

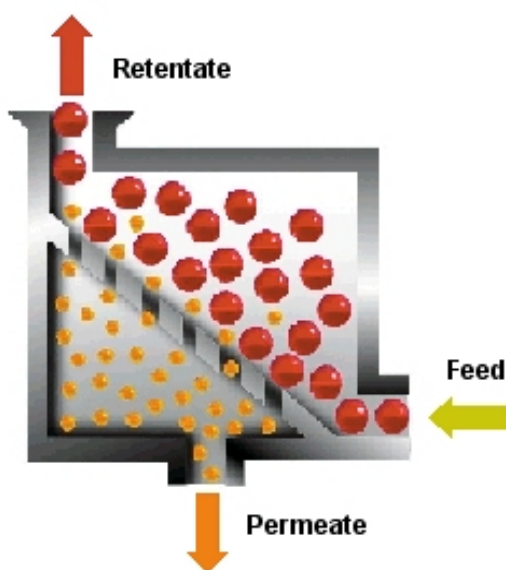
บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

การแยกสาร การทำสารให้มีความบริสุทธิ์สูง หรือทำให้สารมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่น การต้มระเหย หรือการใช้เยื่อบาง ซึ่งวิธีหลังนี้เป็นวิธีที่เริ่มใช้ราวปี ค.ศ.1930 และในปี ค.ศ. 1963 เริ่มมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ในปัจจุบันการแยกโดยการใช้เยื่อบางมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถแยกตามขนาดของสารโดยเลือกเยื่อบางที่มีขนาดรูตามความต้องการ ใช้ได้ภายใต้อุณหภูมิห้อง ใช้พื้นที่น้อย และไม่ทำให้สารอาหารเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นเมื่อเทียบกับวิธีอื่นนับว่าเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงาน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแยกสูง รวมทั้งสะดวกและง่ายต่อการดำเนินการ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเยื่อบางนี้มีคุณภาพด้านสี กลิ่น และรสชาติ ที่ดีกว่ากระบวนการอื่น (Girard and Fukumoto, 2000) ในปัจจุบันมีการนำเยื่อบางมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง อาทิเช่น อุตสาหกรรมนม การใช้เยื่อบางแยกองค์ประกอบแยกของโปรตีน แลคโตส ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นมากขึ้นในการผลิตเนยแข็ง และนมพร้อมดื่ม (Brandsma and Rizvi, 1999; Grandison and Lewis, 1996) การแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ ไวน์ และการทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ (Steenkamp *et al.*, 2001; Steenkamp *et al.*, 2002) ทั้งยังมีการนำเยื่อบางใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมยา เช่น ไตเทียม โดยการแยกกรดยูเรีย กรดยูริกและสารอื่นจากเลือด (Davankov *et al.*, 1997)

กระบวนการแยกด้วยเยื่อบางโดยอาศัยแรงขับเคลื่อนที่ทำให้ของผสมหรือสารไหลผ่านเยื่อบาง และเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น (ΔC) ผลต่างของความดัน (ΔP) และผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ΔE) สำหรับกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันเป็นการใช้กลไกการคัดขนาดอนุภาค (sieving mechanism) กล่าวคือ สารป้อนที่มีอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่กว่ารูพรุนไม่สามารถผ่านรูเยื่อบาง จึงถูกกักกันด้วยเยื่อบางในส่วนที่นี้เรียกว่ารีเทนเตท (retentate) ขณะที่สารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนจะผ่านเยื่อบางไปได้พร้อมสารละลายเรียกว่าเพอมีเอท (permeate)



รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการกรองโดยใช้เยื่อบาง

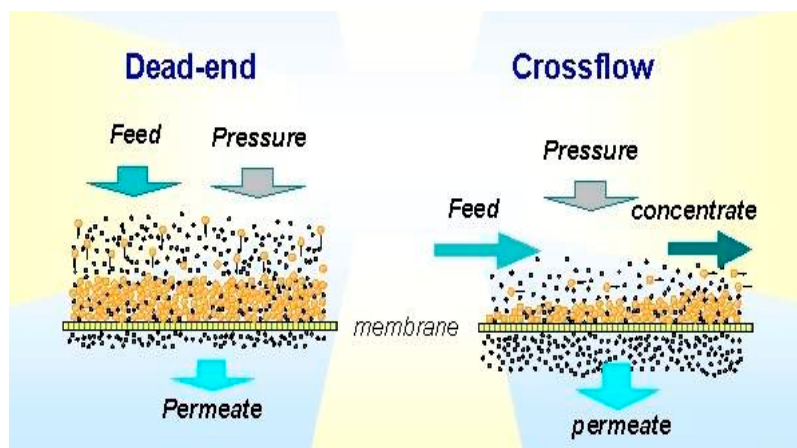
กระบวนการกรองโดยใช้แรงดันเป็นแรงขับเคลื่อนสามารถแบ่งได้ 2 แบบดังรูปที่ 1.2 คือ

1. การกรองแบบปิดตาย (Dead-end filtration)

จะเป็นการป้อนสารละลายในทิศทางตั้งฉากกับเยื่อบางซึ่งจะมีการสะสมของอนุภาคบนผิวหน้าเยื่อบาง เรียกว่า เค้ก (cake) ส่งผลต่อฟลักซ์ (flux) และมีค่าความต้านทานการไหลของการกรองเพิ่มขึ้น การกรองแบบนี้จะเหมาะสมสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่มากนัก หรืออาจใช้ในการแยกสารละลายในปริมาณน้อยเพื่อการวิเคราะห์

2. การกรองแบบไหลขวาง (Crossflow filtration)

เป็นการกรองแบบที่มีการป้อนสารละลายขนานกับเยื่อบาง หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอมีเอทโดยจะมีแรงกระทำต่ออนุภาคในทิศทางต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาคกับเยื่อบางสามารถลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อบางได้ซึ่งจะเหมาะกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ในระดับอุตสาหกรรมมีการใช้เทคโนโลยีนี้เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 1.2 แสดงภาพการกรองแบบ Dead-end และ Crossflow (Howell, *et al.*, 1993)

กลไกการแยกโดยอาศัยความดันขับเคลื่อนระบบได้ดังนี้

กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis, RO) เป็นกระบวนการแยกที่สามารถกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ และน้ำตาล แต่ยอมให้น้ำผ่านได้ และเยื่อบางมีโครงสร้างแบบแน่นหรือไม่มีรูพรุน ใช้ความดันสูงในการทำงาน คือประมาณ 1-10 MPa. การประยุกต์ใช้งานคือการแยกเกลือออกจากน้ำกร่อย น้ำทะเล เพื่อผลิตน้ำจืด

กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่ใกล้เคียงกับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ คือใช้ผลต่างของความดันเป็นแรงขับในการแยกตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1000 ออกจากสารละลาย ความดันที่ใช้คือ 1-2 MPa. การประยุกต์ใช้งานคือการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อบางซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็กประมาณ 2-200 nm. ใช้ความดันประมาณ 100-800 kPa. การประยุกต์ใช้งานคือการบำบัดน้ำทิ้ง การทำน้ำผลไม้ให้ใส กระบวนการแยกสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน เอนไซม์ และแป้ง ออกจากน้ำ และสารโมเลกุลเล็กอื่น ๆ ที่ต้องการแยก โดยการแยกจะเป็นกระบวนการเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลาย สำหรับการบอกขนาดรูพรุนของเยื่อบางชนิดนี้จะไม่สามารถใช้เทคนิคการวัดโดยตรงแต่สามารถบอกได้ด้วยทางอ้อมคือ การบอกค่า Molecular weight cut-off (MWCO) คือโมเลกุลที่มีน้ำหนักหรือขนาดใหญ่กว่า MWCO ของเยื่อบางจะไม่สามารถผ่านไปได้ โดยการกักกันของเยื่อบางมีมากกว่า 90 % ก็สามารถกล่าวได้ว่าเยื่อบางนั้นมีขนาดรูพรุน หรือ MWCO ใกล้เคียงกับขนาดของโมเลกุลที่ถูกกัก (Winston Ho and Sirkar, 1992) สำหรับเยื่อบางที่ทราบ MWCO แล้วจะสามารถทำการแปลงค่ากลับเพื่อหาขนาดของอนุภาคตามสมการที่เสนอโดย Puhlfürß *et al.*, (2000) ซึ่งสามารถคำนวณหารัศมีของขนาดโมเลกุลได้ในระดับอังสตรอม ($^{\circ}\text{A}$)

กรณีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 2-40 kDa.

$$R(A^\circ) = 0.262x \left(MW \left(\frac{g}{mol} \right) \right)^{\frac{1}{2}} - 0.3$$

กรณีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 200-3000 Da.

$$R(A^\circ) = 0.1673x \left(MW \left(\frac{g}{mol} \right) \right)^{0.557}$$

กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อบางมีรูพรุนขนาดใหญ่ คือ 0.1-10 μm . ใช้ความดันอยู่ในช่วง 100-500 kPa. ใช้สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น สารแขวนลอย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ออกจากของเหลว เป็นต้น

นอกจากการใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนแล้วยังใช้ความเข้มข้นและสนามไฟฟ้าดังนี้คือ

กระบวนการแยกแก๊ส (Gas separation) โดยใช้เยื่อบางแบบแน่นหรือไม่มีรู ใช้แรงดันอยู่ในช่วง 100 kPa.-10 MPa. หรือผลต่างของความเข้มข้นในการแยก ตัวอย่างเช่น การแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สผสม

พรีเวปอเรชัน (Preveporation) เป็นการแยกองค์ประกอบหนึ่ง ๆ ออกจากสารละลายผ่านเยื่อบางแบบแน่น ด้วยกลไกการละลาย การแพร่ และองค์ประกอบที่ผ่านเยื่อบางหรือ เพอมิเททจะอยู่ในรูปไอ เช่น การทำแอลกอฮอล์ให้มีความเข้มข้นสูง

ไดอะไลซิส (Dialysis) เป็นการแยกโดยใช้ผลต่างของความเข้มข้นระหว่างทั้งสองด้านของเยื่อบางเป็นแรงขับเคลื่อนให้สารผ่านเยื่อบางจากด้านที่มีความเข้มข้นสูง ไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ การใช้งานคือ การทำเลือดให้บริสุทธิ์

อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis) เป็นกระบวนการแยกองค์ประกอบที่มีประจุ (ไอออน) จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้เยื่อบางชนิดแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange membrane) หรือเยื่อบางที่ไม่มีรูพรุน ต่ออนุกรมระหว่างขั้วบวก (Anode) ขั้วลบ (Cathode) มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็นแรงขับเคลื่อนร่วมกับการเลือกผ่านของเยื่อบาง การประยุกต์ใช้งานคือ การผลิตน้ำดื่ม จากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล

เยื่อบางที่ใช้ในกระบวนการข้างต้นมีทั้งชนิดเซรามิก พอลิเมอร์ และวัสดุผสมระหว่าง พอลิเมอร์/พอลิเมอร์ หรือ เซรามิก/พอลิเมอร์ เยื่อบางเหล่านี้แบ่งตามโครงสร้างของเยื่อบางได้ดังนี้

แบ่งตามขนาดของรูเยื่อบางเป็นชนิดมีรูและไม่มีรู คือ

1 เยื่อบางแบบแน่น (Dense membrane) หรือเยื่อบางไม่มีรูพรุน (non-porous membrane) คือเยื่อบางที่มีความสามารถกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล แต่ยอมให้น้ำผ่านได้ การผ่านเยื่อบางใช้งานในกระบวนการแยกแก๊ส (Gas Separation) ปริเวปพอเรชั่น (Pervaporation) ไดอะไลซิส (Dialysis) และ อิเล็กโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

2 เยื่อบางรูพรุน (Porous membrane) รูพรุนตามคำจำกัดความโดย IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry, 1985) คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของรูพรุน แบ่งออกตามขนาดเป็น 3 ระดับดังนี้

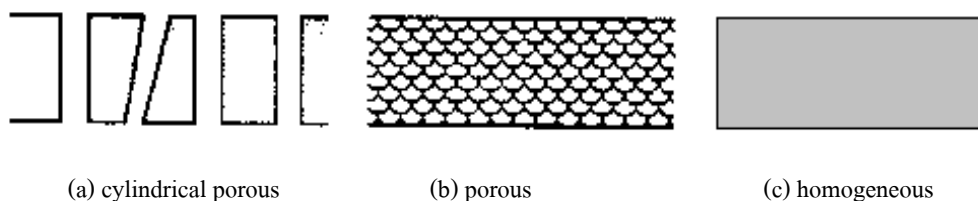
ขนาดใหญ่ ขนาดรูพรุน > 50 nm. จัดเป็นเยื่อบางชนิดไมโครฟิลเตรชั่น (Microfiltration , MF)

ขนาดกลาง 2 nm. $<$ ขนาดรูพรุน < 50 nm. จัดเป็นเยื่อบางชนิดอัลตราฟิลเตรชั่น (Ultrafiltration , UF)

ขนาดเล็ก ขนาดรูพรุน < 2 nm. จัดเป็นเยื่อบางชนิดนาโนฟิลเตรชั่น (Nanofiltration , NF) และรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

แบ่งตามโครงสร้างของเยื่อบางโดย Howell et al (1993) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. เยื่อบางสมมาตร (Symmetric membrane) คือเยื่อบางมีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือมีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา เยื่อบางสมมาตรเป็นแบบมีรูพรุนหรือไม่มีรูพรุน ความหนา 10-200 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างเยื่อบางแบบสมมาตร

2. เยื่อบางไม่สมมาตร (Asymmetric membrane) ประกอบด้วยชั้นผิวซึ่งมีรูขนาดเล็กหรือไม่มีรูซึ่งทำหน้าที่ในการกักกันสารและส่วนของชั้นรองรับซึ่งมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง ข้อดีของเยื่อบางแบบไม่สมมาตรคือสามารถทนแรงดันสูง เยื่อบางไม่สมมาตรแบ่งออกเป็นได้ 2 ลักษณะ

- เยื่อบางไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน โดยมีชั้นผิวอาจจะมีรูหรือไม่มีรู (Dense top layer) หนา 0.1-0.5 ไมครอน และชั้นรองรับมีรูพรุน (Porous sublayer) ความหนา 50-150 ไมครอน รูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างเยื่อบางแบบไม่สมมาตร ชั้นผิวกับชั้นล่างจากวัสดุชนิดเดียวกัน

- เยื่อคอมโพสิต (Composite membrane) เยื่อชนิดนี้ประกอบด้วยชั้นของเยื่อบางตั้งแต่สองชนิดเป็นต้นไป โดยเยื่อที่มีรูพรุนเป็นฐานรองรับ (Porous support) และเยื่อแบบแน่นเคลือบอยู่บนชั้นรองรับ (Selective layer) ซึ่งในชั้นนี้จะทำหน้าที่เป็นชั้นคัดเลือก ตัวอย่างเยื่อคอมโพสิตระหว่าง พอลิเมอร์/พอลิเมอร์ เช่น Polysulfone / Chitosan ระหว่างเซรามิก/พอลิเมอร์ เช่น Alumina/Chitosan หรือ ระหว่างเซรามิก/เซรามิก เช่น $ZrO_2/\alpha-Al_2O_3$

ในแต่ละกระบวนการดังกล่าวนิยมใช้เยื่อบางที่มีรูพรุน ขนาดของแรงเคลื่อนในกระบวนการเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับความต้องการในการประยุกต์ใช้ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงกระบวนการเยื่อบาง แรงขับเคลื่อน การประยุกต์ใช้งานแต่ละกระบวนการที่แตกต่างกัน (2003)

กระบวนการ	ชนิด/ขนาดของ เยื่อบาง	วัสดุที่ใช้ผลิตเยื่อบาง	กระบวนการขับเคลื่อน	การประยุกต์ใช้งาน
Micro filtration	สมมาตรแบบมีรู/ 0.1-10 ไมครอน	Cellulose nitrate , Polyvinylidene difluoride (PVDF), Polyamide, Polysulfone,PTFF, Metal oxide เป็นต้น	ความดัน10-500 kPa.	การแยก กำจัดเชื้อ (Sterile) การทำให้ใส (Clarification)
Ultra filtration	ไม่สมมาตรแบบมีรู/ 1-10 ไมครอน	Polysulfone,Polypropylene, Nylon 6,PTFE,PVC, Acrylic copolymer	ความดัน 0.1-10 MPa.	การแยก Macromoleculeในสารละลาย
Reverse osmosis	ไม่สมมาตรแบบแน่น/ 0.5-1.5 นาโนเมตร	Polymer,Cellulosic adetic,Aromatic, Polyamide	ความดัน 2-10 MPa.	แยกเกลือ
Electro dialysis	เยื่อบางคัดเลือกประจุบวกหรือลบ	Sulfonate cross-linked, Polystyrene	ความต่างศักย์กระแสไฟฟ้า	การทำน้ำดื่มให้จืด
Gas separation	พอลิเมอร์สมมาตร	Polymer และCopolymer	ความดันและผลต่างความเข้มข้น	แยกแก๊สผสม
Pervaporation	เยื่อบางแบบแน่น	Polymer และ Polycrylonitrile	ความแตกต่างของความดันไอ	แยกแก๊สผสม

จาก <http://www.tifit.org.in/news/memb.htm>

เยื่อบางแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียทั้งนี้ขึ้นกับการนำไปใช้ประโยชน์ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงสมบัติทั่วไปของเยื่อเซรามิกและเยื่อบางพอลิเมอร์เพื่อเป็นข้อมูลโดยสังเขป

1. เยื่อเซรามิก จากการสืบค้นข้อมูลตั้งแต่ปี 1988 เป็นต้นมา พบว่าผงเซรามิกส่วนใหญ่ที่ใช้ผลิตเยื่อคือ อะลูมินา เซอร์โคเนีย และไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากไม่เป็นพิษต่อร่างกาย มีรูปพรุนหลาย ๆ ขนาดขึ้นกับการใช้งาน และในปัจจุบันมีการนำเยื่อเซรามิกมาใช้งานอย่างกว้างขวาง และกำลังได้รับความสนใจมากในอุตสาหกรรมการกรองเนื่องจากว่ามีสมบัติหลายประการที่ดีกว่าพอลิเมอร์และโลหะดังนี้ (Anderson *et al.*, 1988)

1. สามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลายหรือสารเคมีที่เป็นกรด-ด่าง
2. ทนต่ออุณหภูมิสูงสามารถใช้ในกระบวนการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization)

และ อุตสาหกรรมยา

3. มีความต้านทานเชิงกลสูง สามารถรับแรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานหรือการทำความสะอาดแบบย้อนกลับ (back flushing) สามารถใช้ความดันได้สูงถึง 2.9 MPa. (สมนึก ศิริสุนทร, 2545)

4. ทนต่อตัวกลางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงสามารถนำไปใช้กับสารไฮโดรคาร์บอน และตัวทำละลายอินทรีย์ได้

แม้ว่าแผ่นเยื่อเซรามิกมีข้อดีมากมายแต่มีข้อเสียคือ กระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน เพราะต้องควบคุมความสม่ำเสมอของขนาดรูและความพรุน การผลิตเยื่อเซรามิกที่มีรูปพรุนสม่ำเสมอและปราศจากรอยแตกร้าวนั้นทำได้ยาก ทำให้เมื่อเปรียบเทียบราคากับเยื่อบางที่ผลิตจากพอลิเมอร์แล้วยังมีอุปสรรคต่อการตัดสินใจใช้งานมากเนื่องจากว่าราคาแพงกว่า 8-10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่เท่า ๆ กัน เนื่องจากว่าข้อมูลต่างๆ มักจะไม่ถูกเปิดเผยเทคโนโลยีเพราะเป็นข้อมูลทางการค้าดังนั้นการผลิตเยื่อเซรามิกออกมาจำหน่ายในทางการค้าจึงมีราคาแพง

2 เยื่อบางพอลิเมอร์ เยื่อบางสังเคราะห์พอลิเมอร์มีหลายชนิดด้วยกันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ โพลีซัลโฟน (Polysulfone) ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงถึง 75 องศาเซลเซียส เยื่อบางสามารถทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 1-13 ส่วนข้อเสียคือมีราคาแพง เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate) ข้อดีของเยื่อบางชนิดนี้คือให้ค่าฟลักซ์สูง ผลิตง่าย แต่ข้อเสียคือ ช่วงการทำงานแคบกล่าวคือสิ่งที่ต้องการแยกจะต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 3-9 ไม่สามารถใช้ได้กับสารป้อนบางชนิด หรือจำกัดความเข้มข้นของสารละลาย และ เยื่อบางสังเคราะห์อีกชนิดหนึ่งที่ได้มาจากผลผลิตจากธรรมชาติคือ เยื่อบางไคโตแซน

ไคโตแซน คือสายโซ่โพลีเมอร์ของโมโนเมอร์ของไคตินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งที่ธรรมชาติสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น เปลือกของกุ้ง ปู แขนของปลาหมึก โดยมีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส และสามารถสลายได้โดยธรรมชาติไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายสัตว์และไม่มีพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและสกัดมาจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น เปลือกกุ้ง ปู และแกนหมึก ซึ่งเป็นการใช้กากของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลให้เป็นประโยชน์ ไคโตแซนมักถูกนำไปใช้ทั้งในรูปของแข็งและในรูปสารละลาย โดยละลายไคโตแซนด้วยกรดอินทรีย์เช่น ได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวใส สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น แผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์และสารเคลือบผิว ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงมีความปลอดภัยในการนำเอาไคโตแซนมาประยุกต์ใช้งาน โดย ป๊วย อุ่นใจ (2544) ได้รวบรวมประโยชน์การนำไคติน-ไคโตแซนไปใช้ในด้านต่างๆ ดังนี้

- ด้านการแพทย์และด้านสุขภาพ ใช้ทำไหมเย็บแผล ได้ดีกว่าไหมเย็บแผลสังเคราะห์เพราะผูกเป็นปมง่าย แผลหายเร็ว สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อแผลติดกัน ผิวหนังเทียม ใช้รักษาแผลแทนพลาสติกเตอร์ปิดแผล ไคติน-ไคโตแซนสามารถเร่งให้แผลหายเป็นปกติได้เร็วขึ้น ไม่ติดแผล สามารถสลายได้เองตามธรรมชาติ ไคตินกันการปลดปล่อยยา ใช้ทำเป็นแคปซูลยา เป็นตัวขนส่งยาจะป้องกันไม่ให้ยาปล่อยออกมาจนกระทั่งถูกย่อยในกระเพาะอาหาร และยังเป็นตัวควบคุมการปล่อยยาในร่างกาย

- ด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นสารตกตะกอนหรือเป็นตัวกรองเช่น อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เบียร์ และเครื่องดื่มต่างๆ อุตสาหกรรมสิ่งทอ นิยมใช้ไคติน-ไคโตแซนเข้ามาผสม เพื่อเสริมความเหนียวให้กับเส้นใย และนำไคติน-ไคโตแซนใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษที่มีสมบัติทางกายภาพสูง เช่น เพิ่มความเหนียวแน่นและความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาด และใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

- ด้านการเกษตร ไคโตแซนสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบาง ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเมล็ดพันธุ์ และยังมี การนำเอาอนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซนไปเป็นสารต่อต้านเชื้อรา ไวรัสและแบคทีเรียบางชนิด

- ด้านสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสีย ไคโตแซนมีความสามารถในการจับกับของแข็งแขวนลอยได้ดี และจับกับอะตอมของโลหะหนัก นำไคติน-ไคโตแซนไปจับกับสารกัมมันตรังสี เช่น พลูโตเนียม และยูเรเนียมด้วย อีกทั้งนำไคโตแซนทำเป็นเยื่อกรองเนื่องจากสามารถขึ้นอยู่เป็นแผ่นเยื่อบางได้ง่าย

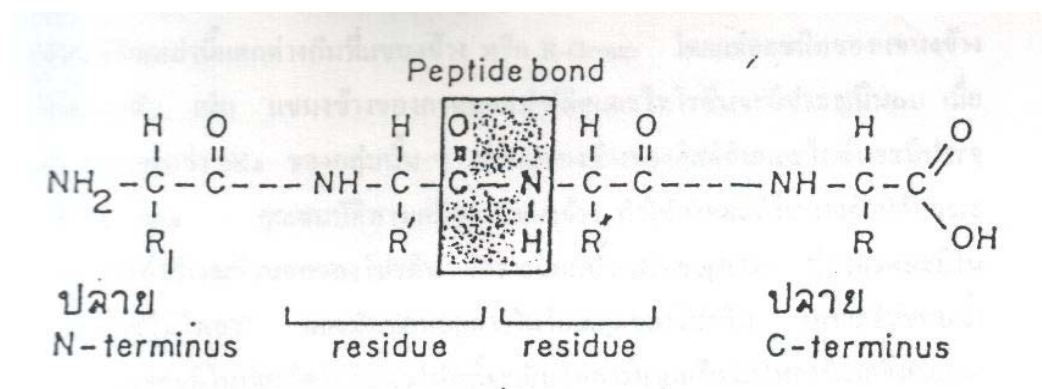
โปรตีน

เปปไทด์ โพลีเปปไทด์ และโปรตีน จัดเป็นโมเลกุลที่ได้จากกรดอะมิโน (Amino Acid) จำนวนมาก ซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent-bond) ที่เรียกว่าพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) โปรตีนมักเรียกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 5000 Da.

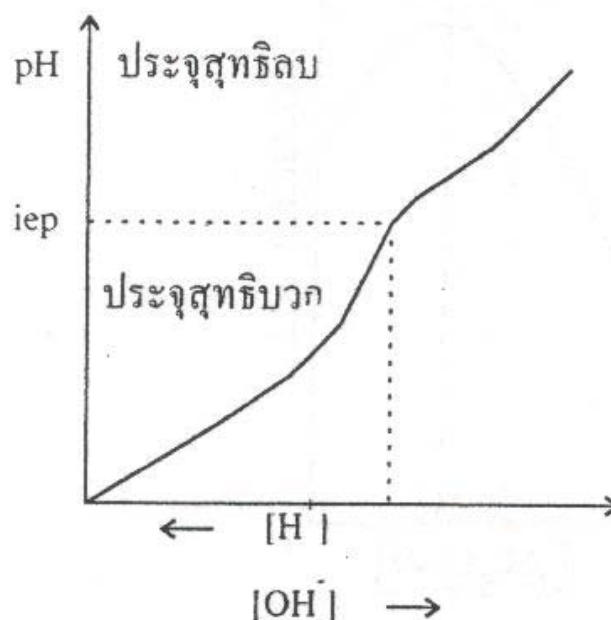
กลไกการเกิดประจุที่ผิวของโปรตีน

โปรตีนเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ กล่าวคือ เป็นสารที่มีประจุจำนวนมาก พันธะเปปไทด์เองไม่มีประจุเพราะกลุ่ม H-H แยกตัวไม่ได้ แต่กลุ่มที่จะมีประจุได้คือหมู $-NH_3^+$ และ $-COO^-$ ที่ปลายพันธะเปปไทด์ดังรูปที่ 1.5 เนื่องจากโปรตีนแต่ละสายมีกลุ่มอัลฟาอะมิโน และกลุ่มอัลฟาคาร์บอกซิล อย่างละหนึ่งกลุ่มเท่านั้นแต่มีแขนงข้างของกรดอะมิโนจำนวนมาก ดังนั้น สมบัติทางประจุของโปรตีนส่วนใหญ่จะขึ้นกับปริมาณและชนิดของแขนงข้างที่แยกตัวได้ ดังนั้นเมื่อนำโปรตีนไปไตเตรตจะพบว่าการแตกตัวของกลุ่มต่าง ๆ ของแขนงข้าง ทำให้ประจุสุทธิของโปรตีนเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับค่า pH ดังรูปที่ 1.5 (มนตรี จุฬาวัดทนทล, 2542)

กรดอะมิโนและโปรตีนแต่ละตัวจะมี pH คงที่ค่าหนึ่งทำให้มีประจุสุทธิเป็นกลางหรือเป็นศูนย์ เรียกจุดนี้ว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point , iep) ค่านี้ไม่จำเป็นที่สารละลายต้องเป็นกลาง (pH 7) แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนหรือโปรตีนชนิดนั้น ๆ (สุภาพ บุญยะรัตเวช , 2540)



รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างของโปรตีน



รูปที่ 1.6 แสดงประจุสุทธิบนผิวโปรตีนที่ค่า pH ต่าง ๆ

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารละลายโปรตีนชนิด อัลบูมิน หรือเรียกว่า Bovine Serum Albumine (BSA) ในการทดสอบการกรอง ซึ่ง BSA มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 67000 มีขนาดประมาณ 64 \AA (Baker, 2000) สมบัติของโปรตีนชนิดนี้มีจุด iep มีค่า pH 4.7-4.9 ซึ่งจุด iep ของสารละลาย BSA มีค่าเป็นศูนย์ ส่วน $\text{pH} > \text{iep}$ สารละลาย BSA มีประจุลบ และ $\text{pH} < \text{iep}$ สารละลาย BSA มีประจุบวก (Howell., *et al* ,1999)

1.2 ตรวจเอกสาร

การเตรียมเยื่อเซรามิกในปัจจุบันหลายวิธีด้วยกัน โดย Acvi และคณะ 1950 เตรียมและทดสอบเยื่อเซรามิกชนิดไมโครฟิลเตรชันจากผงอะลูมินา ด้วยวิธีอัดแห้ง (Dry pressing) ใช้แรงขนาด 100 MPa. ในเบ้ารูปจานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. หนา 2.5 mm. ทำการเผาอบผนังที่อุณหภูมิ 1200-1400 °C ด้วย อัตรา 1 °C/min วัดการกระจายของรูพรุนด้วย Hg-Porosimeter (Micromeritics Autopore II 9200) พบว่าความพรุนอยู่ในช่วง 19-50 % ขนาดของรูพรุนกระจายอยู่ในช่วง 0.09-0.2 μm . และพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นความพรุนและขนาดของรูพรุนลดลง ต่อมา Chang และคณะ (1994) เตรียมเยื่อเซรามิกด้วยเตรียมด้วยวิธี sol-gel และศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผงเซรามิก ซึ่งเป็นผงที่นิยมใช้เตรียมเยื่อเซรามิกมากที่สุด 3 ชนิดด้วยกันคือ อะลูมินา ไทเทเนียมและเซอร์โคเนีย พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอบ

ผนึก คือ อะลูมินา > เซอร์โคเนีย > ไทเทเนียม เนื่องจากว่าจุดหลอมเหลวคือ 2050 2770 และ 1605 °C ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานที่อุณหภูมิสูง Wang และคณะ (1999) เตรียมเยื่อเซรามิกชนิดไมโครฟิลเตรชันจากผง α -Al₂O₃ ที่มีความบริสุทธิ์ 99 % โดยวิธีหล่อแบบ (Slip casting) แบบทอมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm. หนา 2 เซนติเมตร ยาว 100 mm. ความพรุน 41 % ขนาดรู 8 nm. ซึ่งวัดโดยวิธี Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) หลังจากนั้นเคลือบเยื่อเซรามิกด้วยวิธี Slip casting แบบอบผนึกที่อุณหภูมิ 1100 °C-1300 °C อัตรา 3 °C /min พบว่าเยื่อเซรามิกที่อบผนึกที่อุณหภูมิสูงมีขนาดรูใหญ่กว่า แต่ความพรุนและค่าฟลักซ์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิต่ำ ส่วนในปี ค.ศ. 2000 Puhlfürß และคณะ เตรียมเยื่อเซรามิกไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดท่อที่มี MWCO น้อยกว่า 500 Da. โดยวิธี Sol-gel และทำการวิเคราะห์ MWCO ของเยื่อเซรามิกโดยกรอง PEG ที่ มวลโมเลกุลต่างกันดังนี้คือ 200-40000 Da. ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PEG โดยวิธี Gel permeation chromatography (GPC) และ Puhlfürß (2000) พบว่าเยื่อเซรามิกที่เตรียมได้คือ เยื่อที่มี MWCO 480 Da. มีฟลักซ์น้ำ 20 l/(m² h bar) Kim และคณะ (2002) ได้เตรียมท่อเซรามิกจากผงอะลูมินา 2 ชนิดคือ ASE 11 และ ASE 12 ที่มีขนาดของผงต่างกันคือ 0.5 และ 0.8 μ m ตามลำดับ ขึ้นรูปด้วยวิธี Centrifugal Casting หลังจากนั้นทำการเผาอบผนึกที่อุณหภูมิ 1050-1200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สมบัติของเยื่อเซรามิก (K Kim *et al.*, 2002)

ชนิดผงอะลูมินา	ASE11			ASE21
อุณหภูมิการเผา (°C)	1050	1125	1200	1200
ความพรุน (%)	32	26	24	24
ขนาดรูพรุน (μ m)	0.09	0.09	0.09	0.13

Kim และคณะ (2002) พบว่าเยื่อเซรามิก ASE 21 เกิดการแตกหักในกระบวนการทดสอบ หากใช้อุณหภูมิในการเผาอบผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1200°C และพบว่าเยื่อเซรามิกที่เผาที่อุณหภูมิการอบผนึกสูงมีฟลักซ์น้ำดีต่ำกว่าเยื่อเซรามิกที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ

ส่วนการผลิตเยื่อคอมโพสิตด้วยเซรามิก 2 ชนิด มีการค้นคว้าวิจัยเช่นกันโดยในปี ค.ศ.1998 Yang และคณะ เตรียมเยื่อคอมโพสิตชนิดท่อจาก ZrO₂/ α -Al₂O₃ ซึ่งเป็นไมโครฟิลเตรชัน เพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำ (Oil-water separation) คณะนักวิจัยเตรียมเยื่อฐานของเยื่อเซรามิกจาก α -Al₂O₃ 2 ชนิด สมมาตรและไม่สมมาตร ซึ่งสมบัติของเยื่อทั้ง 2 ชนิดได้แสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 สมบัติของเยื่อคอมโพสิต $ZrO_2/\alpha-Al_2O_3$ (Yang *et al.*, 1998)

โครงสร้าง	ฟลักซ์น้ำ (L/ m ² .h.bar)	เส้นผ่านศูนย์กลางรู (μ m.)	ความพรุน (%)	ความหนา (mm.)
สมมาตร	1 000	0.8	32	1.5
ไม่สมมาตร	5 000	3.5	37-40	2

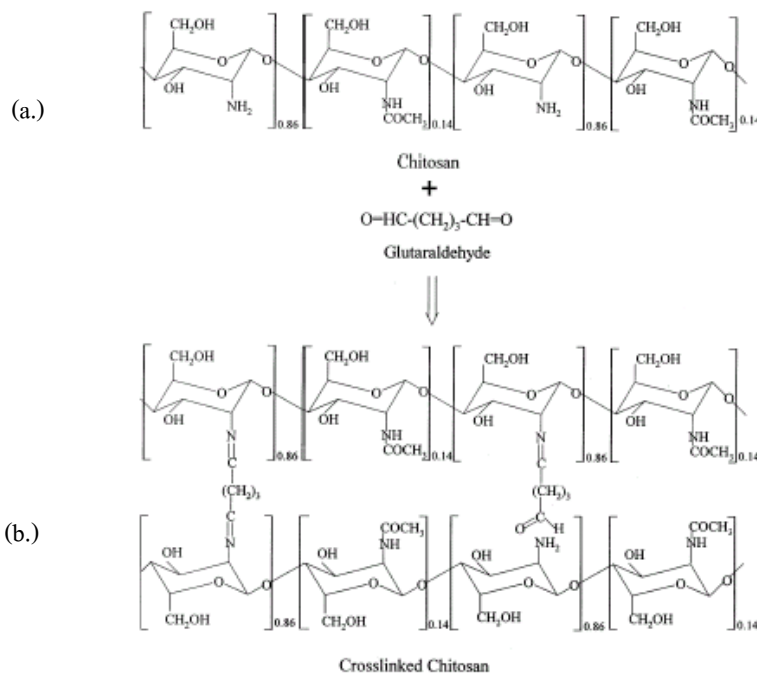
จากนั้นเคลือบเยื่อฐานทั้งสองชนิดด้วย ZrO_2 ตามวิธี Slip casting จะได้เยื่อคอมโพสิตที่มีความหนา 20 μ m. ขนาดรู 0.2 μ m. พบว่าเยื่อเซรามิกที่ไม่สมมาตรมีฟลักซ์น้ำสูงกว่า ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปแยกน้ำมันออกจากน้ำ จากการทดสอบพบว่าฟลักซ์น้ำดีคือ 1000 L.m⁻².h⁻¹.bar⁻¹ ความเข้มข้นของน้ำมันใน Permeate < 0 ppm. และ % Rejection 99.8 ฟลักซ์น้ำ 93. L.m⁻².h⁻¹.bar⁻¹ เมื่อ Lee และคณะ (2002) เตรียมท่อเซรามิกชนิดเยื่อคอมโพสิตระหว่าง $\alpha-Al_2O_3 / Al_2O_3$ โดยวิธีอัดรีด (Extrusion) โดยใช้ผงอะลูมินาที่มีขนาดอนุภาค 36 μ m. ผสมกับตัวประสาน (Binder) คือสารที่เพิ่มความเหนียวแก่ชิ้นงาน ตัวเพิ่มความเป็นพลาสติก (Plasticizier) คือ ตัวที่ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นแก่ชิ้นงานและ ตัวหล่อลื่น (Lubricant) คือตัวลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ ในอัตราส่วน 89:4:4:3 wt% ตามลำดับ ทำการวัดสมบัติต่าง ๆ ของเยื่อได้ผลดังนี้คือความแข็งแรง 50 MPa. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูคือ 10 μ m. ความพรุน 48 % จากนั้นนำท่อ Al_2O_3 ซึ่งเป็นฐานเคลือบด้วย $\alpha-Al_2O_3$ พบว่าเยื่อคอมโพสิตที่ได้มีขนาดรูอยู่ในช่วง 0.2-0.3 μ m. หนา 30 μ m. เมื่อนำไปกรองน้ำมันออกจากน้ำพบว่า มี % Recovery เพียง 84%

สำหรับงานด้านเยื่อบางพอลิเมอร์ และเยื่อคอมโพสิตที่ทำจากพอลิเมอร์ มีผู้วิจัยได้ศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางโดยใช้พอลิเมอร์หลายชนิด เช่น เซลลูโลสอะซิเตตบิทาเรท โคลิโดแซน พอลิอะโครโลไนไตรด์ (PAN) ซึ่งพอจะสรุปได้สังเขปดังต่อไปนี้ Uragami และคณะ(1994) ได้รายงานการเตรียมโคลิโดแซนที่มีการเชื่อมขวาง (Cross-link) ด้วยกลูตาราลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) ด้วยวิธีอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ° C แล้วแช่เยื่อบางในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25 ° C จากนั้นล้างเยื่อบางด้วยน้ำสะอาด ที่อุณหภูมิ 25 ° C นำเยื่อบางที่ได้ไปใช้แยกแอลกอฮอล์ด้วยวิธี Pervaporation พบว่าการใช้กลูตาราลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นมากส่งผลให้เยื่อบางมีความหนาแน่นสูง และมีความเหนียวเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกัน ความใสของเยื่อบางลดลง อย่างไรก็ตามก็ดีถ้าความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์มากขึ้นจะทำให้ เยื่อบางเปราะได้ (Baker , 2000) ในปี ค.ศ. 1997 Sabde และคณะ ศึกษาเยื่อ

บางที่ทำจาก Cellulose acetate butyrate ชนิดอัลตราฟิลเตรชั่นและทดสอบหา MWCO โดยกรอง PEG (Polyethylene Glycol) ที่มีมวลโมเลกุลแตกต่างกันคือ 10000 20000 และ 30000 นำเพอมีเอททดสอบความเข้มข้นด้วยวิธี Spectrometer ใช้ความยาวคลื่น 535 nm. พบว่าเยื่อบางที่เตรียมได้มี MWCO คือ 15000 Da. ต่อมาในปี ในปี ค.ศ.1997 W.Kaminski และ Z.Modrzejewska ศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการแยกไอออนโลหะหนักโดยเยื่อบางไคโตซาน เตรียมจากสารละลายไคโตแซน 7% ในกรดอะซิติก 2% คลาสบนกระจกโดยใช้ เครื่องรีดเยื่อบางปรับความหนา 0.8 มิลลิเมตร แล้วเปลี่ยนเฟสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำความสะอาดเยื่อบางไคโตแซนด้วยน้ำกลั่น วัดฟลักซ์น้ำดื่มค่าเท่ากับ $4 \text{ L/m}^2 \text{ hr}$ ที่ความดัน 0.05 MPa และทดสอบการแยกไอออนโลหะหนัก Mn(II) , Cr(VI) , Fe(II) จากสารละลาย ที่ pH 5.2 , 6.3 , 11.4 พบว่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกับฟลักซ์น้ำดื่ม สามารถกักกันโลหะหนักได้ 40-80% ส่วนที่ pH 3 ฟลักซ์ลดลงเป็น $2 \text{ L/m}^2 \text{ hr}$ ที่ความดันเดียวกัน มีค่ากักกันอยู่ในช่วง 98- 100 % ส่วน ในปี ค.ศ.1998 Zeng และ Ruckenstein เตรียมเยื่อบางไคโตแซนชนิดไมโครฟิลเตรชั่นด้วยวิธีเชื่อมขวาง ด้วย Ethylene glycol diglycidyl ether (EGDE) เพื่อเพิ่มความเสถียรทางเคมี โดยนำเยื่อบางไคโตแซน จุ่มใน ethylene glycol diglycidyl ether 10 % โดยปริมาตร 20 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อใช้ในกระบวนการแยกโปรตีน

สำหรับงานวิจัยเยื่อคอมโพสิตระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด มีงานวิจัยมีรายงานว่า Musale และคณะ (1999) เตรียมเยื่อคอมโพสิตจากพอลิเมอร์/พอลิเมอร์ ระหว่าง Poly (acrylonitrile) PAN/Chitosan โดยใช้สารละลายไคโตแซนมวลโมเลกุล $1.5 \times 10^5 \text{ Da}$ ในสารละลายกรดอะซิติก อัตราส่วน 0.5: 2 % (w/w) แล้วเคลือบบนฐาน PAN ใช้ความดัน 200 kPa แล้วอัดไคโตแซน 0.5% ผ่านเยื่อฐาน PAN เป็นเวลา 10 นาที ปล่อยให้ระเหยที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นอัดสารละลาย NaOH 4% เป็นเวลา 3 นาที ที่ความดันเดียวกัน แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด 2 นาที จะได้ PAN/Chitosan ซึ่งให้ฟลักซ์น้ำดื่ม $200 \text{ L/m}^2 \text{ hr}$ มีขนาดรูเฉลี่ย 10 nm และทดสอบหา MWCO ของเยื่อบางที่เตรียมได้ โดยใช้ PEG (Polyethylene Glycol) Dextran และ PEO (Polyethylene oxide) มวลโมเลกุลในระดับต่างกันตั้งแต่ 20-300 kDa โดยละลายสารข้างต้นด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายใสทุกชุด พบว่าเยื่อคอมโพสิตที่ได้เป็นชนิดอัลตราฟิลเตรชั่น (Composite ultrafiltration membrane) สามารถกักกันอนุภาคที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 75 kDa ได้ 90% ปี ค.ศ. 2000 Musale และ Kumer ทำการเตรียมเยื่อคอมโพสิตจากพอลิเมอร์/พอลิเมอร์จากchitosan / PAN โดยเปรียบเทียบเยื่อบางที่ทำขึ้นจาก ไคโตแซนที่มีการเชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์และไม่มีการเชื่อมขวาง พบว่าไคโตแซนมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงรูปที่ 1.7 ha MWCO ของเยื่อบางด้วยวิธี TOC (Total Organic Carbon) พบว่าเยื่อบางที่มีการเชื่อมขวางมี MWCO

ช่วง 550-700 Da. และเยื่อบางที่ไม่มีการเชื่อมขวางมี MWCO มากกว่า 1500 Da. แสดงว่าการเชื่อมขวางทำให้เยื่อบางแน่นขึ้น นอกจากนี้พบว่าเยื่อบางไคโตแซนที่มีการเชื่อมขวางบวมน้อยกว่าเยื่อบางไคโตแซนที่ไม่มีการเชื่อมขวาง



รูปที่ 1.7 โครงสร้างเยื่อบางไคโตแซน (a) และเยื่อบางที่มีการเชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ (b.)

(D .A. Musale and A.Kumer.,2000)

สำหรับงานวิจัยชนิดเยื่อคอมโพสิตชนิดเซรามิก/พอลิเมอร์มีรายงานเช่นกันในปี 2001 จาก Steenkamp และคณะ ซึ่งได้เตรียมท่อคอมโพสิตจาก อลูมินา/ไคโตแซน โดยเริ่มจากการเตรียมท่ออะลูมินาด้วยอนุภาค $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่มีขนาดแตกต่างกันคือ AKP-15 -ขนาดอนุภาค 0.4 μm .และ AKP-30 ที่มีขนาดอนุภาค 0.62 μm ความบริสุทธิ์ 99.9 % ขึ้นรูปด้วยวิธี Centrifugal casting หลังจากนั้นทำการเผาอบที่อุณหภูมิต่างกัน โดยใช้ อัตรา 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ทดสอบสมบัติพื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 สมบัติของเยื่อคอมโพสิต $Al_2O_3/Chitosan$ (Steenkamp *et al.*, 2001)

Tube type	Sintering Temperature (°C)	Pore radius (nm.)	Porosity (%)	Water Flux (L/ m ² .h.bar)	Water Flux (Poissuille) (L/ m ² .h.bar)	Mechanical Strength (MPa)
AKP-15	1050	100	41	44	54	320
AKP-15	1150	90	36	38	26	230
AKP-15	1200	99	36	28	32	830
AKP-30	1050	51	37	9	9	470
AKP-30	1150	50	36	8.3	8	840
AKP-30	1200	44	30	7.3	5	1580
AKP15/30	1050	57	38	20	11	440
AKP15/30	1150	50	32	18	7	860
AKP15/30	1200	55	31	10	8	1110

ทำการวัดฟลักซ์น้ำจากการทดลองและจากการคำนวณเปรียบเทียบกันโดยใช้สมการ Hagen-Poissuille equation หลังจากนั้น Steenkamp และคณะ (2001) เตรียมสารละลายไคโตแซนเพื่อเคลือบท่อเซรามิกชนิด AKP-30 1150 °C โดยละลายไคโตแซน 1 กรัมในกรดอะซิติก 1 % 100 ml. และอนุภาคซิลิกาที่มีขนาด 0.063-0.2 nm. 1 กรัม หลังจากนั้นเตรียมสารละลายไคโตแซน ในท่อด้านใน ปล่องสารละลายไคโตแซนให้แห้ง จุ่มท่อลงใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 5 % 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นจุ่มในสารละลายกลีเซอรอล 20 % นาน 30 นาที ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นำเยื่อคอมโพสิตกรอง ความเข้มข้น 50 ppm และวัดความเข้มข้นของ Cu^{2+} ที่ผ่านการกรองด้วยเครื่อง atomic absorption พบว่าเยื่อคอมโพสิตสามารถแยกได้สูงสุดที่ 0.1 กรัม Cu^{2+} / กรัมไคโตแซน และจากนั้น Steenkamp และคณะ (2002) ได้เตรียมท่อคอมโพสิตจาก อลูมินา/ไคโตแซนโดยเริ่มจากการเตรียมท่ออะลูมินาด้วยอนุภาค $\alpha-Al_2O_3$ ที่มีขนาดแตกต่างกันคือ AKP-15 ขนาดอนุภาค 0.4 μm . และ AKP-30 ที่มีขนาดอนุภาค 0.62 μm ความบริสุทธิ์ 99.9 % ขึ้นรูปด้วยวิธี Centrifugal Casting เสาแบบอบผนังที่อุณหภูมิต่างกันโดยใช้ อัตรา 1 °C/min ทดสอบสมบัติพื้นฐานดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 สมบัติเชื้อเซรามิก (Steenkamp *et al.*, 2002)

Tube Type	Sintering Temperature (°C)	Pore radius (nm.)	Porosity (%)	Stress (Mpa)	Water flux X10 ⁶ (mol/m ² sPa)	
					Experimental	Calculate
AKP-15	1050	100	41	320	6.8	6.4
AKP-15	1150	90	36	230	6.1	5.3
AKP-15	1200	99	36	830	4.4	4.8
AKP-30	1050	51	37	470	1.35	1.38
AKP-30	1150	50	36	840	1.26	1.28
AKP-30	1200	44	30	1580	1.07	0.67
AKP15/30	1050	57	38	440	2.9	3.0
AKP15/30	1150	50	32	860	2.7	2.5
AKP15/30	1200	55	31	1110	1.5	1.7

จากนั้นเลือกท่อ AKP-30 อุณหภูมิเผา 1150 °C เคลือบด้วยไคโตแซนซึ่งมีสูตรต่างๆ ดังนี้

1. Support+Chi คือ เตรียมไคโตแซน 1 กรัมละลายในกรดอะซิติก 1 % 100 ml. เคลือบด้านในท่อไคโตแซน หลังจากนั้นปล่อยให้ไคโตแซนแห้งที่อุณหภูมิห้อง นำท่อจุ่มในสารละลายกลีเซอรอล 20 % นาน 30 นาที อุณหภูมิ 30 °C

2. Support+Chi+NaOH เตรียมคล้ายกับสูตรที่ 1 คือ เตรียมไคโตแซน 1 กรัมละลายในกรดอะซิติก 1 % 100 ml. เคลือบด้านในท่อไคโตแซน หลังจากนั้นปล่อยให้ไคโตแซนแห้งที่อุณหภูมิห้อง จุ่มท่อคอมโพสิตในสารละลาย NaOH 5 % เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 °C จากนั้น จุ่มในสารละลาย glycerol 20 % นาน 30 นาที 30 °C

3. Support+Si+NaOH เตรียมคล้ายกับสูตรที่ 1 คือ เตรียมไคโตแซน 1 กรัมละลายในกรดอะซิติก 1 % 100 ml. และอนุภาคซิลิกาที่มีขนาด 0.63 – 0.2 nm. ปริมาณ 1 กรัม เคลือบด้านในท่อไคโตแซน หลังจากนั้นปล่อยให้ไคโตแซนแห้งที่อุณหภูมิห้อง จุ่มท่อคอมโพสิตในสารละลาย NaOH 5 % เป็นเวลา 2

ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 °C จากนั้น จุ่มในสารละลาย glycerol 20 % นาน 30 นาที 30 °C ทิ้งให้แห้งที่ อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง

4. Support+Si+NaOH เตรียมคล้ายกับสูตรที่ 1 แต่เมื่อได้ท่อนคอมโพสิตแล้วทำการ เชื่อมขวาง (Crosslink) กับ 1×10^{-2} M epichlorohydrin ที่มี 0.067 M NaOH (pH 10) นาน 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 °C

นำท่อนคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิดวัดฟลักซ์น้ำที่ความดัน 0.2- 1 MPa. กรองสารละลาย CuSO_4 ความเข้มข้น 50 mg/l ได้ผลต่าง ๆ ดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 สมบัติของท่อนคอมโพสิต Al_2O_3 / Chitosan (Steenkamp *et al.*, 2001)

Membrane	Permeate clean water $\times 10^6$ ($\text{mol/m}^2 \text{sPa}$)	Resistance top layer/ total resistance (%)	Permeate Cu^{2+} Solution $\times 10^6$ ($\text{mol/m}^2 \text{sPa}$)	Resistance top layer/ total resistance (%)
Support	1.35	0	-	-
Support+Chi	0.17	87	-	-
Support+Chi- NaOH	0.76	43	0.37	73
Support+Chi- NaOH	0.93	30	0.35	75
Support+Chi- NaOH-crosss	1.06	22	1.16	14

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้เตรียมเยื่อคอมโพสิตเซรามิก/พอลิเมอร์ โดยใช้เซรามิกไทเทเนียม ไดออกไซด์เป็นเยื่อฐานและเคลือบด้วยไคโตแซนที่มีการเชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ด้วยวิธีอัดความดันเพื่อทำเป็นเยื่อกรองระดับอัลตรา

1.3 วัตถุประสงค์

1. เตรียมเชื้อเซรามิกชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์ ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางด้านการกรอง
2. เตรียมเชื้อบางโคโตแซน ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางด้านการกรอง
3. ศึกษาการเตรียมเชื้อคอมโพสิตระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์/โคโตแซน
4. ศึกษาสมบัติการกรองของเชื้อคอมโพสิตที่เตรียมได้