

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ร้อยละการกำจัดหมู่แอสเตติล

โคโตแซนที่นำมาใช้เตรียมเยื่อแผ่นมีค่าร้อยละการกำจัดหมู่แอสเตติลเท่ากับ 67 ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ 4.1 และมีความวolumโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 5.91×10^5 ดาลตัน

The percent of deacetylation =

$$\left(\frac{\text{The amount of monomer having } -NH_2 \text{ group}}{\text{The total amount of monomer}} \right) \times 100 \quad \text{-----4.1}$$

4.2 ความหนาของเยื่อแผ่น

จากการวัดความหนาของเยื่อแผ่นโคโตแซนที่เตรียมได้ พบว่าเยื่อแผ่นโคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายมีความหนาเท่ากับ 14 ± 4 ไมโครเมตร เยื่อแผ่นโคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก มีความหนาเท่ากับ 20 ± 1 และ 19 ± 2 ไมโครเมตรตามลำดับ เยื่อแผ่นอัลจิเนตมีความหนาเท่ากับ 40 ± 2 ไมโครเมตร แสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความหนาของเยื่อแผ่นที่วัดได้แต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นไม่มีเครื่องมือที่จะควบคุมความหนาของเยื่อแผ่นให้มีค่าเท่ากันตลอดทั้งแผ่นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความหนาของเยื่อแผ่น

ชนิดของเยื่อแผ่น	ความหนาเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
Uncrosslinked chitosan	14 ± 4
1% Crosslinked chitosan	20 ± 1
2% Crosslinked chitosan	19 ± 2
Alginate	40 ± 2

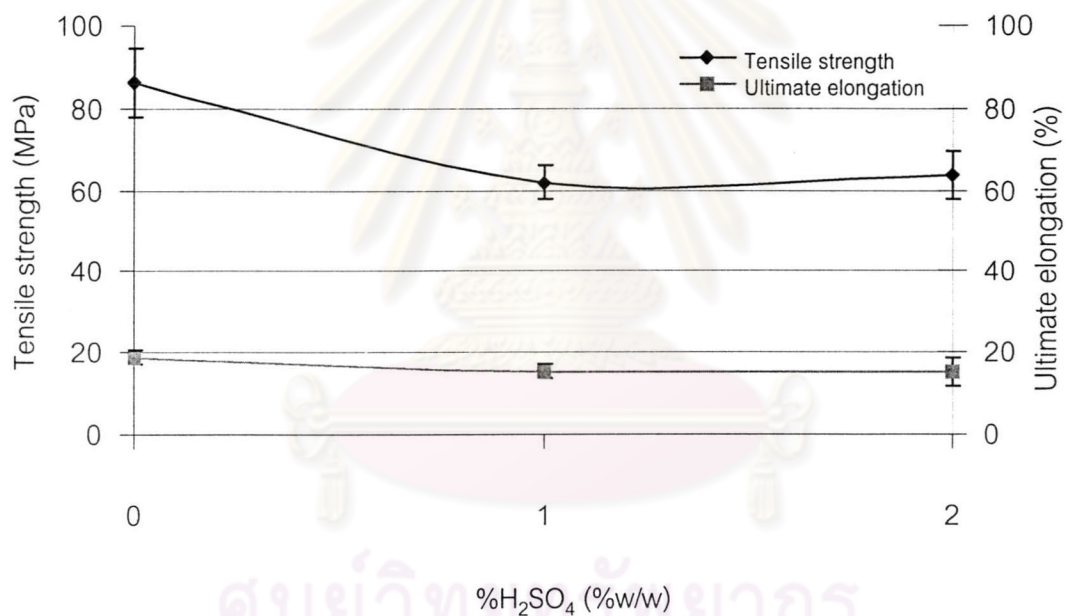
4.3 ความสามารถทนต่อแรงดึง

จากการทดสอบความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นดังตารางที่ 4.2 พบว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายสามารถทนต่อแรงดึงได้ 86.2 ± 8.2 เมกะปาสคาล ส่วนเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถทนต่อแรงดึงได้ 60.9 ± 4.1 และ 63.9 ± 5.8 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินตสามารถทนต่อแรงดึงได้ 73.9 ± 4.2 เมกะปาสคาล

จากรูปที่ 4.1 พบว่า เยื่อแผ่นไคโตแซนมีแนวโน้มทนแรงดึงได้ลดลง เมื่อนำเยื่อแผ่นมาทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก การใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้เยื่อแผ่นทนต่อแรงดึงได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเกิดจากการที่เยื่อแผ่นถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายในเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นจึงทนต่อแรงดึงได้น้อยลง ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินตสามารถทนต่อแรงดึงได้น้อยกว่าเยื่อแผ่นไคโตแซน

ตารางที่ 4.2 ความสามารถทนต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวสูงสุดของเยื่อแผ่น

ชนิดของเยื่อแผ่น	ความสามารถทนต่อแรงดึง (MPa)	ความสามารถในการยืดตัวสูงสุด (%)
Uncrosslinked chitosan	86.2 ± 8.2	18.7 ± 1.7
1% Crosslinked chitosan	60.9 ± 4.1	15.3 ± 1.8
2% Crosslinked chitosan	63.9 ± 5.8	15.1 ± 3.3
Alginate	73.9 ± 4.2	25.5 ± 3.7



รูปที่ 4.1 ความสามารถทนต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวสูงสุดของเยื่อแผ่น

4.4 ความสามารถในการยึดตัวสูงสุด

เมื่อนำเยื่อแผ่นมาอยู่ภายใต้แรงดึง จะทำให้เยื่อแผ่นเกิดการยึดตัว ซึ่งจากค่าการยึดตัวสูงสุดของเยื่อแผ่นแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายมีค่าการยึดตัวสูงสุดร้อยละ 18.7 ± 1.7 ส่วนเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการยึดตัวสูงสุดร้อยละ 15.3 ± 1.8 และ 15.1 ± 3.3 ตามลำดับ ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินตมีค่าการยึดตัวสูงสุดร้อยละ 25.5 ± 3.7

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าการยึดตัวสูงสุดของเยื่อแผ่นที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายจะมีค่าสูงกว่าเยื่อแผ่นที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดโครงร่างตาข่ายทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ในเยื่อแผ่นเคลื่อนตัวได้น้อยลงซึ่งทำให้ความยืดหยุ่นน้อยลง เยื่อแผ่นจึงสามารถยึดตัวได้น้อยลง การทำให้เยื่อแผ่นเกิดโครงร่างตาข่ายโดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เยื่อแผ่นจะมีความสามารถในการยึดตัวสูงสุดไม่แตกต่างกัน ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินตจะมีค่าการยึดตัวสูงสุดมากกว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนเล็กน้อย

4.5 การดูดซับน้ำ

เมื่อนำเยื่อแผ่นมาแช่ในน้ำจนเข้าสู่ภาวะสมดุล คำนวณค่าร้อยละการดูดซับน้ำโดยใช้สมการที่ 4.2 พบว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนมีค่าการดูดซับน้ำร้อยละ 178.8 ± 18.7 เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการดูดซับน้ำร้อยละ 160.1 ± 23.1 และ 147.3 ± 5.1 ตามลำดับ ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินตมีค่าการดูดซับน้ำร้อยละ 912.1 ± 65.9 ดังตารางที่ 4.3

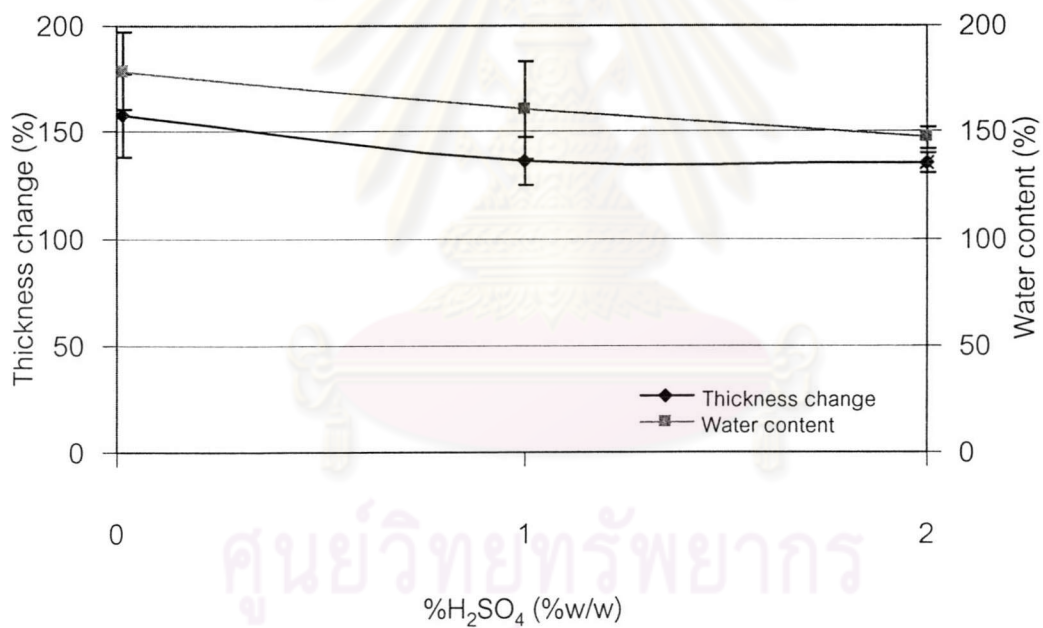
$\% \text{ Water content} =$

$$\frac{(\text{Weight of wet membrane} - \text{Weight of dried membrane})}{\text{Weight of dried membrane}} \times 100 \quad \text{-----}4.2$$

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของกรดที่ทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเท่ากับเป็นการเพิ่มความหนาแน่นโครงร่างตาข่ายของไคโตแซน เมื่อความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์ในเยื่อแผ่นจะสามารถเคลื่อนตัวหรือมีความอิสระน้อยลง ทำให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปได้น้อยลง เยื่อแผ่นจึงมีค่าการดูดซับน้ำน้อยลง

ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนาและร้อยละการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น

ชนิดของเยื่อแผ่น	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนา	ร้อยละการดูดซับน้ำ
Uncrosslinked chitosan	157.4 ± 19.8	178.8 ± 18.7
1% Crosslinked chitosan	135.8 ± 11.3	160.1 ± 23.1
2% Crosslinked chitosan	135.3 ± 4.7	147.3 ± 5.1
Alginate	655.5 ± 109.0	912.1 ± 65.9



รูปที่ 4.2 ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนาและร้อยละการดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น

4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนาของเยื่อแผ่น

เมื่อนำเยื่อแผ่นมาแช่ในน้ำจนเข้าสู่ภาวะสมดุล คำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนาโดยใช้สมการที่ 4.3 พบว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายมีการเปลี่ยนแปลงความหนาร้อยละ 157.4 ± 19.8 เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการเปลี่ยนแปลงความหนาร้อยละ 135.8 ± 11.3 และ 135.3 ± 4.7 ตามลำดับ ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินเตมีการเปลี่ยนแปลงความหนาร้อยละ 655.5 ± 109.0 ดังตารางที่ 4.3

$\% \text{Thickness change} =$

$$\frac{(\text{Thickness of wet membrane} - \text{Thickness of dried membrane})}{\text{Thickness of dried membrane}} \times 100 \quad \text{-----} 4.3$$

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเยื่อแผ่นมีการเปลี่ยนแปลงความหนาลดลง เมื่อเยื่อแผ่นถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกเท่ากับเป็นการเพิ่มความหนาแน่นโครงร่างตาข่ายของไคโตแซน เมื่อความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์ในเยื่อแผ่นจะสามารถเคลื่อนตัวหรือมีความอิสระน้อยลง ทำให้เยื่อแผ่นสามารถพองตัวในน้ำได้น้อยลง ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงความหนาของเยื่อแผ่นจึงมีค่าลดลง

4.7 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อแผ่น

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.4 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อแผ่นไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 0.94 ± 0.24 มิลลิโมลสมมูลต่อกรัมของเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 2.09 ± 0.43 และ 2.36 ± 0.21 มิลลิโมลสมมูลต่อกรัมของเยื่อแผ่น ตามลำดับ ส่วนเยื่อแผ่นอัลจินเตมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 2.94 ± 0.17 มิลลิโมลสมมูลต่อกรัมของเยื่อแผ่น ดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.3

$$\text{Ion exchange capacity} = \frac{\left(N_1 V_1 - \left(\frac{V_1}{V_3} \right) N_2 V_2 \right)}{m} \quad \text{-----4.4}$$

เมื่อ

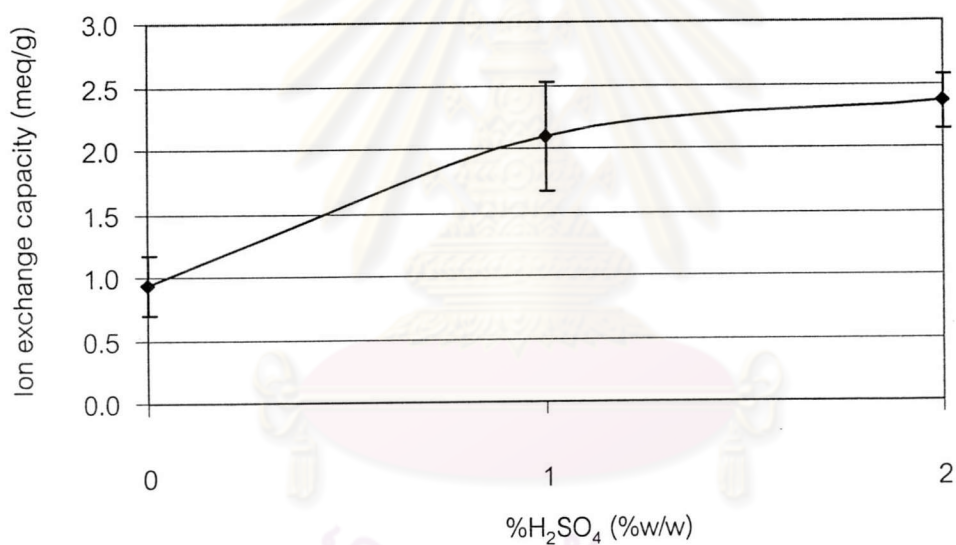
- N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)
 V_2 = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)
 V_3 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ป้อนมาโต้ตรงกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)
 m = น้ำหนักของเยื่อแผ่น (กรัม)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อแผ่นโคโตนอาจเกิดจากภายในหน่วยย่อยของสายโซ่พอลิเมอร์ของโคโตนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่อะมิโนและหมู่แอเซทิลที่หลุดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่แอเซทิล ซึ่งหมู่ฟังก์ชันทั้งสามชนิดนั้นเป็นหมู่ฟังก์ชันที่แสดงลักษณะขั้วทางไฟฟ้า ซึ่งอาจสามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ ส่วนเยื่อแผ่นโคโตนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้น หมู่อะมิโนจะเกิดปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก ซึ่งเป็นการเติมหมู่ฟังก์ชันที่มีความเป็นกรดให้กับโคโตนกลายเป็นหมู่ $-NH_3^+$ ซึ่งระหว่างหมู่ $-NH_3^+$ ทั้ง 2 หมู่จะถูกเชื่อมโยงด้วยหมู่ $-SO_4^{2-}$ ดังรูปที่ 4.4 ทำให้เยื่อแผ่นที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นมากกว่าค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่า

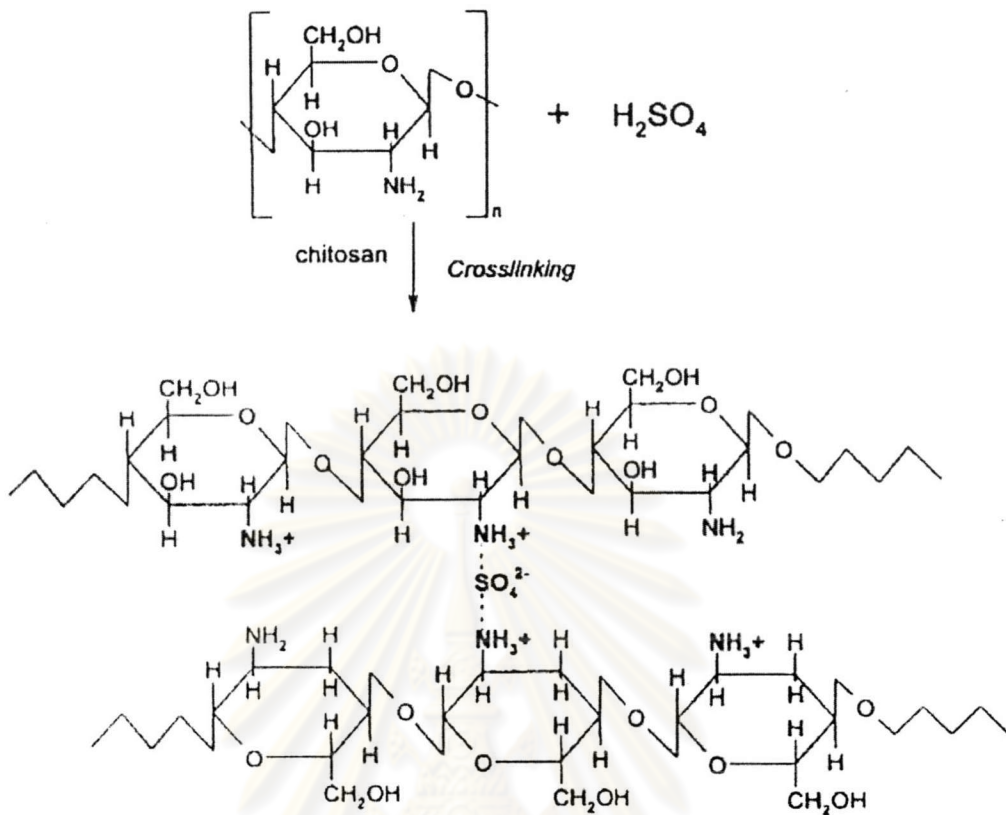
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อแผ่น

ชนิดของเยื่อแผ่น	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (meq/g)
Uncrosslinked chitosan	0.94 ± 0.24
1% Crosslinked chitosan	2.09 ± 0.43
2% Crosslinked chitosan	2.36 ± 0.21
Alginate	2.94 ± 0.17



รูปที่ 4.3 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อแผ่น



รูปที่ 4.4 โครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยกรดซัลฟูริก [35]

4.8 การนำโปรตอนของเยื่อแผ่น

ค่าการนำโปรตอนของเยื่อแผ่นคำนวณโดยใช้สมการที่ 4.5

$$\sigma = \frac{1}{R} \left(\frac{l}{A} \right)$$

-----4.5

เมื่อ

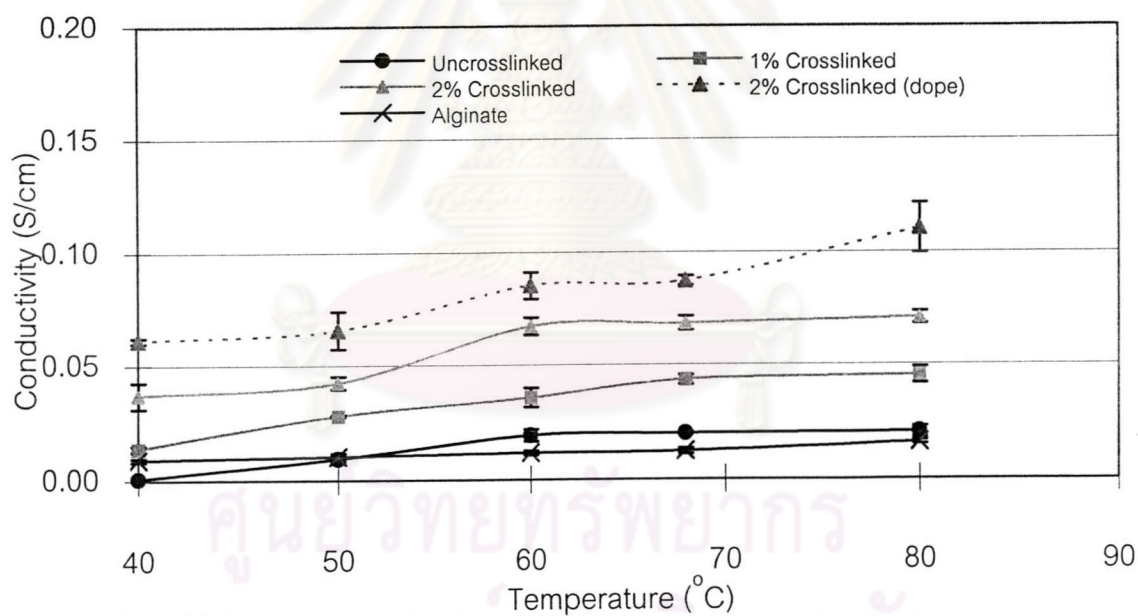
- σ = ค่าการนำโปรตอน (ซีเมนต์/เซนติเมตร)
- R = ความต้านทาน (โอห์ม)
- l = ระยะระหว่างลวดแพลตินัม (เซนติเมตร)
- A = พื้นที่หน้าตัดของเยื่อแผ่น (ตารางเซนติเมตร)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่า เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วกระตุ้นด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีค่าการนำโปรตอนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ณ ทุก ๆ อุณหภูมิที่ทำการทดลอง และค่าการนำโปรตอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองเพิ่มขึ้น การนำโปรตอนของเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำในเยื่อแผ่น สำหรับเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การนำโปรตอนเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำในเยื่อแผ่นและโดยการถ่ายเทโปรตอนผ่านตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางของสายโซ่พอลิเมอร์ในเยื่อแผ่น ส่วนเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วกระตุ้นด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การนำโปรตอนเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำในเยื่อแผ่น การถ่ายเทโปรตอนผ่านตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางของสายโซ่พอลิเมอร์ในเยื่อแผ่น และจากการที่กรดเข้าไปบรรจุอยู่ในรูพรุนของเยื่อแผ่นซึ่งจะทำให้เกิดเส้นทางการนำโปรตอน [26] ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่าการนำโปรตอนสูงกว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายตามลำดับ เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการนำโปรตอนสูงสุด ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากการศึกษาี้สรุปได้ว่ามีเพียงเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเท่านั้น ที่น่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง

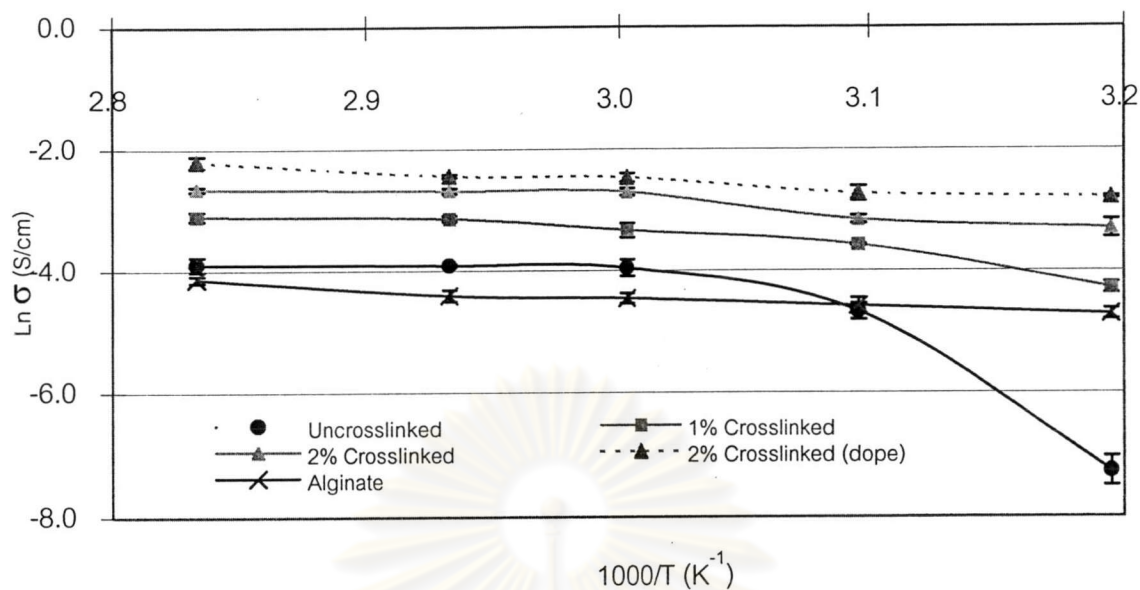
จากการเขียนกราฟแบบอาร์เรเนียส (Arrhenius plots) ดังรูปที่ 4.6 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแล้วกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กราฟเกือบจะเป็นเส้นตรง ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาและมีพลังงานกระตุ้นของกลไกการเคลื่อนที่ (Transfer mechanism) เท่ากับ 13.8 กิโลจูล/โมล ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเยื่อแผ่นชนิดนี้มาใช้เป็นเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

ตารางที่ 4.5 ค่าการนำโปรตอนของเยื่อแผ่น ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการนำโปรตอน (S/cm)				
	Uncrosslinked chitosan	1% Crosslinked chitosan	2% Crosslinked chitosan	2% Crosslinked chitosan (dope)	Alginate
40	0.0007 ± 0.0002	0.0138 ± 0.0013	0.0369 ± 0.0058	0.0611 ± 0.0012	0.0089 ± 0.0008
50	0.0093 ± 0.0012	0.0279 ± 0.0004	0.0424 ± 0.0028	0.0656 ± 0.0083	0.0102 ± 0.0014
60	0.0192 ± 0.0026	0.0357 ± 0.0042	0.0671 ± 0.0039	0.0851 ± 0.0059	0.0116 ± 0.0009
68	0.0199 ± 0.0006	0.0433 ± 0.0021	0.0683 ± 0.0031	0.0872 ± 0.0021	0.0122 ± 0.0012
80	0.0204 ± 0.0023	0.0452 ± 0.0035	0.0706 ± 0.0027	0.1105 ± 0.0110	0.0159 ± 0.0009



รูปที่ 4.5 ค่าการนำโปรตอนของเยื่อแผ่น ณ อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 การเขียนแบบอาร์เรย์ของเยื่อแผ่น ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย