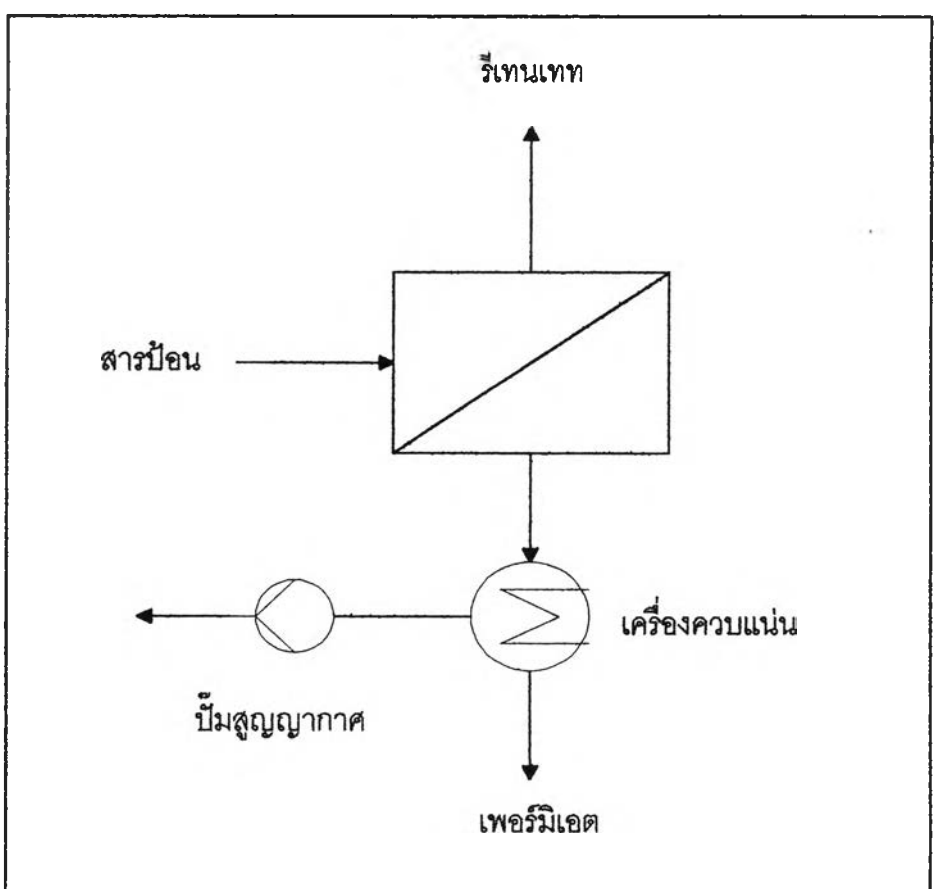


บทที่ 3

ทฤษฎีกระบวนการเพอร์เวแพเรชัน(Pervaporation)

กระบวนการเพอร์เวแพเรชันเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารจากสารป้อนที่เป็นของเหลวผ่านเยื่อ
แผ่นพอลิเมอร์ที่ไม่มีรูพรุน ประกอบด้วยสายป้อน สายขาออกและอีกด้านหนึ่งของเยื่อแผ่นมีความดัน
เป็นสุญญากาศ โดยสารที่ผ่านเยื่อแผ่น(สายเพอร์มิเอต)จะถูกดึงออกจากเยื่อแผ่นในสถานะไอแล้วถูก
ทำให้ควบแน่นเป็นของเหลวด้วยเครื่องควบแน่นดังแสดงในรูปที่ 3.1



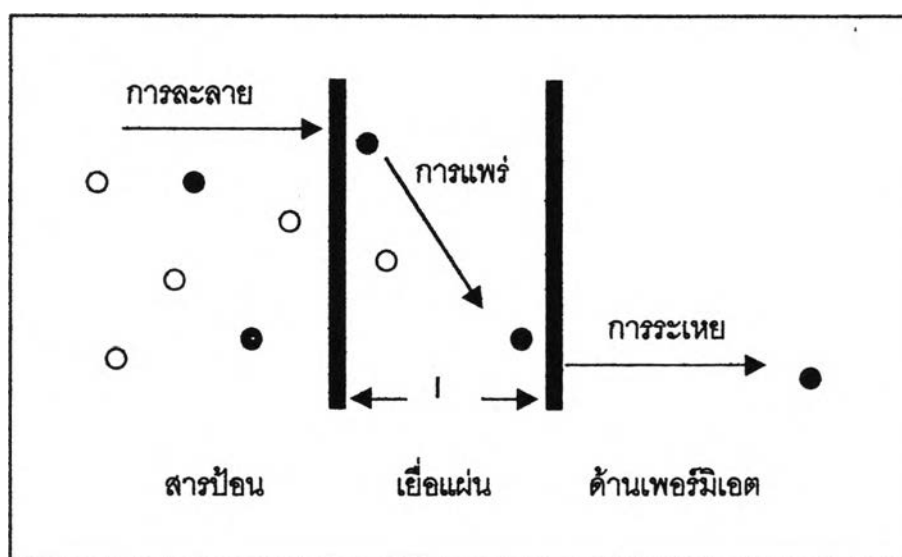
รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการเพอร์เวแพเรชัน

การถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของศักย์ทางเคมีระหว่างสายป้อนและด้านเพอร์มิเอต ซึ่งก็คือการทำให้ความดันย่อยของสารในด้านเพอร์มิเอตต่ำกว่าความดันไอทางสายป้อน โดยการลดความดันด้านเพอร์มิเอต โดยทั่วไปมีสองวิธีคือการทำให้เกิดภาวะสูญญากาศหรือ ใช้ก๊าซเป็นตัวพา

3.1 กลไกการถ่ายเทมวลสาร

การถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อแผ่นที่ไม่มีรูพรุนในกระบวนการเพอร์เมอเรชัน สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองการละลาย-การแพร่ (Solution-diffusion model) ซึ่งประกอบด้วยสามขั้นตอนดังนี้

1. การละลายหรือดูดซับของสารผสมในสายป้อนเข้าสู่เยื่อแผ่น
2. การแพร่ของสารละลายผ่านเยื่อแผ่น
3. การระเหยของสารจากเยื่อแผ่นด้านเพอร์มิเอต



รูปที่ 3.2 แสดงกลไกการละลาย-การแพร่ (Solution-Diffusion model)

ในกระบวนการเพอร์เมอเรชัน

การละลายหรือการดูดซับของสารผสมในสารป้อนเข้าสู่เยื่อแผ่นขึ้นอยู่กับแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับโมเลกุลของเยื่อแผ่น ตัวทำละลายที่มีแรงกระทำกับพอลิเมอร์สูงกว่าจะถูกดูดซับในพอลิเมอร์ได้ดีกว่า การละลายของพอลิเมอร์มีสองลักษณะดังนี้(5) ลักษณะแรกเมื่อแรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์มีน้อยกว่าแรงดึงดูดของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ โมเลกุลของตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไปในพอลิเมอร์ ทำให้ขนาดของพอลิเมอร์ใหญ่ขึ้น มีลักษณะของตัวขึ้นลักษณะที่สองคือเมื่อแรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์มีมากกว่าแรงดึงดูดของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้เกิดการละลายที่สมบูรณ์

สำหรับการดูดซับในกระบวนการเพอร์เมอเรชันเป็นการละลายแบบพองตัว โดยบริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารป้อนและเยื่อแผ่นมีการพองตัวมากที่สุดและค่อยๆลดลงตามความหนาของเยื่อแผ่นจนกระทั่งถือว่าไม่มีการพองตัวเลยที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นด้านเพอร์มิเอต

การพองตัวของพอลิเมอร์โครงร่างตาข่าย เมื่อโมเลกุลของตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไปในพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์จะถูกยืดออกจนถึงจุดสมดุล สามารถหาดีกรีการพองตัวของพอลิเมอร์ (D_s) ได้จากสมการที่ 3.1 (15)

$$D_s = \frac{W_m}{D_m} \times 100 \quad 3.1$$

เมื่อ D_s คือดีกรีการพองตัวของพอลิเมอร์ (%)

W_m คือน้ำหนักของเยื่อแผ่นที่พองตัวเต็มที่ในสารละลาย

D_m คือน้ำหนักของเยื่อแผ่นขณะที่แห้ง

สำหรับการแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่นมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของโมเลกุลของสาร โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลหรือขนาดเล็กกว่าจะมีความสามารถในการแพร่ได้ดีกว่า นอกจากนี้แล้วการดูดซับและการแพร่ยังมีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยเมื่อเยื่อแผ่นมีการดูดซับสารและมีการพองตัว ซึ่งก็คือ

การเกิดแรงกระทำระหว่างสารละลายและเยื่อแผ่น จะมีผลให้ความสามารถในการแพร่ของสารในเยื่อแผ่นเปลี่ยนแปลงไป โดยมากจะทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในเยื่อแผ่นสูงขึ้นเนื่องจากพอลิเมอร์มีการเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระทำให้พลังงานที่ใช้ในการแพร่ของสารลดลงและการพองตัวของพอลิเมอร์ทำให้มีช่องว่างสำหรับการแพร่เพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า Plasticizing effect

การเกิดแรงกระทำระหว่างกันของโมเลกุลแต่ละชนิดในสารละลายจะมีผลต่อค่าการแพร่ของสาร ซึ่งเรียกว่า Coupling effect เนื่องจากการเกิด coupling ทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงมีความสามารถในการแพร่ลดลง ในกรณีที่เยื่อแผ่นมีการพองตัวสูงและมีช่องว่างใหญ่พอที่โมเลกุล coupling แพร่ผ่านได้ จะทำให้โมเลกุลที่มีความสามารถในการแพร่น้อยกว่าสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าการเลือกสารผ่านเยื่อแผ่นลดลง

ความสามารถในการซึมผ่านเป็นผลมาจากความสามารถในการละลายและการแพร่ของสารในเยื่อแผ่นภายใต้แรงขับเคลื่อนเนื่องจากความแตกต่างของศักย์ทางเคมีที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับเยื่อแผ่น โดยที่ของไหลในเยื่อแผ่นจะสมดุลกับของไหลที่สัมผัสเยื่อแผ่น เกรเดียนของศักย์ทางเคมีและความดันในเยื่อแผ่นแสดงในรูปที่ 3.3

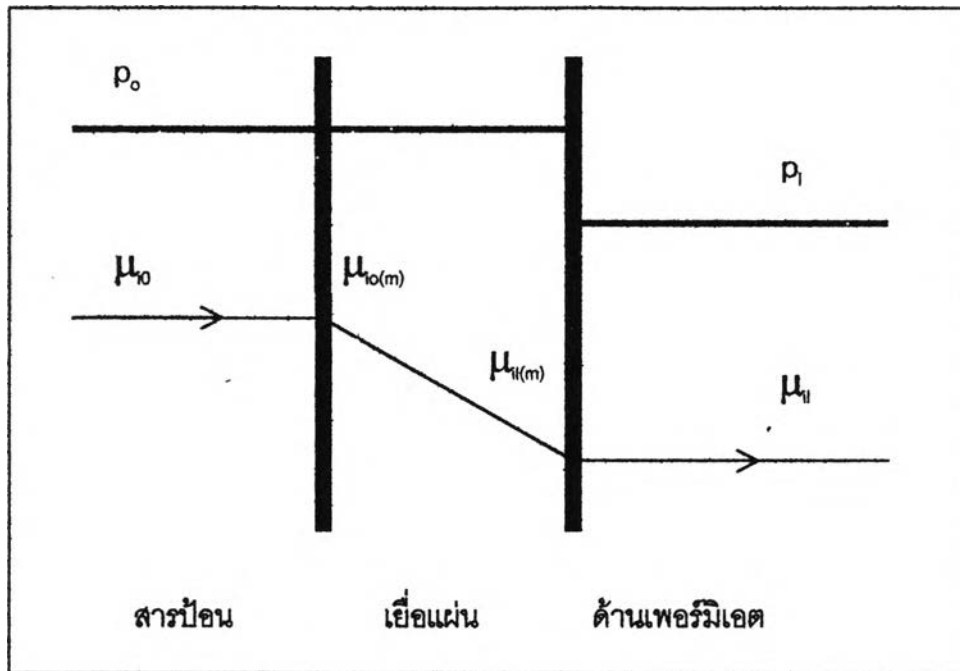
เกรเดียนของศักย์ทางเคมีที่เป็นแรงขับเคลื่อน(driving force) ให้เกิดการถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อแผ่น ในกระบวนการเพอร์เมอเรนสามารถแสดงได้ดังนี้(28,29)

$$\nabla \mu_i = RT \ln a_i + v_i \nabla p \quad 3.2$$

เมื่อ μ_i คือศักย์ทางเคมีของสาร i

v_i คือปริมาตรเชิงโมล

a_i คือแอกติวิตี(activity)ของสาร i



รูปที่ 3.3 แสดงเกรเดียนของศักย์ทางเคมี(μ)และความดัน(p) ในเยื่อแผ่น

∇p คือความแตกต่างของความดันคร่อมเยื่อแผ่น โดยสมมุติว่าความดันในเยื่อแผ่นมีค่าเท่ากับความดันในสายป้อนและเกิดความดันลดที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่นด้านเพอร์มิเอต

อินทิเกรตสมการที่ 3.2

$$\mu_i = \mu_i^{\circ} + RT \ln a_i + \int_{p_{ref}}^p v_i dp \quad 3.3$$

เมื่อ μ_i° คือศักย์ทางเคมีของสาร i ที่ความดันอ้างอิงซึ่งในที่นี้คือความดันไออิ่มตัวของสาร i

(saturation vapor pressure, $p_{i,sat}$)

เนื่องจากสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ผิวสัมผัสทั้งสองด้านของเยื่อแผ่นจะได้ว่า

$$\mu_{i_o} = \mu_{i_o(m)} \quad 3.4$$

$$\mu_{iI(m)} = \mu_{ii} \quad 3.5$$

สัญลักษณ์ i_0 คือสารละลายในสายป้อน, $i_0(m)$ คือสารละลายที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน, $iI(m)$ คือสารละลายที่ผิวสัมผัสเยื่อแผ่นและด้านเพอร์มิเอต, ii คือสารละลายในด้านเพอร์มิเอต

พิจารณาที่บริเวณผิวสัมผัสสารป้อนและเยื่อแผ่น ในบริเวณนี้สารอยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งปริมาตรเชิงโมลไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความดัน ของระบบและความดันไอในเยื่อแผ่นมีค่าเท่ากับ ความดันไอในสายป้อน แทนค่าสมการ 3.3 ในสมการ 3.4. ตามเงื่อนไขดังกล่าว

$$\mu_i^0 + RT \ln a_{i_0} + v_i(p_0 - p_{i,sat}) = \mu_i^0 + RT \ln a_{i_0(m)} + v_i(p_0 - p_{i,sat}) \quad 3.6$$

$$\text{ดังนั้น } a_{i_0} = a_{i_0(m)} \quad 3.7$$

แอกติวิตีของสาร i คือผลคูณของแอกติวิตี โคอิฟิเชียน(activity coefficient, γ) และความเข้มข้น

(c) ดังนั้นจากสมการที่ 3.7 จะได้ว่า

$$C_{i_0(m)} = \frac{\gamma_{i_0}}{\gamma_{i_0(m)}} C_{i_0} \quad 3.8$$

นิยาม liquid phase sorption coefficient(K_i) ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแอกติวิตีโคอิฟิเชียนในสมการด้านบน ในบางงานวิจัยอาจจะเรียก K_i ว่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว(Distribution coefficient)

$$C_{i_0(m)} = K_i C_{i_0} \quad 3.9$$

เมื่อ $C_{i_0(m)}$ คือความเข้มข้นของสาร i ในเยื่อแผ่น

C_{i_0} คือความเข้มข้นของสาร i ในของเหลวที่สัมผัสเยื่อแผ่น

พิจารณาที่บริเวณผิวสัมผัสเยื่อแผ่นและด้านเพอร์มิเอต เนื่องจากสารในด้านเพอร์มิเอตอยู่ในสถานะก๊าซ ซึ่งปริมาตรเชิงโมลจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงความดันของระบบ ตามกฎของก๊าซสมบูรณ์(Ideal gas law) แทนค่าสมการ 3.3 ในสมการ 3.5 ตามเงื่อนไขข้างต้นจะได้ว่า

$$\mu_i^o + RT \ln a_{i(m)} + v_i(p_o - p_{i,sat}) = \mu_i^o + RT \ln a_{ii} + RT \ln \left(\frac{p_i}{p_{i,sat}} \right) \quad 3.10$$

จัดรูปสมการที่(3.10)

$$c_{i(m)} = \frac{\gamma_{ii}}{\gamma_{i(m)}} \frac{p_i}{p_{i,sat}} c_{ii} \exp \left[\frac{-v_i(p_o - p_{i,sat})}{RT} \right] \quad 3.11$$

เนื่องจาก v_i ในสมการด้านบนคือปริมาตรเชิงโมลของสารในสถานะของเหลวในเยื่อแผ่นซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้นเทอมเอกโปเนนเชียลในสมการที่ 3.11 จึงมีค่าประมาณ 1.

$$c_{i(m)} = \frac{\gamma_{ii}}{\gamma_{i(m)}} \frac{p_i}{p_{i,sat}} c_{ii} \quad 3.12$$

ความดันย่อยขององค์ประกอบทางด้านเพอร์มิเอตแสดงได้ดังสมการที่ 3.13

$$p_{ii} = c_{ii} p_i \quad 3.13$$

เมื่อ p_{ii} คือความดันย่อยของสาร i ในด้านเพอร์มิเอต

p_i คือความดันด้านเพอร์มิเอต

แทนค่าสมการ 3.13 ในสมการ 3.12

$$c_{i(m)} = \left(\frac{\gamma_{ii}}{\gamma_{i(m)} p_{i,sat}} \right) p_{ii} = K_i^G p_{ii} \quad 3.14$$

เมื่อ K_i^G คือ gas phase sorption coefficient

ความสัมพันธ์เมื่อของเหลวและก๊าซอยู่ในสภาวะสมดุล แสดงได้ดังนี้

$$\mu_i^o + RT \ln \gamma_{io}^L c_{io}^L + v_i (p_o - p_{i,sat}) = \mu_i^o + RT \ln \gamma_{io}^G c_{io}^G + RT \ln \left(\frac{p_o}{p_{i,sat}} \right) \quad 3.15$$

จากสมการ 3.15 จะได้ว่า

$$c_{io}^L = \left(\frac{\gamma_{io}^G}{\gamma_{io}^L p_{i,sat}} \right) p_{io} = \frac{p_{io}}{H_i} \quad 3.16$$

เมื่อ H_i คือ Henry's law coefficient

แทนค่าสมการ 3.16 ในสมการ 3.8 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร i ในผิวสัมผัสเยื่อแผ่น-สารป้อน และความดันไอของสาร i ในสารป้อน

$$c_{io(m)} = \frac{\gamma_{io}^G}{\gamma_{io(m)} p_{i,sat}} p_{io} = K_i^G p_{io} \quad 3.17$$

จากกฎของฟิคส์(Fick's law)

$$J_i = -D_i \frac{dc_i}{dx} \quad 3.18$$

เมื่อ D_i คือสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่น

(dc/dx) คือเกรเดียนต์เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้น

อินทิเกรตสมการ 3.18 ตลอดความหนาของเยื่อแผ่น l จะได้ว่า

$$J_i = D_i \frac{(c_{io(m)} - c_{ii(m)})}{l} \quad 3.19$$

แทนค่า $c_{io(m)}$ และ $c_{i(m)}$ จากสมการ 3.17 และ 3.14 ลงในสมการ 3.19 จะได้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์

ซึ่งอยู่ในเทอมของความแตกต่างของความดันไอของสาร

$$J_i = \frac{D_i K_i^G}{l} (p_{io} - p_{ii}) \quad 3.20$$

นิยามค่าการซึมผ่าน (Permeability) ของสาร i ในสถานะก๊าซ, $P_i^G = DK_i^G$

$$J_i = \frac{P_i^G}{l} (p_{io} - p_{ii}) \quad 3.21$$

เนื่องจากสาร i ในด้านสายป้อนอยู่ในสถานะของเหลว ดังนั้นแทน P_{io} ด้วย c_{io} โดยใช้ความสัมพันธ์

ตามสมการที่ 3.16

$$J_i = \frac{P_i^G}{l} (c_{io} H_i - p_{ii}) \quad 3.22$$

จากสมการ 3.9, 3.16 และ 3.17 จะได้ว่า

$$K_i = K_i^G H_i \quad 3.23$$

$$P_i = P_i^G H_i \quad 3.24$$

เมื่อ P_i คือค่าการซึมผ่านของสาร i ในสถานะของเหลว, $P_i = DK_i$

สามารถเขียนสมการ 3.22 ได้ใหม่ดังนี้

$$J_i = \frac{P_i}{l} \left(c_{io} - \frac{p_{ii}}{H_i} \right) \quad 3.25$$

สมการที่ 3.25 แสดงให้เห็นว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารขึ้นอยู่กับค่าการซึมผ่านของสาร ซึ่ง

ก็คือความสามารถในการละลายและการแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่น ความหนาของเยื่อแผ่น ความเข้มข้น

ของสารที่มีความสามารถในการซึมผ่านได้มากกว่าในสายป้อนและความดันไอของสารทางด้าน

เพอร์มิเอต

3.2 ประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

การพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน นอกจากค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์แล้วยัง

ต้องพิจารณาค่าการเลือกสารของเยื่อแผ่น (Selectivity, α) ด้วย ดังแสดงในสมการที่ 3.26

$$\alpha = \frac{(C_{A1}/C_{B1})}{(C_{A0}/C_{B0})} = \frac{C_1(1 - C_o)}{C_o(1 - C_1)} \quad 3.26$$

เมื่อ $C_{A0}, C_{B0}, C_{A1}, C_{B1}$ คือความเข้มข้นโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ A และ B ในสายป้อนและสายเพอร์มิเอตของระบบสารผสมสองชนิดตามลำดับ โดย A เป็นองค์ประกอบที่มีความสามารถในการเพอร์มิเอตได้ดีกว่า C_o และ C_1 คืออัตราส่วนโดยมวลของสารที่เพอร์มิเอตผ่านเยื่อแผ่นได้ดีกว่าในสายป้อนและสายเพอร์มิเอตตามลำดับ โดย $C_o = C_{A0}/(C_{A0} + C_{B0})$

เมื่อ α มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าไม่มีการแยกของสารในระบบ และเมื่อ α มีค่าสูงแสดงว่ามีการเลือกสารผ่านเยื่อแผ่นได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาการเลือกสารของเยื่อแผ่นได้ในเทอมของ Enrichment factor, β ดังสมการที่ 3.27 (19)

$$\beta = C_{A1}/C_{A0} \quad 3.27$$

ซึ่ง β คืออัตราส่วนของสาร A ในสายเพอร์มิเอตต่อสายป้อน หาก β มีค่าสูงแสดงว่าเยื่อแผ่นที่ใช้มีประสิทธิภาพในการแยกสารดี ค่า α เป็นที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติมากกว่าค่า β

Huang และ Yeom (1990) ได้นิยาม Pervaporation Separation Index (PSI) ดังสมการที่ 3.28 เป็นดัชนีที่ใช้เป็นแนวทางในการเลือกเยื่อแผ่นที่มีความเหมาะสม(optimum)ระหว่างเพอร์มิเอชันฟลักซ์ (J)และค่าการเลือกสารของเยื่อแผ่น(α) สำหรับใช้ในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

$$PSI = J^* \alpha \quad 3.28$$

3.3 เยื่อแผ่นและโมดูล(17,30)

ลักษณะของเยื่อแผ่นสำหรับใช้ในกระบวนการเพอร์เวเพอร์เรชั่นที่เป็นที่ต้องการในทางอุตสาหกรรมคือมีความคงตัว มีค่าการเลือกสารของเยื่อแผ่นและฟลักซ์สูง

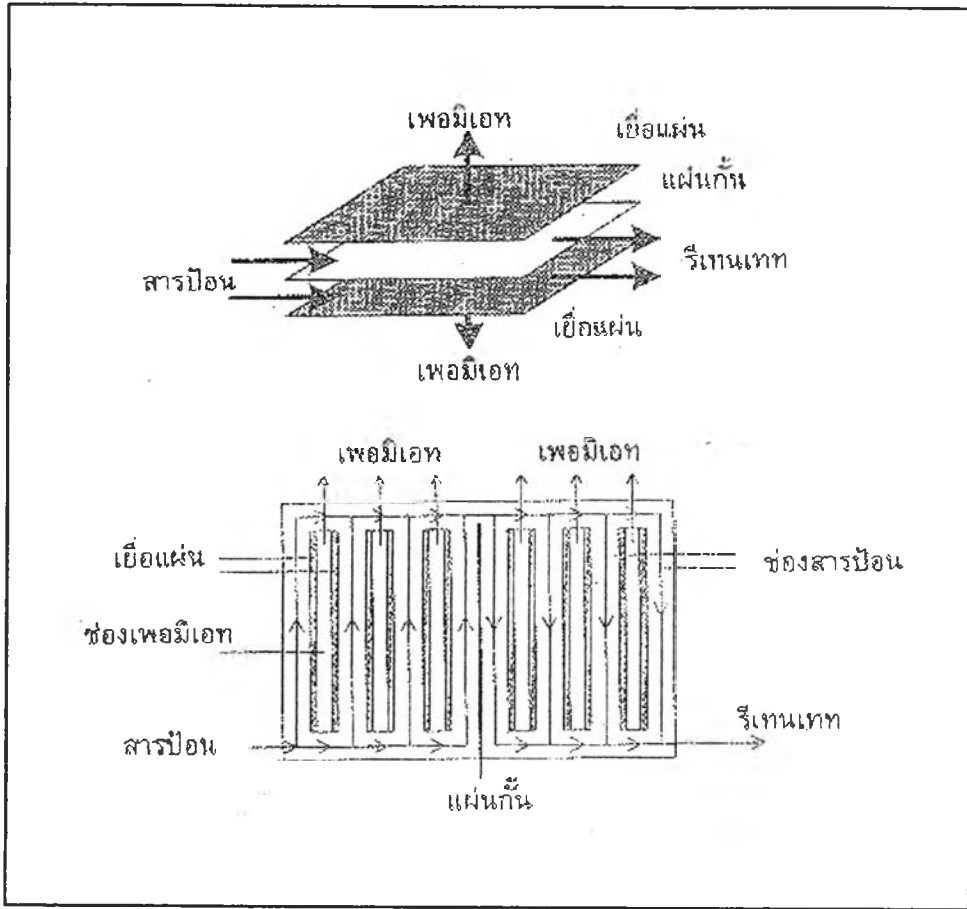
อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุเยื่อแผ่นในกระบวนการแยกคือโมดูล(module) หลักการในการออกแบบโมดูลคือพยายามให้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลรักษาต่ำ มีพื้นที่ถ่ายเทมวลต่อหน่วยปริมาตรสูง ควรลดการเกิดฟาวลิง(fouling)และคอนเซนเตรชันโพราไรเซชันทางสายป้อนซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลสารและความร้อน มีการออกแบบอุปกรณ์ที่มีรูปร่างต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบคือ แบบแผ่นเรียบและกรอบ แบบม้วน แบบท่อและแบบเส้นใยกลวง

3.3.1 โมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบ(Plate and frame)

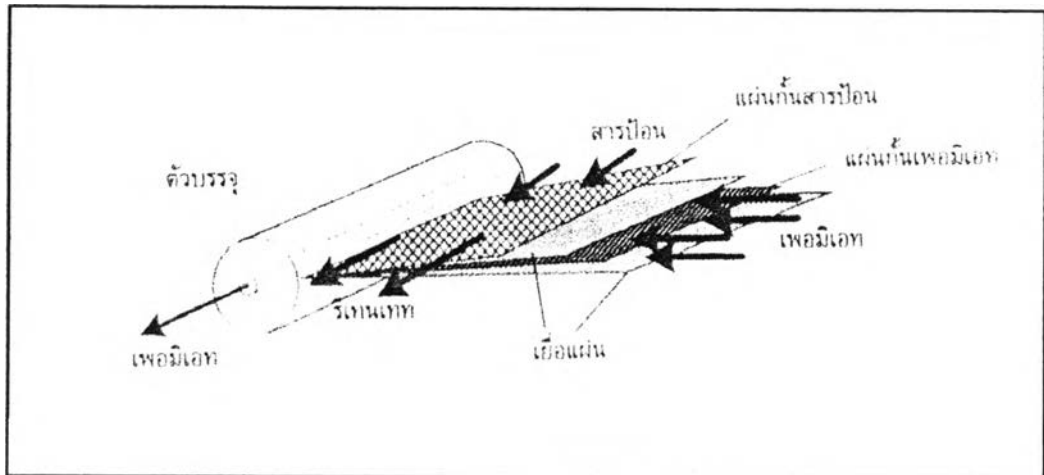
ลักษณะของโมดูลแสดงในรูปที่ 3.4 เยื่อแผ่นที่ใช้กับโมดูลชนิดนี้เป็นแบบเรียบ ส่วนใหญ่จะใช้ในงานวิจัยหรือกระบวนการขนาดเล็ก(small scale operation) เนื่องจากพื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรค่อนข้างต่ำ การเปลี่ยนเยื่อแผ่นและทำความสะอาดทำได้ง่าย การถ่ายเทความร้อนจากสารป้อนไปยังเยื่อแผ่นดี ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลรักษาสูง

3.3.2 โมดูลแบบม้วน(Spiral wound)

โมดูลแบบม้วนเป็นพัฒนาการขั้นต่อมาจากโมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบ โดยที่เยื่อแผ่นและชั้นรองรับที่วางซ้อนกันถูกม้วนรอบท่อกลวงและบรรจุภายในภาชนะทรงกระบอก พื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรของโมดูลค่อนข้างสูง ลักษณะของโมดูลแสดงในรูปที่ 3.5



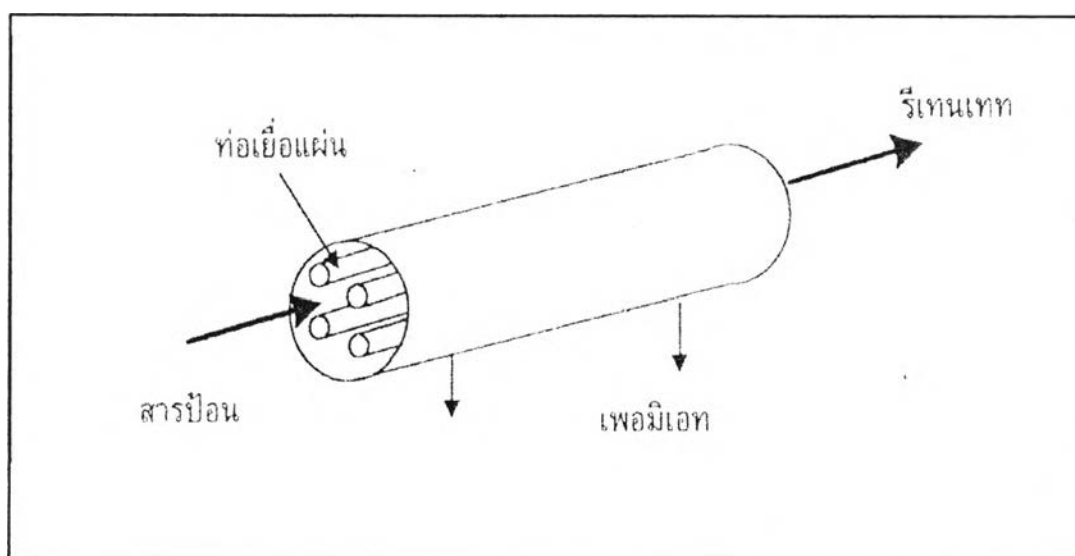
รูปที่ 3.4 โมดูลแบบแผ่นเรียบและกรวย



รูปที่ 3.5 โมดูลแบบม้วน

3.3.3 โมดูลแบบท่อ (Tubular)

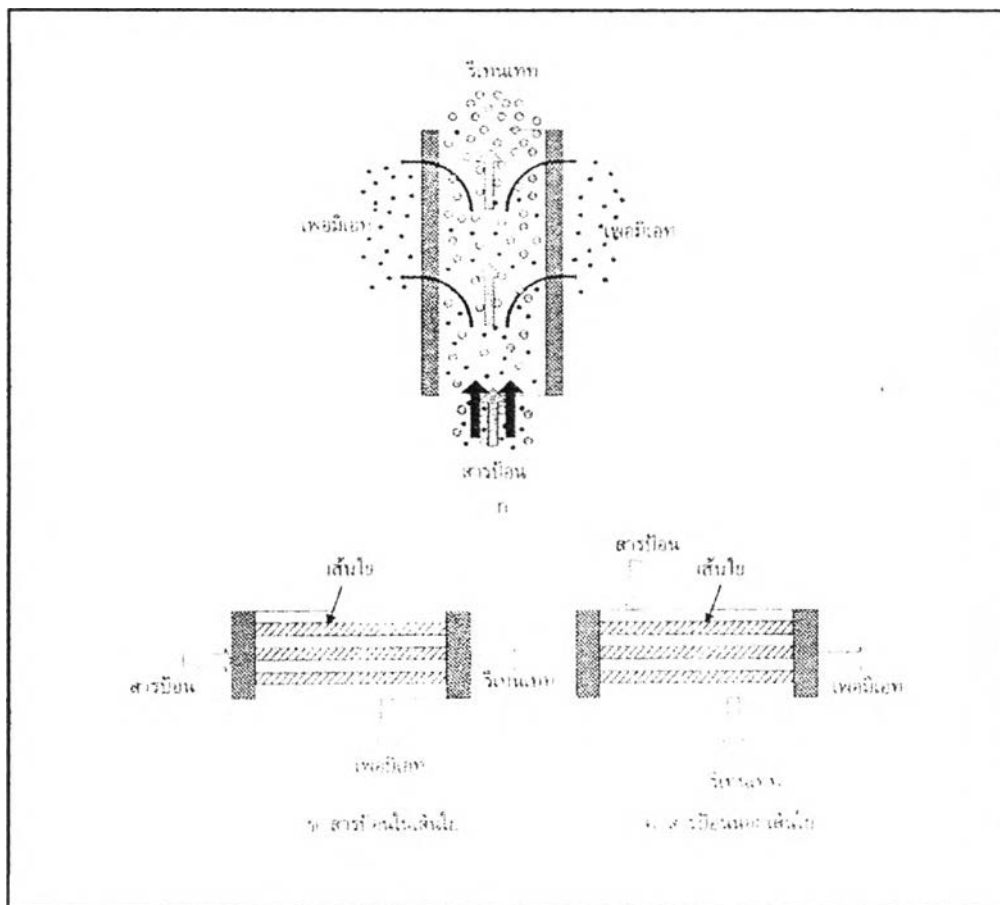
เยื่อแผ่นสำหรับโมดูลชนิดนี้จะเคลือบอยู่ภายในหรือภายนอกของท่อซึ่งเป็นชั้นรองรับที่แข็งแรงเช่นท่อสแตนเลสที่มีรูพรุน ท่อเซรามิกหรือท่อพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อมีค่าประมาณ 5-15 มิลลิเมตร อาจมีเพียงท่อเดียวหรือหลายท่อบรรจุภายในภาชนะ สารป้อนไหลเข้าทางด้านในท่อและเพอร์มิเอตซึ่งไหลผ่านเยื่อแผ่นจะถูกเก็บมารวมกันซึ่งแสดงในรูปที่ 3.6 โมดูลชนิดนี้มีพื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรค่อนข้างต่ำ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและลงทุนสูง เหมาะสมที่จะใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง



รูปที่ 3.6 โมดูลแบบท่อ

3.3.4 โมดูลแบบเส้นใยกลวง

เยื่อแผ่นสำหรับโมดูลชนิดนี้เป็นเส้นใยมีขนาดเล็ก ที่มีความแข็งแรงมากโดยไม่ต้องใช้ชั้นรองรับ เส้นใยถูกมัดรวมกันและยึดบริเวณปลายของแต่ละด้านด้วยวัสดุจำพวกอีพอกซีเรซินหรือยางซิลิโคน แล้วบรรจุภายในท่อทรงกระบอก แสดงในรูปที่ 3.7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในโมดูลแบบแคปิลลารี(capillaries)คือ 0.5-5 มิลลิเมตรและในโมดูลแบบเส้นใยกลวง(hollow fiber) จะมีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร พื้นที่ถ่ายเทมวลสารต่อปริมาตรสูงมาก สารป้อนสำหรับใช้ในโมดูลชนิดนี้ควรจะสะอาดเนื่องจากการทำความสะอาดเยื่อแผ่นในโมดูลชนิดนี้ค่อนข้างยาก



รูปที่ 3.7 โมดูลแบบเส้นใยกลวง

ในตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโมดูลแต่ละชนิด โมดูลสำหรับใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือโมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบ เนื่องจากการขึ้นรูปเยื่อแผ่นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นแบบแผ่นเรียบเพื่อใช้ในโมดูลดังกล่าวสามารถทำได้สะดวก สามารถทำความสะอาดและเปลี่ยนเยื่อแผ่นได้ง่าย

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโมดูลแต่ละชนิด

	แบบท่อ	แบบแผ่นเรียบ และกรอบ	แบบม้วน	แบบแคปิลารี	แบบเส้นใยกลาง
ความหนาแน่นในการบรรจุ	ต่ำ	----->			สูงมาก
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	สูง	----->			ต่ำ
การเกิดตะกอน(fouling)	ต่ำ	----->			สูงมาก
การทำความสะอาด	ง่าย	----->			ยาก
การเปลี่ยนเยื่อแผ่น	ได้/ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้