

การกลั่นเอทานอลโดยใช้ปั๊มความร้อนระบบอัดไอ

Ethanol Distillation Using a Vapor Compression Heat Pump

รัชพล กิ่งก้าน* และ บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

*ติดต่อ: touchapon2522@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 08-5025-9975, 08-1904-5238

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการกลั่นเอทานอลโดยใช้ปั๊มความร้อนระบบอัดไอ ในการทดลองใช้ปั๊มความร้อนระบบอัดไอขนาด 9,000 บีทียูต่อชั่วโมง โดยอาศัยอุณหภูมิความร้อนทางด้านท่อความดันสูงไปต้มน้ำที่มีส่วนผสมของเอทานอลในหม้อต้มของหอกลั่นลำดับส่วน เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของเอทานอลที่มีต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP) โดยทำการผสมเอทานอลในน้ำ 18 ลิตร แตกต่างกัน 4 เงื่อนไขได้แก่ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ จากผลการทดลองต้มน้ำที่ความเข้มข้นที่แตกต่างของเอทานอลจะแปรผกผันกับสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน กล่าวคือค่าผลลัพธ์ที่ได้จะลดลงตามความเข้มข้นของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันจะแปรผันตรงกับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ จากผลลัพธ์ที่ได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP) พบว่ามีค่าลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเป็น 2.1 เปอร์เซ็นต์ และผลิตภัณฑ์เอทานอลที่กลั่นได้มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 85 - 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

คำหลัก: ปั๊มความร้อนระบบอัดไอ, เอทานอล, สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Abstract

This article presents an experimental study on the performance of an ethanol distillation column using a vapor compression heat pump system. In this experiment, a 9,000 BTU/hr vapor compression heat pump system equipped with a fractional distillation column was used. The high discharge tube temperature was used to heat or boil the water-ethanol mixture in the boiler. To study the influence of the ethanol intensity to the COP for heating were mixed with ethanol in 18-liters of water for 4 different conditions, including 5, 10, 15 and 20 percent by volume, respectively. The experimental results of ethanol different intensity are inversely proportional to the coefficient of performance for heating. That is, the result is reduced as the intensity of ethanol increased. But on the other hand, the intensity of ethanol increased is proportional to the electric power supply to the compressor. The results of comparing each the COP values were decreased as the intensity increased to 2.1 percent and ethanol is distilled at an intensity of 85 - 90 percent by volume.

Keywords: Vapor compression heat pump system, ethanol, co-efficient of performance.

1. บทนำ

ในปัจจุบันสถานการณ์การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานขาดแคลนลงไปเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง เราคงปฏิเสธไม่ได้ว่าปัญหานี้เป็นปัญหาที่ทุกคนต้องให้ความสำคัญ เหตุผลก็คือ พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีพของมนุษย์ยิ่งเทคโนโลยีที่มนุษย์คิดค้นพัฒนาขึ้นมาก้าวไกลไปเพียงใด ความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์ก็จะยิ่งสูงขึ้นเป็นเงาตามตัวไปด้วย ธารักษ์ ภู่อัง [1] ศึกษากระบวนการกลั่นของเอทานอล-น้ำ แบบไม่ต่อเนื่องด้วยหอกลั่น แบบบรรจุโดยใช้ความร้อนจากระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ผลิตภัณฑ์เอทานอลที่มีความเข้มข้นในช่วง 68.7–99.6 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จำปา สอนเผือก [2] ศึกษาการกลั่นเอทานอลโดยใช้เทคนิคบับเบิลปั๊ม ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการกลั่นมีสองกรณี คือ การใช้พลังงานไฟฟ้า และกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีอัตราการกลั่นเฉลี่ย 11.094 ลิตรต่อวัน ความเข้มข้นที่กลั่นได้เฉลี่ย 8.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีต้นทุนการกลั่น 2.57 บาทต่อลิตร นรินทร์ มาละวรรณโณ [3] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกลั่น เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลเจือจางที่ได้รับความร้อนและเดือดโดยตรงภายในตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีที่แตกต่างกันสามชนิด ดังนี้ ชนิด A เป็นตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบอลูมิเนียมเป็นท่อและครีป ชนิด B เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ผิวดูตรงสีทองแดง ชนิด C เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ผิวดูตรงสีอลูมิเนียม กฤษณะ แก้วมณี [4] การศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องกลั่นเอทานอล จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่กลั่นได้มีดังนี้ 1.ต่ออ้อยกลั่นได้สูงสุด 0.4 ลิตร/วัน 2. กาก น้ำตาลกลั่นได้สูงสุด 0.15 ลิตร/วัน 3.กากมันสำปะหลังกลั่นได้สูงสุด 0.2 ลิตร/วัน และสารละลายเอทานอลที่กลั่นได้มีความเข้มข้นเฉลี่ย 38-40 เปอร์เซ็นต์ จิระเดช ฮายุกต์ [5] การแยกของผสมเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการดูดซับ เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้เพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูง 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

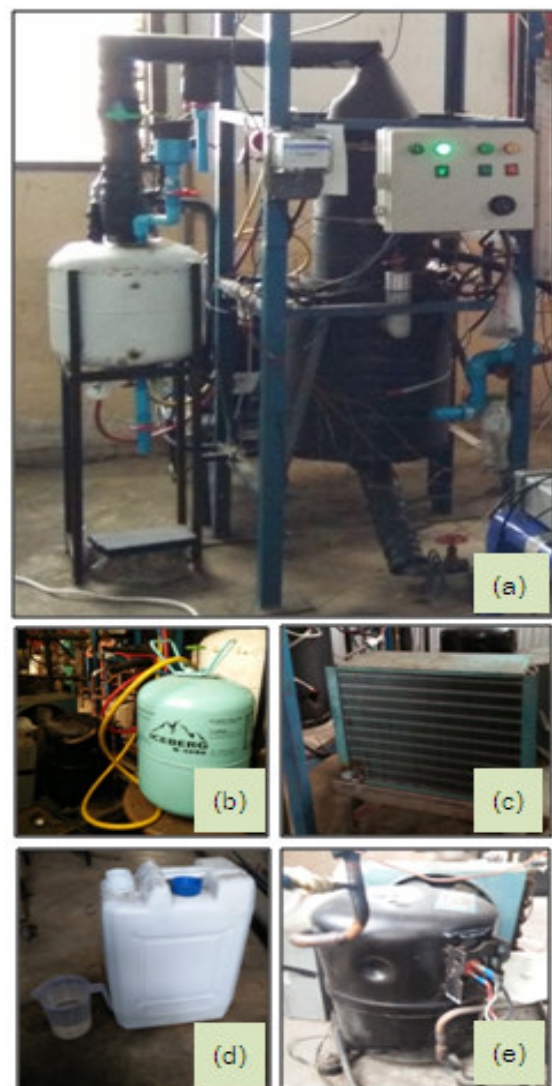
การกลั่นเอทานอลโดยใช้ปั๊มความร้อนระบบอัดไอเป็นการกลั่นเอทานอลอีกแบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการนำปั๊มความร้อนมาใช้ในการกลั่นเอทานอลนี้ เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตรงให้กับน้ำที่มีส่วนผสมของเอทา

นอลในหม้อต้มและไอระเหยของเอทานอลจะไหลไปกลั่นเป็นของเหลวเอทานอลในท่อที่รับความเย็นมากจากน้ำเย็นของชุดอีวาพอเรเตอร์แล้วตกลงถึงเก็บ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา สมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนระบบอัดไอ โดยใช้อุณหภูมิความร้อนทางด้านท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ (Discharge tube temperature) ในการคัม น้ำที่มีส่วนผสมของเอทานอลในหม้อต้ม

2. อุปกรณ์ที่ใช้และขั้นตอนการทดลอง

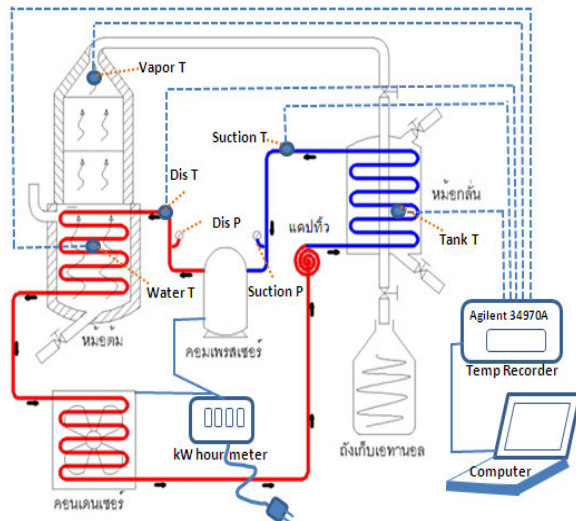
การทดลองนี้ได้ทำการติดตั้งปั๊มความร้อนระบบอัดไอเข้ากับชุดหอกลั่นลำดับส่วน



รูปที่ 1 ภาพถ่าย (a) ชุดอุปกรณ์การกลั่นเอทานอลด้วยปั๊มความร้อนระบบอัดไอ (b) สารทำความเย็น R-134a (c) คอนเดนเซอร์ (d) เอทานอล (e) คอมเพรสเซอร์

โดยใช้ปั๊มความร้อนที่มีขนาด 9,000 บีทียูต่อชั่วโมง ใช้คอมเพรสเซอร์ (Compressor) แบบลูกสูบ KULTHORN KIRBY (TECUMSEH) รุ่น AW 5515 EK ใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารตัวกลางการทำงาน ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วยท่อลดความดันแบบรูเข็ม (Capillary Tube)

การศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนระบบอัดไอโดยใช้อุณหภูมิความร้อนทางด้านท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ (Discharge Tube) ที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงไปถ่ายเทความร้อนให้น้ำในหม้อต้มปริมาณ 18 ลิตร ที่มีส่วนผสมของเอทานอล โดยการทดลองผสมเอทานอลที่แตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ



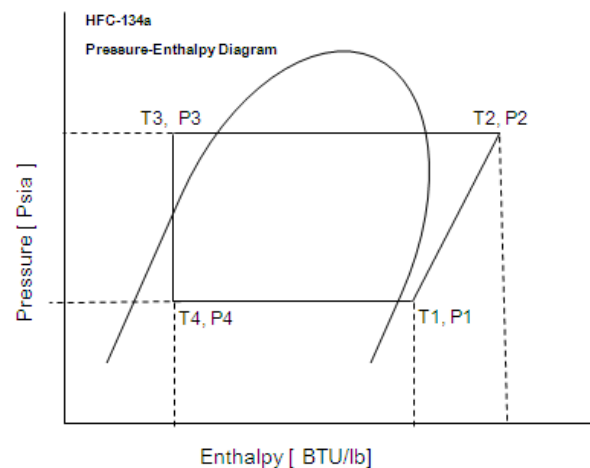
รูปที่ 2 วิธีการวัดและเก็บค่าอุณหภูมิ และความดัน

ในการกลั่นเอทานอลโดยใช้ปั๊มความร้อนแบบอัดไอน้ำ ได้ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ที่สำคัญจำนวน 5 จุด วัดอุณหภูมิท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ น้ำที่มีส่วนผสมของเอทานอลในหม้อต้ม และไอที่ระเหยด้านบนของหม้อกลั่นลำดับส่วน นอกจากนั้นได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันที่ท่อด้านความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ (Discharge tube) ท่อด้านกลับคอมเพรสเซอร์ (Suction Tube) เครื่องวัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2 ทำการบันทึกผลของอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และในการทดลองมีการจดบันทึกค่าของความดัน อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของปั๊มความร้อนระบบอัดไอ นำผลการทดลองที่ได้ทั้งอุณหภูมิและความดันของสาร

ทำความเย็นในระบบมาหาค่าเอนทัลปีในแผนภูมิความดัน-เอนทัลปี ดังรูปที่ 3 เพื่อนำค่าเอนทัลปีที่ได้ไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อนและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มความร้อน ที่มีเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของเอทานอลที่ต่างกันโดยปริมาตร

2.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของปั๊มความร้อนระบบอัดไอจะเริ่มจากคอมเพรสเซอร์ จะดูดไอสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอแล้วอัดออกไปเพื่อให้ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ไอจะถูกส่งไปต้มน้ำที่ชุดหม้อต้มที่มีส่วนผสมของเอทานอล จากนั้นก็เข้าสู่การระบายความร้อนที่คอยล์ร้อน (Condenser) เพื่อเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากไอให้กลายเป็นของเหลวโดยที่อุณหภูมิและความดันสูงแล้วเข้าท่อลดความดันแบบรูเข็ม (Capillary tube) เพื่อลดความดันของสารทำความเย็น ที่ทางออกของท่อลดความดันแบบรูเข็มสารทำความเย็นจะมีสถานะของเหลวผสมไอเพื่อไปรับความร้อนจากน้ำที่หม้อกลั่นเพื่อให้น้ำเย็นลงเมื่อสารทำความเย็นได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอที่คอยล์เย็น (Evaporator) จากนั้นสารทำความเย็นที่เป็นไอจะกลับเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ (Compressor) อีกครั้งและเป็นวัฏจักรการทำงานอย่างต่อเนื่องต่อไปเรื่อยๆ ของระบบปั๊มความร้อน



รูปที่ 3 แสดงการหาค่าเอนทัลปี

2.2 การคำนวณวิเคราะห์ด้านพลังงาน

จากผลการทดลอง คำนวณเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานปั๊มความร้อน ที่ใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มปริมาณ 18 ลิตร ที่มี

ส่วนผสมของเอทานอลที่แตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

1. ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากท่อความดันสูงหรือการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (1)$$

2. อัตราการถ่ายเทความร้อน

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (2)$$

3. กำลังงานที่เกิดจากคอมเพรสเซอร์ พิจารณาจากอัตราการใช้ของสารความเย็นและอุณหภูมิ

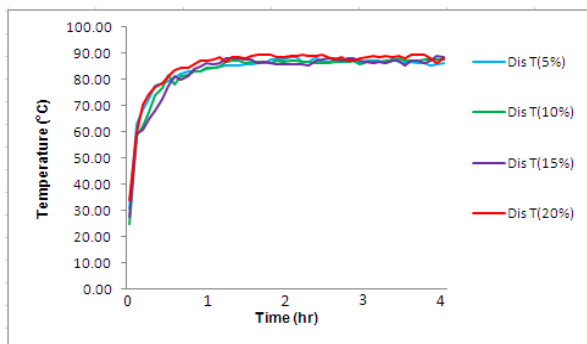
$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r (h_1 - h_2) \quad (3)$$

4.สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน

$$COP_{hp} = \frac{\text{Heating output}}{\text{work of compression}} = \frac{\dot{Q}_{cond}}{\dot{W}_{comp}} \quad (4)$$

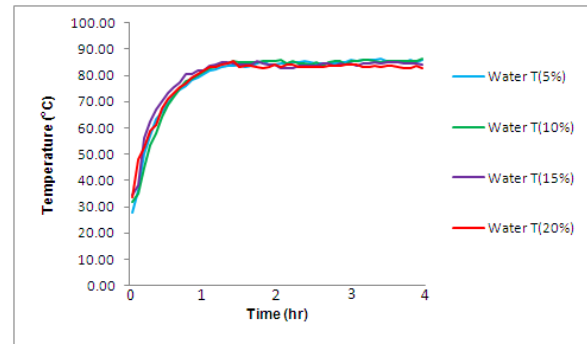
3. ผลการทดลอง

การวิจัยนี้ต้องการทราบถึงผลของความร้อนที่ท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ (Discharge Tube) ที่มีอุณหภูมิสูงพอที่จะสามารถนำไปต้มน้ำที่มีส่วนผสมของเอทานอลเพื่อให้เอทานอลที่ผสมอยู่ระเหยกลายเป็นไอได้ ในหม้อต้มมีน้ำปริมาณ 18 ลิตร ที่มีส่วนผสมของเอทานอลแตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ อุณหภูมิของท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ (Discharge Tube) ดังรูปที่ 4 พบว่าส่วนผสมของเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อุณหภูมิต่ำกว่าเฉลี่ย 2.2 เปอร์เซ็นต์ เพราะ ความดันด้านท่อความดันสูงต่ำกว่า



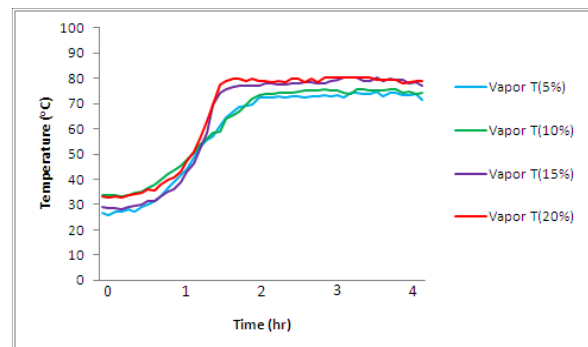
รูปที่ 4 ค่าอุณหภูมิทางด้านท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ (Discharge Tube Temperature)

น้ำที่ผสมเอทานอลแตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มสูงพอที่ทำให้เอทานอลในหม้อต้มเดือดกลายเป็นไอได้ ดังรูปที่ 5



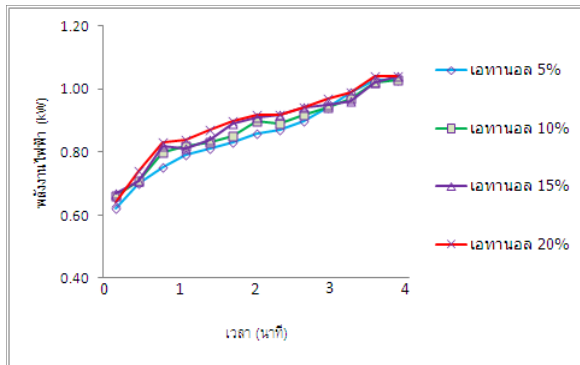
รูปที่ 5 อุณหภูมิของน้ำผสมเอทานอลในหม้อต้ม

ในการต้มน้ำปริมาณ 18 ลิตร ที่มีส่วนผสมของเอทานอลแตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอเอทานอลที่ระเหยออกจากหม้อต้มที่จุดสูงสุดของหอกลั่นลำดับส่วน ดังรูปที่ 6 พบว่าส่วนผสมของเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 7.4 เปอร์เซ็นต์



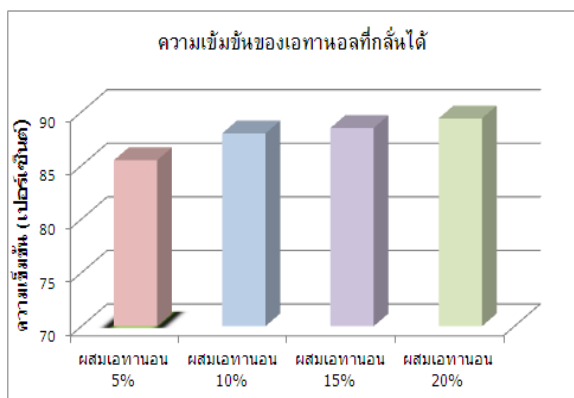
รูปที่ 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิของไอเอทานอลที่ระเหย

จากปริมาณน้ำ 18 ลิตร ที่มีส่วนผสมของเอทานอลแตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นเอทานอล ดังรูปที่ 7 พบว่าส่วนผสมของเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พลังงานไฟฟ้ามากกว่า เนื่องความดันด้านท่อความดันสูงในระบบสูงขึ้นกว่า



รูปที่ 7 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

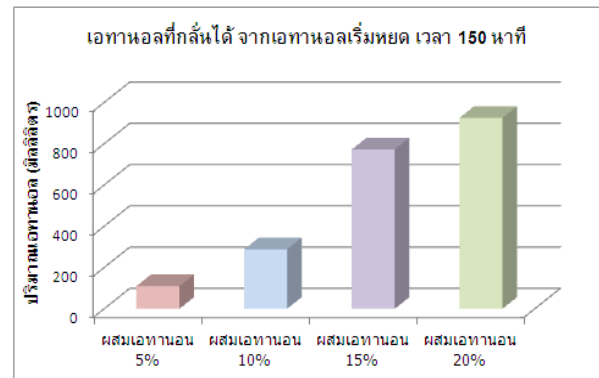
จากผลการทดลองกลั่นเอทานอล ได้นำเอทานอลที่กลั่นได้มาวัดค่าความเข้มข้น ที่มีส่วนผสมของเอทานอลแตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เอทานอลที่กลั่นได้มีค่าความเข้มข้น 85.5, 88, 88.5 และ 89.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งมีส่วนผสมของเอทานอลในน้ำที่นำมากลั่นมากขึ้นทำให้ความเข้มข้น ที่กลั่นได้ก็สูงตามไปด้วย



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเอทานอล

จากการทดลองกลั่นเอทานอล ได้นำเอทานอลที่กลั่นได้มาเปรียบเทียบปริมาณที่กลั่นได้ โดยใช้เวลา 150 นาที ตั้งแต่เอทานอลเริ่มหยดแล้วนำปริมาณที่กลั่นได้ใน 150 นาที มาเปรียบเทียบกัน โดยที่ส่วนผสมของเอทานอลแตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้แต่ละการทดลองเป็น 110, 288, 772 และ 925 มิลลิลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ยิ่งในน้ำที่นำมาทดลองกลั่นมีส่วนผสมของเอทานอลมากขึ้น เมื่อเราให้ความร้อนแก่น้ำเพื่อต้ม น้ำ ก็จะทำเอทา

นอลผสมอยู่ระเหยได้ง่าย เมื่อระเหยได้ง่ายก็จะทำให้ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ก็สูงตามไปด้วย



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองใช้ปั๊มความร้อนระบบอัดไอขนาด 9,000 บีทียูต่อชั่วโมง ใช้ R-134a เป็นสารทำความเย็น โดยใช้อุณหภูมิของความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ไปต้มน้ำ ปริมาณ 18 ลิตร ที่มีส่วนผสมของเอทานอล แตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ปริมาณของความร้อนของน้ำในหม้อต้มเฉลี่ยลดลงตามตามปริมาณส่วนผสมเอทานอลที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยเปรียบเทียบที่ 5 เปอร์เซ็นต์ กับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อุณหภูมิเฉลี่ย 85.6 และ 84.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ลดลงเพียงแค่ 1.2 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลเฉลี่ยสูงขึ้นตามปริมาณส่วนผสมเอทานอลที่เพิ่มขึ้น พบว่าส่วนผสมของเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สูญเสียพลังงานไฟฟ้าไป 11.12 กิโลวัตต์ ต่อ 4 ชั่วโมงและส่วนผสมของเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สูญเสียพลังงานไฟฟ้าไป 11.64 กิโลวัตต์ ต่อ 4 ชั่วโมง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 4.4 เปอร์เซ็นต์
3. สมบัติที่สมรรถนะการทำความร้อน เฉลี่ยลดลงตามปริมาณส่วนผสมเอทานอลที่เพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบที่ 5 กับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 4.9 และ 4.8 ตามลำดับ ลดลง 2.1 เปอร์เซ็นต์

จากผลงานวิจัยนี้ สามารถใช้ความร้อนที่ต่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ที่มีอุณหภูมิสูงมาใช้ในการ

กระบวนการกลั่นเอทานอลได้ โดยที่มีส่วนผสมของเอทานอล แตกต่างกัน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะเห็นได้ว่าการทดลองที่ปริมาณส่วนผสมเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นค่าการทดลองที่ได้ค่าดีที่สุด ทั้งปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณเอทานอลที่ผสมลงไปตั้งแต่ต้นเป็น 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร รวมถึงปริมาณค่าความเข้มข้นของเอทานอลมีค่า 89.4 เปอร์เซ็นต์ และอาจพัฒนานำความร้อนที่ท่อความดันสูงของคอมเพรสเซอร์ไปใช้ในกระบวนการอื่นๆได้ ในส่วนที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก เช่น ทำบ่อน้ำอุ่นขนาดเล็กแช่เพื่อสุขภาพ ทำถึงกักเก็บน้ำร้อนไว้ใช้ในรีสอร์ต เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลองและให้การสนับสนุนงบประมาณ รวมทั้งเป็นแหล่งความรู้ในการสืบค้นข้อมูลและงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนารักษ์ ภู่อัง, ศึกษากระบวนการกลั่นของเอทานอล-น้ำ แบบไม่ต่อเนื่องด้วยหอกลั่น แบบบรรจุโดยใช้ความร้อนจากระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- [2] จำปา สอนเผือก, ศึกษาการกลั่นเอทานอลโดยใช้เทคนิคบับเบิลปั๊ม
- [3] นรินทร์ มาละวรรณโณ, ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกลั่น เพื่อเพิ่มความเข้มข้น ของเอทานอลเจือจางที่ได้รับความร้อนและเดือดโดยตรงภายในตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์
- [4] กฤษณะ แก้วมณี, การศึกษาความเป็นไปได้ขอเครื่องกลั่นเอทานอลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
- [5] จิระเดช ฮายุกต์, การแยกของผสมเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการดูดซับ
- [6] ชลดา ชื้อสัตย์และคณะ, การศึกษาการผลิตเอทานอลสารเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือก จากกากมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จาก อุตสาหกรรมการผลิตแป้ง