้งต้น (เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตร)	ความเข้มข้นเอทานอล ที่กลั่นได้เทียบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)
1	10.0	53.1	10.0	58.4
2	53.0	80.2	58.0	85.2
3	80.0	87.1	85.0	91.2
4	87.0	90.0	90.0	92.3
5	90.0	91.6		
6	91.6	92.6		

งานวิจัยนี้ใช้เอทานอลตั้งต้น 10.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเป็นสารตั้งต้นในการกลั่นเอทานอลระบบ รีฟลักซ์ จากนั้นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเอทานอลที่ กลั่นได้จะเป็นความเข้มข้นสารตั้งต้นเอทานอลใน การกลั่นครั้งต่อไปเพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่ ความบริสุทธิ์สูง จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้น เอทานอลตั้งต้นที่ 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถกลั่นได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ 58.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น ที่ 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสามารถกลั่นได้ความ เข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ 85.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้นที่ 85.0 เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตรสามารถกลั่นได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้าย ที่ 91.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความเข้มข้น เอทานอลตั้งต้นที่ 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถกลั่นได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ 92.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความ เข้มข้นเอทานอลที่สามารถกลั่นได้กับความเข้มข้น สุดท้ายจากงานวิจัยนี้กับกลั่นเอทานอลทางทฤษฎี ที่ความสัมพันธ์สมมูลระหว่างน้ำและ เอทานอลที่ ความดัน 1 บรรยากาศพบว่างานวิจัยนี้สามารถกลั่นซ้ำ เพียง 4 ครั้งจะได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ 92.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรซึ่งน้อยกว่าทางทฤษฎีที่ต้อง กลั่นซ้ำ 6 ครั้งจึงจะได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้าย ที่ 92.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรแสดงได้ดังตารางที่ 4

2. ผลการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ใช้ ในการกลั่นเอทานอลที่มีผลต่อกระบวนการกลั่น เอทานอลระบบ รีฟลักซ์ให้มีความบริสุทธิ์สูง

จากการทดลองได้ทำการกลั่นเอทานอลที่ ความเข้มข้นตั้งต้นที่ 10.0, 58.0, 85.0 และ 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ ที่ใช้ในการกลั่นที่ 78, 81 และ 93 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เอทานอลเริ่มกลั่นจริงที่ความเข้มข้น 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรคือ 90-93 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรคือ 79-80 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 85.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรคือ 76-77 องศาเซลเซียสและที่ ความเข้มข้น 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรคือ 76 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ความ สัมพันธ์สมมูลระหว่างน้ำและเอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศที่ตั้งไว้ 2-3 องศาเซลเซียสที่ทุกความ เข้มข้นเอทานอลตั้งต้นที่ทำการทดลอง

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิที่เอทานอลเริ่ม คบแน่นเป็นของเหลวที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ที่สุดคือ 75-86 องศาเซลเซียส รองลงมาคือที่ความ เข้มข้น เอทานอลตั้งต้น 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีช่วงอุณหภูมิที่ 74-77 องศาเซลเซียส และที่ความ เข้มข้น เอทานอลตั้งต้น 85.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีช่วงอุณหภูมิที่ 74-75 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าเท่ากับ ที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 90.0 เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตรเนื่องจากความแตกต่างของจุดเดือดเอทานอล

กับน้ำ (จุดเดือดเอทานอล 78 องศาเซลเซียส จุดเดือดน้ำ 100 องศาเซลเซียส) ซึ่งที่ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลต่ำจะมีปริมาณเอทานอลที่ละลายในน้ำในปริมาณที่ต่ำทำให้ จุดเดือดของสารละลายเอทานอลมีช่วงอุณหภูมิที่ไอ เอทานอลเริ่มควบแน่นเป็นของเหลวกว้างกว่าที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 58.0, 85.0 และ 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ แสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 5

เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการกลั่นตัวเอทานอลที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 10.0 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรใช้ระยะเวลาในการควบแน่นไอเอทานอลเป็นของเหลวมากที่สุดที่ 59 นาที รองลงมาที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 85.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้ระยะเวลาในการควบแน่นไอเอทานอลเป็นของเหลวที่ 19.7 นาที รองลงมาที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้ระยะเวลาในการควบแน่นไอเอทานอลเป็นของเหลวที่ 18.7 นาที และสุดท้ายที่ความเข้มข้น เอทานอลตั้งต้น 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้ระยะเวลาในการควบแน่นไอเอทานอลเป็นของเหลวที่ 16.0 นาที และเมื่อพิจารณาที่อัตราการ

กลั่นเอทานอลจากงานวิจัยนี้พบว่าที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 85.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีค่าอัตราการกลั่นที่สูงที่สุดคือ 3.2 ลิตร / ชั่วโมง รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีค่าอัตราการกลั่นคือ 3.0 ลิตร / ชั่วโมง รองลงมาคือที่ความเข้มข้น เอทานอลตั้งต้น 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีค่าอัตราการกลั่นคือ 2.6 ลิตร / ชั่วโมง และสุดท้ายที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีค่าอัตราการกลั่นที่ต่ำที่สุดคือ 1.0 ลิตร / ชั่วโมง เนื่องจากความเข้มข้นสารละลายเอทานอลที่ต่ำจะมีปริมาณ เอทานอลที่ละลายในน้ำในปริมาณที่ต่ำทำให้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่ำจะเดือดที่อุณหภูมิสูงตามจุดเดือดของน้ำ ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดือดและการควบแน่นเป็นของเหลวของไอเอทานอลช้ากว่าที่ความเข้มข้นเอทานอลที่สูง ซึ่งมีปริมาณเอทานอลในสารละลายในปริมาณที่มากทำให้การเดือดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าตามจุดเดือดของเอทานอลและระยะเวลาในการควบแน่นเป็นของเหลวของไอเอทานอลเร็วกว่า แสดงผลได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการทดลองกลั่นเอทานอลจากเครื่องกลั่นระบบรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ เทียบกับกลั่นเอทานอลทางทฤษฎีที่ความสัมพันธ์สมมูลระหว่างน้ำและเอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ

ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	อุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิไอเอทานอลเริ่มควบแน่นระหว่างกระบวนการกลั่นระบบรีฟลักซ์ (องศาเซลเซียส)
	ทางทฤษฎี	กลั่นระบบรีฟลักซ์	
10.0	93	90-93	75-86
58.0	81	79-80	74-77
85.0	78	76-77	74-75
90.0	78	76	74-75

ตารางที่ 6 ระยะเวลาที่ไอเอทานอลเริ่มควบแน่นเป็นของเหลวและอัตราการกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์ที่ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้นต่างๆ

ความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ระยะเวลาไอเอทานอลเริ่มควบแน่นเป็นของเหลว (นาที)	ระยะเวลาในการกลั่นเอทานอลที่ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร (นาที)	อัตราการกลั่นเอทานอล (ลิตร / ชั่วโมง)
10	59	19.3	1.0
58	16.0	6.0	3.0
85	19.7	6.0	3.2
90	18.7	6.8	2.6

สรุปผล

1. งานวิจัยนี้ใช้เอทานอลความเข้มข้นตั้งต้น 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นสารตั้งต้นในการกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์ จากนั้นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเอทานอลที่กลั่นได้จะเป็นความเข้มข้นสารตั้งต้นสำหรับเอทานอลในการกลั่นครั้งต่อไปเพื่อให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่ความบริสุทธิ์สูง พบว่าทำการกลั่นซ้ำ 4 ครั้งจะได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ 92.6 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งถือว่าสามารถกลั่นซ้ำจำนวนรอบต่ำกว่าทางทฤษฎีสมดุลสารละลายเอทานอลและน้ำที่ 1 บรรยากาศที่ต้องกลั่นซ้ำที่ 6 ครั้ง

2. ผลของความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่สูงขึ้นจะทำให้จุดเดือดสารละลายต่ำลงตามจุดเดือดของเอทานอลทำให้เอทานอลที่กลั่นได้มีความเข้มข้นสูงขึ้น

3. ผลของความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่สูงขึ้นจะทำให้จุดเดือดสารละลายต่ำลงทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลต่ำลงตามจุดเดือดของเอทานอลที่ 78 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส โดยสามารถสรุปอุณหภูมิที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์แยกตามความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นได้ดังนี้

ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่ 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิการกลั่นที่ 90-93 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่ 58.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิการกลั่นที่ 79-80 องศาเซลเซียส

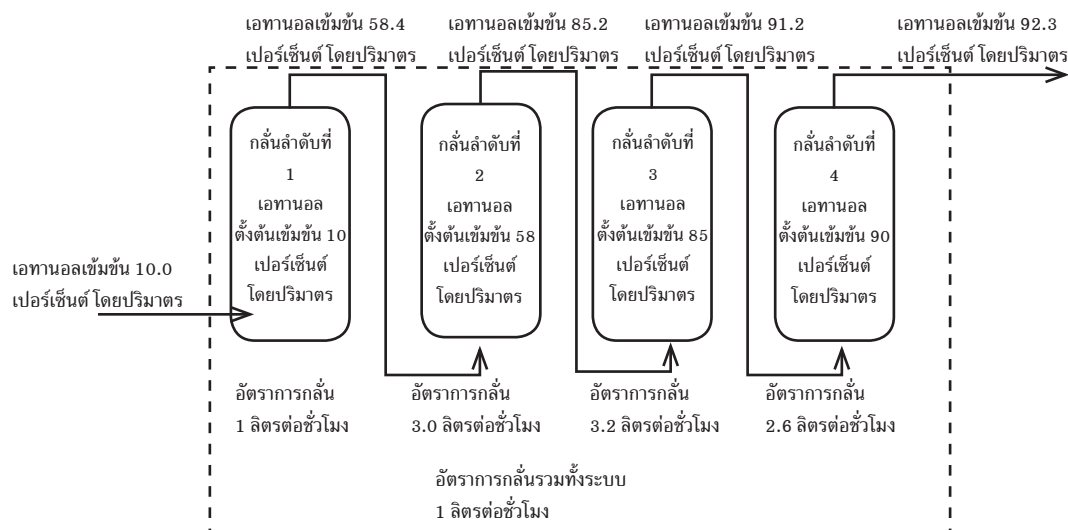
ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่ 85.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิการกลั่นที่ 76-77 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่ 90.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใช้อุณหภูมิการกลั่นที่ 76 องศาเซลเซียส

4. ผลของความเข้มข้นสารละลายเอทานอลตั้งต้นที่สูงขึ้นจะทำให้จุดเดือดสารละลายต่ำลง ทำให้ระยะเวลาในการเดือดและกลั่นตัวของเอทานอลต่ำลง ส่งผลให้อัตราการกลั่นเอทานอลสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยการกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์ พบว่าความเข้มข้นเอทานอลตั้งต้น 10.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเมื่อนำมากลั่นซ้ำ 4 ครั้งสามารถได้ความเข้มข้นเอทานอลสุดท้ายที่ 92.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยมีอัตราการกลั่นลำดับที่ 1 เป็นตัวกำหนดอัตราการกลั่นโดยรวมของระบบที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ปริมาณการกลั่นสารตั้งต้น 5 ลิตรสามารถออกแบบเครื่องกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์ที่ 4 ลำดับชั้นการกลั่น และคำนวณพลังงานที่ใช้สำหรับกลั่นระบบรีฟลักซ์โดยปรับปรุงระบบน้ำหล่อเย็นให้ถ่วงน้ำหล่อเย็นอยู่สูงเหนือจากระบบหล่อเย็นไอเอทานอล ทำให้สามารถพิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในระบบให้ความร้อนจากฮีตเตอร์ให้ความร้อนขนาด 1 กิโลวัตต์ต่อ 1 ลำดับชั้นการกลั่น และคิดรวมทั้งระบบ 4 ลำดับชั้นการกลั่นใช้พลังงานรวม 4 กิโลวัตต์ต่อ 1 ลิตรเอทานอล แสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงเครื่องกลั่นเอทานอลระบบรีฟลักซ์ระบบ 4 ลำดับชั้นการกลั่น

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2551. แผนพัฒนาพลังงานทดแทน

15 ปี. กรุงเทพฯ ฯ

จ.จิตติ พานิชกุล. 2548. การจัดการเชิงความร้อนของการกลั่นเอทานอลด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ

จริยา ปัตถานะ. 2552. การแยกน้ำออกจากสารละลายเอทานอลด้วยเทคนิคเพอร์แวกพอร์ชันโดยใช้เยื่อเลือกผ่านเมทริกซ์ผสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีโอไลต์

จิระเดช ฮายุกต์. 2546. การแยกของผสมเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการดูดซับ

นรินทร์ มลสารวรรณ. 2547. การวิเคราะห์สมรรถนะการกลั่นเอทานอลแสงอาทิตย์แบบการเดือดโดยตรง

นิรชร ชูติเนตร. 2552. การแยกเอทานอลออกจากน้ำหมักโดยกระบวนการเมมเบรนเพอแวกพอร์ชัน

ชนิตพล. Ethanol energy of Thailand. 2553. ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2553. จาก <http://www.tpa.or.th>

พรเทพ ถนนแก้ว. 2549. ศักยภาพของข้าวฟ่างหวานเพื่อผลิตเอทานอลเป็นพลังงานทดแทน. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พิชัย นามประกาย. 2539. การศึกษาการถ่ายเทความร้อนการถ่ายเทมวลในเครื่องกลั่นพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเอทานอล

สมคุณของของเหลวและไอ. 2552. ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2553. จาก <http://www.che-kku.com>

สามารถ บุญอาจ. 2550. การออกแบบและพัฒนาระบบกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องยนต์

Badger. 2002. Trends in New Crops and New Users Ethanol-Water properties. 2552. ค้นเมื่อ 25 มกราคม 2553. จาก <http://homedistiller.org/calc.htm>

Raragnani, MASS., Reis, MHM., Miciel Filho, R., and Wolf-Maciel, MR, 2010. Anhydrous ethanol production by extractive distillation : A solvent case study. Process Safety and Environmental Protection. 88: 67-73.