บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

เยื่อบางสังเคราะห์ (synthetic membrane) เป็นเยื่อบางผลิตขึ้นโดยเลียนแบบเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane)ของสิ่งมีชีวิตซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนสารอาหาร น้ำและแร่ธาตุกับสิ่งแวดล้อม ส่วนเยื่อบางสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นจะถูกนำไปใช้งานด้านกรองสารหรือแยกสารเช่น เพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การกรองโปรตีนหรือคอลลอยด์ การกรองเกลือออกจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล การแยกยูเรียในกระบวนการไตเทียม การแยกก๊าซชนิดใดชนิดหนึ่งออกจากก๊าซผสม ตลอดจนการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักเจือปนจากอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเยื่อบางสังเคราะห์นำไปใช้งานอย่างกว้างขวางซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนแยกสารด้วยวิธีอื่นๆ คือสามารถแยกตามขนาดของสารโดยเลือกเยื่อบางที่มีขนาดรูตามต้องการและใช้พลังงานค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการแยกด้วยความร้อน นอกจากนี้การแยกด้วยเยื่อบางสังเคราะห์สามารถกรองจุลินทรีย์ในน้ำดื่มได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้คลอรีนซึ่งช่วยลดปริมาณการใช้คลอรีน เยื่อบางสังเคราะห์โดยส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส (cellulose) ไคโตซาน (chitosan) พอลิซัลโฟน (polysulfone) ส่วนเยื่อบางสังเคราะห์ที่ผลิตจากวัสดุอนินทรีย์ เช่น เซรามิกส์ โลหะ แก้ว ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไคโตซานเป็นวัสดุในการผลิตเยื่อบาง

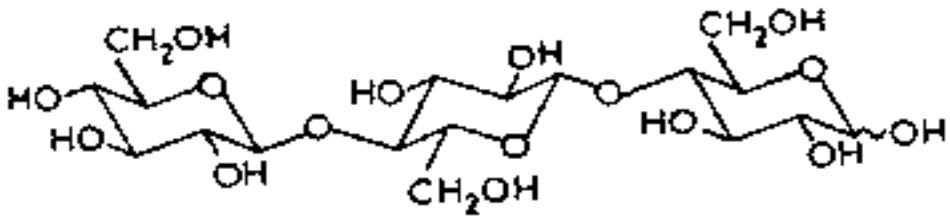
ประเทศไทยได้เปรียบกว่าประเทศอื่นในด้านความพร้อมของวัตถุดิบเนื่องจากเปลือกกุ้งและกระดองปูเป็นวัสดุเหลือใช้สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไคตินและไคโตซานซึ่งย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ ทั้งไคตินและไคโตซานมีคุณสมบัติจับกับไอออนของโลหะได้ดี ละลายในกรดอินทรีย์จึงสามารถขึ้นรูปเป็นเยื่อบางได้ง่ายนำไปใช้งานด้านการกรอง สำหรับประเทศไทยเทคโนโลยีการกรองด้วยเยื่อบางยังไม่แพร่หลายเนื่องจากซื้อเยื่อกรองจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง จึงน่าจะเริ่มต้นศึกษาจากพื้นฐานการทำเยื่อกรองด้วยวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นซึ่งนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตและรักษาสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาแบบยั่งยืน

1.2 การตรวจเอกสาร

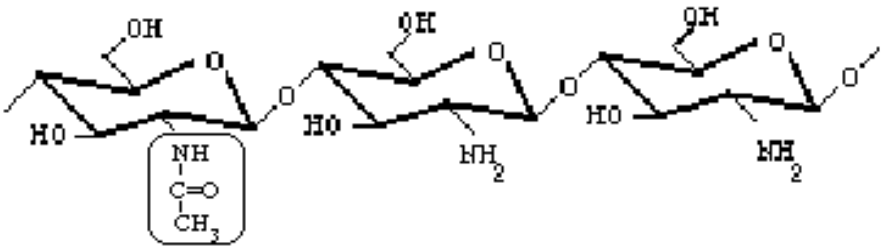
1.2.1 คุณสมบัติของไคติน – ไคโตซาน

ไคติน (Chitin) มีสูตรทางเคมีของโมโนเมอร์ คือ $C_8H_{18}NO_5$ ประกอบด้วย C 47.29% H 6.89% N 6.89% และ O 39.37% (MERCK INDEX, 1989) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพมีปริมาณมากเป็นอันดับสองของโลกรองจากเซลลูโลสซึ่งธรรมชาติสร้างสรรค์ขึ้นมาเพื่อเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตมีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส (cellulose) ต่างกันที่คาร์บอน (carbon) ตำแหน่งที่ 2 เป็น NH-CO-CH_3 แทนที่จะเป็นหมู่ –OH (ภาพประกอบ 1 ก. และ ข.) ไคตินเป็นสารอินทรีย์โดยสกัดได้จากเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนของแมงกะพรุน ปลาหมึก ดาวทะเล และแมลง เปลือกหุ้มของแพลงก์ตอน ผนังเซลล์ของสาหร่าย เห็ดรา และยีสต์ ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non-electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ไม่สามารถละลายในน้ำหรือสารละลายทั่วไปได้ หากแยกเอาหมู่อะเซทิล (acetyl, CO-CH_3) ออกจะได้สารที่ชื่อว่า “ไคโตซาน” (จิราภรณ์ สุขุมาวาสี, 2544)

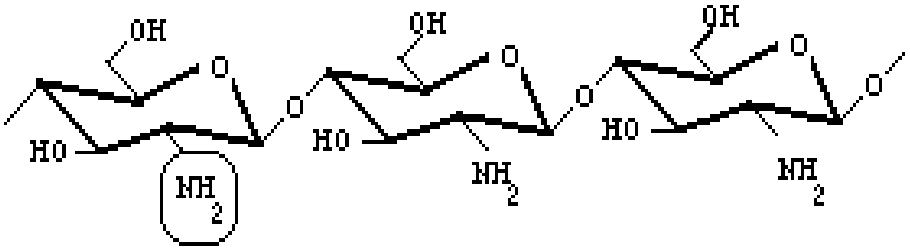
ไคโตซาน (chitosan) คืออนุพันธ์ตัวหนึ่งของไคตินได้จากปฏิกิริยาการการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างของไคตินบางส่วนเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันที่มีธาตุไนโตรเจน (ในรูปของหมู่อะซีตามิโด –$NHCOCH_3$ เปลี่ยนไปเป็นรูปของหมู่อะมิโน NH_2) ที่ตำแหน่งตัวที่ 2 (ภาพประกอบ 1 ค.) สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายยาวที่มีประจุบวกเนื่องจากหมู่อะมิโน (anino, NH_2) ไคโตซานละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซีติก กรดแลกติก กรดฟอร์มิก เป็นต้น ในการนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์จะมีไคตินหลงเหลืออยู่ด้วยจึงมีค่า degree of acetylation เป็นตัววัดค่าไคตินถูกดึงหมู่อะซิทิลออกไปมากแค่ไหนซึ่งจะแสดงว่ามีคุณสมบัติค่อนไปทางไคตินหรือค่อนไปทางไคโตซาน



ก. สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส



ข. สูตรโครงสร้างของไคติน



ค. สูตรโครงสร้างของไคโตซาน

ภาพประกอบ 1 สูตรโครงสร้าง เซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน

ไคโตซานมักถูกนำไปใช้ทั้งในรูปของแข็งและในรูปสารละลาย โดยละลายไคโตซานด้วยกรดอินทรีย์จนได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวใส สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น แผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์และสารเคลือบผิว ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงมีความปลอดภัยในการนำเอาไคโตซานมาประยุกต์ใช้งาน โดย ป๋วย อุ่นใจ (2544)ได้รวบรวมประโยชน์การนำไคติน-ไคโตซานไปใช้ในด้านต่างๆ ดังนี้

- ด้านการแพทย์และด้านสุขภาพ ใช้ทำไหมเย็บแผล ได้ดีกว่าไหมเย็บแผลสังเคราะห์เพราะผูกเป็นปมง่าย แผลหายเร็ว สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อแผลติดกัน ผิวหนังเทียม ใช้รักษาแผลแทนพลาสเตอร์ปิดแผล ไคติน-ไคโตซานสามารถเร่งให้แผลหายเป็นปกติได้เร็วขึ้น ไม่ติดแผล สามารถสลายได้เองตามธรรมชาติ ไคตินกันการปลดปล่อยยา ใช้ทำเป็นแคปซูลยา เป็นตัวขนส่งยาจะป้องกันไม่ให้ยาปล่อยออกมาจนกระทั่งถูกย่อยในกระเพาะอาหาร และยังเป็นตัวควบคุมการปล่อยยาในร่างกาย

- ด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นสารตกตะกอนหรือเป็นตัวกรองเช่น อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เบียร์และเครื่องดื่มต่างๆ อุตสาหกรรมสิ่งทอ นิยมใช้ไคติน-ไคโตซานเข้ามาผสม เพื่อเสริมความเหนียวให้กับเส้นใย และนำไคติน-ไคโตซานใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษที่มีคุณสมบัติทางกาย

ภาพสูง เช่น เพิ่มความเหนียวแน่นและความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการฉีกขาด และใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

- ด้านการเกษตร ไคโตซานสามารถก่อตัวเป็นฟิล์มบาง ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเมล็ดพันธุ์ และยังมีการนำเอาอนุพันธ์ของไคตินและไคโตซานไปเป็นสารต่อต้านเชื้อรา ไวรัสและแบคทีเรียบางชนิด

- ด้านสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสีย ไคโตซานมีความสามารถในการจับกับของแข็งแขวนลอยได้ดี และจับกับอะตอมของโลหะหนัก นำไคติน-ไคโตซานไปจับกับสารกัมมันตรังสี เช่น พลูโตเนียมและยูเรเนียมด้วย อีกทั้งนำไคโตซานทำเป็นเยื่อกรองเนื่องจากสามารถขึ้นอยู่เป็นแผ่นเยื่อบาง (membrane)ได้ง่าย

1.2.2 ชนิดของเยื่อบาง

แบ่งตามขนาดรูของเยื่อบางเป็นชนิดมีรูและไม่มีรูซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. เยื่อบางแบบมีรูพรุน (porous membrane) โดยรูพรุนพิจารณาขนาดรูซึ่งหมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของรูหรือความกว้างของช่องเปิด โดย IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry, 1985) แบ่งช่วงของขนาดรูออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- macropores คือกลุ่มเยื่อบางที่มีขนาดรูใหญ่กว่า 50 nm (500 ^{0}A) เยื่อบางที่มีรูขนาดดังกล่าวใช้ใน กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration)

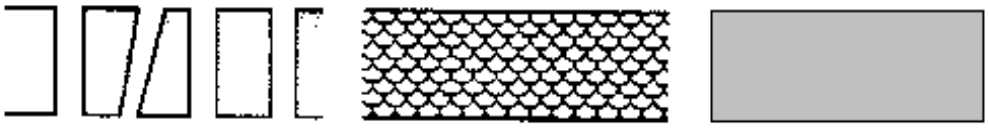
- mesopores คือกลุ่มเยื่อบางที่มีขนาดรู 2 ถึง 50 nm นำไปใช้ใน กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration)

- micropores คือกลุ่มเยื่อบางที่มีขนาดรูเล็กกว่า 2 nm นำไปใช้ในกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) และรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis)

2. เยื่อบางแบบไม่มีรูพรุน (non-porous membrane) หรือ เยื่อบางแบบแน่น (dense membrane) ใช้ในกระบวนการแยกแก๊ส (gas separation) เพอเวปพอเรชัน (pervapporation) ไดอะไลซิส (dialysis) และ อิเลคโตรไดอะไลซิส (electrodialysis) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะกล่าวถึงหัวข้อต่อไป

การแบ่งเยื่อบางตามโครงสร้างของเยื่อบางโดย Howell และคณะ (1993) ได้แบ่งเยื่อบางตามโครงสร้างออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. เยื่อบางสมมาตร(symmetric membrane) มีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา เยื่อบางสมมาตรเป็นแบบมีรูพรุนหรือไม่มีรูพรุน ความหนา 10-200 ไมโครเมตร ดังภาพประกอบ 2



(a) cylindrical porous (b) porous (c) homogeneous

ภาพประกอบ 2 โครงสร้างเยื่อบางแบบสมมาตร

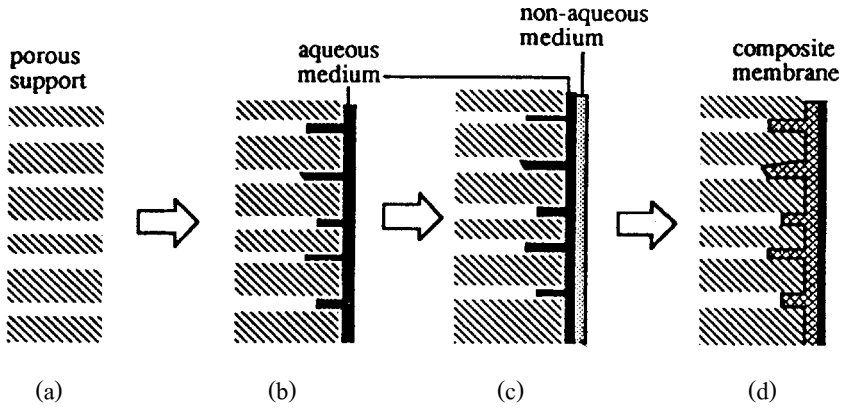
2. เยื่อบางไม่สมมาตร(Asymmetric membrane) ประกอบด้วยชั้นผิวซึ่งมีรูขนาดเล็กหรือไม่มีรูซึ่งทำหน้าที่ในการกักกันสารและส่วนของชั้นรองรับซึ่งมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง ข้อดีของเยื่อบางแบบไม่สมมาตรคือสามารถทนแรงดันสูง เยื่อบางไม่สมมาตรแบ่งออกเป็นได้ 2 ลักษณะ

- เยื่อบางไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน โดยมีชั้นผิวอาจจะมีรูหรือไม่มีรู (dense top layer) หนา 0.1-0.5 ไมครอน และชั้นรองมีรูพรุน (porous sublayer) ความหนา 50-150 ไมครอน ดังภาพประกอบ 3

ภาพประกอบ 3 โครงสร้างเยื่อบางแบบไม่สมมาตร ชั้นผิวกับชั้นล่างจากวัสดุชนิดเดียวกัน

- เยื่อประกอบ (composite membrane) มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุคนละชนิด โดยชั้นล่างเป็นชั้นรองรับ (Support layer) การสร้างชั้นผิว (Active layer) บนชั้นรองรับซึ่งมีความหนา 50 นาโนเมตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสูงขึ้น โดยชั้นผิวนี้มีขนาดรูพรุนขนาดเล็กและ

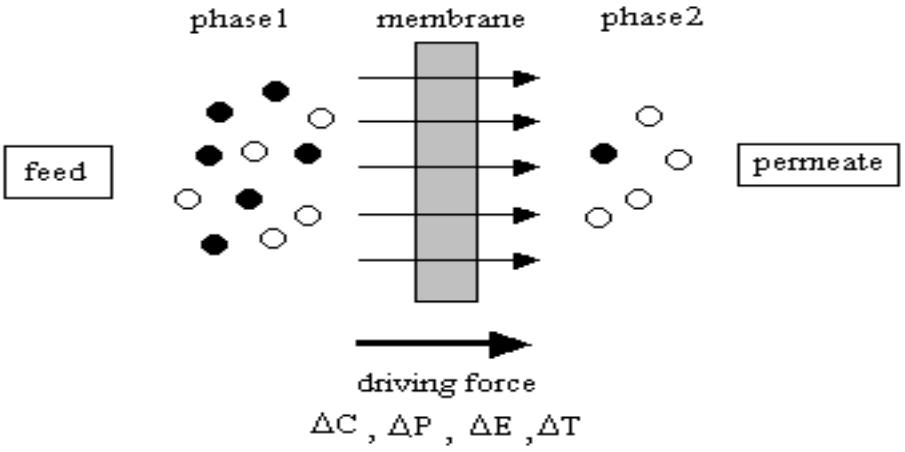
มีความสามารถในการแยกสูงกว่าชั้นรองรับ ดังภาพประกอบ 4 เยื่อประกอบเตรียมจาก (a) เยื่อบางที่มีรูพรุนสำหรับทำเป็นชั้นรองรับ (b) รีดหรือจุ่มด้วยสารละลายพอลิเมอร์บนชั้นรองรับ จากนั้น (c) จุ่มในตัวกลางที่ไม่ละลายเพื่อให้สารละลายพอลิเมอร์แข็งตัว (d)ได้เยื่อประกอบ (composite membrane) เป็นเยื่อบางแบบไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างจากวัสดุต่างชนิดกัน



ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของเยื่อบางแบบไม่สมมาตร ชั้นผิวกับชั้นล่างจากวัสดุต่างชนิดกัน

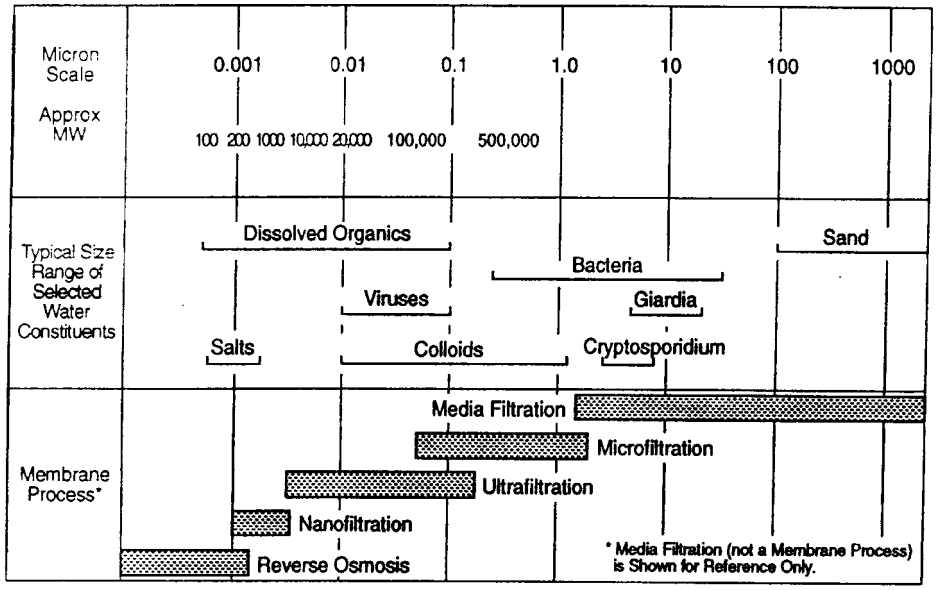
1.2.3 กระบวนการแยกโดยเยื่อบาง

หลักการในกระบวนการแยกด้วยเยื่อบางโดยอาศัยแรงขับดันที่ทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเยื่อบางและเกิดการแยก เช่น ผลต่างความเข้มข้น (ΔC) ผลต่างของแรงดัน (ΔP) ผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ΔE) และผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) โดยเยื่อบางมีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่นทำให้เกิดการแยก ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 กระบวนการแยกผ่านเยื่อบางภายใต้แรงเคลื่อนชนิดต่างๆ

การเลือกผ่านของเยื่อบางมีผลมาจากขนาดของรูพรุนของเยื่อบางสามารถจำแนกกระบวนการแยกตามขนาดของโมเลกุลหรืออนุภาคได้ ดังภาพประกอบ 6 โดยอาศัยผลต่างของความดันเป็นแรงขับดัน



ภาพประกอบ 6 กระบวนการแยกโดยใช้เยื่อบาง

ที่มา Robert, 1998

ไดอะไลซิส (dialysis, D) เป็นการใช้ผลต่างความเข้มข้น(ΔC) ของตัวถูกละลายเป็นแรงขับดันให้สารผ่านโดยการแพร่ผ่านเยื่อบางจากด้านที่มีความเข้มข้นสูงไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ นำกระบวนการนี้ไปใช้งานในการแยกเกลือและตัวถูกละลายขนาดเล็กออกจากตัวถูกละลายขนาดใหญ่

อิเลคโตรไดอะไลซิส (electrodialysis, ED)เป็นกระบวนการแยกประจุจากสารละลายอิเลคโตรไลท์โดยใช้เยื่อบางแลกเปลี่ยนไอออนมาต่ออนุกรมกันอยู่ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงขับดัน (ΔE) ในการเลือกไอออนผ่านเยื่อบาง ทำให้เกิดการแยก โดยไอออนบวกจะผ่านเยื่อบางแลกเปลี่ยนไอออนบวก ส่วนไอออนลบจะผ่านเยื่อบางแลกเปลี่ยนไอออนลบทำให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนสูงและสารละลายเจือจาง กระบวนอิเลคโตรไดอะไลซิสนำไปใช้งานการผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเกลือ

เพอเวปพอเรชัน (pervapporation, PV) เป็นการกระบวนการแยกโดยใช้เยื่อบางแบบแน่นด้วยกลไกการละลาย – การแพร่ ใช้ผลต่างของความดัน (ΔP) และผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) เป็นแรงขับดัน เช่นการใช้เยื่อบางชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งจะเลือกผ่านน้ำมากกว่าสารอินทรีย์ หรือเยื่อบางไม่ชอบน้ำ จะเลือกผ่านสารอินทรีย์มากกว่า ผ่านเยื่อบางในรูปของไอ (ด้านเพอมิเอท) แล้วลด

อุณหภูมิทำให้ไอสารกลั่น เป็นของเหลว นำไปใช้การแยกน้ำ (dehydration) เพื่อผลิตแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง หรือการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์

รีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis, RO) เป็นกระบวนการใช้เยื่อบางที่มีโครงสร้างแบบแน่นหรือไม่มีรูพรุน โดยใช้ผลต่างของความดัน (ΔP) เป็นแรงขับดันในการแยกโมเลกุลขนาดเล็กที่มี น้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 500 เช่น เกลือ น้ำตาล ออกจากสารละลายโดยเยื่อบางยอมให้น้ำผ่าน

นาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการที่ใกล้เคียงกับรีเวอร์สออสโมซิส ใช้ผลต่างของความดันเป็นแรงขับดันในการแยกตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1000 ออกจากสารละลาย

ไมโครฟิลเตรชั่น(macrofiltration, MF) เป็นกระบวนการใช้เยื่อบางที่มีรูพรุนโดยใช้ผลต่างของความดัน (ΔP) เป็นแรงขับดันให้ตัวถูกละลายผ่านเยื่อบาง สำหรับแยกสารแขวนลอยของจากของสารละลาย นำไปใช้งานด้านการบำบัดน้ำทิ้ง

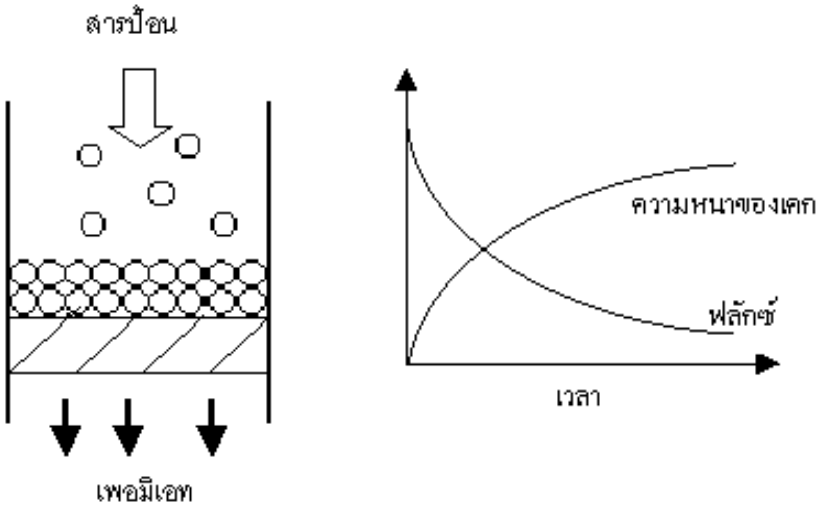
อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการใช้เยื่อบางที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous) สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน เอ็นไซม์ คอลลอยด์ ออกจากน้ำและสารโมเลกุลเล็ก ตัวอย่างที่สารละลายที่แยกหรือเพิ่มความเข้มข้นได้กระบวนการนี้ได้แก่ น้ำนม น้ำผลไม้ สารละลายเอ็นไซม์ สารปฏิชีวนะ และน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมโดยใช้ความดันในการป้อนสารละลายผ่านเยื่อบาง เนื่องจากกระบวนการกรองแบบ UF เป็นการแยกสารโมเลกุลใหญ่ ดังนั้นจึงบอกตัวถูกละลายเป็นน้ำหนักโมเลกุลแทนขนาดของตัวถูกละลายโดยใช้ molecular weight cut-off (MWCO) เช่น เยื่อบางที่มี MWCO 40000 หมายความว่า ตัวถูกละลายที่น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 40000 จะถูกกักกัน 90% ขึ้นไป ตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่านี้จะผ่านเยื่อบางไปได้บ้างหรือถูกกักกันต่ำกว่า ดังตาราง 1 แสดงขนาดของอนุภาคเทียบกับน้ำหนักโมเลกุล เยื่อบางที่ใช้ในกระบวนการ UF เป็นแบบไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนา 0.1- 2 ไมครอนมีขนาดรูพรุน 20-200 ^{0}A หรือเทียบเป็น MWCO 500-300,000

ตาราง 1 ขนาดโดยประมาณของอนุภาคและน้ำหนักโมเลกุล

อนุภาค/โมเลกุล	ขนาด (nm)
ยีสต์ , รา	1000 - 10000
แบคทีเรีย	300 - 10000
อิมัลชันน้ำมัน	100 - 10000
คอลลอยด์	100 - 1000
ไวรัส	30 - 300
โปรตีน/โพลิแซคคาไรด์ (MW 10^4-10^6)	2 - 10
เอ็นไซม์ (MW 10^4-10^5)	2 - 5
สารปฏิชีวนะ (MW 300-1000)	0.6 - 1.2
สารอินทรีย์ (MW 30-500)	0.3 - 0.8
อิออนอนินทรีย์ (MW 10-100)	0.2 - 0.4
ไฮโดรเจน	0.289
ออกซิเจน	0.346
ไนโตรเจน	0.364
น้ำ (MW 18)	0.2

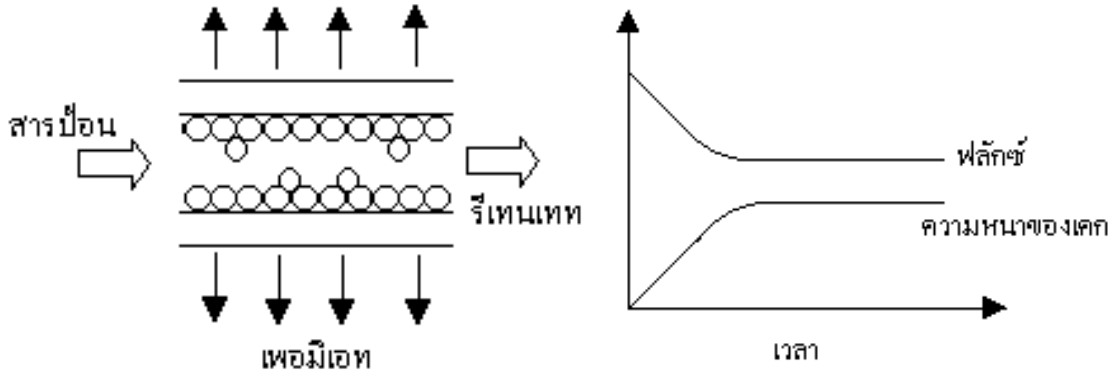
1.2.4 รูปแบบการกรองด้วยเยื่อบาง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- กระบวนการกรองสารโดยใช้ความดันแบบปิดตาย (dead-end filtration) การกรองแบบ dead-end เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อบาง ดังภาพประกอบ 7 การสะสมของอนุภาคบนผิวเยื่อบาง ที่เรียกว่า เคก (cake) การสะสมของเคกทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นตามเวลาของการกรอง และทำให้อัตราการไหล (flux) ผ่านเยื่อบางลดลงอย่างรวดเร็ว การกรองแบบ dead-end เหมาะสำหรับการกรองสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก และมีความเข้มข้นต่ำ งานวิจัยใช้ระบบการกรองแบบ dead-end เนื่องจากเป็นระบบเหมาะสำหรับทดสอบคุณสมบัติของเยื่อบางซึ่งใช้ปริมาตรของสารละลายน้อยและความเข้มข้นของสารละลายต่ำ



ภาพประกอบ 7 การกรองแบบ dead-end

- กระบวนการกรองสารโดยใช้ความดันแบบไหลขวาง (crossflow filtration) เป็นการกรองแบบไหลขวาง (cross filtration) เป็นการป้อนสารละลายขนานกับเยื่อบางหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอมิเอท ดังภาพประกอบ 8 การป้อนสารละลายแบบไหลขวางมีผลของแรงเฉือนทำให้สารละลายกวาดอนุภาคออกจากผิวหน้าเยื่อบาง เกิดการสะสมของเคกเพียงบางๆ เท่านั้น การลดลงของฟลักซ์ไม่มากเท่าในการกรองแบบ dead-end จึงเหมาะสำหรับการกรองสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง



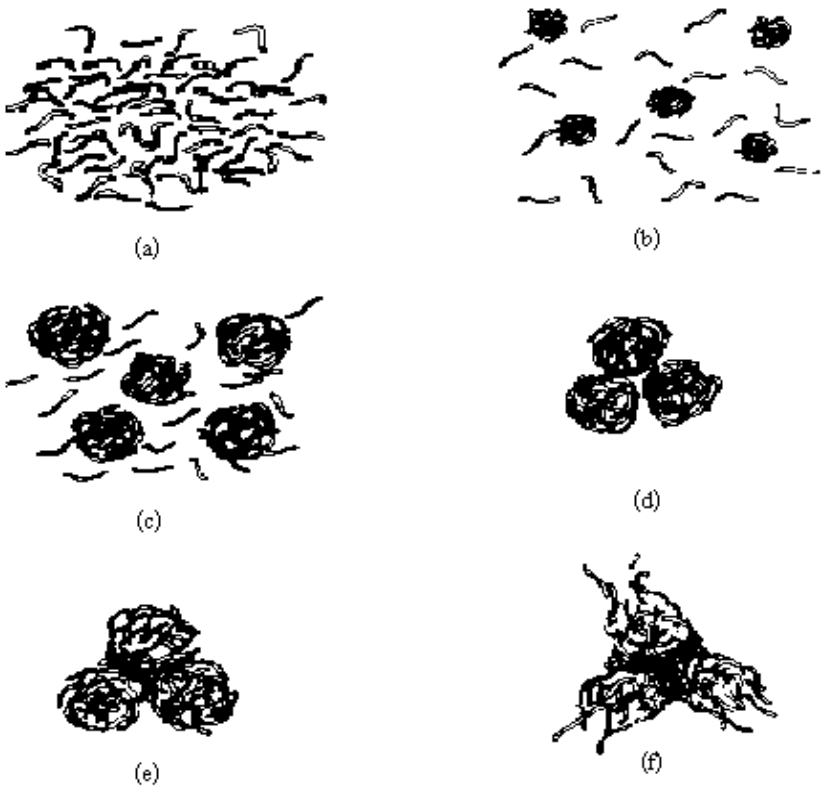
ภาพประกอบ 8 การกรองแบบ crossflow

1.2.5 วิธีการผลิตเยื่อบาง

ในงานวิจัยนี้ผลิตเยื่อบางไคโตซานแบบเปลี่ยนเฟส โดย Roberting (1971) ได้คำอธิบายไว้ว่า วิธีการเปลี่ยนเฟส (phase inversion method) เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในการผลิตเยื่อบาง การเปลี่ยนเฟสหมายถึงการทำให้สารละลายโพลิเมอร์ (dope, casting dope) เปลี่ยนจากสารละลายเนื้อเดียว (homogeneous) ที่เรียกว่า โซล 1 (sol) ไปเป็นสารละลายเนื้อผสมหรือโซล 2 และเปลี่ยนไปเป็นเจลโดยระหว่างการเปลี่ยนแปลงของเหลวหนึ่งกลายเป็นของแข็งของเยื่อบางและโครงสร้างของรูพรุนเกิดจากการระเหยของตัวทำละลายออกจากสารละลายโพลิเมอร์หรือลดความสามารถในการละลายของสารละลายโพลิเมอร์

การผลิตเยื่อบางโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส แบ่งออกเป็นแบบเปียก (wet process) และแบบแห้ง (dry process) โดยกระบวนการแบบเปียกมีการระเหยของตัวทำละลายบางส่วนแล้วทำให้แข็งตัว (coagulation) ในตัวไม่ละลาย (ส่วนมากใช้น้ำ) จะได้เยื่อบางที่มีโครงสร้างไม่สมมาตร (asymmetric) ส่วนในกระบวนการแบบแห้งมีการระเหยของตัวทำละลายทั้งหมด จะได้เยื่อบางมีโครงสร้างแบบแน่นและมีโครงสร้างแบบสมมาตร (symmetric) เมื่อผสมสารละลายโพลิเมอร์ในสัดส่วนที่ต้องการ ตัวทำละลายจะแทรกซึมไปทำให้สายโมเลกุลของโพลิเมอร์สั้นลง การกวนช่วยให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวและช่วยให้โพลิเมอร์ละลายง่ายขึ้น นำสารละลายพอลิเมอร์มาหล่อ (cast) โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ กลไกในการเกิดรูพรุน มีดังต่อไปนี้ ดังภาพประกอบ 9

1. การระเหยของตัวทำละลาย (evaporation)
2. การเกิดเจล (gelation)
3. การหดตัวของเจล (gel contraction)
4. การลดช่องว่างแคปปิลารี (capillary)



ภาพประกอบ 9 การเกิดรูพรุนของเยื่อบางโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส
ที่มา (Roberting, p 122. 1971)

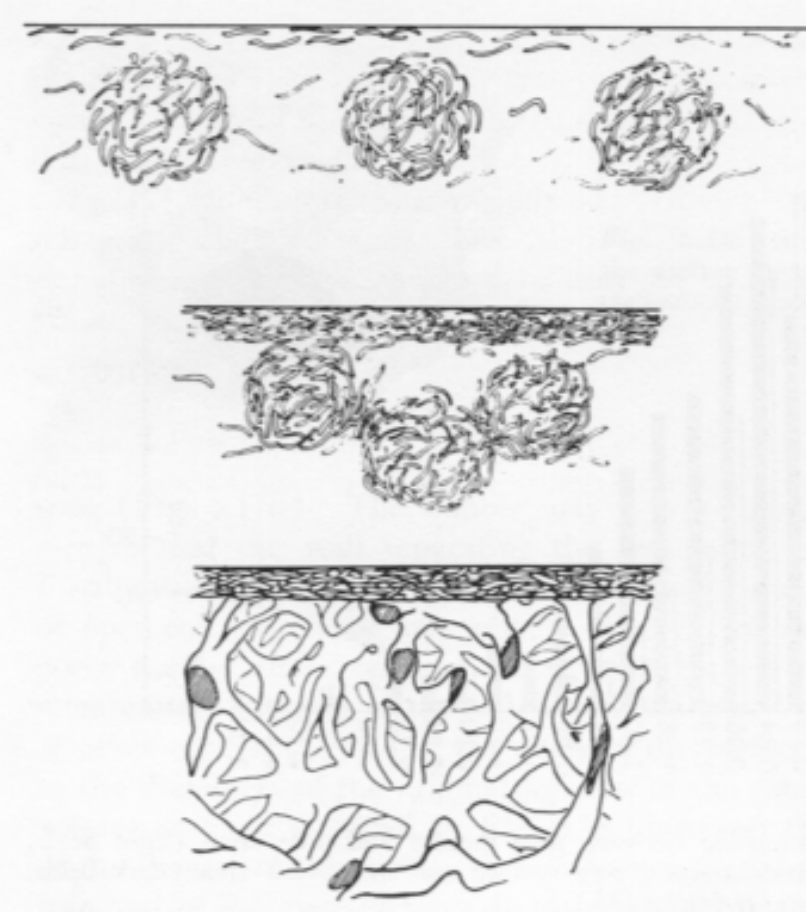
รูป (a) สารละลายพอลิเมอร์ที่เป็นเนื้อเดียว (sol)

รูป (b) เริ่มมีการระเหยของตัวทำละลายจะเกิดการแยกเฟส เกิดเป็น sol 2 โดยสายโซ่สั้นๆ ของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เคลื่อนที่เข้าหากันเกิดเป็นหยด (micelle) และเมื่อปริมาณของตัวทำละลายลดน้อยลงเรื่อยๆ ทำให้หยดของเหลวเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น

รูป (c) เป็นกระบวนการแบบเปียกหลังจากการ cast และการระเหยของตัวทำละลายแล้วนำเยื่อบางไปจุ่มในอ่างน้ำ ตัวทำละลายจะแพร่เข้าไปในตัวไม่ละลาย (น้ำ) ระหว่างเกิด goagulation น้ำบางส่วนก็แพร่เข้าไปในเยื่อบางได้เช่นเดียวกัน

รูป (d-f) โมเลกุลของโพลิเมอร์จะแพร่/แลกเปลี่ยนกันระหว่างหยด ถ้าผนังของหยดบาง การหดตัวของหยดของเหลว ซึ่งขณะนี้อยู่ในสภาพของเจล (หยดของเหลวที่ต่อกันเป็นร่างแห) ทำให้ผนังของหยดฉีกขาดจึงเกิดช่องว่างมีลักษณะคล้ายท่อต่อถึงกัน ซึ่งก็คือรูพรุนเปิดในเยื่อบาง ในทางกลับกัน ถ้าผนังของหยดหรือมีโพลิเมอร์เคลือบอยู่มาก ผนักจะฉีกขาดยาก ทำให้ได้รูพรุนปิด

เยื่อแผ่นที่ผลิตโดยกระบวนการแบบเปียกมีลักษณะไม่สมมาตร การระเหยของตัวทำละลายเร็วกว่าส่วนล่าง (ก่อนจุ่มเยื่อบางในตัวไม่ละลาย) ทำให้โมเลกุลของโพลิเมอร์เข้าใกล้ชิดกันอย่างรวดเร็วทำให้เกิดชั้นผิว ดังภาพประกอบ 10 ถ้ายิ่งระเหยนานชั้นผิวก็จะหนายิ่งขึ้น เยื่อบางที่ได้จะมีความต้านทานต่อการไหลสูง ชั้นผิวมีโครงสร้างแน่นหรือไม่มีรูพรุน ความหนาประมาณ 0.1 – 1.0 ไมครอน ส่วนชั้นรองรับซึ่งมีกลไกการเกิดรูพรุนมีความหนา 100 – 200 ไมครอน เยื่อบางที่ได้จากกระบวนนี้นำไปใช้ในกระบวนการกรองระดับรีเวอร์สออสโมซิส หรืออัลตราฟิลเตรชัน



ภาพประกอบ 10 การเกิดชั้นผิวและการเกิดรูพรุนในชั้นรองรับของเยื่อบางไม่สมมาตรที่ผลิตโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส
ที่มา (Roberting E.Kesting , p 146. 1971)

1.2.6 การผลิตเยื่อบางไคโตซาน (Chitosan Membrane) โดยวิธีการเปลี่ยนเฟส

การผลิตเยื่อบางไคโตซานโดยวิธีการเปลี่ยนเฟสมีสองวิธีคือแบบแห้งและแบบเปียกซึ่งได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

การผลิตเยื่อบางไคโตซานโดยวิธีแบบปล่อยให้สารละลายพอลิเมอร์ระเหยแห้ง เยื่อบางที่เตรียมได้เป็นแบบไม่มีรูพรุนหรือแบบแน่น นำไปใช้ในกระบวนการเพอเวปเพอเรชัน (Pervaporation) โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ Feng และ Huang (1996) เตรียมเยื่อประกอบโพลิซัลโฟน/ไคโตซาน โดยใช้สารละลายไคโตซาน 0.53 wt% ในกรดอะซีติก 0.79 wt% เคลือบบนเยื่อบางโพลิซัลโฟน ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิ 70% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพเยื่อบางให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถแยก ethylene glycol ออกจากน้ำได้ 92%

การผลิตเยื่อบางไคโตซานโดยวิธีเปลี่ยนเฟสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เยื่อบางที่เตรียมได้มีรูพรุน (Porous Membrane) เป็นเยื่อบางแบบไม่สมมาตร (Asymmetric membrane)ใช้แยกไอออนและโลหะหนักจากสารละลาย ในกระบวนการนาโนฟิวเตรชัน (Nanofiltration) รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ Kaminski และ Modrzejewska (1997). ศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการแยกไอออนโลหะหนักโดยเยื่อบางไคโตซาน เตรียมจากสารละลายไคโตซาน 7% ในกรดอะซิติก 2% คาสบนกระจกโดยใช้ เครื่องรีดเยื่อบางปรับความหนา 0.8 มิลลิเมตร แล้วเปลี่ยนเฟสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำความสะอาดเยื่อบางไคโตซานด้วยน้ำกลั่น วัดฟลักซ์น้ำดีมีค่าเท่ากับ 4 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดัน 0.05 MPa และทดสอบการแยกไอออนโลหะหนัก Mn(II) , Cr(VI) , Fe(II) จากสารละลาย ที่ pH 5.2 , 6.3 , 11.4 พบว่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกับฟลักซ์น้ำดี สามารถกักกันโลหะหนักได้ 40-80% ส่วนที่ pH 3 ฟลักซ์ลดลงเป็น 2 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดันเดียวกัน มีค่ากักกันอยู่ในช่วง 98 - 100 % ส่วน Yang และ Zall (1984) เตรียมเยื่อบางไคโตซานในระดับรีเวอร์สออสโมซิสจากสารละลายไคโตซาน 2% ในกรด อะซีติก 2% โดยวิธีการเปลี่ยนเฟสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบฟลักซ์น้ำดีมีค่าเท่ากับ 6.0 x 10^4 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดัน 4.7 MPa และสามารถกักกันสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.2% ได้ 78.8% ที่ความดันเดียวกัน การเตรียมเยื่อบางไคโตซานแบบเปลี่ยนเฟสทำให้เยื่อบางมีรูพรุน แต่มีฟลักซ์น้ำดีน้อยการเติมสารพอลิเมอร์ผสมในสารละลายไคโตซานแล้วเปลี่ยนเฟสให้สารพอลิเมอร์ละลายออกมาทำให้รูของเยื่อบางมากขึ้น Yang และ Zall (1984) เติมสารพอลิเมอร์ โพลิเอทิธีนไกลกอล (Polyethylene glycol, PEG) ลงในสารละลายไคโตซาน โดยเตรียมเยื่อบางไคโตซานแบบเปลี่ยนเฟส ช่วยให้ฟลักซ์น้ำดีผ่านเยื่อบางเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารพอลิเมอร์ PEG มีส่วนช่วยให้เกิดรูพรุน Zhang และคณะ (2002) ศึกษาผลเยื่อบางไคโตซานซึ่งผสมโพลีเอทิลีนไกลกอล(Polyethlene glycol, PEG) ต่อการดูดซับสารละลายโปรตีน (BSA) โดยการเตรียมสารละลายไคโต-ซาน 1% ในกรดอะซิ-

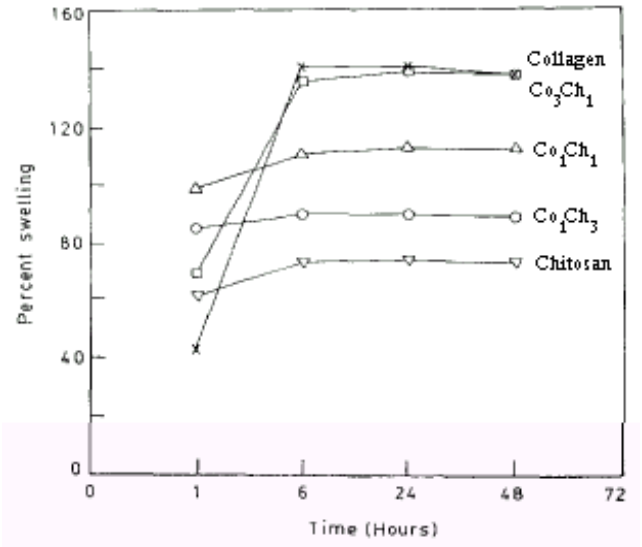
ติก 2% โดยผสม PEG ในอัตราส่วน 2:1 และ 4:1 โดยน้ำหนัก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C ปรับสภาพเยื่อบางให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% พบว่าเยื่อบางไคโตซานที่ผสม PEG ดูดซับสารละลายโปรตีนได้มากขึ้น

1.2.7 การผลิตเยื่อประกอบไคโตซาน (Composite Membrane)

การผลิตเยื่อประกอบไคโตซานกับเยื่อฐาน ในระดับอัลตราฟิวเตรชัน โดยใช้สารละลายไคโตซานเคลือบด้วยวิธีต่างกัน 3 แบบ เช่น แบบเคลือบผิว แบบอัดความดันและแบบหมุนเหวี่ยง โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

การผลิตเยื่อประกอบไคโตซานแบบเคลือบผิว โดยใช้สารละลายไคโตซานเคลือบผิวบนของเยื่อฐานมีวิธีการซึ่งรวบรวมได้ดังนี้ Zhao และคณะ (2002) เตรียมเยื่อประกอบระหว่างไคโตซานกับโพลิอีเทอร์ซัลโฟน โดยจุ่มเยื่อบางโพลิอีเทอร์ซัลโฟนในสารละลายไคโตซาน 1%(v/v) ของกรดอะซีติก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C นาน 3 ชั่วโมง จนแห้ง และทดสอบการดูดซับโปรตีนของเยื่อประกอบที่ pH ต่างๆ พบว่าเยื่อประกอบสามารถดูดซับโปรตีนได้ดีที่ pH ในช่วง 3-4.7 และดูดซับได้น้อยที่ pH ในช่วง 6-8 หากนำเยื่อประกอบนี้ไปใช้งานด้านการกรองสารละลายโปรตีนในช่วง pH 6-8 เพื่อลดปัญหาเนื่องจากการอุดตันในการกรอง ส่วน Zeng และ Ruchenstein (1996) เตรียมเยื่อประกอบไคโตซานกับโพลิอีเทอร์ซัลโฟน โดยวิธีการเปลี่ยนเฟสเตรียมโดยเทสารละลายไคโตซาน 1% ผสม 5% PEG ปริมาตร 2 ml บน PES หนา 150 ไมครอน เส้นผ่าศูนย์กลาง 47 mm ใน pretridish เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ระเหย 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องแล้วเปลี่ยนเฟสในสารละลาย 4% NaOH เป็นเวลา 12 ชั่วโมง วัดฟลักซ์น้ำดีมีค่า 1.27 x 10^3 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดัน 69 kPa การเพิ่มอัตราการไหล (flow rate) จาก 0 - 4.5 ml/min ทำให้การดูดซับ BSA ลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 8.85 - 2.12 mg/cm^3 ส่วน Matsumoto และคณะ(1999) เตรียมและศึกษาเยื่อประกอบระดับอัลตราฟิวเตรชัน ของซัลโฟเนตโพลิซัลโฟน เคลือบบนเซรามิก (ceramic/SPS composite membrane) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง SPS:NMP:$LiNO_3$ มีค่าเท่ากับ 1:5:0.2 และตัวทำละลายระเหยที่อุณหภูมิ 338 K เป็นเวลา 30 นาที ทดสอบอัตราการไหลของน้ำดี มีค่าเท่ากับ 2.39 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดัน 100 kPa และสามารถแยกโปรตีน(MW 67,000)ออกจากวิตามินบี 12 (MW 1,355)ได้โดยโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 20000 Da จะถูกกักกัน 90 % เนื่องจากการเคลือบแบบข้างต้นมีข้อเสียคือ รูของเยื่อฐานจะถูกปิดทำให้ความพรุนของรูลดลงและฟลักซ์ลดลง เพื่อลดปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีเคลือบแบบอัดความดันให้สารละลายไคโตซานผ่านเยื่อฐานเพื่อลดขนาดรูพรุนทำให้ความสามารถในการกรองสารละลายสูงขึ้น

Thacharodi และ Panduranga Rao (1995) เตรียมเยื่อประกอบ Collagen/Chitosan ด้วยวิธีแบบเคลือบผิวบนเยื่อ Collagen โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง Collagen กับ Chitosan เป็น 1:3 (Co_1Ch_3) , 1:1(Co_1Ch_1) และ 3:1(Co_3Ch_1) ภาพประกอบ 11 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเทียบกับเวลาของการแช่เยื่อบางในน้ำ พบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง Collagen สูงกว่าเยื่อบาง Chitosan ส่วนเยื่อประกอบ Co_3Ch_1 , Co_1Ch_1 และ Co_1Ch_3 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำลดลงตามลำดับ แสดงว่าไคโตซานที่เคลือบผิวเยื่อบาง Collagen ทำให้เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อประกอบลดลง เนื่องจากเยื่อบางไคโตซานบวมน้ำน้อยกว่าเยื่อบาง Collagen



ภาพประกอบ 11 เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง Collagen , Chitosan เยื่อประกอบ Co_3Ch_3 , Co_1Ch_1 และ Co_3Ch_1 เทียบกับเวลา

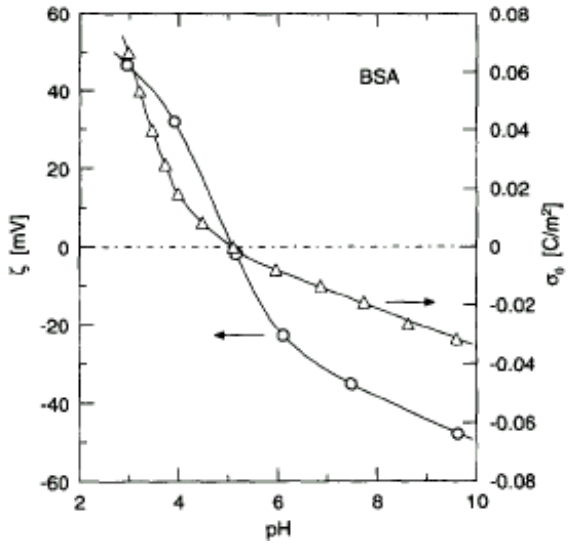
ที่มา Thacharodi และ Panduranga Rao (1995)

การผลิตเยื่อประกอบไคโตซานแบบอัดความดันโดย Musale และคณะ (1999) ศึกษาวิธีการเตรียมเยื่อบางประกอบ(Composite membrane) ระหว่าง poly(acrylonitrile)/Chitosan ระดับอัลตราฟิวเตรชั่น ขนาดรู 10 nm เตรียมโดยให้ความดัน 200 kPa อัดสารละลายไคโตซาน 0.5% ผ่านเยื่อบาง PAN เป็นเวลา 10 วินาที ปล่อยให้ระเหยที่อุณหภูมิ 60^0Cเป็นเวลา 15 นาที แล้วอัด 4% NaOH ที่ความดันเดียวกัน ทำความเยื่อบาง เพื่อทดสอบ ฟลักซ์น้ำดี (pure water flux) ที่ความดัน 200 kPa ได้เท่ากับ 200 L m^{-2} hr^{-1} และสามารถกักกันโพลิเอธิลีนไกลกอล (Polyethylene glycols) ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 75 kD ได้ 90 % สำหรับบางงานวิจัยได้ใช้วิธีผลิตเยื่อประกอบไคโตซานแบบอัดและแบบเคลือบร่วมกัน เช่น Yang และคณะ (2002) เตรียมเยื่อประกอบเซลลูโลส/ไคโตซาน โดยสารละลายไคโตซานซึ่งผสมโพลิเอทิลีน ไกลกอล (Polyethylene glycol, MW 10,000) โดยใช้ความดันอัดสารละลายไคโตซานไหลผ่านเยื่อบางเซลลูโลส แล้วเทสารละลายไคโตซาน 6.5 ml บนเยื่อบางเซลลูโลส ใน pretri dish (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm) ปล่อยให้ระเหยที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนเฟสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำความสะอาดเยื่อบางจะได้เยื่อประกอบเซลลูโลส/ไคโตซาน ทดสอบฟลักซ์น้ำดีมีค่า 1.9 x 10^3 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดัน 88 kPa การผลิตเยื่อประกอบไคโตซานแบบหมุนเหวี่ยง มีงานวิจัยของ Steenkamp และคณะ (2001) ได้เตรียมเยื่อประกอบระหว่างอะลูมินา/ไคโตซาน โดยเคลือบสารละลายไคโตซานผสมซิลิกา บนเยื่อบางอะลูมินาแบบหมุนเหวี่ยง แล้วเปลี่ยนเฟส (phase inversion) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบการกรอง Cu^{2+} เข้มข้น 50 mg/l $CuSO_4$ ได้เป็นน้อยกว่า 1 mg/l และ R.H.Li. , T.A.Barbari เตรียมเยื่อประกอบระหว่าง Regenerated cellulose/Poly(vinyl alcohol) โดยใช้สารละลาย Poly(vinyl acohol) โคทแบบ spin 250 - 1,050 rpm. บนเยื่อบาง Regenerated cellulose ทดสอบการกรองสารละลาย BSA วัดฟลักซ์น้ำดี 76.4-110.3 L m^{-2} hr^{-1} ที่ความดัน 345 kPa

1.2.8 โปรตีน

จากภาพประกอบ 6 จะเห็นว่าสารแขวนลอย (Colloids) มีขนาด 1 - 0.01 ไมครอน เช่น โปรตีน งานวิจัยนี้เลือกใช้สารละลายโปรตีนในการกรองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของเยื่อบาง เนื่องจากโปรตีนเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ไม่มีจุดหลอมเหลวหรือจุดสลายตัวที่แน่นอน ตัวอย่างของโปรตีนที่รู้จักกันดี ได้แก่ แอลบูมิน (Albumin) เคซีน เจลาติน เป็นต้น โปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากอาจมีค่าได้ตั้งแต่ 15,000 ถึง 20,000,000 หน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของโปรตีนคือกรดอะมิโนชนิดต่างๆเชื่อมต่อกันเข้าด้วยกัน กรดอะมิโนประกอบด้วยหมู่ NH_2 และ COOH ซึ่งต่างมีขั้วสูง มีจุดหลอมเหลวที่สูง ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละลายในน้ำ จะได้เป็นสารละลายคอลลอยด์ (colloidal solution) สามารถใช้เยื่อบางแยกโปรตีนออกจากสารที่ละลายได้ โปรตีนอาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน หรือ pH ของสารละลายนั้น กรดอะมิโนและโปรตีนแต่ละตัวจะมี pH คงที่ค่าหนึ่งที่ทำให้มีสภาพที่เป็นไอออนขั้วคู่ (dipolar ion) คือมีประจุไฟฟ้าเป็นกลางหรือเป็นศูนย์ ค่า pH นี้เรียกว่า จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point, iep) ค่านี้ไม่จำเป็นสารละลายต้องเป็นกลาง (pH = 7) แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนหรือโปรตีนชนิดนั้นๆ (สุภาพ บุณยะรัตเวช, 2540)

อัลบูมิน หรือเรียกว่า Bovine Serum Albumin (BSA) เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ MW 67000 มีขนาดประมาณ 64 A^0 (Richard, 2000) คุณสมบัติของ BSA มีจุด isoelectric point iep ของ BSA มีค่า pH 4.7 - 4.9 ซึ่งที่ pH ที่จุด iep สารละลาย BSA จะมีประจุเป็นศูนย์ ส่วน pH > iep สารละลาย BSA จะมีประจุลบ และ pH < iep สารละลาย BSA จะมีประจุบวก TMP ต่ำ จะลดการเกิด fouling ได้ดีกว่า TMP สูง (Howell และคณะ 1999) ส่วน Mukai และคณะ ทดสอบการกรองสารละลาย BSA ที่ pH ค่าต่างๆ ด้วยระบบการกรอง แบบ Dead End ที่ความดัน 294 kPa โดยเยื่อบาง Polysulfone (MWCO 10,000 Da) และวัด Zeta potential ของสารละลาย BSA ที่ pH ค่าต่างๆ โดยปรับ pH ใช้ 0.1N HCl และ 0.1N NaOH พบว่า BSA มี isoelectric point ที่ pH 5.1 ส่วนที่ pH < iep BSA มีประจุบวก (positive charge) และ ที่ pH > iep BSA มีประจุลบ (negative charge) ภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 Zeta potential ของสารละลาย BSA ที่ pH ค่าต่างๆ
ที่มา Mukai และคณะ (1997)

ทศพร ทรงงามทรัพย์ และคณะ (2543) ศึกษาผล pH และ ionic strength ต่อการกรองสารละลาย BSA ความเข้มข้น 0.1 g/L โดยใช้เยื่อแผ่นเซอร์โคเนีย พบว่า pH ในช่วง 3.0-8.5 และ ionic strength ไม่มีผลต่อค่าการกักกันของ BSA มากนักโดยกักกันได้ 81-89% แต่ pH จะมีผลต่อค่าฟลักซ์ของสารละลาย BSA ซึ่งมีค่าต่ำสุดที่จุด isoelectric point (iep) ของ BSA มีค่า pH 4.7 - 4.9 ซึ่งโปรตีนมีประจุสุทธิเป็นศูนย์ เกิดแรงผลักระหว่างโมเลกุล BSA มีค่าน้อยที่สุด BSA จึงเกาะกันมีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการละลายของ BSA ลดลง ดังนั้น pH ที่เหมาะสมควรอยู่ห่างจากจุด iep โดยจุดนี้ค่าความต้านทานของเยื่อบางเนื่องจากการเกิด fouling และปริมาณ BSA ที่ถูกดูดซับบนเยื่อบางจะมีค่าสูงสุด ส่วนค่า ionic strength ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของ BSA ทำให้การดูดซับของ BSA บนเยื่อบางลดลง แต่มีข้อเสียคือ ค่าฟลักซ์ลดลงในทุกๆ pH เนื่องจากเยื่อบางสามารถกักกันโซเดียมคลอไรด์ได้บางส่วน (2 - 16%) ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

1.2.9 การอุดตันของเยื่อบาง

การอุดตัน (fouling) เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในกระบวนการกรองสารละลาย แต่สามารถควบคุมและลดการเกิดการอุดตันของเยื่อบางได้ เช่น ควบคุมสภาวะในการกรองคือการกรองแบบไหลขวาง (crossflow filtration) เป็นการเพิ่มแรงเฉือน (shear) บริเวณผิวของเยื่อบางซึ่งช่วยลดปัญหาการลดลงของฟลักซ์ การปรับสภาพของสารละลาย เช่น pH, Ionic Strength ซึ่งมีผลต่อฟลักซ์ และการเลือกใช้เยื่อบางที่เหมาะสมสำหรับการกรอง โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

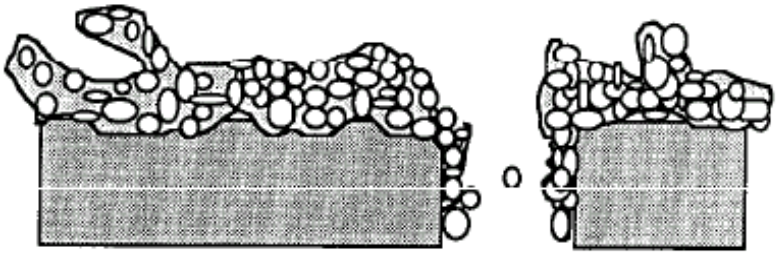
Ramesh และคณะ (2001) เปรียบเทียบการอุดตันของเยื่อบาง Cellulose triacetate (CTA) เป็นเยื่อบางไม่ชอบน้ำ และ เยื่อบาง Regenerated cellulose (RC) เป็นเยื่อบางชอบน้ำ ทดสอบการกรองสารละลาย BSA เข้มข้น 0.75×10^{-3} kg/m^3 พบว่าเยื่อบางไม่ชอบน้ำจะอุดตันได้ง่ายกว่าเยื่อบางชอบน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดจาก CP ใกล้ผิวเยื่อบาง และการดูดซับ BSA ส่งผลให้ ฟลักซ์ลดลง โดยเยื่อบาง CTA มีความต้านทานการไหลเนื่องจากการอุดตัน (R_f) มากกว่าเยื่อบาง RC 2-3 เท่า ส่วน Musale และคณะ (1999) เตรียมเยื่อประกอบ PAN/Chitosan พบว่าไคโตซานสามารถ adsorption anion จาก solution ได้ดีกว่าเยื่อบางที่ไม่ชอบน้ำ และเยื่อบางที่ชอบน้ำจะช่วยลดการอุดตันได้ดีกว่าเยื่อบางที่ไม่ชอบน้ำ

Meireles และคณะ(1990) ได้กล่าวว่าการอุดตันทำให้ฟลักซ์ลดลงแล้วยังทำให้คุณสมบัติการกักกันสารเปลี่ยนแปลงด้วย โดยการอุดตันอาจเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ต่างๆ ต่อไปนี้คือ 1) การดูดซับ 2) การเก็บกักพร้อมกับการหลุดออก 3) การเก็บกักโดยไม่มีการหลุดออก และ 4) การอุดันหรือปิดกั้นรูพรุนของตัวถูกละลาย โดยเสนอแผนภาพการเกิดการอุดตัน ดังภาพประกอบ 13 ซึ่งแสดงลักษณะการอุดตันของเยื่อบางที่มีรูพรุนต่างๆ เทียบกับขนาดของตัวถูกละลาย ภาพประกอบ 13.1 เยื่อบางที่มีรูขนาดเล็กกว่าตัวถูกละลาย การอุดตันของตัวถูกละลายจะเกิดบนผิวเยื่อบางเท่านั้น ทั้งขนาดรูพรุนและคุณสมบัติการกักกันสารของเยื่อบางไม่เปลี่ยนแปลง การกักกันของตัวถูกละลายจะถูกควบคุมโดยขนาดรูเดิม และค่าความต้านทานการไหลของตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปิดรูพรุนของตัวถูกละลาย ทำให้ฟลักซ์ลดลง ในกรณีที่เยื่อบางมีขนาดรูใหญ่กว่าตัวถูกละลายเล็กน้อย ดังภาพประกอบ 13.2 การอุดตันของตัวถูกละลายจะเกิดทั้งภายในและบนผิวเยื่อบาง ทำให้ขนาดรูพรุนของเยื่อบางลดลงจากเดิม ส่งผลให้การกักกันตัวถูกละลายเปลี่ยนแปลง ส่วนเยื่อบางที่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลายมาก ดังภาพประกอบ 13.3 การอุดตันของตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นมากทั้งภายในรูพรุนและบนผิวเยื่อบาง ทำให้การกักกันตัวถูกละลายเปลี่ยนแปลงมากกว่าแบบอื่น ซึ่งสรุปได้ว่า กลไกการอุดตันมี 2 ขั้นตอน คือ การเกิดการอุดตันภายในรูพรุน และการสร้างชั้นของตัวถูกละลายบนผิวเยื่อบาง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดรูพรุนและขนาดของตัวถูกละลาย แต่การอุดตันจะมีผล

กระทบกับเยื่อบางที่มีขนาดรูใหญ่กว่าตัวถูกละลายมากกว่า ดังนั้นการกักกันตัวถูกละลายของเยื่อบางอัลตราฟิวเตรชันจึงขึ้นอยู่กับการอุดตันด้วย

13.1 เยื่อบางมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าตัวถูกละลาย

13.2 เยื่อบางมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลายเล็กน้อย



13.3 เยื่อบางมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าตัวถูกละลายมาก

ภาพประกอบ 13 แสดงลักษณะการเกิดการอุดตันของเยื่อบางที่มีรูพรุนขนาดต่างๆ เทียบกับขนาดตัวถูกละลาย

ที่มา Meireles และคณะ (1990)

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 สามารถเตรียมเยื่อบางไคโตซาน เยื่อประกอบโพลิอีเทอร์ซัลโฟน/ไคโตซาน

1.3.2 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพของเยื่อบาง

1.3.3 ทดสอบการกรองอนุภาคระดับอัลตรา

1.3.4 ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อบางไคโตซานและเยื่อประกอบโพลิอีเทอร์ซัลโฟน/ไคโตซานในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ก่อนและหลังการอุดตัน