คุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงผิวด้วยสารเคมี โคโรนาและอาร์กอนดิสชาร์จ

Characterization of Chitosan Membranes Modified by Chemicals, Corona and Ar discharge

รัชนก สังข์คำ

Ratchanok Sungkum

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Physics

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขหมู่ QP702.C5 S62 2552 ก / 1

Bib Key 322059

ส.ค. 2559

ชื่อวิทยานิพนธ์ คุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงผิวด้วยสารเคมี โคโรนา และอาร์กอนดิสชาร์จ

ผู้เขียน นางสาวรัชนก สังข์คำ

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิกุล วณิชาภิชาติ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพอักษร เพ็งพันธ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิกุล วณิชาภิชาติ)

.....กรรมการ

(ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ)

.....กรรมการ

(ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงผิวด้วยสารเคมี โคโรนาและอาร์กอนดิสชาร์จ
ผู้เขียน	นางสาวรัชนก สังข์คำ
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงผิวด้วยสารเคมี โคโรนาและอาร์กอนดิสชาร์จ โดยเตรียมเยื่อบางไคโตซานจากไคโตซานมวลโมเลกุล 400,000 ด้วยวิธีอบแห้งได้เยื่อบางไคโตซาน CH1 ที่มีความหนา 35.0 ± 8.0 μm เป็นเยื่อบางแบบแน่น การเชื่อมขวางเยื่อบางไคโตซานด้วยกลูตารัลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.005% (เยื่อบางG0.005) และกรดซัลฟูริก 0.5% (เยื่อบาง SM0.5) พบว่าค่าอัตราส่วนสัมประสิทธ์ความซาบซึมได้(P_{Cl}/P_K, β) เพิ่มจาก 2.7 ± 0.4 เป็น 42.2 ± 3.2 และ 43.6 ± 3.7 ตามลำดับ ค่าฟลักซ์นำเพิ่มขึ้นจาก 1.7 ± 0.4 เป็น 149.4 ± 15.5 $Lm^{-2}h^{-1}$ ที่ความดัน 2.5 MPa ค่าอิมพิแดนซ์ของเยื่อบางที่เชื่อมขวางคือ G0.005 และ SM0.5 มีค่าเท่ากัน และสูงกว่าเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวางคือ CH1 โดยมีค่าเท่ากับ 4.49±0.17, 4.40±0.13 และ 3.77±0.77 kΩ ตามลำดับ

การปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานที่ทำการเชื่อมขวางโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จที่ศักย์ไฟฟ้า 8 และ 12 kV พบว่าเยื่อบาง G0.005 มีค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางเพิ่มขึ้นจาก 63.0 ± 1.9 เป็น 73.0 ± 2.4 องศา ส่วนเยื่อบาง SM0.5 มีค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นจาก 63.5 ± 2.5 เป็น 80.0 ± 1.4 องศา แต่ค่าฟลักซ์ของน้ำและศักย์การแพร่ลดลง การปรับปรุงเยื่อบางโดยใช้ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ โดยใช้ก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซในการกำเนิดพลาสมา ทำให้เยื่อบางไคโตซานชอบน้ำมากขึ้น ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางลดลงมากที่เวลาในการอาบพลาสมาเพียง 30 วินาที ค่า β เพิ่มขึ้นเมื่ออาบอาร์กอนพลาสมาความเข้มข้น 2.06 ± 0.13 $\times 10^{10}$ ion cm^{-3}

Thesis Title	Characterization of Chitosan Membranes Modified by Chemicals, Corona and Ar discharge
Author	Miss Ratchanok Sungkum
Major Program	Physics
Academic Year	2009

ABSTRACT

This work studied the characterization of chitosan membranes modified by chemicals, corona and Ar discharge. Chitosan membranes were prepared by oven dried method. The thickness of dense chitosan membranes was 35.0 ± 8.0 μm. The cross-linked chitosan membrane was made by immersing in 0.005% of glutaraldehyde (G0.005) and 0.5% of sulfuric acid in methanol (SM0.5). The ion permeability ratio (P_{Cl}/P_K , β) was increased from 2.7 ± 0.4 in non cross-linked membranes (CH1) to 42.2 ± 3.2 in G0.005 and 43.6 ± 3.7 in SM0.5. The cross-linked with sulfuric was increased water flux from 1.7 ± 0.4 to 149.4 ± 15.5 $Lm^{-2}h^{-1}$ for SM0.5 at pressure 2.5 MPa. Both glutaraldehyde and sulfuric acid enhanced the membranes impedance. The impedance of CH1, G0.005 and SM0.5 was 4.49±0.17, 4.40±0.13 and 3.77±0.77 kΩ, respectively.

The surface modification of chitosan membranes was using corona discharge under atmospheric pressure at 8 and 12 kV. Contact angles between water drop and surface of membranes increased after treated. Contact angles of G0.005 membranes increased from 63.0 ± 1.9 degree to 73.0 ± 2.4 degree. The contact angle of treated SM0.5 membranes was 80.0 ± 1.4 degree. The results were inconsistency with the decrease in water and the ion permeability ratio. Chitosan membranes were modified by Argon plasma at low pressure with RF frequencies. Results showed that the surface of Argon treated membranes were higher hydrophilic than untreated membranes. A short time treatment of 30 s shows a large decrease in contact angle. The ion permeability ratio was increased after treated with plasma density about 2.06 ± 0.13×10^{10} ion cm^{-3}.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน และจากหลายหน่วยงานดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิกุล วณิชาภิชาติ ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร. หมุดตอเล็บ หนิสอ และสมาชิกหน่วยวิจัยเทคโนโลยีโมเลกุล มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สำหรับอุปกรณ์พลาสมาและ คำแนะนำทางเทคนิคต่างๆ ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณจำรัส ณ สุวรรณ ที่กรุณาให้คำแนะนำ สร้างอุปกรณ์และซ่อมแซมอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณสมาชิกสถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านและคณาจารย์ทุกๆท่านที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ จนประสบความสำเร็จในวันนี้

รัชนก สังข์คำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	8
2. ทฤษฎี	9
3. วิธีการวิจัย	15
3.1 วัสดุ	15
3.2 อุปกรณ์	15
3.3 วิธีดำเนินการ	16
4. ผลและการอภิปรายผล	25
4.1 การทดสอบคุณสมบัติเยื่อบางไคโตซาน	25
4.2 การทดสอบคุณสมบัติเยื่อบางที่การปรับปรุงผิวโดยใช้โคโรน่าดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ	40
4.3 การทดสอบคุณสมบัติเยื่อบางที่การปรับปรุงผิวเยื่อบางโดยใช้ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	47
5. สรุปผลการทดลอง	60
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	66
ประวัติผู้เขียน	80

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	แสดงความหนาของเยื่อบางไคโตซาน	26
4.2	แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางไคโตซานกลุ่ม CH6	27
4.3	แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซานกลุ่ม CH6	31
4.4	แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซาน	33
4.5	แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง	40
4.6	แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยโคโรน่าดิสชาร์จ	42
4.7	แสดงค่ามุมสัมผัสของเยื่อบางไคโตซานที่อาบโคโรน่าดิสชาร์จ	47
4.8	แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยโคโรนาดิสชาร์จ	54
5.1	แสดงคุณสมบัติของเยื่อบางที่ปรับปรุงด้วยอาร์กอนพลาสมา	62

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงโครงสร้างของไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์	3
1.2	แสดงโครงสร้างของไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก	4
2.1	Discharge regions of a DC glow discharge	10
2.2	Direct RF connection to parallel plate reactor with unequal electrodes	10
2.3	แสดงมุมสัมผัสของของแข็งกับของเหลว	11
2.4	แสดงลักษณะมุมสัมผัส (a) Hydroplilicity (b) Hydrophobicity	11
2.5	แสดงวงจรเพื่อวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของเยื่อบาง	14
2.6	แผนภาพเฟสของค่า Z C_{eff} และ G_{eff} ของเยื่อบางในสารละลายอิเล็กโตรไลต์	14
3.1	แสดงอุปกรณ์โคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ	19
3.2	แสดงไดอะแกรมของชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาแบบ RF discharge	20
3.3	แสดงเครื่องมือวัดมุมสัมผัส	21
3.4	แสดงอุปกรณ์ชุดทดสอบการกรองแบบปิดตาย	22
3.5	แสดงอุปกรณ์วัดศักย์การแพร่ของเยื่อบาง	23
3.6	แสดงอุปกรณ์การวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Z) สภาพนำไฟฟ้า (G_{eff}) และความจุทางไฟฟ้า (C_{eff}) ของเยื่อบางโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ	24
4.1	แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางไคโตซาน (a) เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ (b) เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก	28
4.2	แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบางไคโตซานกลุ่ม CH6	30
4.3	แสดงศักย์การแพร่เปรียบเทียบระหว่างเยื่อบาง CH6-1 กับ CH1	31
4.4	แสดงศักย์การแพร่เปรียบเทียบกันของเยื่อบางต่างๆ (a) เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ (b) เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก	32
4.5	แสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบางที่ความดันต่างๆ (a) เยื่อบาง CH1 (ชุดควบคุม) เทียบกับ G0.005 (b) เยื่อบาง CH1 (ชุดควบคุม) เทียบกับ SM0.5	34
4.6	แสดง I-V curve ของเยื่อบางในสารละลายโปแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น (a) 0.1 mM (b) 1 mM (c) 10 mM	36
4.7	แสดง (a) ค่าอิมพิแดนซ์ (Z) (b) ค่าสภาพนำฟ้า (G_{eff}) (c) ค่าความจุทางไฟฟ้า (C_{eff}) ของเยื่อบางในสารละลายโปแทสเซียมคลอไรด์ 1 mM	38
4.8	แสดงภาพถ่าย SEM ของเยื่อบาง (a) CH1 (b) G0.005 (c) SM0.5	39

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
4.9	แสดงค่าการบวมน้ำของเยื่อบางที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ (a) G0.005 (b) SM0.5	41
4.10	แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบางที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ (a) G0.005 (b) SM0.5	43
4.11	เปรียบเทียบค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ (a) G0.005 (b) SM0.5	44
4.12	แสดงภาพถ่าย SEM ของเยื่อบางชุดควบคุม (a) และ (c) และชุดที่ผ่านการทำโคโรนาดิสชาร์จ (b) และ (c)	46
4.13	แสดงลักษณะของ Langmuir probe	48
4.14	แสดงความสัมพันธ์ของ I_{probe} กับ V_{bias} ของอาร์กอนพลาสมาที่ความดัน 50×10^{-2} torr, Power 20 W	48
4.15	แสดงความหนาแน่นของพลาสมาที่ความดัน 50×10^{-2} torr เทียบกับกำลังไฟฟ้า	49
4.16	แสดงความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมาเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ความดันต่างๆ	49
4.17	แสดงความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมาเทียบกับความดันที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ	50
4.18	แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง CH1 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา	51
4.19	แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง G0.005 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา	51
4.20	แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง SM0.5 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา	52
4.21	แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบาง CH1 ก่อนและหลังอาบพลาสมา	53
4.22	แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบาง G0.005 ก่อนและหลังอาบพลาสมา	53
4.23	แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM0.5 ก่อนและหลังอาบพลาสมา	54
4.24	แสดงฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง CH1 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนrลาสมา	55
4.25	แสดงฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง G0.005 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนrลาสมา	56
4.26	แสดงฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง SM0.5 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนrลาสมา	56
4.27	แสดงภาพถ่าย SEM ของเยื่อบางชุดควบคุม (a) และเยื่อบางที่อาบอาร์กอนพลาสมา (b) และ (c)	57

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
4.28	แสดงผลของเวลาอาบพลาสมาต่อมุมสัมผัส (ความหนาแน่นพลาสมา9.28 × 10^{9} ion cm^{-3})	58
4.29	แสดงผลของความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมาต่อมุมสัมผัสของผิวเยื่อบาง	58
4.30	แสดงผลของความดันของก๊าซอาร์กอนต่อมุมสัมผัสของผิวเยื่อบาง	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

การศึกษาเกี่ยวกับเยื่อบางสังเคราะห์ (synthetic membranes) เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆขึ้นกับคุณสมบัติของเยื่อบาง Cheryan (1998) กล่าวว่าคุณสมบัติที่สำคัญของเยื่อบางได้แก่

- ลักษณะผิวของเยื่อบาง ความเรียบของผิวเยื่อบางมีผลต่อการยึดเกาะและสะสมของอนุภาคเมื่อใช้งาน ถ้าผิวเรียบการยึดเกาะกับสารอื่นเกิดได้ยาก ไม่มีการสะสมเป็นชั้นที่ผิวเยื่อบาง ส่วนเยื่อบางที่มีผิวขรุขระจะมีการอุดตันได้ง่ายในการใช้งานด้านการกรอง แต่จะจับกับสารอื่นได้ดี

- ขนาดของรูพรุนในเยื่อบาง มีผลต่อค่าฟลักซ์และขนาดของอนุภาคที่ผ่านเยื่อบางได้ แบ่งเยื่อบางออกเป็น 2 กลุ่มคือ เยื่อบางที่ไม่มีรูพรุนหรือเยื่อแผ่นแบบแน่น เยื่อบางที่มีรูพรุน

- การชอบน้ำของเยื่อบาง สมบัติการชอบน้ำ (hydrophilicity) และการไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) มีผลต่อค่าฟลักซ์ ความสามารถในการแยกสาร การเข้ากันได้กับวัสดุอื่น

- ประจุตรึงในเนื้อเยื่อบาง เยื่อบางแบบมีประจุตึงจาก functional group ของพอลิเมอร์มี 2 แบบ คือประจุตึงเป็นบวกและลบ ประจุตรึงนี้ส่งผลต่อการจับกับนุภาคของสารอื่นและการคัดแยกอนุภาค

งานวิจัยนี้เตรียมเยื่อบางจากไคโตซานซึ่งในประเทศไทยมีวัตถุดิบสำหรับผลิตไคโตซานคือเปลือกกุ้งและกระดองปูจำนวนมากจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมอาหารทะเล ไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ทำให้ขึ้นรูปเป็นเยื่อบางได้ง่าย นอกจากนี้ไคโตซานยังเป็นสารที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูงและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (ปัวย,2544) คุณลักษณะของเยื่อบางอย่างหนึ่งที่สำคัญในการนำเยื่อบางไปประยุกต์ใช้งานคือความชอบน้ำของเยื่อบาง โดยความชอบน้ำของเยื่อบางขึ้นอยู่กับโครงสร้างผิวของเยื่อบาง การเปลี่ยนแปลงผิวของเยื่อบางพอลิเมอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเชื่อมขวางด้วยสารเคมี การก่อชั้นพอลิเมอร์อื่นบนผิวเยื่อบาง การอาบพลาสมา เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกการปรับปรุงผิวเยื่อบางโดยการใช้พลาสมา เนื่องจากเทคนิคการเปลี่ยนแปลงผิวด้วยพลาสมามีผลต่อผิวของพอลิเมอร์เท่านั้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ การเปลี่ยนแปลงที่เกิด

จากพลาสมามีหลากหลายขึ้นกับชนิดของก๊าซที่ใช้ในการเกิดพลาสมาและปฏิกิริยาที่เกิดกับพอลิเมอร์ นอกจากนี้เทคนิคพลาสมายังมีศักยภาพในการนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากใช้ง่ายและต้นทุนต่ำ (Weibel, *et al.*,2006)

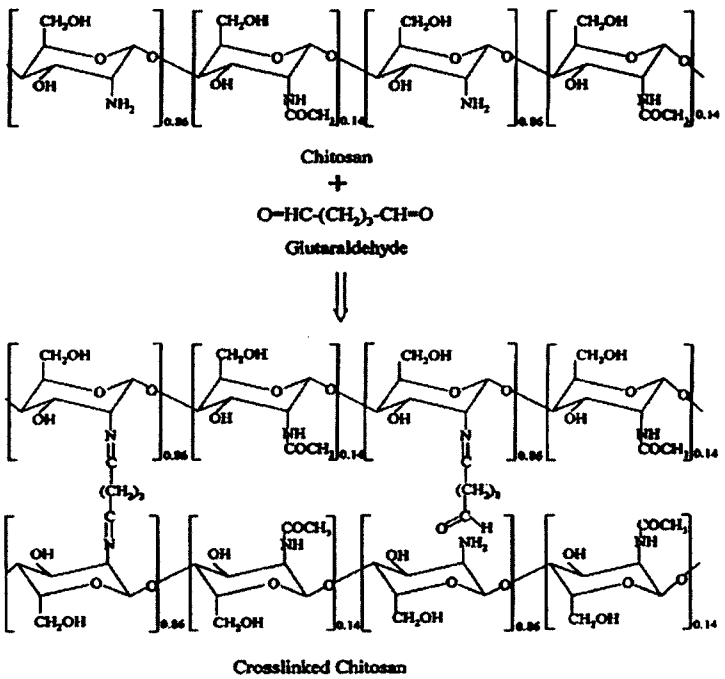
1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 การเตรียมเยื่อบางไคโตซานและการศึกษาคุณลักษณะของเยื่อบาง

ไคติน (Chitin) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพในโครงสร้างต่างๆของสิ่งมีชีวิต สูตรโครงสร้างเคมีของโมโนเมอร์ไคตินคือ $C_8H_{18}NO_5$ ไคตินสกัดได้จากเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนของปลาหมึก เปลือกของแมลง ผนังเซลล์ของเห็ดรา และยีสต์ เป็นต้น ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ยาวที่ไร้ประจุ (non-electrolytic polymer) ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ไคโตซาน (Chitosan) คืออนุพันธ์ของไคตินได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้นทำให้โครงสร้างของไคตินเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันที่มีไนโตรเจน (หมู่อะซีตามิโด $-NHCOCH_3$ เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน $-NH_2$) ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายยาวที่มีประจุบวกเนื่องจากหมู่อะมิโน (NH_2) ละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดฟอร์มิก เป็นต้น ทำให้สามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น แผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย และสารเคลือบผิว ไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตและย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติจึงปลอดภัยในการนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆเช่น ด้านการแพทย์และสุขภาพ (ใช้ทำไหมเย็บแผล ผิวหนังเทียม แคปซูลยา) ด้านอุตสาหกรรม (ใช้เป็นสารตกตะกอน ตัวกรอง เคลือบผิวสิ่งทอ) ด้านการเกษตร (สารเคลือบผิวผลผลิต สารต่อต้านเชื้อรา ไวรัสและแบคทีเรียบางชนิด) และด้านสิ่งแวดล้อม

Thacharodi and Panduranga (1993) เตรียมเยื่อบางไคโตซานจากสารละลายไคโตซาน 1 %(w/v) ในกรดอะซิติกเข้มข้น 10 %(v/v) รีดบนแผ่นกระจกวางไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ปรับเยื่อบางให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 %(w/v) ได้เยื่อบางไคโตซานหนา 20 ไมโครเมตร ทำการเชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์เข้มข้น 0.4 , 4 และ 8 %(w/v) ในสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 mol dm^{-3} pH 7.4 พบว่าเยื่อบางที่เชื่อมขวางทนต่ออุณหภูมิได้ต่ำกว่าเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวาง แต่มีค่าการทนแรงดึงสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์ที่ใช้เชื่อมขวางสูงขึ้น โดยมีค่าการทนแรงดึงสูงสุดเป็น 10.4 kg/cm^2 ในเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยความเข้มข้น 8 %(w/v) และเมื่อความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์สูงกว่า 8 %(w/v) พบว่าเยื่อบางไคโตซานที่ได้เปราะขาดง่าย นอกจากนี้ยังทำการศึกษาสภาพให้ซึมผ่านได้ของเยื่อบาง โดยวัดฟลักซ์ของ prop-HCl ผ่านเยื่อบางซึ่งประกอบในชุดทดสอบที่มีความจุครึ่งเซลล์เท่ากับ 25 มิลลิลิตรและมีพื้นที่ในการแพร่ 2.269 cm^2 พบว่าการเชื่อมขวางเยื่อบางไคโตซานด้วยกลูตาราลดีไฮด์ทำให้ฟลักซ์ของ prop-HCl ลดลงจาก 0.48 เป็น 0.34, 0.25 และ 0.20 mg $cm^{-2}h^{-1}$ ตามลำดับของความเข้มข้นกลูตาราลดีไฮด์ที่ใช้ ส่งผลให้สัมประสิทธิ์

สภาพให้ซึมผ่านได้ของ prop-HCl ลดลงจาก 4.7×10^{-2} เป็น 3.4×10^{-2}, 2.6×10^{-2} และ 1.4×10^{-2} cm^2h^{-1} และสัมประสิทธิ์การแพร่ของ Prop-HCl ลดลงจาก 4.0×10^{-2} เป็น 2.0×10^{-2}, 1.0×10^{-2} และ1.8×10^{-2} cm^2h^{-1} ตามลำดับ

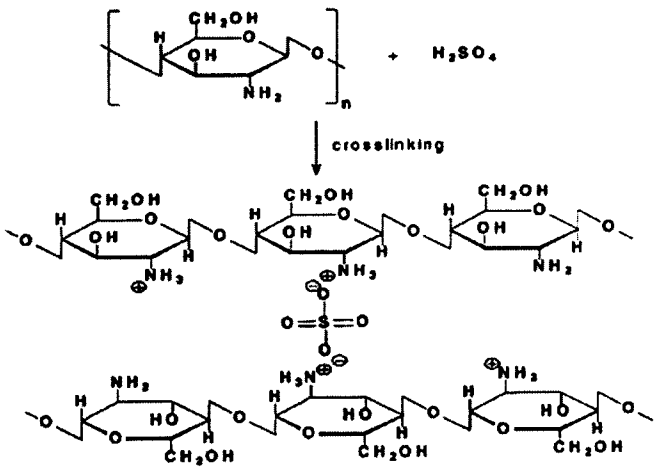


รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ จาก Musale and Kumar (2000)

Amiji (1995) เตรียมเยื่อบางไคโตซานและเยื่อประกอบระหว่างไคโตซานกับ polyethylene oxide (PEO) โดยใช้ไคโตซานที่มีดีกรีการกำจัดหมู่อะซิทิล (deactylation) มากกว่า 90 % และ PEO ที่มีมวลโมเลกุล 400-1,000,000 โดยการละลายไคโตซานและ PEO เข้มข้น 0.1 M ด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 2.0 %(v/v) ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 เทสารละลายผสมที่ไม่มีฟองอากาศบนจานเพาะเลี้ยง แผ่เป็นฟิล์มบางวางไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 48 ชม. ได้เยื่อบางที่มีความหนาประมาณ 50 μm ทำให้เป็นกลางโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ล้างด้วยน้ำกลั่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4^0C ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ที่เติม sodium azide 0.02 % ได้เยื่อบาง chitosan-PEO10K (PEO มีมวลโมเลกุล 10,000) chitosan-PEO20K (PEO มีมวลโมเลกุล 20,000) และ chitosan-PEO100K (PEO มีมวลโมเลกุล 100,000) พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเยื่อบางไคโตซานเท่ากับ 44.7 % และเพิ่มขึ้นเป็น 62.5 % ในเยื่อบาง chitosan-PEO10K แต่ลดลงเป็น 57.5 % ในเยื่อบาง chitosan-PEO100K โครงสร้างของเยื่อบางไคโตซานเป็นเยื่อบางชนิดแน่นแต่เมื่อผสม PEO พบว่าโครงสร้างของเยื่อบางโคโตซาน

มีรูพรุนจำนวนมาก โดยเยื่อบาง chitosan-PEO10K มีขนาดรูประมาณ 50-80 nm กระจายอย่างสม่ำเสมอและขนาดรูในเยื่อบางลดลงเมื่อมวลโมเลกุลของ PEO ที่ผสมในเยื่อบางสูงขึ้น

Nam and Lee (1999) เตรียมเยื่อประกอบไคโตซานโดยการรีดสารละลายไคโตซานเข้มข้น 2 wt% ในกรดอะซิติกบนเยื่อโพลีอีเธอร์ซัลโฟน (polyethersulfone) ที่เป็นเยื่อบางระดับอัลตราฟิวเตรชัน อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกรดซัลฟูริกในเมทานอลเข้มข้น 90 wt% นาน 60-120 นาทีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการเชื่อมขวาง 60-120 นาที ได้เยื่อประกอบที่มีชั้นไคโตซานหนา 10 ไมโครเมตร ทดสอบการคัดแยกส่วนผสมของเอทิลีนไกลคอลกับน้ำ (ethylene glycol(EG)-water) ของเยื่อประกอบนี้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าสารป้อนที่เข้มข้น 80 % ให้ฟลักซ์ของน้ำลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น แต่การคัดแยกน้ำออกจากเอทิลีนไกลคอลสูงขึ้น และพบว่าเวลาในการเชื่อมขวางดีที่สุดเท่ากับ 80 นาที คือมีฟลักซ์เท่ากับ 980-1350 g/m^2 h เปอร์เซ็นต์ของน้ำในสารที่ผ่านเยื่อบางเป็น 97.4-99.5 wt% เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารป้อน (EG) ในช่วง 70-95 % พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารป้อนทำให้ฟลักซ์ลดลง และการคัดแยกของเยื่อบางสูงเมื่อสารป้อนมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 80-90 %



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก จาก Mukoma, *et al.* (2004)

Wan, *et al.* (2003) เตรียมเยื่อบางไคโตซานโดยใช้ไคโตซานมวลโมเลกุล 200-800 kDa 1-2 กรัมละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 1 %(v/v) ปริมาตร 100 ml กรองสารละลายที่ได้เพื่อแยกส่วนที่ไม่ละลายออก จากนั้นรีดสารละลายบนจานเพาะเลี้ยง วางไว้ให้แห้งเป็นเวลา 48 ชมได้เยื่อแผ่นไคโตซาน แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 % เพื่อปรับสภาพให้เป็นกลาง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง วางให้แห้งเป็นเวลา 48 ชม.

จากนั้นอบเยื่อบางที่อุณหภูมิ 50-60 ^{0}C เป็นเวลา 24 ชม. ได้เยื่อบางไคโตซานความหนาประมาณ 90-130 μm

Won, *et al.* (2003) เตรียมเยื่อบางไคโตซานแบบแน่นโดยการรีด สำหรับใช้ในกระบวนการเพอร์แวปพอเรชัน สำหรับแยกน้ำจากแอลกอฮอล์ เตรียมสารละลายไคโตซานโดยใช้ไคโตซานมวลโมเลกุล 100 kDa ในกรดอะซิติกโดยให้สารละลายมีความเข้มข้นของไคโตซาน 1.1 %wt กรดอะซิติก 2 %wt และน้ำ 96.9 %wt กรองสารละลายเพื่อแยกส่วนที่ไม่ละลายออก จากนั้นรีดสารละลายบนแผ่นกระจกวางไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชม. ทำการปรับสภาพให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.8 M ในเอทธานอล 50 %(v/v) แล้วล่างด้วยน้ำกลั่น วางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการเชื่อมขวางเยื่อบางโดยแช่สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.005 M ในอะซิโตน 50 %(v/v) นาน 5 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น วางไว้ให้แห้ง ได้เยื่อบางไคโตซานที่มีความหนา 26.2 μm

วราวุฒิ (2548) เตรียมเยื่อบางไคโตซานโดยใช้ไคโตซานมวลโมเลกุล 600,000 จำนวน 2 กรัม ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 1 % ปริมาตร 100 ml เทใส่ถาดสเตนเลสเพื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 43 ^{0}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นการทำให้หนืดก่อนทำการเปลี่ยนเฟสโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4 %(w/v) นาน 1 ชั่วโมง ทำความสะอาดเยื่อบางด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมี pH 7 ตรึงเยื่อบางบนกระจกที่อุณหภูมิห้องในที่ปลอดฝุ่นได้เยื่อบาง CH2PH ที่มีความหนาเฉลี่ย 89.3±2.1 μm เป็นเยื่อบางแบบเนื้อแน่น เมื่อศึกษาคุณลักษณะของเยื่อบาง พบว่าค่าการซึมผ่านของน้ำของเยื่อบาง (hydraulic permeability,L_p) ซึ่งทดลองด้วยชุดกรองแบบปิดตาย (Wanichapichart et al.,2003) ที่มีพื้นที่เยื่อบางที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 17.3 cm^2 โดยค่า L_p หาได้จากความชันของกราฟระหว่างฟลักซ์น้ำ (J) กับความดัน (P) ตามสมการ Hagen-poiseuille ($J=L_p\Delta P$) มีค่าเป็น 4.0×10^{-12} m $s^{-1}Pa^{-1}$ ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อบางไคโตซานโดยวัดค่าอิมพิแดนซ์ (Z) ตามวิธีการของ Coster และคณะ (1992) พบว่าในช่วงความถี่ 50 Hz-1 kHz ค่าอิมพิแดนซ์มีค่าคงที่ที่ 4.97 kΩ

1.2.2 การปรับปรุงผิวเยื่อบางด้วยพลาสมา

การปรับปรุงผิวของพอลิเมอร์ด้วยเทคนิคพลาสมามีการพัฒนามาหลายทศวรรษ เทคนิคพลาสมาที่หลากหลายมีส่วนในการพัฒนาอุตสาหกรรมและการศึกษาในระดับห้องวิจัย สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้หลายด้าน เช่นความชอบน้ำ การยึดติด การดูดซับ ความว่องไวต่อปฏิกิริยา และความไวแสง เป็นต้น โดยขึ้นอยู่กับก๊าซที่ใช้กำเนิดพลาสมา กระบวนการหลักที่เกิดกับพอลิเมอร์เนื่องจากพลาสมา คือ การกัดกร่อน การทำความสะอาดผิว การเชื่อมสารพอลิเมอร์ การก่อชั้นพอลิเมอร์ การเกิดหมู่ทำปฏิกิริยา การใช้พลาสมาปรับปรุงผิวพอลิเมอร์มีลักษณะพิเศษกว่าวิธีอื่นคือ มีผลเฉพาะบนชั้นผิวของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปมีความหนาน้อยกว่า 1 μm เนื้อสารส่วนใหญ่ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้รักษาสมบัติเชิงกลไว้ได้ Thi

Dung Tran, *et al.* (2006) ศึกษาการปรับปรุงเยื่อบาง polyacrylonitrile (PAN) ระดับอัลตราฟิลเตรชัน (UF) ด้วยพลาสมา พบว่าการปรับปรุงโดยใช้พลาสมาจากก๊าซ Ar He และ O_2 ทำให้ความชอบน้ำและสภาพให้ซึมได้ของเยื่อบางเพิ่มขึ้น โดย PAN ที่ปรับปรุงด้วยออกซิเจนพลาสมามีคุณสมบัติระดับอัลตราฟิลเตรชันดีขึ้น คือฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบางเพิ่มขึ้นในขณะที่การกักกัน albumin คงที่ ส่วนการก่อชันพอลิเมอร์บนผิว PAN โดยใช้พลาสมาจากไอระเหยของ acrylic acid ทำให้เยื่อบาง PAN มีขนาดรูพรุนเล็กลงคือเปลี่ยนจากเยื่อกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน (UF) เป็นระดับออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis, RO)

Ru and Jie-rong (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงผิวของ poly(vinyl chloride) (PVC) ที่ใช้ทางการแพทย์ด้วยอาร์กอนพลาสมาระยะไกล (Remote plasma คือการวางตัวอย่างห่างจากบริเวณที่เกิดพลาสมาที่ระยะต่างๆ) และอาร์กอนพลาสมาโดยตรง (direct plasma คือการวางตัวอย่างในบริเวณที่เกิดพลาสมา) โดยใช้อาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99 % การกำเนิดพลาสมาทำที่ความถี่วิทยุ พลังงานช่วง 30-180 W อัตราการจ่ายอาร์กอนเท่ากับ 20 cm^3/min เวลาในการอาบพลาสมาของฟิล์มอยู่ในช่วง 0.5-3.5 นาที และระยะห่างของตัวอย่างกับตัวกำเนิดพลาสมาอยู่ในช่าง 0-80 cm ศึกษาลักษณะโครงสร้างผิวของ PVC โดยใช้การวัดมุมสัมผัส X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) และ Scanning electron microscopy (SEM) พบว่าความชอบน้ำของฟิล์ม PVC เพิ่มขึ้นหลังจากอาบอาร์กอนพลาสมา เห็นได้จากการลดลงของมุมสัมผัสของน้ำกับผิวฟิล์มจาก 107 องศาเป็น 30 องศาเมื่ออาบพลาสมาเป็นเวลา 1 นาที และเมื่อระยะห่างของตัวอย่างกับแหล่งพลาสมาอยู่ในช่วง 0-40 cm ค่ามุมสัมผัสของเยื่อบางหลังอาบพลาสมาลดลงแต่ที่ระยะห่างมากกว่า 40 cm มุมสัมผัสสูงกว่าการอาบพลาสมาโดยตรง นอกจากนั้นอาร์กอนพลาสมาระยะไกลไม่สร้างรอยความเสียหายบนผิวของฟิล์ม PVC ขณะที่อาร์กอนพลาสมาโดยตรงทิ้งร่องรอยความเสียหายบนผิวฟิล์มสูง ความชอบน้ำของฟิล์มขึ้นกับตำแหน่งของตัวอย่าง พลังงานที่ใช้ และเวลาอาบพลาสมา การเปลี่ยนแปลงผิวโดยใช้อาร์กอนพลาสมาทำให้อะตอมคลอไรด์หลุดออกจากฟิล์ม PVC โดยมีอัตราส่วนของอะตอม Cl/C เท่ากับ 0.01 และ 0.03 ตามลำดับ นั่นคืออาร์กอนพลาสมาระยะไกลมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนผิวฟิล์ม PVC มากกว่าอาร์กอนพลาสมาโดยตรง นอกจากนี้อาร์กอนพลาสมายังทำให้เกิดหมู่ออกซิเจนบนผิวฟิล์ม โดยหมู่ออกซิเจนส่วนใหญ่คือ C-O

Shi, *et al.* (2006) ศึกษาการใช้อาร์กอนพลาสมาเปลี่ยนแปลงผิวของฟิล์ม polyethylene (PE) อุปกรณ์กำเนิดพลาสมาใช้ขั้วอิเล็กโทรดแบบภายใน (inner-capacity) การดิสชาร์จใช้ความถี่ 13.56 MHz โดยใช้ก๊าซอาร์กอนความดัน 25-30 Pa พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของ PE เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของเวลาที่อาบอาร์กอนพลาสมา โดยมีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดเมื่อเวลาอาบพลาสมาอยู่ในช่วง 70-120 วินาที แล้วค่อยๆลดลงจนกระทั่งคงที่เมื่อเวลาอาบพลาสมานานกว่า 120 วินาที และอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของพลังงานที่ใช้ด้วย เมื่อพลังงานสูงกว่า 62 W อัตราตราการสูญเสียน้ำหนักจะลดลงอย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์โดยใช้ ATR-FTIR พบว่า polyethylene (PE)ที่อาร์กอนพลาสมายังเกิดโครงสร้างผิวใหม่

Weibel, *et al.* (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงผิวของเยื่อบาง polyurethane (PU) ด้วยพลาสมาที่ใช้ก๊าซ O_2 N_2 และไอระเหยของ acrylic acid (AA) เพื่อก่อหมู่ฟังก์ชันพิเศษบนผิวเยื่อบาง การเกิดพลาสมาดิสชาร์จใช้ความถี่13.56 MHz ความดัน 8-30 Pa พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง PU ที่ปรับปรุงด้วยพลาสมามีค่าต่ำกว่าเยื่อบาง PU เริ่มต้น เยื่อบางที่อาบพลาสมาจาก O_2 N_2 และAA มีค่ามุมสัมผัสเป็น 81±2 41±2 52±2 องศาตามลำดับและ 51±2 องศาสำหรับเยื่อบางเริ่มต้น นั่นคือเยื่อบางที่อาบพลาสมาชอบน้ำมากกว่า PU เริ่มต้น เมื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของ PU ด้วย HR-XPS พบว่าเยื่อบาง PU ที่ปรับปรุงด้วย O_2 และ AA พลาสมามีหมู่ฟังก์ชัน C-O ที่ผิว โดยเฉพาะการใช้ไอระเหย AA มีความเข้มข้นของหมู่ C=O และ COO สูงกว่า PU เริ่มต้นและที่ปรับปรุงด้วยก๊าซ O_2 และN_2

Bodas and Khan-Malek (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความไม่ชอบน้ำของ polydimethylsiloxane (PDMS) โดยใช้ออกซิเจนพลาสมา อุปกรณ์กำเนิดพลาสมาคือ Plassys RIE system ใช้ความถี่วิทยุ (13.56 MHz) ในการเกิดดิสชาร์จ ความดันของก๊าซออกซิเจนในระบบเท่ากับ 100 μbar อัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 20 sccm และพลังงานเท่ากับ 50 W พบว่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิว PDMS ที่อาบออกซิเจนพลาสมามีค่าต่ำกว่า PDMS เริ่มต้น คือ 0 องศาและ 120 องศาตามลำดับ นั่นคือ PDMS ที่อาบออกซิเจนพลาสมามีความชอบน้ำอย่างสมบูรณ์ การเปลี่ยนแปลงความชอบน้ำของผิว PDMS เป็นผลจากการหลุดของอนุภาคที่มีมวลโมเลกุลต่ำจากผิวเนื่องจากการชนของอิออนในพลาสมาซึ่งสอดคล้องกับลักษณะผิวของ PDMS จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย SEM โดยผิวของ PDMS ที่อาบออกซิเจนมีความขรุขระมากกว่าเยื่อบาง PDMS เริ่มต้นและเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากอานพลาสมาร่องรอยขรุขระนี้ลดลง เมื่อศึกษาความชอบน้ำของ PDMS ที่อาบออกซิเจนพลาสมาที่เวลาต่างๆหลังอาบพลาสมา พบว่าความชอบน้ำลดลง สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของมุมสัมผัสของน้ำกับผิว PDMS ที่อาบพลาสมานาน 12 ชม.หลังอาบพลาสมามุมสัมผัสเพิ่มจาก 0 องศาเป็นประมาณ 50 องศา และเมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นเป็น 105 องศา นั่นคือการเปลี่ยนแปลงผิว PDMS ด้วยออกซิเจนพลาสมาทำให้ PDMS ชอบน้ำอย่างสมบูรณ์ แต่ความชอบน้ำนี้ไม่เสถียร

ในงานวิจัยนี้เตรียมเยื่อบางไคโตซาน การเชื่อมขวางเยื่อบางทำโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์และกรดซัลฟูริกในเมทานอลเพื่อเพิ่มประจุตรึงในเยื่อบาง และปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานโดยใช้พลาสมา จากนั้นศึกษาคุณสมบัติของเยื่อบางเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเตรียมเยื่อบางไคโตซานโดยใช้การเชื่อมขวาง
2. ศึกษาการใช้พลาสมาเพื่อปรับปรุงผิวของเยื่อบางไคโตซาน
3. ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของเยื่อบางไคโตซาน

บทที่ 2

ทฤษฎี

งานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมเยื่อบางไคโตซาน การปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานและการทดสอบสมบัติเยื่อบางดังนี้

2.1 ดิสชาร์จแบบโคโรน่า (Corona discharge)

ชัยวิทย์ (2529) กล่าวไว้ว่าดิสชาร์จโคโรน่าเป็นการแตกตัวในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอที่ความดันสูง ขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของขั้วไฟฟ้า ลักษณะของดิสชาร์จคล้ายกับดิสชาร์จเรืองแสง ดิสชาร์จโคโรน่าสามารถนำกระแสไฟฟ้าในระดับมิลลิแอมแปร์และเกิดได้ต่อเนื่องโดยลำพัง โคโรน่าดิสชาร์จในอากาศมีผลทำให้เกิดโอโซนและออกไซด์ของไนโตรเจน สำหรับจุดขั้วบวก (positive point) ในอากาศ กระแสไฟฟ้าจะไหลสม่ำเสมอ เพิ่มขึ้นตามศักย์จะมีค่าประมาณ 1 mA ก่อนการเกิดเบรกดาวอย่างสมบูรณ์ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นโดยรอบจุดจะทำให้เกิด avalanche ค่าสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าแผ่นขนานมีค่าประมาณ 30 kV cm^{-1}

2.2 ดิสชาร์จความถี่สูง (High frequency discharge)

Alfred Grill (1994) กล่าวไว้ว่าดิสชาร์จที่ความถี่สูงอิเล็กตรอนจะสั่นในสนามไฟฟ้าด้วยอัมลิจูดน้อยกว่าระยะทางดิสชาร์จและไม่มีการสูญเสียไปยังขั้วไฟฟ้า แต่อาจสูญเสียไปโดยการแพร่กระจายอิเล็กตรอน เบรกดาวจะเกิดขึ้นถ้าอัตราการผลิตอิเล็กตรอนมากกว่าการสูญเสียโดยการแพร่กระจาย ขั้วไฟฟ้าในดิสชาร์จความถี่สูงมี 3 ลักษณะ คือ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นขนาน โดยวิธีเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและโดยการใช้กล่องโลหะ ในงานวิจัยนี้ใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นขนานทรงกลมอยู่ภายในหลอดดิสชาร์จแล้วต่อศักย์ไฟฟ้าความถี่สูงกับขั้วไฟฟ้านี้ การเกิดพลาสมาเป็นดังรูปที่ 2.2

อันตรกิริยาระหว่างไอออนในพลาสมากับผิวของสารเป้าที่อยู่ในพลาสมาเมื่อไอออนพลังงานสูงวิ่งชนผิวหน้าของสารเป้าจะเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆดังนี้

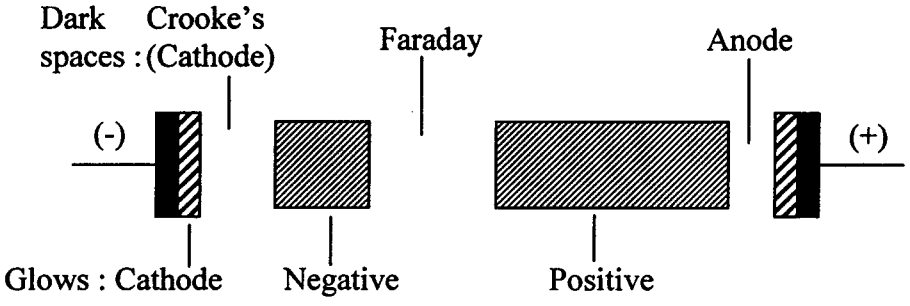
1. ไอออนอาจสะท้อนกลับจากผิว ส่วนใหญ่จะสะท้อนออกมาในรูปของอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ผิว

2. การชนของไอออนอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน เมื่อไอออนมีพลังงานสูงพอ

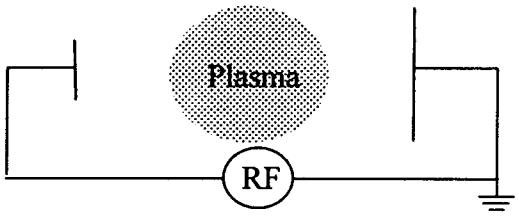
3. ไอออนอาจฝังตัวในผิว (ion implantation) ระดับความลึกของการฝังตัวจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานของไอออน

4. การชนของไอออนทำให้เกิดการเรียงตัวของอะตอมใหม่และเกิดความบกพร่องของโครงสร้างผลึก (lattice defect)

5. การชนของไอออนทำให้เกิดการชนแบบต่อเนื่องระหว่างอะตอมทำให้เกิดการปลดปล่อยอะตอมออกมา ซึ่งเรียกว่าขบวนการสปัตเตอริง (sputtering)



รูปที่ 2.1 Discharge regions of a DC glow discharge



รูปที่ 2.2 Direct RF connection to parallel plate reactor with unequal electrodes

2.3 การบวมน้ำ

เยื่อบางไคโตซานเป็นเยื่อบางชอบน้ำ (Hydrophilicity) เมื่อทำการทดสอบสมบัติในสารละลายเยื่อบางจะดูดสารละลายและพองตัว จึงต้องทราบเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำและเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำ โดยวัดน้ำหนักของเยื่อบางก่อนและหลังแช่เยื่อบางในน้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำจากสมการ 2.1 (Masale and Kumer,2000)

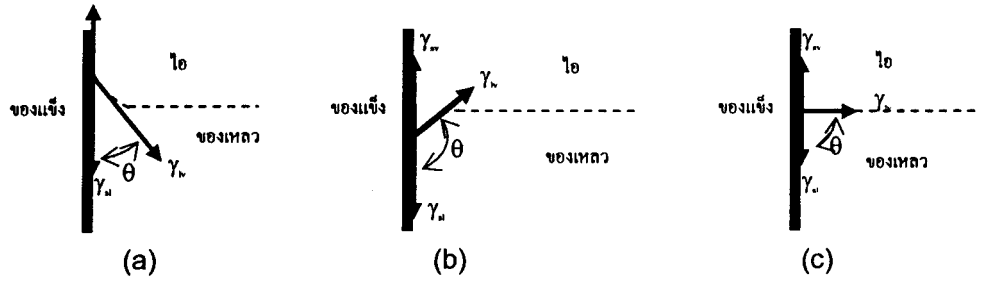
$$\text{เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ} = \left(\frac{W_w - W_d}{W_d}\right)\times 100 \qquad (2.1)$$

เมื่อ W_d คือน้ำหนักของเยื่อบางแห้ง และ W_w คือน้ำหนักของเยื่อบางที่แช่น้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ

2.4 มุมสัมผัส

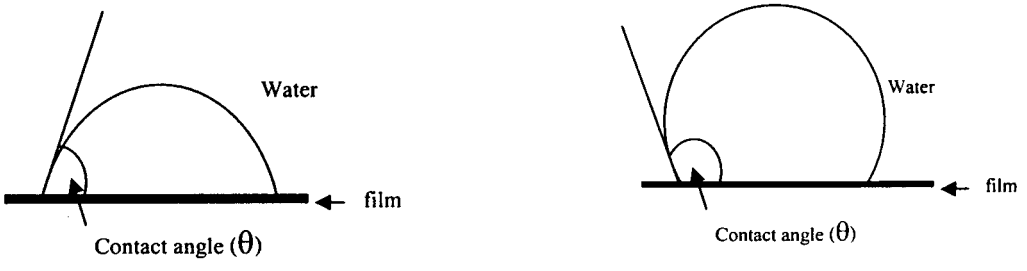
แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวช่วยยึดให้โมเลกุลอยู่ใกล้กัน โมเลกุลแต่ละโมเลกุลถูกแรงกระทำเนื่องจากโมเลกุลอื่นๆที่อยู่รอบๆผลคือทำให้แรงร่วมมีค่าเป็นศูนย์ แต่ในโมเลกุลที่ใกล้ผิวของเหลวแรงดึงลงมีขนาดมากกว่าแรงดึงขึ้น แรงลัพธ์ที่ดึงโมเลกุลดังกล่าวมีทิศทางเข้าไปภายในของเหลวทำให้ผิวของเหลวมีลักษณะเสมือนกับเป็นเยื่อที่ขึงตึง เรียกว่า ความตึงผิว (surface tension, γ) ของของเหลว (คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมม, 2543)

ให้ γ_{sl} คือความตึงผิวของฟิล์มของแข็งและของเหลว γ_{sv} คือความตึงผิวของฟิล์มของแข็งและไอ และγ_{lv} คือความตึงผิวของฟิล์มของเหลวและไอ มุมสัมผัส (contact angle) ของของเหลวกับของแข็งขึ้นกับผลต่างของ γ_{sv} กับ γ_{sl} เมื่อ γ_{sv} มากกว่า γ_{sl} มุมสัมผัสจะอยู่ระหว่าง 0-90 องศา ดังรูป 2.3a เมื่อ γ_{sv} น้อยกว่า γ_{sl} มุมสัมผัสจะอยู่ระหว่าง 90-180 องศา ดังรูป 2.3b เมื่อ γ_{sv} มีค่าใกล้เคียง γ_{sl} มุมสัมผัสจะเท่ากับ 90 องศา ดังรูป 2.3c



รูปที่ 2.3 แสดงมุมสัมผัสของของแข็งกับของเหลว

เมื่อมุมสัมผัสของผิววัตถุกับน้ำมีค่าน้อยกว่า 90 องศา ดังรูปที่ 2.4a วัตถุนั้นชอบน้ำ (Hydroplilicity) ขณะที่เมื่อมุมสัมผัสมีค่ามากกว่า 90 องศา ดังรูปที่ 2.4a วัตถุนั้นไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะมุมสัมผัส (a) Hydroplilicity (b) Hydrophobicity

2.5 ศักย์การแพร่ของเยื่อบาง

Nobel (1974) รายงานไว้ว่าศักย์การแพร่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิออนผ่านเยื่อบางเนื่องจากผลต่างของความเข้มข้นของอิออนต่างๆสองด้านของเยื่อบาง ฟลักซ์ของอิออนผ่านเยื่อบางสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.2

$$J_j = J_j^{in} - J_j^{out}$$

$$= \left(\frac{K_j u_j z_j F V_M}{\Delta x}\right)\left(\frac{1}{e^{z_j F V_M / RT} - 1}\right)\left(c_j^o - c_j^i e^{z_j F V_M / RT}\right) \qquad (2.2)$$

เมื่อ J_j^{in} คือฟลักซ์เข้าของอิออน j

J_j^{out} คือฟลักซ์ออกของอิออน j

V_M คือศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมเยื่อบาง

R คือค่าคงที่โมลาร์ก๊าซ (8.314 J K^{-1} mol^{-1})

T คืออุณหภูมิ (K)

F คือค่าคงที่ faraday มีค่าประมาณ 96,500 C mol^{-1}

z_j คือจำนวนประจุของอิออน j

c_j คือค่าความเข้มข้นของอิออน j

K_j คือสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน

U_j คือสภาพเคลื่อนที่ได้ของอิออน j

$\Delta\chi$ คือความหนาของเยื่อบาง

ที่สภาวะสมดุลผลรวมของประจุต่างๆผ่านเยื่อบางเป็นศูนย์ เมื่ออิออนที่เคลื่อนที่ผ่านเยื่อบางคือ K^+ และ Cl^- นั่นคือ

$$J_K + J_{Cl} = 0 \qquad (2.3)$$

สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของอิออน j (P_j) เป็น $D_j K_j / \Delta x$ เมื่อ D_j คือสัมประสิทธิ์การแพร่ของอิออน j K_j คือสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน และ Δx คือความหนาของเยื่อบาง โดย $D_j K_j / \Delta x$ เท่ากับ $K_j u_j RT / \Delta x$ สมการ 2.2 เขียนใหม่ได้เป็น

$$P_K\left(\frac{1}{e^{FV_M/RT} - 1}\right)\left(c_K^o - c_K^i e^{FV_M/RT}\right) + P_{Cl}\left(\frac{1}{e^{FV_M/RT} - 1}\right)\left(c_{Cl}^o - c_{Cl}^i e^{-FV_M/RT}\right) = 0 \qquad (2.4)$$

เมื่อ z_K แทนด้วย 1 และ z_{Cl} แทนด้วย -1 หลังจากแก้สมการ 2.4 จะได้สมการสำหรับศักย์การแพร่ผ่านเยื่อบางดังนี้

$$V_M = \frac{RT}{F}\ln\left(\frac{P_K c_K^0 + P_{Cl} c_{Cl}^i}{P_K c_K^i + P_{Cl} c_{Cl}^o}\right) \tag{2.5}$$

ให้ $\beta = \frac{P_{Cl}}{P_K}$ เมื่อ β คืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของ Cl^- ต่อ K^+ จะได้

$$V_M = \frac{RT}{F}\ln\left(\frac{c_K^0 + \beta c_{Cl}^i}{c_K^i + \beta c_{Cl}^o}\right) \tag{2.6}$$

2.6 สมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อบาง

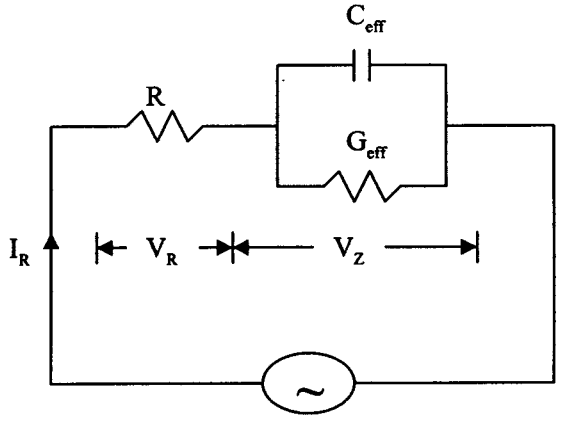
วราวุฒิและคณะ (2548) หาค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของเยื่อบางไคโตซานได้จำลองวงจรไฟฟ้าของระบบที่เยื่อบางอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ด้วยความนำไฟฟ้าของสารละลายระหว่างขั้วไฟฟ้ากับเยื่อบางด้วยค่า G_{eff} และแทนความจุไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายอิเล็กโตรไลต์และเยื่อบางทั้งสองด้านด้วยค่า C_{eff} ผลรวมของ G_{eff}และ C_{eff} เรียกว่าค่าอิมพิแดนซ์ (Z) (รูปที่ 2.5 และ 2.6) งานวิจัยนี้วัดค่า V_R และ V_Z ที่ความถี่ต่างๆและอาศัยกฎของโอห์มเพื่อคำนวณค่า Z ดังนี้

$$Z(\omega) = \frac{V_Z(\omega)}{I_Z} = \frac{V_Z R}{V_R} \tag{2.7}$$

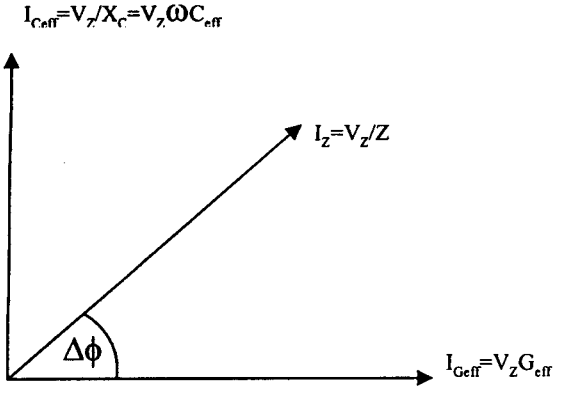
$$G_{eff}(\omega) = \frac{1}{|Z(\omega)|}\cos\Delta\phi \tag{2.8}$$

$$C_{eff}(\omega) = \frac{1}{\omega|Z(\omega)|}\sin\Delta\phi \tag{2.9}$$

เมื่อ $\Delta\phi$ คือผลต่างมุมเฟสระหว่างทิศทางของกระแสที่ผ่านความนำไฟฟ้ากับกระแสการไหล



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเพื่อวัดค่าอิมพิแดนซ์ (Z) ของเยื่อบาง



รูปที่ 2.6 แผนภาพเฟสของอิมพีแดนซ์ (Z) สภาพนำไฟฟ้า (G_{eff}) และความจุทางไฟฟ้า (C_{eff}) ของเยื่อบางในสารละลายอิเล็กโตรไลต์

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

1. ไคโตซาน MW ~400,000 (Seafresh) และไคโตซาน MW ~600,000 (Fluka)
2. กรดอะซิติก (Merck)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck)
4. โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4
5. กลูตารัลดีไฮด์ (Fluka)
6. โปแทสเซียมคลอไรด์ (Merck)
7. เมทานอล (Merck)
8. กรดซัลฟูริก (Lab-scan)
9. น้ำกลั่น
10. วาสลีน
11. กระดาษกรอง
12. ก๊าซอาร์กอน 99.9%

3.2 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสารระบบดิจิตอล 2 และ 4 ตำแหน่ง (Mettler, AE200)
2. บีกเกอร์ ขนาด 1,000 500 250 50 และ 25 มิลลิลิตร
3. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสาร (Magnetic stirrer) ขนาด 1.5×0.4 นิ้ว และ 13×8 มิลลิเมตร (Bibby Sterilin Ltd)
4. เครื่องกวนสาร (Velp Scientifica)
5. ปิเปต ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร (HBG)
6. ออโตปิเปต ขนาด 20-200 และ 100-1,000 ไมโครลิตร (Nichiryo)
7. กระบอกตวง ขนาด 10 25 50 100 250 มิลลิลิตร (Witeg)
8. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร (Pyrex)
9. ตู้อบ (Memmert, รุ่น Schutzart DIN 40050-1D)

10. ถาดสเตนเลส ขนาด 18×24 เซนติเมตร
11. กระจก หนา 0.5 เซนติเมตร ขนาด 20 ×25 เซนติเมตร
12. ตะกร้า ขนาด 28×30 เซนติเมตร
13. เทอร์โมมิเตอร์
14. เครื่องกรองสารละลายด้วยความดัน
15. ไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, YAB 02-M)
16. ปากคีบ
17. แท่งแก้ว
18. อุปกรณ์การตัดเยื่อบาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
19. ชุดอุปกรณ์วัดศักย์การแพร่
20. ขั้วไฟฟ้าชนิด Hg_2Cl_2 (Activon, รุ่น AE111) ขนาด 12×120 มิลลิลิตร 1 คู่
21. มัลติมิเตอร์ (Fluke 87)
22. กระบอกฉีดยา ขนาด 25 มิลลิลิตร
23. นาฬิกาจับเวลา (Casio, รุ่น HS-5)
24. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOS JSM, Model 5800LV)
25. อุปกรณ์ทดสอบการกรองแบบปิดตาย (Dead End)
26. อุปกรณ์โคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ
27. อุปกรณ์กำเนิดพลาสมาแบบ RF discharge
28. เครื่องวัดมุมสัมผัส Cam Plus Micro (Tantec รุ่น Schott-Fostec,LLC)

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การเตรียมเยื่อบางไคโตซาน

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อบางเบื้องต้นโดยใช้ไคโตซานที่มีมวลโมเลกุล (MW) ~600,000 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิติล 76 % โดยเตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1%(w/v) ในกรดอะซิติกเข้มข้น 1 %(v/v) และ 10%(v/v) กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดความดันโดยใช้ความดัน 50 psi เพื่อแยกส่วนที่ไม่ละลายออก วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส ในที่ปลอดฝุ่นจนกระทั่งไม่มีฟองอากาศ เทสารละลายปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในถาดสแตนเลสขนาด 18×24 เซนติเมตร นำไปอบที่ 43 องศาเซลเซียส นาน 120 ชั่วโมง นำเยื่อบางที่ได้ไปปรับสภาพให้เป็นกลางโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% (w/v) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกรองระบบออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) จนน้ำล้างมีค่าพีเอช

7.6 วางเยื่อบางให้แห้งในที่ปลอดฝุ่นและทับด้วยแผ่นกระจกจนแห้ง ได้เยื่อบางที่ไม่มีรูพรุนโดยเรียกว่า CH6-1 และ CH6-1(10) ตามลำดับ จากขั้นตอนการเตรียมและผลการศึกษาคุณสมบัติของเยื่อบางที่ได้ พบว่าเยื่อบาง CH6-1 และ CH6-1(10) มีความหนาเท่ากับ 34.6±8.0 และ 43.0±3.5. μm ตามลำดับ เยื่อบาง CH6-1(10) ที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก 10%(v/v) มีการบวมน้ำสูงกว่าเยื่อบางที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก 1%(v/v) คือ CH6-1 ซึ่งการบวมน้ำสูงเป็นคุณสมบัติที่ไม่พึงประสงค์ของเยื่อบาง ดังนั้นในการเตรียมเยื่อบางอื่นๆจึงใช้กรดอะซิติก 1%(v/v) เป็นตัวทำละลาย การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนาของเยื่อบางทำโดย 2 วิธี คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสารละลายไคโตซานเป็น 100 และ400 มิลลิลิตรต่อถาด พบว่าเมื่อใช้สารละลายไคโตซาน 100 ml เยื่อบางที่ได้มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดความหนาไม่สม่ำเสมอและบางมาก และเมื่อเพิ่มสารละลายเป็น 400 ml พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งเยื่อบางเป็น 2 เท่า ดังนั้นจึงเปลี่ยนวิธีการเพิ่มความหนาของเยื่อบางเป็นวิธีที่ 2 คือการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานจาก 1%(w/v) เป็น 2%(w/v) ได้เยื่อบาง CH6-2 ซึ่งมีความหนามากกว่าเยื่อบาง CH6-1 2 เท่าคือมีความหนาเท่ากับ 79.8±10.5 และ 34.6±8.0 μm ตามลำดับ การศึกษาการเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ ด้วยวิธีการ 2 แบบคือวิธีที่ 1 ผสมสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ในสารละลายไคโตซานก่อนอบแห้งที่ความเข้มข้น 0.0017 และ 0.0083 %(v/v) ได้เยื่อบาง CH6-1XIG0.0017 และ CH6-1XIG0.0083 ตามลำดับ วิธีนี้ความเข้มข้นของสารละลายกลูตาราลที่ใช้ต่ำมาก เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของกลูตาราลดีไอด์สูงกว่า 0.0083 %(v/v) สารละลายไคโตซานมีการจับเป็นกลุ่มเล็กไม่เป็นเนื้อเดียวและเยื่อบางที่ได้จะกรอบขณะแห้งและขาดง่าย การเชื่อมขวางวิธีที่ 2 คือการแช่แผ่นเยื่อบางในสารละลายกลูตาราลดีไฮด์เข้มข้น 0.01 และ 0.15%(v/v) เป็นเวลา 1 ชม.ที่อุณหภูมิห้อง ได้เยื่อบาง CH6-1XOG0.01 และ CH6-1XOG0.1 ตามลำดับ การเชื่อมขวางแบบนี้ความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์ที่ใช้สูงกว่าแบบที่ 1 โดยไม่ทำให้เยื่อบางหัก ดังนั้นในการเตรียมเยื่อบางจากไคโตซานมวลโมเลกุล ~400,000 ต่อไปในงานวิจัยนี้จึงกำหนดเงื่อนไขในการเตรียมเยื่อบางจากข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้

3.3.1.1 เยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวาง

ในงานวิจัยนี้เตรียมเยื่อบางไคโตซานใช้วิธีการเปลี่ยนเฟส โดยการระเหยตัวทำละลายในสารละลายไคโตซานจนแห้ง ไคโตซานที่ใช้มีมวลโมเลกุล (MW) ~400,000 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิติล 76 % เตรียมเยื่อบางไคโตซานโดยละลายไคโตซาน 7 กรัม ในกรดอะซิติกเข้มข้น 1 %(v/v) ปริมาตร 700 มิลลิลิตร กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ได้สารละลายไคโตซาน 1 % (w/v) กรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดความดันโดยใช้ความดัน 50 psi เพื่อแยกส่วนที่ไม่ละลายออก วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส ในที่ปลอดฝุ่นจนกระทั่งไม่มีฟองอากาศ เทสารละลายปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในถาดสแตนเลสขนาด

18×24 เซนติเมตร นำไปอบที่ 43 องศาเซลเซียส นาน 120 ชั่วโมง นำเยื่อบางที่ได้ไปปรับสภาพให้เป็นกลางโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% (w/v) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกรองระบบออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) จนน้ำล้างมีค่าพีเอช 7.6 วางเยื่อบางให้แห้งในที่ปลอดฝุ่นและทับด้วยแผ่นกระจกจนแห้ง ได้เยื่อบางที่ไม่มีรูพรุนโดยเรียกว่า CH1

3.3.1.2 เยื่อบางที่เชื่อมขวาง

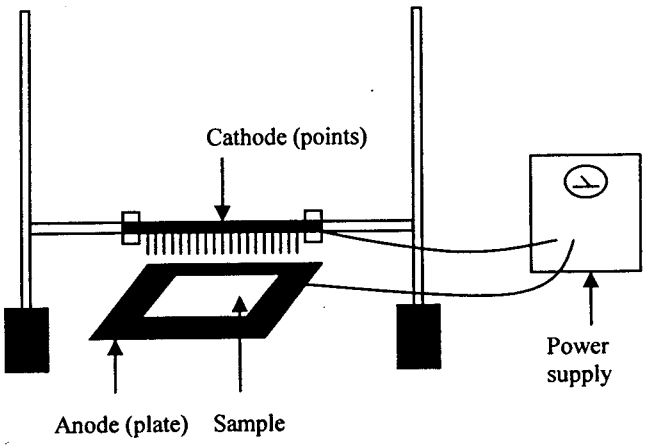
การเชื่อมขวางเยื่อบาง CH1 แบ่งออกเป็น 3 วิธีตามชนิดของสารละลายที่ใช้เชื่อมขวาง วิธีที่ 1 คือการแช่เยื่อบาง CH1 ในสารละลายกลูตารอลดีไฮด์ที่ละลายในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอส 7.4 โดยผันแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูตารอลดีไฮด์ดังนี้ 0.001, 0.005, 0.01 และ 0.1% (v/v) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ล้างเยื่อบางด้วยน้ำกรองระบบออสโมซิสผันกลับจนน้ำล้างมีค่าพีเอช 7.6 แล้ววางให้แห้งในที่ปลอดฝุ่น ได้เยื่อบางไคโตซานเรียกชื่อตามความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางว่า G0.001, G0.005, G0.01 และ G0.1 ตามลำดับ วิธีที่ 2 คือการแช่เยื่อบาง CH1 ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่เจือจางด้วยเมทานอล 100% ที่ความเข้มข้นต่างๆดังนี้ 0.005, 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5% (v/v) ขั้นตอนการเชื่อมขวางทำเช่นเดียวกับการเชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ ได้เยื่อบางเรียกตามความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางว่า SM0.005, SM0.01, SM0.1, SM0.5, SM1 และ SM1.5 ตามลำดับ การเชื่อมขวางวิธีที่ 3 คือการแช่เยื่อบางในสารละลายกรดซัลฟูริกในอะซิโตน 100% ความเข้มข้น 0.01 %(v/v) ได้เยื่อบาง SA 0.01

3.3.2 ปรับปรุงผิวเยื่อบางด้วยพลาสมา

พลาสมาที่ใช้ปรับปรุงเยื่อบางไคโตซานในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 แบบตามแหล่งกำเนิดพลาสมา ได้แก่

3.3.2.1 พลาสมาแบบโคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ

การอาบเยื่อบางไคโตซานด้วยพลาสมาแบบโคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ ทำโดยวางเยื่อบางบนขั้วลบ (anode) ของชุดอุปกรณ์ที่เป็นแผ่นอลูมิเนียมและขั้วบวก (cathode) ซึ่งเป็นแบบเข็ม โดยจัดให้ขั้วทั้งสองมีระยะห่าง 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1 แหล่งจ่ายพลังงาน (power supply) เป็นแบบศักย์ไฟฟ้าแรงสูงจ่ายศักย์ไฟฟ้าในช่วง 1-15 kV_{AC} การทดลองในงานวิจัยนี้ใช้ศักย์ไฟฟ้า 8 และ 12 kV_{AC} และเวลาในการอาบพลาสมาเยื่อบางอยู่ในช่วง10-60 นาที



(a)

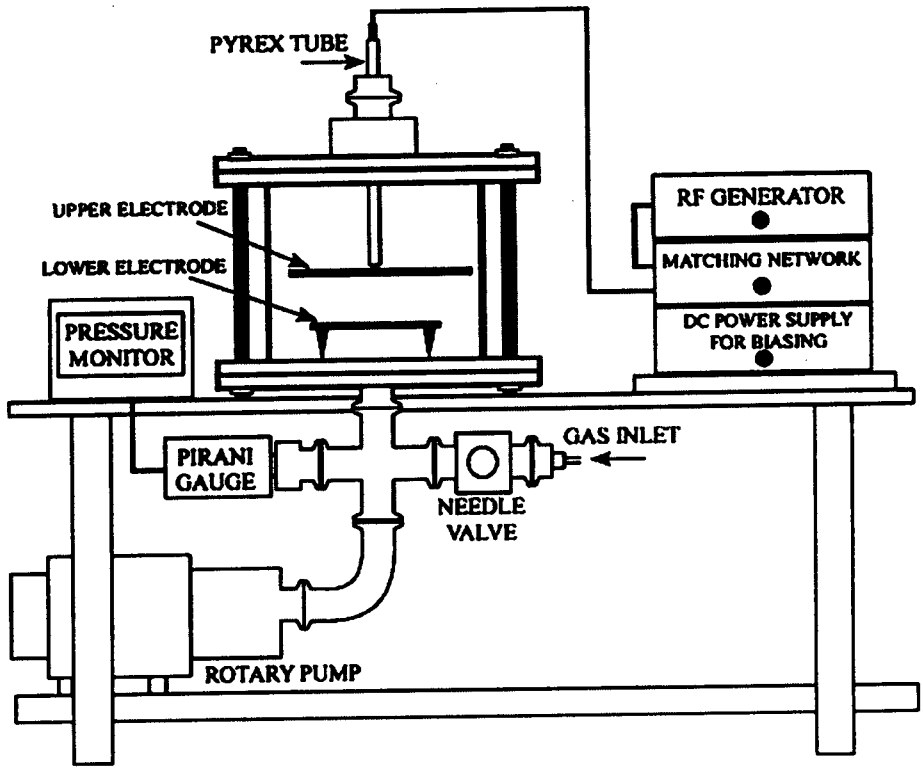
(b)

รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์โคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ

3.3.2.2 พลาสมาแบบ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

รูปที่ 3.2 แสดงชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาแบบ RF capacitive coupling discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ชุดอุปกรณ์นี้ประกอบด้วยส่วนทำปฏิกิริยา (reactor chamber) ซึ่งเป็นท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14.5 cm สูง 17 cm ภายในส่วนทำปฏิกิริยาประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ทำจากสเตนเลสหนา 0.71 cm คือ ขั้วไฟฟ้าด้านบน (upper electrode) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.6 cm และขั้วไฟฟ้าด้านล่าง (lower electrode) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm และระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่าง 0.0-8.0 cm การลดความดันภายในส่วนทำปฏิกิริยาทำโดยใช้ปั๊มโรตารี (rotary pump,Akcatel) สามารถลดความดันได้ต่ำสุดเท่ากับ 2×10^{-2} torr วัดโดยใช้เกจวัดความดัน (pirani gauge,Thermovac รุ่น TM21) ซึ่งวัดความดันได้ในช่วง 10^{-3}-10^{3} torr โดยแสดงไปยังตัวแสดงผลความดัน (pressure monitor, Thermovac รุ่น TM21) แหล่งจ่ายพลังงานในการกำเนิดพลาสมาประกอบด้วยตัวจ่ายศักย์ไฟฟ้า

(power supply) ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0-100 V ซึ่งต่ออยู่กับ Matching network และ RF generator ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงความถี่ 30-600 kHz ซึ่งต่อกับขั้วไฟฟ้าด้านบนของชุดอุปกรณ์ การอาบพลาสมาเยื่อบางทำโดยวางแผ่นเยื่อบางไคโตซานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm บนขั้วอิเล็กโทรดด้านล่างของชุดกำเนิดพลาสมา จากนั้นลดความดันในส่วนทำปฏิกิริยาลงจนอยู่ที่ 2×10^{-2} torr แล้วจึงเติมก๊าซที่ใช้กำเนิดพลาสมาผ่านทางวาล์วปิดเปิด (needle valve) ในงานวิจัยนี้ใช้ก๊าซ 2ชนิด คือก๊าซอาร์กอนและอากาศ โดยศึกษาผลของเวลา ระยะห่างของขั้วชุดกำเนิดพลาสมาและความหนาแน่นของพลาสมาที่ค่าต่างๆ(โดยการปรับความดันของก๊าซและศักย์ไฟฟ้าที่จ่าย)



รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมของชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาแบบ RF discharge

3.3.3 ศึกษาคุณลักษณะของเยื่อบาง

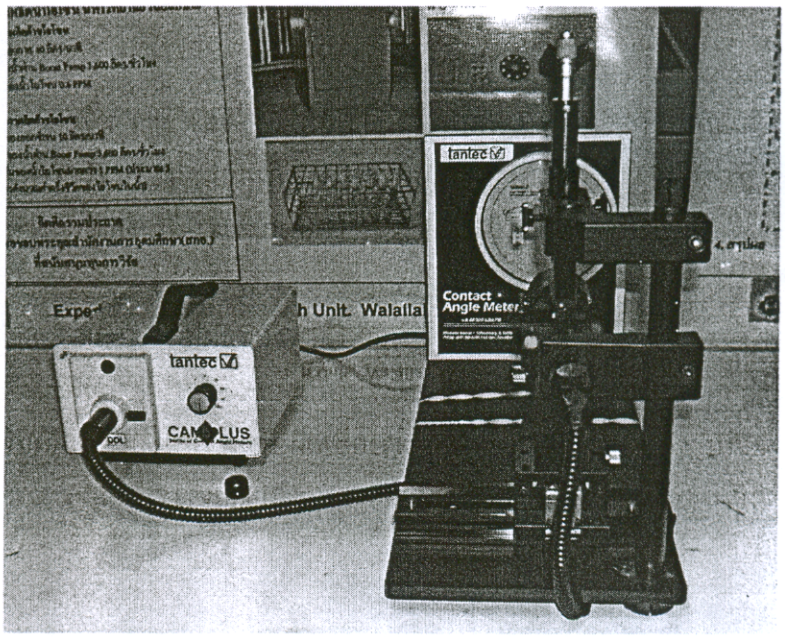
3.3.3.1 การบวมน้ำของเยื่อบาง

เนื่องจากเยื่อบางไคโตซานเป็นเยื่อบางชนิดชอบน้ำ เมื่อนำไปศึกษาคุณสมบัติต่างๆในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายมีผลให้เยื่อบางมีการพองตัวเนื่องจากการดูดสารละลายมีผลให้สมบัติของเยื่อบางเปลี่ยนแปลง จึงจำเป็นต้องหาเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางและเวลาที่เยื่อบางใช้ในการดูดซับน้ำได้สูงสุด การทดลองหาเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำทำโดยตัดเยื่อบางไคโตซานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 1.5×1.5 เซนติเมตร ชั่งมวลของเยื่อบางแห้ง

ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แช่เยื่อบางในน้ำกลั่นเป็นเวลาต่างๆกันแล้วชั่งมวลของเยื่อบางอีกครั้ง โดยทำการซับน้ำส่วนเกินออกด้วยกระดาษกรองก่อน นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางจากสมการที่ 2.1

3.3.3.2 มุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง

หยดน้ำกลั่นบนผิวของเยื่อบางไคโตซานทันทีหลังจากทำการปรับปรุงผิวด้วยพลาสมา วัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวเยื่อบาง (contact angle, θ) ดังรูปที่2.4 ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสดังรูปที่ 3.3 แต่ละเงื่อนไขของการทดลองได้ทดสอบโดยใช้เยื่อบางจำนวน 3 แผ่น

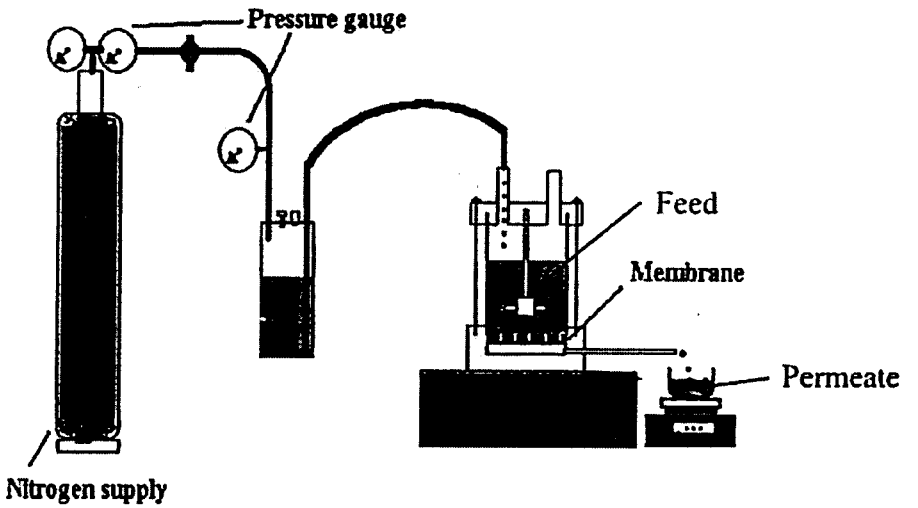


รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือวัดมุมสัมผัส

3.3.3.3 การทดสอบฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง

ใช้วิธีการเดียวกับ Wanichapichart, *et al.* (2002) คือ ตัดเยื่อบางไคโตซานเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร จัดเยื่อบาง (membrane) ลงในอุปกรณ์ทดสอบการกรองแบบปิดตาย (dead end) สำหรับ reverse osmosis ซึ่งทำด้วยสแตนเลส ดังรูปที่ 3.4 โดยแช่เยื่อบางในน้ำกลั่นจนบวมน้ำสูงสุดตามข้อมูลการบวมน้ำที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 จากนั้นนำไปวางบนฐานรองรับ (support) โดยเยื่อบางต้องมีขนาดพอดีกับช่องวางเยื่อบาง จากนั้นวาง oring ที่ทาวาสลีนบนเมมเบรนแล้วประกอบส่วนต่างๆของอุปกรณ์ให้แน่น โดยที่ความยืดหยุ่นของ oring ช่วยป้องกันการรั่วของน้ำระหว่างรอยต่อของชุดอุปกรณ์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตรเป็นสารป้อน (feed) และให้ความดันจากความดันของก๊าซไนโตรเจน

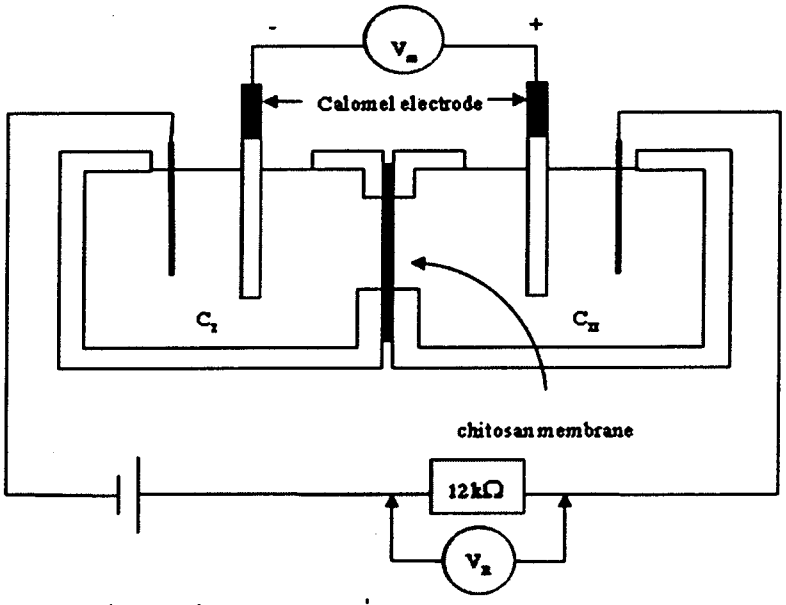
(nitrogen supply) แก่ระบบในช่วงความดัน 5-2.5 MPa วัดด้วยเกจวัดความดัน (pressure gauge) แต่ละความดันบันทึกมวลน้ำที่ผ่านเยื่อบางเทียบกับเวลา คำนวณค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางในหน่วย L m^{-2} h^{-1} โดยพื้นที่ยังผลของเยื่อบางเท่ากับ 11.34×10^{-4} m^2 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง (J) กับความดัน (P) ความชันของกราฟคือสภาพให้ซึมผ่านของน้ำ (L_p)



รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ชุดทดสอบการกรองแบบปิดตาย

3.3.3.4 การวัดศักย์การแพร่ของเยื่อบางไคโตซาน

ตัดเยื่อบางไคโตซานเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร จัดเยื่อบางซึ่งแช่ในน้ำกลั่นจนเยื่อบางบวมน้ำสูงสุดในชุดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.5 โดยให้ด้านหน้าของเยื่อบางสัมผัสสารละลายด้าน C_I ซึ่งเติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 100 mM และคงความเข้มข้นนี้ตลอดการทดลอง ส่วนด้าน C_{II} เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.001 mM ใส่ขั้วไฟฟ้าชนิด Hg_2Cl_2 (calomel) ทั้งสองด้านของชุดทดลอง กวนสารละลายทั้งสองด้านอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 90 วินาที บันทึกค่าศักย์ไฟฟ้า ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายด้าน C2 เป็น 0.003, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3,10, 30 และ 100 mM ตามลำดับ เขียนกราฟระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าของเยื่อบางไคโตซานกับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ด้าน C_{II} และคำนวณค่าอัตราส่วนสภาพซึมซานได้ของอิออนผ่านเยื่อบาง (ß) ตามสมการ 2.6



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์วัดศักย์การแพร่ของเยื่อบาง

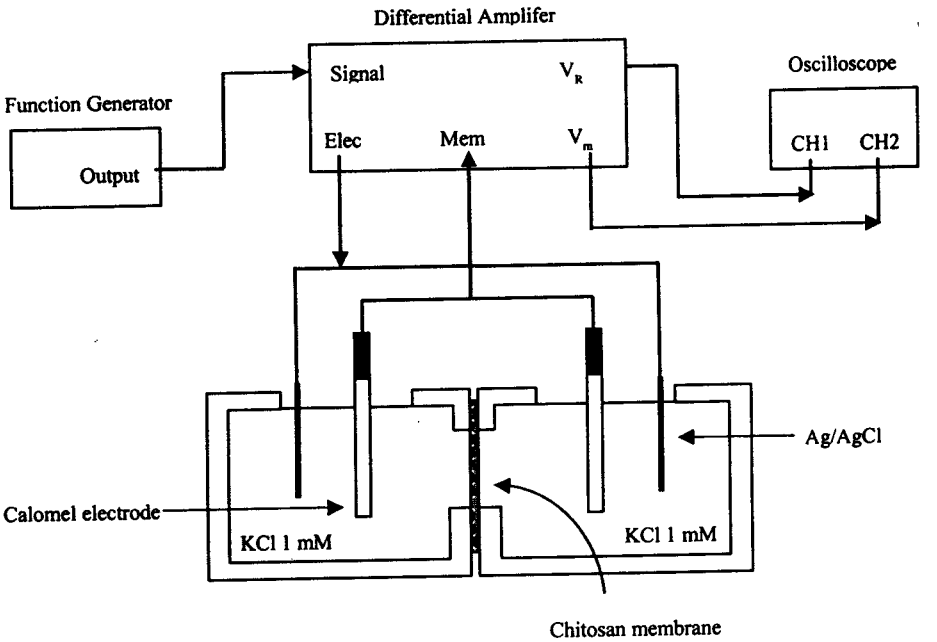
3.3.3.5 การศึกษาความสัมพันธ์ I-V ของเยื่อบาง

จัดเยื่อบางในชุดอุปกรณ์เช่นเดียวกับการวัดศักย์การแพร่(รูปที่ 3.5) เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 mM ลงในช่องทั้งสองด้านของเยื่อบาง จ่ายศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 0-30 V แล้ววัดค่า V_m และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเยื่อบาง ทำซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเป็น 1 และ 10 mM ตามลำดับ เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I และ V ของเยื่อบาง

3.3.3.6 การวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของเยื่อบาง

การทดลองนี้ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ความนำไฟฟ้า (G_{eff}) และความจุไฟฟ้า (C_{eff}) ของเยื่อบางไคโตซานในสารละลายอิเลคโตรไลต์ โดยจัดเยื่อบางไคโตซานลงในชุดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6 เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 mM ลงในช่องทั้งสองด้านของเยื่อบาง ต่อปลายทั้งสองของขั้วไฟฟ้าชนิด Hg_2Cl_2 เข้ากับตัวขยายสัญญาณ (differential amplifier) แล้วส่งไปยังออสซิโลสโคป (oscilloscope) เพื่อวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเยื่อบางในสารละลายดังกล่าวโดยมีตัวต้านทาน (R=12kΩ) ต่ออนุกรมกับระบบเพื่อวัดกระแส จ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ระหว่าง 50– 300 kHz. จาก(function generator) ให้แก่ระบบโดยผ่านขั้วไฟฟ้าชนิด Ag/AgCl ทั้ง 2 ขั้วที่จุ่มในสารละลายแต่ละด้านของเยื่อบาง แล้ววัดค่าศักย์ไฟฟ้า V_R , V_m และผลต่างมุมเฟส ($\Delta\phi$) ระหว่างศักย์ไฟฟ้าทั้งสองจากช่องสัญญาณที่ 1 และช่องสัญญาณที่ 2 ของออสซิโลสโคป คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ ($Z(\omega)$) สภาพนำไฟฟ้า ($G_{eff}(\omega)$) และความจุทางไฟฟ้า ($C_{eff}(\omega)$) ของเยื่อบางไคโตซานจากสมการ 2.7, 2.8 และ 2.9

ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $Z(\omega)$, $G_{eff}(\omega)$, $C_{eff}(\omega)$ กับความถี่ (f) ของสัญญาณป้อน



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์การวัดค่าอิมพีแดนซ์ ($Z(\omega)$) สภาพนำไฟฟ้า ($G_{eff}(\omega)$) และความจุทางไฟฟ้า ($C_{eff}(\omega)$) ของเยื่อบางโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ

3.3.3.7 การศึกษาลักษณะผิวของเยื่อบาง

การศึกษาลักษณะผิวของเยื่อบางในงานวิจัยนี้ทำโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope :SEM) การเตรียมตัวอย่างทำโดยตัดเยื่อบางวางบนสตับ (stub) ฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองคำเพื่อให้เยื่อบางนำไฟฟ้าแล้วส่องดูผิวโดยการถ่ายภาพผิวทั้งด้านบนและด้านล่างของเยื่อบาง

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

ในบทนี้นำเสนอผลและการอภิปรายผลการเตรียมเยื่อบางไคโตซาน การปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานด้วยเทคนิคพลาสมา และการทดสอบสมบัติของเยื่อบางไคโตซาน

4.1 การทดสอบคุณสมบัติของเยื่อบางไคโตซาน

4.1.1 ความหนาของเยื่อบาง

จากการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้ไคโตซานมวลโมเลกุล ~600,000 g/mol (CH6) พบว่าเยื่อบางที่ใช้สารละลายไคโตซานปริมาตรน้อยกว่า 200 มิลลิลิตรต่อ 1 ถาด(ขนาด 18×24 cm)ไม่สามารถควบคุมความหนาของเยื่อบางได้ เนื่องจากในการอบแห้งสารละลายมีการหดตัวจนมีขนาดเล็กกว่าที่กำหนด ความหนาแตกต่างกันมาก ม้วนเข้าหากัน และขาดง่าย เมื่อใช้ปริมาตรสารละลาย 200 มิลลิลิตรได้เยื่อบางไคโตซาน (CH6-1) หนา 34.6±8.0 μm และเมื่อเพิ่มสารละลายไคโตซานเป็น 2 เท่า (400 มิลลิลิตร) ความหนาของเยื่อบางไคโตซานเพิ่มเป็น 52.3±4.8 μm แต่เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อเพิ่มความหนาของเยื่อบางโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานจะเพิ่มความหนาของเยื่อบางได้มาก คือเยื่อบางที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซาน 2 %(w/v) (CH6-2) มีความหนาเป็น 2 เท่าของเยื่อบาง CH6-1 โดยมีความหนาเท่ากับ 79.8±10.5 μm ในการเตรียมสารละลายไคโตซานมากกว่า 2 %(w/v) พบว่าไคโตซานไม่สามารถละลายได้หมด เมื่อเปรียบเทียบความหนาของเยื่อบาง CH6-1(10) ที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 10%(v/v) เป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารละลายไคโตซานกับความหนาของเยื่อบาง CH6-1 พบว่า CH6-1(10) มีความหนามากกว่าเยื่อบาง CH6-1 โดยมีความหนาเท่ากับ 43.0±3.5 และ 34.6±8.0 μm ตามลำดับ ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้เงื่อนไขของเยื่อบาง CH6-1 เพื่อเตรียมเยื่อบางไคโตซานที่ใช้ไคโตซานมวลโมเลกุล ~400,000 g/mol ได้เยื่อบาง CH1 ที่มีความหนาใกล้เคียงกับของเยื่อบาง CH6-1 เมื่อเปรียบเทียบความหนาของเยื่อบาง CH6-1(10) ที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 10%(v/v) เป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารละลายไคโตซานกับความหนาของเยื่อบาง CH6-1 พบว่า CH6-1(10) มีความหนามากกว่าเยื่อบาง CH6-1 โดยมีความหนาเท่ากับ 43.0±3.5 และ 34.6±8.0 μm ตามลำดับ

การเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ทำการศึกษาเบื้องต้นโดยแบ่งวิธีการเชื่อมขวางเป็น 2 แบบ คือแบบที่ 1 การผสมสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ในสารละลายไคโตซานก่อนนำไปอบแห้งโดยใช้ความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์ 0.0017 และ 0.0083 %(v/v) ได้เยื่อบาง CH6-1XIG0.0017 และ CH6-1XIG0.0083 ตามลำดับ การเชื่อมขวางแบบนี้เมื่อเปอร์เซ็นต์ของกลูตาราลดีไฮด์สูงกว่า 0.0083 % (v/v) เยื่อบางจะกรอบขณะแห้งและขาดง่าย ส่วนแบบที่ 2 การแช่เยื่อบาง CH6-1 ในสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 %(v/v) เป็นเวลา 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง ได้เยื่อบาง CH6-1XOG0.01 และ CH6-1XOG0.1 ตามลำดับ การเชื่อมขวางแบบนี้ความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์ที่ใช้สูงกว่าแบบที่ 1 เนื่องจากวิธีนี้สารละลายกลูตาราลดีไฮด์จับกับผิวด้านนอกของเยื่อบางเท่านั้น ผลจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นจึงไม่ทำให้เยื่อบางหักง่าย เมื่อวัดความหนาของเยื่อบางพบว่าความหนาของเยื่อบางที่เชื่อมขวางแบบที่ 1 ไม่เปลี่ยนแปลง แต่การเชื่อมขวางแบบที่ 2 พบว่าทำให้ความหนาของเยื่อบางเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความหนาของเยื่อบางไคโตซาน

เยื่อบาง	ความหนา(μm)
CH6-1(10)	43.0±3.5
CH6-1	34.6±8.0
CH6-2	79.8±10.5
CH6-1XIG0.0017	32.2± 5.1
CH6-1XIG0.0083	34.8±17.1
CH6-1XOG0.01	53.6±16.3
CH6-1XOG0.1	46.3±9.8

จากข้อมูลการเชื่อมขวางดังกล่าวได้เลือกวิธีการเชื่อมขวางแบบที่ 2 คือการแช่เยื่อบางในสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ในการเชื่อมขวางเยื่อบาง CH1 ต่อไป การเชื่อมขวางเยื่อบาง CH1 ใช้สารละลายกลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้นช่วง 0.001 ถึง 0.1 % (v/v) ได้เยื่อบาง G0.001 G0.005 G0.01 และ G0.1 นอกจากนั้นได้เชื่อมขวางเยื่อบางโดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นช่วง 0.005 ถึง 1.5 %(v/v) ในเมทานอล 100 % ได้เยื่อบาง SM0.005 SM0.01 SM0.1 SM0.5 SM1.0 และ SM1.5 และเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นในอะซิโตน 100 % ได้แก่ SA0.01 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการเชื่อมขวางเยื่อบางมีค่าสูงกว่าสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์สูงกว่า 0.1 %(v/v) เยื่อบางจะกรอบและแตกหักในขั้นตอนการทำให้แห้ง ขณะที่

เมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกสูงกว่า 1.5 %(v/v) ไคโตซานจะละลายออกมาจากเยื่อบางทำให้เยื่อบางมีลักษณะเหนียวติดกัน การขยายตัวสูงมาก และขาดเป็นชิ้นเล็กๆในขั้นตอนการเตรียม เมื่อวัดความหนาพบว่าเยื่อบางก่อนและหลังจากเชื่อมขวางมีความหนาไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.2 การบวมน้ำของเยื่อบาง

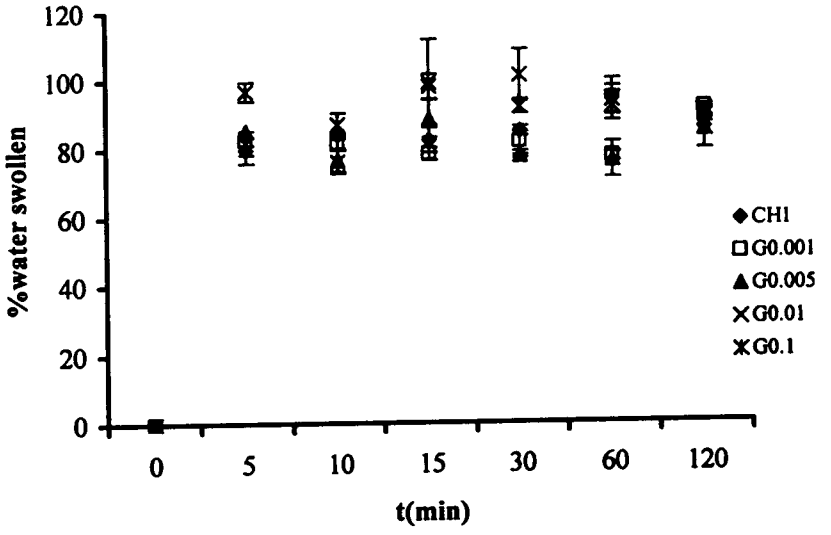
เมื่อศึกษาการบวมน้ำของเยื่อบางพบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงสุดเมื่อแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที และคงที่ตลอดการทดลอง 2 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางที่เตรียมในการศึกษาเบื้องต้น (กลุ่ม CH6)เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง พบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง CH6-1(10) ที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 10 %(v/v) มีค่าสูงกว่าเยื่อบาง CH6-1 ที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก 1 %(v/v) 0.5 เท่า ส่วนการเพิ่มความหนาของเยื่อบางไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำดังเห็นได้จากการบวมน้ำของเยื่อบาง CH6-2 และ CH6-1 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำใกล้เคียงกัน ในกรณีของเยื่อบางไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยสารละลายกลูตาราลดีไฮด์พบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นเยื่อบาง CH6-1XO0.01 มีการบวมน้ำต่ำกว่าเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวางและเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้นอื่นๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางไคโตซานกลุ่ม CH1

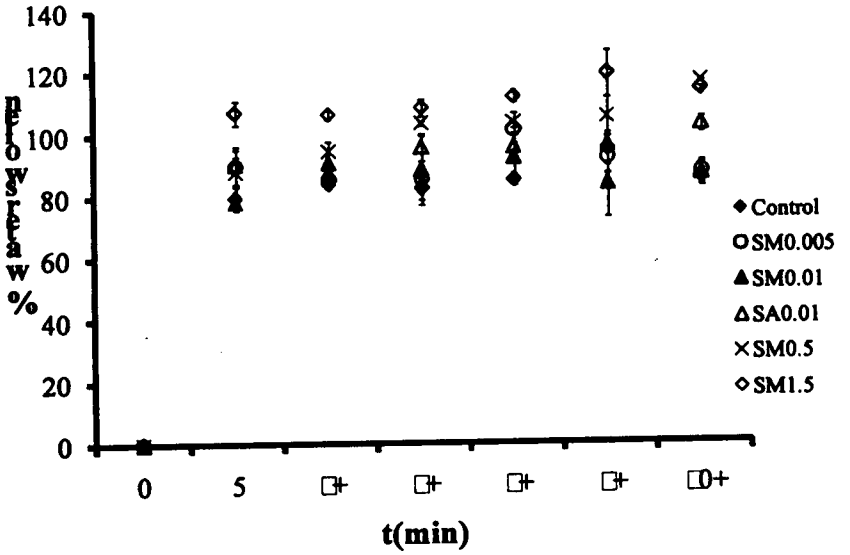
เยื่อบาง	เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ
CH6-1(10)	156.7±19.2
CH6-1	100.3±3.8
CH6-2	108.5±4.9
CH6-1XIG0.0017	103.6±1.4
CH6-1XIG0.0083	109.1±3.0
CH6-1XOG0.01	104.4±3.9
CH6-1XOG0.1	89.6±1.6

เมื่อศึกษาการบวมน้ำของเยื่อบางชุดควบคุม คือ CH1 พบว่าลักษณะการเพิ่มขึ้นของการบวมน้ำเหมือนกับเยื่อบางในการศึกษาเบื้องต้นคือมีค่าสูงสุดเมื่อแช่ในน้ำกลั่น 5 นาที และมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบการบวมน้ำของเยื่อบาง CH6-1 กับ CH1

พบว่าเยื่อบาง CH1 มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำต่ำกว่าเยื่อบาง CH6-1 โดยมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเป็น 79.5±3.8 และ100.3±3.8 ตามลำดับ นั่นคือมวลโมเลกุลของไคโตซานมีผลต่อสมบัติการบวมน้ำของเยื่อบาง โดยเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำที่เตรียมจากไคโตซานมวลโมกุลมากมีค่าสูงกว่าที่เตรียมจากไคโตซานมวลโมเลกุลต่ำ



(a)



(b)

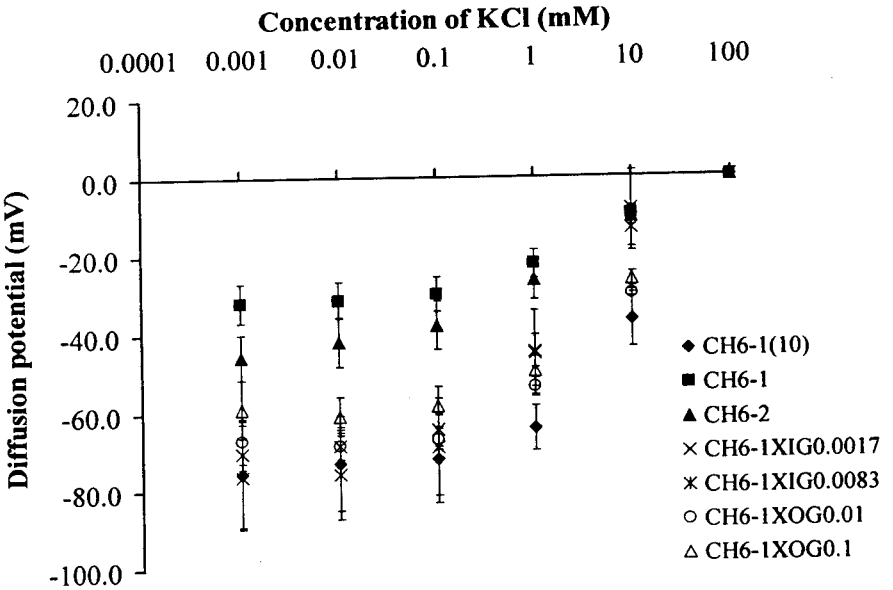
รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางไคโตซาน
(a) เยื่อบางควบคุม (CH1) กับเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์
(b) เยื่อบางควบคุม (CH1) กับเยื่อบางเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง CH1 ที่ไม่เชื่อมขวางและที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์และกรดซัลฟูริกในเมทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) โดยเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำสูงสุดอยู่ในช่วง 80-110 นั่นคือการเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยสารเชื่อมขวางไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง

4.1.3 ศักย์การแพร่ของเยื่อบาง

จากการศึกษาเบื้องต้นในเยื่อบาง CH6 พบว่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางไคโตซานมีค่าเป็นลบ นั่นคือเยื่อบางยอมให้ประจุลบ (Cl^-) ผ่านได้มากกว่าประจุบวก (K^+) ศักย์การแพร่ของเยื่อบางมีค่าสูงสุดเมื่อผลต่างความเข้มข้นของสารละลายสองด้านของเยื่อบางมีค่าสูงสุดและลดลงเมื่อผลต่างความเข้มข้นนี้ลดลง ดังรูปที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบศักย์การแพร่ด้านหน้าและด้านหลังของเยื่อบาง พบว่าศักย์การแพร่มีค่าเท่ากัน แสดงว่าเยื่อบางที่เตรียมได้ลักษณะผิวทั้งสองด้านเหมือนกัน ดังนั้นในการศึกษาศักย์การแพร่ต่อไปจะทำการทดลองเพียงด้านหน้าด้านเดียว และเมื่อเปรียบเทียบค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางต่างๆ พบว่าเยื่อบาง CH6-1(10) มีศักย์การแพร่สูงกว่าเยื่อบางอื่นๆที่ทุกๆผลต่างความเข้มข้นประมาณ 2.7 เท่า ความหนาของเยื่อบางที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางเพิ่มขึ้น ดังเห็นได้จากศักย์การแพร่ของเยื่อบาง CH6-1 กับ CH6-2 ซึ่งมีความหนาต่างกัน 2 เท่า โดยมีศักย์การแพร่เมื่อผลต่างความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 32.0±5.1 และ 45.7±5.8 ตามลำดับ และต่างกันประมาณ 1.2 เท่าที่ทุกผลต่างความเข้มข้น เนื่องจากความหนาของเยื่อบางที่เพิ่มขึ้นทำให้อิออนเคลื่อนที่ผ่านเยื่อบางได้ยาก นั่นคือศักย์การแพร่ของเยื่อบางขึ้นกับความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้เตรียมเยื่อบางและความหนาของเยื่อบาง

จากการศึกษาผลของการเชื่อมขวางด้วยสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ต่อศักย์การแพร่ของเยื่อบาง พบว่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางที่เชื่อมขวางมีค่าสูงกว่าเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวาง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยกลุ่มเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้นช่วง 0.0017 ถึง 0.1 พบว่ามีศักย์การแพร่เท่ากัน การเพิ่มขึ้นของศักย์การแพร่ในเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์ของไคโตซานเชื่อมกับกลูตาราลดีไฮด์และสายโซ่พอลิเมอร์ใกล้เคียงมีผลให้ช่องว่างของเยื่อบางลดลงทำให้อิออนเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น



รูปที่ 4.2 แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบางไคโตซานกลุ่ม CH6

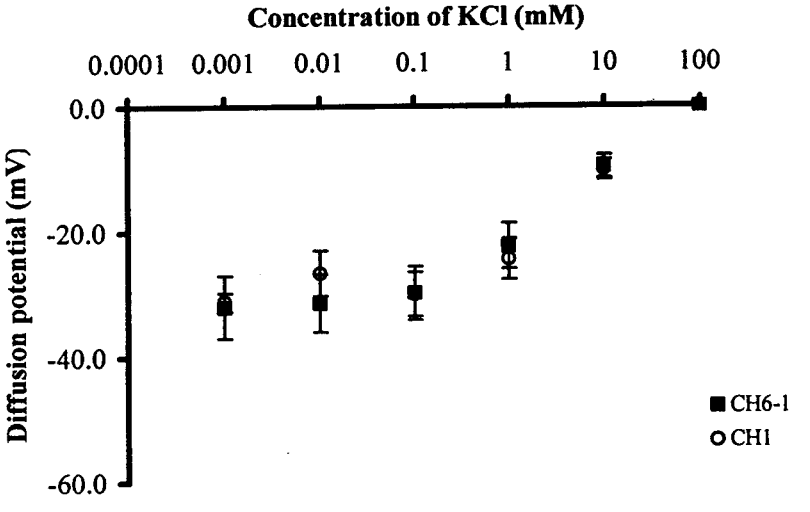
จากการนำค่าศักย์การแพร่มาคำนวณค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความซาบซึมได้ของอิออน Cl^- ต่อ K^+ ผ่านเยื่อบาง(Permeability Ratio P_{Cl}/P_K , β) โดยใช้สมการ 2.6 ในบทที่ 2 ได้ค่า β ของเยื่อบางไคโตซานดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าเยื่อบาง CH6-1(10) มีค่า β สูงกว่าเยื่อบาง CH6-1 ประมาณ 5.5 เท่า คือมีค่าเท่ากับ 15.9±0.5 และ 2.8±0.1 ตามลำดับ นั่นคือเยื่อบางที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 10 %(v/v) มีประจุตรึงในเยื่อบางมากกว่าเยื่อบางที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกข้มข้น 1 %(v/v) เมื่อความหนาของเยื่อบางเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าค่า β เพิ่มขึ้นประมาณ 1.3 เท่า ซึ่งมาจากประจุตรึงที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีสายโซ่พอลิเมอร์ไคโตซานที่มากขึ้น ส่วนค่า β ของเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้นต่าง ๆมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเยื่อบาง CH6-1XIG0.0083 มีค่า β สูงสุดเท่ากับ 12.1 ± 0.6 นั่นคือการเพิ่มประจุตรึงของเยื่อบางไคโตซานเพื่อเพิ่มสมบัติในการคัดแยกประจุทำได้โดยการเพิ่มความหนา การเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ และเตรียมเยื่อบางโดยใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 10 % (v/v) แต่ในงานวิจัยนี้การเตรียมเยื่อบางชุดควบคุมทำโดยใช้กรดอะซิติก 1 %(v/v) เนื่องจากเยื่อบางมีการบวมน้ำน้อยกว่าและลดปัญหาเรื่องของกรดที่ระเหยออกมา

เมื่อศึกษาค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง CH1 และนำมาเปรียบเทียบกับของเยื่อบาง CH6-1 พบว่ามีค่าเท่ากันดังรูปที่ 4.3 นั่นคือมวลโมเลกุลของไคโตซานที่ใช้เตรียมเยื่อบางไม่มีผลต่อศักย์การแพร่ การเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ทำให้ศักย์การแพร่ของเยื่อบางสูงขึ้น โดยศักย์การแพร่มีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นของกลูตาราลดีไฮด์ต่ำคือ 0.001 และ 0.005 %v/v ในทางตรงกันข้ามศักย์การแพร่จะลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 0.01 และ 0.1

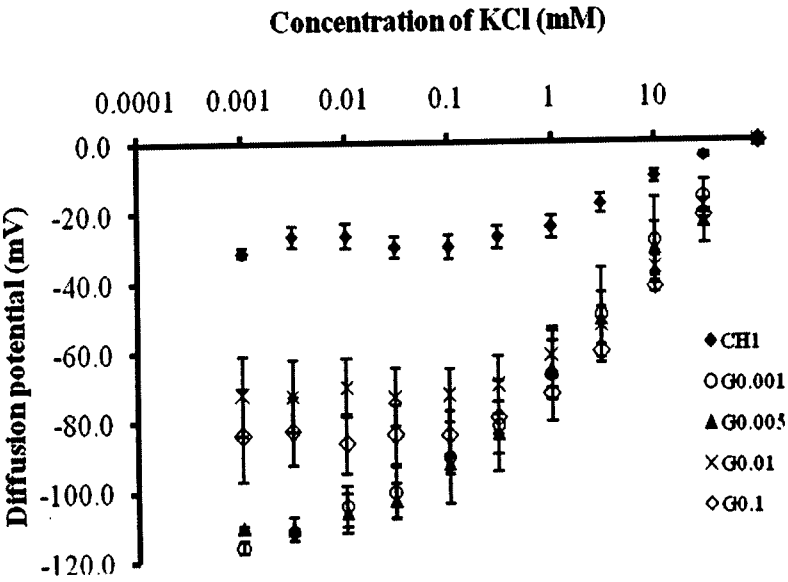
%v/v ดังรูปที่ 4.4(a) เช่นเดียวกับกรณีเยื่อบาง CH6-1 ส่วนการเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกรดซัลฟูริกศักย์การแพร่มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเพิ่มขึ้นทำให้ศักย์การแพร่เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.4(b) และเมื่อเปรียบเทียบศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM 0.01 และ SA0.01 ซึ่งมีใช้ตัวทำละลายต่างกันในการเชื่อมขวางพบว่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM0.01 เป็น1.33 เท่าของ SA0.01 นั่นคือการเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกลูตาราลดีไฮด์หรือกรดซัลฟูริกทำให้ศักย์การแพร่เพิ่มขึ้นโดยความเข้มข้นที่เหมาะสมของกลูตาราลดีไฮด์คือ 0.001 % และความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในเมทานอลคือ 0.5 % และตัวทำละลายที่เหมาะสมกับกรดซัลฟูริกในงานนี้คือเมทานอล

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซานกลุ่ม CH6

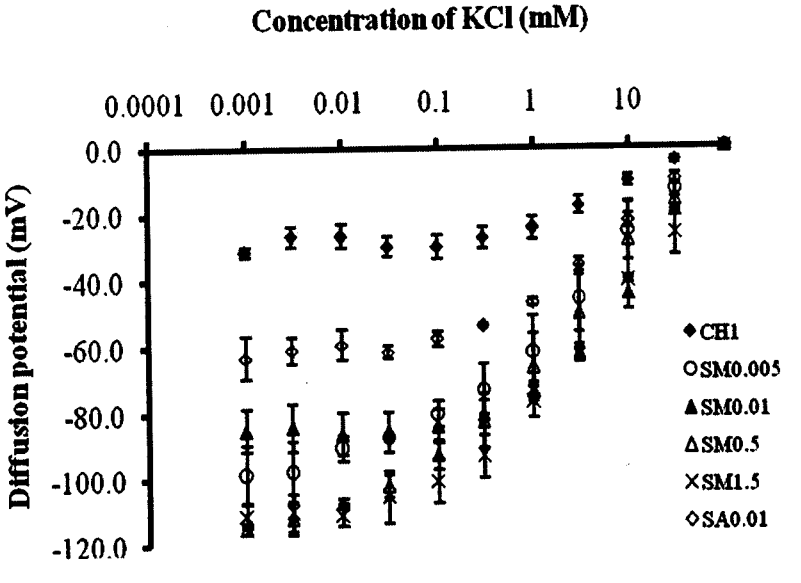
เยื่อบาง	β
CH6-1(10)	15.9 ± 0.5
CH6-1	2.8 ± 0.1
CH6-2	3.9 ± 0.1
CH6-1XIG0.0017	9.9 ± 0.4
CH6-1XIG0.0083	12.1 ± 0.6
CH6-1XOG0.01	11.7 ± 0.2
CH6-1XOG0.1	8.7 ± 0.2



รูปที่ 4.3 แสดงศักย์การแพร่เปรียบเทียบระหว่าเยื่อบาง CH6-1 กับ CH1



(a)



(b)

รูปที่ 4.4 แสดงศักย์การแพร่เปรียบเทียบกันของเยื่อบางต่างๆโดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก 3 การทดลอง
(a) เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้นต่างๆ
(b) เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นต่างๆ

เมื่อคำนวณค่า β โดยใช้สมการที่ 2.6 จากข้อมูลการทดลอง 3 ครั้ง ได้ค่า β ของเยื่อบางไคโตซานดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า β ของเยื่อบางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้น

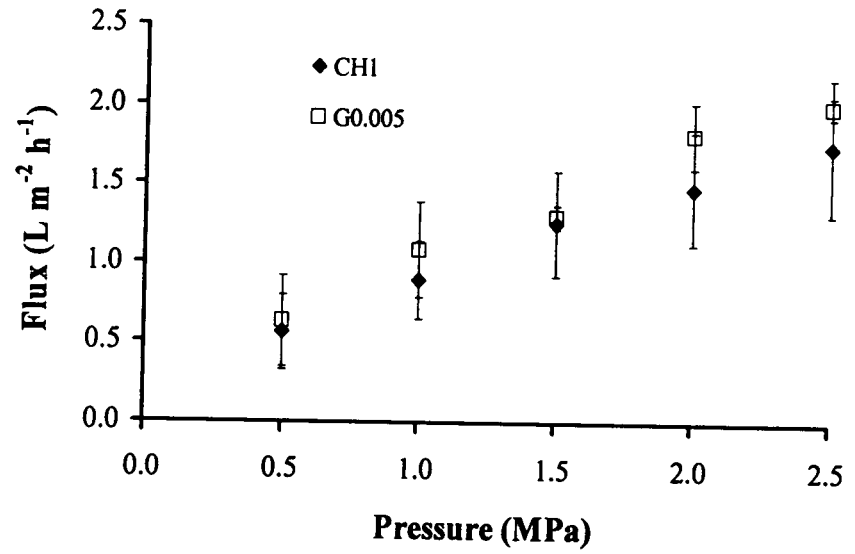
ของความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการเชื่อมขวาง แต่ถ้าความเข้มข้นในการเชื่อมขวางสูงมากเกินไปนอกจากจะทำให้เยื่อบางกรอบขาดง่ายแล้วค่า β ยังลดลงด้วยดังเห็นได้จากเยื่อบาง G0.1

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซาน

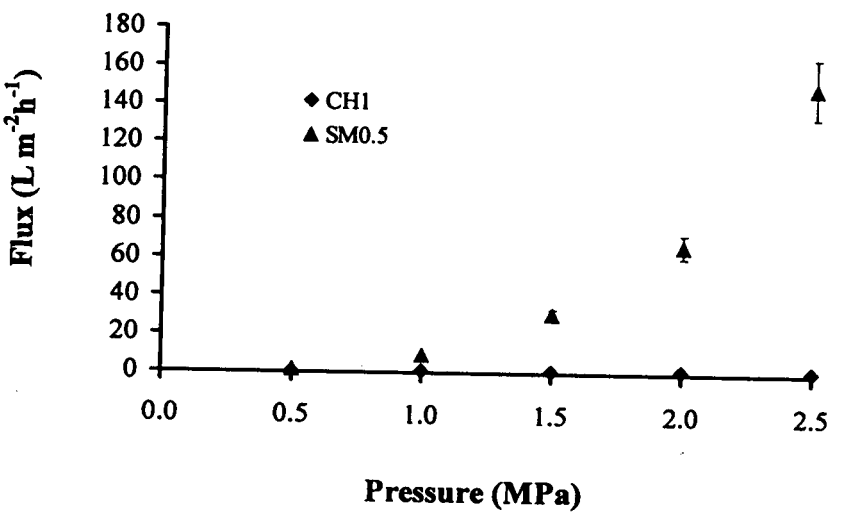
เยื่อบาง	β
CH1 (control)	2.7 ± 0.4
G0.001	41.6 ± 3.8
G0.005	42.2 ± 3.2
G0.01	14.7 ± 0.4
G0.1	23.7 ± 0.7
SM0.005	24.6 ± 1.9
SM0.01	25.0 ± 0.5
SM0.5	43.6 ± 3.7
SM1.5	54.4 ± 2.8
SA0.01	8.3 ± 0.4

4.1.4 ฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง

การศึกษาค่าฟลักซ์ของน้ำทำโดยใช้เยื่อบางที่เตรียมจากไคโตซานมวลโมเลกุล ~400,000 คือเยื่อบาง CH1 ซึ่งเตรียมโดยใช้เงื่อนไขที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นดังที่กล่าวมา เนื่องจากเยื่อบางไคโตซานเป็นเยื่อบางแบบแน่นในการทดสอบหาค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบางต้องใช้ความดันสูงและเวลาในการทดสอนนาน จากการทดลองพบว่าค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบางเพิ่มขึ้นเมื่อความดันที่ใช้เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.5 กรณีของเยื่อบางไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วยสารละลายกลูตาราลดีไฮด์ ทดลองโดยใช้เยื่อบาง G0.005 พบว่าค่าฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านเยื่อบางมีค่าไม่แตกต่างจากเยื่อบางชุดควบคุม (CH1) ดังรูปที่ 4.5(a) นั่นคือที่ความดัน 2.5 MPa ซึ่งเป็นความดันสูงสุดที่ทดลองเยื่อบาง CH1 และ G0.005 มีฟลักซ์น้ำเท่ากับ 1.75±0.43 และ 1.99±0.07 $Lm^{-2}h^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลของเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนเยื่อบาง SM0.5 ซึ่งเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5% พบว่ามีค่าฟลักซ์สูงกว่าเยื่อบางชุดควบคุม คือที่ความดัน 2.5 MPa มี ฟลักซ์น้ำเท่ากับ 149.42±15.54 $Lm^{-2}h^{-1}$ ดังรูปที่ 4.5(b) นั่นคือการเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกทำให้เยื่อบางมีฟลักซ์ลดลงแต่การเชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ไม่มีผลต่อฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง



(a)

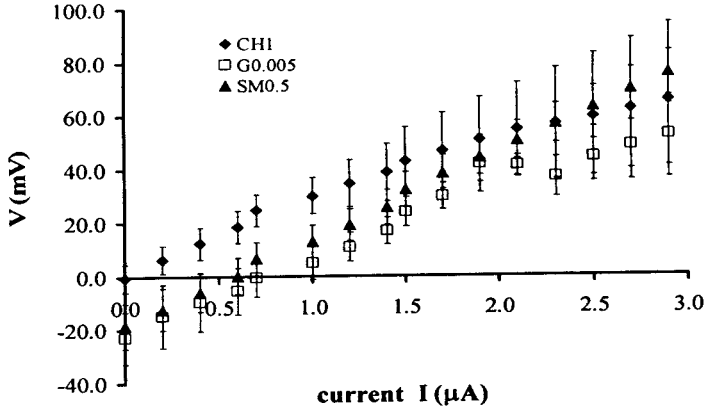


(b)

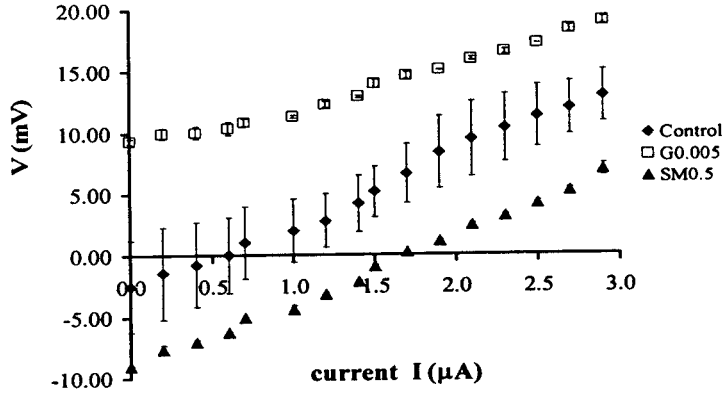
รูปที่ 4.5 แสดงค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบางที่ความดันต่างๆ
(a) เยื่อบาง CH1 (ชุดควบคุม) เทียบกับ G0.005
(b) เยื่อบาง CH1 (ชุดควบคุม) เทียบกับ SM0.5

4.1.5 ความสัมพันธ์ I-V ของเยื่อบาง

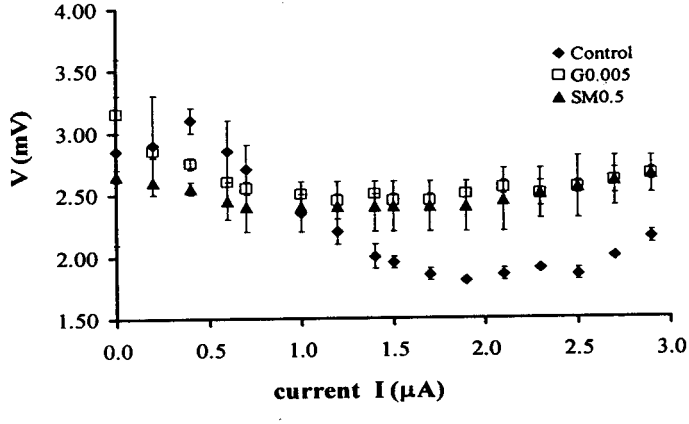
การทดลองนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อบางขณะอยู่ในสารละลาย KCl ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 mM พบว่าเมื่อเยื่อบางอยู่ในสารละลาย KCl 0.1 mM ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อบางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของกระแสที่ผ่านเยื่อบางดังรูปที่ 4.6(a) จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I กับ V ของเยื่อบาง CH1, G0.005 และ SM0.5 เป็นเส้นตรงเป็นไปตามกฎของโอห์ม โดยเมื่อคำนวณความต้านทานของเยื่อบางพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน คือมีความต้านทานเท่ากับ 22.5, 26.6 และ 32.9 kΩ รูปที่ 4.6(b) แสดงกราฟความสัมพันธ์ I-V ของเยื่อบางที่แช่อยู่ในสารละลาย KCl 1 mM จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟยังคงเป็นเส้นตรงเหมือนกับการทดลองที่ความเข้มข้นสารละลาย KCl 0.1 mM ความสัมพันธ์นี้ยังคงเป็นไปตามกฎของโอห์ม แต่เมื่อคำนวณความต้านทานของเยื่อบางพบว่ามีค่าลดลงอย่างมากคือเยื่อบาง CH1, G0.005 และ SM0.5 มีค่าความต้านทานเท่ากับ 5.6, 3.4 และ 5.4 kΩ ตามลำดับ รูปที่4.6(c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ I-V ของเยื่อบางที่แช่อยู่ในสารละลาย KCl 10 mM จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟไม่เป็นเส้นตรงเหมือนกับการทดลองที่สารละลาย KCl ต่ำ ศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อบางมีค่าน้อยมากเสมือนไม่มีเยื่อบางคั่นระหว่างสารละลายอิเล็กโตรไลต์นี้ อาจจะเป็นผลมาจากการสะสมของประจุที่ผิวเยื่อบาง



(a)



(b)



(c)

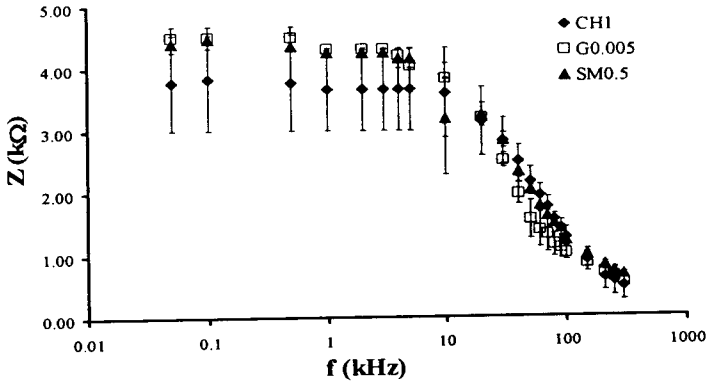
รูปที่ 4.6 แสดง I-V curve ของเยื่อบางในสารละลายโปแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น

(a) KCl 0.1 mM (b) KCl 1 mM (c) KCl 10 mM

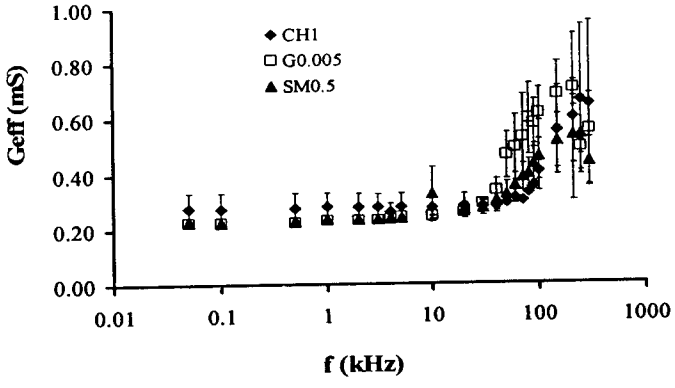
4.1.6 ค่าอิมพิแดนซ์ของเยื่อบาง

ค่าอิมพิแดนซ์ (Z) สภาพนำไฟฟ้า (G_{eff}) และความจุไฟฟ้า (C_{eff}) ของเยื่อบางไคโตซานคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อบางในช่วงความถี่ระหว่าง 50 Hz – 300 kHz ผลการทดลองวัดค่าอิมพิแดนซ์แสดงในรูปที่ 4.7(a) จะเห็นว่าเยื่อบางไคโตซานมีค่าอิมพิแดนซ์สูงสุดและคงที่ในช่วงความถี่ 50 Hz – 8 kHz และลดลงเมื่อความถี่สูงกว่า 8 kHz ค่าอิมพิแดนซ์จะลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ 300 kHz เมื่อเปรียบเทียบค่าอิมพิแดนซ์ของเยื่อบางแต่ละชนิด พบว่าค่าอิมพิแดนซ์ของเยื่อบางที่เชื่อมขวางคือ G0.005 และ SM0.5 มีค่าเท่ากัน และสูงกว่าเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวางคือ CH1 โดยมีค่าเท่ากับ 4.49±0.17, 4.40±0.13 และ 3.77±0.77 kΩ ตามลำดับ เนื่องจากการเชื่อมขวางทำให้เยื่อบางไคโตซานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากการเกิดพันธะของสารเชื่อมขวางกับโซ่พอลิเมอร์ของไคโตซานดังรูปที่1.1

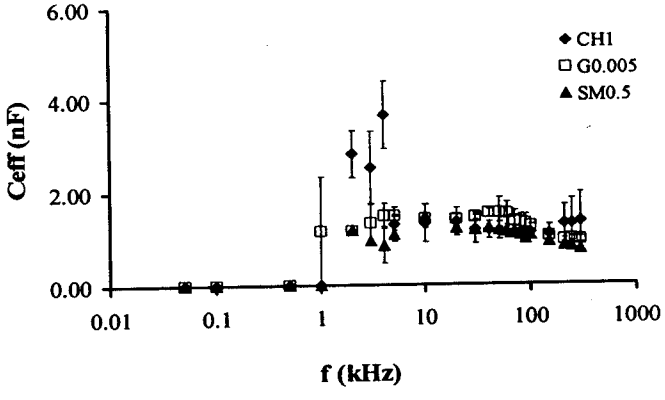
ผลของสภาพนำไฟฟ้าของเยื่อบาง (G_{eff}) แสดงในรูปที่ 4.7(b) จะเห็นว่าในช่วงความถี่50 Hz – 50 kHz ค่าสภาพนำไฟฟ้าของเยื่อบางมีค่าคงที่และค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยในช่วงความถี่50 Hz – 50 kHz เยื่อบาง CH1 มีค่า G_{eff} เท่ากับ 0.28±0.06 mS ซึ่งมีแนวโนม้สูงกว่าเยื่อบาง G0.005 และ SM0.5 ซึ่งมีค่า G_{eff} เท่ากับ 0.22±0.01 mS แต่เมื่อความถี่สูงกว่า 50 kHz ค่า G_{eff} มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเยื่อบาง G0.005 มีแนวโน้มของค่า G_{eff} สูงสุด ค่าความจุไฟฟ้า (C_{eff}) ของเยื่อบางแสดงในรูปที่ 4.7(C) โดยในช่วงความถี่ 50 Hz – 1 kHz เยื่อบาง CH1, G0.005 และ SM0.5 มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากผลต่างมุมเฟสของกระแสในวงจรกับกระแสที่ผ่านเยื่อบางมีค่าเป็นศูนย์ ที่ความถี่ 1 kHz ค่า C_{eff} ของเยื่อบาง G0.005 เพิ่มเป็น 1.11±1.16 nF ในขณะที่เยื่อบาง CH1 และ SM0.5 ยังคงมีค่า C_{eff} เท่ากับศูนย์ ที่ช่วงความถี่ 2-4 kHz เยื่อบางมีค่า C_{eff} สูงกว่าเยื่อบาง G0.005 และ SM0.5 อย่างชัดเจนโดยที่ความถี่ 4 kHz ซึ่งมีค่า C_{eff} สูงสุดเยื่อบาง CH1, G0.005 และ SM0.5มีค่า C_{eff} เท่ากับ 3.66±2.73 nF, 1.47±0.26 nF และ 0.36±0.39 nF ตามลำดับ และที่ความถี่สูงกว่า 4 kHz เยื่อบางทั้งสามมีค่าใกล้เคียงกัน



(a)



(b)



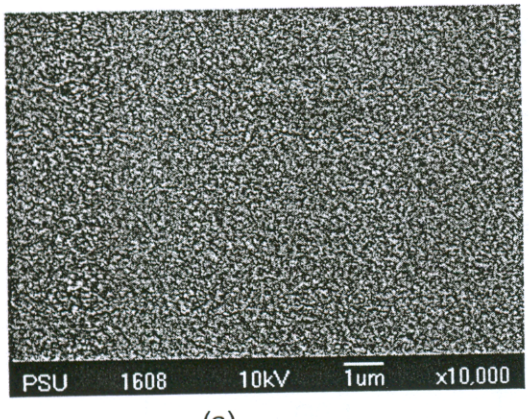
(c)

รูปที่ 4.7 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อบางในสารละลายโปแทสเซียมคลอไรด์ 1 mM ที่ความถี่ต่างๆ

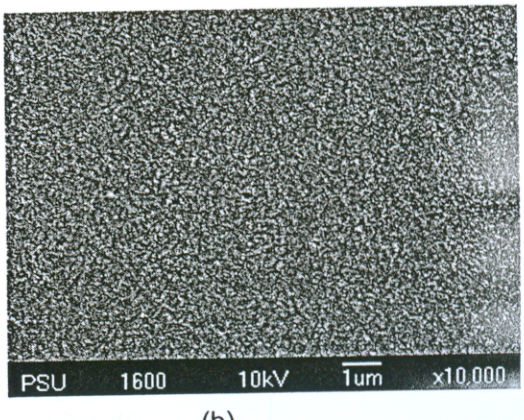
(a) ค่าอิมพิแดนซ์ (Z) (b) ค่าสภาพนำไฟฟ้า (G_{eff}) (c) ค่าความจุทางไฟฟ้า (C_{eff})

4.1.7 ลักษณะผิวของเยื่อบาง

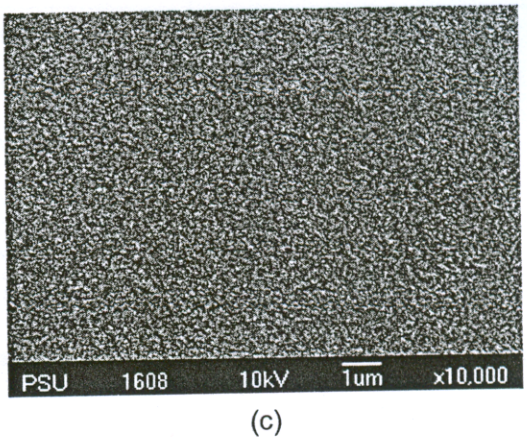
จากการศึกษาลักษณะผิวของเยื่อบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่าผิวของเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวาง (CH1) เยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ (G0.005) และเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก (SM0.5) มีลักษณะผิวเหมือนกันดังเห็นได้จากรูปที่ 4.8 แสดงว่าเยื่อบางไคโตซานที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ไม่มีรูพรุนเมื่อดูด้วยกำลังขยายนี้ นั่นคือเยื่อบางเป็นเยื่อบางแบบแน่นซึ่งสอดคล้องกับค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางในข้อ 4.1.4 ซึ่งมีค่าน้อยมาก และเนื่องจากเยื่อบาง CH1 เป็นแบบแน่นอยู่ก่อนแล้วจึงไม่สามารถเห็นผลของการเชื่อมขวางที่ทำให้เยื่อบางเปลี่ยนแปลงได้และการเพิ่มกำลังขยายในการทำการศึกษาทำได้ยากโดยในการวิจัยนี้มีการทดลองเพิ่มกำลังขยายจนถึงเป็น 20,000 และ 30,000 พบว่าเยื่อบางแตกและไหม้เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยเยื่อบางที่มีการเชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวางไหม้เร็วกว่าเยื่อบางที่ไม่เชื่อมขวาง



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่าย SEM ของเยื่อบาง (a) CH1 (b) G0.005 (c) SM0.5

4.1.8 มุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง

จากการวัดมุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางภายในเวลา 5 นาทีหลังทำการปรับปรุงผิว พบว่ามุมสัมผัสของเยื่อบาง CH1 มีค่าสูงกว่าเยื่อบาง G0.001 โดยมีค่ามุมสัมผัสเท่ากับ 60 ±4 และ 53 ± 1 องศาตามลำดับ แต่เมื่อความเข้มข้นกลูตาราลดีไฮด์เพิ่มขึ้นมุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางมีค่าใกล้เคียงกับ CH1 เมื่อเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกรดซัลฟูริกในเมทานอล พบว่าเยื่อบางที่ได้มีมุมสัมผัสเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 85 ±1 องศาในเยื่อบาง SM0.005 และ SM0.01 แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกสูงกว่า 0.01 มุมสัมผัสค่อยๆลดลงจนมีค่าเป็น 63 ± 1 องศาในเยื่อบาง SM1.5 เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงของกรดซัลฟูริกทำให้เยื่อบางมีการขยายตัวสูงจึงเกิดช่องวางในเยื่อบางมากทำให้เยื่อบางมีมุมสัมผัสน้อยซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางที่สูงขึ้นดังในหัวข้อ 4.1.2 ในขณะที่การเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกรดซัลฟูริกในอะซิโตนไม่เปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสของเยื่อบาง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง

เยื่อบาง	มุมสัมผัส (องศา)
CH1	60 ± 4
G0.001	53 ± 1
G0.005	63 ± 2
G0.01	62 ± 2
G0.1	69 ± 10
SM0.005	85 ± 1
SM0.01	85 ± 1
SM0.5	64± 3
SM1.5	63 ± 1
SA0.01	60 ± 2

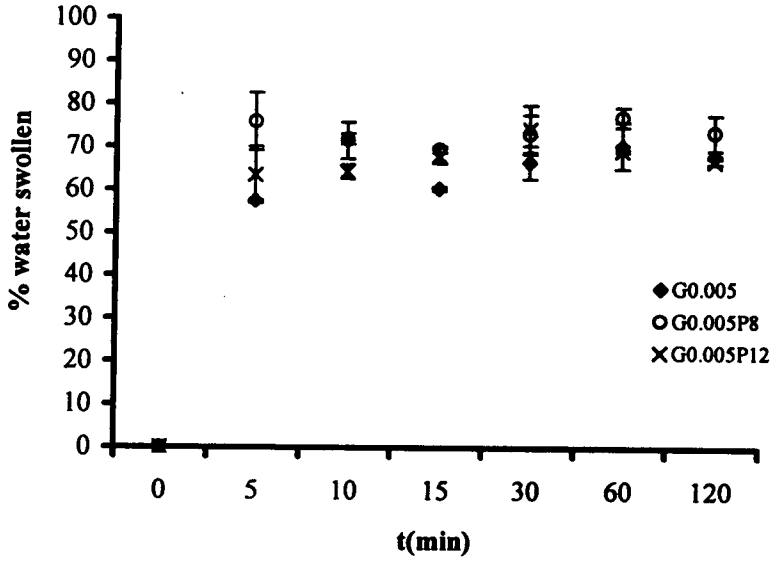
4.2 การทดสอบคุณสมบัติของเยื่อบางที่ปรับปรุงผิวโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ

ในการศึกษาผลของการอาบพลาสมาโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศต่อคุณสมบัติของเยื่อบางไคโตซานได้เลือกเยื่อบาง G0.005 และ SM0.5 เป็นตัวแทน

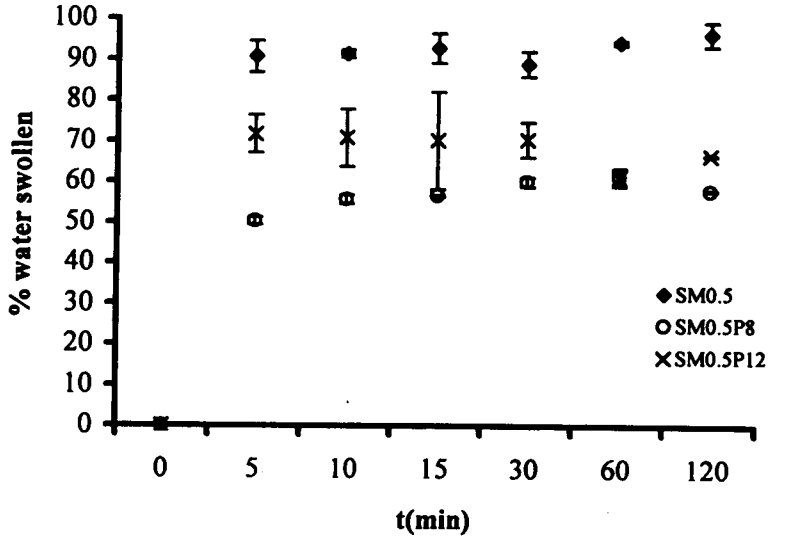
ของเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์และกรดซัลฟูริกตามลำดับเนื่องจากเยื่อบางทั้งสองมีคุณสมบัติดีที่สุดจากผลการศึกษาในข้อ 4.1

4.2.1 การบวมน้ำของเยื่อบาง

การปรับปรุงผิวเยื่อบางโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศไม่มีผลต่อความหนาของเยื่อบาง และเมื่อทำการทดสอบการบวมน้ำของเยื่อบาง พบว่าเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์ (G0.005) ก่อนและหลังการอาบพลาสมามีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังรูปที่ 4.9(a) โดยมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำอยู่ในช่วง 60-80 %



(a)



(b)

รูปที่ 4.9 แสดงค่าการบวมน้ำของเยื่อบางที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ (a) G0.005 (b) SM0.5

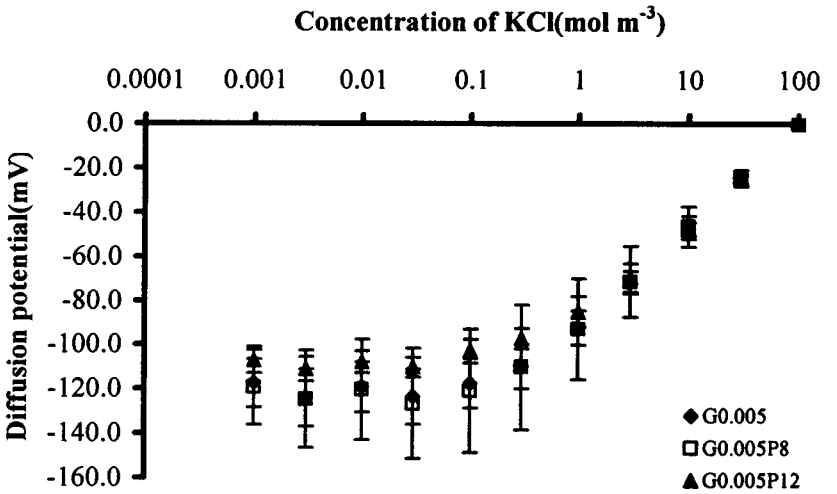
การอาบพลาสมาบนเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก (SM0.5) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง SM0.5ที่อาบพลาสมาต่ำกว่าในเยื่อบาง SM0.5 ที่ไม่อาบพลาสมา (control) โดยเยื่อบาง SM0.5 ที่อาบพลาสมาที่ศักย์ไฟฟ้า 8kV มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 50.4±1.0 % แต่เมื่ออาบเยื่อบางด้วยพลาสมาที่ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น คือ 12 kV กลับทำให้เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำสูงขึ้นคือมีค่าเท่ากับ 71.7±4.6 % ในขณะที่เยื่อบาง SM0.5 มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเท่ากับ 90.7±3.9 % ดังรูปที่ 4.9(b)

4.2.2 ศักย์การแพร่ของเยื่อบาง

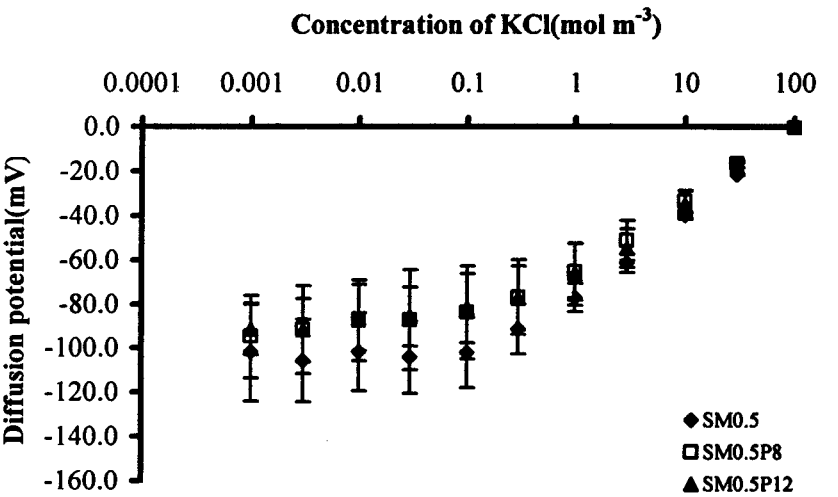
จากการวัดศักย์การแพร่ของเยื่อบางที่ปรับปรุงด้วยโคโรนาดิสชาร์จ พบว่าค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจนจากเยื่อบางควบคุมในกรณีที่ใช้เยื่อบาง G0.005 เป็นเยื่อบางควบคุม ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.10(a) โดยมีศักย์การแพร่สูงสุดอยู่ในช่วง 100 – 130 mV เมื่อคำนวณค่าสภาพซาบซึมได้ของเยื่อบาง (β) พบว่าเยื่อบาง G0.005, G0.005P8 และ G0.005P12 มีค่า β ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4.6 แต่ในกรณีของเยื่อบาง SM0.5 เยื่อบางที่อาบพลาสมา คือ SM0.5P8 และ SM0.5P12 มีศักย์การแพร่เท่ากันและน้อยกว่าเยื่อบาง SM0.5 ที่เป็นเยื่อบางเริ่มต้นประมาณ 20% ดังแสดงในรูปที่ 4.10(b) เมื่อคำนวณค่า β โดยใช้สมการ 2.6 พบว่าค่า β ของเยื่อบางที่อาบพลาสมาลดลงประมาณ 50% คือเยื่อบาง SM0.5, SM0.5P8 และ SM0.5P12 มีค่า β เท่ากับ 43.6±3.7, 24.9±2.7 และ 24.4±1.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยโคโรนาดิสชาร์จ

เยื่อบาง	β
G0.005 (Control)	42.2 ± 3.2
G0.005P8	47.2 ± 6.7
G0.005P12	47.8 ± 3.5
SM0.5 (Control)	43.6± 3.7
SM0.5P8	24.9 ± 2.7
SM0.05P12	24.4 ± 1.3



(a)

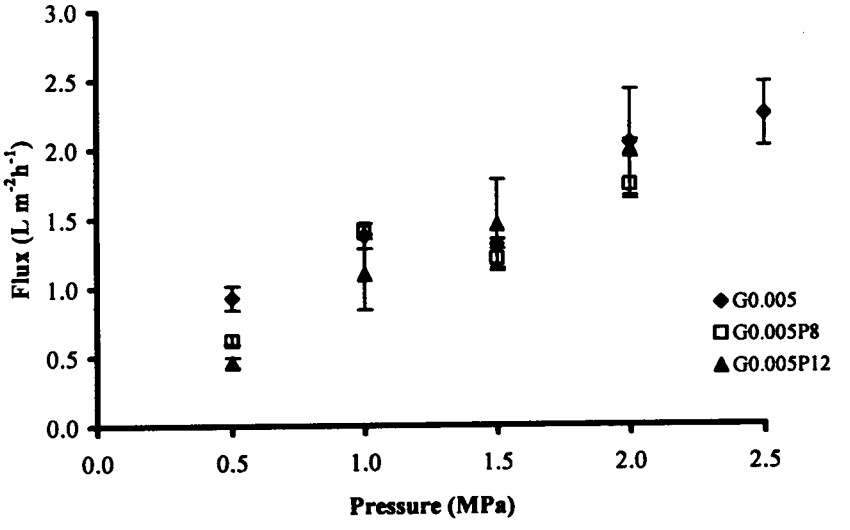


(b)

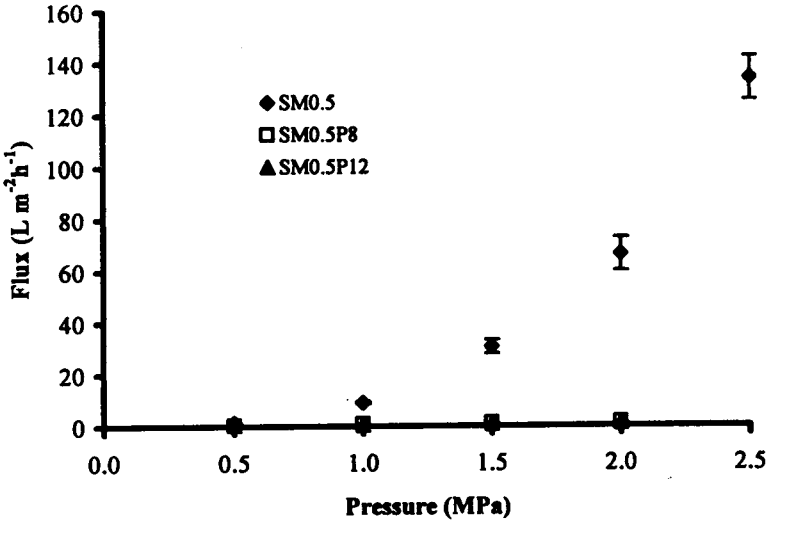
รูปที่ 4.10 แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบางที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ (a) G0.005 (b) SM0.5

4.2.3 ฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง

การวัดค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางและทำการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการอาบพลาสมาแสดงดังรูป 4.11



(a)



(b)

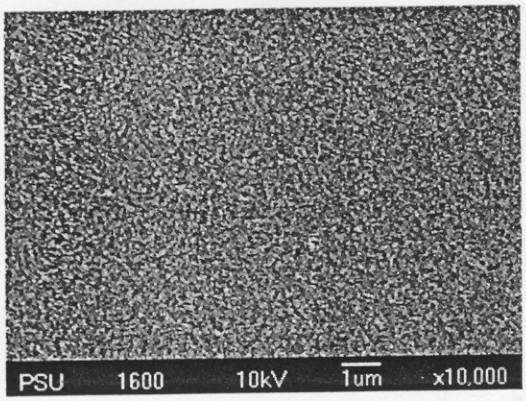
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ (a) G0.005 (b) SM0.5

ค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง G0.005 ที่ปรับปรุงด้วยพลาสมาคือ G0.005P12 และ G0.005P8 ที่ความดัน 0.5 MPa มีค่าต่ำกว่าเยื่อบาง G0.005 ซึ่งเป็นชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 0.46±0.04, 0.62±0.03, และ 0.93±0.09 L h^{-1} m^{-2} ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความดันเป็น 1.0 MPa พบว่าเยื่อบาง G0.005P12 มีค่าฟลักซ์ต่ำกว่าเยื่อบาง G0.005 และ G0.005P8 ซึ่งมีค่าฟลักซ์เท่ากันโดยมีค่าเป็น 1.10±0.26 และ 1.38±0.09 L h^{-1} m^{-2} ตามลำดับ ที่ความดัน1.5 และ

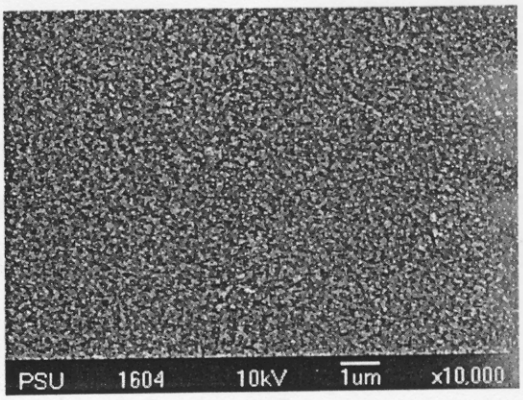
2.0 MPa เยื่อบางทั้งสามมีค่าฟลักซ์เท่ากัน เมื่อความดันเพิ่มเป็น 2.5 MPa พบว่าทำให้เยื่อบางที่อาบพลาสมาขาด นั่นแสดงว่าการอาบพลาสมาอาจจะทำให้โครงสร้างผิวของเยื่อบางเปลี่ยนแปลงทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงที่ความดันต่ำและความแข็งแรงของเยื่อบางลดลง ในกรณีของเยื่อบาง SM0.5 ที่อาบพลาสมา พบว่าค่าฟลักซ์น้ำน้อยกว่าเยื่อบางควบคุมมาก โดยที่ความดัน 2.0 MPa เยื่อบาง SM0.5 มีฟลักซ์เท่ากับ 66.41 ± 6.32 L h^{-1} m^{-2} ขณะที่เยื่อบาง SM0.5P8 และ SM0.5P12 มีฟลักซ์เท่ากับ 1.58 ± 0.02 และ0.95±0.08 L h^{-1} m^{-2} ดังรูปที่ 4.11(b) และความแข็งแรงของเยื่อบางลดลงเช่นเดียวกับเยื่อบาง G0.005ที่อาบพลาสมา เพราะว่าเมื่อทดสอบวัดฟลักซ์ที่ความดัน 2.5 MPa เยื่อบางก็ขาด

4.2.4 ลักษณะผิวของเยื่อบาง

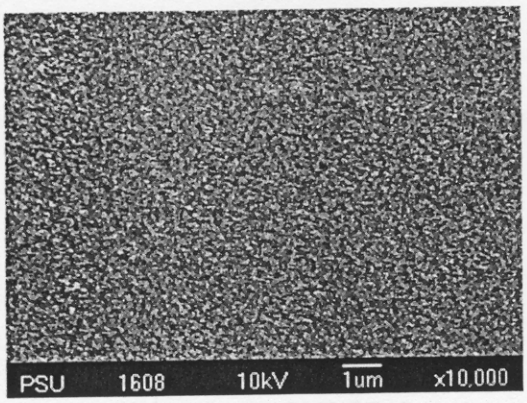
การศึกษาลักษณะผิวของเยื่อบางที่ผ่านการอาบโคโรนาดิสชาร์จทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงดังรูป 4.12 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะผิวของเยื่อบาง G0.005 ก่อนอาบพลาสมากับเยื่อบางที่อาบพลาสมาคือ G0.005P12 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า เยื่อบางทั้งสองไม่มีรูพรุนและมีความละเอียดของผิวเหมือนกันดังรูปที่ 4.12(a) และ 4.12(b) ส่วนเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกในเมทานอล (SM0.5) เมื่ออาบพลาสมาบนผิวเยื่อบาง พบว่าเยื่อบางยังคงไม่มีรูพรุนแต่มีผิวเรียบกว่าอย่างชัดเจน ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.12 (c) และ 4.12(d) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าฟลักซ์ในข้อ 4.2.3 เป็นไปได้ว่าผิวที่เรียบขึ้นของเยื่อบางเกิดจากโคโรนาดิสชาร์จมีผลต่อพันธะเคมีที่ผิวของเยื่อบาง



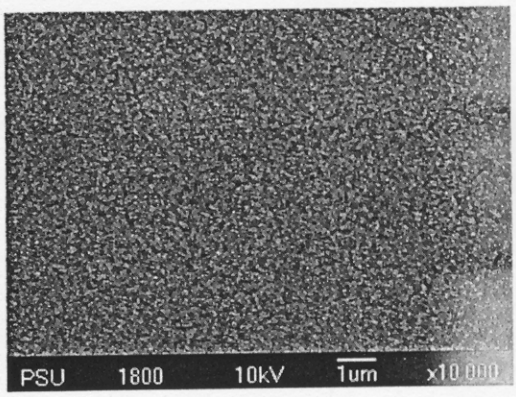
(a).G0.005



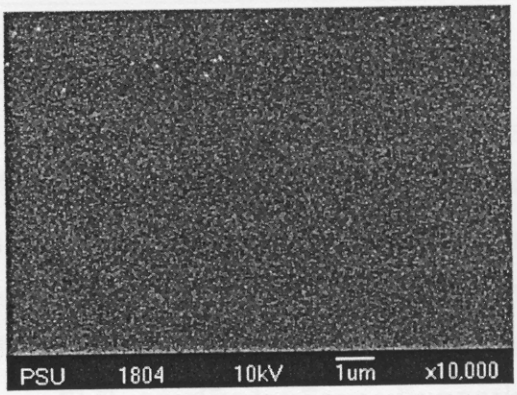
(b) G0.005P12



(c) SM0.5



(d) SM0.5P8



(e) SM0.5P12

รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่าย SEM ของเยื่อบางชุดควบคุม (a) และ (c) และชุดที่ผ่านการทำโคโรนาดิสชาร์จ (b) (d) และ (e) ที่ระดับพลังงานเดียวกัน

4.2.5 มุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง

ตารางที่ 4.7 แสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง G0.005 ที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ จะเห็นได้ว่าค่ามุมสัมผัสเยื่อบาง G0.005P8 และ G0.005P12 มีค่าสูงกว่าเยื่อบาง G0.005 ซึ่งเป็นเยื่อบางควบคุม โดยมีมุมสัมผัสเท่ากับ 73.9±1.4, 73.0±2.4 และ 63.0±1.9 องศา ตามลำดับ แสดงว่าการอาบพลาสมาทำให้เยื่อบาง G0.005 ชอบน้ำน้อยลง แต่ข้อมูลนี้

ขัดแย้งกับผลของศักย์การแพร่และฟลักซ์ที่ไม่มีการแปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด ส่วนเยื่อบาง SM0.5 ที่ปรับปรุงด้วยโคโรนาดิสชาร์จมีมุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางสูงกว่าเยื่อบางก่อนอาบพลาสมา เช่นเดียวกับเยื่อบาง G0.005 โดยเยื่อบาง SM0.5, SM0.5P8 และ SM0.5P12 มีมุมสัมผัสเท่ากับ 63.5±2.5, 72.3±2.5 และ 74.7±1.3 องศา ตามลำดับ ค่ามุมสัมผัสนี้แสดงว่าเยื่อบาง SM0.5 ที่อาบพลาสมามีสภาพชอบน้ำลดลงซึ่งทำให้ศักย์การแพร่และค่าฟลักซ์น้ำลดลงดังในข้อ 4.2.2 และ 4.2.3

ตารางที่ 4.7 แสดงค่ามุมสัมผัสของเยื่อบางไคโตซานที่อาบโคโรนาดิสชาร์จ

เยื่อบาง	มุมสัมผัส (องศา)
G0.005 (control)	63.0 ± 1.9
G0.005P8	73.5 ± 1.4
G0.005P12	73.0 ± 2.4
SM0.5 (control)	63.5 ± 2.5
SM0.5P8	72.3 ± 2.5
SM0.5P12	74.7 ± 1.3

จากข้อมูลคุณสมบัติของเยื่อบางที่ปรับปรุงด้วยโคโรนาดิสชาร์จเหล่านี้ จะเห็นได้ว่าพลาสมาทำให้ผิวของเยื่อบาง SM0.5 มีการเปลี่ยนแปลงโดยจากผลของมุมสัมผัส ค่าฟลักซ์และศักย์การแพร่ที่สอดคล้องกันจึงสรุปได้ว่าโคโรนาดิสชาร์จทำให้เยื่อบาง SM0.5 ไม่ชอบน้ำ แต่คุณสมบัติของเยื่อบาง G0.005 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงยกเว้นความชอบน้ำของเยื่อบางที่ลดลงซึ่งไม่สอดคล้องกับสมบัติอื่นที่ทดสอบ ซึ่งอาจจะเนื่องจากความเข้มข้นของพลาสมาที่น้อยและพลังงานของอนุภาคที่ชนผิวเยื่อบางน้อยจนไม่สามารถเปลี่ยนพันธะเคมีที่ผิวเยื่อบาง ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนชุดอุปกรณ์พลาสมาที่ใช้ในการปรับปรุงเยื่อบางเป็นชุดอุปกรณ์กำเนิดพลาสมาแบบ RF sputtering ซึ่งให้พลาสมาที่มีความหนาแน่นสูงกว่า

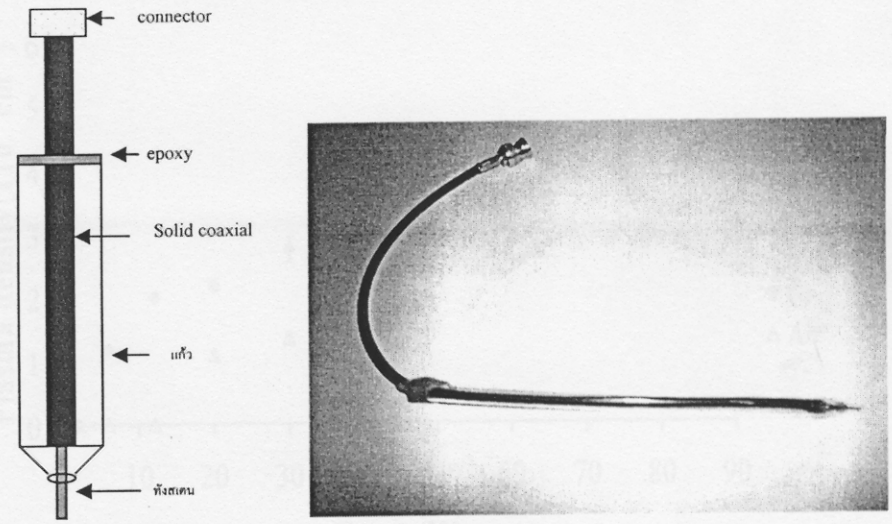
4.3 การปรับปรุงผิวเยื่อบางโดยใช้ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

4.3.1 ความหนาแน่นของพลาสมา

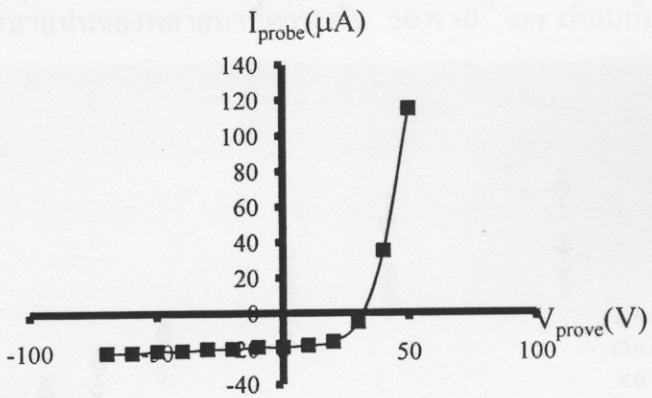
ในการศึกษานี้วัดความหนาแน่นของพลาสมาโดยใช้หัววัดแบบ Langmuir probe ซึ่งเตรียมขึ้นดังรูปที่ 4.13 ต่อกับอุปกรณ์กำเนิดพลาสมา จากนั้นผันแปรค่าศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้ Langmuir probe (V_{bias}) ช่วง -70 ถึง 50 V พบว่าที่ V_{bias}= -60 V สามารถดึงอิออนทั้งหมดในพลาสมาให้ชนหัววัดได้ดังเห็นได้จากค่ากระแสที่เกิดขึ้นที่หัววัด (I_{probe}) ที่มีค่าคงที่ดัง

รูปที่ 4.14 ดังนั้นในการหาความหนาแน่นของพลาสมาต่อไปในการศึกษานี้จึงจ่ายค่าศักย์ไฟฟ้าให้แก่หัววัดที่ -60 V เพียงค่าเดียว กระแสที่คงที่นี้คือ I_{ion}^{sat} สามารถคำนวณความหนาแน่นของพลาสมาจากสมการที่ 4.1

$$I_{ion}^{sat} = 0.6\ e\ n_e\ A_{eff} \sqrt{(2K_B T_e / m_i)} \quad \text{(Alfred Grill,1993)} \qquad (4.1)$$



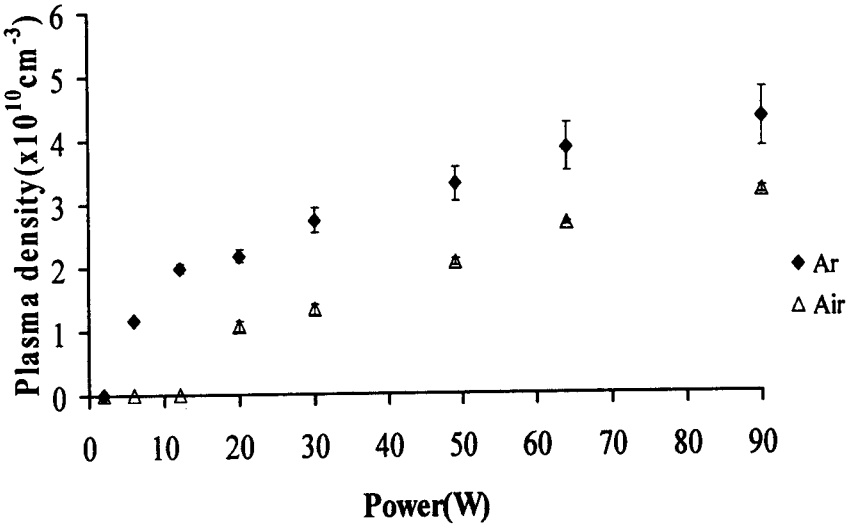
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของ Langmuir probe



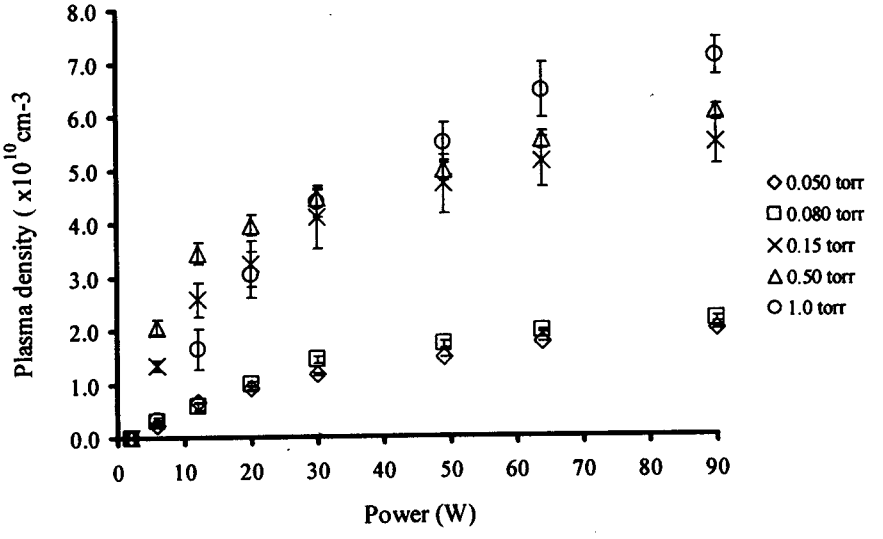
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของ I_{probe} กับ V_{bias} ของอาร์กอนพลาสมาที่ความดัน 50×10^{-2} torr Power 20 W

เมื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าต่อความหนาแน่นของพลาสมา โดยทำการศึกษาความหนาแน่นของพลาสมาที่ใช้อากาศและก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซกำเนิดพลาสมา โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองที่ความดัน 50×10^{-2} torr ระยะห่างระห่างขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 6 cm และผัน

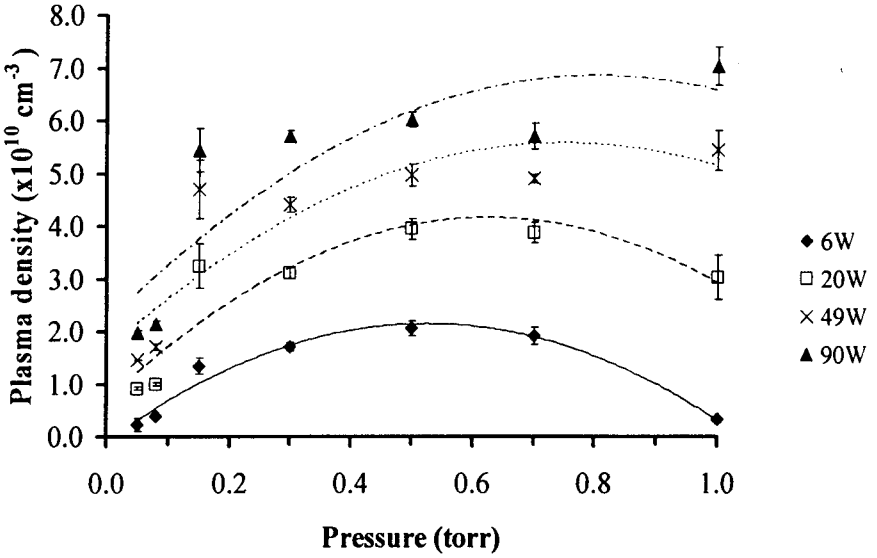
แปรค่ากำลังในช่วง 0-90 W พบว่าเมื่อกำลังที่ให้เพิ่มขึ้นความหนาแน่นของพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น ทั้งกรณีที่ใช้ก๊าซอาร์กอนและอากาศดังรูปที่ 4.15 แต่ก๊าซอาร์กอนให้ความหนาแน่นของพลาสมาสูงกว่าอากาศ เช่นที่กำลัง 64 W พลาสมามีความหนาแน่นเท่ากับ $4.2\pm0.5 \times 10^{10}$ และ $2.1\pm0.1 \times 10^{10}$ ion cm^{-3} และกำลังต่ำสุดที่ทำให้เกิดพลาสมาของก๊าซอาร์กอนต่ำกว่าอากาศคือ เท่ากับ 6 และ20 W เนื่องจากอากาศที่ใช้เป็นอากาศทั่วไปที่มีอนุภาคหลายชนิดซึ่งใช้พลังงานที่ต่างกันในการแตกตัวเป็นอิออนและมีความชื้นสูง



รูปที่ 4.15 แสดงความหนาแน่นของพลาสมาที่ความดัน 50×10^{-2} torr เทียบกับกำลัง



รูปที่ 4.16 แสดงความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมาเทียบกับกำลังความดันต่างๆ



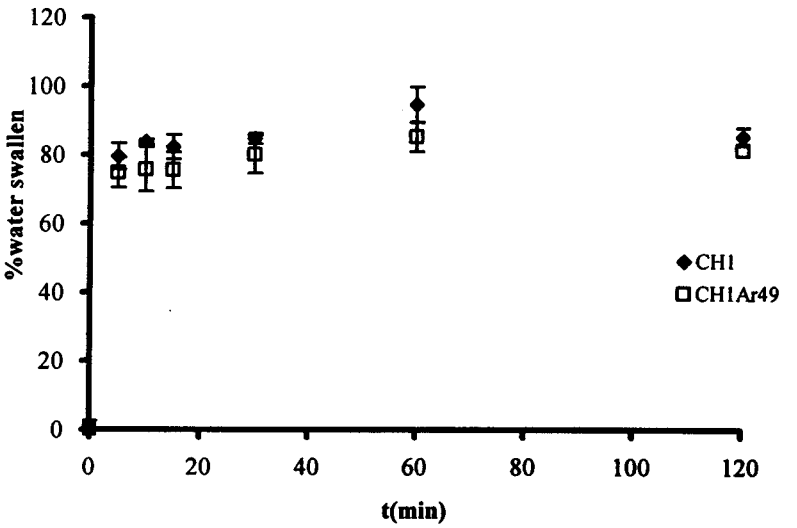
รูปที่ 4.17 แสดงความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมาเทียบกับความดันที่กำลังต่างๆ

ผลของความดันของก๊าซต่อความหนาแน่นของพลาสมา ศึกษาโดยผันแปรความดันในช่วง 0.05 ถึง 1 torr ในกรณีที่ใช้ก๊าซอาร์กอนเป็นตัวกำเนิดพลาสมา พบว่าเมื่อความดันของก๊าซเพิ่มขึ้นทำให้ได้พลาสมาที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น โดยที่ความดันช่วง0.15-1 torr ความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมามีค่าสูงกว่าที่ความดันช่วง 0.05 และ 0.08 torr ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17

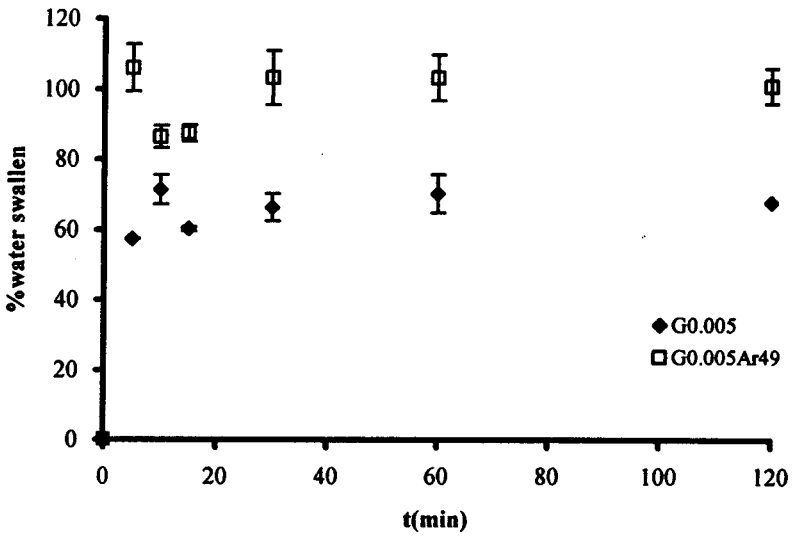
4.3.2 การบวมน้ำของเยื่อบาง

รูปที่ 4.18 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง CH1Ar49 ที่ได้จากการนำเยื่อบาง CH1 ไปอาบพลาสมาที่เกิดจากก๊าซอาร์กอนที่ความหนาแน่น $4.96\pm0.19 \times 10^{10}$ cm^{-3} พบว่าเยื่อบาง CH1Ar49 มีการบวมน้ำเท่ากันกับเยื่อบางเริ่มต้นคือ CH1 โดยมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำสูงสุดเท่ากับ 83.3 ± 9.7 แต่กรณีของเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์หรือกรดซัลฟูริก การอาบพลาสมาทำให้เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบางเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 โดยเยื่อบาง G0.005 Ar49 มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด คือเพิ่มจาก 70.3 ± 5.4 เป็น 106.0 ± 6.6 และเยื่อบาง SM0.5 Ar49 มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำก่อนและหลังอาบพลาสมาเท่ากับ 96.2 ± 3.0 และ 137.2 ± 21.8 ตามลำดับที่เวลาแช่ 15 นาที แต่เมื่อแช่เยื่อบางในน้ำกลั่นเป็นเวลา 120 นาที พบว่าการบวมน้ำของเยื่อบาง SM0.5Ar49 เท่ากับเยื่อบาง SM0.5 ซึ่งตรงกันข้ามกับการอาบโคโรนาดิสชาร์จของเยื่อบาง SM0.5 ซึ่งมีการบวมน้ำลดลง แสดงว่าพลาสมาจากวิธี RF discharge มีผลต่อเยื่อบางไดโดซานที่ต่างกันกับพลาสมาจากโคโร

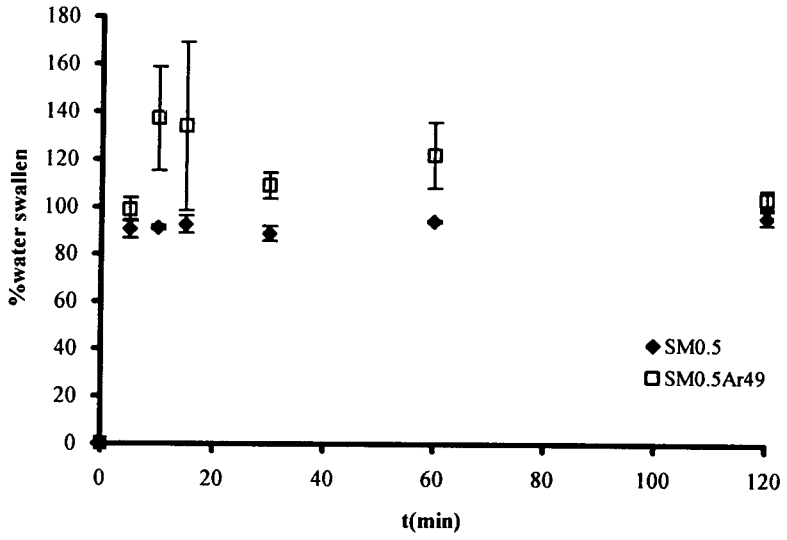
นาดิสชาร์จเนื่องจากชนิดของอิออนในพลาสมาต่างกันและมีผลต่อพันธะที่เกิดจากการเชื่อมขวางมากกว่าพันธะของไคโตซานดังเห็นได้การบวมน้ำของเยื่อบาง CH1 ที่ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากพันธะจากการเชื่อมขวางแข็งแรงน้อยกว่าพันธะในโมเลกุลของไคโตซาน



รูปที่ 4.18 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง CH1 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา



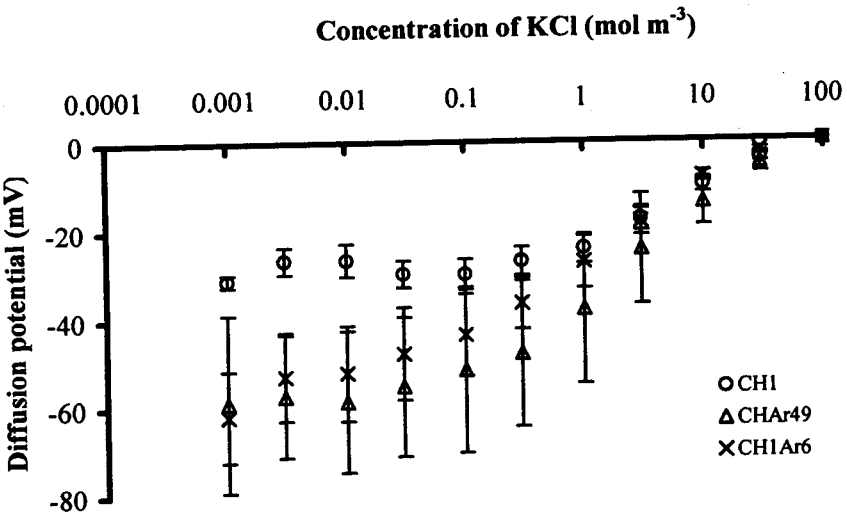
รูปที่ 4.19 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง G0.005 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา



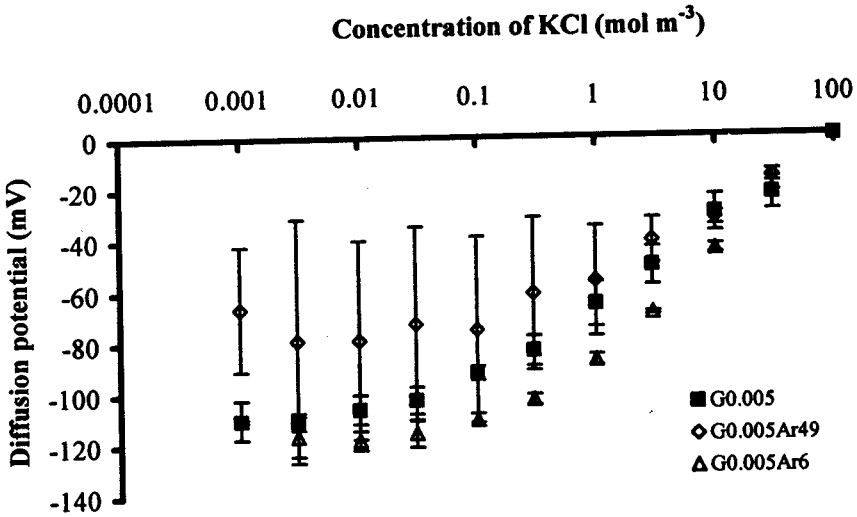
รูปที่ 4.20 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำของเยื่อบาง SM0.5 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา

4.3.3 ศักย์การแพร่ของเยื่อบาง

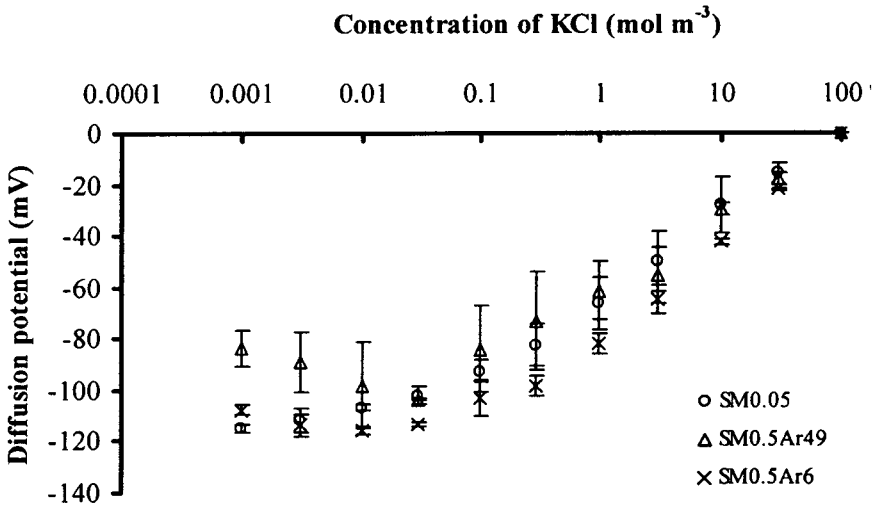
จากการทดลองพบว่าเยื่อบาง CH1 ที่อาบอาร์กอนพลาสมามีค่าศักย์การแพร่สูงกว่าเยื่อบางก่อนอาบพลาสมา เมื่อเปรียบเทียบค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางที่อาบอาร์กอนพลาสมาที่ความหนาแน่นของพลาสมาต่างกัน พบว่าค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางที่อาบพลาสมาความหนาแน่นสูงมีค่าสูงกว่าที่อาบพลาสมาความหนาแน่นต่ำดังรูปที่ 4.21 โดยเยื่อบาง CH1, CH1Ar6 และ CH1Ar49 อาบด้วยพลาสมาความหนาแน่น 0, $2.06\pm0.13 \times 10^{10}$ และ $4.96\pm0.19 \times 10^{10}$ cm^{-3} ตามลำดับ ส่วนเยื่อบางที่เชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวางคือ G0.005 และ SM0.5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของศักย์การแพร่ที่เกิดจากการอาบพลาสมาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญดังเห็นได้จากรูปที่ 4.22 และ4.23 แสดงว่ากรณีเยื่อบาง CH1 พลาสมาทำให้ประจุตรึงในผิวเยื่อบางเพิ่มขึ้น และที่ความหนาแน่นของพลาสมาสูงอันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับเยื่อบางมีมากทำให้ศักย์การแพร่สูงกว่าที่ความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 4.21 แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบาง CH1 ก่อนและหลังอาบพลาสมา



รูปที่ 4.22 แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบาง G0.005 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา



รูปที่ 4.23 แสดงศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM0.5 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า β ของเยื่อบางไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยโคโรนาดิสชาร์จ

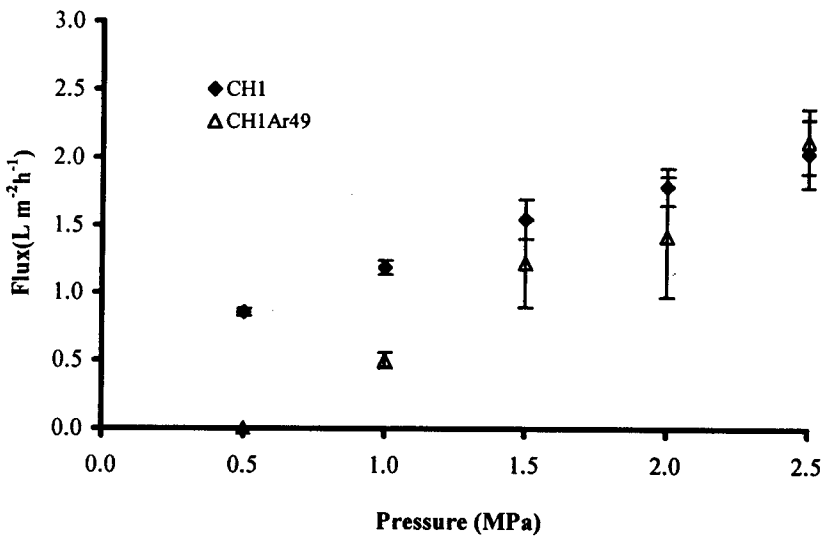
ชนิดของเยื่อบาง	β
CH1 (control)	2.7 ± 6.9
CH1Ar6	14.0 ± 7.6
CH1Ar49	6.5 ± 15.6
G0.005 (Control)	42.2 ± 3.2
G0.005Ar6	75.9 ± 7.7
G0.005Ar49	14.0 ± 22.0
SM0.5 (Control)	43.6 ± 3.7
SM0.5Ar6	63.9 ± 8.8
SM0.05Ar49	26.5 ± 14.8

คำนวณค่า β จากค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางโดยใช้สมการที่ 2.6 (บทที่2) ได้ค่า β ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่ากรณีเยื่อบาง CH1 ค่า β ของเยื่อบางหลังอาบพลาสมามีค่าสูงกว่าก่อนอาบพลาสมาและเยื่อบาง CH1Ar6 ที่อาบพลาสมาความหนาแน่นาต่ำกว่ามีค่า β สูงกว่าเยื่อบาง CH1Ar49 ที่อาบพลาสมาความหนาแน่นสูง เนื่องจากพลาสมาทำให้ประจุของเยื่อบางเพิ่มขึ้นทำให้เยื่อบางคัดเลือกประจุผ่านเยื่อบางดีขึ้นแต่เมื่อความหนาแน่นของพลาสมา

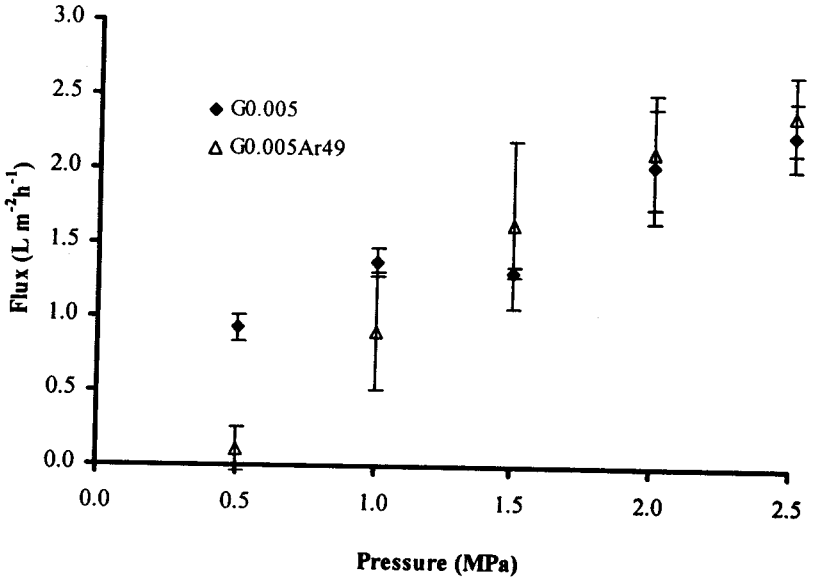
สูงขึ้นอาจทำให้พันธะในเยื่อบางเปลี่ยนแปลงทำให้ประจุในเยื่อบางต่ำกว่าที่ความหนาแน่นพลาสมาต่ำ ส่วนกรณีเยื่อบาง G0.005 และ SM0.5 เมื่ออาบพลาสมาความหนาแน่นต่ำเยื่อบางมีค่า β สูงขึ้น แต่เมื่ออาบพลาสมาความหนาแน่นสูงขึ้นค่า β มีค่าน้อยกว่าเยื่อบางที่ไม่อาบพลาสมา อาจเนื่องมาจากพลาสมาทำให้พันธะระหว่างไคโตซานกับสารเชื่อมขวางแตกออกส่งผลให้ประจุตรึงในเยื่อบางลดลง

4.3.4 ฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง

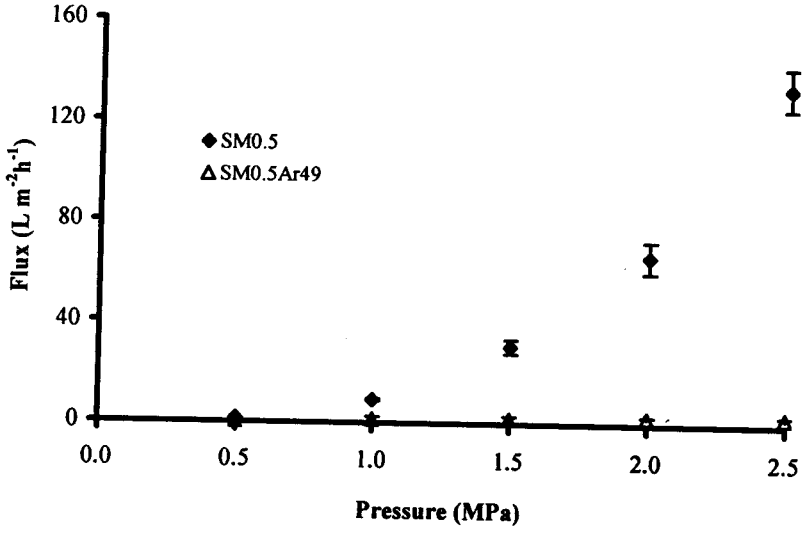
เมื่อเปรียบเทียบฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบางก่อนและหลังอาบพลาสมาจากระบบ RF plasma พบว่ากรณีของเยื่อบาง CH1 การอาบพลาสมาทำให้ฟลักซ์น้ำลดลงในช่วงความดัน 0.5 ถึง 2.0 MPa ดังรูปที่ 4.24 โดยผลต่างของฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางก่อนและหลังอาบพลาสมามีค่าสูงสุดที่ความดันต่ำและเมื่อความดันสูงขึ้นผลต่างของปริมาณน้ำที่ผ่านเยื่อบางค่อยๆลดลงจนมีค่าฟลักซ์น้ำเท่ากันที่ความดัน 2.5 MPa ส่วนเยื่อบาง G0.005 มีการลดลงของฟลักซ์เช่นเดียวกัน แต่อยู่ในช่างความดัน 0.5 ถึง 1.0 MPa เมื่อความดันสูงกว่า 1.0 MPa ฟลักซ์น้ำมีค่าเท่ากันดังรูปที่ 4.25 ค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง SM0.5 หลังจากอาบพลาสมาแล้วมีค่าลดลงอย่างมากดังรูปที่ 4.26 โดยที่ความดัน 2.5 MPa เยื่อบาง SM0.5 มีค่าฟลักซ์น้ำก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมาเท่ากับ 133.8 ± 8.3 และ 3.2 ± 0.5 L h^{-1} m^{-2} ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 แสดงฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง CH1 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา



รูปที่ 4.25 แสดงฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง G0.005 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา

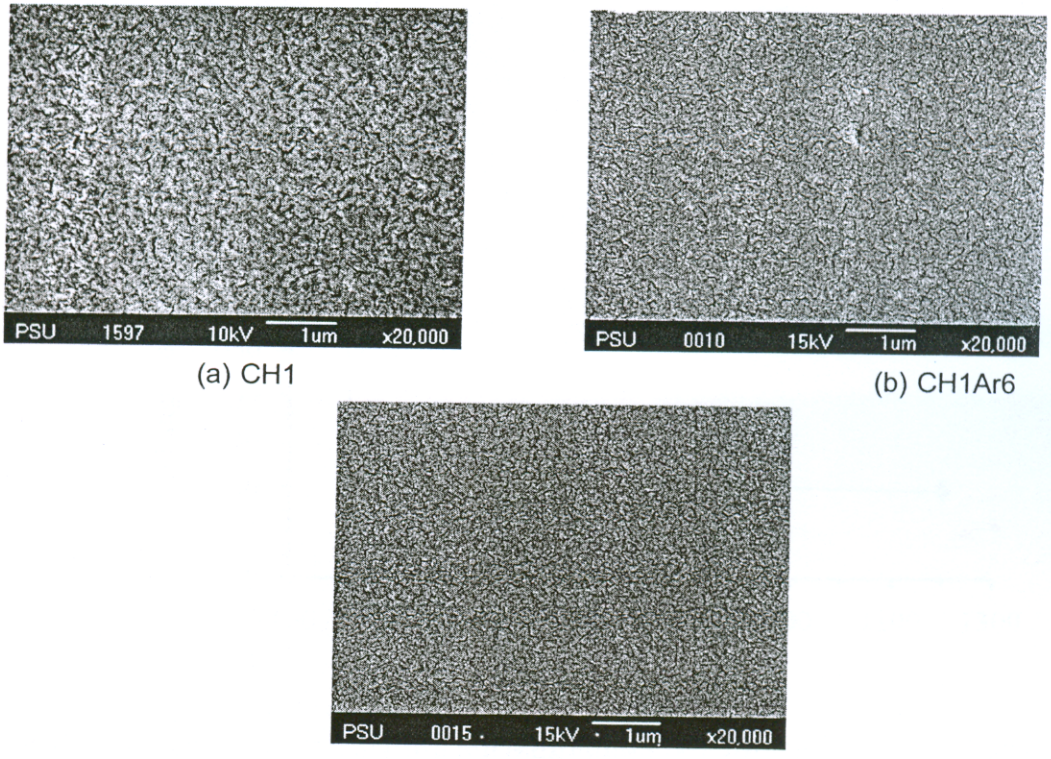


รูปที่ 4.26 แสดงฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง SM0.5 ก่อนและหลังอาบอาร์กอนพลาสมา

4..3.5 ลักษณะผิวของเยื่อบาง

จากการศึกษาลักษณะผิวของเยื่อบางที่อาบอาร์กอนพลาสมาจากระบบ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเยื่อบาง CH1Ar6 และ CH1Ar49 มีผิวเรียบกว่าเยื่อบาง CH1 ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.27 ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการชนของอนุภาคต่างๆในพลาสมาที่มีพลังงานสูงทำให้ผิวเยื่อบางรับและ

เปลี่ยนพันธะเคมีที่ผิวของเยื่อบางซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของฟลักซ์ที่ลดลงที่ความดันต่ำและค่าศักย์การแพร่ที่เพิ่มขึ้นของเยื่อบางที่อาบอาร์กอนพลาสมาดังในข้อ 4.3.3



(a) CH1 (b) CH1Ar6

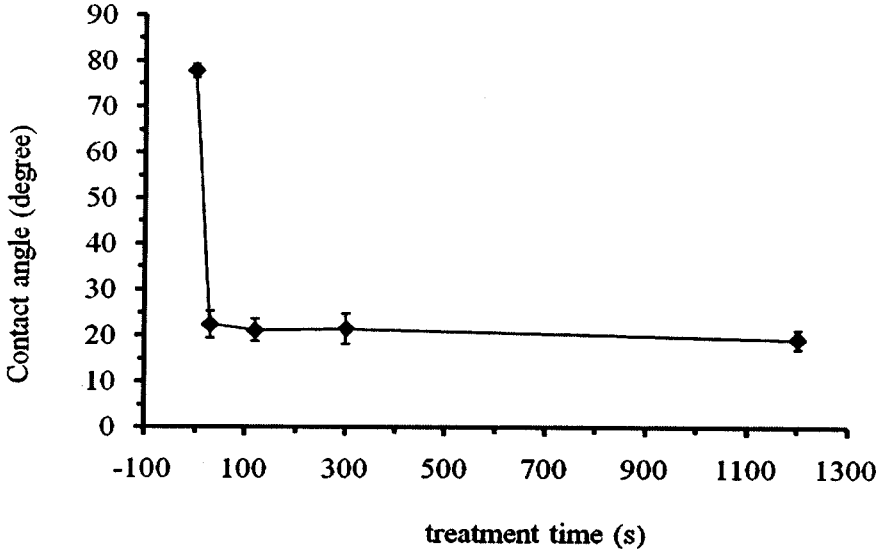
(c) CH1Ar49

รูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่าย SEM ของเยื่อบางชุดควบคุม (a) และเยื่อบางที่อาบอาร์กอนพลาสมา (b) และ (c)

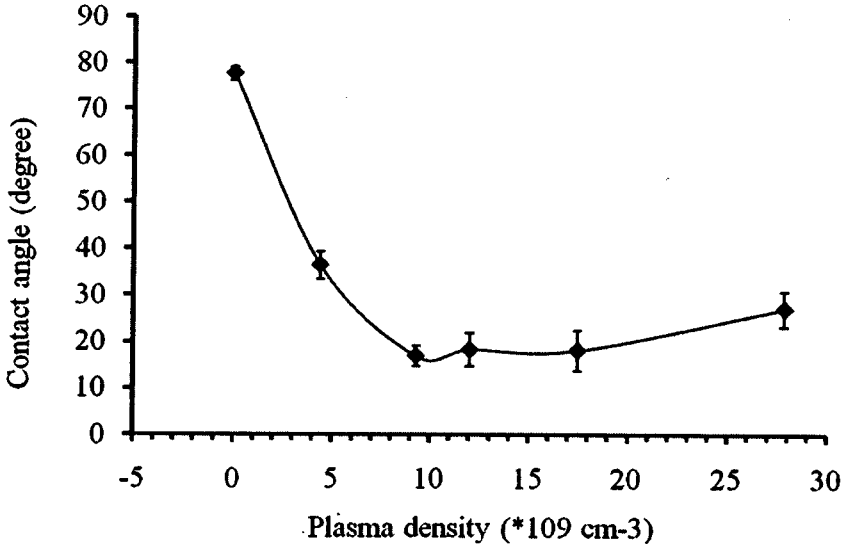
4.3.6 มุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบาง

ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางไดโตซานที่อาบพลาสมาที่ใช้ก๊าซอาร์กอนและอากาศมีค่าลดลงมากเมื่อการอาบพลาสมานาน 30 วินาที และไม่มีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดอีกแม้จะเพิ่มเวลาต่อไปจนถึง 50 นาทีดังรูปที่ 4.28 เนื่องจากความหนาแน่นของพลาสมาที่สูงและอันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับพอลิเมอร์มีเฉพาะที่ผิวทำให้การเกิดการเปลี่ยนแปลงเสร็จสิ้นอย่างรวดเร็ว โดยมุมสัมผัสต่ำสุดของเยื่อบางที่อาบพลาสมาประมาณ 20 องศา เมื่อความหนาแน่นของพลาสมาเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความดันก๊าซที่ใช้หรือกำลังไฟฟ้าที่ใช้กำเนิดพลาสมา พบว่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่ามุมสัมผัสต่ำสุดเท่ากับ 19.0±3.3 ที่ความหนาแน่น 9.28×10^{9} cm^{-3} (ความดัน 0.15 torr กำลัง 6W) แต่มุมสัมผัสกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งออย่างช้าเมื่อความหนาแน่นของพลาสมาดังรูปที่ 4.29 แสดงว่าการชนของอนุภาคที่มีจำนวนมากในพลาสมากับผิวเยื่อบางอาจทำให้เยื่อบางมีผิวขรุขระมีผลให้เยื่อบางมีมุมสัมผัส

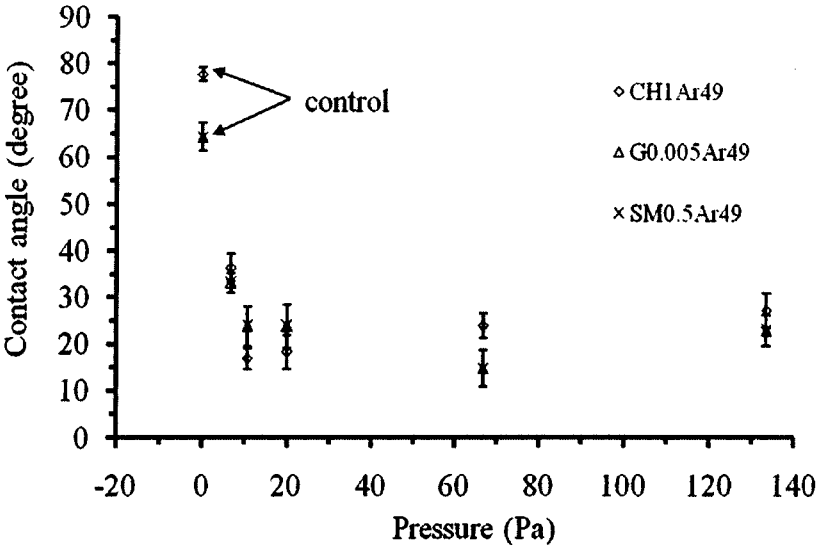
เพิ่มขึ้นซึ่งขัดแย้งกับผิวเยื่อบางที่เรียบขึ้นเมื่ออาบพลาสมา เมื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของเยื่อบางที่อาบพลสมา พบว่าเยื่อบาง G0.005Ar49 และ SM0.5Ar49 มีแนวโน้มของค่ามุมสัมผัสต่ำกว่าเยื่อบาง CH1Ar49 ดังรูปที่ 4.30 แสดงว่าพลาสมามีผลต่อพันธะที่เกิดจากการเชื่อมข้างของเยื่อบาง



รูปที่ 4.28 แสดงผลของเวลาอาบพลาสมาต่อมุมสัมผัส (ความหนาแน่นพลาสมา 9.28 × 10^9 cm^{-3})



รูปที่ 4.29 แสดงผลของความหนาแน่นของอาร์กอนพลาสมาต่อมุมสัมผัสของผิวเยื่อบาง



รูปที่ 4.30 แสดงผลของความดันของก๊าซอาร์กอนต่อมุมสัมผัสของผิวเยื่อบาง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมเยื่อบางไคโตซาน การเชื่อมขวางเยื่อบางไคโตซานโดยใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์และกรดซัลฟูริกและทดสอบคุณสมบัติของเยื่อบางที่เตรียมได้ จากนั้นปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จ ที่ความดันบรรยากาศและ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศซึ่งมีผลสรุปดังนี้

5.1 ผลของการเชื่อมขวางเยื่อบางไคโตซาน

การเตรียมเยื่อบางไคโตซานใช้วิธีการเปลี่ยนเฟส ได้เยื่อบางที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบสีน้ำตาลอ่อน ความหนา 35.0±8.0 μm ไม่มีรูพรุนเป็นเยื่อบางแบบชอบน้ำ โดยเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้เตรียมสารละลายไคโตซานและมวลโมเลกุลของไคโตซาน คือเยื่อบางที่ใช้กรดอะซิติก 10%(v/v) มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำสูงกว่าเยื่อบางที่ใช้กรดอะซิติก 1 %(v/v) ประมาณ 0.5 เท่า และเมื่อเตรียมเยื่อบางด้วยไคโตซานมวลโมเลกุลสูงเยื่อบางที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำสูงกว่าเยื่อบางที่ใช้ไคโตซานมวลโมเลกุลต่ำ และการเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยสารเชื่อมขวางไม่มีผลต่อการบวมน้ำของเยื่อบางโดยเยื่อบางมีเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 89.3±8.9 %

ศักย์การแพร่ของเยื่อบางไคโตซานมีค่าเป็นลบนั่นคือเยื่อบางยอมให้ประจุลบผ่านได้มากกว่าประจุบวก โดยมีค่าสูงเมื่อผลต่างความเข้มข้นสองด้านของเยื่อบางสูงและลดลงตามการลดลงของผลต่างความเข้มข้น เยื่อบางที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก 10% จะมีค่าศักย์การแพร่สูงกว่าที่ใช้กรดความเข้มข้น1% โดยมีค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความซาบซึมได้(β)ของอิออน Cl^- ต่อ K^+ ผ่านเยื่อบางเป็น 15.9±0.5 และ 2.8±0.1 ตามลำดับ แต่ความแตกต่างของมวลโมเลกุล (400,000 และ 600,000) ของไคโตซานที่ใช้ไม่มีผลต่อศักย์การแพร่ การเชื่อมขวางเยื่อบางทำให้ศักย์การแพร่ของเยื่อบางสูงขึ้นโดยขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง โดยในงานวิจัยนี้พบว่าหากใช้ความเข้มข้นเดียวกัน ค่าศักย์การแพร่ของของกลูตารัลดีไฮด์สูงกว่ากรดซัลฟูริกดังเห็นได้จากค่า β ของ G0.005 กับ SM0.005 ที่มีค่าเป็น 42.2 ±3.2 และ 24.6±1.9 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง โดยความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์ไม่ควรเกิน 0.01%(v/v) และของกรดซัลฟูริกไม่ควรเกิน 1.5%(v/v)

เยื่อบางไคโตซานมีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้าเมื่ออยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 mM เป็นไปตามกฎของโอห์ม โดยเยื่อบาง CH1, G0.005 และ SM0.5 มีความต้านทานเท่ากับ 22.5, 26.6 และ 32.9 kΩ ตามลำดับ ยกเว้นกรณี 10 mM เยื่อบาง CH1 มีศักย์ไฟฟ้าลดลงอย่างชัดเจนหากกระแสมีค่าสูงกว่า 0.4 μA เมื่อวัดค่าอิมพิแดนซ์ของเยื่อบางในช่วงความถี่ 50 Hz – 300 kH พบว่ามีค่าอิมพิแดนซ์สูงสุดและคงที่ในช่วงความถี่ 50 Hz – 8 kHz โดยเยื่อบาง G0.005 และ SM0.5 มีค่าอิมพิแดนซ์เท่ากันแต่สูงกว่าเยื่อบาง CH1 การเชื่อมขวางเยื่อบางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบางอย่างชัดเจน แต่การเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้นชัดเจนถึงประมาณ 150±15.54 $Lm^{-2}h^{-1}$ ที่ความดันเดียวกันทั้งๆที่เปอร์เซ็นต์การบวมน้ำไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

5.2 การปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จ

โคโรนาดิสชาร์จที่ศักย์ไฟฟ้า 8 และ 12 kV ไม่ช่วยให้คุณสมบัติของเยื่อบาง G0.005 ด้านการบวมน้ำ ฟลักซ์ ศักย์การแพร่ และลักษณะผิวเปลี่ยนแปลง ยกเว้นมีการเพิ่มขึ้นของมุมสัมผัสจาก 63.0 ± 1.9 เป็น 73.0 ± 2.4 องศา แต่หากเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริก โคโรนาดิสชาร์จทำให้การบวมน้ำของเยื่อบางลดลง 20 % มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นจาก 63.5 ± 2.5 เป็น 80.0 ± 1.4 องศา ค่าฟลักซ์ของน้ำและศักย์การแพร่ลดลงซึ่งเป็นผลจากการที่ผิวเยื่อบางมีลักษณะเรียบและชอบน้ำน้อยลง

5.3 การปรับปรุงผิวเยื่อบางไคโตซานโดยใช้ RF discharge ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

เมื่อใช้ก๊าซอาร์กอนเพื่อกำเนิดพลาสมา พบว่าเฉพาะเยื่อบาง G0.005 ชอบน้ำมากขึ้นโดยไม่มีผลต่อ CH1 และ SM0.5 ค่ามุมสัมผัสของน้ำกับผิวเยื่อบางลดลงถึง 20 องศา ภายในเวลาที่อาบพลาสมาเพียง 30 วินาที และผิวของเยื่อบางจะเรียบขึ้น ตารางที่ 5.1 ได้สรุปเงื่อนไขที่ใช้และผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเยื่อบางที่เกิดจากการศึกษา

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของเยื่อบางที่ปรับปรุงโดยใช้ RF discharge ด้วยอาร์กอนพลาสมา

เยื่อบาง	ความหนาแน่นพลาสมา ($\times 10^{10}$ ion cm^{-3})	มุมสัมผัส (องศา)	β	การบวมน้ำ(%)	ฟลักซ์ ($L\ h^{-1}\ m^{-2}$) (ที่ 2.5MPa)
CH1	0	77.7 ± 1.5	2.7 ± 6.9	79.5 ± 3.0	2.0 ± 0.3
CH1Ar6	2.06 ± 0.13	16.8 ± 2.2	14.0 ± 7.6	-	-
CH1Ar49	4.96 ± 0.19	20.3 ± 3.9	6.5 ± 15.6	83.3 ± 9.7	2.1 ± 0.2
G0.005	0	64.3 ± 2.9	42.2 ± 3.2	70.3 ± 5.4	2.2 ± 0.2
G0.005Ar6	2.06 ± 0.13	23.7 ± 4.3	75.9 ± 7.7	-	-
G0.005Ar49	4.96 ± 0.19	8.0 ± 1.8	14.0 ± 22.0	106.0 ± 6.6	2.4 ± 0.3
SM0.5	0	64.3 ± 2.9	43.6 ± 3.7	96.2 ± 3.0	133.8 ± 8.3
SM0.5Ar6	2.06 ± 0.13	23.7 ± 4.3	63.9 ± 8.8	-	-
SM0.05Ar49	4.96 ± 0.19	11.0 ± 2.1	26.5 ± 14.8	137.2 ± 21.8	3.3 ± 0.5

5.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะต่างๆเหล่านี้อาจมีประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจในการศึกษาการปรับปรุงเยื่อบางโดยใช้เทคนิคพลาสมา

5.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้กำเนิดพลาสมาควรเป็นแบบ magnetron sputtering ซึ่งจะช่วยเพิ่มการพุ่งชนเยื่อบางได้

5.4.2 ควรขยายพื้นที่วางตัวอย่างให้สามารถปรับปรุงผิวได้ครั้งละมากๆเพื่อการทดสอบคุณสมบัติได้หลายอย่างในครั้งเดียว

5.4.3 ควรศึกษาโครงสร้างของเยื่อบางระดับโมเลกุลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดังที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เช่นโดยวิธี Fourier transform infrared-attenuated total reflectance spectroscopy (FTIR-ATRS) หรือ X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

บรรณานุกรม

ชัยวิทย์ ศิลาวัชนาไนย. 2529. ฟิสิกส์ของการดิสชาร์จไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปริศนา รักบำรุง. 2550. "คุณลักษณะของเยื่อประกอบที่เตรียมจากเซลลูโลสที่ผลิตจากแบคทีเรียและไคโตซานเพื่อกรองระดับอัลตราและนาโน", วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ป่วย อุ่นใจ. 2544."ไคติน-ไคโตซาน สารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ", วารสารอัพเดท ฉบับที่ 16(162) หน้า 45

รติรส วันแรก. 2548. "การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของเยื่อแผ่นไคโตซานสำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับแบบความดันต่ำ", วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วราวุฒิ พุทธให้. 2546. "การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซานโพลีอีเทอร์ซัลโฟน/ไคโตซานเพื่อทำเป็นเยื่อกรองระดับอัลตรา", วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วราวุฒิ พุทธให้. 2548. "ผลของพอลิเอทธิลีนไกลคอลต่อคุณลักษณะของเยื่อบางไคโตซาน", วารสารสงขลานครินทร์, ฉบับที่ 27(4) หน้า 867-876.

Alfred G. 1994. Cold Plasma in Materials Fabrication. The United States of America:IEEE PRESS.Anjali Devi D., Smitha B., Sridhar S. and Aminabhavi T.M. 2005. "Pervaporation separation of isopropanol/water mixtures through crosslinked chitosan membranes", Journal of Membrane Science. 262:91-99.

Benavente J., Munoz A. and Heredia A. 1997. "Electrokinetic Characterization of isolated pepper cuticles in protonic form", Solid State Ionics. 97:89-95.

Bodas D. and Khan-Malek C. 2007. "Hydrophilization and hydrophobic recovery of PDMS by oxygen plasma and chemical treatment-An SEM investigation", Sensors and Actuators. 123:368-373.

Canas A. and Benavente J. 2002. "Electrochemical characterization of an asymmetric nanofiltration membrane with NaCl and KCl solutions:influence of membrane asymmetry on transport parameters", Journal of Colloid and Interface Science. 246:328-334.

Cheryan M. 1998. Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. "2nd edition. The United States of America:Technomic publish Co.

Choi E.Y., Strathmann H, Park JM and Moon SH. 2006. "Characterization of non-uniformly charged ion-exchange membranes prepared by plasma-induced graft polymerization", Journal of membrane Science. 268:165-174.

Choi H.S., Rybkin V.V., Titov V.A., Shikova T.G. and Ageeva T.A. 2006. "Comparative actions of a low pressure oxygen plasma and an atmospheric pressure glow discharge on the surface modification of polypropylene", Surface &Coating Technology. 200:4479-4488.

Ge J., Cui Y., Yan Y. and Jiang W. 2000. "The effect of structure on pervaporation of chitosan membrane", Journal of membrane Science. 165:75-81.

Howell J.A., Sanchez V. and Field R.W. 1993. "Nature of membrane", Membranes in Bioprocessing theory and Applications.

Kai T., Goto H., Shimizu Y.,Yamaguchi T., Nakao S and Kimura S. 2005. "Development of crosslinked plasma-graft filling polymer membranes for the reverse osmosis of organic liquid mixtures", Journal of membrane Science. 265:101-107.

Krajewska B. 2005. "Membrane-based processes performed with use of chitin/chitosan materials",Separation and Purification Technology. 41:305-312.

Mukoma P. 2004. "Synthesis and characterization of cross-linked chitosan membranes for application as alternative proton exchange membrane materials in fuel cells", Journal of Power Sources. 136:16-23.

Musale D.A. and Kumar A. 2000 "Effects of surface crosslinking on sieving characteristics of chitosan/poly(acrylonitrile) composite nanofiltration membrance", Separation and Purification Technology. 21:27-38.

Nam S.Y. and Lee Y.M. 1999. "Pervaporation of ethylene glycol-water mixtures I. Pervaporation performance of surface crosslinked chitosan membranes", Journal of membrane Science. 153:155-162.

Njatawidjaja E., Kodama M., Matsuzaki K., Yasuda K., Matsuda T. and Kogoma M. 2006. "Hydrophilic modification of expanded polytetrafluoroethylene (ePTFE) by atmospheric pressure glow discharge (APG) treatment", Surface & Coating Technology. 201:699-706.

Ru L. and Jie-rong C. 2006. "Studies on wettability of medical poly(vinyl chloride) by remote argon plasma", Applied Surface Science. 252:5076-5082.

Shi L.-S., Wang L.-Y. And Wang Y.-N. 2006. "The investigation of argon plasma surface modification to polyethylene: Quantitative AtR-FTIR spectroscopic analysis", European polymer Journal. 42:1625-1633.

Thachrodi D. and Panduranga Rao K. 1993. "Propranolol hydrochloride release behaviour of crosslinked chitosan membrances", J.Chem. Tech. Biotecnol. 58:177-181.

Tran T.D., Mori S. and Suzuki M. 2006. "Plasma modification of polyacrylonitrile ultrafiltration membrane", Thin Solid Films. 515:4148-4152.

Wan Y., Creber K.A.M., Peppley B. and Tam B.V. 2003. "Ionic conductivity of chitosan membranes", Polymer. 44:1057-1065.

Wanichapichart P. and Yu L.2007. "Chitosan membrane filtering characteristics modification by N-ion beams", Surface & Coatings Technology. 201:8165-8169.

Weibel D.E., Vilani C., Habert A.C. and Achete C.A. 2006. "Surface modification of polyurethane membranes using RF-plasma treatment with polymerizable and non-polymerizable gases", Surface &Coating Technology. 201:4190-4194.

Won W., Feng X. and Lawless D. 2003. "Separation of dimethyl carbonate/methanol/water mixtures by pervaporation using crosslinked chitosan membranes", Separation Purification Technology. 31:129-140.

Winston Ho W.S. and Sirkar K.K 1992. Membrane Handbook. The United States of America:Chapman & Hall.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

ตารางที่ 1 แสดงความต่างศักย์ในการทดลองหาค่าอิมพีแดนซ์ของเยื่อบาง CH1

Frequency(kHz)	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2		
	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)
0.05	1.2	0.3	0	0.9	0.34	0
0.1	1.2	0.3	0	0.9	0.35	0
0.5	1.2	0.3	0	0.95	0.36	0
1	1.2	0.3	0	1	0.36	0
2	1.2	0.3	7.2	1	0.36	7.2
3	1.2	0.3	10.8	1	0.36	8.1
4	1.2	0.3	28.8	1	0.36	5.76
5	1.2	0.3	9	1	0.36	7.2
10	1.25	0.3	18	1	0.36	14.4
15	1.25	0.29	27	1.05	0.34	27
20	1.3	0.28	32.4	1.075	0.33	28.8
25	1.3	0.28	38.25	1.1	0.32	31.5
30	1.32	0.27	43.2	1.125	0.3	32.4
35	1.35	0.26	45.36	1.15	0.28	37.8
40	1.35	0.25	48.96	1.175	0.27	43.2
45	1.4	0.24	51.84	1.2	0.26	45.36
50	1.42	0.23	54	1.25	0.25	46.8
55	1.45	0.225	55.44	1.3	0.24	49.5
60	1.5	0.22	54	1.3	0.23	51.84
65	1.5	0.21	58.5	1.35	0.22	51.48
70	1.5	0.2	60.48	1.375	0.22	55.44
75	1.55	0.2	59.4	1.4	0.21	56.7
80	1.55	0.19	60.48	1.45	0.2	57.6
85	1.65	0.185	61.2	1.5	0.2	55.08

Frequency(kHz)	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2		
	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)
90	1.75	0.16	61.2	1.6	0.19	57.6
95	1.775	0.16	60.48	1.7	0.18	60.48
100	1.8	0.15	59.4	1.7	0.18	63.36
105	1.85	0.145	60.48	1.8	0.18	60.48
110	1.95	0.135	60.84	1.9	0.18	65.52
120	2.1	0.125	59.4	2	0.18	64.8
130	2.2	0.11	61.2	2.2	0.18	61.2
150	2.4	0.1	64.98	2.4	0.18	68.4
170	2.6	0.09	68.04	2.6	0.18	75.6
190	2.8	0.085	70.38	2.8	0.18	66.24
210	2.9	0.08	72	2.9	0.19	72
230	3.2	0.07	75.6	3.2	0.2	70.56
250	3.2	0.07	75.6	3.4	0.2	75.6
280	1.75	0.16	61.2	1.6	0.19	57.6
300	1.775	0.16	60.48	1.7	0.18	60.48

ตารางที่ 2 แสดงความต่างศักย์ในการทดลองหาค่าอิมพีแดนซ์ของเยื่อบาง G0.005

Frequency(kHz)	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2		
	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)
0.05	1	0.36	0	0.9	0.35	0
0.1	1	0.36	0	0.9	0.35	0
0.5	1	0.36	0	0.9	0.35	0
1	1	0.36	0	0.95	0.34	3.6
2	1	0.36	3.6	0.95	0.34	3.6
3	1	0.36	4.32	0.95	0.34	8.1
4	1.05	0.36	7.2	0.95	0.34	10.8
5	1.05	0.35	10.8	1	0.34	10.8
10	1.1	0.35	21.6	1	0.32	18
15	1.1	0.32	27	1.05	0.3	27
20	1.1	0.3	32.4	1.075	0.28	36
25	1.15	0.28	40.5	1.1	0.26	40.5
30	1.2	0.24	43.2	1.1	0.24	43.2
35	1.2	0.2	44.1	1.15	0.22	44.1
40	1.2	0.18	46.8	1.175	0.21	50.4
45	1.2	0.14	48.6	1.2	0.2	48.6
50	1.25	0.13	46.8	1.225	0.19	45
55	1.3	0.12	47.52	1.25	0.18	47.52
60	1.3	0.12	47.52	1.3	0.18	51.84
65	1.35	0.12	46.8	1.325	0.18	51.48
70	1.4	0.12	45.36	1.35	0.18	52.92
75	1.45	0.12	48.6	1.4	0.16	54
80	1.5	0.12	46.08	1.45	0.16	51.84
85	1.5	0.12	48.96	1.5	0.16	52.02
90	1.55	0.12	51.84	1.525	0.16	51.84
95	1.55	0.12	51.3	1.55	0.15	54.72

Frequency(kHz)	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2		
	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)
100	1.6	0.12	50.4	1.6	0.15	54
105	1.65	0.13	49.14	1.65	0.15	52.92
110	1.7	0.13	47.52	1.675	0.15	51.48
120	1.75	0.13	47.52	1.75	0.15	51.84
130	1.85	0.13	46.8	1.85	0.15	56.16
150	2	0.13	51.3	2	0.15	59.4
170	2.2	0.13	55.08	2.2	0.15	61.2
190	2.35	0.14	54.72	2.4	0.15	61.56
210	2.5	0.14	60.48	2.55	0.155	60.48
230	2.7	0.14	57.96	2.7	0.16	66.24
250	2.8	0.14	72	2.9	0.16	72
280	3.2	0.14	70.56	3.2	0.16	75.6
300	3.4	0.14	70.2	3.4	0.165	75.6

ตารางที่ 3 แสดงความต่างศักย์ในการทดลองหาค่าอิมพีแดนซ์ของเยื่อบาง SM0.5

Frequency(kHz)	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2		
	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)
0.05	0.9	0.34	0	0.9	0.32	0
0.1	0.9	0.34	0	0.95	0.35	0
0.5	0.95	0.34	0	0.95	0.35	0
1	0.95	0.34	0	1	0.35	0
2	0.95	0.34	3.6	1	0.35	3.6
3	0.975	0.35	4.32	1	0.35	4.32
4	0.975	0.35	2.88	1.05	0.35	7.2
5	0.975	0.35	9	1.05	0.35	7.2
10	1	0.34	18	1.05	0.2	14.4
15	1	0.32	27	1.1	0.31	21.6
20	1.05	0.3	32.4	1.1	0.28	27
25	1.075	0.28	36	1.125	0.27	31.5
30	1.1	0.27	43.2	1.15	0.26	35.1
35	1.125	0.25	47.25	1.2	0.24	37.8
40	1.15	0.24	50.4	1.225	0.22	40.32
45	1.175	0.22	48.6	1.25	0.22	42.12
50	1.2	0.21	54	1.275	0.21	43.2
55	1.25	0.2	53.46	1.3	0.2	45.54
60	1.275	0.2	54	1.35	0.19	47.52
65	1.3	0.2	58.5	1.375	0.18	46.8
70	1.35	0.19	55.44	1.4	0.18	47.88
75	1.375	0.18	59.4	1.45	0.18	48.6
80	1.4	0.18	57.6	1.475	0.18	48.96
85	1.45	0.18	61.2	1.5	0.18	48.96
90	1.5	0.18	58.32	1.55	0.18	45.36
95	1.55	0.17	61.56	1.6	0.16	47.88

Frequency(kHz)	ชุดที่ 1			ชุดที่ 2		
	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)	V_r(V)	V_m(V)	$\Delta\phi$(องศา)
100	1.6	0.17	64.8	1.65	0.16	46.8
105	1.6	0.17	60.48	1.675	0.16	45.36
110	1.65	0.17	63.36	1.7	0.16	47.52
120	1.75	0.17	60.48	1.8	0.16	51.84
130	1.8	0.17	65.52	1.85	0.16	51.48
150	2	0.17	64.8	2	0.16	54
170	2.15	0.175	67.32	2.2	0.16	55.08
190	2.3	0.18	68.4	2.35	0.16	54.72
210	2.5	0.18	68.04	2.5	0.16	60.48
230	2.7	0.18	74.52	2.65	0.16	62.1
250	2.85	0.18	72	2.85	0.16	63
280	3.2	0.19	80.64	3.15	0.17	65.52
300	3.35	0.195	75.6	3.35	0.18	70.2
350	3.8	0.2	81.9	4	0.2	75.6

ภาคผนวก 2

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลน้ำหนักแห้งและเปียกของเยื่อบางในการหาค่าเปอร์เซ็นต์การบวมน้ำ

เยื่อบาง	เวลา (นาที)	น้ำหนักแห้ง (mg)			น้ำหนักเปียก (mg)		
		1	2	3	1	2	3
CH1	5	7.1	7.3	7.8	13.0	13.4	13.4
	10	9.0	9.3	8.7	16.5	17.0	16.1
	15	7.9	6.5	7.6	14.0	12.3	13.7
	30	8.2	6.4	6.3	15.1	12.0	11.5
	60	8.3	8.4	6.3	17	15.7	12.1
	120	6.3	5	5.1	11.8	9.0	9.6

ภาคผนวก 3

การเก็บข้อมูลศักย์การแพร่ของเยื่อบาง

ตารางที่ 5 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง CH1

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)			
C_1	C_2	1	2	3	4
100	0.001	-80.3	-69.1	-62.6	-100.2
100	0.003	-84.1	-65.5	-66.5	-98.1
100	0.01	-85.4	-60.4	-66.7	-100.7
100	0.03	-84.4	-58.7	-70.6	-99.0
100	0.1	-82.1	-54.3	-73.6	-91.8
100	0.3	-77.3	-51.3	-78.0	-87.7
100	1	-65.2	-48.0	-73.2	-74.5
100	3	-53.1	-40.8	-61.8	-58.3
100	10	-35.8	-28.6	-42.0	-40.8
100	30	-18.5	-14.9	-20.3	-21.9
100	100	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 6 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง G0.005

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)		
C_1	C_2	1	2	3
100	0.001	-112.9	-106.9	-132.3
100	0.003	-114.7	-115.2	-142.6
100	0.01	-109.1	-113.7	-135.2
100	0.03	-112.6	-117.3	-141.3
100	0.1	-105.9	-114.8	-132.8
100	0.3	-98.7	-108.5	-123.1
100	1	-81.7	-95.9	-100.0
100	3	-64.6	-76.6	-74.7
100	10	-44.0	-51.7	-47.6
100	30	-23.4	-27.5	-25.1
100	100	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 7 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM0.5

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)		
C_1	C_2	1	2	3
100	0.001	-84.4	-87.7	-133.0
100	0.003	-89.3	-95.7	-131.8
100	0.01	-83.1	-96.5	-125.4
100	0.03	-85.5	-100.6	-125.8
100	0.1	-84.2	-98.4	-123.1
100	0.3	-76.3	-93.4	-103.8
100	1	-68.2	-79.6	-83.0
100	3	-55.9	-66.2	-62.1
100	10	-38.9	-41.0	-39.8
100	30	-21.7	-21.3	-21.7
100	100	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 8 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง G0.005 ที่อาบโคโรนาดิสซาร์จ

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)					
		G0.005P8			G0.005P12		
C_1	C_2	1	2	3	1	2	3
100	0.001	-95.5	-133.1	-129.4	-107.1	-114.4	-99.8
100	0.003	-94.8	-146.9	-132.6	-113.7	-116.3	-103.5
100	0.01	-88.9	-141.2	-131.1	-108.1	-114.2	-102.0
100	0.03	-91.7	-147.0	-141.7	-111.8	-115.1	-104.3
100	0.1	-82.3	-145.9	-135.2	-102.6	-110.0	-96.8
100	0.3	-71.4	-137.7	-122.2	-93.4	-104.2	-95.2
100	1	-61.1	-113.6	-105.0	-76.9	-93.6	-85.5
100	3	-49.4	-87.0	-78.4	-61.3	-77.5	-70.8
100	10	-33.7	-54.4	-51.4	-39.8	-51.2	-50.4
100	30	-19.5	-27.6	-26.9	-21.5	-27.6	-26.6
100	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 9 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM0.5 ที่อาบโคโรนาดิสซาร์จ

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)					
		SM0.5P8			SM0.5P12		
C_1	C_2	1	2	3	1	2	3
100	0.001	-89.1	-75.2	-120.0	-76.6	-104.4	-93.7
100	0.003	-80.7	-74.4	-119.4	-72.8	-107.4	-95.4
100	0.01	-74.6	-74.1	-113.3	-65.7	-100.8	-92.0
100	0.03	-71.9	-70.4	-119.3	-67.0	-97.0	-93.3
100	0.1	-66.0	-71.8	-113.4	-60.3	-96.5	-88.8
100	0.3	-59.8	-70.7	-100.1	-57.0	-90.3	-84.2
100	1	-50.3	-63.9	-81.6	-46.5	-74.3	-78.1
100	3	-40.0	-50.9	-62.2	-42.5	-57.9	-63.0
100	10	-27.1	-35.4	-37.9	-26.0	-37.0	-41.9
100	30	-14.4	-17.2	-18.3	-15.4	-18.2	-21.4
100	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 10 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง CH1 ที่อาบอาร์กอนพลาสมา

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)					
		CH1Ar6			CH1Ar49		
C_1	C_2	1	2	3	1	2	3
100	0.001	-73.2	-52.7	-60.2	-73.3	-44.8	-58.0
100	0.003	-62.9	-42.7	-53.5	-67.3	-47.7	-55.2
100	0.01	-62.8	-41.1	-53.1	-70.2	-47.4	-50.1
100	0.03	-56.9	-36.4	-50.8	-66.8	-44.3	-48.2
100	0.1	-51.7	-33.5	-46.3	-65.2	-38.5	-43.2
100	0.3	-39.1	-30.0	-41.0	-60.0	-36.5	-40.5
100	1	-32.1	-20.8	-29.5	-50.3	-26.2	-36.4
100	3	-19.3	-15.1	-20.9	-33.5	-15.8	-29.3
100	10	-8.1	-7.1	-9.3	-17.7	-10.4	-20.2
100	30	-1.8	-2.5	-2.7	-6.7	-3.6	-10.9
100	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 11 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง G0.005 ที่อาบอาร์กอนพลาสมา

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)					
		G0.005Ar6			G0.005Ar49		
C_1	C_2	1	2	3	1	2	3
100	0.001	-104.5	-115.4	-110.3	-49.4	-83.9	-60.7
100	0.003	-111.0	-122.2	-115.4	-45.6	-112.9	-83.1
100	0.01	-115.7	-121.1	-111.5	-51.7	-106.6	-80.5
100	0.03	-111.9	-119.5	-110.2	-46.0	-99.8	-78.4
100	0.1	-108.7	-112.3	-108.3	-49.6	-101.0	-78.5
100	0.3	-101.4	-104.3	-105.5	-40.4	-82.5	-73.5
100	1	-85.9	-88.8	-88.0	-41.5	-71.8	-65.3
100	3	-68.8	-69.6	-69.4	-34.8	-47.2	-52.3
100	10	-43.2	-45.6	-44.0	-30.6	-34.4	-42.1
100	30	-22.2	-22.2	-20.8	-18.0	-14.5	-13.0
100	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 12 แสดงค่าศักย์การแพร่ของเยื่อบาง SM0.5 ที่อาบอาร์กอนพลาสมา

ความเข้มข้นของ KCl (mM)		ศักย์การแพร่ (mV)					
		SM0.5Ar6			SM0.5Ar49		
C_1	C_2	1	2	3	1	2	3
100	0.001	-106.4	-109.0	-109.2	-88.8	-78.5	-83.1
100	0.003	-110.7	-116.8	-110.5	-97.5	-81.1	-82.0
100	0.01	-117.0	-114.4	-110.0	-110.3	-86.6	-88.2
100	0.03	-112.5	-113.6	-107.5	-103.6	-104.2	-95.0
100	0.1	-98.4	-108.3	-105.6	-96.0	-72.3	-92.1
100	0.3	-95.9	-101.1	-92.5	-86.9	-59.6	-83.2
100	1	-79.1	-85.0	-82.1	-69.5	-53.5	-75.1
100	3	-61.3	-69.1	-70.5	-63.3	-48.1	-60.5
100	10	-41.6	-43.1	-50.0	-28.1	-31.3	-32.8
100	30	-21.8	-22.4	-20.3	-19.9	-16.5	-20.0
100	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ภาคผนวก 4

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลและการคำนวณฟลักซ์น้ำผ่านเยื่อบาง

ตารางที่ 13 แสดงค่าน้ำหนักของน้ำที่ผ่านเยื่อบาง CH1

เยื่อบาง	ความดัน (MPa)	น้ำหนักของน้ำที่เวลา 60 นาที(g)		
		1	2	3
CH1	0.5	1.01	0.47	0.43
	1.0	1.40	0.87	0.76
	1.5	1.93	1.30	1.03
	2.0	2.24	1.45	1.33
	2.5	2.66	1.50	1.79
G0.005	0.5	1.17	0.55	0.43
	1.0	1.71	0.97	1.00
	1.5	1.55	1.35	1.57
	2.0	1.72	2.23	2.21
	2.5	2.19	2.37	2.24
SM0.5	0.5	1.79	1.65	1.54
	1.0	10.40	11.00	9.84
	1.5	35.67	30.41	38.00
	2.0	74.18	67.16	84.60
	2.5	193.40	163.41	151.51

การคำนวณค่าฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อบาง

ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1000 g ต่อ 1 L และพื้นที่ของเยื่อบางในการทดลองเท่ากับ 11.34×10^{-4} m^2

ดังนั้น ฟลักซ์ = น้ำหนักของน้ำ / (ความหนาแน่นของน้ำ × พื้นที่ × เวลา)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวรัชนก สังข์คำ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4822142

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2538

การเผยแพร่ผลงาน

Ratchanok Sungkum, Pikul Wanichapichart, Wirach Taweepreeda, Mudtorlep Nisoa and Punsak Keardthongmee. 2007, "Physical Properties of Chitosan Membranes Modified by Argon Plasmas", Siam Physics Congress 2007 ณ โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จ. นครปฐม วันที่ 22-24 มีนาคม 2550 นำเสนอแบบบรรยาย

Pikul Wanichapichart, Ratchanok Sungkum, Wirach Taweepreeda and Mudtorlep Nisoa. 2009, "Characteristics of Chitosan membranes modified by argon plasmas", Surface and Coatings Technology. 203:2531-2535.