บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ชนิดของเมมเบรนที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง
- เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์
- เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ และโดปด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
- เมมเบรนพอลิซัลโฟน
- เมมเบรนพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์
- เมมเบรนซัลฟอเนเตดพอลิซัลโฟน
- เมมเบรนซัลฟอเนเตดพอลิซัลโฟน-ซีโอไลต์

ไคโตซานที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 9.5×10^5 ดอลตัน ความหนืดเท่ากับ 3,171± 156.7 เซนติพอยส์ และร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิลเมื่อวัดโดยการไทเทรตทางเคมีเท่ากับ 90.6 ± 0.18 ตามลำดับ

เม็ดพอลิซัลโฟนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักโมเลกุลเชิงจำนวน (M_n) เท่ากับ 16,000

ซีโอไลต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น ซีโอไลต์ เอ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา ประมาณ 1.1

1) ผลของการเติมซีโอไลต์

ซีโอไลต์ในไคโตซาน หรือพอลิซัลโฟน ให้ผลต่อสมบัติของเมมเบรนคล้ายคลึงกันดังนี้ ปริมาณซีโอไลต์ที่มากขึ้นมีผลให้ ร้อยละการดูดซับน้ำมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงความหนาของเมมเบรนลดลง ความสามารถในการทนแรงดึงน้อยลง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านของแก๊สลดลง และให้ค่าการนำโปรตอนเพิ่มขึ้น แต่ความชอบน้ำเหมือนกันของซีโอไลต์และไคโตซาน ทำให้มีความเข้ากันได้ดี และช่วยเสริมความสามารถในการนำโปรตอนของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์

2) ผลของอุณหภูมิต่อค่าการซึมผ่านแก๊สไฮโดรเจนและค่าการนำโปรตอน

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น พอลิเมอร์จะมีพลังงานภายในมากขึ้นส่งผลต่อพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์ โดยทำให้สายโซ่มีการเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ปริมาตรหรือช่องว่างระหว่างสายโซ่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิยังเป็นการลดพลังงานกระตุ้น ค่าการซึมผ่านของแก๊สและค่าการนำโปรตอนจึงสูงขึ้น

3) ผลของการโดปด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

การโดปเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวางจะทำให้ค่าการซึมผ่านของแก๊สและค่าการนำโปรตอนเพิ่มขึ้น เพราะว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกในเมมเบรนที่ถูกโดปได้ไปทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ห่างหันมากขึ้น แก๊สจึงแพร่ผ่านได้มากขึ้น เป็นผลให้ค่าการซึมผ่านของแก๊สเพิ่มขึ้นและการโดปทำให้เกิดสารละลายกรดตามสายโซ่พอลิเมอร์ กลายเป็นพาหะนำพาให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น แต่ทำให้ความสามารถทนแรงดึงของเมมเบรนชนิดโดปต่ำกว่าเมมเบรนที่ไม่ได้โดป อย่างไรก็ตาม ค่าการนำโปรตอนที่สูงขึ้นอย่างมาก สามารถชดเชยสมบัติที่สูญเสียไปเล็กน้อยด้านการซึมผ่านของแก๊สและความสามารถทนแรงดึง เมมเบรนชนิดโดปด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกมีความน่าสนใจในการพัฒนาเป็นเมมเบรนเซลล์เชื้อเพลิง

4) ผลของการทำซัลฟอเนชัน แก่พอลิซัลโฟน

การทำซัลฟอเนชันในเมมเบรนซัลฟอเนเตดพอลิซัลโฟนทำให้ค่าการดูดซับน้ำและค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาสูงมากกว่าในเมมเบรนพอลิซัลโฟน เนื่องจากเมมเบรนซัลฟอเนเตดพอลิซัลโฟนมีความชอบน้ำมากขึ้น ขณะที่ความสามารถในการทนแรงดึงน้อยลงแต่ ค่าการแลกเปลี่ยนไอออนและค่าการนำโปรตอนมากขึ้น ส่วนค่าการซึมผ่านแก๊สลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ซัลฟอนิกกับพอลิซัลโฟนทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวแน่นขึ้นและเป็นระเบียบมากขึ้นแก๊สจึงแพร่ผ่านได้น้อยลง แม้กระทั่งแก๊สไฮโดรเจน

ผลการศึกษาพบว่าเมมเบรนที่มีศักยภาพสูงซึ่งน่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนได้ คือ เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง และเติมซีโอไลต์ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยค่าการนำโปรตอนที่ด้อยกว่าเมมเบรนเชิงพาณิชย์ Nafion®117 แก้ไขโดยการโดปด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

Properties		Chitosan-50%zeolite	Doped chitosan -50%zeolite	Nafion® 117
Tensile strength (MPa)		53.3±0.6	46.2±1.0	36.0±1.5
H_2 permeability (barrer)	25-30 ^{0}C	187.0±1.4	202.4±2.7	1,014±23.0
	50 ^{0}C	205.3±4.0	219.3±4.0	1253.3±26.9
	60 ^{0}C	212.9±4.1	230.6±4.0	1417.2±34.6
	70 ^{0}C	231.9±5.7	238.4±4.7	1647.7±16.8
	80 ^{0}C	251.6±2.0	257.0±2.3	1896.9±22.7
Proton conductivity (S/cm)	25-30 ^{0}C	$5.1\times10^{-2}\pm 0.6\times10^{-3}$	$10.4\times10^{-2}\pm 1.0\times10^{-3}$	$9.2\times10^{-2}\pm 2.0\times10^{-3}$
	50 ^{0}C	$5.5\times10^{-2}\pm 1.0\times10^{-3}$	$10.7\times10^{-2}\pm 1.5\times10^{-3}$	$11.4\times10^{-2}\pm 0.6\times10^{-3}$
	60 ^{0}C	$5.7\times10^{-2}\pm 1.0\times10^{-3}$	$10.8\times10^{-2}\pm 0.6\times10^{-3}$	$11.5\times10^{-2}\pm 0.6\times10^{-3}$
	70 ^{0}C	$7.0\times10^{-2}\pm 1.0\times10^{-3}$	$11.5\times10^{-2}\pm 0.6\times10^{-3}$	$11.9\times10^{-2}\pm 1.5\times10^{-3}$
	80 ^{0}C	$7.8\times10^{-2}\pm 3.5\times10^{-3}$	$11.6\times10^{-2}\pm 1.5\times10^{-3}$	$12.0\times10^{-2}\pm 0.6\times10^{-3}$

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรได้มีการทดสอบเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ในเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อศึกษาสมรรถนะเซลล์ในรูปของกราฟโพลาไรเซชัน และศึกษาอายุการใช้งาน เพราะไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ น่าจะมีอายุการใช้งานสั้น ซึ่งจะเป็นข้อเสียสำคัญ ของความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นเชิงพาณิชย์