

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

กระบวนการเยื่อแผ่น (membrane process) เป็นกระบวนการที่นำเยื่อแผ่นมาใช้แยกสารเพื่อให้สารมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหรือเพื่อให้สารมีความบริสุทธิ์ขึ้น โดยกระบวนการเยื่อแผ่นส่วนใหญ่สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นกระบวนการเยื่อแผ่นจึงใช้พลังงานในการดำเนินการน้อย และยังช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะสูญเสียไปกับการร้อนได้อีกด้วย นอกจากนี้สารที่ถูกแยกออกจากเยื่อแผ่น (เพอมิเอทและรีเทนเทท) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงไม่เพิ่มของเสียให้กับระบบ จึงเป็นการลดปริมาณของเสียเหลือทิ้งของระบบลงได้

กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) ใช้สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ๆ เช่น โปรตีน, แป้งและเอนไซม์ ออกจากสารโมเลกุลเล็กอื่นๆ ตัวอย่างของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการนี้ ได้แก่ สารละลายโปรตีนและน้ำผลไม้ ฯลฯ กระบวนการ UF ใช้ความดันในการดำเนินการต่ำประมาณ 1-10 บาร์ เยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่ใช้มีความหนาแน่นผิว ประมาณ 0.1-2 ไมครอน มีขนาดรูพรุน 10-200 อังสตรอม (Å) และมี ค่า Molecular Weight Cut Off (MWCO) ประมาณ 500-300,000 Da ปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการ UF มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม [1, 2] เช่น การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน การบำบัดน้ำทิ้งและการผลิตน้ำสะอาด [3] นอกจากนี้ยังใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ เช่นการแยกเอนไซม์ออกจากเซลล์ในกระบวนการหมัก [4]

ปัญหาหลักที่พบอยู่เสมอในการดำเนินการของกระบวนการ UF คือการเกิดฟาวลิง (fouling) ของเยื่อแผ่นโดยสารประเภทโปรตีนและชีวโมเลกุลอื่นๆ ซึ่งปัญหาเรื่องฟาวลิงนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การใช้งานของกระบวนการ UF ยังไม่กว้างขวางและแพร่หลายอย่างที่ควรจะเป็น จึงยังคงมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาเยื่อแผ่นที่ป้องกันการเกิดฟาวลิง โดยเฉพาะการเกิดฟาวลิงของโปรตีน

การเกิดฟาวลิงมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงในระหว่างดำเนินการ จึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการกรองสารเพื่อรักษาระดับฟลักซ์ให้คงที่ หากฟาวลิงเกิดขึ้นสูงจนไม่สามารถควบคุมการดำเนินการได้ตามต้องการ ก็จำเป็นต้องทำความสะอาดเยื่อแผ่น ซึ่งโดยส่วนใหญ่ต้องใช้สารเคมีในการที่จะกำจัดสารฟาวแลนด์ที่ติดอยู่บนผิวและภายในรูพรุนของเยื่อแผ่น เมื่อการทำความสะอาดไม่สามารถช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นได้อีก ก็จะต้องเปลี่ยนเยื่อแผ่นใหม่ เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของกระบวนการ UF ทั่วไป จะใช้ในการเปลี่ยนเยื่อแผ่นประมาณ 30-50% การทำความสะอาดเยื่อแผ่น 10-30% และสำหรับค่าพลังงาน 20-30%

ฟาวลิงสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 ทาง คือ: การเกิดตกและการดูดซับของฟาวเลนซ์ การเกิดตกโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น และผันกลับได้ (reversible) จึงสามารถล้างออกด้วยน้ำได้ ส่วนฟาวลิงที่เกิดเนื่องจากการดูดซับของฟาวเลนซ์จะไม่ผันกลับ (irreversible) จึงต้องจำกั้ดออกโดยใช้สารเคมีเท่านั้น โดยฟาวลิงที่เกิดเนื่องจากการดูดซับของฟาวเลนซ์นั้นเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวและภายในรูพรุนของเยื่อแผ่น

การลดการเกิดฟาวลิงสามารถลดได้ในระดับหนึ่งโดยการปรับสภาวะในการดำเนินการ เช่น ความดัน อุณหภูมิ และความเร็ว ในบางกรณีการกรองสารป้อนเบื้องต้นเพื่อให้มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสมก็เป็นวิธีการที่นิยมใช้ สำหรับสารป้อนที่เป็นสารละลายโปรตีน ควรปรับ pH ของสารละลายให้ห่างจากจุด isoelectric point (Iep) ของโปรตีนจะช่วยลดการเกิดฟาวลิงได้ นอกจากนั้นการเลือกโมดูลของเยื่อแผ่นที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเฉือนและการไหลแบบปั่นป่วนก็สามารถช่วยลดการเกิดฟาวลิงได้เช่นกัน และการเลือกใช้เยื่อแผ่นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดฟาวลิงก็เป็นวิธีการที่สำคัญอีกวิธีหนึ่ง

การเกิดฟาวลิงของโปรตีน ชีวโมเลกุล และสารอินทรีย์ เกิดขึ้นมากบนเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำ เนื่องจากผลของ hydrophobic effect ดังนั้นแนวทางในการลดการเกิดฟาวลิงคือการใช้เยื่อแผ่นชอบน้ำ ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate, CA) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเยื่อแผ่นชอบน้ำจะป้องกันการเกิดฟาวลิงของโปรตีนได้ดี แต่ก็มีข้อเสียคือมีความต้านทานต่อความร้อน สารเคมี และจุลินทรีย์ต่ำ ดังนั้นแนวทางที่นิยมใช้ในการลดการเกิดฟาวลิง คือการเพิ่มความชอบน้ำให้กับเยื่อแผ่นที่ไม่ชอบน้ำ

วิธีการเพิ่มความชอบน้ำให้กับเยื่อแผ่น โดยที่เยื่อแผ่นยังมีความต้านทานต่อความร้อน สารเคมี และจุลินทรีย์สูงคือ การเติมหรือผสมโพลิเมอร์ชอบน้ำในโพลิเมอร์ไม่ชอบน้ำในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส (phase inversion) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือไม่มีขั้นตอนการผลิตเพิ่มเติมจากการผลิตเยื่อแผ่น UF ปกติแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามการผสมโพลิเมอร์ชอบน้ำใน โพลิเมอร์ไม่ชอบน้ำให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันนั้นทำได้ยาก อาจต้องมีการเติมโคโพลิเมอร์ เช่น poly (acrylonitrile-*ran*-potassium 3-sulfopropyl acrylate) [5], polyacrylonitrile-*graft*-poly(ethylene oxide) (PAN-*g*-PEO) /PAN [6]

โพลิเมอร์ชอบน้ำอากกราฟท์ (graft) หรือเคลือบบนเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำ เพื่อเพิ่มความชอบน้ำได้ ซึ่งวิธีนี้จะมีขั้นตอนการผลิตเพิ่มขึ้น (คือขั้นตอนการกราฟท์หรือเคลือบบนเยื่อแผ่น) ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีการเคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์ชอบน้ำหลายชนิดบนเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำต่างๆ ได้แก่ chitosan/polystyrene sulfonate (CS/PSS) [7], CS/PAN [8,9], CS/polyvinylidene fluoride (CS/PVDF) [10], carboxymethyl CS/ polyethersulfone [11], และ polyvinyl alcohol/polypropylene (PVA/PP) [12] ซึ่งในการเคลือบผิวนั้นอาจทำได้โดยการแช่ การ cast หรือการให้สารละลายโพลิเมอร์ที่ต้องการเคลือบไหลผ่านเยื่อแผ่นภายใต้ความดัน ซึ่งวิธีการหลังนี้เป็นวิธีการที่สามารถปรับสภาพผิวภายในรูพรุนได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นที่ปรับสภาพโดยการเคลือบนี้ อาจมีความเสถียรของสารเคลือบในระยะยาวต่ำ เนื่องจากการเกาะติดของโพลิเมอร์ชอบน้ำบนเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำอาจไม่แข็งแรงพอ อาจหลุดออกมาได้ง่ายด้วยแรงเฉือน อีกทั้งยังอาจเกิดการพองตัวเนื่องจากสัมผัสโดยตรงกับสารละลายในน้ำ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ปิ่นนภา หาญณรงค์ [13] ได้ทำการปรับสภาพของเยื่อแผ่น Polyethersulfone (PES) ให้มีความชอบน้ำ โดยใช้วิธีการเคลือบ alumina (Al_2O_3) ลงบนเยื่อแผ่น PES โดยมี CS เป็นตัวยึดให้ Al_2O_3 ติดอยู่บนเยื่อแผ่น การเติม Al_2O_3 จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติความชอบน้ำให้กับเยื่อแผ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณ Al_2O_3 พบว่าเยื่อแผ่นมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่นค่าฟลักซ์ ความชอบน้ำ ความสามารถในการป้องกันการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการทดสอบเยื่อแผ่นโดยกรองโปรตีนผ่านและใช้เวลาในการดำเนินการมากขึ้น พบว่าค่าฟลักซ์ของสารละลายโปรตีนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดจากชั้นของสารเคลือบบนเยื่อแผ่นอาจจะหลุดออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาโดยใช้ Glutaraldehyde (GA) เป็นสารเชื่อมขวางเพื่อมาช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการยึด Al_2O_3 ที่ผสมกับสารละลาย CS ที่เคลือบบนเยื่อแผ่น

1.2 การสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมา

Ma และคณะ [14] ได้ทำการปรับสภาพผิวเยื่อแผ่น PES ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นที่ไม่ชอบน้ำเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานการเกิดฟาวลิงโดยวิธีการเคลือบผิวด้วย PVA และทำการเชื่อมขวางด้วย Borax โดยได้นำ PES 18%wt ผสมกับ polyethylene glycol (PEG) 15% ในตัวทำละลาย dimethylformamide (DMF) แล้วกวนให้เข้ากัน นำเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ไปจุ่มลงในสารละลาย PVA 0.1-2%wt/v หลังจากนั้นจุ่มเยื่อแผ่นลงในสารละลาย Borax ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวางเพื่อให้เกิดการเชื่อมขวาง และเมื่อนำเยื่อแผ่นไปทดสอบ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ PVA ค่า contact angle มีค่าลดลงเนื่องจากโมเลกุล PVA ถูกดูดซับบนพื้นผิวของเยื่อแผ่นโดยจะส่งผลให้เยื่อแผ่นมีความชอบน้ำสูงขึ้น การวิเคราะห์โครงสร้างและภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) พบว่าเยื่อแผ่นมีลักษณะสมมาตร ดังนั้นการดูดซับ PVA บนเยื่อแผ่นไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของเยื่อแผ่น ส่วน

การทดสอบฟาวลิงด้วยโปรตีน bovine serum albumin (BSA) พบว่าเมื่อความเข้มข้นและจำนวนรอบในการแช่เยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น สามารถที่จะป้องกันการเกิดฟาวลิงได้ดีและค่า flux recovery มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้น PVA มากขึ้น

Na และคณะ [15] ได้ทำการปรับสภาพผิวของเยื่อแผ่น UF หลายชนิดด้วยกันเพื่อที่จะศึกษาการลดการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่น โดยได้ทำการเคลือบผิวของเยื่อแผ่นด้วยสารละลาย PVA ความเข้มข้น 0.3-1%wt/v ที่ความดัน 2 MPa และได้ทำการเชื่อมขวางด้วย GA 0.1-1.2%wt/v ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและภาคตัดขวางด้วย SEM พบว่าเยื่อแผ่นมีลักษณะของผิวหน้าและรูพรุนที่แน่นขึ้นเนื่องจาก PVA ยึดเกาะบนเยื่อแผ่นได้ และเมื่อศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของ PVA พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้น PVA จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์น้ำมีค่าลดลง เนื่องจากขนาดรูพรุนของเยื่อแผ่นมีขนาดเล็กลง และยังส่งผลให้ค่าการกักกันโปรตีนของเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้นด้วย ส่วนการทดสอบการเกิดฟาวลิงได้ทดสอบโดยการกรองโปรตีน พบว่าเยื่อแผ่นที่เคลือบด้วย PVA สามารถลดการเกิดฟาวลิงได้ดีกว่าเยื่อแผ่นที่ยังไม่เคลือบด้วย PVA เนื่องจากการปรับสภาพผิวเยื่อแผ่นด้วย PVA จะทำให้เยื่อแผ่นมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้น

Uragami [16] และคณะได้ทำการเตรียมเยื่อแผ่นที่เคลือบด้วย CS และเชื่อมขวางด้วย GA โดยได้ทำการอบเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นนำเยื่อแผ่นมาแช่สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 4%wt/v ที่อุณหภูมิ 25 °C หลังจากนั้นนำเยื่อแผ่นที่ได้ไปแยก alcohol ออกด้วยวิธี pervaporation จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ GA ส่งผลให้เยื่อแผ่นมีความแน่นขึ้นและมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความใสของเยื่อแผ่นจะลดลง และเมื่อได้เพิ่มปริมาณสารเชื่อมขวาง (GA) ในปริมาณที่มากขึ้นพบว่าเยื่อแผ่นเกิดการเปราะ

Luo และคณะ [17] ได้ศึกษาการปรับสภาพผิวเยื่อแผ่น PES ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ โดยทำการเตรียม titanium dioxide (TiO_2) จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ titanium tetraisopropoxide หลังจากนั้นนำเยื่อแผ่น PES จุ่มในสารละลายคอลลอยด์ TiO_2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ SEM พบว่าเยื่อแผ่นที่ปรับสภาพผิวด้วย TiO_2 มีโครงสร้างที่ขรุขระกว่าเยื่อแผ่นที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวด้วย TiO_2 และมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก จากผลของการปรับสภาพเยื่อแผ่นด้วย TiO_2 ยังทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าการกักกันของ PEG มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ในส่วนของมุมสัมผัส (contact angle) หลังการปรับสภาพผิวมีค่าต่ำกว่าเยื่อแผ่นที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว ซึ่งส่งผลให้เยื่อแผ่นมีความชอบน้ำมากกว่าเยื่อแผ่นที่ยังไม่ได้ปรับสภาพผิว เนื่องจากปริมาณไฮดรอกซิลบนผิวเยื่อแผ่น PES จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาค TiO_2 ภายในผิวเยื่อแผ่น

Yan และคณะ [18] ได้ทำการผลิตเยื่อแผ่น PVDF โดยการเติม Al_2O_3 ขนาด 10 nm ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส (phase inversion method) สารละลายโพลิเมอร์ถูกเตรียมโดยละลาย PVDF, hexad-sodiumphosphate, polyvinylpyrrolidone (PVP) และ Al_2O_3 ในสารละลาย Dimethylacetamide (DMAC) ที่อุณหภูมิห้อง ทำการกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำสารละลายโพลิเมอร์มาคาส์บนแผ่นแก้วและทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศ 30 วินาที ต่อจากนั้นจุ่มในอ่างที่ประกอบด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบระหว่างเยื่อแผ่น PVDF ที่ไม่ได้ผสม Al_2O_3 และเยื่อแผ่น PVDF ที่ผสม Al_2O_3 ที่มีความเข้มข้นของ Al_2O_3 ระหว่าง 0-4 % ของสารละลายโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย PVDF 19 wt.% และ DMAC 78 wt.% พบว่าเยื่อแผ่นที่มี Al_2O_3 2 wt.% มีค่าฟลักซ์ของน้ำสูงขึ้น เนื่องจากการเติม Al_2O_3 เป็นการเพิ่มคุณสมบัติความชอบน้ำ แต่เมื่อทดสอบโดยใช้เยื่อแผ่นที่มี Al_2O_3 มากกว่า 2 wt.% ค่าฟลักซ์ของน้ำจะเพิ่มจากเดิมเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก Al_2O_3 เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนทำให้คุณสมบัติชอบน้ำลดลง จากการทดลองวัดค่าฟลักซ์ของน้ำพบว่าเยื่อแผ่นที่ประกอบด้วย Al_2O_3 2 wt.% ให้ค่าฟลักซ์ใกล้เคียงกับปริมาณ Al_2O_3 ที่ 3-4 wt.% ดังนั้นปริมาณ Al_2O_3 ที่ 2 wt.% จึงมีความเหมาะสมในการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์มากที่สุด และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณ Al_2O_3 จะทำให้ค่า contact angle ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อความมีรูพรุน ในส่วนของค่าการกักกันของ oil-waste- water จะไม่ส่งผลต่อค่า MWCO จากผลการทดลองการศึกษาโครงสร้างด้วย SEM ของพื้นผิวและโครงสร้างพื้นผิวน้ำตัดของเยื่อแผ่นที่ผสม Al_2O_3 พบว่าพื้นผิวน้ำตัดของเยื่อแผ่นมีโครงสร้างไม่สมมาตร และมีขนาดรูพรุนประมาณ 20-50 nm ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าการเติม Al_2O_3 จะไม่ส่งผลต่อโครงสร้างของของพื้นผิวและผิวน้ำตัด

Yang และคณะ [19] ได้ทำการเตรียมเยื่อแผ่นเชิงประกอบ polysulfone (PS)/ TiO_2 ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส โดยเติมอนุภาค TiO_2 0-5 wt.% ในสารละลายโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย PS 18 wt.% และมี DMAC และ N-methyl-2-pyrrolidinone (NMP) เป็นตัวทำละลาย จากการทดลอง พบว่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ TiO_2 โดยเฉพาะเมื่อมีการเติม TiO_2 มากกว่า 2 wt.% เนื่องจากเกิดการดูดซับระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของอนุภาคของ TiO_2 ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกับโพลิเมอร์ของ PES จากการวิเคราะห์ morphologies ของโครงสร้างหน้าตัดของเยื่อแผ่นและผิวเยื่อแผ่นโดยใช้ SEM พบว่าการเติม TiO_2 จะส่งผลให้จำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาโครงสร้างพื้นที่หน้าตัดของเยื่อแผ่น พบว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่เกิดขึ้นมากในช่วงความเข้มข้นของ TiO_2 ต่ำๆ และช่องว่างจะค่อยๆ หายไปในช่วงความเข้มข้นสูงขึ้น ($\geq 3\%$) ดังนั้นความหนาของชั้นผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ TiO_2 ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าการเพิ่ม TiO_2 จะส่งผลต่อโครงสร้างของเยื่อแผ่นเป็นอย่างมาก ดังนั้นสรุปได้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของเยื่อแผ่นเชิงประกอบมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติมอนินทรีย์และพบว่าความสามารถในการซึมผ่านของเยื่อแผ่นจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะ

ค่อยๆลดลงเมื่อปริมาณของ TiO_2 มากขึ้น ($\geq 3 \text{ wt}\%$) ซึ่งอธิบายได้จากการฟอร์มตัวของ PS/TiO_2 ที่เกิดได้ช้าลง ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ชั้นผิวมีความหนาขึ้นและมีโครงสร้างสมมาตร ซึ่งเป็นผลเชิงลบต่อความสามารถในการซึมผ่าน

Genne และคณะ [20] ทำการเตรียม zircon membranes ที่ประกอบด้วย PS และ zirconium oxide (ZrO_2) ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส โดยใช้สารละลาย PS 18 % ในตัวทำละลาย NMP และเติม ZrO_2 ในปริมาณต่างๆกัน โดยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นโดยการวัดค่าการซึมผ่าน ค่าความพรุน (porosity) ค่าการกักกันเดกซ์แทรน และศึกษาโครงสร้างของเยื่อแผ่นโดยใช้ SEM ผลการทดลองพบว่า การเติม ZrO_2 ส่งผลให้ขนาดรูพรุนและปริมาณของรูพรุนเพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อความหนาของชั้น top layer และการเติม ZrO_2 ปริมาณต่างๆส่งผลต่อลักษณะเยื่อแผ่นและความสามารถในการซึมผ่าน การเติม ZrO_2 10-20% จะส่งผลทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กบนผิวเยื่อแผ่นมากขึ้น แต่ความสามารถในการซึมผ่านไม่สูงขึ้นมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ ZrO_2 มากกว่า 40% พบว่าปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ความสามารถในการซึมผ่านเพิ่มขึ้นอย่างมาก ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติม ZrO_2 ปริมาณมากทำให้โครงสร้างของรูพรุนที่ชั้น top layer ของเยื่อแผ่นมีการเชื่อมต่อกับรูพรุนในชั้น porous support layer มากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านสูงขึ้น ค่าฟลักซ์และค่าการกักกันเดกซ์แทรนเพิ่มขึ้น

ปิ่นนภา หาญณรงค์ [13] ศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติชอบน้ำของเยื่อแผ่น PES ด้วย Al_2O_3 เพื่อลดการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นได้ถูกเตรียมโดยวิธีการเปลี่ยนเฟสและเพิ่มความชอบน้ำด้วย 2 วิธีคือ 1) วิธีผสม Al_2O_3 กับ PES ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่น และ 2) การเคลือบผิวเยื่อแผ่น PES ด้วย Al_2O_3 ผสมกับ CS (0.2%w/v. ในกรดอะซิติก) โดยใช้เยื่อแผ่นจากการเปลี่ยนเฟส (PES 15%wt., PVP 2%wt. และ DMAC 83%wt.) ผลการทดลองพบว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มคุณสมบัติชอบน้ำทั้ง 2 วิธี มีค่าฟลักซ์ ความชอบน้ำ และความสามารถในการป้องกันการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นสูงกว่าเยื่อแผ่น PES ที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ และการเพิ่มความเข้มข้นของ Al_2O_3 ก็จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์ ความชอบน้ำ และความสามารถในการป้องกันการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในส่วนของเยื่อแผ่นที่ผ่านการเพิ่มคุณสมบัติชอบน้ำด้วยวิธีการเคลือบผิวจะมีค่าฟลักซ์น้ำและฟลักซ์สารละลายโปรตีนต่ำกว่าวิธีการผสม แต่จะมีความสามารถในการป้องกันการเกิดฟาวลิงของโปรตีน BSA ได้ดีกว่าและมีค่าฟลักซ์การกลั่นสูงกว่ววิธีการผสม แต่อย่างไรก็ตามการเคลือบ Al_2O_3 บนเยื่อแผ่นโดยมี CS เป็นตัวยึดให้ Al_2O_3 ติดบนเยื่อแผ่นนี้ พบว่าในขณะดำเนินการ Al_2O_3 มีโอกาสที่จะหลุดออกไปจากเยื่อแผ่นได้ ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติของเยื่อแผ่นเปลี่ยนแปลงไปด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย CS และการเชื่อมขวางที่มีต่อความคงทนในการใช้งานของเยื่อแผ่น PES ที่เคลือบด้วย $\text{CS}/\text{Al}_2\text{O}_3$ และผลต่อการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมเยื่อแผ่น PES ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส
2. ปรับปรุงคุณสมบัติความชอบน้ำของเยื่อแผ่น PES ด้วยวิธีการเคลือบผิวบนเยื่อแผ่นด้วย $\text{CS}/\text{Al}_2\text{O}_3$ และมี GA เป็นสารเชื่อมขวาง
3. ศึกษาคุณสมบัติของเยื่อแผ่น PES หลังเพิ่มคุณสมบัติของเยื่อแผ่นโดยการทดลองวัดค่า contact angle, ค่าฟลักซ์ของน้ำ, ค่าฟลักซ์ของสารละลายโปรตีนและการเกิดฟาวลิงและศึกษาโครงสร้างของเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่อง SEM

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของสารเชื่อมขวาง ที่มีผลต่อการยึดเกาะสารเคลือบผิวบนเยื่อแผ่น PES
2. ทราบคุณสมบัติต่างๆของเยื่อแผ่นที่ผ่านการปรับคุณสมบัติชอบน้ำด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟสและวิธีการเคลือบผิวเยื่อแผ่น