

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากงานวิจัยในหัวข้อวิทยานิพนธ์ “การเพิ่มประสิทธิภาพของเมมเบรนไคโตซานต่อกึ่งด้วยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง” ซึ่งเป็นการต่อยอดการเพิ่มประสิทธิภาพของเมมเบรนไคโตซานต่อกึ่งด้วยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ม้งานวิจัยก่อนหน้านี้สนับสนุนว่าเมมเบรนชนิดนี้เหมาะสมที่จะใช้เป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง โดยการมุ่งพัฒนาคุณสมบัติหลักของเมมเบรน 3 ประการ คือ การเพิ่มการนำไอออนหรือโปรตอนของเมมเบรน การเพิ่มการดูดซึมน้ำและลดการดูดซึมน้ำเมทานอล และการลดการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรน โดยการเลือกใช้ตัวเติม (filler) ซึ่งประกอบด้วย เขม่าดำขนาดนาโนเมตรชนิดกระจายตัว (Self-dispersible carbon black; SDCB) และกรดฟอสฟอริก (PWA) ซึ่งมีประจุลบและน่าจะดึงดูดโปรตอนให้เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนไปได้โดยมีน้ำเป็นตัวกลาง โดยใช้ปริมาณ SDCB และ PWA ที่แตกต่างกันหลายค่า ร่วมกับการเชื่อมขวางเมมเบรนด้วยกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ข้อสังเกตความแตกต่างของ filler ทั้งสองชนิดนี้คือปริมาณ SDCB ที่เติมเข้าไปจะคำนวณเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของ CS-g-PVA แต่ PWA จะคำนวณเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของไคโตซานที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเชื่อมขวางเมมเบรน CS-g-PVA เพียงอย่างเดียว พบว่าที่ H_2SO_4 เข้มข้น 6% จะให้ค่าการนำโปรตอนดีที่สุดคือ 7.713 mS/cm หากเพิ่มความเข้มข้นของกรดมากกว่านี้ ค่าการนำโปรตอนจะลดลงอันเนื่องมาจากโครงสร้างของเมมเบรนที่แข็งขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปในเมมเบรนได้ยาก ส่วนการเติม SDCB ลงในเมมเบรน (CS-g-PVA+SDCB) เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าการนำโปรตอนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจเป็นเพราะการนำโปรตอนของหมู่ COO^- มีค่าน้อยและการเคลื่อนที่ (mobility) ของอนุภาคเขม่าดำเกิดขึ้นยาก โดยค่าสูงสุดอยู่ที่ SDCB 1% มีค่าการนำโปรตอน 0.518 mS/cm แต่เมื่อใช้วิธีการเติม SDCB ร่วมกับการเชื่อมขวาง จะสังเกตเห็นภาวะการส่งเสริมซึ่งกันและกัน (Synergistic effect) โดยค่าการนำโปรตอนจะเพิ่มขึ้นหลายเท่ามากกว่าการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว ยกตัวอย่าง เช่น CS-g-PVA มีค่าการนำโปรตอน 0.258 mS/cm และ CS-g-PVA+SDCB 4% มีค่าการนำโปรตอนของเมมเบรนเพิ่มเป็น 0.299 mS/cm หรือประมาณ 1.2 เท่า แต่เมื่อทำการเชื่อมขวางเมมเบรน CS-g-PVA+ H_2SO_4 4% ค่าการนำโปรตอนของเมมเบรนเท่ากับ 7.472 mS/cm หรือประมาณ 28.7 เท่าจากเดิม และเมื่อใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน CS-g-

PVA+SDCB 4%+ H_2SO_4 4% ค่าการนำโปรตอนจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.405 mS/cm หรือประมาณ 36.2 เท่าจากเมมเบรน CS-g-PVA เดิม

สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย PWA ได้เติม PWA ลงไปในขั้นตอนการสังเคราะห์สาร และได้ผลิตภัณฑ์คือ CS-g-PVA+PWA โดยพบว่าเมื่อปริมาณของ PWA มากขึ้น ประสิทธิภาพและอัตราส่วนการตอกริงของเมมเบรนไคโตซานจะลดลง เนื่องจาก Keggin ions จะทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนของไคโตซาน ทำให้โมเลกุลของไคโตซานที่จะทำปฏิกิริยากับไวนิลอะซิเตทมีจำนวนน้อยลง ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในภายหลัง ดังนั้นเมื่อไคโตซานและ PWA ทำปฏิกิริยากันเองและลดอัตราส่วนของ PVA ลง มีผลให้ค่าการนำโปรตอนต่ำลง โดย CS-g-PVA+PWA 40% มีค่าการนำโปรตอนเพียง 0.121 mS/cm ซึ่งต่ำที่สุดในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้เมื่อปริมาณของ PWA ในเมมเบรนมากขึ้นทำให้ค่าการดูดซึมเมทานอลและการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อใช้ PWA ร่วมกับการเชื่อมขวางพบว่า CS-g-PVA+PWA 5%+ H_2SO_4 2% ให้ค่าการนำโปรตอนสูงที่สุด คือ 15.022 mS/cm ซึ่งสูงที่สุดในการงานวิจัยและสูงกว่าเมมเบรน Nafion®117 ที่วัดได้ คือ 14.917 mS/cm ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำมีมากกว่าและค่าการดูดซึมเมทานอลก็ต่ำกว่าด้วยซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของเมมเบรน

เมื่อพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำและเมทานอลพบว่า เมมเบรน CS-g-PVA สามารถดูดซึมน้ำได้ดีมาก คือ 77.8% และดูดซึมเมทานอลได้ต่ำคือ 5.6% ส่วน CS-g-PVA+SDCB นั้นค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น ส่วนการดูดซึมเมทานอลก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่เมื่อทำการเชื่อมขวางเมมเบรน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ H_2SO_4 มากขึ้น CS-g-PVA+SDCB+ H_2SO_4 มีค่าการดูดซึมน้ำและเมทานอลมีแนวโน้มลดลง แต่การดูดซึมน้ำและเมทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ SDCB เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของ H_2SO_4 เท่ากัน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับเมมเบรน CS-g-PVA+PWA+ H_2SO_4 คือ การดูดซึมน้ำและเมทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PWA เพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดเท่ากัน แต่มีข้อแตกต่างสำหรับเมมเบรน CS-g-PVA+PWA ที่ไม่ได้เชื่อมขวาง คือ ค่าการดูดซึมเมทานอลจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PWA ที่เพิ่มขึ้น

สำหรับการทดสอบการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรนได้ใช้วิธีการวัดด้วยการดูดซึมเมทานอลที่เวลาต่างๆ ซึ่งจะให้ผลสอดคล้องกับการดูดซึมเมทานอล โดยจะเลือกเมมเบรนมาหลายชนิด คือ เมมเบรน CS-g-PVA, Nafion®117, CS-g-PVA+SDCB+ H_2SO_4 และ CS-g-PVA+PWA+ H_2SO_4 ที่มีค่าการนำโปรตอนสูงที่สุดอย่างละ 5 ชนิด เพื่อทำการเปรียบเทียบหาค่า selectivity หรืออัตราส่วนระหว่างการนำโปรตอนและการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรน จากการคำนวณพบว่า CS-g-PVA+PWA 5% + H_2SO_4 6% มีค่า selectivity สูงที่สุดคือ 9.687×10^7 mS/cm³·s (ค่าการนำโปรตอน = 10.595 mS/cm, ค่าการแพร่ผ่านของเมทานอล = 1.094×10^{-7} cm²/s) ซึ่งเป็นเมมเบรนที่น่าจะ

เหมาะสมที่สุดในการเลือกไปใช้งานสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง สำหรับเมมเบรน Nafion®117 แม้ว่ามีค่าการนำโปรตอนสูง แต่ก็มีค่าการแพร่ผ่านของเมทานอลสูงที่สุด คือ $4.473 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ ส่งผลให้ค่า selectivity ที่ได้คือ $3.335 \times 10^6 \text{ mS/cm}^3 \cdot \text{s}$ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดที่วัดคำนวณได้จากการทดลอง ดีกว่าเมมเบรน CS-g-PVA ปกติ ที่มีค่า selectivity $13.561 \text{ mS/cm}^3 \cdot \text{s}$ เพียง 2.5 เท่า แม้ค่าการนำโปรตอนจะสูงกว่าถึง 57 เท่า ก็ตาม (ค่า selectivity ของเมมเบรน CS-g-PVA คือ $1.356 \times 10^6 \text{ mS/cm}^3 \cdot \text{s}$)

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากการเพิ่มประสิทธิภาพของเมมเบรน CS-g-PVA ที่ใช้ตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ และการเชื่อมขวางที่ความเข้มข้นต่างกัน จะเห็นแนวโน้มของค่าการนำโปรตอนที่เพิ่มขึ้น และสัดส่วนระหว่างการนำโปรตอนและการแพร่ผ่านของเมทานอล อย่างไรก็ตาม ยังมีแนวทางอื่นๆ ในการเพิ่มคุณสมบัติของเมมเบรน CS-g-PVA ที่น่าจะเป็นไปได้ ดังนี้

1. การเก็บเมมเบรน CS-g-PVA ต้องเก็บในน้ำกลั่น ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ยากในการใช้งานเชิงพาณิชย์ เพราะทำให้การขนส่งและเก็บรักษายากขึ้น ดังนั้น ถ้าทดลองสังเคราะห์เมมเบรน เติมตัว filler และทำการเชื่อมขวาง จากนั้นวัดขนาดเมมเบรนในสภาพอิมมersion แล้วนำไปทดสอบการนำโปรตอน บันทึกค่าที่ได้เอาไว้ เสร็จแล้วนำมาเก็บไว้ในสภาวะแห้งแทนการเก็บในน้ำกลั่น ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน และอุณหภูมิต่างๆ กัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปแช่น้ำจืดอิมมersion และวัดขนาดอีกครั้งหนึ่งเพราะขนาดของเมมเบรนอาจเปลี่ยนไป และทดสอบการนำโปรตอนเปรียบเทียบกับครั้งแรก ซึ่งจะช่วยยืนยันประสิทธิภาพของเมมเบรนและความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงเชิงพาณิชย์

2. แม้ว่าการทดสอบการนำโปรตอน การดูดซึมน้ำและเมทานอล และการแพร่ผ่านของเมทานอลของเมมเบรน CS-g-PVA จะให้ผลที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตามเป็นเพียงการทดสอบโดยใช้เครื่องมือเท่านั้น ไม่ได้ใช้งานจริงกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง ซึ่งเมื่อนำไปใช้แล้วอาจจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันก็เป็นได้ ดังนั้นจึงควรนำเมมเบรนไปทดสอบกับเซลล์เชื้อเพลิงจริง เพื่อดูประสิทธิภาพ ข้อดี ข้อเสีย เมื่อใช้งานจริง และหาวิธีพัฒนาเมมเบรนต่อไป