

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมา

เอทานอล (ethanol) เป็นชื่อทางเคมีของแอลกอฮอล์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปซึ่งรู้จักในชื่อ “เอทิลแอลกอฮอล์”(ethyl alcohol) นอกจากนี้ยังมีชื่ออื่นๆของเอทานอลได้แก่ spirit, rectified spirit และ extra neutral alcohol

การผลิตเอทานอลทำได้ 2 แบบ คือ การสังเคราะห์ทางเคมี (synthetic route) โดยใช้เอทิลีน (ethylene) เป็นสารตั้งต้นแต่วิธีนี้ใช้ต้นทุนสูงจึงไม่เป็นที่นิยม และการหมัก (fermentation route) โดยใช้ยีสต์ (yeast) หมักน้ำตาลหรือแป้ง สิ่งที่ได้จากการหมักจะมีทั้งเอทานอลและสิ่งปนเปื้อน (impurities) อื่นๆ (1)

Rectified spirit ผลิตจากการนำเอทานอลที่ได้จากการหมักมากลั่น (distillation) โดยปกติ rectified spirit จะมีความเข้มข้นของเอทานอลที่ประมาณ 95% ปริมาตรต่อปริมาตร เพราะเอทานอลจะเกิดอะซีโอโทรป (azeotrope) กับน้ำที่ความเข้มข้นประมาณ 95% ปริมาตรต่อปริมาตร ดังนั้นจึงไม่สามารถแยกน้ำออกจากจุดนี้ได้อีกด้วยวิธีการกลั่นแบบธรรมดาเอทานอลถูกนำมาใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) ในน้ำมันเชื้อเพลิง (petrol) โดยการปั่นรวมกับน้ำมันสำหรับใช้ในยานยนต์ (motor vehicle) จะเรียกว่า เชื้อเพลิงเอทานอล (fuel-ethanol) การใช้เอทานอลสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide) ลงได้เนื่องจากมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังนำเชื้อเพลิงเอทานอลมาใช้เป็นสารเพิ่มออกซิเจน (oxygenate) ในน้ำมันจึงสามารถทดแทนการใช้สารเพิ่มออกซิเจนบางตัวซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น tetraethyl lead ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ, MTBE (methyl tert-butyl ether) และ ETBE (ethyl tert-butyl ether) เป็นสารซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดมลพิษทางน้ำ เอทานอลจะยังคงรักษาวัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) ของธรรมชาติจึงลดปัญหาของปรากฏการณ์เรือนกระจก (green house effect) อีกทั้งเอทานอลผลิตจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ (renewable sources) จึงไม่เกิดปัญหาการมีจำกัดของแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นเดียวกับน้ำมัน การผสมเอทานอลลงในน้ำมันสามารถเติมได้ในหลายอัตราส่วนโดยทั่วไปจะเติมในปริมาณตั้งแต่ 5-10% แล้วแต่ตามจุดประสงค์การใช้งานในประเทศบราซิลมีการเติมเอทานอลลงในน้ำมันถึง 24% สำหรับน้ำมันดีเซลมักจะเติมเอทานอลประมาณ

3% แต่สามารถเติมได้ถึง 10% โดยที่เครื่องยนต์ยังทำงานได้ตามปกติ ตารางที่ 1.1 แสดงคุณสมบัติของเอทานอลที่ใช้เติมลงในน้ำมัน

เอทานอลที่เติมลงในน้ำมันจะหมายถึง

- Absolute alcohol
- Anhydrous alcohol
- Dehydrated alcohol
- Power alcohol etc.

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติของ fuel-grade ethanol สำหรับผสมในน้ำมัน (2)

Component	Unit	Content	
		Mass basis	Volume basis
Water content, max	mass %	1.25 %w/w	1.0 %v/v
Non-volatile matter, max	mg/100ml	5	5
Chloride ion content, max.,	ppm	40	32
Copper content, max.,	ppm	0.1	0.08
Acidity (as acetic acid, CH_3COOH), max.,		0.007 % w/w	56 ppm by volume
Appearance		Visibly free of suspended or precipitated contaminants (clear and bright)	

1.2. การผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล (2)

การผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล (fuel-ethanol) หรือ แอลกอฮอล์สัมบูรณ์ (absolute ethanol) ทำได้โดยการขจัดน้ำออกจาก rectified spirit หรือ industrial alcohol ในทางอุตสาหกรรมการขจัดน้ำออกจาก rectified alcohol สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 หัวข้อใหญ่ๆ คือ

1. Molecular sieve technology
2. Pervaporation (membrane technology)
3. Azeotropic distillation

1.2.1 Molecular sieve technology

การทำงานของ molecular sieve technology จะอาศัยหลักการของ pressure swing adsorption ซึ่งน้ำจะถูกแยกออกจากเอทานอลโดยที่จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวหน้าของ "molecular sieve" หลังจากนั้นจึงกำจัดน้ำออกโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ molecular sieve ที่ใช้คือ "Zeolite" ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความผูกพัน (affinity) กับน้ำมาก zeolite จะดูดซับ (adsorb) น้ำไว้ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและจะปล่อยน้ำ (desorb) ออกมาเมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง หลักการนี้ถูกใช้เพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอล โครงสร้างที่เป็นผลึกของ zeolite นั้นซับซ้อน ความสามารถที่จะดูดซับหรือไม่ดูดซับสารของ zeolite ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสาร โมเลกุลของน้ำซึ่งมีขนาดเล็กสามารถที่จะเข้าไปใน sieve และถูกดูดซับไว้ได้ในขณะที่โมเลกุลของเอทานอลซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าไม่สามารถเข้าไปใน sieve ได้จึงถูกแยกออกไป อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องใช้เงินลงทุนสูงและราคาของ molecular sieve ก็ค่อนข้างสูงเช่นกัน

1.2.2 Pervaporation

เยื่อแผ่นที่ชอบน้ำ (hydrophilic membrane) ถูกนำมาใช้ในการแยกน้ำออกจากสารละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอลซึ่งขนาดของเยื่อแผ่นนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ผ่านของโมเลกุลน้ำที่ผ่านเยื่อแผ่น กระบวนการเพอร์เวปอเรชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานต่ำ, ภาวะในการดำเนินการไม่รุนแรง และอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นมักจะเสียหายหลังจากการใช้งาน เพราะฉะนั้นค่าใช้จ่ายในเรื่องการดูแลรักษาเยื่อแผ่นจึงค่อนข้างสูง

1.2.3 Azeotropic distillation

เนื่องจากเอทานอลจะเกิดอะซีโอโทรป (azeotrope) กับน้ำที่ความเข้มข้นประมาณ 95% ปริมาตรต่อปริมาตร ดังนั้นการกลั่นแบบธรรมดา (simple binary distillation) จึงไม่สามารถแยกน้ำออกได้ การกลั่นแยกน้ำออกจากเอทานอลจึงต้องมีการเติมองค์ประกอบที่สามลงไปซึ่งเรียกว่า "entrainer" ตัวอย่างองค์ประกอบที่สามได้แก่ cyclohexane, benzene, toluene, ether และ ketone เป็นต้น สาร entrainer จะเข้าไปแยกอะซีโอโทรป (azeotropic point) ของน้ำและเอทานอล ทำให้น้ำมีการระเหยมากขึ้น อย่างไรก็ตามข้อเสียวิธีนี้ คือ เอทานอลที่ได้ต้องนำมาแยกองค์ประกอบที่สามออกภายหลังซึ่งก็

อาจมีการปนเปื้อนของสาร entrainer นอกจากนี้การใช้เบนซินยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ในตารางที่ 1.2 แสดงสิ่งๆที่ต้องใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์สัมบูรณ์ (absolute alcohol) 1000 ลิตร

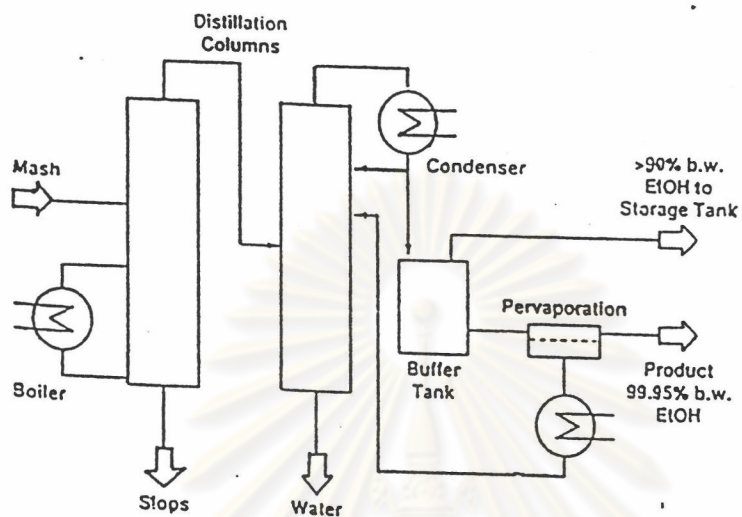
ตารางที่ 1.2 Typical utility requirement to produce 1000 liters of absolute alcohol (99%v/v) (2)

1. Feed	:	1064 liters of Rectified spirit or Industrial alcohol with 95% v/v alcohol
2. Steam	:	1.8 MT.
3. Energy	:	60 kW
4. Cooling water	:	4.0 m ³
5. Entrainer	:	1.8 kg (This could vary depending on climatic condition)

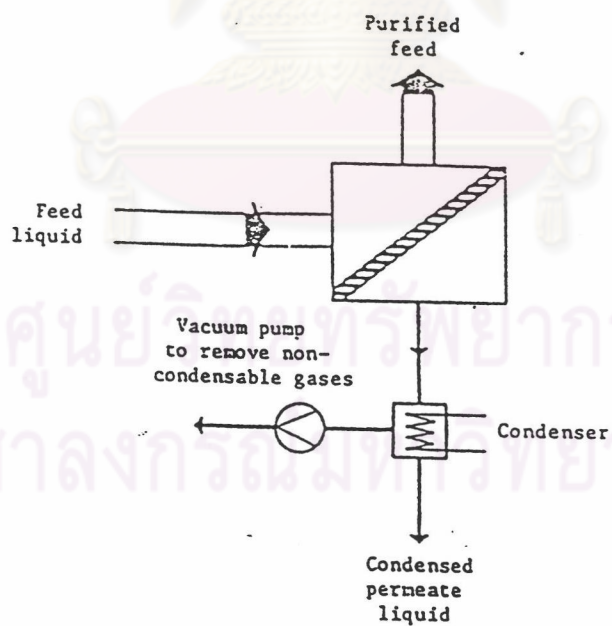
1.3 กระบวนการเพอร์แวนพอเรชัน (Pervaporation Process)

ปรากฏการณ์เพอร์แวนพอเรชันถูกค้นพบครั้งแรกในปี 1917 โดย Kober (3) ต่อมาในปี 1935 มีการบันทึกถึงประโยชน์ของเพอร์แวนพอเรชันในการแยกและเพิ่มความเข้มข้น โดย Farber (4) กระบวนการเพอร์แวนพอเรชันได้เริ่มมีการศึกษาอย่างเป็นระบบโดย Binning และผู้ร่วมงาน (5-7) และได้รับความสนใจจนมีการพัฒนาเป็นโรงงานจำลองในช่วงปี 1960 แต่เนื่องจากไม่สามารถขยายให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้เพราะเยื่อที่ใช้มีค่าการเลือกและอัตราการแพร่ผ่านต่ำทำให้ความสนใจต่อกระบวนการนี้ลดลง อย่างไรก็ตามจากผลงานของ Aptel, Neel และผู้ร่วมงานแห่งมหาวิทยาลัย Toulouse (8, 9) ได้ร่วมกันพัฒนาเยื่อที่มีคุณภาพมากขึ้นจึงทำให้กระบวนการเพอร์แวนพอเรชันได้รับความสนใจอีกครั้ง และในปี 1982 บริษัท Gesellschaft für Trenntechnik (GFT) Co. ได้สร้างโรงงานเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยการแยกน้ำเป็นแห่งแรก (10) รูปที่ 1.1 เป็นแผนภาพแสดงกระบวนการเพอร์แวนพอเรชันร่วมกับการกลั่นของบริษัท GFT เพื่อผลิตเอทานอลบริสุทธิ์

กระบวนการเพอร์แวนพอเรชัน เป็นกระบวนการการแยกสารผสมของเหลว (liquid mixture separation) โดยผ่านเยื่อเลือกผ่าน (permselective membrane) โดยจะป้อนสารผสมให้สัมผัสโดยตรงกับเยื่อเลือกผ่านทางด้านหนึ่งและดึงสารเพอร์มิเอต (permeate) ออกทางด้านตรงข้ามของเยื่อในรูปแบบของไอระเหย โดยการทำให้เกิดภาวะสุญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



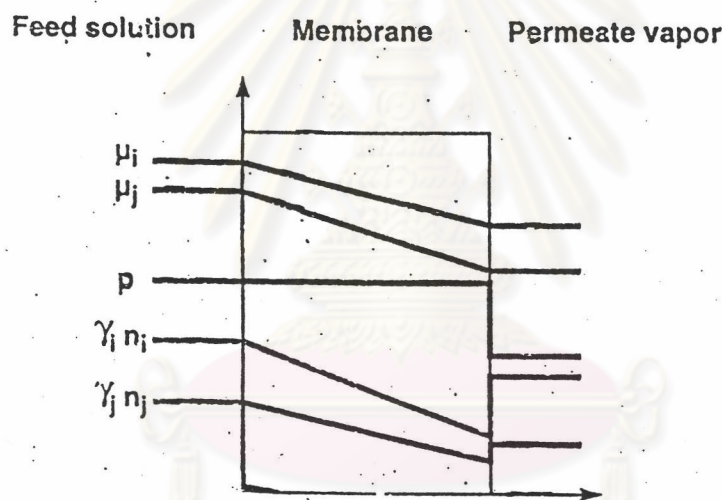
รูปที่ 1.1 กระบวนการเพอร์เวเพอเรนซ์ร่วมกับการกลั่นเพื่อผลิตเอทานอลบริสุทธิ์



รูปที่ 1.2 กระบวนการเพอร์เวเพอเรนซ์

1.3.1 ทฤษฎีของกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชัน

เพอร์แวกเพอเรชันเป็นกระบวนการแยกซึ่งจะทำให้ของเหลวที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิด (multicomponent liquid) แพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน โดยที่ด้านเพอร์มิเอตของเยื่อแผ่นจะเป็นสุญญากาศ ดังนั้นองค์ประกอบที่แพร่ผ่านออกไปจะถูกดึงออกในรูปของของผสมที่เป็นไอ การแพร่ผ่านเยื่อแผ่นนี้ถูกเหนี่ยวนำโดยทำให้ความดันไอของด้านเพอร์มิเอตของเยื่อต่ำกว่าด้านสารป้อน เกรเดียนต์ของศักย์ทางเคมี (chemical potential gradient), ความดัน และแอกติวิตี (activity) ผ่านเยื่อแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 เกรเดียนต์ศักย์ทางเคมี, ความดัน และ แอกติวิตีผ่านเยื่อแผ่น (11)

กลไกการถ่ายเทมวลสารของกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชัน สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการละลายและการแพร่ (solution-diffusion mechanism) (11) แบบจำลองนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. การละลายของสารป้อนที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน
2. การแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน
3. การระเหยของสารจากผิวเยื่อด้านเพอร์มิเอต

1.3.1.1 การละลายหรือการดูดซึมของสารป้อนที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน

ที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อนของเหลวในเยื่อแผ่นจะสมดุลกับของเหลวในสารป้อนความเข้มข้นระหว่างความเข้มข้นของสารในเยื่อแผ่นและในของเหลวที่สัมผัสกับเยื่อแผ่นแสดงได้ด้วยสัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient)

$$S_i = \frac{X_{im}}{X_{il}} \quad (1.1)$$

- เมื่อ S_i คือ สัมประสิทธิ์การกระจายของสาร i
 X_{im} คือ ความเข้มข้นของสาร i ในเยื่อแผ่น
 X_{il} คือ ความเข้มข้นของสาร i ในของเหลวที่สัมผัสเยื่อแผ่น

1.3.1.2 การแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

จากกลไกการละลายและการแพร่ อัตราการแพร่ (J_i) ขององค์ประกอบเดี่ยว (single component, i) ผ่านเยื่อในกระบวนการเพอร์เวเมอเรชันสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟิกส์ (Fick's law)

$$J_i = \frac{-D_i dC_i}{dx} \quad (1.2)$$

- โดยที่ J_i คือ อัตราการแพร่ผ่านขององค์ประกอบ i หรือค่าฟลักซ์ (flux)
 D_i คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient)
 dC/dx คือ สักยความเข้มข้น (concentration gradient) ขององค์ประกอบ (i) ในเยื่อ

ของเหลวจะประพฤติตัวเป็นพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) จึงทำให้ส่วนของพอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้มากขึ้นมีผลให้การแพร่เกิดได้ง่าย แต่ในบางกรณีสัมประสิทธิ์การแพร่อาจลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะสารเกิดการรวมตัวเป็นกระจุกแทนที่จะรวมกับพอลิเมอร์ซึ่งการที่โมเลกุลรวมตัวกันนั้นจะทำให้สายพอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้น้อยลง สัมประสิทธิ์การแพร่จะเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นของทุกองค์ประกอบ ในขั้นตอนของการแพร่นั้น การแพร่ของสารจะขึ้นกับขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของสารที่แพร่ โดยส่วนใหญ่สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือมีขนาดรูปร่างเล็กกว่าจะแพร่ได้เร็วกว่า การแพร่และการละลายของสารในเยื่อแผ่นนั้นมีความสัมพันธ์กัน โดยที่การเกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของเหลวกับเยื่อแผ่นพอลิเมอร์ด้วยแรงกระทำระหว่างขั้วและพันธะไฮโดรเจนนั้นมีความแข็งแรงของพันธะค่อนข้างสูง ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์

เปลี่ยนแปลงไป เช่นความยืดหยุ่น เป็นต้น หรือก็คือพอลิเมอร์เกิดการพองตัวซึ่งมีผลทำให้การแพร่ของสารในเยื่อแผ่นเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ในลักษณะนี้โมเลกุลของของเหลวจะเปรียบเสมือนเป็น "plasticizing agent" การเกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของเหลวกับเยื่อแผ่นที่มีผลให้สมบัติของเยื่อแผ่นเปลี่ยนแปลงไปเรียกว่า "plasticizing effect" โดยปกติผลกระทบของพลาสติกไซซิ่งนี้ทำให้เยื่อแผ่นเกิดการพองตัวซึ่งทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในเยื่อแผ่นสูงขึ้นไปด้วย เนื่องจาก 1. สารพอลิเมอร์จะเคลื่อนไหวหรือหมุนได้อย่างอิสระทำให้พลังงานกระตุ้นของการแพร่ลดลง 2. มีช่องว่างสำหรับการแพร่มากขึ้น และ 3. เยื่อแผ่นจะอึดตัวด้วยของเหลว การแพร่ของสารผ่านของเหลวนี้จะเร็วกว่าการแพร่ผ่านพอลิเมอร์ ในกระบวนการเพอร์เวอเรชันของของเหลวผสม 2 องค์ประกอบ องค์ประกอบ j ที่เพิ่มเข้ามาย่อมมีผลกระทบต่อทั้งค่าการละลายและการแพร่ของสาร i องค์ประกอบ j จะเข้าไปบังและแย่งพื้นที่ในการละลายของสาร i ในเยื่อแผ่น ดังนั้นการละลายขององค์ประกอบของสาร i จึงลดลง สำหรับการแพร่นั้น plasticizing effect จะทำให้การแพร่ของสาร i เพิ่มขึ้นถ้าสาร j เป็นสารที่ทำให้เยื่อแผ่นพองตัว การเกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสาร i และสาร j ในพอลิเมอร์ หรือเรียกว่า coupling effect อาจมีผลทำให้การแพร่ของสาร i เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทั้งนี้เป็นเพราะการเกิด coupling จะทำโมเลกุลใหญ่ขึ้น ดังนั้นโมเลกุลที่เกิด coupling จึงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้ช้าลง แต่ในเยื่อแผ่นที่มีการพองตัวสูงจะมีช่องว่างใหญ่พอที่จะให้โมเลกุลที่เกิด coupling แพร่ผ่านไปได้ ในกรณีนี้จะทำให้การแพร่ของสาร i เพิ่มขึ้น

1.3.1.3 การระเหยของสารจากผิวเยื่อค้ำดันเพอร์มิเอต

เป็นขั้นตอนที่เกิดเร็วเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ จากแบบจำลองของการละลายและการแพร่ความสามารถในการซึมผ่านเป็นผลมาจากความสามารถในการละลายและการแพร่ของสารในเยื่อแผ่นภายใต้แรงขับเนื่องจากเกรเดียนต์ของศักย์ทางเคมีที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับเยื่อแผ่น ของไหลในเยื่อแผ่นจะสมดุลกับของไหลที่สัมผัสเยื่อแผ่น ความเข้มข้นของสารในเยื่อแผ่นจะแปรผันตามศักย์ทางเคมีของสารในของไหลที่อยู่ถัดไป

กระบวนการเพอร์เวอเรชันแตกต่างจากกระบวนการแยกสารด้วยเยื่อแผ่นอื่นๆ คือมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงต้องมีการให้ความร้อนแก่ระบบ พลังงานที่ใช้จะเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการกลายเป็นไอของสารที่แพร่ ซึ่งเป็นการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นแบบไม่มีรูปพุนจึงให้ค่าฟลักซ์ต่ำ แต่ค่าการเลือกของกระบวนการสูง เพราะฉะนั้นเพอร์เวอเรชันจึงถูกนำมาใช้เมื่อการแยกด้วยวิธีอื่นใช้ไม่ได้ผล หรือต้องใช้พลังงานสูง หรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง เช่นการแยกสารอะซิโตนหรือสารที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน เป็นต้น

1.3.2 การประเมินสมรรถนะของระบบเทอร์เวเพอร์เรชัน (12)

การประเมินสมรรถนะของระบบเทอร์เวเพอร์เรชันมีความคล้ายคลึงกับกระบวนการเยื่อแผ่นอื่นๆ คือสามารถประเมินได้จากค่าฟลักซ์และการเลือกผ่าน

1.3.2.1 ฟลักซ์ (flux) ค่าฟลักซ์ขององค์ประกอบ i ผ่านเยื่อแผ่นแบบแน่นสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของฟิกส์ ดังสมการ

$$J_i = -L_i \frac{d\mu_i}{dx} \quad (1.3)$$

เมื่อ i คือ สารที่ผ่านเยื่อแผ่นได้ดีกว่าสารอื่นในของผสม

J_i คือ ฟลักซ์ขององค์ประกอบ i ผ่านเยื่อแผ่น

L_i คือ ค่าคงที่หรือ phenomenological coefficient

μ_i คือ ศักยภาพเคมีขององค์ประกอบ i (chemical potential)

x คือ ระยะทางการแพร่ในเยื่อแผ่น

และ
$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln a_i \quad (1.4)$$

μ_i^0 คือ ศักยภาพเคมีขององค์ประกอบ i ที่ความเข้มข้นต่ำ

a_i คือ แอคติวิตี (activity) = P_i/P_i^0 (1.5)

P_i คือ ความดันย่อยขององค์ประกอบ i

P_i^0 คือ ความดันไออิ่มตัวขององค์ประกอบ i

แทนค่าสมการ 1.4, 1.5 ในสมการ 1.3 จะได้

$$J_i = - \frac{L_i RT}{P_i} \frac{dP_i}{dx} \quad (1.6)$$

ให้ $\bar{P}_i = \frac{L_i RT}{P_i}$ ซึ่งคือสัมประสิทธิ์การซึมผ่านขององค์ประกอบ i

อินทิเกรตสมการที่ 1.6 จะได้

$$J_i = \frac{\bar{P}_i \Delta P_i}{\delta_m} \quad (1.7)$$

เมื่อ δ_m คือ ความหนาของเยื่อแผ่น

กระบวนการเพอร์เวอเรชัน ผลของอันตรกิริยาระหว่างสารกับเยื่อแผ่นค่อนข้างสำคัญ ทำให้ \bar{P}_i จึงขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและอุณหภูมิ สำหรับในกรณีเป็นของผสมสององค์ประกอบจะได้ว่า

$$\bar{P}_i = D_i(c_i^m, c_j^m) S_i(c_i^m, c_j^m) \quad (1.8)$$

เมื่อ S_i คือ สัมประสิทธิ์การกระจายของสาร i

การเกิดอันตรกิริยาในรูปของ coupling และ plasticizing จากสมการที่ 1.7 จะได้

$$J_i = \frac{\bar{P}_i}{\delta_m} (x_i \gamma_i P_i^0 - y_i P_p) \quad (1.9)$$

เมื่อ x_i คือ เศษส่วนโมลของสาร i ในสารป้อน

γ_i คือ สัมประสิทธิ์แอกติวิตี

P_p คือ ความดันรวมด้านเพอร์มิเอต

y_i คือ เศษส่วนโมลของสาร i ด้านเพอร์มิเอต

ถ้าเป็นระบบอุดมคติ (ideal system) สามารถเปลี่ยนสมการ 1.6 และ 1.7 ให้อยู่ในรูปการแพร่ของฟิกส์ ดังนี้

$$J_i = -L_i RT \frac{d \ln a_i}{dx} \quad (1.10)$$

หรือ

$$J_i = -L_i RT \frac{d \ln a_i}{dC_i^m} \frac{dC_i^m}{dx}$$

กำหนดให้

$$D_i(C_i^m) = L_i RT \frac{d \ln a_i}{dC_i^m} \quad (1.11)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad J_i = -D_i(C_i^m) \frac{dC_i^m}{dx} \quad (1.12)$$

โดยที่ D_i คือสัมประสิทธิ์การแพร่ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น เนื่องจากสารอินทรีย์ของเหลวหรือน้ำมันสามารถเกิด plasticization กับเยื่อแผ่นได้ ทำให้เยื่อแผ่นเกิดการพองตัวขึ้น การพองตัวเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ก็จะเกิดการพองตัวมากด้านสารป้อน และลดลงเทียบกับความหนาของเยื่อแผ่นจนมีค่าใกล้เคียงกับค่าการแพร่ของเยื่อ

1.3.2.2 ค่าการเลือกผ่าน (selectivity) ในกระบวนการเพอร์เวพอเรชันความสามารถในการเลือกผ่านนิยามแสดงในรูปของค่าการแยก (separation factor, α) หรืออาจพิจารณาค่า enrichment factor (β) ค่าการแยกคำนวณได้จากส่วนประกอบของสารละลายด้านสารป้อนและด้านเพอร์มิเอต และเป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับหน่วยความเข้มข้น

$$\alpha_{ij} = \frac{(C_{ip}/C_{jp})}{(C_i/C_j)} \quad (1.13)$$

และ $\beta_i = \frac{C_{ip}}{C_{if}}$

เมื่อ i คือ องค์ประกอบของสารป้อนที่ผ่านเยื่อแผ่นได้ดีกว่า

j คือ องค์ประกอบของสารป้อนที่ผ่านเยื่อแผ่นได้น้อยกว่า

ซึ่ง β_i คือ อัตราส่วนความเข้มข้นของสาร i ทางด้านเพอร์มิเอตเทียบกับทางด้านสารป้อนในการแยกสารโดยเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นที่ให้ค่า β_i สูงแสดงว่าเยื่อแผ่นที่ใช้มีประสิทธิภาพในการแยกสารได้ดี เนื่องจากความเข้มข้นของสารที่ต้องการแยกทางด้านเพอร์มิเอตมีค่าสูงกว่าทางด้านสารป้อน

1.3.2.3 Pervaporation separation index (PSI) เนื่องจากฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านเป็นค่าที่แปรผันในทิศทางตรงข้าม คือเมื่อฟลักซ์สูง ค่าการเลือกผ่านจะต่ำ ทำให้ไม่สามารถประเมินสมรรถนะของเพอร์เวพอเรชัน จากค่าฟลักซ์หรือค่าการแยกตัวใดตัวหนึ่งได้ Huang และ Yeom (13) จึงไดเสนอตัวแปรที่รวมทั้งฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านไว้ด้วยกันซึ่งเรียกว่า Pervaporation separation index หรือ PSI

$$\text{โดยที่} \quad PSI = J_i(\alpha_{ij} - 1) \quad (1.14)$$

หน่วยของ PSI นั้นจะขึ้นอยู่กับหน่วยของ J_i ซึ่งเมื่อ $PSI = 0$ แสดงว่า ฟลักซ์ = 0 หรือ ค่าการแยก = 1

1.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการกระทำของกระบวนการเพอร์เวอเรชัน (14)

1.3.3.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี

การดูดซึมของตัวทำละลายจะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน ปริมาณการดูดซึมของตัวทำละลายแต่ละชนิดถูกกำหนดโดยสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์และตัวทำละลาย องค์ประกอบที่มีแรงกระทำต่อสายโซ่พอลิเมอร์สูงจะมีผลทำให้พอลิเมอร์พองตัวได้มาก แต่ถ้าแรงกระทำนี้สูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ พอลิเมอร์ก็จะถูกละลายในตัวทำละลายนั้น การพองตัวมากหรือน้อยของ พอลิเมอร์ขึ้นกับปัจจัยหลัก 2 อย่าง คือ องค์ประกอบเป็นตัวทำละลายที่ดีของพอลิเมอร์หรือไม่ และความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์มีแรงต้านการพองตัวมากหรือน้อย

สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในระบบที่มีตัวทำละลาย 2 ชนิด เขียนได้ในรูป

$$D_i = D_i^0 \exp(k_{ii}C_i^m + k_{ij}C_j^m) \quad (1.15)$$

$$D_j = D_j^0 \exp(k_{jj}C_j^m + k_{ji}C_i^m) \quad (1.16)$$

D_i^0, D_j^0 คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร i และ j เมื่อไม่มีตัวทำละลายในพอลิเมอร์ เป็นฟังก์ชันของโครงสร้างพอลิเมอร์ ขนาดและรูปร่างโมเลกุลที่แพร่ผ่าน

k_{ii}, k_{jj} คือ สัมประสิทธิ์ plasticization ขององค์ประกอบ i และ j ตามลำดับ

k_{ij}, k_{ji} คือ สัมประสิทธิ์ coupling ระหว่าง i และ j และระหว่าง j และ i ตามลำดับ

การซึมผ่านเยื่อแผ่นด้วยอัตราที่ต่างกันของแต่ละองค์ประกอบทำให้เกิดความสามารถในการเลือก ซึ่งอาจเป็นผลจากความแตกต่างของการดูดซึมหรือการแพร่ หรืออาจเกิดจากทั้งสอง ปรากฏการณ์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของระบบ ระบบที่ตัวทำละลายมีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกันการดูดซึมที่ต่างกันจะทำให้เกิด ค่าการเลือก ในขณะที่การแพร่ทำให้เกิดค่าการเลือกเมื่อขนาดและรูปร่างโมเลกุลต่างกันมากๆ

1.3.3.2 ความหนาของเยื่อแผ่น

ฟลักซ์ของสารเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของเยื่อ ดังนั้นเยื่อแผ่นที่บางจึงให้ค่าฟลักซ์สูง อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นที่บางมากจะทำให้ความต้านทานการแพร่ของเยื่อลดลง ตัวทำละลายจะแพร่ออกมาได้มาก เพราะฉะนั้นในระบบสารผสมการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ของทุกองค์ประกอบจึงมีผลทำให้ค่าการเลือกของเยื่อลดลง

1.3.3.3 ความเข้มข้นของสารป้อน

ความเข้มข้นของสารป้อน หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่ซึมผ่านได้มากกว่าซึ่งมีผลโดยตรงต่อการดูดซึมที่ผิวสัมผัสระหว่างเยื่อแผ่นและสารป้อน เมื่อปริมาณขององค์ประกอบที่ถูกดูดซึมได้ง่ายในเยื่อแผ่นมีมากขึ้น เยื่อแผ่นก็จะพองมากขึ้นทำให้พอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ ดังนั้นองค์ประกอบอื่นๆที่ถูกดูดซึมได้ยากกว่าก็จะซึมเข้ามาได้มากขึ้นมีผลทำให้ค่าการเลือกของเยื่อลดลง แต่ถ้าหากความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซึมได้ง่ายต่ำ อัตราการแพร่ต่ำและความเข้มข้นของสารที่ผิวด้านเพอร์มิเทคของเยื่อต่ำ ผิวเยื่อแผ่นจะแห้ง เพราะฉะนั้น โครงสร้างพอลิเมอร์ที่แน่นจึงยอมให้องค์ประกอบที่มีความชอบต่ำซึมผ่านได้ยากมีผลให้ค่าการเลือกของเยื่อสูงขึ้น การเกิดขึ้นขอบเขตที่ผิวเยื่อแผ่น ความเข้มข้นของสารในชั้นขอบเขตจะมีค่าต่างจากความเข้มข้นในของเหลวปรากฏการณ์นี้เรียกว่า คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (concentration polarization) ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ถูกดูดซึมได้ง่ายที่ลดลงในชั้นขอบเขตจะจำกัดการดูดซึมของเยื่อแผ่น แสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การเกิด concentration polarization ทางด้านสารป้อนและเพอร์มิเทค

x_{ir}, C_{ir} คือ ความเข้มข้นในส่วน bulk ของสารป้อน

$x_{ir}^s, C_{ir}^s, x_{ip}^s, C_{ip}^s$ คือ ความเข้มข้นที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารป้อนและด้านเพอร์มิเอตตามลำดับ

x_{ip}, C_{ip} คือ ความเข้มข้นในส่วน bulk ของเพอร์มิเอต

δ_r, δ_p คือ ความหนาของชั้นขอบเขต

1.3.3.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อทุกขั้นตอนการถ่ายเทมวลในกระบวนการเพอร์เวเพอร์ชัน ผลของอุณหภูมิต่อค่าพังก์ชันของการซึมผ่าน สัมประสิทธิ์การแพร่ และสัมประสิทธิ์การกระจาย สามารถเขียนได้ในรูปแบบอาร์เรเนียส (Arrhenius-type)

$$J_i = A_i \exp(E_p/RT) \quad (1.17)$$

เมื่อ A_i คือ ค่าคงที่

E_p คือ พลังงานกระตุ้นปรากฏของการซึมผ่าน

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้พังก์ชันเพิ่มขึ้นและมักทำให้ค่าการเลือกลดลง อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการเพอร์เวเพอร์ชันเป็นอย่างมากเพราะมีการกลายเป็นไอของเพอร์มิเอต พังก์ชันรวมและพังก์ชันของแต่ละองค์ประกอบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการเลือกของเยื่อนั้นขึ้นกับพลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านของสารที่ซึมผ่านเยื่อ ถ้าสารที่ซึมผ่านได้เร็วมีพลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านสูงกว่า ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจึงมีผลทำให้ค่าการเลือกของเยื่อลดลง รัตนจิระรัตนานนท์ (12) กล่าวว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และทำให้ plasticizing effect มีอิทธิพลเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เยื่อแผ่นเกิดการพองตัวมากขึ้นเนื่องจากเยื่อแผ่นสามารถดูดซับสารที่ต้องการแยกได้มากขึ้นทำให้สารแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ดีการเพิ่มของอุณหภูมิทำให้ความสามารถในการเลือกกละลายขององค์ประกอบจากสารป้อนมีค่าลดลง

1.3.3.5 ความดันเพอร์มิเอต

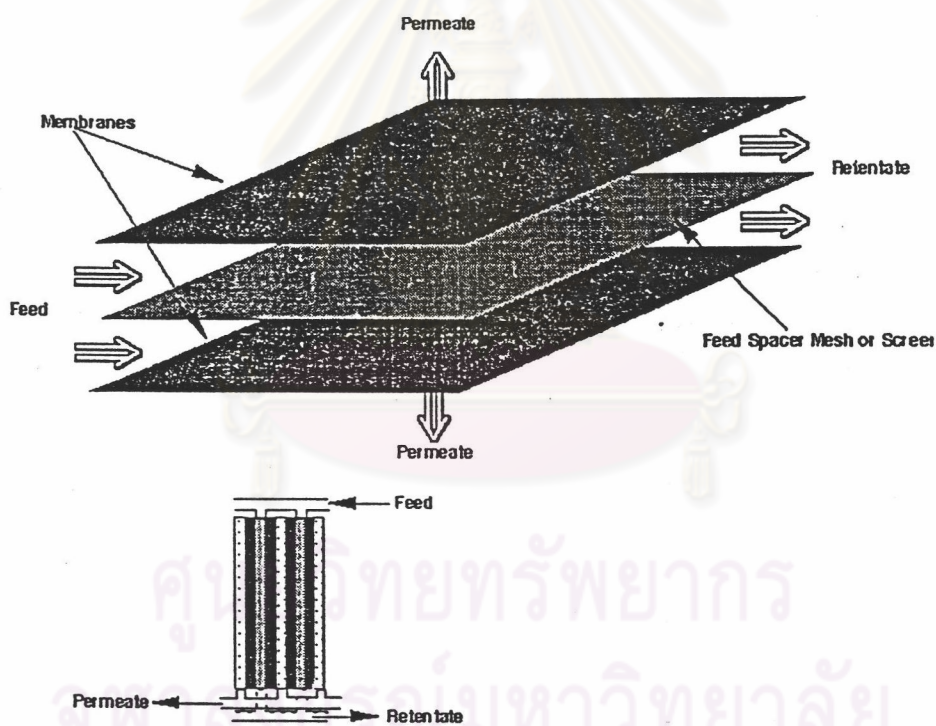
ความดันเพอร์มิเอต คือความดันรวมของไอที่สัมผัสเยื่อแผ่น เป็นผลลัพธ์จากไอของสารที่ซึมผ่านและไอที่ถูกดึงไปยังปั๊มสุญญากาศ การเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตจะไปลดแรงขับของ

การถ่ายเทมวล ดังนั้นฟลักซ์ของสารจึงลดลง การใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีกำลังมากจะทำให้ความดันเพอร์มิเอตมีค่าต่ำ ดังนั้นเยื่อแผ่นด้านเพอร์มิเอตจึงไม่มีการฟองตัวจึงมีผลให้ค่าการเลือกของเยื่อสูงขึ้น

1.4 โมดูลของเยื่อ (Membrane module)

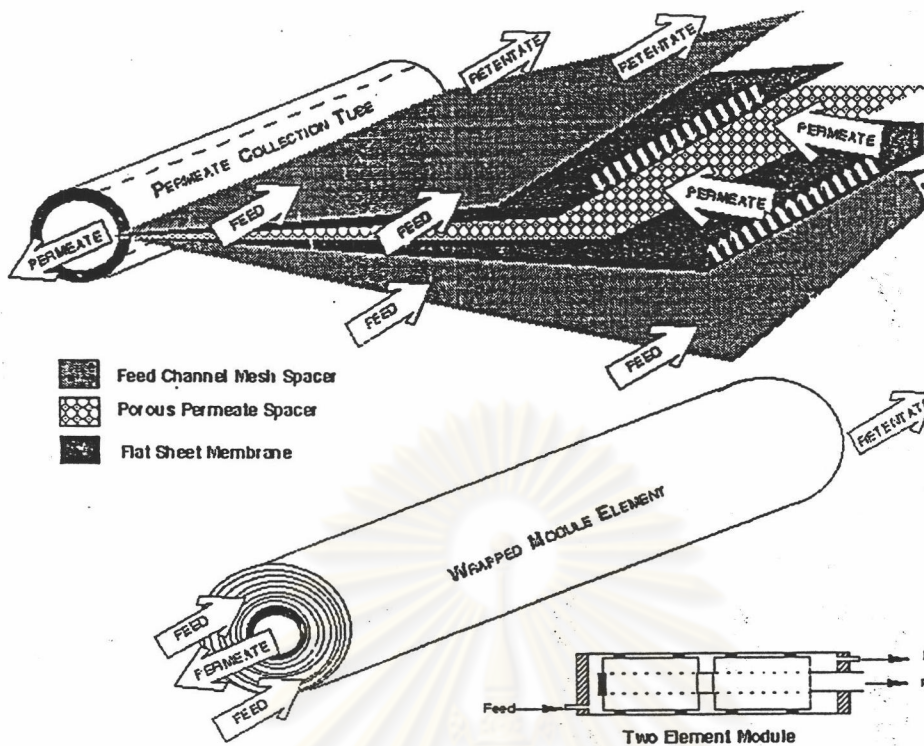
อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุเยื่อแผ่นในกระบวนการพอร์เวอเรชัน คือ โมดูล(module) มี 4 แบบ คือ

1.4.1 โมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบ (Plate and frame membranes module) เยื่อแผ่นที่ใช้กับโมดูลนี้เป็นแผ่นเรียบ การเปลี่ยนเยื่อแผ่นและการทำความสะอาดนั้นทำได้ง่าย การถ่ายเทความร้อนจากสารป้อนไปยังเยื่อแผ่นดี แต่โมดูลประเภทนี้ให้พื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรค่อนข้างต่ำ และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลรักษาสูง (รูปที่ 1.5)



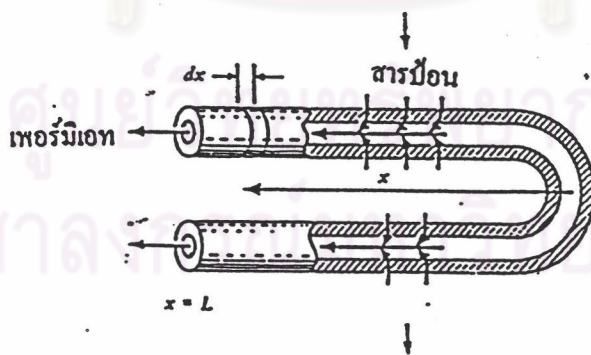
รูปที่ 1.5 โมดูลแบบเรียบและกรอบ (2)

1.4.2 โมดูลแบบม้วน (Spiral wound membranes module) รูปของโมดูลแสดงในรูปที่ 1.6 เยื่อแผ่นและชั้นรองรับที่วางซ้อนกันถูกม้วนรอบท่อกลางบรรจุภายในภาชนะทรงกระบอก โมดูลประเภทนี้ให้พื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรค่อนข้างสูงและค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก



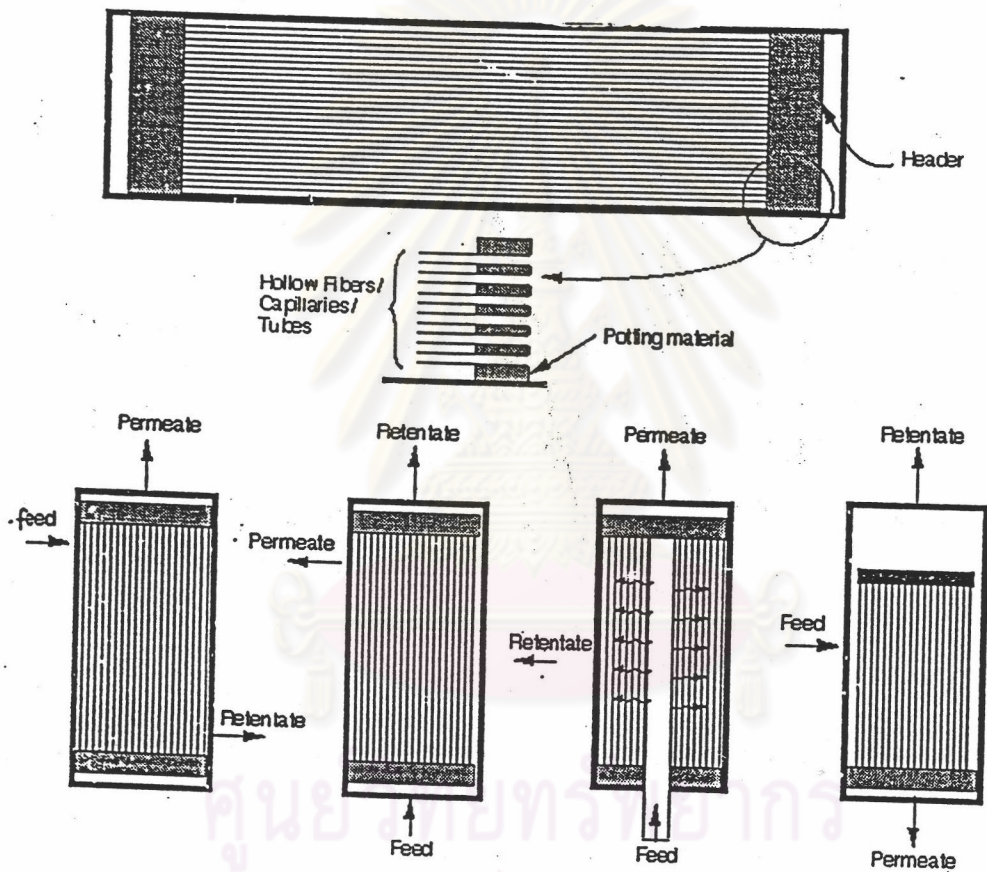
รูปที่ 1.6 โมดูลแบบม้วน (2)

1.4.3 โมดูลแบบเส้นใยกลวง เส้นใยขนาดเล็กมากประมาณ 100 นาโนเมตร และแข็งแรงมากจึงไม่ต้องใช้โครงรับ ชั้นเยื่อแผ่นที่ไม่มีรูพรุนซึ่งอยู่ภายนอกเส้นใยจะถูกมัดรวมกันและงอเป็นรูปเกือกม้าบรรจุอยู่ภายในท่อทรงกระบอก พื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรของโมดูลประเภทนี้สูงมาก รูปของโมดูลแสดงดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (2)

1.4.4 โมดูลแบบท่อ (Hollow fiber/capillary membranes module) ประกอบด้วยท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 1-2 มิลลิเมตร มีชั้นรองรับที่แข็งแรงอาจมีเพียงท่อเดียวหรือหลายท่อภายในภาชนะ โมดูลประเภทนี้เหมาะสำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูง (รูปที่ 1.8) และในตารางที่ 1.3 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบ โมดูลของเยื่อในแต่ละแบบ



รูปที่ 1.8 โมดูลแบบท่อ (2)

ตารางที่ 1.3 ข้อเปรียบเทียบสำหรับโมดูลของเยื่อในแต่ละแบบ (14)

Characteristic	plate and frame	spiral wound	tubular	hollow fiber
Representative packing	500	800	70	6000
Density (m^2/m^3)				
Capital cost	high	med-high	high	low
Fouling tendency	low to moderate	med-high	low	high
Ease of cleaning	well	poor to good	good to excellent	poor
Membrane replacement (yes/no)	yes	no	sometimes	no
Operation cost	high	moderate	high	low
Feed stream prefiltration	yes	yes	no	yes

1.5 การผลิตเยื่อแผ่นเพื่อใช้ในการแยกสาร (15,16)

เมื่อพิจารณารูปแบบการแยกโดยผ่านเยื่อสามารถแบ่งการแยกของเยื่อออกเป็น 2 รูปแบบอย่าง
หายาก คือ

1. การแยกซึ่งเกิดจากความแตกต่างของน้ำหนักหรือรูปร่างของเพอร์มิเอต มีผลทำให้เกิดความ
แตกต่างของค่าคงที่ของการแพร่ของสารแต่ละตัว
2. การแยกซึ่งเกิดจากความแตกต่างของธรรมชาติทางเคมีของสารแต่ละชนิด ดังนั้นการแยกใน
ลักษณะนี้จึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของการเกิดแรงกระทำระหว่างสารแต่ละชนิดกับเยื่อแผ่น (17)

เยื่อแผ่นพอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการเพอร์เมอชันแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ (18)
ประเภทแรกคือ พอลิเมอร์คล้ายแก้ว (glassy polymer membrane) ซึ่งมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้าย
แก้ว (glass transition temperature, T_g) สูงกว่าอุณหภูมิใช้งานเป็นเยื่อแผ่นที่มักยอมให้น้ำผ่านได้มาก
กว่าสารอินทรีย์ ประเภทที่สองคือพอลิเมอร์พวกยาง (rubbery polymer membrane) ซึ่งมีอุณหภูมิ

เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน สายโซ่พอลิเมอร์มีกลุ่มข้างเคียงขนาดเล็ก (side group) และไม่มีขั้วเป็นผลให้มีโครงสร้างที่ยืดหยุ่น พอลิเมอร์ประเภทนี้ชอบที่จะแยกสารประกอบอินทรีย์ ออกจากน้ำ อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของ polyacetylene บางจำพวกซึ่งเป็นพอลิเมอร์คล้ายแก้ว กลับชอบที่จะให้สารประกอบอินทรีย์ผ่านมากกว่าน้ำ (19) หรือ poly(1-trimethylsilyl)-1-propene (PTMSP) กลับชอบให้แอลกอฮอล์ผ่านมากกว่า poly(dimethylsiloxane) (PDMS) ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นที่ชอบสารประกอบอินทรีย์ ดังนั้นการแยกสารผสมอินทรีย์จึงไม่มีความชัดเจนว่าพอลิเมอร์คล้ายแก้วหรือพวกอื่นมีความเหมาะสมมากกว่ากัน และพอลิเมอร์ประเภทสุดท้ายคือ พอลิเมอร์ที่มีประจุ (ionic polymer membrane) เยื่อแผ่นประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ เยื่อแผ่นที่มีประจุบวก (cationic membrane) และเยื่อแผ่นที่มีประจุลบ (anionic membrane) โดยทั่วไปเยื่อแผ่นประเภทนี้มักจะชอบน้ำ และพบว่า ionic polysaccharide เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงในการนำมาทำเป็นเยื่อแผ่นที่ใช้ในการทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์โดยการแยกน้ำออก (dehydration membrane) ในตารางที่ 1.4 จะแสดงตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการเพอร์เวเอพอเรชัน

ตารางที่ 1.4 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการเพอร์เวเอพอเรชัน (11)

Dehydration of organics Water/ethanol Water/isopropanol Water/glycol etc.	Microporous polyacrylonitrile coated with a 5-to20- μ m layer of crosslinked poly (vinyl alcohol) is the most commonly used commercial material.(20) Chitosan (21) and polyelectrolyte membranes such as Nafion (22,23) have equivalent properties.
--	---

Volatile organic component (VOC) /water separation

Toluene/water	Membranes comprising silicone rubber coated onto polyimides,
Trichloroethylene/water	polyacrylonitrile, or other microporous support membranes are widely used.(24) Other rubbers such as ethylene-propylene Methylene chloride/water terpolymers have been reported to have good properties also.(25) Polyamide-polyether block copolymers have also been used for pervaporation of some polar VOCs. (26-27)

Organic/organic separation The membrane used depends on the nature of the organics. Poly(vinyl alcohol) and cellulose acetate have been used to separate alcohols from ethers. Polyurethane-polyimide block copolymers have been used for aromatic/aliphatic separations. (28)

1.6 เยื่อแผ่นแอลจีเนต (Alginate membranes)

เป็นที่ทราบกันดีว่าพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymers) จะถูกเลือกมาทำเป็นเยื่อแผ่นสำหรับการทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ในกระบวนการเพอร์แควเพอร์ชัน ทั้งนี้เป็นเพราะโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปในเยื่อแผ่นประเภทนี้ได้ง่าย ในกลุ่มเยื่อแผ่นที่ชอบน้ำด้วยกัน ได้มีรายงานว่าเยื่อแผ่นแอลจีเนตมีศักยภาพสูงที่สุดในการแยกน้ำออกจากของผสมเอทานอล-น้ำ (29, 30) ศักยภาพของเยื่อแผ่นแอลจีเนตสูงกว่าโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) (30), ion exchange resin (31) และโพลีแซกคาไรด์ตัวอื่นๆที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกันเช่นไคโตแซน (chitosan) และเซลลูโลส (cellulose) (32) ในงานวิจัยของ Mochizuki และคณะ (29) พบว่าเยื่อแผ่นแอลจีเนตให้ค่าการเลือกสูงกว่า 10,000 ปัจจุบันมีการวิจัยนำเยื่อแผ่นแอลจีเนตมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มฟลักซ์และค่าการเลือกของเยื่อให้มากขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Yeom และ Lee ในปี 1998 (33) ได้ทำการบ่มผสมระหว่างโซเดียมแอลจีเนต และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้เยื่อแผ่นที่ค่าฟลักซ์สูงขึ้น และในปีเดียวกัน Yeom และ Lee (34) ได้นำโซเดียมแอลจีเนตเนตมาเชื่อมโยงโครงสร้าง (crosslink) กับกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและค่าการเลือกให้กับเยื่อแผ่นในการแยกสารละลายผสมเอทานอล-น้ำมากขึ้น เป็นต้น

1.7 เยื่อแผ่นสมมาตร/ไม่สมมาตร (Symmetric/Asymmetric membrane) (35)

ในการพัฒนาเยื่อแผ่นเพื่อให้ได้ค่าฟลักซ์สูงๆ มักจะทำให้เยื่อแผ่นมีโครงสร้างไม่สมมาตรเพื่อที่จะลด effective thickness ของเยื่อ การทำเยื่อแผ่นให้มีโครงสร้างสมมาตรหรือไม่สมมาตรนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต เยื่อแผ่นสมมาตรจะมีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา ในทางตรงกันข้ามเยื่อแผ่นไม่สมมาตรจะประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นกว่าชั้นล่าง โดยที่ชั้นผิวทำหน้าที่กักกันสาร ส่วนชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง สำหรับเยื่อแผ่นไม่สมมาตรอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1.7.1 เยื่อแผ่นมีชั้นผิว (skinned membrane) เป็นเยื่อแผ่นที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน

1.7.2 เยื่อแผ่นเชิงประกอบ (composite membrane) ชั้นผิวกับชั้นล่างของเยื่อแผ่นลักษณะนี้จะเป็นวัสดุคนละชนิดกัน โดยชั้นล่างเป็นชั้นรองรับ และมีการสร้างชั้นผิวบนชั้นรองรับ ในปัจจุบัน การเคลือบสารละลายพอลิเมอร์โดยตรงลงบนชั้นรองรับเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตเยื่อแผ่นเชิงประกอบ

1.8 มุลเหตุในการทำวิจัย

เอทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ยิ่งในอุตสาหกรรมอาหาร, ยา, เคมี และเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในยานยนต์ ปัจจุบันสามารถเติม near-anhydrous bioethanol ลงในน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 10% โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด ในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน คือ การเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลด้วยกระบวนการเพอร์แควเพอเรชัน เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้พลังงานต่ำ ภาวะในการดำเนินงานไม่รุนแรงและอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยาก ต้องการพื้นที่น้อยสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นได้ เช่น ใช้ร่วมกับการกลั่น นอกจากนี้กระบวนการเพอร์แควเพอเรชันเป็นกระบวนการที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ อย่างไรก็ตามก็ดีเยื่อแผ่นที่ใช้ในกระบวนการจะเป็นตัวควบคุมประสิทธิภาพการแยก การเลือกชนิดของเยื่อแผ่น และภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแยกของกระบวนการได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ โดยการแปรความดันเพอร์มิเอต, อุณหภูมิ และความหนาของชั้นแอลจีเนตที่เคลือบบนเซลโลเฟน รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเพอร์แควเพอเรชันของเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และศึกษาสมบัติของเยื่อแผ่นที่ผลิตได้

1.9 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

1.9.1 สร้างโมดูลเยื่อแผ่นเพื่อใช้ในงานวิจัย

1.9.2 แปรความดันเพอร์มิเอต, อุณหภูมิ และความหนาของชั้นแอลจีเนตที่เคลือบบนเซลโลเฟน เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดในการแยกเอทานอล 95% โดยปริมาตร

1.9.3 แปรเวลาและความเข้มข้นของเอทานอลเพื่อใช้ในการเก็บรักษาเยื่อแผ่นที่ผลิตได้

1.9.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทดลอง (operation time) และ ความมีอายุของเยื่อแผ่น (membrane aging)

1.9.5 นำเยื่อแผ่นที่ผ่านการใช้งานแล้วมาแช่ในเอทานอลสัมบูรณ์เป็นเวลาต่างๆ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ศึกษาผลการแยกของเยื่อแผ่นที่ได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย