

## ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล**

## การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography method)

### หลักการวิเคราะห์

แก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยคอลัมน์ที่สามารถดูดซับเอทานอลหรือแอลกอฮอล์อื่น ๆ ได้ภายใต้อุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สนำพา (ไนโตรเจน) ที่เหมาะสม กล้องควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ตั้งไว้ที่ 150 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สนำพาดังไว้ที่ 30 มิลลิลิตรต่อนาที

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 1 ไมโครลิตร ถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ด้วยไมโครไซริง (microsyringe) อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างจะระเหยกลายเป็นไอทันที และถูกพาเข้าสู่คอลัมน์ ซึ่งในคอลัมน์นี้เอทานอลจะถูกแยกออกจากองค์ประกอบอื่น ๆ เมื่อไอระเหยออกจากคอลัมน์ก็จะเข้าสู่เครื่องตรวจจับ จากนั้นเครื่องตรวจจับจะส่งสัญญาณไปที่เครื่องบันทึกข้อมูล ซึ่งจะแสดงข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นพีค (peak) โดยพื้นที่ใต้พีคนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอทานอลในสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไป

เนื่องจากการฉีดสารตัวอย่างในปริมาตรน้อย ๆ ให้มีความถูกต้องและแม่นยำกระทำได้ยาก และพื้นที่ใต้พีคจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรที่ฉีดเข้าไปด้วย ดังนั้นจึงมีการผสมสารมาตรฐาน (internal standard) ลงไปในตัวอย่างด้วย โดยสารมาตรฐานที่เติมลงไปมีความเข้มข้นคงที่และเท่ากันทุกตัวอย่าง ดังนั้นการหาความเข้มข้นของเอทานอลจะใช้อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคของเอทานอล และสารละลายมาตรฐาน

### วิธีการ

1. นำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงแยกเซลล์ออกที่ความเร็ว 10,000 rpm เก็บส่วนใส (supernatant) ไว้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอล
2. นำส่วนใสของตัวอย่างที่ได้มา ผสมกับสารมาตรฐาน n-propanol ในอัตราส่วน 1:1
3. ผสมสารให้เข้ากันได้ดีและฉีดสารตัวอย่างที่เตรียมและผสมกันดีแล้วจำนวน 1 ไมโครลิตร เข้าไปในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
4. หลังจากฉีดตัวอย่างเข้าไปแล้วประมาณ 15 นาทีเครื่องอินทิเกรเตอร์ (integrator) ก็ จะแสดงพีคของเอทานอลออกมาก่อนตามด้วยพีคของ n-propanol โดยเวลาชะ (retention time)

ของเอทานอลและ n-propanol มีค่า 5.54 และ 10.72 นาที ตามลำดับ เครื่องอินทิเกรเตอร์จะทำการคำนวณพื้นที่ใต้พีคออกมาให้โดยอัตโนมัติ จากนั้นคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ใต้ยอดเอทานอลต่อ n-propanol แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของเอทานอล (กรัมต่อลิตร)

5. ในแต่ละตัวอย่างทำซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นเอทานอล
6. ก่อนจะฉีดตัวอย่างต่อไปควรรอประมาณ 15 นาที หลังจากทีพีคที่สองออกมาแล้ว เพื่อเป็นการไล่สารที่อาจตกค้างอยู่ในคอลัมน์ออกให้หมด

การคำนวณปริมาณแอลกอฮอล์จากร้อยละโดยปริมาตร (% v/v) เป็นร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (g/l)

สมมติปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้จากวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ได้ x% (โดยปริมาตร)

นั่นคือสารตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร มีปริมาณแอลกอฮอล์ = x มิลลิลิตร

ถ้าสารตัวอย่าง 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณแอลกอฮอล์ =  $\frac{x \times 1000}{100}$   
 = x × 10 มิลลิลิตรต่อลิตร

จากความหนาแน่นของเอทานอล = 0.79 กรัมต่อมิลลิลิตร

เพราะฉะนั้นปริมาณแอลกอฮอล์ = x × 10 × 0.79 กรัมต่อลิตร

**ภาคผนวก ข**

**การคำนวณค่าฟลักซ์ ค่า Separation factor ( $\alpha$ ) และค่า PSI**

## การคำนวณหาค่าฟลักซ์, Separation factor( $\alpha$ ) และค่า PSI

### 1. การคำนวณหาค่าฟลักซ์ (Flux: J)

$$\text{Flux (g m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = \frac{\text{weight of permeate (kg)}}{\text{Membrane area (m}^2\text{)} \times \text{pervaporation time (h)}} \quad \text{หรือ} \quad J = \frac{W}{A \times t}$$

เมื่อ J	คือมวลของสารที่เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนมีหน่วยเป็นกรัมต่อพื้นที่เมมเบรนเป็นตารางเมตรต่อเวลาเป็นชั่วโมง
W	มวลของสารที่เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน มีหน่วยเป็นกรัม
A	พื้นที่เมมเบรนมีหน่วยเป็นตารางเมตร
t	เป็นเวลาที่เกิดกระบวนการเพอร์เวปอเรชันมีหน่วยเป็นนาที

ในการทดลองนี้การคิดฟลักซ์คิดเป็น 3 อย่างคือ ฟลักซ์รวม (ของผสมน้ำและเอทานอล) ฟลักซ์น้ำและฟลักซ์เอทานอล โดยการคิดจะคิดจากค่า W ซึ่ง ค่า W คือค่าระหว่างผลต่างของน้ำหนักของของผสมทั้งก่อนและหลังการทดลอง, ค่าระหว่างผลต่างของปริมาณน้ำในของผสมทั้งก่อนและหลังการทดลองและค่าระหว่างผลต่างของปริมาณเอทานอลในของผสมทั้งก่อนและหลังการทดลอง เมื่อได้ค่า W แล้วแทนในสูตร ก็จะได้ค่าฟลักซ์รวม ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลตามลำดับ โดยค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลมีการคำนวณคล้ายกับฟลักซ์รวม โดยต้องทราบความเข้มข้นของเอทานอลแล้วจึงนำมวลบอออกจากน้ำหนักของผสมรวมก็จะได้น้ำหนักของน้ำและเอทานอล ดังการคำนวณ

ปริมาณเอทานอลที่วัดได้จาก GC	= A	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณเอทานอลในของผสม 100 มิลลิลิตร	= A	มิลลิลิตร
ค่าความหนาแน่นของเอทานอลมีค่า	= 0.79	กรัมต่อลิตร
ดังนั้นคิดเป็นปริมาณเอทานอล	= $\frac{A \times 0.79}{100}$	กรัมต่อลิตร
น้ำหนักของของผสมหนัก	= X	กรัม
ของผสม X กรัม จะมีปริมาณเอทานอล	= $\frac{X \times A \times 0.79}{100}$	กรัมต่อลิตร
ดังนั้นปริมาณของน้ำในของผสม (B) จะหาได้จากสมการ	$B = X - \left( \frac{X \times A \times 0.79}{100} \right)$	

เมื่อได้น้ำหนักของผสม, น้ำหนักน้ำในของผสมและน้ำหนักเอทานอลในของผสมแล้วก็แทนค่าในสูตรการคำนวณหาค่าฟลักซ์ตามที่กล่าวมาข้างต้น ก็จะได้ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอล

## 2. การคำนวณหาค่าแฟคเตอร์การแยกสาร (Separation factor: $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{Y_w / Y_E}{X_w / X_E}$$

เมื่อ  $Y_w / Y_E$  คือ อัตราส่วนของน้ำต่อเอทานอลในด้านเพอร์มิเอต  
 $X_w / X_E$  คือ อัตราส่วนของน้ำต่อเอทานอลในด้านสารป้อน

การทดลองนี้หาความเข้มข้นของเอทานอลด้านเพอร์มิเอตดังนี้

ค่าแฟคเตอร์การแยกสาร (Separation factor:  $\alpha$ ) คำนวณจากความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC แล้วนำมาคำนวณดังนี้

ผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเอทานอลด้วยเครื่อง GC พบว่า

ของผสมก่อนการทดลองมีความเข้มข้นของเอทานอล C เปอร์เซ็นต์

และของผสมหลังการทดลองมีความเข้มข้นของเอทานอล D เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นในด้านสารป้อน ค่า  $X_E$  = C

$$X_w = 100 - C$$

ในด้านเพอร์มิเอตค่า  $Y_E$  = ผลต่างระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลทั้งก่อนและหลังการทดลอง

หรือ ค่า  $Y_E$  = C-D

ดังนั้น  $Y_w$  = 100 - (C-D)

นำค่า  $X_E$ ,  $X_w$ ,  $Y_E$  และ  $Y_w$  ที่ได้มาแทนในสูตรการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแยกสารที่กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากในการทดลองนี้มีข้อจำกัดของระบบ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าของ  $Y_E$  ได้โดยตรงจึงต้องคำนวณหาจากค่าความต่างของความเข้มข้นของเอทานอลก่อนและหลังการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทำงานของระบบพบว่าความเข้มข้นของเอทานอลลดลง ดังนั้นค่า  $\alpha$  ในสูตรของการทดลองนี้ควรจะมีค่าสูง



3. การคำนวณหาดัชนีการแยกสารของเมมเบรน (Pervaporation separation index : PSI) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเมมเบรนในการแยกสารออกจากกันมีสูตรคำนวณดังนี้

$$PSI = \text{Flux (Separation factor - 1)}$$

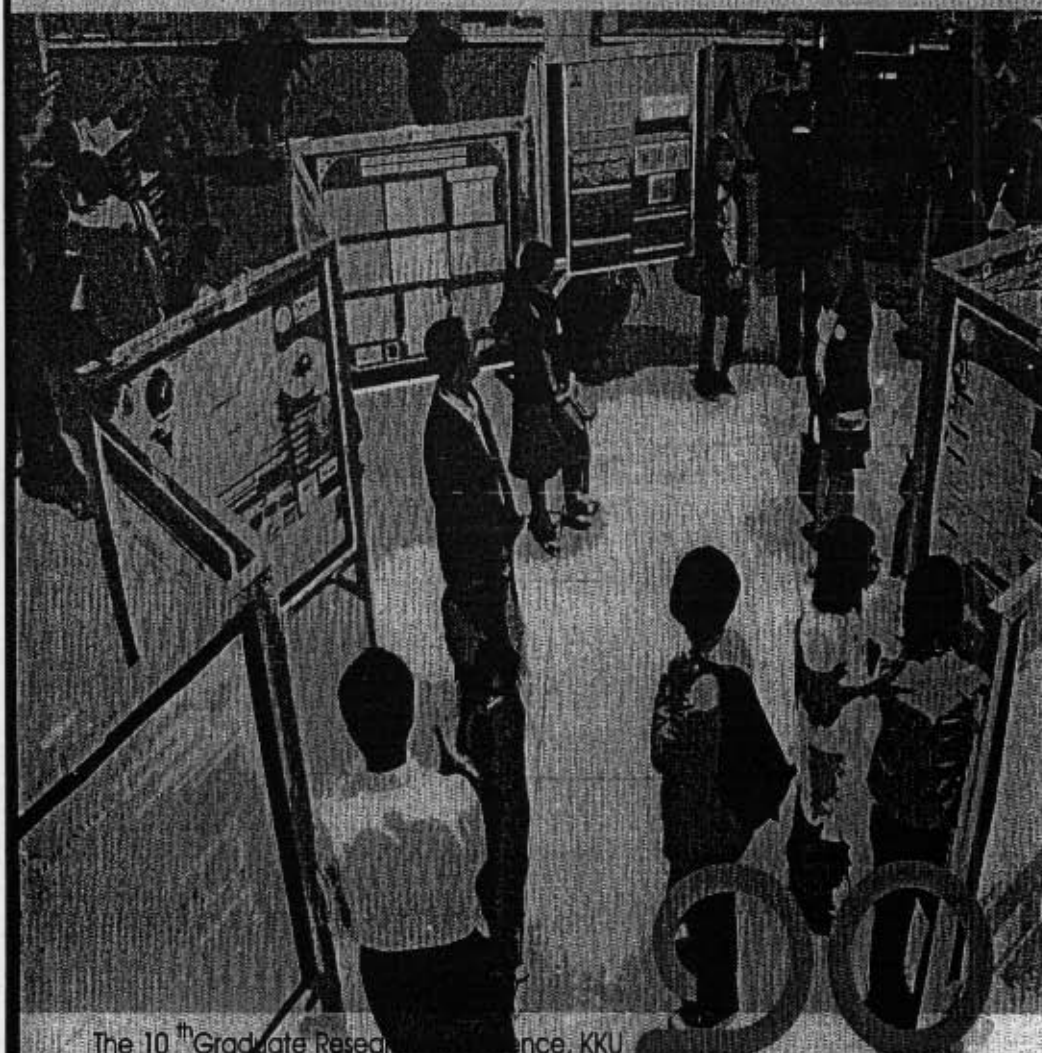
โดยที่ถ้าค่า Separation factor มีค่าเป็นหนึ่ง แสดงว่าไม่มีการแยกเกิดขึ้น ค่า PSI มีค่าเป็นศูนย์ได้สองกรณีคือ ค่าฟลักซ์มีค่าเป็นศูนย์หรือค่า Separation factor มีค่าเป็นหนึ่ง

เนื่องจากข้อจำกัดของระบบที่สร้างขึ้น ทำให้ไม่สามารถวัดค่า  $Y_E$  ในด้านเพอร์มิเอต จึงต้องหาค่า  $Y_E$  จากค่าความต่างของความเข้มข้นเอทานอล (ก่อนทดลองและหลังทดลอง) ที่อยู่ด้านสารป้อนแทน โดยที่ถ้าค่าแฟคเตอร์การแยกสาร (Separation factor:  $\alpha$ ) มีค่ามากกว่าหนึ่ง นั่นคือระบบมีการแยกเอทานอล หรือเอทานอลเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากกว่าน้ำจึงส่งผลให้ค่า  $Y_w$  มากกว่าค่า  $Y_E$  และค่า  $\alpha$  จึงมากกว่าหนึ่ง ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของเอทานอลทางด้านเพอร์มิเอต นั่นคือต้องการให้เอทานอลเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากกว่าน้ำ จึงได้สนใจสภาวะที่ทำให้ค่า  $\alpha$  มีค่ามากกว่าหนึ่งมาก ๆ

**ภาคผนวก ค**  
**ผลงานวิจัยที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ**

The 10<sup>th</sup>  
Graduate Research Conference  
Khon Kaen University 2008

**การประชุมทางวิชาการ  
เสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 10  
วันศุกร์ที่ 18 มกราคม 2551**



The 10<sup>th</sup> Graduate Research Conference, KKU

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น**  
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

๑-3 การประชุมวิชาการ เสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 10

รหัส	ชื่อ-สกุล	ชานัน	สาขาวิชา	ชื่อเรื่องภาษาไทย	ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	อาจารย์ที่ปรึกษา	เวลานำเสนอ
BMP6	ไอนิ่ง บุชอ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ชีวเคมี	การโคลนและศึกษาสมบัติของยีน Protease Inhibitor จากน้ำยางพารา ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	Cloning and Characterization of Protease Inhibitor from Latex of rubber Tree ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	ดร.วิไลวรรณ ใจดีเกียรติ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา	11.00-12.00
BMP7	กุหลาบ สุดะภักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	พืชไร่	พันธุกรรมและการถ่ายทอดลักษณะ ความต้านทานต่อศัตรูพืชในถั่วลิสง	Inheritance of thrips ( <i>Thysanoptera: Thripidae</i> ) resistance in peanut	ดร.จิรวัฒน์ สัตยชน	11.00-12.00
BMP8	จตุพร หงส์ทองคำ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ชีววิทยา	การชักนำให้เกิดโพลีพลอยดีของ ถั่วลิสงไม่มีสีสังคาปรีโดยใช้โคล รีดิวส์ร่วมกับสารเพนเลียงเนื้อต่อ	Polyloid induction of <i>Dendrobium</i> Miss Singapore by colchicine treatment through tissue culture	ดร.สุมนทิพย์ บุญนาค	11.00-12.00
BMP9	นันทิญา มณีใจดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เทคโนโลยีชีวภาพ	การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อสังเคราะห์ไบโโนกลีเซอไรด์ใน ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งกะ	Utilization of by-product from biodiesel production for monoglyceride synthesis in semi-batch reactor	ดร.ทินกร คำแสน ผศ.สามารถ มูลอามาตย์ ผศ.ผกาดี แก้วกันนตร	11.00-12.00
BMP10	นิรพร พุดินทร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เทคโนโลยีชีวภาพ	การออกแบบถังปฏิกรณ์ของ กระบวนการเพอร์แวกเปอรซ์ชั่น เพื่อใช้แยกทานอล	Reactor design of pervaporation process for ethanol separation	ดร.ทินกร คำแสน ผศ.สามารถ มูลอามาตย์ ผศ.ผกาดี แก้วกันนตร	11.00-12.00
BMP11	สุนิสา ภูคิกข ไชวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	เทคโนโลยีชีวเคมี	คำนวณค่าคงที่ของอัตราในคอลัมน์ที่มี เฟอร์เร็นต์เฟสไฮโดรโฟบิกต่างจาก	Retention Time of Lipids in Columns with Different Percentages of Cyanopropyl	ดร.กมลิต ฤกษ์พันธุ์ กณิศา กิตติรัตนไพฑูรย์	11.00-12.00

## 104 การประชุมวิชาการ เสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 10

## Reactor design of pervaporation process for ethanol separation

## การออกแบบถังปฏิกรณ์ของกระบวนการเพอร์เวปเปอร์เรชั่นเพื่อแยกเอทานอล

Nirachorn Chutinate (นิรัช ชุตินทร)\* Tinnakorn Kamsaen (ทินกร คัมแสน) \*\*

Samart Moon-amart (สามารถ มูณอมารต์) \*\*\* Pakawadee Kaewkannetra (ผกาวดี แก้วกันเนตร)\*\*\*

## ABSTRACT

Pervaporation (PV) is a process used for separation liquid mixtures by the difference of pressure between membrane upper (feed in) and the opposite of membrane (permeate) in vacuum condition. The permeate will be separated from membrane in vapour phase and condensed to liquid phase. Therefore, this research work aims to study and design a reactor for the pervaporation process to separate renewable ethanol from fermentation broth. A small scale of reactor with working volume 500 ml was designed and consisted of cold trap, membrane cell, feed box, vacuum gauge, valve and vacuum pump. While the commercial membrane used was characterized in physical property using scanning electron microscope (SEM) technique and the membrane was assembly into membrane cell. Then, sample, a mixture of 12% (v/v) ethanol-water, was prepared and fed into a small reactor for considering separation efficiency of the system. The results reveal that the membrane showed in cellulosic network structure and an effective membrane area was 10.18 cm<sup>2</sup>. Although, the mixture still showed in liquid phase, the assumption to explain this behaviour would be the unsuitable membrane used. Therefore, step of membrane coating to get more dense membrane will be carried on and also separation in mixture of ethanol-water and fermentation broth experiments in both small scale of the reactor and large scale in a plate and frame filter plate.

## บทคัดย่อ

เพอร์เวปเปอร์เรชั่น เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกของเหลวผสมด้วยวิธีอาศัยความแตกต่างของความดันระหว่างด้านป้อนสารบนผิวของเมมเบรนกับด้านที่สารผ่านออกจากเมมเบรนในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ โดยสารที่ต้องการแยกจะถูกแยกออกจากเมมเบรนออกมาในสถานะไอและจากนั้นจะถูกควบแน่นให้กลายเป็นของเหลว ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาและออกแบบถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการเพอร์เวปเปอร์เรชั่นเพื่อใช้ในการแยกพลังงานทดแทนเอทานอลออกจากน้ำหมัก ถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กที่มีความจุ 500 มิลลิลิตร ถูกออกแบบขึ้นและประกอบด้วยถังสำหรับควบแน่น ช่องบรรจุเมมเบรน ช่องบรรจุสารป้อน เกจวัดระดับสุญญากาศ วาล์วและปั๊มสุญญากาศ ในขณะที่เมมเบรนทางการค้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและบรรจุเมมเบรนลงในช่องใส่เมมเบรน จากนั้นตัวอย่างที่เป็นของผสมระหว่าง เอทานอลเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) กับน้ำ จะถูกเตรียมขึ้นและป้อนเข้าไปทดสอบประสิทธิภาพของการแยก

\* Master Student of Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

\*\* Lecturer of Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University.

\*\*\* Assistant Professor of Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

\*\*\* Assistant Professor Dr. of Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

## Reactor design of pervaporation process for ethanol separation การออกแบบถังปฏิกรณ์ของกระบวนการเพอร์เวปเปอร์เรชั่นเพื่อแยกเอทานอล

Nirachorn Chutinate (นิรัช ชุตินทร)\* Tinnakorn Kamsaen (ทินกร คำแสน) \*\*

Samart Moon-amart (สามารดี มุลอามาตย์)\*\*\* Pakawadee Kaewkannetra (ผกาวดี แก้วกันเนตร)\*\*\*

### ABSTRACT

Pervaporation (PV) is a process used for separation liquid mixtures by the difference of pressure between membrane upper (feed in) and the opposite of membrane (permeate) in vacuum condition. The permeate will be separated from membrane in vapour phase and condensed to liquid phase. Therefore, this research work aims to study and design a reactor for the pervaporation process to separate renewable ethanol from fermentation broth. A small scale of reactor with working volume 500 ml was designed and consisted of cold trap, membrane cell, feed box, vacuum gauge, valve and vacuum pump. While the commercial membrane used was characterized in physical property using scanning electron microscope (SEM) technique and the membrane was assembly into membrane cell. Then, sample, a mixture of 12% (v/v) ethanol-water, was prepared and fed into a small reactor for considering separation efficiency of the system. The results reveal that the membrane showed in cellulosic network structure and an effective membrane area was 10.18 cm<sup>2</sup>. Although, the mixture still showed in liquid phase, the assumption to explain this behaviour would be the unsuitable membrane used. Therefore, step of membrane coating to get more dense membrane will be carried on and also separation in mixture of ethanol-water and fermentation broth experiments in both small scale of the reactor and large scale in a plate and frame filter plate.

### บทคัดย่อ

เพอร์เวปเปอร์เรชั่น เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกของเหลวผสมด้วยวิธีอาศัยความแตกต่างของความดันระหว่างด้านป้อนสารบนผิวของเมมเบรนกับด้านที่สารผ่านออกจากเมมเบรนในสถานะที่เป็นสุญญากาศ โดยสารที่ต้องการแยกจะถูกแยกออกจากเมมเบรนออกมาในสถานะไอและจากนั้นจะถูกควบแน่นให้กลายเป็นของเหลว ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาและออกแบบถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการเพอร์เวปเปอร์เรชั่นเพื่อใช้ในการแยกพลังงานทดแทนเอทานอลออกจากน้ำหมัก ถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กที่มีความจุ 500 มิลลิลิตร ถูกออกแบบขึ้นและประกอบด้วยถังสำหรับควบแน่น ช่องบรรจุเมมเบรน ช่องบรรจุสารป้อน เกจวัดระดับสุญญากาศ วาล์วและปั๊มสุญญากาศ ในขณะที่เมมเบรนทางการค้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและบรรจุเมมเบรนลงในช่องใส่เมมเบรน จากนั้นตัวอย่างที่เป็นของผสมระหว่างเอทานอลเข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์(โดยปริมาตร) กับน้ำ จะถูกเตรียมขึ้นและป้อนเข้าไปทดสอบประสิทธิภาพของการแยกสารในระบบ ผลการทดลองพบว่า เมมเบรนที่ใช้มีโครงสร้างแบบเส้นใยร่างแหตาข่ายชนิดเซลลูโลส และมีพื้นที่ในการกรองแยกเท่ากับ 10.18 ตารางเซนติเมตร แม้ว่าของผสมเอทานอลกับน้ำเมื่อผ่านระบบเมมเบรนแล้วสารยังคงมีสถานะเป็นของเหลว สมมุติฐานที่อธิบายพฤติกรรมดังกล่าวน่าจะเป็นเพราะเมมเบรนที่ใช้ไม่เหมาะสม ดังนั้นขั้นตอนการเคลือบผิวเมมเบรนเพื่อที่จะทำให้เมมเบรนมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น จะเป็นงานที่กระทำต่อไปรวมทั้งการทดสอบการแยกเอทานอลออกจากน้ำและน้ำหมักทั้งในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กและในชุดกรองเมมเบรนแบบกรอบอัดขนาดใหญ่

**Key Words:** Ethanol separation, Pervaporation, Reactor design

**คำสำคัญ :** การแยกเอทานอล วิธีเพอร์เวปเปอร์เรชั่น การออกแบบถังปฏิกรณ์

\* Master Student of Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

\*\* Lecturer of Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University.

\*\*\*Assistant Professor of Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

\*\*\* Assistant Professor Dr. of Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.

## Introduction

Since, the critical price of fuel from petroleum continued increases. Therefore, people around the world needed to pay attention as an important problem and looking forward to consider others renewable energy. Gasohol, biodiesel and natural gas vehicles (NGV) are new negatives for carrier. Gasohol is a blending of gasoline and ethanol, which is a pure alcohol produced from domestic crops, such as cane, cassava and other grains for example: sorghum, rice, corn, etc (last updated on 2007 Nov 10; <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=586>). Ethanol yield received from distillation contained of 95% concentration and enter to water separation by molecular sieve separation, after that received a pure alcohol of 99.5 % by volume (last updated on 2007 Nov 10; <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=518>). But ethanol separation by distillation and molecular sieve are used high heat-energy, complicated work system and instrument expensive to include.

Membrane separation technology is powerful tools offer significant advantages for separation of liquid and gaseous mixtures over existing separation process. Membrane separation can offer energy saving, low cost modular construction, high selectivity of separated materials, processing of temperature sensitive products and more environmentally friendly alternative to classical process (Kujawski, 2000). Membranes separate mixture by discriminating the components on the basis of physical or chemical attributes, such as molecular size, thickness, charge, or solubility (Mulder, 1991). The need for membrane separation technology increases as environmental requirements tighten, water circuits close, the recycling of wastes increases and the purity requirements for foodstuff and pharmaceuticals increase. Six major membrane processes as microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), reverse osmosis (RO), electrodialysis (ED), gas separation and pervaporation (PV) have found use in many application areas such as water purification, chemical and food processing, drug delivery, bioseparations and medical treatment (Mulder, 1991; Kujawski, 2000).

Pervaporation (PV) is recognized as a separation process in which a binary or multi-component liquid mixture is separated by partial vaporization through a dense non-porous membrane. When a membrane is contact with liquid mixtures, one of the

components can be preferentially removed from the mixtures due to its higher affinity with, and/or quicker diffusivity in the membrane. As a result, both the more permeable species in the permeate, and the less permeable species in the feed, can be concentrated. In order to ensure the continuous mass transport, very low absolute pressures (e.g., 133.3–400.0 Pa (1–3 mmHg)) are usually maintained at the downstream side of the membrane, removing all the molecules migrating to the face, and thus rendering a concentration difference across the membrane (Neel, 1993; Vallieres and Favre, 2004). As a variant, a sweeping gas in the downstream side of the membrane is used vacuum operation.

In pervaporation, membrane and transport mechanism characteristics are as follows:

- the membrane is a non-porous thin film
- the separation mechanism is based on different transport rates of different components, called as rate governed separation process

Pervaporation has many advantages like process simplicity, recovery of a concentrated ethanol, which requires less distillation capacity and energy consumption. It has proved to be a straightforward technique for in situ alcohol recovery from fermentation[(Matsumoto and Ohya 1990; Mori and Inaba 1990; Nakao et al, 1987;]Groot et al, 1984)

According to the definition of pervaporation process that described like diagrams as shown in Fig.1.

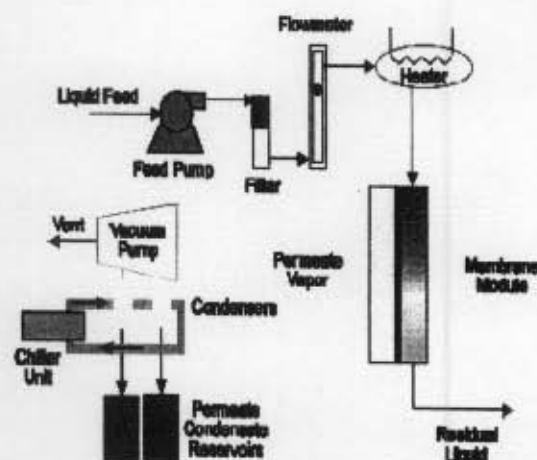


Figure 1. Schematic diagram of pervaporation (PV) system (last updated on 2007 Nov 13; <http://www.epa.gov/.../std/cppb/images/pervapsyste m.gif>).

Therefore, the objectives of this research are mainly to separate and recover ethanol from pure water in a small scale and from fermentation broth after fermentation in a large scale of plate and frame filter press, secondly, to design the reactor and to select the membrane for using in the PV process. Lastly, the efficiency of the system will be evaluated and compared with the traditional of distillation.

### Materials and Methods

A chemical reagent of concentrated ethanol 99.7% - 100% v/v (analytical grade) was purchased from VWR International Ltd., England. Then, the mixture used as sample will be prepared from 12% ethanol and de-ionized water and was fed pass through membrane in the PV system. For membrane used in this study, a commercial cellulosic membrane (Whatman International Co., Ltd., England), was selected and housed in the PV. Then, the membrane was characterized in physical property using SEM technique.

#### Reactor design

The small scale of reactor with the working volume of 500 ml was designed and then was housed to be PV process. The apparatus in the system was shown as Fig. 2.

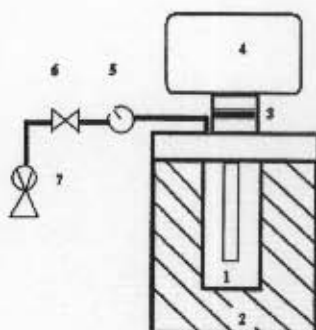


Figure 2. The compositions of reactor design:  
1. cold trap, 2. ice tank, 3. membrane cell, 4. feed box, 5. vacuum gauge, 6. valve, 7. vacuum pump.

In Fig. 2. the membrane was housed in a PV cell (or membrane cell). Two components of an O-ring and a closer made of

aluminium screen in a PV cell will be used for protecting membrane from breaking or blending or folding membrane problems resulting from pumping force during operation the system. The effective membrane area was 10.18 cm<sup>2</sup> and was supported by an aluminium sieve with 4.7 cm in a diameter. Ice tank was made from stainless steel covered with sponge to keep cool and outer layer covered with a thin sheet of zinc.

The operation of PV was firstly started in stepwise by feeding sample into feed box, and then the vacuum pressure level was slightly adjusted via valve. When the vacuum pump was switched on, separation will occur and require vapour move into the cold trap (working volume of 500 ml) and then was condensed in the 2.5 l ice tank. Finally, the condensed sample will be taken to analyzed in concentration of ethanol using gas chromatography (GC) (Shimadzu GC-14B, Japan) with operating conditions; carrier gas of N<sub>2</sub>; 20% PEG column; column temperature of 150 °C; detector is FID at temperature 250 °C; injector temperature 180 °C).

#### Membrane characterization

The membrane used was considered in physical property using SEM technique (Hitachi S-3200N, Japan). In Fig. 3 the membrane showed clearly that a network cellulosic structure with the nominal pore size of low molecular weight cut-off (MWCO) and then was defined as an ultrafiltration (UF) membrane (Boussu et al, 2006).



Figure 3. SEM image of membrane used in the PV system.



## Conclusions

A small scale of reactor has been successfully assembled into the PV system and completed with the membrane used. However, although the membrane used needed to get more treatment steps for getting the most suitable membrane for using in the PV process and to achieve ethanol separation.

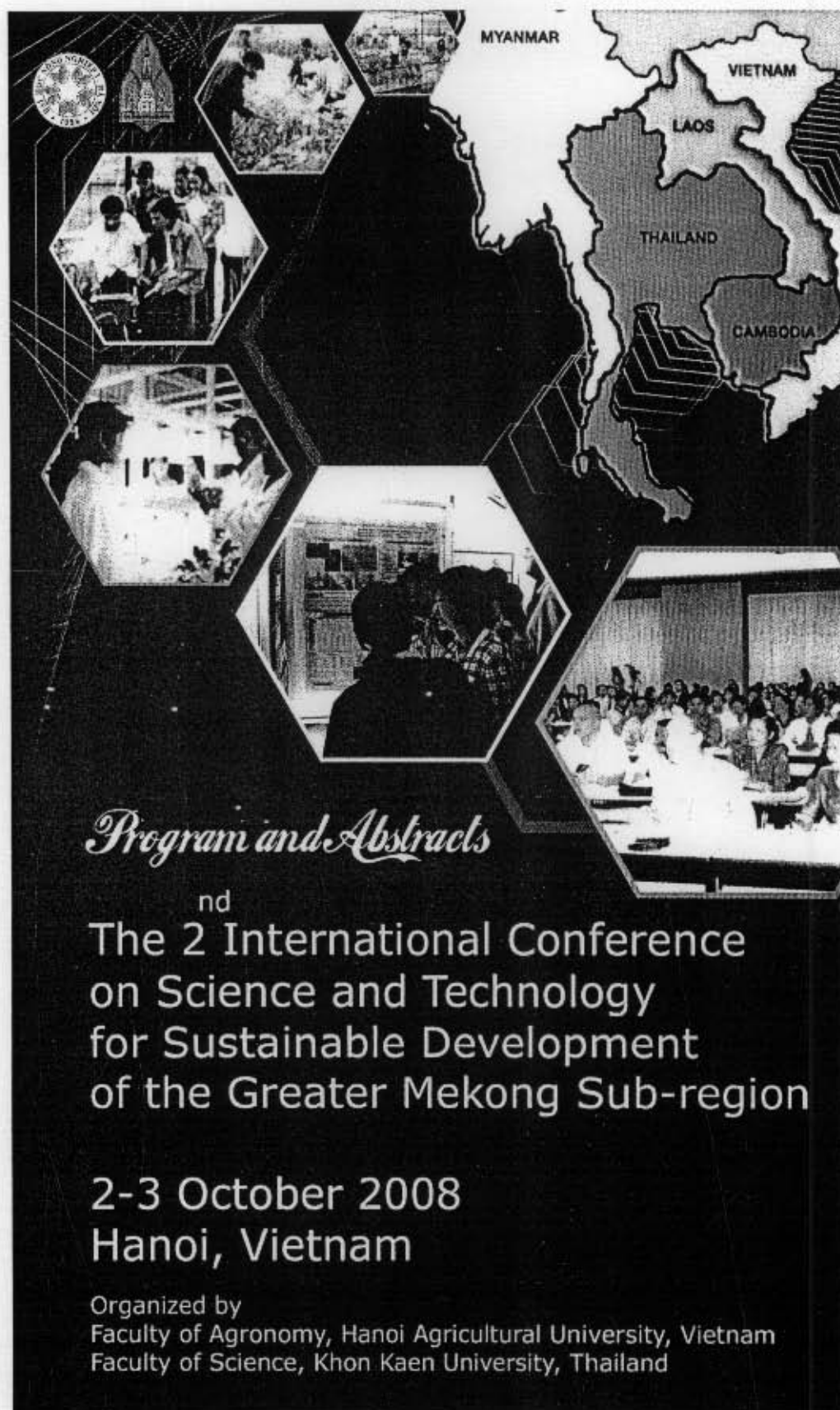
In the further work, pervaporation system experiments will be investigated in both small scale of designed reactor and large scale of plate and frame filter plate by using samples of a mixture of ethanol-water and fermentation broth, respectively coupling with parameters involve with of separation process of ethanol from fermentation broth will be considered and evaluated.

## Acknowledgements

This research was mainly financially supported by Fermentation Research Center for Value Added Agricultural Products (FerVAAP), Faculty of Technology, Khon Kaen University and Graduate School at Khon Kaen University for providing partial funding. Finally, one of the authors (Nirachorn Chutinate) would like to special thanks Department of Biotechnology, Khon Kaen University for facilities.

## References

- Boussu, K., Van der Bruggen, B., Volodin, A., Van haesendonck, C., Delcour, J.A., Van der Meeren, P. And Vandecasteele, C. 2006. Characterization of commercial nanofiltration membranes and comparison with self-made polyethersulfone membranes. *Desalination*. 191, 245-253.
- Groot, W. J., Van den Oever, C. E., Kossen, N. W. F., 1984. *Biotechnol. Letts*. 6, 709.
- Kujawski, W. 2000. Application of Pervaporation and Vapor Permeation in Environmental Protection. *J. of Environmental Studies*, 9, 13-26.
- Matsumoto, K. and Ohya, H. 1986. *3rd World Congress of Chemical Engineering*. 843.
- Mori, Y. and Inaba, T. 1990. *Biotechnol. Bioeng.* 36, 849.
- Mulder, M.H.V. 1991. Basic principles of membrane technology. *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht, Boston, London
- Nakao, S. I., Saitoh, F., Asakura, T., Toda, K., Kimura, S. 1987. *J. Memb. Sci.* 30, 273.
- Neel, J. 1993. Pervaporation: fundamentals and practice, *Makromol. Chem. Macromol. Symp*, 70, 327-339.
- Vallieres, C. and Favre, E. 2004. Vacuum versus sweeping gas operation for binary mixtures separation by dense membrane processes, *J. Membr. Sci.*, 244(1-2), 17-23.



MYANMAR VIETNAM  
LAOS  
THAILAND  
CAMBODIA

*Program and Abstracts*  
nd  
The 2 International Conference  
on Science and Technology  
for Sustainable Development  
of the Greater Mekong Sub-region

2-3 October 2008  
Hanoi, Vietnam

Organized by  
Faculty of Agronomy, Hanoi Agricultural University, Vietnam  
Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand

P-65	Chemical constituents of the Thai bitter gourd <i>Momordica</i> <i>chanranta</i> Linn. (Marakkeenok) <u>Santi Sakdarat and David J. Robins</u>	140
P-66	Contributions to the pollen morphology of the Polygalaceae in Thailand <u>Puntiwa Krachai, Pranom Chantaranothai and Narumol Piwpuan</u>	141
P-67	Diversity of butterflies in Nong Gom Goa wetland Maung district Nongkhai province, thailand <u>Arpakorn Sakulsathaporn</u>	142
P-68	RNAi-based silencing of salt stress-related genes in rice <u>Nooduan Muangsan, Taweekit Sunjondee, Piyada Theerakulpisut</u> <u>and Dominique Robertson</u>	143
P-69	Antioxidant activity of methanolic extracts from medicinal herbs in Ubon Ratchathani <u>Mallika Chantarangsee, Pacharawan Meenongwha, Apichaya Homrourng</u> <u>and Apichat Madaruk</u>	144
P-70	Utilization of by-product from biodiesel production for monoglyceride synthesis in batch and semi-batch reactors <u>Nuntiya Maneechot, Samart Moon-amart, Pakawadee Kaewkannetra,</u> <u>Siriwat Jinsiriwanit and Tinnakorn Kumsaen</u>	145
P-71	Polyclonal antiserum specific to <i>Pantoea</i> sp. causal agent of bacterial die-back and vine necrosis in cucurbits <u>Anuwat Deeruska and Petcharat Thummabenjapone</u>	146
P-72	Investigation on effects of medicinal herbs against <i>Streptococcus</i> <i>agalactiae</i> isolated from Nile tilapia, <i>Oreochromis niloticus</i> <u>Nilubol Kitanchaoen, Alisara Duadin and Chutima Hanjavanit</u>	147
P-73	Pervaporation of ethanol-water mixture and sweet sorghum fermentation broth using commercial cellulose acetate membranes <u>Nirachorn Chutinate, Pakawadee Kaewkannetra, Samart Moon-amart</u> <u>and Tinnakorn Kumsaen</u>	148
P-74	Leaf anatomy of three species in the genus <i>Xanthophyllum</i> roxb. (Polygalaceae) inhabit in different ecology <u>Natumol Piwpuan and Achra Thammathaworn</u>	149
P-75	Screening rice for salt stress response <u>Nantawan Kanawapee, Piyada Threerakulpisut and Jirawat Sanitchon</u>	150
P-76	Biological control of hemorrhagic fever mosquitoes ( <i>Aedes aegypti</i> L.) by Yam Bean ( <i>Pachyrhizus erosus</i> L.) seed extracts <u>Butsara Yongkhamcha and Korakod Indrapichate</u>	151
P-77	A study on plant diversity in deciduous forest at Ban Nong Duen, Tambol Nong Kom Koh, Nong Khai Province, Thailand <u>Surapon Saensouk and Achara Thammathaworn</u>	152

## PERVAPORATION OF ETHANOL-WATER MIXTURE AND SWEET SORGHUM FERMENTATION BROTH USING COMMERCIAL CELLULOSE ACETATE MEMBRANES

**Nirachorn Chutinate<sup>1,2</sup>, Pakawadee Kaewkannetra<sup>3\*</sup>, Samart Moon-amart<sup>3</sup>  
and Tinnakorn Kumsaen<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Graduate School of Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

<sup>2</sup>Research centre of Fermentation for Value Added Agricultural Products (FerVAAP)  
Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

<sup>3</sup>Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University.  
Khon Kaen 40002, Thailand.

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineer, Khon Kaen University,  
Khon Kaen 40002, Thailand.

E-mail: paknar@kku.ac.th

Pervaporation (PV) is a membrane process used for separating azeotrope mixtures. In this study, a bench-scale the PV has been built with commercial cellulose acetate membranes to investigate of the system to separate ethanol-water mixtures and fermented sweet sorghum juice, respectively. The parameters of temperatures (50°C, 60°C, and 70°C) and permeate pressures (2 inHg and 3 inHg) were varied and their effects on permeate flux and separation factor ( $\alpha$ ) were investigated. Experimental results clearly showed that in case of the ethanol-water mixtures, the flux and the  $\alpha$  were obtained in the highest efficiency at temperature of 60°C. Meanwhile, for the fermentation broth, the flux and the  $\alpha$  were higher as temperatures increased. In addition, physical characteristic of membranes used was examined using Scanning Electron Microscope (SEM) technique. The SEM image showed polymeric cross linked network structure, nominal pore size of 0.45  $\mu\text{m}$  and with 2 supporting layers.

**Keywords:** pervaporation (PV), fermentation broth, azeotrope mixtures, Membranes.

# PERVAPORATION (PV) OF ETHANOL-WATER MIXTURE AND SWEET SORGHUM FERMENTATION BROTH USING COMMERCIAL CELLOULOSE ACETATE MEMBRANES

Nirachorn Chutinate<sup>1,2</sup>, Pakawadee Kaewkannetra<sup>3\*</sup>, Samart Moon-amart<sup>3</sup>, Tinnakorn Kumsaen<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

<sup>2</sup>Research Centre of Fermentation for Value Added Agricultural Products (FerVAAP)

Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

<sup>3</sup>Department of Biotechnology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineer, Khon Kaen University,

Khon Kaen, 40002 Thailand

*\*Corresponding author: pakmar@kku.ac.th*

## ABSTRACT

Pervaporation (PV) is a membranes technology process used for separating azeotrope mixtures. In this study, a bench scale of PV has been built with commercial cellulose acetate membranes to investigate how effective of the system to separate ethanol-water mixtures and fermented sweet sorghum juice, respectively. The parameters of temperatures (50°C, 60°C, and 70°C) and permeate pressures (2 inHg and 3 inHg) were varied and investigated how affect to permeate flux and separation factor ( $\alpha$ ). In addition, physical characteristic of membranes used was examined using Scanning Electron Microscope (SEM) technique. Experimental results clearly showed that in case of the ethanol-water mixtures, the flux was lowest but the PSI and the  $\alpha$  were obtained in the highest efficiency at temperature of 60°C. Meanwhile, for the fermentation broth, the flux was increase but the  $\alpha$  and the PSI were decrease as temperatures increased. In addition, the SEM image showed in polymeric cross linked network structure, nominal pore size of 0.45  $\mu\text{m}$  and with 2 supporting layers.

**Keywords:** Pervaporation (PV), Fermentation broth, Azeotrope mixtures, Membranes

## 1. Introduction

Since, the critical price of fuel from petroleum continued increases. Therefore, people around the world needed to pay attention as an important problem and looking forward to consider others renewable energy. Gasohol, biodiesel and natural gas vehicles (NGV) are new negatives for carrier. Gasohol is a blending of gasoline and ethanol, which is a pure alcohol produced from domestic crops, such as cane, cassava and other grains for example: sorghum, rice, corn, etc. Ethanol yield received from distillation contained of 95% concentration and enter to water separation by molecular sieve separation, after that received a pure alcohol of 99.5 % by volume. But ethanol separation by distillation and molecular sieve are used high heat-energy, complicated work system and instrument expensive to include.

Membrane technology is powerful tools offer significant advantages for separation of liquid and gaseous mixtures over existing separation process. Membrane separation can offer energy saving, low cost modular construction, high selectivity of separated materials, processing of temperature sensitive products and more environmentally friendly alternative to classical process (Kujawski, 2000). Membranes separate mixture by discriminating the components on the basis of

physical or chemical attributes, such as molecular size, thickness, charge, or solubility (Mulder, 1991). The need for membrane separation technology increases as environmental requirements tighten, water circuits close, the recycling of wastes increases and the purity requirements for foodstuff and pharmaceuticals increase. Six major membrane processes as micro-filtration (MF), ultra-filtration (UF), reverse osmosis (RO), electrodialysis (ED), gas separation and pervaporation (PV) have found use in many application areas such as water purification, chemical and food processing, drug delivery, bioseparations and medical treatment (Mulder, 1991; Kujawski, 2000).

PV is known as a separation process in which a binary or multi-component liquid mixture is separated by partial vaporization through a dense non-porous membrane. When a membrane is contact with liquid mixtures, one of the components can be preferentially removed from the mixtures due to its higher affinity with, and/or quicker diffusivity in the membrane. As a result, both the more permeable species in the permeate, and the less permeable species in the feed, can be concentrated. In order to ensure the continuous mass transport, very low absolute pressures (e.g., 133.3–400.0 Pa (1–3 mmHg)) are usually maintained at the downstream side of the membrane, removing all the molecules migrating to the face, and thus rendering a concentration difference across the membrane (Neel, 1993; Vallieres and Favre, 2004). As a variant, a sweeping gas in the downstream side of the membrane is used vacuum operation. In PV system, membranes and transport mechanism characteristics are as follows:

- the membrane is a non-porous thin film
- the separation mechanism is based on different transport rates of different components, called as rate governed separation process

PV has many advantages like process simplicity, recovery of a concentrated ethanol, which requires less distillation capacity and energy consumption. It has proved to be a straightforward technique for in situ alcohol recovery from fermentation (Matsumoto and Ohya 1990; Mori and Inaba 1990; Nakao et al, 1987; Groot et al, 1984)

Therefore, the objective of this study is to investigate how efficiency of a PV laboratory scale can separate two kinds of mixture; ethanol-water and ethanol obtained from fermentation broth using commercial cellulose acetate membrane. In addition, the effects of temperature and permeate pressure also were investigated and evaluated in terms of permeate flux and separation factor.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Membranes used

The membrane used in this study, a commercial cellulose acetate membrane obtained from Whatman International Co., Ltd., England, was selected and housed in the PV. Then, the membrane was characterized in physical property such as surface area, structure and membrane layer using Scanning Electron Microscope (SEM) technique.

### 2.2 Preparation of sampling mixtures

In this study, two types of mixtures were prepared; the first mixture represents for di-mixtures, was 15% ethanol concentration (conc. 99.7-100%) mixed with demonized water and another is fermented sweet sorghum mixture obtained after 3 days batch fermentation the juice by using *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048.

### 2.3 Assembly of a laboratory pervaporation system

A bench scale of PV system has been built and showed in Fig. 1. In brief, the main components system and the position of each; 600 mL Pyrex glass bottle, wrapped with moisture protecting material, was added with the sample mixtures and was put on the hot plate with the controller buttons for both temperature and mixing speed. The membrane was housed on top of the bottle

together with the plate and frame membrane module. The vapor phase evaporated from the bottle flowed through the membranes to the gas carrier tube to a condensing part which a pressure gauge and a valve were installed to adjust the permeate pressure. The vapor phase was condensed to a 3L cooling vessel that was covered with silica gel.

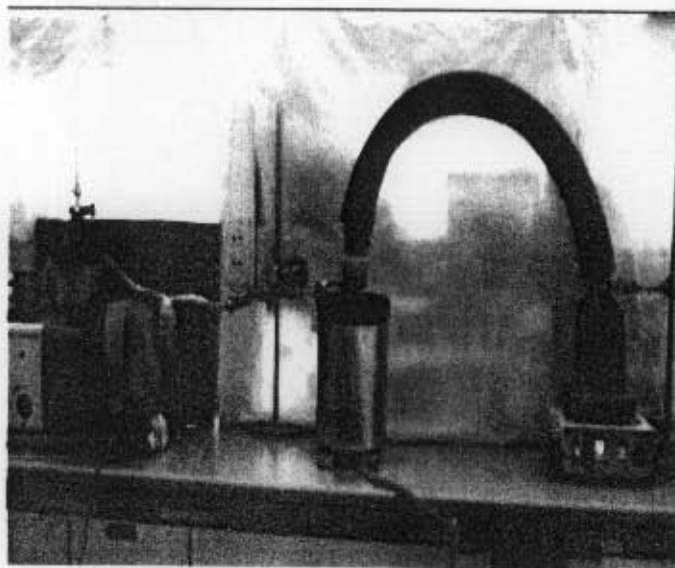


Fig. 1. Laboratory of PV system

#### 2.4 Operation of PV system

The PV experiments were performed in batch unit at variations of temperature at 50, 60 and 70 °C, respectively and permeate pressure at 2 and 3 inHg, respectively. Two types of mixtures were separately fed into the PV system. The initial and the retentate of each mixture were collected before and after operating the PV system.

#### 2.5 Analytical methods

The initial and the retentate of each mixture was weighed and measured the ethanol concentration using gas chromatography (GC) (Shimadzu GC-14B, Japan) with operating conditions; carrier gas of N<sub>2</sub>; 20% PEG column; column temperature of 150 °C; detector is FID at temperature 250 °C; injector temperature 180°C) and also to calculate the flux and separation factor. The initial and the retentate concentrations obtained were taken to calculate in flux and separation factor.

#### 2.5 Calculations

##### 2.5.1 Flux (*J*)

The flux was calculated following this equation:

$$J = \frac{W_1 - W_2}{AT}$$

Where;

$W_1$  and  $W_2$  = weights of the glass bottle before and after PV system (g)

A = membrane surface (m<sup>2</sup>)

T = operating time (min)



### 2.5.1 Separation factor ( $\alpha$ )

The separation factor can be calculated from this equation;

$$\alpha = \frac{(Y_w / Y_E)}{(X_w / X_E)}$$

Where;

$Y, X$  = mass fractions of pervaporation products and feed, respectively.

W = water

E = ethanol

## 3. Results and discussions

### 3.1 Characteristic of membranes used

In Fig. 1 the commercial cellulose acetate membranes was observed using SEM technique. It was clearly shown in the cross section of membranes containing with two supporting layers. The nominal pore size of 0.45  $\mu\text{m}$  and membrane thickness was approximately 120  $\mu\text{m}$ .

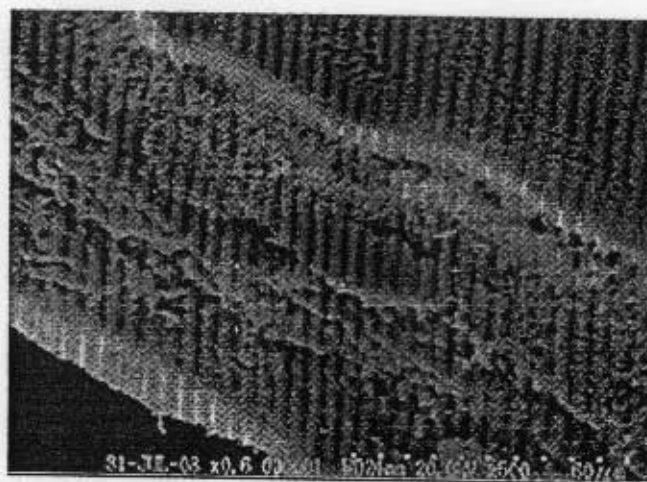


Fig. 2. SEM image of polymeric cellulose acetate membrane (Magnification  $\times 500$ )

### 3.2 Effect of temperatures on PV system

In Table 1. shows effect of temperatures on the PV system when the ethanol-water and the sweet sorghum mixtures were fed into the system. It was observed that the flux, and the  $\alpha$  were varied in a range of 0.095-0.131  $\text{g}/\text{m}^2\text{min}$  and 25.378 116.018 in case of ethanol-water mixture while for fermented broth, it was found that the flux was from 0.072-0.085  $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$ , the  $\alpha$  were 38.259-166.702. The results obtained here was lower than the previous study; Dubey and et al. (2002) used the bacterial cellulose membrane (BCM) to separate ethanol-water (70:30%), the result shown that BCM have the flux was 0.112  $\text{kgm}^{-2}\text{h}$  and the  $\alpha$  value 287.

### 3.3 Effect of permeate pressure on PV system

During the variations of temperatures, permeate pressure was also varied in a permeate pressure at 2 inHg and 3 inHg, respectively the result shown in Table 2. As permeate pressure was increased, the flux for ethanol-water mixtures increased from 0.062 to 0.075  $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$  but the PSI and the  $\alpha$  were decreased from 7.131 to 1.299  $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$  and from 116.018 to 18.320, respectively. In case of fermented broth the flux and the PSI were decreased from 0.216 to 0.144



$\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$  and from 38.017 to 30.077  $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$ , respectively. Although, the  $\alpha$  was increased from 177.004 to 209.870. Similarly, the results obtained by Kanti et al. (2004) who studied to use blend membranes of chitosan and sodium alginate, to found that the flux was lowering from 0.55 to 0.02  $\text{kgm}^{-2}\text{h}$  and the  $\alpha$  value was decrease from 436.3 to 74.3.

**Table 1** Temperature effects on flux (J) and separation factor ( $\alpha$ ) in the PV of ethanol-water mixtures and fermented broth through cellulose acetate membranes at permeate pressure 2 inHg, 15 min

Temperature (C)	Mixture type	$J_{\text{total}}$ ( $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$ )	$\alpha$	PSI ( $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$ )
50	Ethanol-water	0.095	60.850	5.686
	Fermented broth	0.072	166.702	11.93
60	Ethanol-water	0.062	116.018	7.131
	Fermented broth	0.078	38.259	2.906
70	Ethanol-water	0.131	25.378	3.194
	Fermented broth	0.085	47.889	3.986

**Table 2** Permeate pressure effects on flux (J) and separation factor ( $\alpha$ ) in the PV of ethanol-water mixtures and fermented broth through cellulose acetate membranes

Pressure (inHg)	Mixture type	$J_{\text{total}}$ ( $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$ )	$\alpha$	PSI ( $\text{gm}^{-2}\text{min}^{-1}$ )
2	Ethanol-water	0.062	116.018	7.131
	Fermented broth	0.216	177.004	38.017
3	Ethanol-water	0.075	18.320	1.299
	Fermented broth	0.144	209.870	30.077

#### 4. Conclusions

Feasibility study to introduce a commercial cellulose acetate membrane into the PV system, significant temperature and the permeate pressure play important influences on performance of PV process to separate various kinds of mixture as di-, tri- and poly-mixtures. The results obtained in this study suggest that the PV separation for the modified membrane can be adjusted by changing temperature and minimize pressure thus the process flexibility is increased.

#### 5. Acknowledgments

This research study was mainly financially supported by Fermentation Research Center for Value Added Agricultural Products (FerVAAP), Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon-Kaen, THAILAND. One of the authors (Nirachorn Chutinate) also would like to sincerely thanks Graduate School of Khon Kaen University, Khon Kaen, THAILAND for travel award and Department of Biotechnology, Khon Kaen University, Khon Kaen, THAILAND for facilities.

## 6. References

- [1] Dubey, V., Saxena, C., Singh, L., Ramana, K.V., and Chauhan, R.S. 2002. Pervaporation of binary water-ethanol mixtures through bacterial cellulose membrane. *Separation and purification technology*, 27, 163-171.
- [2] Groot, W. J., Van den Oever, C. E., Kossen, N. W. F., 1984. *Biotechnol. Letts.* 6, 709.
- [3] Kujawski, W. 2000. Application of Pervaporation and Vapor Permeation in Environmental Protection. *J. of Environmental Studies*, 9, 13-26.
- [4] Matsumoto, K. and Ohya, H. 1986. the 3<sup>rd</sup> *World Congress of Chemical Engineering*. 843.
- [5] Mori, Y. and Inaba, T. 1990. *Biotechnol. Bioeng.* 36, 849.
- [6] Mulder, M.H.V. 1991. Basic principles of membrane technology. *Kluwer Academic Publishers*. Dordrecht, Boston, London
- [7] Nakao, S. I., Saitoh, F., Asakura, T., Toda, K., Kimura, S. 1987. *J. Memb. Sci.* 30, 273.
- [8] Neel, J. 1993. Pervaporation: fundamentals and practice, *Makromol. Chem. Macromol. Symp*, 70, 327-339.
- [9] Satyyanarayana, S.V. and Bhattacharya, P.K. 2004. Pervaporation of hydrazine hydrate: separation characteristics of membranes with hydrophilic to hydrophobic behaviour. *J. Membr. Sci.* 238, 103-115.
- [10] Vallieres, C. and Favre, E. 2004. Vacuum versus sweeping gas operation for binary mixtures separation by dense membrane processes, *J. Membr. Sci.* 244(1-2), 17-23.