

การศึกษาเชิงทดสอบลักษณะของฝาควบแน่นถังกั่นเอทานอลพลังงานรังสี แสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนที่มีต่อสมรรถนะการกลั่น

An Experimental Study on Characteristics of Condensation Lid for Thermosyphon-type Solar Energy Ethanol Distillation Tank on Distillation Performance

หฤษฎ์ คล่องดี^{1*} และ จารุวัฒน์ เจริญจิต²

Harid Klongdee^{1*} and Jaruwat Jareanjit²

Received: 22 February 2021, Revised: 26 August 2022, Accepted: 25 October 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดสอบลักษณะของฝาควบแน่นต่อสมรรถนะการกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนและมีตู้อบแห้งแบบเรือนกระจกทำงานแบบ Passive ที่ปิดคลุมด้วยแผ่นกระจกเอียงทำมุม 17 องศา ขนาด $1.25 \times 1.8 \times 1 \text{ m}^3$ ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ ขนาด $0.75 \times 1.35 \text{ m}^3$ เป็นแหล่งรับความร้อนเพื่อต้มสารละลายเอทานอลความเข้มข้นต่ำระเหยไปเป็นไอผ่านไปควบแน่นเพื่อให้ความเข้มข้นสูงขึ้นใช้สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นตั้งต้น 10 %v/v ปริมาตร 10 ลิตร การทดลองมีทั้งหมด 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ถังกลั่นแบบฝากรวยคว่ำโดยให้สารละลายเอทานอลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยตรงและควบแน่นผ่านท่อทองแดงนอกตู้อบ กรณีที่ 2 ถังกลั่นมีฝาแบบกรวยหงายและมีน้ำควบแน่นหมุนวนบนฝาดังตลอดเวลา กรณีที่ 3 ถังกลั่นแบบฝาดังกลั่นกรวยหงายมีน้ำควบแน่นหมุนวนบนฝาดังตามช่วงเวลา 30 นาที/ครั้ง ดำเนินการทดลองในวันที่ทำการทดลอง 18.30 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน ผลการทดลอง พบว่า กรณีที่ 1 สมรรถนะการกลั่นสามารถผลิตเอทานอลได้ 1.51 ลิตร/วัน ความเข้มข้น 30 %v/v กรณีที่ 2 สมรรถนะการกลั่นสามารถผลิตเอทานอลได้ 3.02 ลิตรต่อวัน ความเข้มข้น 39 %v/v และกรณีที่ 3 สมรรถนะการกลั่นสามารถผลิตเอทานอลได้ 3.37 ลิตรต่อวัน ความเข้มข้น 41 %v/v จากการทดสอบพบว่า การทดลองกรณีที่ 3 ถังกลั่นแบบฝาดังกลั่นกรวยหงายมีน้ำควบแน่นหมุนวนบนฝาดังตามช่วงเวลา 30 นาทีต่อครั้ง ส่งผลให้น้ำควบแน่นไม่มีการหมุนวนแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายเอทานอลในถังกลั่นตลอดช่วงเวลา การทดลองทำให้อุณหภูมิควบแน่นมีอุณหภูมิค่าสมรรถนะการควบแน่นมีอัตราสูงสุด รองลงมาคือกรณีที่ 2 และ 1 ตามลำดับ

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยราชพฤกษ์ มหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม 48110

¹ Department of Energy Engineering, Faculty of That Phanom College, Nakhonphanom University, Thatphanom, Nakhonphanom 48110, Thailand.

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Mueang, Songkhla 90000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): klongdee.harid@gmail.com

คำสำคัญ: ฝาควบแน่น, ตู้กลั่นเอทานอล, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

ABSTRACT

This research study examined the condensation cap characteristics of the ethanol distillation performance using solar radiation as a heat source and a passive greenhouse drying cabinet enclosed by a 17-degree tilting glass sheet. Size $1.25 \times 1.8 \times 1 \text{ m}^3$ joined with a flat plate solar collector size $0.75 \times 1.35 \text{ m}^3$ as a heat source to boil the volatile low-concentration ethanol solution through condensation to get a higher concentration. Ethanol solution at the initial concentration of 10% v/v and a volume of 10 liters was used. There were 3 cases in all experiments: Case 1, an inverted funnel cap distillation tank, where the ethanol solution was directly passed through a flat plate solar collector and condensed through a copper pipe outside the incubator. Case 2, a distillation tank with a conical lid facing up and condensed water is constantly circulating on the lid of the tank. Case 3, a distillation tank with a conical lid of a conical distillation tank has condensed water circulating on the lid of the tank at intervals. At 30 minutes/time, the average solar radiation on the day of the experiment was $18.30 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$. The results showed that in Case 1, the distillation capacity could produce 1.51 liters of ethanol/day at a concentration of 30% v/v. For Case 2, the distillation capacity can produce 3.02 liters of ethanol/day at a concentration of 39% v/v and in Case 3, distillation capacity can produce ethanol 3.37 liters/day at a concentration of 41% v/v from the test found. From the experiment in Case 3, it was found that the lid of the conical distillation tank had condensed water swirling on the lid of the tank at intervals of 30 min/time, resulting in the condensed water having no rotation to exchange heat with the ethanol solution in the distillation tank all the time. The experiments were conducted to achieve the highest water density at low temperatures with the highest sedimentation efficiency. The order of performance, from highest to lowest, is as follows: Case 3, followed by Case 2, and then Case 1.

Key words: condensation, lid flat plate solar collector, ethanol distillation chamber

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำเอทานอลมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านเชื้อเพลิงสะอาด (Rabelo *et al.*, 2011; Sarkar *et al.*, 2012) ในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยกระบวนการทั่วไปในการผลิตเอทานอลเริ่มจากการหมักผลผลิตทางการเกษตร โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้น 8-10%v/v Vorayos *et al.* (2003) และนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นลำดับส่วน เพื่อเพิ่มความเข้มข้น อย่างไรก็ตาม

เอทานอลที่สามารถนำมาผสมกับน้ำมันชนิดอื่น เพื่อผลิตแก๊สโซฮอล์ได้ จะต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 99.5%v/v ซึ่งกระบวนการกลั่นลำดับส่วนจะกลั่นได้ ที่ความเข้มข้นไม่เกิน 95%v/v การผลิตเอทานอลจากชีวมวลเป็นเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งมีผู้ศึกษาวิเคราะห์และทดลองกันมาก ได้มีการทดลองนำแอลกอฮอล์ที่ได้จากผลิตทางการเกษตรหรือเอทานอลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเนื่องจากเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว สามารถใช้เป็น

เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ เช่นเดียวกับการใช้น้ำมันเบนซินล้วน โดยทั่วไปเอทานอลที่ได้จากการหมักวัตถุดิบทางการเกษตร จะมีเปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นอยู่ประมาณ 7 - 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำเกินไปไม่เหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งถ้าจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเอทานอลที่ใช้ต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ดังนั้นจึงต้องผ่านกรรมวิธีที่จะทำให้เอทานอลที่ได้บริสุทธิ์ขึ้น กรรมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ การกลั่น โดยที่การกลั่นเป็นกรรมวิธีการแยกสารละลายโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด เมื่อสารละลายได้รับความร้อน สารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยออกมาในปริมาณที่มากกว่าสารที่มีจุดเดือดสูงมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารที่มีจุดเดือดต่ำมีค่าสูงขึ้นเพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นให้มากขึ้น พบว่าการผลิตเอทานอลร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำมาก โดยทั่วไปการกลั่นสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการเติมสารละลายตั้งต้นเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือการกลั่นแบบเติมสารครั้งเดียว (Batch Distillation) และการกลั่นแบบเติมสารอย่างต่อเนื่อง (Continuous Distillation) ไม่ว่ากระบวนการกลั่นในกรณีใดจะต้องอาศัยแหล่งพลังงานที่จะให้ความร้อนแก่สารละลายเพื่อให้เกิดการระเหย ซึ่งในกรณีของการกลั่นโดย

ทั่ว ๆ ไป แหล่งพลังงานหลักที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่สารละลายเป็นความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงก็จะเป็นการสูญเสียเชื้อเพลิงในการผลิตเชื้อเพลิงไม่ก่อให้เกิดความคุ้มค่าของการลงทุน (Jorapur and Rajvanshi, 1991; Therdyothin *et al.*, 2006) การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ตลอดจนเงินลงทุนในการผลิต ดังแสดงผลในตารางที่ 1 พบว่าการผลิตเอทานอลร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำมาก กล่าวคือพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ใช้ไปในระบบการกลั่นเอทานอลเพื่อให้ได้เอทานอลความเข้มข้นสูงขึ้นจากประมาณร้อยละ 10 - 99.5 โดยปริมาตร จะอยู่ระหว่าง 7,630-10,210 กิโลจูลต่อเอทานอล 1 ลิตร (Jareanjit *et al.*, 2004) ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการกลั่นเอทานอลจากร้อยละ 10-95 โดยปริมาตร จะอยู่ระหว่าง 5,021-9,460 กิโลจูล/ลิตร เอทานอล โดยพบว่าการกลั่นเอทานอลจากร้อยละ 10 เป็น 95 โดยปริมาตร จะใช้พลังงานในการให้ความร้อนระบบกลั่นร้อยละ 70-80 ของกระบวนการทั้งหมด (Jareanjit *et al.*, 2008; Jareanjit *et al.*, 2014; Siangsukone *et al.*, 2008; Jorapur and Rajvanshi, 1991; Hong *et al.*, 1982; Robertson *et al.*, 1983; Toe and Ruthven, 1986)

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานในระบบกลั่น และระบบผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ (Sarkar *et al.*, 2012)

กระบวนการ	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ	
	เอทานอล (%w/w)	พลังงาน (kJ/liter)
การกลั่น	10 - 99.5	7630.82
การกลั่น	10 - 95	5021.15
การกลั่นอะซิโโทรป	95 - 99.5	2609.67
การกลั่น	6.4 - 80	4591.71
การแยกโดยใช้แผ่นเยื่อ (PV)	80 - 99.5	1123.15

โดยกระบวนการกลั่นเอทานอลในภาคอุตสาหกรรมใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วนร่วมกับเทคโนโลยีเมมเบรนเพอแวกพอร์ชันและโมเลกุลาร์ซีฟซึ่งมีต้นทุนสูง Minmin *et al.* (2022) ได้มีการศึกษาวิจัยมากมายที่พยายามพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาทดแทนหรือใช้ร่วมกับเทคโนโลยีเหล่านี้ ซึ่งโดยทั่วไปการกลั่นเอทานอลด้วยรังสีอาทิตย์แบบไม่ต่อเนื่องในการกลั่นขั้นตอนที่ 1 จากความเข้มข้น 10%v/v ผลผลิตที่กลั่นได้จะมีความเข้มข้นไม่เกิน 53%v/v จาก vapour-liquid equilibrium diagram (Perry and Grenn, 1984) โดยพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นมากที่สุด คือ พลังงานความร้อนและกระบวนการที่สำคัญอีกกระบวนการหนึ่งคือการควบแน่นโดยมีการใช้น้ำในกระบวนการควบแน่นจำนวนมากและมีการใช้พลังงานมากตามไปด้วย งานวิจัยทางทางการกลั่นเอทานอลด้วยรังสีอาทิตย์มีการศึกษาจำนวนมากแต่ยังให้ความสำคัญในเรื่องฝ้าควบแน่นน้อยจึงไม่ปรากฏมีงานวิจัยทางด้านนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาการกลั่นเอทานอลด้วยวิธีต่าง ๆ คือ Meukam *et al.* (2004) ทำการกลั่นแอลกอฮอล์จากความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 10 ด้วยตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบขนาดพื้นที่รับรังสี 1.44 ตารางเมตร พบว่า อัตราการกลั่นที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อตารางเมตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 48 Tiwari *et al.* (2003) ได้ศึกษาการกลั่นเอทานอลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบขนาด 1.4 ตารางเมตร ด้วยวิธีการกลั่นแบบเบี่ยงภายใต้ความดันต่ำและพบว่า ปริมาณการกลั่นที่ได้จากระบบนี้มีค่าเท่ากับ 2.1 ลิตรต่อวันที่ความเข้มข้นร้อยละ 56 จากความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 10 จะเห็นได้ว่า งานวิจัยดังกล่าวทำการศึกษาเพื่อหาปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่กลั่นได้เท่านั้น โดยมิได้กล่าวถึงสมรรถนะการกลั่นระยะยาวและต้นทุนในการกลั่น

ดังนั้น จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จะลดการใช้พลังงานและน้ำในกระบวนการควบแน่นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้น้ำโดยการออกแบบและสร้างฝ้าควบแน่นถึงกลั่นเอทานอล 3 รูปแบบและทำการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นเอทานอลจากฝ้าควบแน่นถึงกลั่นเอทานอลทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีแหล่งความร้อนที่ให้แก่สารละลายเอทานอล-น้ำ 10%v/v จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบร่วมกับตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์แบบ Passive ทำงานในระบบปิด โดยอาศัยหลักการของแรงลอยตัวโดยอิสระหรือเทอร์โมไซฟอนของอากาศสำหรับหมุนเวียนของอากาศร้อนภายในระบบ ในระบบกลั่นนี้จะใช้พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานหลัก ทั้งนี้ ถึงดื่มกลั่นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับเตาต้มกลั่นสุราพื้นบ้าน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ชุดทดลอง

1.1 หลักการทำงานของระบบกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์

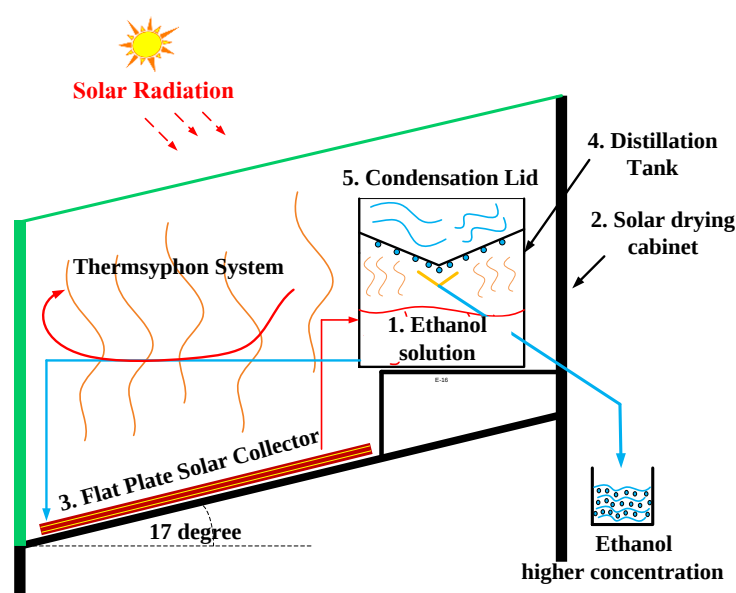
การทดสอบลักษณะของฝ้าควบแน่นถึงกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนโดยมีวัสดุอุปกรณ์ในระบบ ดังต่อไปนี้

- 1) สารละลายที่ใช้ คือ สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 10 %v/v
- 2) ตู้อบพลังงานรังสีอาทิตย์รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน เอียงทำมุม 17° มีขนาด 2.25 m³ (1.25 m×1.8 m×1 m) และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ขนาด 1 m² จำนวน 1 แผง เอียงทำมุม 17°
- 3) ถึงกลั่นเอทานอล มีขนาดความจุ 50 ลิตร
- 4) ฝ้าถึงกลั่นขนาดความจุ 20 ลิตร

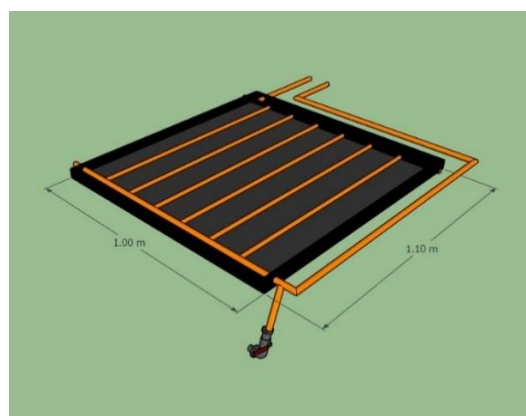
หลักการทำงานของมีระบบกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน จะเป็นการกลั่นแบบเดิมสาร ครั้งเดียว (Batch Distillation)

ที่ทำงานภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยอาศัยแสงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่ราบ มาเป็นตัวดูดซับความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ แล้วส่งผ่านความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังสารทำงานในรูปของการนำ และการพาความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของสารทำงานสูงขึ้น โดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 10 %v/v เป็นสารทำงานและเป็นตัวรับความร้อนโดยตรงจากแผงรับรังสีอาทิตย์ (Flat Plate Solar Collector) และไหลเวียนแบบเทอร์โมไซฟอน

ในส่วนของเอทานอลที่รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่ราบ จะระเหยกลายเป็นไอและควบแน่นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1 และรูปร่างส่วนประกอบตู้อบพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่ราบ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ระบบกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน



ภาพที่ 2 ตู้อบพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่ราบ

1.2 อุปกรณ์ควบคุมแน่นในการกระบวนการกลั่นเอทานอล

ระบบกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมโซลาร์มีฝาควบคุมแน่นที่ออกแบบมาจากระบบกลั่นสุราพื้นบ้านที่มีฝาควบคุมแน่นซึ่งมีลักษณะเหมือนกระทะและจะมีน้ำหล่อเย็นด้านบนฝาควบคุมแน่น แต่มีข้อเสีย คือ ด้านล่างจะเป็นลักษณะ

ครึ่งวงกลมจุดควบคุมแน่นจึงมีกระจายไม่ตกลงในที่รองรับทั้งหมด และอุณหภูมิน้ำควบคุมแน่นสูงทำให้สมรรถนะการควบคุมแน่นแอลกอฮอล์จึงมีปริมาณต่ำ ดังนั้น คณะวิจัยจึงออกแบบฝาควบคุมแน่นให้ด้านล่างมีลักษณะมุมแหลมเอียง 30° ซึ่งเป็นมุมที่ของเหลวมีการไหลเทได้เร็วที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ฝาควบคุมแน่นถังกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมโซลาร์

2. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ

กรณีระบบอยู่ในสถานะคงตัว อัตราความร้อนที่ได้ จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยประยุกต์ใช้

สมการของ Hottel-Willier - Bliss (ASHRAE, Standard 93-2003, 2003; Duffie and Beckman, 1991)

$$\eta_{th} = \frac{q_c}{I_T A_c}$$

$$q_c = A_c F_R [I_T (\tau\alpha)_e U_L(T_{fi}-T_a)] \quad (1)$$

โดยที่ A_c คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสี (m^2)

F_R คือ แฟกเตอร์การนำความร้อนมาใช้ของตัวเก็บรังสี

I_T คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

q_c คือ อัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสี (W)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศรอบ ๆ ($^\circ C$)

T_{fi} คือ อุณหภูมิของสารละลายไหลเข้า ($^\circ C$)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

$(\tau\alpha)_e$ คือ ผลคูณประสิทธิภาพของค่าส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสี

กรณีที่สารทำงานไม่มีการเปลี่ยนสถานะ อัตราความร้อนสามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$q_c = mC_{pw}(T_{fo}-T_{fi}) \quad (2)$$

โดยที่ C_{pw} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของสารทำงาน (kJ/kg °C)

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของทำงานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (kg/s)

T_{fo} คือ อุณหภูมิของสารละลายไหลออก (°C)

3. คำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่น

การคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องกลั่น

$$\frac{\text{ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้ (ลิตร)}}{\text{ปริมาณสารละลายเอทานอลเริ่มต้น (ลิตร)}} \times 100 \quad (3)$$

4. วิธีการทดลอง

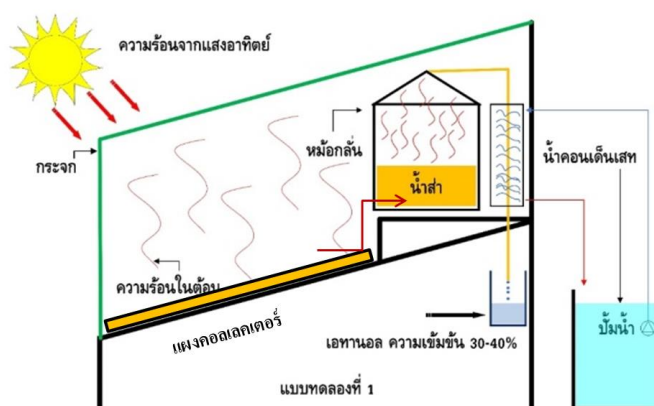
งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเป็น 3 กรณี เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของฝาครอบแน่นต่อสมรรถนะการกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไโซฟอนช่วงเวลา (9.00-16.00 น.) โดยมีเงื่อนไขการทดสอบ ดังนี้

กรณีที่ 1 แบบถังกลั่นมีฝาครอบแน่นแบบกรวยคว่ำใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และตู้อบ ดังแสดงในภาพที่ 4

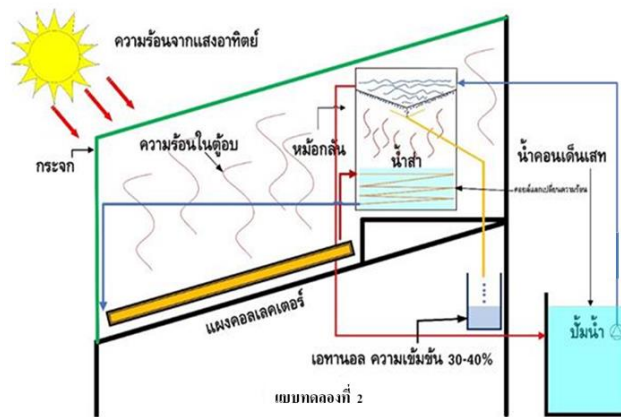
กรณีที่ 2 แบบกรวยหงายมีน้ำเย็นควบแน่น

ไหลผ่านบนฝาใช้ความร้อนจากตู้อบและคอยล์ร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 5

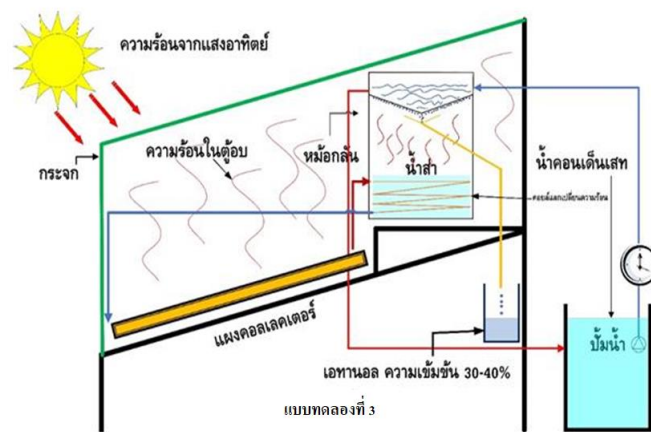
กรณีที่ 3 แบบถังกลั่นเอทานอลแบบใช้ความร้อนจากตู้อบและให้สารละลายเอทานอลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยตรง และตั้งเวลาน้ำเข้าสู่ฝาครอบแน่น 30 นาที/ครั้ง โดยการสังเกตจากอุณหภูมิที่ควบแน่นที่เริ่มมีอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียสซึ่งเวลาประมาณ 30 นาที ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 แสดงรายละเอียดลักษณะระบบกลั่นเอทานอล กรณีที่ 1



ภาพที่ 5 แสดงรายละเอียดลักษณะระบบกลั่นเอทานอล กรณีที่ 2



ภาพที่ 6 แสดงรายละเอียดลักษณะระบบกลั่นเอทานอล กรณีที่ 3

ดำเนินการทดสอบในช่วงระหว่างเวลา (9.00-16.00 น.) เป็นเวลา 7 ชั่วโมงต่อวัน มีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. ติดตั้งระบบกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน หันไปทางทิศใต้ ทำการวัดค่ารังสีอาทิตย์

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

3. เปิดเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิอุณหภูมิแวดล้อม (T_a) อุณหภูมิน้ำระบายความร้อน (T_{con}) อุณหภูมิสารละลาย (T_{lank}) และอุณหภูมิในตู้อบ (T_{cham})

4. บันทึกข้อมูลค่ารังสีและอุณหภูมิการทดลอง ทุก ๆ 1 นาที และวัดปริมาณการกลั่นเอทานอลและค่าความเข้มข้นทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นของแต่ละกรณี

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องบันทึกข้อมูลทางอุณหภูมิ (Data Logger) รุ่น TM 1947SD การบันทึกข้อมูลทางอุณหภูมิจากการทดลองจะใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิชนิด 4 จุด ความถูกต้อง ± 0.01 องศาเซลเซียส ใช้ใน

การวัดและบันทึกอุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K เป็นตัวส่งสัญญาณ

2. การสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สายเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้วัดอุณหภูมิต่างเป็นชนิด K สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 - 1250 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลช่วงอุณหภูมิที่ใช้สอบเทียบตั้งแต่ 25 - 100 องศาเซลเซียส

3. เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์ใช้วัดปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีเครื่องมือวัดค่ารังสีอาทิตย์ที่ใช้เป็นชนิด Solar Power Meter รุ่น SPM-1116SD ความละเอียด 8.79×10^{-6} V/Wm⁻²

4. เครื่องวัดแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์มิเตอร์ (Alcohol Meter) ใช้วัดค่าแอลกอฮอล์ 0-100% โดยจะแสดงรูปภาพตุ๊กต่านเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ดังภาพที่ 7



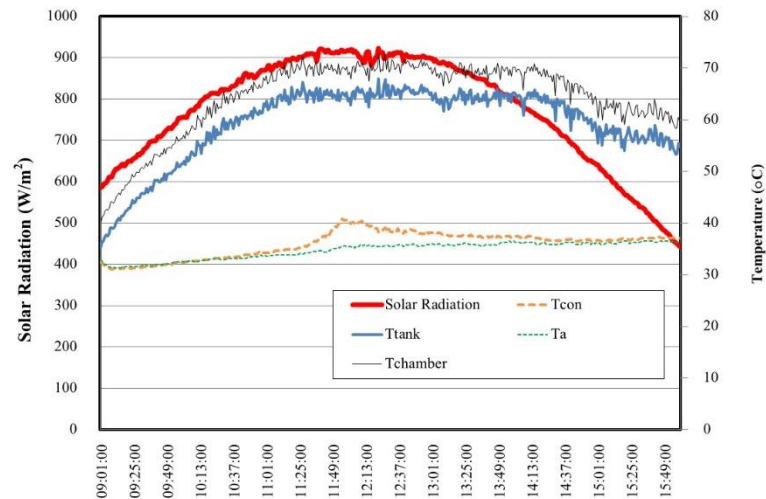
ภาพที่ 7 ตุ๊กต่านเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

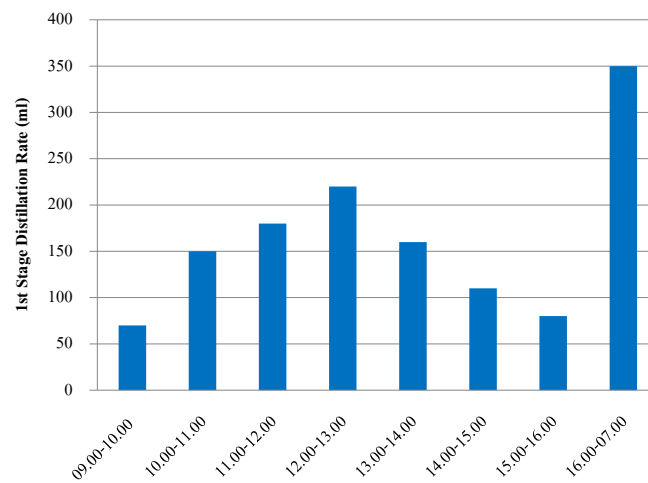
1. ผลการกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นมีฝาครอบแน่นแบบกรวยคว่ำมีน้ำเย็นควบแน่นนอกตู้อบใช้ความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและตู้อบ

การทดลองกรณีที่ 1 เป็นการทดลองกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นมีฝาครอบแน่นกรวยคว่ำใช้ความร้อนจากตู้อบแหล่งเดียว มีผลการทดลองดังภาพที่ 8, 9 และ 10 ที่ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10%v/v ปริมาณ 10 ลิตรพบว่าอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลในถังกลั่นมีค่าสูงสุด 86 องศาเซลเซียส

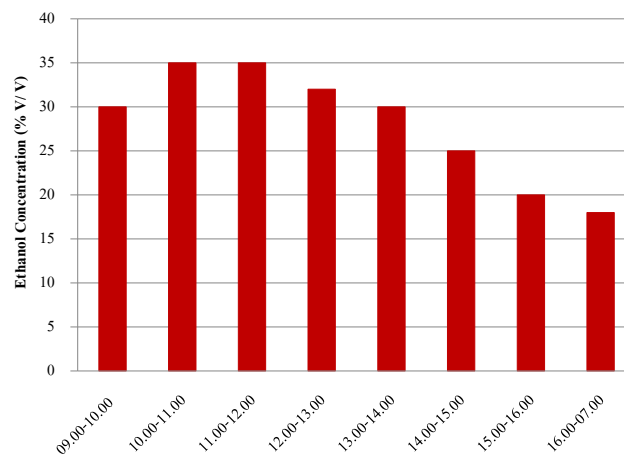
ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. สมรรถนะการกลั่นรวมทั้งวัน 1,320 มิลลิลิตร ที่อัตราความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 28 โดยปริมาตร คิดเป็นร้อยละ 13.2 ของปริมาณสารละลายเอทานอล-น้ำเริ่มต้น โดยรวมการกลั่นในช่วงเวลากลางคืนซึ่งยังมีความร้อนสะสมในระบบ และพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มีค่า 19.47 เมกะจูลต่อวัน และสารละลายเอทานอลเหลืออยู่ในกระบวนการกลั่น ที่เป็นสารละลายเอทานอลความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 7.5 โดยปริมาตร



ภาพที่ 8 ค่ำรังสีอาทิตย์เทียบกับค่าอุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพที่ 9 ปริมาณเอทานอลที่กลั่นแต่ละช่วงเวลา

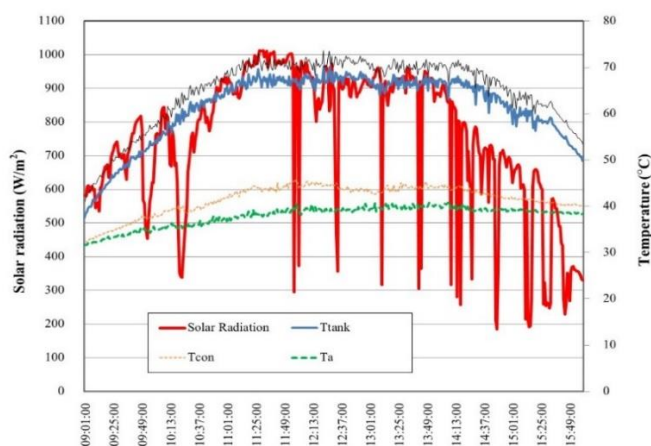


ภาพที่ 10 ปริมาณความเข้มข้นเอทานอลแต่ละช่วงเวลา

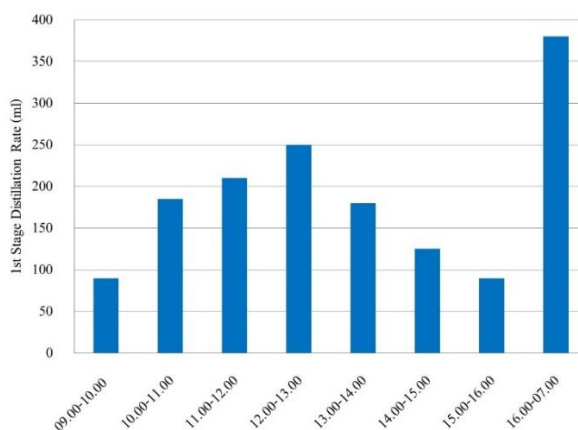
2. ผลการกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นมีฝาควบแน่นแบบกรวยหงายมีน้ำเย็นควบแน่นไหลผ่านบนฝาใช้ความร้อนจากตู้อบร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ

การทดลองกรณี ที่ 2 เป็นการทดลองกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นมีฝาควบแน่นแบบกรวยหงายมีน้ำเย็นควบแน่นไหลผ่านบนฝาดังกลั่นตลอดช่วงเวลาการทดลอง ผลการทดลองดังภาพที่ 11, 12 และ 13 พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลในถังกลั่นมีค่าสูงสุด 82 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. สมรรถนะกลั่นรวมตลอดช่วงการทดลอง 3,020 มิลลิลิตร ที่อัตราความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยปริมาตร คิดเป็นร้อยละ 30.2 ของปริมาณสารละลายเอทานอล-น้ำเริ่มต้น สมรรถนะการกลั่น

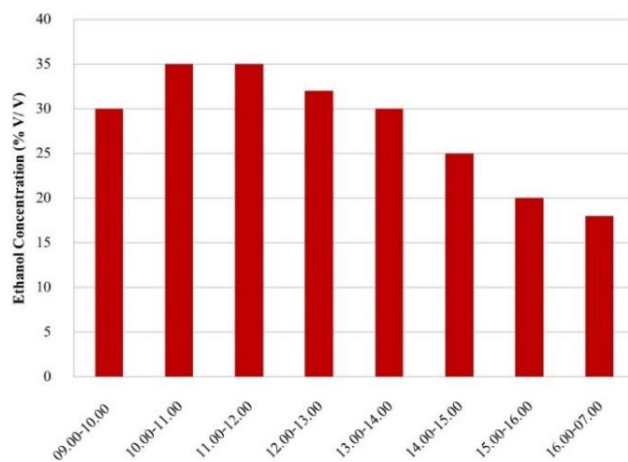
เพิ่มขึ้นจากกรณี ที่ 1 ร้อยละ 56.30 พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มีค่า 18.30 เมกะจูลต่อวัน เปรียบเทียบการทดลองกรณี ที่ 1 พบว่าการทดลองกรณี ที่ 2 สามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณสูงกว่า เนื่องจากในกรณี ที่ 1 การที่จะพาเอทานอลออกมาควบแน่นข้างนอกตู้จะต้องมีอุณหภูมิและแรงดันสูงในถังกลั่น โดยที่ในกรณี ที่ 2 ฝาควบแน่นถังกลั่นเอทานอลจะออกแบบมาเป็นแบบกรวยหงายและด้านบนฝามีน้ำหล่อเย็นหมุนเวียนตลอดเวลาทำให้ไอร้อนของเอทานอลไปสัมผัสกับฝาดังกลั่นจะเกิดการควบแน่นทันที ดังนั้นปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จึงสูงกว่ากรณี ที่ 1 และมีสารละลายเอทานอลเหลืออยู่ในกระบวนการกลั่นที่เป็นสารละลายเอทานอลความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 6.5 โดยปริมาตร



ภาพที่ 11 ค่ารังสีอาทิตย์เทียบกับค่าอุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพที่ 12 ปริมาณเอทานอลที่กลั่นแต่ละช่วงเวลา

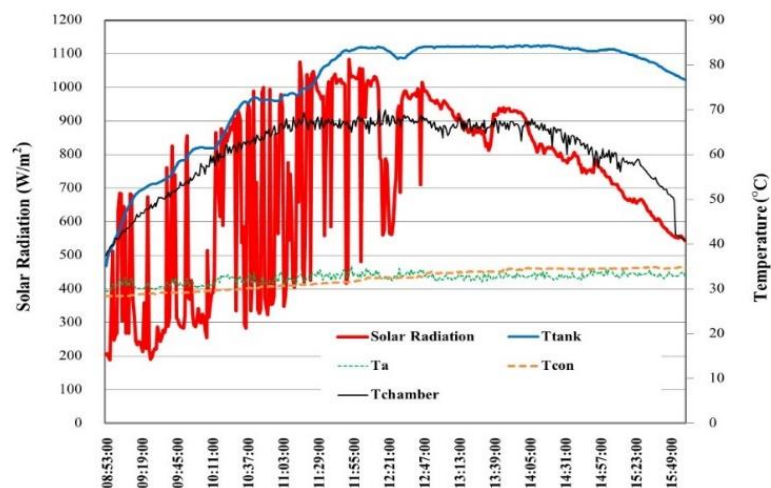


ภาพที่ 13 ปริมาณความเข้มข้นเอทานอลแต่ละช่วงเวลา

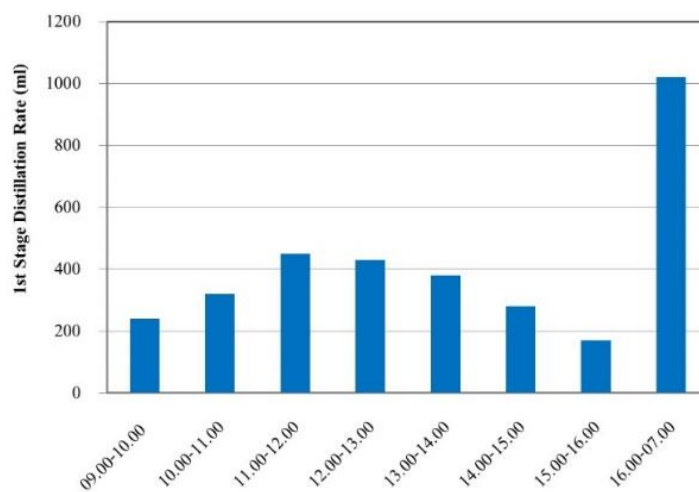
3. ผลการกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นมีฝาควบแน่นแบบกรวยหงายมีน้ำเย็นควบแน่นไหลผ่านบนฝาใช้ความร้อนจากตู้อบและคอยล์ร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและตั้งเวลาน้ำเข้าสู่ฝาควบแน่น 30 นาที/ครั้ง

การทดลองกรณีที่ 3 เป็นการทดลองกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นมีฝาควบแน่นแบบกรวยหงายมีน้ำเย็นควบแน่นไหลผ่านด้านบนบนฝาควบแน่น และตั้งเวลาน้ำเข้าสู่ฝาควบแน่น 30 นาทีต่อครั้ง โดยเว้นระยะห่างช่วงเวลาการปล่อยน้ำเข้าด้านบนบนฝาควบแน่น 10 นาที พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มีค่า 18.35 เมกะจูลต่อวัน มีผลการทดลองดังภาพที่ 14, 15 และ 16 พบว่าอุณหภูมิของสารละลายเอทานอลในถังกลั่นมีค่าสูงสุด 84 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. สมรรถนะกลั่นรวมตลอดช่วงการทดลอง 3,290 มิลลิลิตร ที่อัตราความเข้มข้น

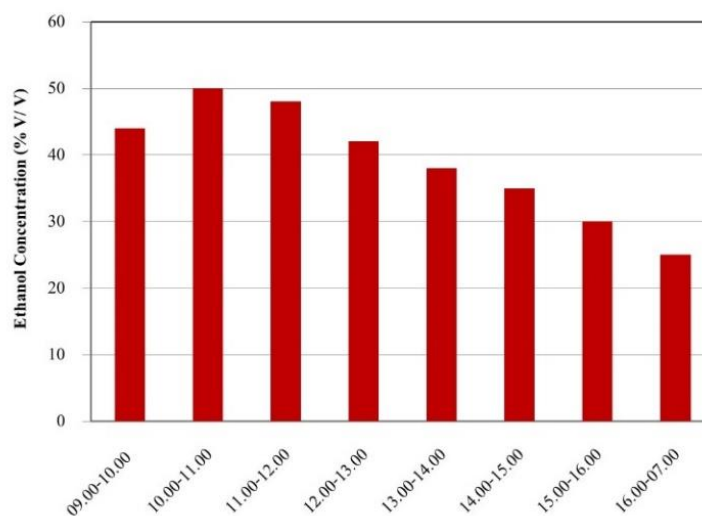
ร้อยละ 39 โดยปริมาตรคิดเป็นร้อยละ 32.9 ของปริมาณสารละลายเอทานอล-น้ำเริ่มต้น สมรรถนะการกลั่นเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 1 ร้อยละ 59.87 และสมรรถนะการกลั่นเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 2 ร้อยละ 8.20 เปรียบเทียบการทดลองกรณีที่ 2 พบว่าการทดลองกรณีที่ 3 สามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณสูงกว่าเนื่องจากในกรณี 3 มีตั้งเวลาน้ำเข้าสู่ฝาควบแน่น 30 นาทีต่อครั้ง ทำให้น้ำอุณหภูมิในถังกลั่นร้อนเร็วกว่ากรณีที่ 2 ที่มีระบบน้ำควบแน่นคล้ายคลึงกันกับกรณีที่ 3 แต่น้ำควบแน่นจะหมุนวนแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายเอทานอลในถังกลั่นตลอดช่วงเวลาการทดลองทำให้อุณหภูมิในถังกลั่นมีอุณหภูมิสูงสมรรถนะการควบแน่นจึงต่ำกว่ากรณีที่ 3 และมีสารละลายเอทานอลเหลืออยู่ในกระบวนการกลั่นที่เป็นสารละลายเอทานอลความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 6 โดยปริมาตร



ภาพที่ 14 ค่ารังสีอาทิตย์เทียบกับค่าอุณหภูมิต่าง ๆ



ภาพที่ 15 ปริมาณเอทานอลที่กลั่นแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 16 ปริมาณความเข้มข้นเอทานอลแต่ละช่วงเวลา

4. ผลสมรรถนะการกลั่นเอทานอล

จากตารางผลการหาประสิทธิภาพการกลั่นเอทานอลทั้ง 3 กรณี พบว่าการทดลองกรณีที่ 1 มีสมรรถนะการกลั่นต่ำกว่า กรณีที่ 2 และ 3 เนื่องจากกรณีมีการควบแน่นเอทานอลนอกถังกลั่นซึ่งอุณหภูมิสารละลายในถังกลั่นเอทานอลไม่เพียงพอที่จะทำให้ไอเอทานอลลอยออกไปควบแน่นนอกถังกลั่นได้ และในกรณีการทดลองที่ 3 มีอัตราการกลั่นและประสิทธิภาพมากกว่าทุกกรณีการทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Therdyothin *et al.* (2006) ที่ได้ทำการกลั่นเอทานอลจากโรงกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่ระบบกลั่น และมีระบบควบแน่นเอทานอลโดยใช้น้ำหมุนเวียนบนฝาถังกลั่นเอทานอลตลอดการการกลั่น

เริ่มตั้งแต่ 08.00-20.00 น. พบว่าความร้อนสะสมของน้ำควบแน่นบนฝาถังกลั่นมีอุณหภูมิสูงช่วง 14.00 น. เป็นต้นไป ส่งผลต่อปริมาณการกลั่นเอทานอลที่ลดลงในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจากอุณหภูมิ น้ำควบแน่นที่สูงขึ้นทำให้การควบแน่นเอทานอลมีประสิทธิภาพลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jareanjit *et al.* (2015); Siangsukone *et al.* (2008) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการกลั่นเอทานอลแบบถังกลั่นแบบมีฝาควบแน่นแบบกรวยหงายมีน้ำเย็นควบแน่นไหลผ่านบนฝาใช้ความร้อนจากคู่อบและคอยล์ร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และตั้งเวลาน้ำเข้าสู่ฝาควบแน่น 30 นาที/ครั้ง ที่มีอุณหภูมิ น้ำควบแน่นต่ำกว่าแบบหมุนเวียนบนฝาถังกลั่นตลอดเวลา และส่งผลทำให้ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้มีปริมาณมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาสมรรถนะการกลั่นเอทานอล

Case	Initial (ml)	Ethanol (ml)	Eff (%)
1	10,000	1,320	13.2
2	10,000	3,020	30.2
3	10,000	3,190	32.29

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการกลั่นเอทานอล

Case Study 1			
19.47 MJ/m ² -Batch		Initial Concentration 10%v/v Volume 10 liters	
Time Interval	Product (%v/v)	Product (cc.)	Pure Ethanol (cc.)
09.00-10.00	30	70	21
10.00-11.00	35	150	53
11.00-12.00	35	180	70
12.00-13.00	32	220	70
13.00-14.00	30	160	48
14.00-15.00	25	110	27
15.00-16.00	20	80	16
16.00-07.00	18	350	63
Total	28	1,320	370

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Case Study 2			
18.30 MJ/m ² -Batch		Initial Concentration 10%v/v Volume 10 liters	
Time Interval	Product (%v/v)	Product (cc.)	Pure Ethanol (cc.)
09.00-10.00	38	220	84
10.00-11.00	45	290	130
11.00-12.00	42	420	176
12.00-13.00	42	430	180
13.00-14.00	38	380	144
14.00-15.00	35	260	91
15.00-16.00	30	150	45
16.00-07.00	25	870	217
Total	37	3,020	1,117

Case Study 3			
18.35 MJ/m ² -Batch		Initial Concentration 10%v/v Volume 10 liters	
Time Interval	Product (%v/v)	Product (cc.)	Pure Ethanol (cc.)
09.00-10.00	44	240	106
10.00-11.00	50	320	160
11.00-12.00	48	450	216
12.00-13.00	42	430	181
13.00-14.00	38	380	144
14.00-15.00	35	280	98
15.00-16.00	30	170	51
16.00-07.00	25	1020	255
Total	39	3,290	1,283

สรุป

จากผลการทดลองออกแบบฝาครอบแน่นถังกลั่นเอทานอลพลังงานรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนทั้ง 3 กรณี สรุปผลได้ว่ากรณีที่ 1 ปริมาณการกลั่นเอทานอลน้อยกว่าทุกกรณี เนื่องจากมีการควบแน่นเอทานอลนอกถังกลั่นซึ่งอุณหภูมิสารละลายในถัง

กลั่นเอทานอลไม่เพียงพอที่จะทำให้ไอเอทานอลลอยออกไปควบแน่นนอกถังกลั่นได้ ส่วนในกรณีที่ 2 ทำการปรับเปลี่ยนฝาครอบแน่นถังกลั่นเอทานอลโดยให้น้ำหล่อเย็นหมุนวนอยู่บนฝาและให้เอทานอลควบแน่นในถังกลั่นโดยตรง ทำให้ได้เอทานอลที่กลั่นออกมาปริมาณสูงกว่ากรณีที่ 1 ในกรณีที่ 3 มี

การทดลองคล้ายกับกรณีที่ 2 แตกต่างกันที่การตั้งเวลาให้น้ำหล่อเย็นเข้าสู่ฝาครอบแน่นเป็นการตั้งเวลาเป็นช่วง ๆ คือ 30 นาที/ครั้ง สมรรถนะกลั่นรวมตลอดช่วงการทดลอง 3,290 มิลลิลิตร ที่อัตราความเข้มข้นร้อยละ 39 โดยปริมาตรคิดเป็นร้อยละ 32.9 ของปริมาณสารละลายเอทานอล-น้ำเริ่มต้น สมรรถนะการกลั่นเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 1 ร้อยละ 59.87 และสมรรถนะการกลั่นเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 2 ร้อยละ 8.20 เปรียบเทียบการทดลองกรณีที่ 2 พบว่าการทดลองกรณีที่ 3 สามารถกลั่นเอทานอลได้ปริมาณสูงกว่าเนื่องจากในกรณี 3 มีตั้งเวลาน้ำเข้าสู่ฝาครอบแน่น 30 นาที/ครั้ง ทำให้น้ำอุณหภูมิในถังกลั่นร้อนเร็วกว่ากรณีที่ 2 ที่มีระบบน้ำครอบแน่นคล้ายคลึงกันกับกรณีที่ 3 แต่น้ำครอบแน่นจะหมุนวนแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายเอทานอลในถังกลั่นตลอดช่วงเวลาการทดลองทำให้อุณหภูมิในน้ำครอบแน่นมีอุณหภูมิสูงสมรรถนะการควบแน่นจึงต่ำกว่ากรณีที่ 3

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2562 สำหรับการดำเนินงานครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ สาขาวิศวกรรมพลังงานวิทยาลัยราชนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนมที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองจนงานสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

ASHRAE, Standard 93-2003. 2003. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, pp. 2-7. In **American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers**. New York.

- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. 1991. **Solar Engineering of Thermal Processes**. John Wiley and Sons, New York.
- Hong, J., Voloch, M., Ladisch, M.R. and Tsao, G.T. 1982. Adsorption of Ethanol-Water Mixtures by Biomass Materials. **Biotechnology Bio Engineering** 24(3): 725-730.
- Jareanjit, J., Tiansuwan, J., Amornkitbamrung, M and Kiatsiriroat, T. 2004. Comparison study on ethanol distillation performance using evacuated-heat pipe and flat-plate solar collectors, pp. 5-10. In **3rd CMU Annual Conference on Heat & Mass Transfer (21-22 August 2004)**. Chiang Mai, Thailand. (in Thai)
- Jareanjit, J., Tiansuwan, J., Terdyothin, A., Tia, W., Thavarungkul, N and Siangsukone, P. 2008. Comparison Study on Ethanol Distillation Performance Using Water and Heat Transfer Oil are Working Fluids, pp. 181-185. In **7th CMU Annual Conference on Heat & Mass Transfer (13-14 March 2008)**. Chiang Mai, Thailand. (in Thai)
- Jareanjit, J., Siangsukone, P., Wongwailikit, K. and Tiansuwan, J. 2014. Development of A Mathematical Model and Simulation of MassTransfer of Solar Ethanol Distillation in Modified Brewery Tank. **Applied Thermal Engineering** 73(1): 723-731.
- Jareanjit, J., Siangsukone, P., Wongwailikit, K. and Tiansuwan, J. 2015. Management of Ethanol Waste from The Solar Distillation Process: Experimental and Theoretical Studies. **Energy Conversion and Management** 89: 330-338.

- Jorapur, R.M. and Rajvanshi, A.K. 1991. Alcohol Distillation by Solar Energy, pp. 772-777. **In Solar World Congress Proceedings.** Pergamon Press, ISES.
- Meukam, P., Njomo, D., Gbane, A. and Toure, S. 2004. Experimental Optimization of a Solar still: Application to Alcohol Distillation. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification** 43(12): 1569-1577.
- Minmin, W., Siping, D., Li, D. and Xuefen, W. 2022. PPy nanotubes-enabled in-situ heating nanofibrous composite membrane for solar-driven membrane distillation. **Separation and Purification Technology** 281: 119995.
- Perry, R.H. and Grenn, D.W. 1984. **Perry's Chemical Engineers' Handbook.** McGraw-Hill, New York.
- Rabelo, S.C., Carrere, H., Filho, R.M. and Costa, A.C. 2011. Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept. **Bioresource Technology** 102(17): 7887-7895.
- Robertson, G.H., Doyle, L.R. and Pavlath, A.E. 1983. Intensive Use of Biomass Feedstock in Ethanol Conversion: The Alcohol-Water, Vapor-Phase Separation. **Biotechnology and Bioengineering** 25(12): 3133-3148.
- Sarkar, N., Ghosh, S.K., Bannerjee, S. and Aikat, K. 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. **Renewable Energy** 37(1): 19-27.
- Siangsukone, P., Jareanjit, J., Therdyothin, A., Tia, W., Wongwailikit, K. and Tiansuwan, J. 2008. Development of Solar Ethanol Distillation System for Thai Local Community, pp. 1-7. **In Proceedings of The 8th ASEAN Science and Technology Week Scientific and Technical Conferences (3-4 July 2008).** Pasay City, Philippines.
- Therdyothin, A., Sriroth, K., Kiatsiriroat, T. and Tiansuwan, J. 2006. **Research Report on Pilot Project for Cost Reduction of Ethanol Production Using Solar Energy.** National Research Council of Thailand, Bangkok. (in Thai)
- Tiwari, G.N., Singh, H.N. and Tripathi, R. 2003. Present Status of Solar Distillation. **Solar Energy** 75(5): 367-373.
- Toe, W.K. and Ruthven, D.M. 1986. Adsorption of Water from Aqueous Ethanol Using 3-A Molecular Sieves. **Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development** 25(1) :17-21.
- Vorayos, N., Kiatsiriroat, T., Vorayos, N. and Kongboon, P. 2003. Mathematical and Experimental Studies of a Batch-Type Solar Ethanol Distiller, pp. 479-486. **In The Proceeding of the 2nd Regional Conference on Energy Technology towards a Clean Environment.** Phuket. (in Thai)