

## การแยกแอลกอฮอล์ส่วนเกินจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยเมมเบรน

### Excess alcohol removal in biodiesel production process by membrane

กมลพร ไชยนนท์<sup>1)</sup> มาลี สันติคุณาภรณ์<sup>1)</sup> และ ชานนรงค์ อัสวาทศานุกาพ<sup>2),\*</sup>

Kamonphon Chaiyanon<sup>1)</sup> Malee Santikunaporn<sup>1)</sup> and Channarong Asavatesanupap<sup>2),\*</sup>

<sup>1)</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

<sup>2)</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

#### บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจำเป็นต้องใช้แอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่สูง ทำให้มีแอลกอฮอล์ส่วนเกินเหลือจากปฏิกิริยาสูง ดังนั้นการนำแอลกอฮอล์ส่วนเกินมาใช้ใหม่สามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการเพอแวปอเรชันเพื่อแยกเมทานอลออกจากสารละลายเมทานอลในน้ำด้วยเมมเบรนสังเคราะห์ ตัวแปรถูกศึกษาได้แก่ เมมเบรนทางการค้า 3 ชนิดซึ่งได้แก่ PERVAP™ 4100 PERVAP™ 4101 และ PERVAP™ 4155-80 ปริมาณน้ำในของผสมร้อยละ 10-40 โดยปริมาตร และ อุณหภูมิของสารป้อน 40-60 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการแยกของผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ ขึ้นกับชนิดของเมมเบรน ปริมาณน้ำในของผสมและอุณหภูมิ ความสามารถในการแยกน้ำออกจากเมทานอลเรียงลำดับได้ดังนี้ เมมเบรน PERVAP™ 4101 > PERVAP™ 4100 > PERVAP™ 4155-80 โดย เมมเบรน PERVAP™ 4101 ให้ค่าการแยกสูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 1,711.63 ที่ปริมาณน้ำในของผสมที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตรและอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และให้ค่าเพอเมอเทฟลักซ์ที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ ค่าเพอเมอเทฟลักซ์และค่าการแยกเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของกระบวนการ

**คำสำคัญ:** เยื่อแผ่น เพอแวปอเรชัน ไบโอดีเซล เมทานอล

#### Abstract

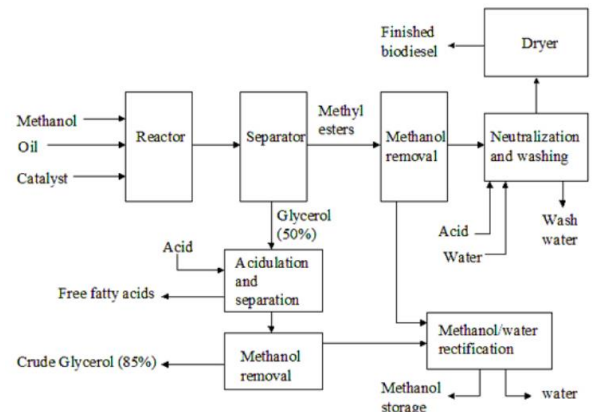
High molar ratio of alcohol to oil required for biodiesel production process results in excess alcohol. Excess alcohol recovery therefore can save extra cost in the process. This study presents pervaporation process for methanol separation from methanol/water mixtures using synthetic membrane. Three parameters were investigated; three commercial membranes, namely, PERVAP™ 4100, PERVAP™ 4101 and PERVAP™ 4155-80 feed water contents from 10-40% v/v and feed temperature from 40-60°C. The results showed that the separation factor between methanol/water mixtures depends on types of membrane feed water content and feed temperature. Separation performances of membranes in this study were ranked as follows: PERVAP™ 4101 > PERVAP™ 4100 > PERVAP™ 4155-80, respectively. Highest separation factor of 1,711.63 with relatively high permeate flux was obtained when using PERVAP™ 4101 under feed water content of 10%v/v at 60°C. In addition, permeate flux and separation factor increased with increasing feed water content and feed temperature.

**Keyword:** Membrane, Pervaporation, Biodiesel, Methanol

## 1. บทนำ

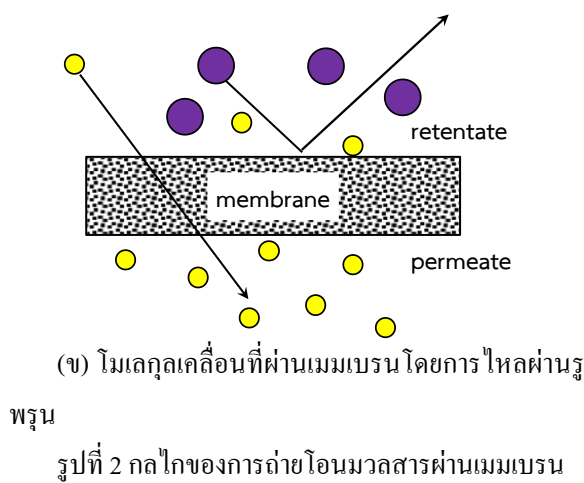
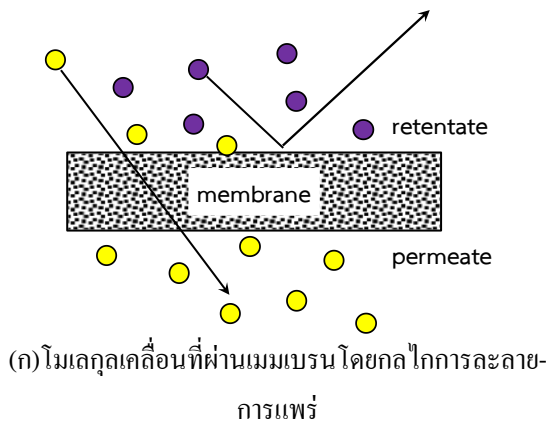
ในปัจจุบัน ทั่วโลกมีการใช้ไบโอดีเซลอย่างแพร่หลายทั้งในทวีปยุโรป อเมริกา และเอเชีย ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซลมากเป็นอันดับ 8 ของโลก ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม[1] ดังนั้นจึงมีการศึกษาพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่อง โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่นิยมใช้มากที่สุดคือกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ และได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้นแต่การเกิดปฏิกิริยาที่เกือบสมบูรณ์จำเป็นต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการอุตสาหกรรมคือ เมทานอล เนื่องจากไม่เกิดอะซีโอโทรป (azeotrope) ทำให้กระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์สามารถทำได้ง่ายกว่าเอทานอล นอกจากนี้ปริมาณน้ำในแอลกอฮอล์ยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปเกิดสบู่กรดไขมันอิสระ และไตรกลีเซอไรด์ในปริมาณสูง ซึ่งทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลลดลง รวมถึงต้นทุนในกระบวนการผลิต ดังนั้นการนำแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตจึงได้รับความสนใจอย่างมาก อีกทั้งเมทานอลเป็นสารที่มีความเป็นพิษและมีความเป็นอันตรายต่อชีวิตของมนุษย์ รวมถึงมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในระดับอุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 1 จากแผนผังจะเห็นได้ว่ามีการรวบรวมเมทานอลจากจุดต่างๆในกระบวนการผลิต และใช้วิธีการกลั่นในการกำจัดน้ำออกจากเมทานอลเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้พลังงานในการแยกสูง เนื่องจากต้องให้ความร้อนแก่เมทานอลจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และต้องกลั่นซ้ำหลายๆ เพื่อให้เมทานอลมีความบริสุทธิ์สูงที่สุด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่เทคโนโลยีการแยกโดยใช้เมมเบรน ซึ่งมีข้อได้เปรียบในเรื่องของการประหยัดพลังงาน ไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการแยก และมีต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ

กระบวนการอื่นๆ เช่น การกลั่น การระเหยน้ำ การตกผลึกด้วยการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น [2]



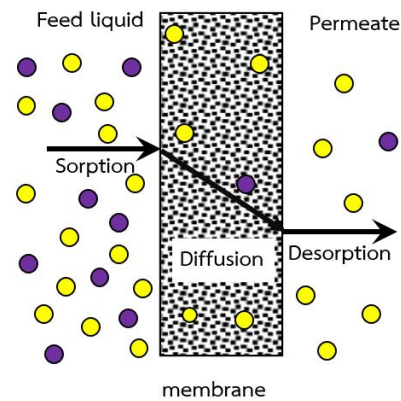
รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในระดับอุตสาหกรรม [3]

คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเมมเบรนคือความสามารถในการควบคุมอัตราการซึมผ่าน (permeation) ของสารต่างชนิดกัน กลไกของการถ่ายโอนมวลสารผ่านเมมเบรนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเพอแวนพอเรชันสามารถอธิบายได้โดยอาศัย 2 กลไก ดังนี้ (1) การละลาย-การแพร่ (solution-diffusion) สารแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายและการแพร่ผ่านเมมเบรนได้ไม่เท่ากัน สารละลายถูกแยกออกจากกันเนื่องจากความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันในวัสดุของเมมเบรน และอัตราการแพร่ผ่านที่แตกต่างกันในวัสดุของเมมเบรน ซึ่งช่วยให้สามารถแยกโมเลกุลของสารที่มีขนาดใกล้เคียงกันได้ ดังรูปที่ 2(ก) (2) การไหลผ่านรูพรุน (pore-flow) โดยที่สารที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันจะไหลผ่านรูพรุนของเมมเบรน โดยใช้ความดันเป็นแรงขับ โดยเฉพาะการแยกองค์ประกอบในของเหลว สารที่มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็กกว่ารูพรุนจะสามารถไหลผ่านรูพรุนของเมมเบรนไปได้ แต่สารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ารูพรุนจะไม่สามารถไหลผ่านเมมเบรนได้ ดังรูปที่ 2(ข)



กระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรนที่เหมาะสมกับการแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์มากที่สุดคือ กระบวนการเพอแวกพอเรชัน (pervaporation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดน้ำออกจากสารอินทรีย์ หรือกำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำออกจากสารละลาย รวมถึงการแยกสารผสมอินทรีย์ออกจากกันโดยใช้เมมเบรน โดยกลไกของการละลาย-การแพร่ในกระบวนการเพอแวกพอเรชัน สามารถอธิบายได้เป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ การละลายหรือการดูดซับของสารเข้าสู่เยื่อแผ่น (sorption) การแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่น (diffusion) และ การปล่อยออก (desorption) หรือการระเหยของสารในรูปของไอทางด้านเพอมีเอท[4] แสดงดังรูปที่ 3 ในกระบวนการนี้สารป้อนซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวสัมผัสกับด้านหนึ่งของเมมเบรน สารที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนมาสู่อีกด้านหนึ่งของเมมเบรนได้เรียกว่า เพอมีเอท (permeate) ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอเนื่องจากความดันที่แตกต่างกันของด้านสารป้อนกับด้านเพอมีเอทที่ถูกลดความดันโดยปั๊มสุญญากาศ

แล้วลดอุณหภูมิเพื่อให้ไอของเพอมีเอทกลั่นตัวเป็นของเหลว ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้ถูกเรียกว่า รีเทนเตท (retentate) กระบวนการการแยกเกิดขึ้นอาศัยโดยกลไกของการละลาย และการแพร่ เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ในสารละลายมีความสามารถในการละลายและการแพร่ผ่านเมมเบรนได้ไม่เท่ากัน กระบวนการนี้จึงเป็นการผสมผสานระหว่างกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) กับกระบวนการแยกแก๊ส (gas separation) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้ยังสามารถแยกสารละลายที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกันหรือสารละลายอะซิโโทรอปที่แยกออกจากกันได้ยากอีกด้วย [5]



รูปที่ 3 กลไกการละลาย-การแพร่ในกระบวนการเพอแวกพอเรชัน

อภิชาติ บุญทาวน [6] ได้ศึกษาการพัฒนาท่อใยกลวงเซรามิกเชิงประกอบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลด้วยระบบการแยกไอผ่านเยื่อแผ่น โดยสามารถกลั่นเอทานอลได้ความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก ของผสมอะซิโโทรอปของเอทานอลและน้ำ จะถูกแยกโดยใช้การแยกผ่านเยื่อแผ่น (VP) และการดูดซับแบบสลับความดัน (PSA) สำหรับการแยกน้ำออกจากเอทานอลโดยใช้การแยกผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบชนิดพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิเอทรีนไคโบล (PAN/PVA) สามารถผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ได้สูงถึงร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก แต่เยื่อแผ่นเชิงประกอบชนิดโซเดียมเอซิโอลลัทที่เคลือบบนชั้นรองรับที่ไม่สมมาตรให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกที่สูงกว่า

M.A. Dube , A.Y. Tremblay และ J. Liu [8] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรนแบบกึ่ง

กะด้วยคาร์บอนเมมเบรน และพบว่า ค่าคอนเวอร์ชันสูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันคาโนลาไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ จึงทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงและยังทำให้สมดุลของปฏิกิริยาขยับไปยังด้านผลิตภัณฑ์ด้วย

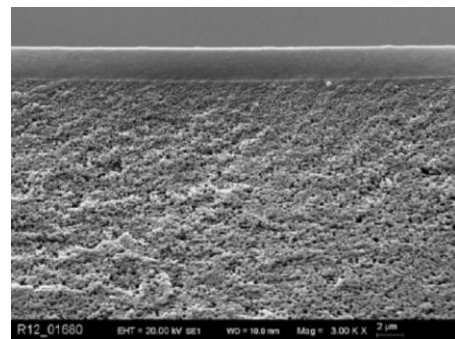
W. Kujawski [2] ได้ศึกษาการกำจัดน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์โดยกระบวนการเพอแวกพอเรชันและเวเปอร์เพอร์มิเอชัน โดยใช้เยื่อแผ่นชนิด PERVAP 1000 และพบว่าทั้งสองกระบวนการมีการดำเนินการและการควบคุมที่ง่าย มีประสิทธิภาพที่น่าเชื่อถือและมีความยืดหยุ่นสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

เพื่อลดต้นทุนในการกำจัดน้ำออกจากแอลกอฮอล์ส่วนเกินในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และสามารถนำแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วย กระบวนการเพอแวกพอเรชัน เป็นเรื่องที่น่าสนใจ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการทำให้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ โดยกระบวนการเพอแวกพอเรชันด้วยเมมเบรน เพื่อศึกษาค่าเพอเมอแฟกซ์และประสิทธิภาพในการแยกสารออกจากของผสมของเมมเบรนทั้ง 3 ชนิดรวมไปถึงสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ ปริมาณน้ำในของผสม และ อุณหภูมิของสารป้อน

## 2. วัสดุและวิธีการ

### 2.1 วัสดุ

สารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 90 80 70 และ 60 โดยปริมาตรถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นซึ่งเป็นของผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ วัดค่าความเข้มข้นของเมทานอลโดยใช้เครื่องรีแฟกโตมิเตอร์ จากบริษัท Mettler Toledo รุ่น R5-ANA2 เมมเบรนสังเคราะห์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.2 เซนติเมตร จากบริษัท Deltamem AG ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ซึ่งเป็นผู้นำทางด้านเทคโนโลยีเมมเบรน ถูกนำไปใช้มีการใช้กระบวนการเพอแวกพอเรชัน และเวเปอร์เพอมิเอชันทั่วโลก มีความเสถียร ประสิทธิภาพสูง ถูกเลือกนำมาใช้ 3 ชนิด คือ PERVAP™ 4100 PERVAP™ 4101 และ PERVAP™ 4155-80 ถูกกำหนดชื่อเรียกเป็น ชนิด AB และ C ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 โดยโครงสร้างภายในของเมมเบรน ประกอบด้วยชั้นรองรับ (selective layer) เป็นฟิล์มบางที่เคลือบอยู่บนวัสดุโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และซิลิคอนวางอยู่บนเมมเบรนที่มีรูพรุน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภาพตัดขวางเมมเบรนชนิดโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

จากบริษัท Deltamem AG [6]

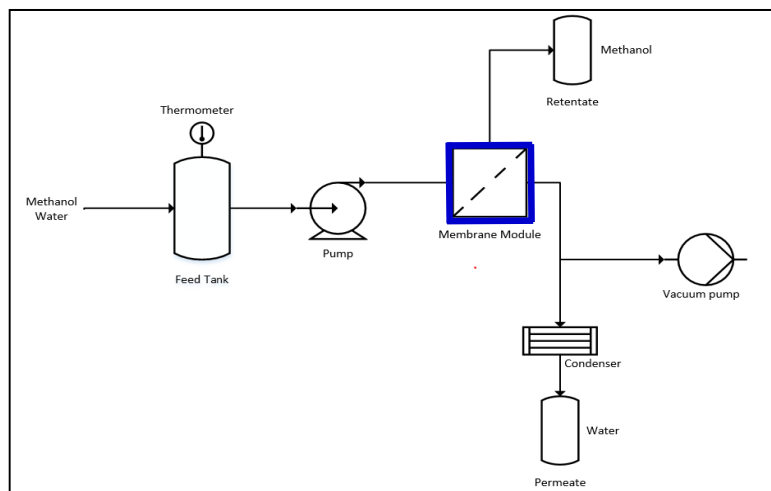
ตารางที่ 1 ชนิดและลักษณะของเมมเบรนที่นำมาใช้ในการทดลอง [9]

ชนิด	ชื่อทางการค้า	รายละเอียด	เพอเมอเท	รีเทนเทท
A	PERVAP™ 4100	เมมเบรนมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นเพื่อการกำจัดน้ำออกจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	น้ำ	สารประกอบอินทรีย์ ระเหยง่าย
B	PERVAP™ 4101	เมมเบรนที่มีการเชื่อมขวางของสารโซ่พอลิเมอร์ (cross-linked -membrane) มากกว่าเมมเบรนมาตรฐาน ใช้กำจัดน้ำออกจากสารผสมในการทำปฏิกิริยา	น้ำ	สารประกอบอินทรีย์ ระเหยง่าย
C	PERVAP™ 4155-80	เมมเบรนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการแยกโดยกำจัดเมทานอลและน้ำออกจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	น้ำและ เมทานอล	สารประกอบอินทรีย์ ระเหยง่าย

## 2.2 กระบวนการเพอแวนพอเรชั่นในการแยกของผสม

สารตั้งต้นที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ สารละลายเมทานอล ความเข้มข้นต่างกัน 4 ค่าซึ่งคือ ที่ร้อยละ 90 80 70 และ 60 โดยน้ำหนัก เริ่มจากการนำสารตั้งต้นซึ่งเป็นของผสมระหว่างน้ำกับเมทานอลบรรจุลงในถังป้อน มีเครื่องให้ความร้อนและเทอร์โมมิเตอร์เพื่อควบคุมและวัดอุณหภูมิ บีมจะทำกรป้อนสารตั้งต้นเข้าสู่โมดูลเมมเบรนซึ่งถูกควบคุมอุณหภูมิ หลังจากนั้นสารถูกแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ เพอมีเอทที่สารสามารถผ่านเมมเบรนไปได้และเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยมีบีมสูญญากาศควบคุมความดันทางด้านเพอมีเอทอยู่ที่ 336

มิลลิบาร์ และถูกควบแน่นเป็นของเหลวด้วยน้ำแข็งแห้งอุณหภูมิ -79 องศาเซลเซียสเป็นตัวทำความเย็น โดยแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านผนังของขวดลดความดัน (suction flask) เพอมีเอทถูกเก็บสะสมอยู่ในสถานะปิดเป็นเวลา 60 นาที ส่วนที่สองคือ รีเทนเตทที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้ถูกแยกไปยังถังเก็บสถานะ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำเพอมีเอทไปยังน้ำหนักเพื่อบันทึกผล และเก็บตัวอย่างเพอมีเอทและรีเทนเตทไปวัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ ทั้งนี้อุณหภูมิของสารป้อนจะถูกควบคุมที่ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการเพอแวนพอเรชั่นของการแยกของผสมเมทานอลกับน้ำ

## 2.3 การวิเคราะห์ผลในกระบวนการเพอแวนพอเรชั่น

### 2.3.1 เพอมีเอทฟลักซ์ (permeate flux)

เพอมีเอทฟลักซ์ (Permeate flux) คือ ปริมาณสารที่สามารถผ่านเมมเบรนต่อเวลาต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) [7]

$$J_i = \frac{W_i}{A \cdot t} \quad (1)$$

เมื่อ  $J_i$  คือ เพอมีเอทฟลักซ์ของสารชนิด  $i$ ; กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

$W_i$  คือ น้ำหนักของเพอมีเอทในช่วงเวลา  $t$ ; กรัม

$A$  คือ พื้นที่ผิวของเมมเบรนที่ใช้; ตารางเมตร

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง; ชั่วโมง

### 2.3.2 ค่าการแยก (separation factor)

ค่าการแยก คือ ประสิทธิภาพในการแยกสาร นิยามในรูปของอัตราส่วนสมมูลดังสมการที่ (2) [7]

$$\alpha_{ij} = \frac{(y_i/y_j)_{\text{permeate}}}{(x_i/x_j)_{\text{feed}}} \quad (2)$$

เมื่อ  $\alpha_{ij}$  คือ ค่าการแยกของผสมสำหรับสาร  $i$  และ  $j$

$x_i$  และ  $x_j$  คือ เศษส่วนเชิงมวลของสาร  $i$  และ  $j$  ในสารป้อน

$y_i$  และ  $y_j$  คือ เศษส่วนเชิงมวลของสาร  $i$  และ  $j$  ใน  
 เพอมิเอท

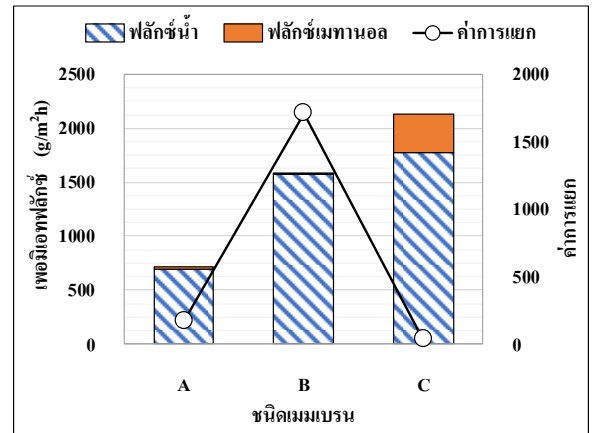
## 2 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 3.1 ผลของเมมเบรนที่มีต่อกระบวนการเพอเวปเพอเรชัน

จากรูปที่ 6 พบว่าเมมเบรนชนิด C มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวม เพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำ และเพอมิเอทฟลักซ์ของเมทานอล สูงสุดที่ 2134.13 1774.96 และ 359.17 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่เมมเบรนชนิด B มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวมและเพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำ รองลงมาที่ 1578.22 และ 1571.91 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง แต่เมมเบรนชนิดนี้มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์ของเมทานอลต่ำสุดที่ 6.31 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ส่วนเมมเบรนชนิด A มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวม เพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำต่ำสุดที่ 720.80 และ 692.33 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ส่วนค่าเพอมิเอทฟลักซ์ของเมทานอล 28.47 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลทางด้านเทคนิคของเมมเบรนแต่ละชนิดที่ได้จากทางผู้ผลิต เมมเบรนชนิด A และ B เป็นพอลิเมอร์เมมเบรนที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ ประกอบไปด้วยวัสดุพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อยู่ในชั้นของการแยก เมมเบรนชนิด B มีความสามารถในการแยกได้ดีกว่าชนิด A เนื่องจากมีการเชื่อมขวาง (cross-linked-membrane) ภายในโครงสร้างของเมมเบรนที่สูงกว่า จึงทำให้เมทานอลนั้นสามารถผ่านเมมเบรนมาได้น้อยกว่าชนิด A ในส่วนของเมมเบรนชนิด C เป็นเมมเบรนชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการกำจัดเมทานอลและหรือน้ำจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยสังเกตได้จากค่าเพอมิเอทฟลักซ์ของเมทานอลที่สามารถผ่านเมมเบรนออกมาได้มากกว่าเมมเบรนชนิดอื่นๆ

ในส่วนของค่าการแยก จากการทดลอง เมมเบรนชนิด B มีค่าการแยกสูงที่สุดคือที่ 1711.63 เนื่องจากเมมเบรนชนิดนี้มีพันธะการเชื่อมขวางของสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เคลือบบนชั้นรองรับที่มีรูพรุนแบบไม่สมมาตร มากกว่าเมมเบรนชนิดอื่น[10] ทำให้เมทานอลส่วนใหญ่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำและเมทานอลออก

จากกันได้อย่างชัดเจน ในขณะที่เมมเบรนชนิด A ค่าการแยกรองลงมาอยู่ที่ 168.67 และเมมเบรนชนิด C มีค่าการแยกต่ำสุดอยู่ที่ 33.33



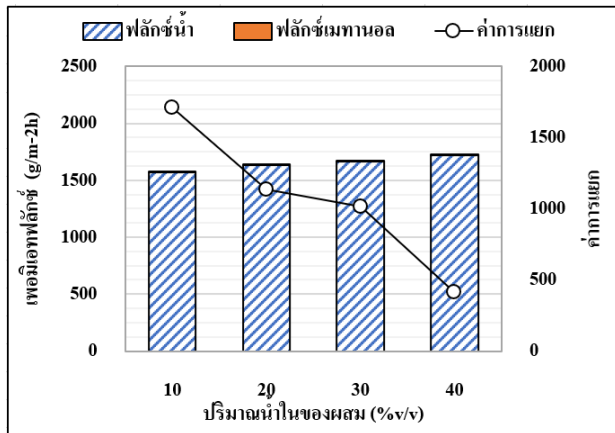
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเพอมิเอทฟลักซ์และค่าการแยกที่ได้จากเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด

### 3.2 ผลของปริมาณน้ำในของผสมที่มีต่อกระบวนการเพอเวปเพอเรชัน

จากผลการทดลอง 3.1 จึงเลือกใช้เมมเบรนชนิด B มาทำการศึกษาต่อ และควบคุมอุณหภูมิของสารป้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ค่าเพอมิเอทฟลักซ์ที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณน้ำในของผสมลดลง ปริมาณน้ำในของผสมที่ร้อยละ 40 โดยปริมาตร มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวม เพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำ และเพอมิเอทฟลักซ์ของเมทานอลสูงสุดอยู่ที่ 1724.27 1717.37 และ 6.90 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่ปริมาณน้ำในของผสมต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีค่าเพอมิเอทฟลักซ์รวม เพอมิเอทฟลักซ์ของน้ำ และเพอมิเอทฟลักซ์ของเมทานอลต่ำสุดอยู่ที่ 1578.22 1571.91 และ 6.31 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งคาดว่า เมื่อสารป้อนมีปริมาณน้ำในของผสมเพิ่มมากขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับ การบวมตัวของเมมเบรนซึ่งเป็นการลดพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านเมมเบรน โดยกลไกการแพร่เนื่องจากสายโซ่ของพอลิเมอร์นั้นมีความยืดหยุ่นมากขึ้น [11]

ในส่วนของค่าการแยก มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำในของผสมเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำในของผสมร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีค่าการแยกอยู่ที่ 1711.63 ซึ่งเป็น

ค่าที่สูงสุดและที่ปริมาณน้ำในของผสมที่ร้อยละ 40 โดยปริมาตร มีค่าการแยกต่ำสุดคือ ที่ 412 ปริมาณน้ำในของผสมที่สูงกว่าทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้เมมเบรนสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น จึงเมมเบรนมีความเพิ่มมากขึ้นจากคุณสมบัติความชอบน้ำ และเป็นการเพิ่มปริมาตรอิสระทำให้มีผลต่อการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรน[12]



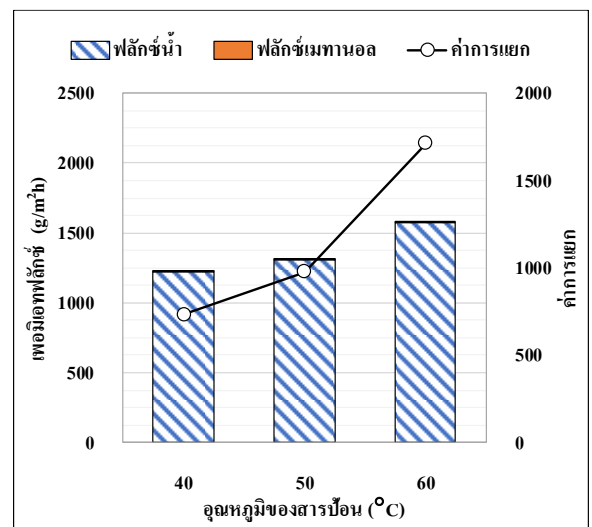
รูปที่ 7 ปริมาณน้ำในของผสมที่มีต่อค่าเพอมีเอทฟลักซ์และค่าการแยก

### 3.3 ผลของอุณหภูมิของของผสมในสารป้อนที่มีต่อกระบวนการเพอแวปเพอเรชัน

เมมเบรนชนิด B ถูกเลือกใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิของสารป้อนที่ส่งผลต่อค่าการแยกดังแสดงในรูปที่ 8 ค่าเพอมีเอทฟลักซ์ที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน ที่อุณหภูมิสารป้อน 40 องศาเซลเซียส ค่าเพอมีเอทฟลักซ์รวมและเพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำมีค่าต่ำที่สุดซึ่งคือ 1229.60 และ 1218.53 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนเป็น 60 องศาเซลเซียส ค่าเพอมีเอทฟลักซ์รวม และเพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำมีค่าสูงที่สุดซึ่งคือ 1578.22 และ 1571.91 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ แต่สำหรับค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของเมทานอลกลับมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของสารป้อนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 11.07 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และมีค่าต่ำสุดที่ 6.32 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถอธิบายได้จากทฤษฎีปริมาตรอิสระ ( free-volume theory) กล่าวคือ

การเคลื่อนที่เชิงความร้อนของสายโซ่พอลิเมอร์ในส่วนอสัณฐาน โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความถี่และแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์สูงขึ้น จึงเป็นผลทำให้ปริมาตรอิสระใหญ่ขึ้น ทำให้อัตราการแพร่ของโมเลกุลที่สามารถผ่านเมมเบรนได้มีค่าสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงจึงทำให้เพอมีเอทฟลักซ์สูงขึ้นตามไปด้วย [11]

สำหรับค่าการแยก จากผลการศึกษาพบว่า ค่าการแยกสูงที่สุด 1711.63 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 50 และ 40 องศาเซลเซียส ค่าการแยกมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งคือ 975.13 และ 731.72



รูปที่ 8 ผลของอุณหภูมิของสารป้อนที่ส่งผลต่อค่าเพอมีเอทฟลักซ์และค่าการแยก

### 4. สรุปผลการทดลอง

การแยกแอลกอฮอล์ส่วนเกินออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการเพอแวปเพอเรชันสามารถแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ส่วนเกินได้ขึ้นกับชนิดของเมมเบรนที่ใช้ โดยกระบวนการอาจแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์หรือแยกแอลกอฮอล์ออกจากรวมก็ได้ จากการศึกษาพบว่า เมมเบรน PERVAP™ 4101 และ PERVAP™ 4100 นั้นเลือกเฉพาะน้ำที่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้เท่านั้น ในขณะที่ PERVAP™ 4155-80 ทั้งแอลกอฮอล์และน้ำสามารถผ่านเมมเบรนได้ เมมเบรน PERVAP™ 4100 มีค่าเพอมีเอทฟลักซ์รวมและค่าการแยกน้ำกับแอลกอฮอล์สูงที่สุด นอกจากนี้ ทั้งปริมาณน้ำในของผสมและอุณหภูมิของสารละลายป้อนมีผลต่อความสามารถในการแยกของ

กระบวนการ ค่าการแยกและเพอมีเอทฟลักซ์รวมมีค่าสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการเพิ่มขึ้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา ปี 2561 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

## 6. รายการอ้างอิง

- [1] นรินทร์ ต้นไพบูลย์, อุตสาหกรรมไบโอดีเซล, แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2560-62 [อินเทอร์เน็ต]. 2560. เข้าถึงได้จาก [https://www.krungsri.com/bank/getmedia/9f400e98-f5be-4db9-b120-338e20d86ec4/IO\\_Biodiesel\\_201705\\_TH.aspx](https://www.krungsri.com/bank/getmedia/9f400e98-f5be-4db9-b120-338e20d86ec4/IO_Biodiesel_201705_TH.aspx).
- [2] W.Kujawski, Application of Pervaporation and Vapor Permeation in Environmental Protection, Polish Journal of Environmental Studies . 2000;1: 13-26.
- [3] Commercial and large scale biodiesel production system [อินเทอร์เน็ต]. เข้าถึงได้จาก <https://www.biodieselproject.com/biodiesel-news/commercial-and-large-scale-biodiesel-production-systems.html>.
- [4] รัตนา จิระรัตนานนท์, กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. 2541; 223.
- [5] Richard W. Baker, Membrane technology and application . (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd., Chichester. 2004; 365-366.
- [6] Wilfredo Yave, The improved pervaporation PERVAP membranes. Elsevier Res J. 2017;54: 14-15.
- [7] อภิชาติ บุญทาวัน, การพัฒนาท่อใยกลวงเซรามิกเชิงประกอบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลด้วยระบบการแยกไอผ่านเยื่อแผ่น. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2555.
- [8] M.A. Dube, A.Y. Tremblay, J. Liu. Biodiesel production using a membrane reactor. Elsevier Res J. 2007;98: 639–647.
- [9] Membrane data sheet PERVAP™ polymeric membranes , DeltaMem AG, Allschwil, Switzerland . 2016 Nov 8.
- [10] Wilfredo Yave, The improved pervaporation PERVAP membranes. Elsevier Res J. 2017;54 :14-15.une 2017, Pages 14-15.
- [11] Nwe Nwe Win, P. Bösch, A. Friedl. Separation of ethanol-water mixture by pervaporation with organic composite membrane: modelling of separation performance using model parameters derived from experimental data. AEJ Res J., 2012 ;2: 28.
- [12] Eniko Haaz, Andras Jozsef Toth, Methanol dehydration with pervaporation; experiments and modelling. Elsevier Res J. 2018; 121-129.