บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ แบ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังนี้ ศึกษาโครงสร้างของเยื่อแผ่นโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope, หาค่า Molecular Weight Cut Off, ค่า Contact angle, ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล, วัดค่าฟลักซ์น้ำ, ทดสอบความคงทน, ทดสอบการดูดซึมน้ำและการหลุดออกของ PVA และวัดค่าฟลักซ์ของสารละลายโปรตีนและการเกิดฟาวลิง ซึ่งสรุปผลตามหัวข้อดังนี้

5.1 ผลการศึกษาโครงสร้างของเยื่อแผ่น (Morphologies of membrane)

สำหรับเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำทุกวิธี พบว่า เยื่อแผ่นเป็นแบบไม่สมมาตร มีลักษณะโครงสร้างแบบ finger-like ประกอบด้วยส่วนที่เป็นชั้นผิวและชั้นรองรับ สำหรับวิธีผสม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ PVA เพิ่มขึ้น โครงสร้างของเยื่อแผ่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยชั้นผิวด้านบนมีการจัดเรียงที่แน่นขึ้น และเยื่อแผ่นจะเกิดการขยายตัวของรูพรุนในชั้นรองรับมากขึ้น (ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2) และเมื่อดูลักษณะของผิวด้านบนของเยื่อแผ่น พบว่าเยื่อแผ่นมีผิวที่เรียบมากยิ่งขึ้น สำหรับเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ PVA เพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นยังคงมีโครงสารแบบ finger-like เหมือนเดิม แต่จะสังเกตเห็นชั้นความหนาของ PVA ที่เคลือบผิวเยื่อแผ่น (ดังรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5) ซึ่งชั้นความหนานี้ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของ PVA ที่ใช้เคลือบเยื่อแผ่น และเมื่อดูลักษณะของผิวด้านบนของเยื่อแผ่น (ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4) พบว่าเยื่อแผ่นมีผิวที่เรียบมากยิ่งขึ้น

5.2 ค่า Molecular weight cut off (MWCO)

สำหรับเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีผสม พบว่า เยื่อแผ่นมีค่า MWCO ลดลง (ดังตารางที่ 4.2) เมื่อความเข้มข้นของ PVA สูงขึ้น เนื่องจากปริมาณโพลิเมอร์รวมในสารละลายโพลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นประกอบกับการควบคุมสารพองตัว (PVP) ไว้ที่ 2 %wt ทำให้สัดส่วนสารพองตัวต่อโพลิเมอร์ลดลง ส่งผลให้เยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุนเล็กลง สำหรับวิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ พบว่า เยื่อแผ่นมีค่า MWCO ลดลง (ดังตารางที่ 4.2) เมื่อความเข้มข้นของ PVA สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ PVA ที่เคลือบผิวเยื่อแผ่นมากขึ้น ส่งผลให้มีจำนวนโมเลกุลของ PVA ไปเกาะที่บริเวณ

ผิวหน้าและภายในรูพรุนของเยื่อแผ่นมากขึ้น จึงทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง และส่งผลให้โมเลกุลของ PEG ที่ใช้ในการหาค่า MWCO ผ่านได้น้อยลง

5.3 ค่ามุมสัมผัส (Contact angle)

จากผลการทดสอบค่ามุมสัมผัสด้วยเครื่อง ของเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีผสม, วิธีเคลือบ, และวิธีผสม/เคลือบ ที่ปรับความเข้มข้นของ PVA ในขั้นตอนการเคลือบ ให้ในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของ PVA เพิ่มขึ้น ค่ามุมสัมผัสจะลดลง (ดังรูปที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าเยื่อแผ่นมีคุณสมบัติชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก PVA เป็นสารที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของ PVA จึงส่งผลให้เยื่อแผ่นมีคุณสมบัติชอบน้ำเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของการเพิ่มความชอบน้ำให้กับเยื่อแผ่นด้วยวิธีผสม, วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ พบว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม/เคลือบ (PES14+PVA1.0/PVA0.1) ให้ค่ามุมสัมผัสต่ำสุด (56^{o})

5.4 คุณสมบัติเชิงกลของเยื่อแผ่น (Mechanical properties)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Tensile strength และ % Elongation at break) ของเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีผสม, วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ PVA เพิ่มขึ้น ค่า Tensile strength และ % Elongation at break จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PVA มีโครงสร้างเหมือนผลึก (Crystalline) มีคุณสมบัติพิเศษคือ มีความเหนียว และเมื่อนำเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม, วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ มาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม/เคลือบ (PES14+PVA1.0/PVA0.1) จะมีค่า Tensile strength และ % Elongation at break สูงที่สุด เนื่องจากการผสม PVA ไปในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่น PES จะส่งผลให้โครงสร้างชั้นรูพรุนของเยื่อแผ่นมีลักษณะโครงสร้างที่แน่นขึ้น และทำให้เยื่อแผ่นมีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้นด้วย และเมื่อความเข้มข้นของ PVA ที่นำมาเคลือบผิวเยื่อแผ่นสูงขึ้น PVA ก็จะสามารถเกาะติดบนเยื่อแผ่นได้แน่นขึ้นด้วยแรง Hydrophilic interaction และปฏิกิริยาการเชื่อมขวางของ PVA ที่ผิวเยื่อแผ่นและ PVA ในเยื่อแผ่นด้วย GA จึงส่งผลให้เยื่อแผ่นดังกล่าวมีค่า Tensile strength และ % Elongation at break สูงที่สุด

5.5 ค่าฟลักซ์น้ำและฟลักซ์สารละลาย

สำหรับเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีผสม, วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ พบว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสมให้ค่าฟลักซ์น้ำและฟลักซ์สารละลายสูงที่สุด เนื่องจากไม่มีความต้านทานที่เกิดจากชั้นเคลือบผิว จึงส่งผลให้น้ำผ่านได้มากขึ้นด้วย แต่วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบผิว พบว่าเยื่อแผ่นมีค่าฟลักซ์น้ำต่ำกว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสมอยู่มาก เนื่องจากผลของความหนาของชั้นฟิล์ม PVA ที่เคลือบผิวเยื่อแผ่นไปปิดกั้นรูพรุนที่ผิวของเยื่อแผ่น ทำให้ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลสูงขึ้น จึงส่งผลทำให้เยื่อแผ่นมีค่าฟลักซ์น้ำและฟลักซ์สารละลายต่ำ

5.6 การทดสอบความคงทนของเยื่อแผ่น (Membrane stability)

เมื่อเปรียบเทียบความคงทนของเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม, วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ โดยการกรองน้ำเป็นเวลา 20 ชั่วโมง พบว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม/เคลือบ (PES14+PVA1.0/PVA0.1) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของฟลักซ์น้ำ และเปอร์เซ็นต์การหายไปของ PVA ต่ำสุด เนื่องจากแรง Hydrophilic interaction และ ปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่าง PVA ในเยื่อแผ่นและ PVA ที่ผิวเยื่อแผ่นด้วย GA จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของฟลักซ์น้ำ และเปอร์เซ็นต์การหายไปของ PVA มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นการหลุดของ PVA ของเยื่อแผ่นที่แช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งพบว่า เยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม/เคลือบ (PES14+PVA1.0/PVA0.1) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหลุดออกของ PVA ต่ำสุด

5.7 การทดสอบการกรองโปรตีนของเยื่อแผ่น

สำหรับเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีผสม, วิธีเคลือบ และวิธีผสม/เคลือบ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ PVA เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เยื่อแผ่นมีความชอบน้ำมากขึ้น จึงช่วยลดแรง Hydrophobic Interaction ระหว่างเยื่อแผ่นกับสารละลายโปรตีน BSA จึงส่งผลเยื่อแผ่นสามารถลดการเกิดฟาวลิงได้ดีขึ้น โดยวิเคราะห์ได้จากค่า FRR และค่าความต้านทานการเกิดฟาวลิง (R_f) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ PVA เพิ่มขึ้น ค่า FRR ของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้น และค่า R_f มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการต้านฟาวลิงของเยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำแต่ละวิธี พบว่า เยื่อแผ่นที่เพิ่มความชอบน้ำด้วยวิธีผสม/เคลือบ (PES14+PVA1.0/PVA0.1) มีความสามารถลดการเกิดฟาวลิงได้ดีที่สุด โดยมีค่า FRR 91.89 เปอร์เซ็นต์ และค่าความต้านทานการเกิดฟาวลิง 3.14×10^{11} m^{-1}

5.8 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความคงทนและเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน โดยจะศึกษา 3 วิธีคือ 1.วิธีผสม PVA ในเยื่อแผ่น PES ในขั้นตอนการเตรียมด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส (Phase inversion) 2.วิธีเคลือบผิวเยื่อแผ่น PES ด้วย PVA 3.วิธีผสม PVA ในเยื่อแผ่น PES หลังจากนั้นเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วย PVA อีกครั้งโดยใช้ GA เป็นสารเชื่อมขวางในทุกขั้นตอนเพื่อเพิ่มความคงทนให้กับเยื่อแผ่น แต่จากผลการทดลองพบว่า ถึงแม้ว่าเยื่อแผ่น PES ที่เพิ่มความชอบน้ำโดยวิธีผสม/เคลือบ จะให้ค่าความต้านทานฟาวลิง, ค่าคุณสมบัติเชิงกล และค่าความคงทนที่สูงก็ตาม แต่ในขณะเดียวกัน การเคลือบผิวเยื่อแผ่น PES ซึ่งมีรูพรุนในขนาดที่เล็ก จะส่งผลให้เยื่อแผ่นมีค่าฟลักซ์สารละลายโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอว่า ควรมีการศึกษาการเพิ่มปริมาณสารพองตัวในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่น เพื่อที่จะทำให้เยื่อแผ่นมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยคิดว่าจะสามารถทำให้ค่าฟลักซ์น้ำและฟลักซ์ของสารละลายเพิ่มขึ้นได้