

การตัดแปรผิวของเซลล์โลสเมมเบรนจากผักตบชวาด้วยพลาสมาเพื่อการประยุกต์ทางการแพทย์

นายณัฐวิทย์ จันทร์ภิรมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและเพิ่มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นเพิ่มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

SURFACE MODIFICATION OF CELLULOSE MEMBRANES FROM WATER HYACINTH  
WITH PLASMA FOR MEDICAL APPLICATIONS

Mister Yannawit Chanpirom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science  
Faculty of Science  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2012  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดัดแปรผิวของเซลลูโลสเมมเบรนจากผักตบชวา
	เพื่อการประยุกต์ทางการแพทย์
โดย	นายญาณวิทย์ จันทร์ภิรมย์
สาขาวิชา	ปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ชัยรยง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ พันธุมนาวิน

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ชัยรยง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ พันธุมนาวิน)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล สุขวัฒน์นาคินิทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรบรรณ บุญญาวรณ)

ญานวิทย์ จันท์ภิรมย์ : การตัดแปรผิวของเซลลูโลสเมมเบรนจากผักตบชวาเพื่อการประยุกต์ทางการแพทย์. (SURFACE MODIFICATION OF CELLULOSE MEMBRANES FROM WATER HYACINTH WITH PLASMA FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.บุญ โชติ เผ่าสวัสดิ์ชรรยง, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร.วรวรรณ พันธุมนาวิน, 76 หน้า.

รีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรน (regenerated cellulose membranes; RCM) ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านการแยกสารด้วยการกรอง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เส้นใยเซลลูโลสจากผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชน้ำที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย ถูกนำเข้าสู่กระบวนการรีเจนเนอเรชัน (regeneration process) ด้วยการละลายในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และไทโอยูเรียแล้วตามด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารก่อการจับก้อน (coagulant) หลังจากนั้นนำเมมเบรนที่ได้มาตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ( $SF_6$ ) เพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำและการยับยั้งแบคทีเรียลงบนผิวของเมมเบรน สภาวะที่ใช้ในกระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาคือ ปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าให้อยู่ระหว่าง 25-75 วัตต์, ความดันให้อยู่ระหว่าง 0.05-0.5 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา 1-20 นาที เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดถูกนำมาใช้วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเมมเบรน ด้วยเทคนิคอิเล็กตรอนโพรบไมโครอานาลิซิสทำให้เห็นถึงปริมาณฟลูออรีนที่เพิ่มขึ้นบนพื้นผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $SF_6$  ส่วนการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นใหม่บนพื้นผิวกระทำโดยใช้เทคนิคเอกซ์-เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี ซึ่งพบสปีชีส์ (species) ของหมู่ฟลูออรีนเพิ่มขึ้น ส่วนเทคนิคการวัดมุมสัมผัสได้ถูกนำมาใช้วัดค่าการเปียกน้ำที่เปลี่ยนไปของเมมเบรน การวัดค่าความเป็นพิษกับเซลล์ได้ถูกทดสอบด้วยเซลล์เนื้อเยื่อจากหนู หลังจากนั้นจึงทำการวัดสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียพบว่าเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $SF_6$  ในสภาวะไม่รุนแรงนั้นมีปริมาณเซลล์แบคทีเรียลดลง 7% จากปกติ ทั้งหมดนั้นแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการตัดแปรผิวได้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรนให้มีความชอบน้ำเพิ่มขึ้น เพิ่มความขรุขระและปริมาณฟลูออรีนบนผิวให้สูงขึ้น

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

# # 5372233423 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS : REGENERATED CELLULOSE MEMBRANES / SF<sub>6</sub> PLASMA TREATMENT / CYTOTOXICITY

YANNAWIT CHANPIROM : SURFACE MODIFICATION OF CELLULOSE MEMBRANES FROM WATER HYACINTH WITH PLASMA FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS. ADVISOR : ASST. PROF. BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG, Ph.D., CO-ADVISOR : ASST.PROF. WORAWAN BHANTHUMNAVIN, Ph.D., 76 pp.

Regenerated cellulose membranes (RCM) have been widely used in membranes applications. In this work, cellulose fibers prepared from water hyacinth, a common water weed found in Thailand was subjected to regenerating procedure with sodium hydroxide and thiourea followed by treatment with ammonium sulfate. Sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) plasma has been used to modify obtained membranes for hydrophobicity and antibacterial property improvement. The conditions used were 25 to 75 watts of power, 0.05 to 0.5 torr of pressure, and the treatment time of 1 to 20 minutes. Scanning electron microscope has been used to analyze membranes surface. Electron probe microanalysis technique revealed that surface modification with SF<sub>6</sub> plasma brought about a significantly fluorine contents higher than untreated membranes. The functional groups were investigated by attenuated X-ray photoelectron spectroscopy to show new absorption peaks of fluorine species. Contact angle measurement has also been used to determine the wettability of the surface. Cytotoxicity test have been used to investigate toxicity with mouse cells. After that, antibacterial test indicated that over 7% of bacteria *E.coli* removal was observed in the case of RCM modified with SF<sub>6</sub> plasma. Overall, it has been shown that a surface treatment technique to chemically modified RCM resulted in a hydrophobic surface, surface roughness and fluorine contents.

Field of Study : Petrochemistry and Polymer Science Student's Signature.....

Academic Year : 2012..... Advisor's Signature.....

Co-advisor's Signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ชรรยง และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ พันธุมนาวิน ที่ช่วยให้คำแนะนำในงานวิจัยมาโดยตลอด ตลอดจนทั้งช่วยหาทุนในการทำวิจัยและยังช่วยกรุณาให้คำปรึกษา ดูแลแก้ไขรวมทั้งปรับปรุงเนื้อหาในงานวิจัยอย่างเป็นขั้นเป็นตอน จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีหนาท ประสงค์สุข ที่ได้กรุณาเป็นธุระในการจัดหาที่พักตบชาวแห่ง วัดถุดิบหลักในงานวิจัยนี้ รวมไปถึงท่านอาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ ที่ช่วยสละเวลา ช่วยเหลือดูแลและให้คำแนะนำในการต้มเยื่อผักตบชวาจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ รองศาสตราจารย์ ดร.มงคล สุขวัฒนาสินธุ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ ที่ได้ให้ความกรุณาอย่างยิ่งในการเป็นคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงการให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ที่สนับสนุนทุนในการทำงานวิจัยนี้ จนกระทั่งงานวิจัยและวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณหลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงานวิชาการแบบโปสเตอร์ ที่งานประชุมวิชาการระดับสากลงาน PACCON 2013 จังหวัดชลบุรี และหน่วยงาน IUPAC ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือค่าใช้จ่ายบางส่วนในการนำเสนอผลงานวิชาการแบบโปสเตอร์ ที่งานประชุมวิชาการระดับสากล งาน POLYCHAR 21 เมืองกวางจู ประเทศเกาหลี

ท้ายที่สุดนั้นงานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้เลย ถ้าไม่ได้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ จากเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการพลาสติกและผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ รวมไปถึงครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ช่วยเป็นกำลังใจและสนับสนุนทุนวิจัย ทุนการนำเสนอผลงานอย่างเสมอมาจนได้มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เซลลูโลส (cellulose).....	6
2.1.1 แหล่งของเซลลูโลส (source of cellulose).....	6
2.1.1.1 ฝ้าย.....	7
2.1.1.2 ไม้ (ไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน).....	7
2.1.1.3 วัชพืชและพืชตระกูลหญ้าอื่นๆ.....	7
2.1.2 องค์ประกอบในเนื้อไม้ (components of wood).....	8
2.1.2.1 เฮมิเซลลูโลส.....	8
2.1.2.1.1 กลูโคแมนแนน.....	8
2.1.2.1.2 ไซแลน.....	9
2.1.2.2 ลิกนิน.....	9
2.1.2.3 สารประกอบอื่นๆ.....	10
2.1.3 การขจัดออกภายในกระบวนการต้มเยื่อด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์.....	10
2.2 เซลลูโลสเมมเบรน.....	14
2.3 กระบวนการคัดแปรผิวด้วยพลาสมา.....	18
2.4 สมบัติความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำ.....	23

	หน้า
2.5 ความเป็นพิษกับเซลล์ (cytotoxicity) และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility).....	26
2.6 สมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	37
3.2 การเตรียมเส้นใยเซลลูโลส.....	37
3.3 การเตรียมเมมเบรนด้วยกระบวนการ regeneration.....	38
3.4 การตัดแปรงผิวด้วยพลาสมา.....	39
3.5 การวิเคราะห์สมบัติของเซลลูโลสเมมเบรน.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	43
4.1 ขนาดรูพรุนและความขรุขระบนผิวบนผิวจากการตัดแปรงผิวด้วยพลาสมา.....	43
4.2 ผลของปริมาณฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนเมื่อตัดแปรงผิวด้วยพลาสมา.....	46
4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเมมเบรนที่ตัดแปรงผิวด้วยพลาสมา.....	49
4.4 ค่ามุมสัมผัส, เวลาที่ใช้ในการดูดซับและเวลาของการเสื่อมสมบัติตามอายุ.....	54
4.5 ค่าความเป็นพิษกับเซลล์.....	58
4.6 สมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
รายการอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	76



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนและปริมาณรูพรุนของเมมเบรนที่ใช้ สารก่อการจับก้อนและเวลาในการจับก้อนแตกต่างกัน..... 15
ตารางที่ 2.2	ขนาดเส้นผ่านรูพรุนของเมมเบรนที่ใช้สารก่อการจับก้อนต่างชนิดกัน..... 16
ตารางที่ 2.3	ค่ามุมสัมผัสของผ้าฝ้ายที่อาบพลาสติกของซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ที่เวลา ในการอาบพลาสติกแตกต่างกันภายใต้ความดันคงที่ที่ 0.5 ทอร์..... 25
ตารางที่ 2.4	ปริมาณการลดลงของแบคทีเรีย <i>E.coli</i> บนผ้าที่อาบด้วยพลาสติกของ Ar-CF <sub>4</sub> ที่เวลาในการอาบพลาสติกแตกต่างกัน..... 34
ตารางที่ 3.1	รหัสในการเรียกชื่อตัวอย่างที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสติก..... 39
ตารางที่ 4.1	ปริมาณธาตุ (%อะตอม) ที่พบบนผิวเมมเบรน..... 47
ตารางที่ 4.2	ปริมาณความเข้มข้นของอะตอม (%) ระหว่างเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ ตัดแปรผิว (UN) และเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสติกของ แก๊ส SF <sub>6</sub> (50W3-2)..... 53
ตารางที่ 4.3	ค่ามุมสัมผัสและเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำของเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ ตัดแปรผิวและที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสติกในสถานะต่างๆ..... 55
ตารางที่ 4.4	ค่าความเป็นพิษกับเซลล์ของเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวและที่ ตัดแปรผิวด้วยพลาสติกในสถานะต่างๆ..... 59
ตารางที่ 4.5	ปริมาณการลดลงของแบคทีเรียเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ตัดแปรผิว ด้วยพลาสติกของฟลูออรีนที่สถานะแตกต่างกัน..... 62

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างของเซลลูโลส..... 6
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างของกลูโคแมนแนน..... 8
ภาพที่ 2.3	โครงสร้างของไซแลน..... 9
ภาพที่ 2.4	โครงสร้างของลิกนิน..... 9
ภาพที่ 2.5	การจัดกรดเมทิลกลูคูโรนิก (methylglucuronic acid) (I) และ กรดเฮกซีนิวโรนิก (hexenuronic acid) (II) ออกภายในกระบวนการต้มเยื่อ ด้วยสารประกอบไฮดรอกไซด์..... 11
ภาพที่ 2.6	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสต่อเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อเมื่อใช้ อุณหภูมิในการต้มเยื่อเพิ่มขึ้น..... 13
ภาพที่ 2.7	ภาพถ่าย SEM ของเซลลูโลสเมมเบรนสร้างใหม่มุมบนและมุมตัดขวาง..... 15
ภาพที่ 2.8	แบบแผนกระบวนการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรน..... 17
ภาพที่ 2.9	เครื่องอาร์เอฟพลาสมาที่ใช้สำหรับตัดแปรผิวชิ้นงานประเภทผ้าและเส้นใย... 19
ภาพที่ 2.10	ผิวของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาเปรียบเทียบกับเมมเบรนที่ ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ CO <sub>2</sub> เป็นเวลา 30 และ 60 นาที..... 20
ภาพที่ 2.11	การเข้าไปแทนที่หมู่เอซีเทคของออกซิเจนพลาสมาในเซลลูโลสเอซีเทค เมมเบรน..... 20
ภาพที่ 2.12	ภาพถ่าย SEM แสดงผิวของฟือที่เมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา และที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ อาร์กอน, ไนโตรเจน, แอมโมเนียและ ออกซิเจน ตามลำดับ..... 21
ภาพที่ 2.13	ภาพถ่าย AFM เปรียบเทียบระหว่างเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ อากาศ 0.4 ทอร์ ที่เวลา 1, 5, 10, และ 15 นาที..... 22
ภาพที่ 2.14	ค่ามุมสัมผัสแสดงสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของผิววัสดุ..... 23
ภาพที่ 2.15	เครื่องวัดมุมสัมผัสอย่างง่ายที่ได้รับการพัฒนาจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่..... 24
ภาพที่ 2.16	เครื่องกรอง (filter) ในเครื่องฟอกเลือดในกระบวนการไตเทียม โดยด้านใน บรรจุเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการไตเทียม..... 27
ภาพที่ 2.17	เส้นที่บ่งจะแสดงระดับของของโปรตีน C3a ในน้ำเลือดที่เพิ่มสูงขึ้น (I) และ ปริมาณเม็ดเลือดขาวในน้ำเลือดที่ลดลงอย่างมาก (II) เมื่อใช้

	หน้า
	เซลล์โลสเมมเบรนในกระบวนการไตเทียมเปรียบเทียบกับ เมมเบรนสังเคราะห์ชนิดอื่น..... 28
ภาพที่ 2.18	ระดับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน C3a ที่เกิดจากการใช้เมมเบรน ต่างชนิดกัน..... 29
ภาพที่ 2.19	การยึดติดของเนื้อเยื่อบนผิวของรีเจนเนอเรตเซลล์โลสไฮโดรเจล ..... 30
ภาพที่ 2.20	ปริมาณแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ที่ถูกทำลายเปรียบเทียบกับปริมาณฟลูออรีนบน ผิวฟิล์ม..... 33
ภาพที่ 2.21	โชนการยับยั้งแบคทีเรียระหว่างผ้าที่ตัดแปรรูด้วยพลาสติก (1, 3) และ ไม่ได้ตัดแปรรูด้วยพลาสติก (2, 4) เพิ่มประสิทธิภาพ..... 33
ภาพที่ 2.22	ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเมื่อมีปริมาณฟลูออรีนแตกต่างกันที่ 0 ถึง 0.5%..... 35
ภาพที่ 2.23	ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเมื่อปริมาณฟลูออรีนแตกต่างกันที่ 0 ถึง 50%..... 35
ภาพที่ 3.1	เครื่องอาร์-เอฟ พลาสติก (RF plasma) ที่ใช้ในการตัดแปรรูผิวของเซลล์โลส เมมเบรน..... 39
ภาพที่ 4.1	ภาพถ่ายมุมบนจากเทคนิค SEM ของเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม (A), ขนาดรูพรุนของเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม (B) , เมมเบรนที่มี ความหนา 0.10 มม (C) และขนาดรูพรุนเมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม (D)..... 44
ภาพที่ 4.2	ภาพถ่ายความขรุขระของผิวจากเทคนิค SEM ของเมมเบรนที่ไม่ได้ ตัดแปรรูผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรรูผิวด้วยพลาสติกของ SF <sub>6</sub> ที่ ความดัน 0.5 ทอร์, เวลาในการตัดแปรรูผิว 5 นาทีและกำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ (25W5), 50 วัตต์ (50W5) และ 75 วัตต์ (75W5)..... 45
ภาพที่ 4.3	ภาพถ่ายความขรุขระของผิวจาก SEM ของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรรูผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรรูผิวด้วยพลาสติกของ SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์และเวลาในการตัดแปรรูผิว 1 นาที (50W1), 5 นาที (50W5) และ 10 นาที (50W10)..... 46
ภาพที่ 4.4	แผนที่ EPMA แสดงปริมาณฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรนที่ไม่ได้ ตัดแปรรูผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรรูผิวด้วยพลาสติกของ SF <sub>6</sub>

	หน้า
	ที่ความดัน 0.5 ทอร์, เวลาในการตัดแปรผิว 5 นาทีและกำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ (25W5), 50 วัตต์ (50W5) และ 75 วัตต์ (75W5)..... 48
ภาพที่ 4.5	แผนที่ EPMA แสดงปริมาณฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์, เวลาในการตัดแปรผิว 1 นาที (50W1), 3 นาที (50W3), 5 นาที (50W5) และ 10 นาที (50W10)..... 49
ภาพที่ 4.6	สเปกตรัมแบบสำรวจจากเทคนิค XPS ของเซลลูโลสเมมเบรนที่ยังไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และ เซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2)..... 50
ภาพที่ 4.7	สเปกตรัมความละเอียดสูงจากเทคนิค XPS ของสปีชีส์ต่างๆของธาตุคาร์บอน ระหว่าง เซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และ เซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2)..... 51
ภาพที่ 4.8	สเปกตรัมความละเอียดสูงจากเทคนิค XPS ของสปีชีส์ต่างๆของ F 1s บนผิวของเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2)..... 53
ภาพที่ 4.9	ภาพมุมสัมผัสของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2) และ เมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF <sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์และเวลาในการตัดแปรผิว 5 นาที (50W5)..... 54
ภาพที่ 4.10	เวลาของการเสื่อมสมบัติตามอายุของตัวอย่าง 50W3-2 และ 50W5..... 57
ภาพที่ 5.1	ส่วนประกอบของชั้นต่างๆ ของผ้าปิดแผล..... 64

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ในแวดวงงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศต่างมีความสนใจในเทคโนโลยีชีวเป็นอย่างมาก [1-3] เทคโนโลยีชีวคือเทคโนโลยีที่เน้นการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ เพื่อลดมลพิษและลดการใช้สารเคมีให้น้อยลง เทคโนโลยีทางด้านการผลิตและพัฒนาเมมเบรนได้มีการพัฒนาให้เป็นเทคโนโลยีชีวมากขึ้น [4-8] เมมเบรนถือว่าเป็นวัสดุอุปกรณ์สำคัญที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรม, งานวิจัย, การทดลองในห้องเรียน รวมไปถึงการใช้งานทางการแพทย์ เมมเบรนนั้นมีทั้งชนิดที่เป็นเมมเบรนสังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน, พอลิคาร์บอเนตและพอลิเอไมด์ เป็นต้น [9] และเมมเบรนที่เตรียมได้จากวัตถุดิบทางธรรมชาติ เมมเบรนจากวัตถุดิบธรรมชาติที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ เซลลูโลสเมมเบรน และยังมีเมมเบรนสังเคราะห์ที่สามารถเตรียมได้จากเซลลูโลสเมมเบรนคือเซลลูโลสแอซีเทตเมมเบรน เตรียมได้จากการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่แอซีเทต [10] ทางผู้วิจัยมีความสนใจในเซลลูโลสเนื่องจากเซลลูโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) [11] นับเป็นพอลิเมอร์ที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

เซลลูโลสเมมเบรนนั้นแม้มีกระบวนการเตรียมที่ยากกว่าเมมเบรนชนิดอื่นแต่ก็ยังสามารถนำมาใช้ในการใช้งาน เซลลูโลสเมมเบรนเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อทางการค้าคือ Cuprophane<sup>®</sup> หรือ Cuprophane<sup>®</sup> ด้วยการมีจุดเด่นด้านความทนทานต่อสารละลายได้ดี, มีความแข็งแรงเชิงกลสูง รวมไปถึงการมีราคาถูก [11, 12] เมมเบรนที่ได้รับความนิยมอีกชนิดหนึ่งเพราะขึ้นรูปได้ง่ายกว่าเซลลูโลส และมีราคาถูกเช่นกัน ก็คือ เซลลูโลสแอซีเทตเมมเบรน แต่เซลลูโลสแอซีเทตยังมีข้อด้อยด้านความแข็งแรงและความทนทานต่อสารละลายได้น้อยกว่าเซลลูโลส ด้วยการมีสมบัติในการทนสารละลายมีขี้และไม่มีขี้ได้แทบทุกชนิด เว้นเพียงแต่กรดแก่และเบสแก่เท่านั้น นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญของเซลลูโลส [13] เนื่องจากการมีพันธะไฮโดรเจนที่มีความแข็งแรงสูง รวมไปถึงโครงสร้างภายในที่มีความเป็นระเบียบทำให้มีความเป็นผลึกสูง ทำให้มีความแข็งแรงและทนทานต่อสารละลายได้ดี

การที่เซลลูโลสเมมเบรนไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบปกติเหมือนพอลิเมอร์อื่นๆ นั้น เกิดจากการมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก ทำให้มีความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนสูง และเมื่อได้รับความร้อน เซลลูโลสเกิดการสลายตัว (decompose) โดยปราศจากการไหล (without flowing) [11, 14, 15] นับว่าต่างจากพอลิเมอร์อื่นๆ ทำให้การเตรียมเซลลูโลสเมมเบรน

นั้นต้องเตรียมด้วยเทคนิคที่ชื่อว่ากระบวนการ regeneration [16, 17] โดยกระบวนการ regeneration ที่เป็นที่นิยมในแวดวงอุตสาหกรรมการผลิตเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการฟอกเลือดโดยเครื่องไตเทียมคือ กระบวนการคิวแพรมโมเนียม (cuprammonium process) เซลลูโลสเมมเบรนที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ได้จากกระบวนการนี้คือ Cuprophan® หรือ Cuprophane® พบว่ามีการใช้คิวปริคออกไซด์ (cupric oxide) หรือคอปเปอร์(II) ออกไซด์ (copper(II) oxide) ในการละลายเส้นใยเซลลูโลส แต่เนื่องจากคิวปริคออกไซด์นั้นประกอบไปด้วยคอปเปอร์(II) พบว่ามีรายงานถึงความเป็นไปได้ว่าคอปเปอร์(II) นั้นค่อนข้างแสดงผลความเป็นพิษกับเซลล์ในร่างกาย อย่างไรก็ตาม เซลลูโลสเมมเบรนที่เตรียมด้วยเทคนิคนี้ยังเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้งานทางการแพทย์ เช่น เป็นอุปกรณ์ในการฟอกเลือด (haemodialysis) สำหรับคนไข้โรคไต แม้เกิดผลข้างเคียงตามมาบ้าง [9, 10, 12, 18]

งานวิจัยที่ทำการศึกษาด้านการเลือกใช้เมมเบรนในการฟอกเลือดโดยเครื่องไตเทียมนั้นพบว่า เซลลูโลสเมมเบรนจากกระบวนการคิวแพรมโมเนียม ถูกจัดว่ามีความเป็นพิษกับเซลล์มากกว่า เมมเบรนสังเคราะห์ชนิดอื่น ผู้วิจัยเหล่านั้นคาดว่าเกิดจาก 2 สาเหตุคือ เซลลูโลสเมมเบรนมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก ทำให้เกิดอันตรกิริยากับเซลล์ในร่างกาย จนไปกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้ร่างกายผู้ป่วยรู้สึกผิดปกติ [10, 19] แต่ยังมีข้อโต้แย้งในบางงานวิจัยว่าหมู่ไฮดรอกซิลไม่ได้ส่งผลด้านความเป็นพิษกับเซลล์ [20] แต่อาจเกิดจากการที่กระบวนการผลิตเซลลูโลสเมมเบรนด้วยกระบวนการคิวแพรมโมเนียมนั้นมีสารตกค้างจำพวกทองแดงหลงเหลืออยู่ [9, 12, 18, 19]

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันนี้ได้มีงานวิจัยใหม่ๆ เกิดขึ้นมากมายในกระบวนการพัฒนาการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรนด้วยกระบวนการ regeneration โดยการเปลี่ยนตัวทำละลายเซลลูโลส งานวิจัยเหล่านั้นเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมน้อยและเป็นสารเคมีที่ทำได้ง่ายทั่วไป [16, 17, 21-25] เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide), ไทโอยูเรีย (thiourea) และยูเรีย (urea) เป็นต้น หลังจากละลายเซลลูโลสให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการเลือกใช้สารเคมีเพื่อที่ก่อการจับก้อนเส้นใยเซลลูโลสให้เป็นแผ่น (coagulation) และสารก่อการจับก้อน (coagulant) นั้นต้องให้แก๊สบางชนิดออกมาเพื่อสร้างรูพรุนภายในเมมเบรนด้วย เช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid), แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) และน้ำ เป็นต้น [16, 17, 22]

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยมีความสนใจในการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และไทโอยูเรียเป็นตัวทำละลายเซลลูโลส และเลือกใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารก่อการจับก้อนตามงานวิจัยที่ได้มีรายงานมาก่อน [16, 17] เพราะยังไม่มีรายงานที่ชัดเจนด้านความเป็นพิษกับเซลล์ใน

ร่างกายและยังเป็นสารเคมีที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก สำหรับเซลล์โลสที่ทางผู้วิจัยเลือกใช้ใช้นั้น เป็นเซลล์โลสที่ได้จากผักตบชวาแห้ง ผักตบชวานั้นเป็นวัชพืชน้ำที่มีอยู่มากมายในประเทศไทย

ผักตบชวาเป็นพืชที่จัดว่าเป็นวัชพืชที่ก่อมลพิษทางน้ำ เนื่องจากเติบโตได้อย่างรวดเร็วและกีดขวางการจราจรทางน้ำ [26, 27] อย่างไรก็ตามผักตบชวามีประโยชน์ในการช่วยดูดซับสารพิษและโลหะหนักต่างๆ ในแม่น้ำลำคลอง [28] แม้กระนั้นปริมาณผักตบชวายังมีอยู่มากเกินความจำเป็น และยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน สำหรับโครงสร้างของผักตบชวานั้นมีเซลล์โลสเป็นโครงสร้างหลัก มีเฮมิเซลล์โลสเป็นโครงสร้างรอง และประกอบไปด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ลิกนิน เป็นต้น [26, 29] โดยเส้นใยที่ได้จากผักตบชวานั้นมีความแข็งแรงสูง เน้นย้ำเน้นการใช้ประโยชน์ได้เน้นไปทางด้านงานเครื่องจักรสาน จำพวก เสื่อ สิ่งทอ กระดาษ เป็นต้น [27, 30, 31] ดังนั้นผู้วิจัยได้มีแนวความคิดในการเพิ่มมูลค่าและประโยชน์ใช้สอยของผักตบชวา [32] โดยนำมาเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นแหล่งผลิตเซลล์โลส [29] จากนั้นได้นำเซลล์โลสที่ได้มาเตรียมเป็นเซลล์โลสเมมเบรนต่อไป

สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา (plasma treatment) นั้น จัดเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด [3] เพราะมีของเสียและเกิดเป็นมลพิษค่อนข้างน้อยกว่าเทคนิคที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เนื่องจากพลาสมาเกิดขึ้นเมื่อแก๊สได้รับความต่างศักย์ขนาดสูงหรือได้รับพลังงานสูงเข้าไปเมื่อแก๊สได้รับพลังงานแล้วนั้นได้แตกตัวเป็นพลาสมาสปีชีส์ (species) ต่างๆมากมาย ได้แก่ อิออน, ประจุบวกและประจุลบ โดยเทคโนโลยีพลาสมานั้นถูกเลือกใช้งานมากมาย ในการใช้งานด้านการปรับเปลี่ยนสมบัติของผิววัสดุ, การเกิดพอลิเมอร์ภายใต้สถานะพลาสมา (plasma polymerization) และการทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น [1, 2, 33-35]

เป็นที่ทราบกันดีในหมู่นักวิจัยด้านพลาสมา ว่าพลาสมาจากแก๊สแต่ละชนิดให้สมบัติที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น พลาสมาจากแก๊สออกซิเจนให้สมบัติความชอบน้ำ [36] พลาสมาจากแก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ( $SF_6$ ) ที่ให้หมู่ฟลูออรีนให้สมบัติความไม่ชอบน้ำ [3] และพลาสมาจากแก๊สเฉื่อยพวกฮีเลียมหรืออาร์กอนให้อิออนลบประจุบนผิววัสดุ เป็นต้น [37] นักวิจัยได้เลือกใช้แก๊สแต่ละชนิดไปตามสมบัติที่ต้องการ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ในการตัดแปรผิวของเซลล์โลสเมมเบรน เพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำลงไปบนผิว [3, 38] และอาจช่วยในการลดความเป็นพิษกับเซลล์ [9, 18, 19] รวมไปถึงเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย [37, 39, 40]

เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้คือการเตรียมรีเจเนอเรตเซลล์โลสเมมเบรนจากผักตบชวาให้ได้ และนำมาตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  จากนั้นได้นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ดังนี้ เช่น การวัดมุมสัมผัสของน้ำเพื่อวัดความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำของผิวเมมเบรน,

การวัดเวลาในการเสื่อมสภาพของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาเพื่อดูอายุในการใช้งาน, ส่องกล้องศึกษาโครงสร้างของตัวอย่างเพื่อศึกษาขนาดรูพรุนและการกักกรองบนผิวเมมเบรน, การวัดปริมาณฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา, การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นใหม่ว่ามีการสร้างพันธะบนผิวเมมเบรนกันเช่นไร, การวัดความเป็นพิษกับเซลล์เพื่อวัดความเข้ากันได้ทางชีวภาพรวมไปถึงการวัดสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเตรียมรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรน (regenerated cellulose membranes) จากผักตบชวา จากนั้นได้นำไปตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  เพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ ลดความเป็นพิษกับเซลล์และเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียเพื่อการประยุกต์ทางการแพทย์

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เตรียมเซลลูโลสเมมเบรนจากผักตบชวา โดยใช้กระบวนการ regeneration จากงานวิจัยที่ได้มีรายงานมาก่อน แต่ปรับเปลี่ยนสถานะต่างๆ ให้สอดคล้องกับสารตั้งต้น โดยในงานวิจัยนี้ใช้เซลลูโลสจากผักตบชวาแห่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ โดยมักใช้ใยฝ้ายเป็นแหล่งของเซลลูโลส

1.3.2 ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ลงบนเซลลูโลสเมมเบรนที่สถานะต่างๆกัน เช่น เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า, ความดันของแก๊สและเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา

1.3.3 ตรวจสอบสมบัติต่างๆของเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  โดยเปรียบเทียบกับเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา ดังนี้

1.3.3.1 ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเซลลูโลสเมมเบรน ขนาดรูพรุน และปริมาณรูพรุน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนควรมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร เนื่องจากเซลล์เม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวมีขนาดประมาณ 6-18 ไมโครเมตร เมมเบรนต้องสามารถกั้นเซลล์เม็ดเลือดไม่ให้ผ่านไปได้

1.3.3.2 ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวของเซลลูโลสเมมเบรนจากกระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา

1.3.3.3 ตรวจสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ คาดว่าหลังจากผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  เมมเบรนควรมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูงขึ้น



1.3.3.4 ตรวจสอบสมบัติความเป็นพิษกับเซลล์ เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นได้ทางชีวภาพและช่วยยืนยันว่าเมมเบรนสามารถนำไปใช้งานในทางการแพทย์ได้

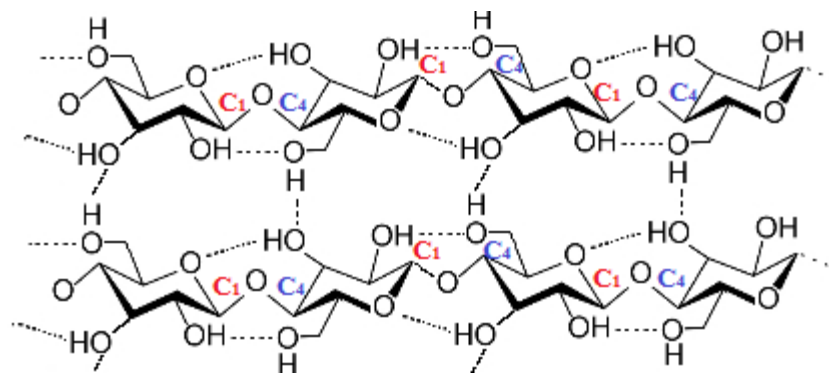
1.3.3.5 ตรวจสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย คาดว่าหลังจากผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนและค่าความไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสนั้นถือได้ว่าเป็นโครงสร้างที่สำคัญที่สุดในพืชและเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติอย่างหนึ่ง [21] เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่มีขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) สูงกว่า 10,000 [41] และกลูโคสที่เป็นมอนอเมอร์นั้นจับกันด้วยพันธะ (1,4)-กลูโคสิดิก (1,4-glucosidic bonds) ดังที่เห็นได้ใน ภาพที่ 2.1 [41]



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

เห็นได้ว่าโครงสร้างของเซลลูโลสนั้นมีความเป็นผลึกสูงมากเพราะพันธะภายในโมเลกุลจับตัวกันอย่างมีระเบียบ ส่งผลให้เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูง [14] และพันธะที่จับระหว่างเซลลูโลสแต่ละโมเลกุล (intermolecular) คือพันธะไฮโดรเจนที่มีพลังงานพันธะอยู่ระหว่าง 5 – 30 กิโลจูลต่อโมล [21] ได้เป็นเหตุผลให้เซลลูโลสสลายตัว (decompose) เมื่อใช้อุณหภูมิสูงโดยปราศจากการไหล (without flowing) [15] การขึ้นรูปพอลิเมอร์ปกติที่ต้องอาศัยการไหลของพอลิเมอร์นั้นได้ใช้ไม่ได้เลยสำหรับเซลลูโลส ฉะนั้นกระบวนการ regeneration ของเซลลูโลสได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตฟิล์มเซลลูโลสรวมไปถึงการผลิตเซลลูโลสเมมเบรน [16, 17] โดยกระบวนการ regeneration นั้นมีการใช้สารเคมีเพื่อสลายเซลลูโลสให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก จากนั้นได้เติมสารเคมีลงไปให้เซลลูโลสก่อการจับก้อนขึ้นใหม่ได้เอง เกิดเป็นเซลลูโลสเมมเบรนที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบมากขึ้น, มีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกัน, มีปริมาณรูพรุนสูงและมีความแข็งแรงเชิงกลสูงกว่าการเตรียมด้วยเทคนิคอื่น

### 2.1.1 แหล่งของเซลลูโลส

เส้นใยเซลลูโลสนั้นได้มาจากพืชหลากหลายชนิด ทั้งไม้เนื้อแข็ง, ไม้เนื้ออ่อน รวมไปถึงวัชพืชต่างๆ ทั้งที่อยู่บนบกและในน้ำ [13, 15, 41] ตัวอย่างของแหล่งของเซลลูโลสที่น่าสนใจประกอบด้วย

#### 2.1.1.1 ฝ้าย

สำหรับฝ้ายนั้นมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูงถึง 89%, น้ำ 7% และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ อีก 4% ขนในเมล็ดฝ้ายนั้นประกอบไปด้วยเส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยยาว (long fibers) และเส้นใยสั้น (short fibers or linters) โดยเส้นใยยาวนั้นมักถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่ม เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้อย่างดีและระบายความร้อนได้อย่างยอดเยี่ยม เส้นใยสั้นนั้นหลังจากผ่านการต้มเยื่อ (pulping process) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2-5 % ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ แล้ว ได้เซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99% เป็นวัตถุดิบที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมทางพอลิเมอร์ต่อไป [2, 3, 15, 36, 42]

#### 2.1.1.2 ไม้ (ไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน)

ได้แก่พืชตระกูล ยูคาลิปตัสและสน เป็นต้น ประกอบไปด้วยเซลลูโลส 40-50% รวมไปถึงลิกนิน (lignin) และน้ำตาลโมเลกุลต่ำผสมอยู่อีกมาก อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านการต้มเยื่อด้วยโซเดียมซัลไฟด์และไอน้ำแล้วนั้น ผลผลิตทันทีที่ได้คือเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์ถึง 92-98% [15] ถือว่าเป็นแหล่งของเซลลูโลสที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมกระดาษ [38]

#### 2.1.1.3 วัชพืชและพืชตระกูลหญ้า

ได้แก่ ข้าวโพด, ปอและผักตบชวา (water hyacinth) เป็นต้น ประกอบไปด้วยเซลลูโลสปริมาณเพียง 20-45% แต่มีลิกนิน, เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และน้ำตาลโมเลกุลต่ำอยู่ปริมาณสูงพอสมควร แม้มีปริมาณเซลลูโลสน้อย แต่ตัววัตถุดิบมีราคาถูกและมีปริมาณมหาศาลเป็นจุดเด่นของพืชประเภทนี้ อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านการต้มเยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารเคมีอื่นๆ ผลผลิตทันทีที่ได้คือเซลลูโลสบริสุทธิ์เช่นกัน [13, 28, 32]

ในงานวิจัยนี้พืชที่ผู้วิจัยสนใจก็คือผักตบชวา แม้มีปริมาณเซลลูโลสน้อยเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น แต่เพราะเป็นวัชพืชที่ไร้ค่า ไม่มีราคาในตลาด ผักตบชวาไม่จำเป็นต้องซื้อหาและหาได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำทั้งในเมืองและในธรรมชาติ ดังนั้นการเลือกผักตบชวามาใช้เป็นแหล่งของ

เซลลูโลสในงานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผักตบชวาและยังช่วยลดจำนวนผักตบชวา ที่สร้างมลพิษทางน้ำในแม่น้ำลำคลองได้

## 2.1.2 องค์ประกอบในเนื้อไม้ (Components of wood)

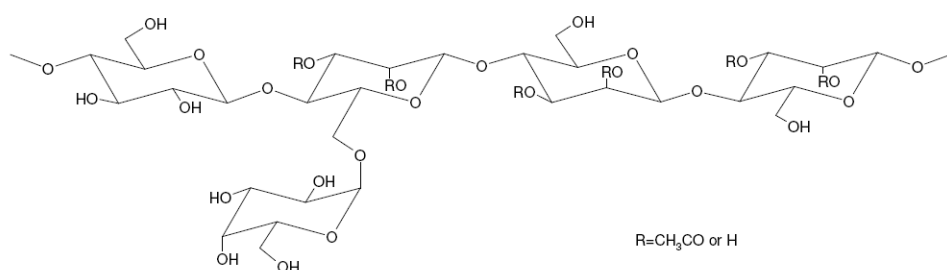
องค์ประกอบในเนื้อไม้นั้นก็คือองค์ประกอบหลักๆ ที่อยู่ในโครงสร้างของพืช นอกจากเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักแล้วนั้น ยังมีองค์ประกอบชนิดอื่นที่มักไม่เป็นที่ต้องการเท่าไรนัก ประกอบไปด้วย เฮมิเซลลูโลส, ลิกนินและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ มีปริมาณแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชนั่นเอง [15, 41]

### 2.1.2.1 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสคือสารประกอบกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีชั้นการเกิดพอลิเมอร์ 100-200 หรือเรียกได้ว่าเป็นเซลลูโลสสายเล็กๆ ก็ไม่ผิด และโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นกิ่งก้านไม่เป็นระเบียบ [41] ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสมีความเป็นผลึกและมีความแข็งแรงของพันธะที่ต่ำกว่าเซลลูโลส โครงสร้างหลักของเฮมิเซลลูโลสนั้นประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อนนั้นมียู่ประมาณ 25-30% โดยมีเฮมิเซลลูโลสที่สำคัญ 2 ชนิด ก็คือ กลูโคแมนแนน (glucomannan) และไซแลน (xylan) รวมทั้งยังมีสารอื่นๆ คือ ลิกนินและสารประกอบอินทรีย์ [14, 15] ปนอยู่เล็กน้อย มีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1.2.1.1 กลูโคแมนแนน

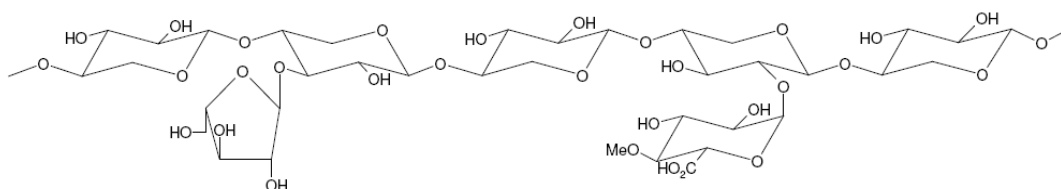
กลูโคแมนแนนนั้นจัดว่าเป็นเฮมิเซลลูโลสที่พบได้ทั่วไปในไม้เนื้ออ่อนและยังมีโครงสร้างหลักที่ประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ของกลูโคสและแมนโนส หรืออาจมีกาแลคโตส แทนที่อยู่บ้าง มอนอเมอร์ใน โครงสร้างหลักนั้นจับกันด้วยพันธะ 1,4 และยังมีโมเลกุลขนาดเล็กมา จับกับคาร์บอนในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ทำให้เกิดกิ่งเล็กๆ ดังเช่นในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของกลูโคแมนแนน

### 2.1.2.1.2 ไชแลน

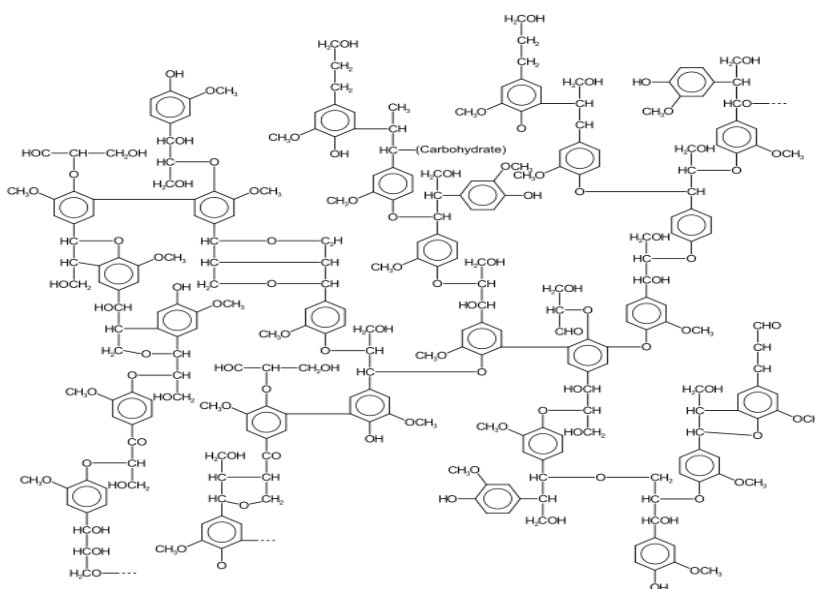
ไชแลนนั้นประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักที่จับกันด้วยมอนอเมอร์ของไซโลส (xylose) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเช่นกัน ด้วยพันธะ (1-4)-linked ไซโลสนั้นมักมีกรด 4-O-เมทิลกลูคูโรนิก (4-O-methylglucuronic acid) มาจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 โมเลกุลเหล่านี้หลุดออกไปเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นเบส เช่น ในกระบวนการต้มเชื้อด้วยเบส เป็นต้น โครงสร้างของไชแลนเป็นดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของไชแลน

### 2.1.2.2 ลิกนิน

ลิกนินจัดว่าเป็นองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในเซลล์ลูโลสที่รู้จักกันเป็นอย่างดี โครงสร้างของลิกนินในเนื้อไม้ นั้นมีการจัดเรียงโครงสร้างอย่างซับซ้อนในแบบเมทริกซ์ 3 มิติ พอลิเมอร์สร้างขึ้นจากฟีนิล โพรเพน (phenylpropane) ถูกแทนที่ด้วยหมู่เอโรมาติกที่แตกต่างกันไป หรือเข้าใจได้ง่ายว่าลิกนินคือ วงของฟีนอล เป็นสารประกอบประเภทที่มีหมู่แอลกอฮอล์อยู่บนเอง ดังที่เห็นในภาพที่ 2.4



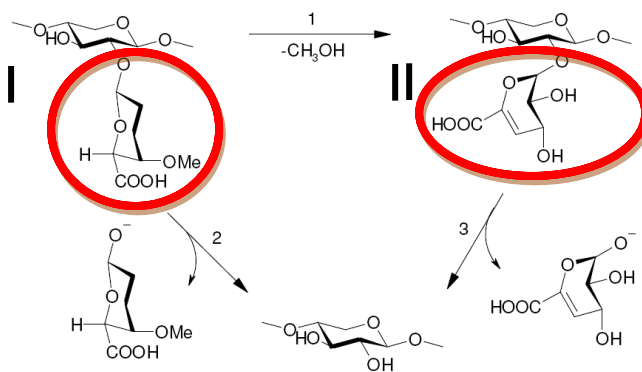
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของลิกนิน

### 2.1.2.3 สารประกอบอื่นๆ

สารประกอบอื่นๆ ที่พบในเนื้อไม้มีอยู่มากหลายประเภท เช่นมีการพบเพคติน (pectin) ในเนื้อไม้ เพคตินนั้นเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีลักษณะโครงสร้างต่างจากเฮมิเซลลูโลสอื่นๆ แต่มีการพบในปริมาณที่น้อยมาก สำหรับสารกลุ่มอื่นๆ ที่พบนั้นถูกเรียกว่า “สารสกัด (extractives)” เป็นสารสกัดที่ประกอบไปด้วยน้ำและสารเคมีอินทรีย์เช่นพวก แอซีโทน เป็นต้น พบเพียงแค่ 2-3% เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของเนื้อไม้

### 2.1.3 การขจัดออกภายในกระบวนการต้มเยื่อด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์

กระบวนการต้มเยื่อ (pulping process) [41] มีเป้าหมายคือการขจัดโมเลกุลขนาดเล็กที่เกาะอยู่ตามกิ่งของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และขจัดลิกนินที่แทรกอยู่ระหว่างเส้นใยเซลลูโลส สารประกอบเหล่านี้ติดอยู่ในระหว่างสายเส้นใยของเซลลูโลส [15] โมเลกุลขนาดเล็กที่อยู่ตามกิ่งถูกขจัดออกด้วยการแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลดังที่เห็นในภาพที่ 2.5 เป็นตัวอย่างการขจัดกรดเมทิลกลูคูโรนิก (methylglucuronic acid) และกรดเฮกซีนิวโรนิก (hexenuronic acid) ที่เกาะอยู่บนสายหลักของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสออกด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ส่งผลโดยตรงต่อการเข้าไปขจัดโมเลกุล การใช้สารละลายความเข้มข้นสูงนอกจากช่วยขจัดหมู่เล็กๆ ยังเข้าไปตัดสายโมเลกุลให้สั้นลงได้ เมื่อผ่านการต้มเยื่อแล้วนั้นเส้นใยที่ได้มีความบริสุทธิ์และความสว่างเพิ่มขึ้น สารเคมีที่นิยมใช้เป็นแหล่งของหมู่ไฮดรอกซิลก็คือเบสจำพวกโซเดียมไฮดรอกไซด์ [31] ภายหลังจากกระบวนการต้มเยื่อนั้นได้น้ำเยื่อที่เป็นสารผสมของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส มีลักษณะเป็นของเหลวสีดำสนิทได้ถูกขจัดออกมา และเส้นใยที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนหรือเข้ม แตกต่างกันไปตามสภาวะที่ใช้ในการต้มเยื่อและชนิดของพืชที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดของเส้นใย [27, 30, 31] ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการต้มเยื่อนั้นนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่ใช้ เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีปริมาณเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนินและสารปนเปื้อนอื่นๆ แตกต่างกันไป ดังนั้นการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูงเกินไปนอกจากไปช่วยขจัดลิกนินและหมู่เล็กๆที่เกาะอยู่บนสายโซ่หลักแล้วนั้นอาจไปตัดสายโซ่ของเซลลูโลสให้สั้นลงได้ ทำให้นอกจากลิกนินที่ถูกขจัดออกไป อาจทำให้เซลลูโลสนั้นเสียสภาพและถูกแยกออกมาด้วย [41]



ภาพที่ 2.5 การขจัดกรดเมทิลกลูคูโรนิก (methylglucuronic acid) (I) และกรดเฮกซีนิวโรนิก (hexenuronic acid) (II) ออกจากในกระบวนการต้มเยื่อด้วยสารประกอบไฮดรอกไซด์

มีกลุ่มวิจัยหลากหลายกลุ่มที่ได้ศึกษากระบวนการต้มเยื่อโดยการขจัดออกด้วยไฮดรอกไซด์ไอออน ของพืชแต่ละชนิดที่แตกต่างกันดังนี้ ในปี ค.ศ. 1974 Nolan และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมกระดาษจากผักตบชวาและศึกษาผลของการใช้สารละลายแตกต่างกันในการต้มเยื่อ โดยการใช้โซเดียมซัลไฟด์, โซเดียมไฮดรอกไซด์, สารผสมระหว่างโซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไบซัลไฟด์, และสารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ รวมไปถึงการปรับสภาวะของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อ เพื่อศึกษาถึงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลของการศึกษาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อปรากฏว่า เมื่อทำการลดอุณหภูมิ พบว่าปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ (%yield) สูงกว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงมากเกินไป และการเร่งเวลาให้ถึงอุณหภูมิสูงสุดอย่างรวดเร็วได้ช่วยเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอีกด้วย จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษและนำมาทดสอบความแข็งแรงเชิงกลต่อไป [31]

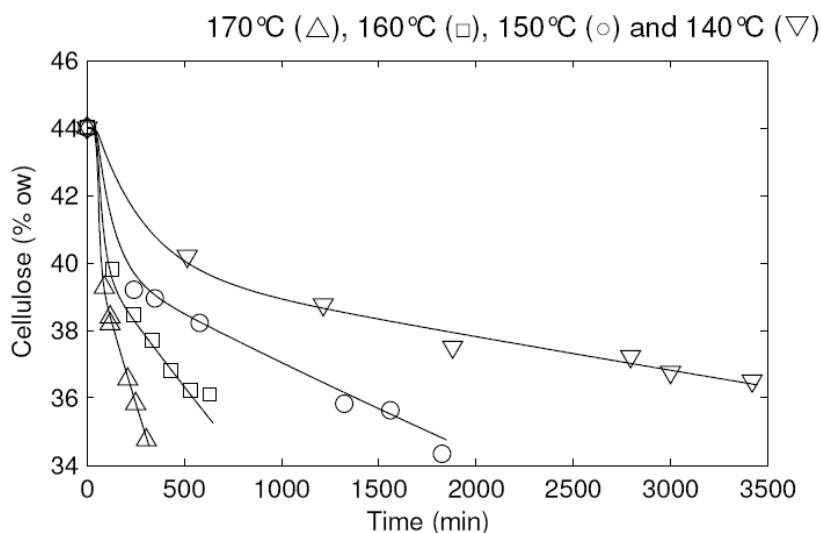
ในปี ค.ศ. 1983 Widyanto และคณะ ได้ศึกษาการนำผักตบชวาไปใช้ในโรงงานผลิตกระดาษ โดยมีการศึกษาทั้งในผักตบชวาสดที่ใช้กำจัดสารพิษในโรงงานว่ามีสารประกอบอะไรบ้าง สามารถช่วยดูดซับโลหะได้อย่างไร รวมไปถึงการนำผักตบชวาสดนั้นมาตากแห้งแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตกระดาษ โดยการนำผักตบชวาแห้งมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ 15%, 20% และ 25% ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง จากนั้นศึกษาปริมาณเส้นใยที่ได้และนำมาผลิตเป็นกระดาษต่อไป การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% ในการต้มผักตบชวาให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้นใยร้อยละของผลผลิต 52.83% (%yield) และเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ต้มด้วยสภาวะเดียวกันพบว่าให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่เส้นใยจากผักตบชวามีความยาวเส้นใยเฉลี่ยสูงกว่า สำหรับเส้นใยจากฟางข้าวนี้ให้ค่าองศาความสว่าง (G.E.) ที่สูงกว่า [27]

ในปี ค.ศ. 1997 Barai และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา โดยการใส่สารละลายอัลคาไลน์ และกรดคลอโรแอซิก ในกระบวนการสกัดเอาคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสออกมา ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารละลายแต่ละชนิด ผลของความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์ ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ว่าส่งผลอย่างไรต่อค่าระดับขั้นการแทนที่ของคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส ผลจากการศึกษาพบว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่สูงรวมไปถึงการใช้อุณหภูมิและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสูงเกินไปนั้น ทำให้ค่าขั้นการแทนที่ของคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสและร้อยละของผลผลิตที่ได้รับลดลง จากงานวิจัยนี้ได้ช่วยสนับสนุนแนวที่ว่า การใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป รวมไปถึงอุณหภูมิที่สูงเกินไปนั้น ส่งผลโดยตรงต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ [29]

ในปี ค.ศ. 2007 Kongtud และคณะ ได้ศึกษาการผลิตกระดาษผักตบชวาผสมเยื่อสาที่ทำด้วยมือแบบไทย โดยการนำเยื่อปอสามาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 4%, โซเดียมซัลไฟต์ 2%, แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5% ค่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง ผักตบชวานั้นถูกต้มด้วยสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำมาฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 20%, โซเดียมซัลไฟต์ 2%, แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5% ค่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นกระดาษ และนำมาทดสอบค่ามาตรฐานต่างๆต่อไป จากผลงานวิจัยพบว่า การใช้สารละลายฟอกขาวอย่างง่ายนั้น ช่วยเพิ่มค่าความสว่างให้กับเส้นใยได้ถึง 60-70% เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการฟอกขาว ได้เป็นแนวทางในการฟอกขาวเส้นใยให้กับผู้วิจัย [30]

ในปี ค.ศ. 2008 Johansson ได้ศึกษากระบวนการต้มเยื่อของพืชแทบทุกชนิด ทั้งไม้เนื้อแข็ง, ไม้เนื้ออ่อนและพวกวัชพืชต่างๆ โดยเน้นศึกษาด้านการแตกสลายและการละลายของพวกคาร์โบไฮเดรตที่มาจากพืชต่างชนิดกัน รวมไปถึงการศึกษาผลของพลังงานจลน์ที่มีต่อกระบวนการต้มเยื่อ โดยศึกษาของปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อต่างชนิดกันเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น จากนั้นศึกษาปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลส, ไซแลนและกลูโคแมนแนนเทียบกับเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อเมื่อใช้อุณหภูมิในการต้มเยื่อเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2.6 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการต้มเยื่อสูงขึ้นปริมาณเส้นใยที่ได้รับยังมีค่าลดลง และจากการศึกษาเรื่องเวลาในการต้มเยื่อพบว่ายิ่งใช้เวลาในการต้มเยื่อยาวนาน ปริมาณ เส้นใยที่ได้รับมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับปริมาณไซแลนและกลูโคแมนแนนที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการต้มเยื่อที่สูงขึ้น หมายความว่า การใช้อุณหภูมิในการต้มเยื่อสูงเกินไปช่วยทำให้ไซแลนและกลูโคแมนแนนสลายตัวได้มากขึ้นแตกต่างกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ลดลง [41]





ภาพที่ 2.6 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสต่อเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อเมื่อใช้ อุณหภูมิในการต้มเยื่อเพิ่มขึ้น

ในปี ค.ศ. 2010 Zhang และคณะ ได้ศึกษาพฤติกรรมการละลายของเซลลูโลสในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ผสม โดยทางผู้วิจัยกลุ่มนี้ได้เลือกใช้เส้นใยฝ้ายเป็นแหล่งของเซลลูโลส จากนั้นนำมาละลายในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์, ยูเรียและไทโอยูเรีย รวมไปถึง การศึกษาการแตกของพันธะไฮโดรเจนภายในเซลลูโลส ผลของความรุนแรงของสารละลายที่มีต่อ อันตรกิริยากับเซลลูโลส และยังศึกษาผลของความร้อนต่อการละลายของเซลลูโลสด้วย สุดท้าย ศึกษาการเตรียมแผ่นเซลลูโลสในรูปของเจลให้ได้ ผลปรากฏว่าเมื่อใช้สารละลายผสม โซเดียมไฮดรอกไซด์/ยูเรีย/ไทโอยูเรีย ด้วยอัตราส่วน 8/8/6.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ละลายในอุณหภูมิ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส พบว่าเป็นสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมเจลเซลลูโลสที่มีค่าการละลายที่ดี งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาด้านการผลิตฟิล์มและเส้นใยเซลลูโลสที่มีคุณภาพดีได้อีกในอนาคต [21]

พบว่าทุกกลุ่มงานวิจัยได้เลือกใช้สารเคมีที่ให้หมู่ไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นสารเคมีหลักที่ใช้ ในการขจัดหมู่เล็กๆที่เกาะอยู่บนเส้นใยหลักของเซลลูโลสออกในขั้นตอนของการต้มเยื่อ สำหรับการควบคุมสถานะในการต้มเยื่อนั้น ไม่ควรใช้เวลาและอุณหภูมิที่สูงเกินไป เพราะอาจส่งผลต่อ ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากกระบวนการต้มเยื่อได้ สำหรับการละลาย เซลลูโลสนั้นอาจมีการใช้สารเคมีอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการละลาย ขึ้นอยู่กับ เทคนิคของแต่ละกลุ่มวิจัย

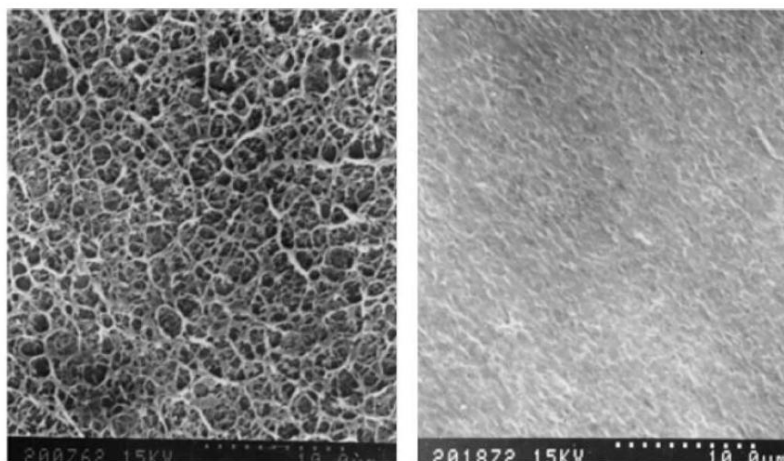
## 2.2 เซลลูโลสเมมเบรน

กระบวนการ regeneration ได้ถูกนำมาใช้ในการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรนอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมการผลิตเซลลูโลสเมมเบรนนั้นนิยมใช้กระบวนการคิวแพรมโมเนียม (cuprammonium process) ในการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรนและในกระบวนการดังกล่าวมีการใช้ สารละลายคิวปรอออกไซด์ (cupric oxide) เป็นตัวทำละลาย แต่พบว่าคอปเปอร์(II) ในสารละลาย คิวปรอออกไซด์นั้นค่อนข้างมีความเป็นพิษกับเซลล์ของมนุษย์ เห็นได้จากรายงานของงานวิจัย หลายชิ้นที่กล่าวถึงในก่อนหน้านี้ ดังนั้นในทางการแพทย์ เซลลูโลสเมมเบรนมักเป็นที่วิตกกังวลถึงเรื่อง ความเข้ากันได้ทางชีวภาพในการใช้เป็นเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียม

ในงานวิจัยด้านการใช้เซลลูโลสเมมเบรนในกระบวนการฟอกเลือดด้วยเครื่องไตเทียมนั้น ผลการใช้เซลลูโลสเมมเบรนในเครื่องไตเทียมแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นพิษกับเซลล์มนุษย์สูงกว่า เมมเบรนสังเคราะห์อื่นๆ เช่น พอลิซัลโฟน, พอลิเอเธอร์ซัลโฟน, พอลิคาร์บอเนต รวมไปถึง เซลลูโลสแอซิเตตเมมเบรน หมูไฮดรอกซิลและทองแดงที่หลงเหลืออยู่ภายหลังจากกระบวนการเตรียม เซลลูโลสเมมเบรนนั้นถูกสันนิษฐานว่าอาจเกิดอันตรกิริยากับเซลล์มนุษย์ โดยการไปกระตุ้นระบบ ภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้แสดงผลความเข้ากันได้ทางชีวภาพต่ำกว่าเมมเบรนชนิดอื่น [9, 10, 12, 18]

ในปัจจุบันนี้ มีงานวิจัยใหม่ๆที่เปลี่ยนมาใช้สารละลายที่ไม่เป็นพิษ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์, ไทโอยูเรียและยูเรีย เพื่อใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่ สารจำพวกกรด, เบส และน้ำ เช่น กรดไฮโดรคลอริก, แอมโมเนียมซัลเฟต ถูกเลือกใช้เป็นสารก่อการจับก้อนในขั้นตอน การจับก้อน โดยสารดังกล่าวให้แก๊สเป็นแหล่งกำเนิดรูพรุนให้กับเมมเบรน

ในปี ค.ศ. 2002 Zhou และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรนสร้างใหม่ โดยเลือกใช้ ตัวทำละลายใหม่ๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแล้วล้อม นักวิจัยกลุ่มนี้ได้เลือกใช้เส้นใยฝ้ายเป็นแหล่ง ของเซลลูโลส โดยการนำเส้นใยไปละลายในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรีย ใช้แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารก่อการจับก้อนของเมมเบรน ทางผู้วิจัยกลุ่มนี้ประสบความสำเร็จใน การเตรียมเซลลูโลสเมมเบรน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเมื่อวัดด้วยเทคนิค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Spectroscopy, SEM) 180 - 380 นาโนเมตร ทั้งยังมีความแข็งแรงมากกว่าเมมเบรนที่เตรียมขึ้นจากเทคนิคอื่น ลักษณะของเมมเบรน ถูกแสดงในภาพถ่ายจากเทคนิค SEM ดังภาพที่ 2.7 [16]



ภาพที่ 2.7 ภาพถ่าย SEM ของเซลล์ไฮโดรเจลโพลีอะคริลามิเดที่เตรียมขึ้นใหม่มีรูพรุนและมุมตัดขวาง

ในปี ค.ศ. 2004 Ruan และคณะ ประสบความสำเร็จในการเตรียมเซลล์ไฮโดรเจลโพลีอะคริลามิเดที่มีรูพรุนขนาดเล็กด้วยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และไทโอยูเรียเป็นสารละลาย และใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารก่อการจับก้อนของเมมเบรน จากตารางที่ 2.1 เมมเบรนที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 312 ถึง 523 นาโนเมตร เมื่อวัดด้วยเทคนิค SEM และมีปริมาณรูพรุนสูงถึง 90% โดยผู้วิจัยกลุ่มนี้เน้นศึกษาถึงความเข้มข้นของสารก่อการจับก้อน ( $c1$ -  $c20$ ) และเวลาในการจับก้อน ( $t1$ -  $t20$ ) ว่าส่งผลต่อขนาดและปริมาณรูพรุนได้อย่างไร [17] โดยผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อการจับก้อนแล้วนั้น ขนาดรูพรุนมีแนวโน้มเล็กลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งที่ความเข้มข้นสูงเกินไปพบว่าขนาดรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับผลของการศึกษาด้านเวลาในการจับก้อน พบว่าเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้นขนาดรูพรุนมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งที่เวลาในการจับก้อนสูงเกินไป พบว่าขนาดรูพรุนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและสถานะที่ให้รูพรุนขนาดเล็กที่สุดคือการใช้ความเข้มข้นของสารก่อการจับก้อน 5% ร้อยละโดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการจับก้อน 4-5 นาที อย่างไรก็ตามผลของปริมาณรูพรุนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนและปริมาณรูพรุนของเมมเบรนที่ใช้สารก่อการจับก้อน และเวลาในการจับก้อนแตกต่างกัน

รหัสตัวอย่าง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน		ปริมาณรูพรุน(%)
	2re (nm)		
	ด้านบน	ด้านล่าง	
RCN-c1	514/0.105	241/0.068	91

<b>RCN-c3</b>	366/0.071	187/0.072	92
<b>RCN-c5</b>	321/0.078	195/0.069	92
<b>RCN-c10</b>	312/0.066	189/0.084	92
<b>RCN-c20</b>	451/0.082	232/0.083	93
<b>RCN-t1</b>	491/0.094	262/0.076	92
<b>RCN-t3</b>	504/0.105	320/0.078	92
<b>RCN-t5</b>	341/0.071	253/0.069	92
<b>RCN-t10</b>	523/0.104	255/0.070	91
<b>RCN-t20</b>	471/0.102	308/0.073	92

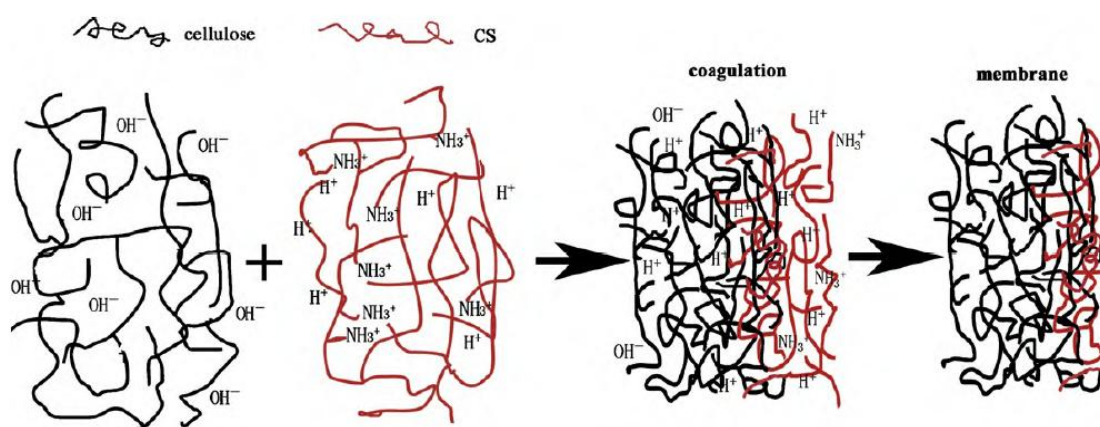
ในปี ค.ศ. 2006 Mao และคณะ ได้ศึกษาผลของการเลือกใช้สารก่อการจับก้อนที่แตกต่างกัน ต่อโครงสร้างของรูพรุนภายในเมมเบรน โดยทางผู้วิจัยกลุ่มนี้ได้เลือกใช้เส้นใยฝ้ายเป็นแหล่งของเซลลูโลส จากนั้นนำมาละลายในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรีย จากนั้นเลือกใช้สารก่อการจับก้อนที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ คือ กรดซัลฟิวริก, กรดแอสซิทิก, กรดซัลฟิวริกผสมโซเดียมซัลเฟต, โซเดียมซัลเฟต, แอมโมเนียมซัลเฟต, น้ำ, เอทานอลและแอสซิโตน จากนั้นทำการศึกษาความแตกต่างของขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุนดังตารางที่ 2.2 ทางผู้วิจัยกลุ่มนี้ได้สรุปว่าสารก่อการจับก้อนที่ใช้ทั้งหมดนั้นให้ผลการทดลองที่ดีทุกตัว แต่พบว่าสารก่อการจับก้อนประเภทกรดให้เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนเล็กกว่าสารก่อการจับก้อนประเภทน้ำและเบส และเมื่อวัดด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscopy, AFM) พบว่าขนาดรูพรุนเล็กกว่าเมื่อวัดด้วยเทคนิค SEM [22]

ตารางที่ 2.2 ขนาดเส้นผ่านรูพรุนของเมมเบรนที่ใช้สารก่อการจับก้อนต่างชนิดกัน

รหัสเมมเบรน	จากภาพ SEM			จากภาพ AFM	
	ด้านบน	ด้านข้าง	ด้านหลัง	ด้านบน	ด้านหลัง
	2re (nm)	2re (nm)	2re(nm)	2re (nm)	2re (nm)
<b>RC-HSO</b>	265	211	202	126	115
<b>RC-HAc</b>	314	213	203	131	105
<b>RC-HNa</b>	302	224	222	135	118
<b>RC-NaSO</b>	355	228	216	153	125

<b>RC-NHSO</b>	320	200	185	134	111
<b>RC-HO</b>	330	214	180	145	119
<b>RC-ET</b>	730	266	359	184	120
<b>RC-AC</b>	280	173	-	122	96

ในปี ค.ศ. 2010 Xiong และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรน เพื่อใช้ในการแยกสารโดยอาศัยค่าความเป็นกรด-เบส มีการใช้เส้นใยฝ้ายเป็นแหล่งกำเนิดเซลลูโลส จากนั้นนำมาละลายในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และไทโอยูเรีย ใช้โคโคซาน (CS) ในกรดแอสทิกเป็นสารช่วยในการจับก้อนของเมมเบรนดังที่เห็นในภาพที่ 2.8 ทางผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จในการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรนที่ใช้ในงานเฉพาะทางได้ [24]



ภาพที่ 2.8 แบบแผนกระบวนการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรน

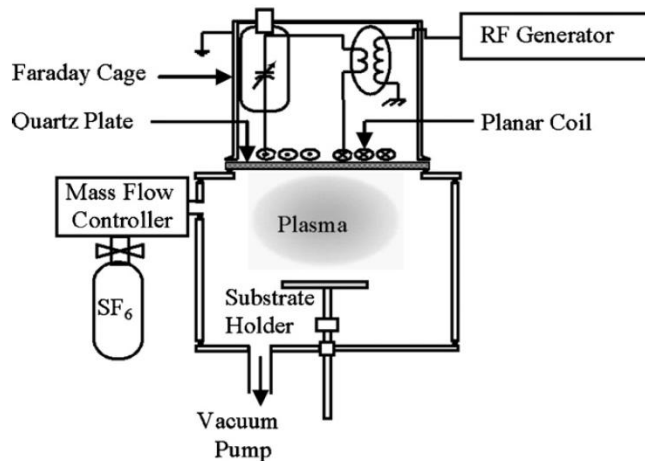
อย่างไรก็ตามกระบวนการเตรียมเซลลูโลสเมมเบรนนั้นยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านการเลือกใช้สารเคมีต่างๆ เพื่อกำหนดขนาดรูพรุน, เพิ่มความแข็งแรง หรือการปรับปรุงให้ใช้งานได้เฉพาะทาง การเลือกใช้งานตามขนาดรูพรุนนั้นต้องเตรียมเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าสารที่เราต้องการให้ซึมผ่าน แต่เล็กกว่าสารที่เราไม่ต้องการให้ซึมผ่าน ตัวอย่างเช่น การฟอกเลือดในกระบวนการไตเทียม ต้องเตรียมเมมเบรนให้มีขนาดรูพรุนเล็กกว่าขนาดเม็ดเลือด แต่ใหญ่กว่าขนาดของยูเรียและสารเคมีอื่นๆที่ต้องการให้ผ่านไปได้ สำหรับการพัฒนาสมบัติบนผิวเมมเบรนให้ใช้งานได้เฉพาะทางนั้น เช่นการแยกสารละลายไม่มีขี้ผึ้งต้องมีการเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำลงบนผิวเมมเบรน การใช้เป็นชั้นส่วนด้านนอกของผ้าปิดแผลต้องมีการเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียลงบนผิวเมมเบรน การใช้เป็นเมมเบรนยึดติดกับเซลล์เนื้อเยื่อต้องมีการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่ช่วยลดความ

เป็นพิษและช่วยให้เซลล์เจริญเติบโตได้ดีลงไป ดังนั้นงานวิจัยด้านการพัฒนาเซลล์โลสเมมเบรนนั้น นับว่าเป็นงานวิจัยอีกสาขาหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน

### 2.3 กระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา

กระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นนับว่าเป็นเทคโนโลยีสีเขียวกระบวนการหนึ่ง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ก่อมลพิษและสารตกค้างเป็นจำนวนที่น้อยถึงน้อยมาก [3] เมื่อเทียบกับการตัดแปรผิวด้วยกระบวนการทางเคมี [43] กระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาได้ถูกใช้ในการตัดแปรผิวของวัสดุ พลาสมานั้นกำเนิดจากแก๊สที่ถูกกระตุ้นให้แตกตัวด้วยแหล่งพลังงานสูง หรือความต่างศักย์ที่สูงมากพอ เครื่องให้กำเนิดพลาสมาสามารถเรียกชื่อได้ตามแหล่งให้กำเนิด เช่น อาร์-เอฟ พลาสมา (radio frequency plasma, RF plasma) หมายถึง พลาสมาที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สเมื่อได้รับคลื่นความถี่วิทยุขนาดสูง ดังในภาพที่ 2.9, ไมโครเวฟ พลาสมา (microwave plasma, MW plasma) หมายถึง พลาสมาที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สเมื่อได้รับคลื่นความถี่ไมโครเวฟ, เอ-ซี พลาสมา (alternating current plasma, AC plasma) หมายถึง พลาสมาที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สเมื่อได้รับพลังงานจากไฟฟ้ากระแสสลับ, ดี-ซี พลาสมา (direct current plasma, DC plasma) หมายถึง พลาสมาที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สเมื่อได้รับพลังงานจากไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น และเครื่องให้กำเนิดพลาสมายังสามารถเรียกชื่อตามระบบความดันได้ ดังนี้ ระบบผลิตพลาสมาความดันต่ำ (low pressure plasma) ในระบบนี้ต้องใช้ปั๊มช่วยในการทำให้ความดันภายในเครื่องลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการพลาสมาที่สะอาดมาก ไม่มีสปิชีส์ของแก๊สอื่นๆ จากภายนอกปนเปื้อนเนื่องจากเป็นระบบปิด และระบบผลิตพลาสมาความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure plasma) ในระบบนี้จุดพลาสมาภายใต้ความดันบรรยากาศ เหมาะกับชิ้นงานขนาดใหญ่ มีการปนเปื้อนแก๊สจากภายนอกสูงเพราะเป็นระบบเปิด

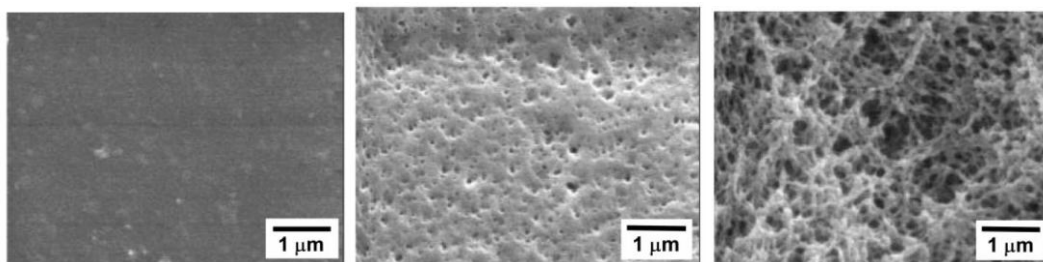
ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้อาร์-เอฟ พลาสมา (RF plasma) ที่ใช้ระบบผลิตพลาสมาความดันต่ำช่วยในการตัดแปรผิวของเซลล์โลสเมมเบรน เพื่อควบคุมสปิชีส์ต่างๆที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าพลาสมาระบบเปิด ในสภาวะของพลาสมานั้นอุดมไปด้วยสปิชีส์ต่างๆ อยู่มากมาย ได้แก่ อนุโมลอิสระ, ประจุบวกและประจุลบ เป็นต้น กระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การปรับเปลี่ยนพลังงานพื้นผิวของวัสดุ, ใช้ในการเกิดพอลิเมอร์ภายใต้สถานะพลาสมา, ใช้ในการทำมาสะอาดผิววัสดุและยังสามารถใช้ประโยชน์อื่นๆได้อีกมากมาย [1-8, 33-36, 38, 40, 42, 44, 45]



ภาพที่ 2.9 เครื่องอาร์เอฟพลาสมาที่ใช้สำหรับตัดแปรผิวชิ้นงานประเภทผ้าและเส้นใย

เป็นที่ทราบกันดีสำหรับนักวิจัยเชิงพลาสมาว่า พลาสมาจากแก๊สต่างชนิดกันนั้นให้สมบัติของพื้นผิวที่ได้รับการตัดแปรด้วยพลาสมาที่แตกต่างกัน เช่น พลาสมาของแก๊สออกซิเจนให้สมบัติความชอบน้ำ [4, 36], พลาสมาของแก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ( $\text{SF}_6$ ) หรือแก๊สอื่นที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบเช่นเตตระฟลูออโรมีเทน ( $\text{CF}_4$ ) ให้สมบัติความไม่ชอบน้ำ [3] และพลาสมาจากแก๊สเฉื่อยให้พวกอนุโมลอิสระ [6] เป็นต้น ชนิดของแก๊สได้ถูกเลือกใช้ไปตามสมบัติของพลาสมาที่นักวิจัยต้องการ งานวิจัยที่ใช้พลาสมาตัดแปรผิวของเมมเบรนที่น่าสนใจ มีดังนี้

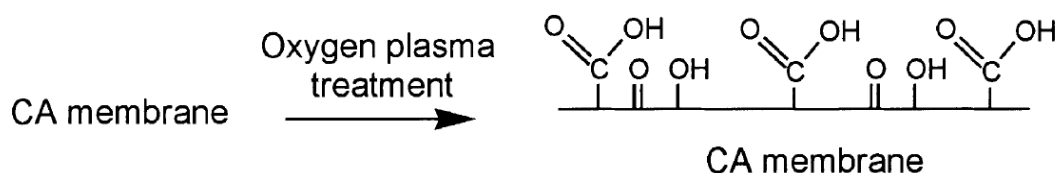
ในปี ค.ศ. 2002 Olde Riekerink และคณะ ได้ศึกษาผลของการตัดแปรผิวเซลลูโลสแอซีเทตเมมเบรนด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{CF}_4$  และพลาสมาแก๊สของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) โดยการปรับเปลี่ยนเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาให้แตกต่างกันและศึกษาผลของการกักกรองของพลาสมาต่อเมมเบรนพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิวให้ยาวนานขึ้นนั้น ผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{CO}_2$  พลาสมาเกิดความขรุขระและปริมาณรูพรุนเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนดังที่แสดงในภาพที่ 2.10 พลาสมาของแก๊ส  $\text{CF}_4$  ได้เข้าไปสร้างพันธะของฟลูออรีนที่แข็งแรงบนผิวชั้นบนสุดของเมมเบรน ทำให้ความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้น [45]



ภาพที่ 2.10 ผิวของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาเปรียบเทียบกับเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{CO}_2$  เป็นเวลา 30 และ 60 นาที

ในปี ค.ศ. 2002 Steen และคณะ ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาอุณหภูมิต่ำของน้ำลงไปบนผิวของเมมเบรนสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น พอลิซัลโฟน, พอลิอีเธอร์ซัลโฟนและพอลิเอทิลีน เพื่อเพิ่มความชอบน้ำให้กับเมมเบรน รวมไปถึงศึกษาความเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุบนพื้นผิวรวมไปโครงสร้างพื้นผิวที่เปลี่ยนไป พบว่าเมมเบรนทั้ง 3 ชนิดนั้นเกิดหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และผลของความชอบน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจนและปริมาณรูพรุนที่เพิ่มขึ้น [5]

ในปี ค.ศ. 2002 Kusumocahyo และคณะ ได้ศึกษาและพัฒนาเซลลูโลสแอซีเตตเมมเบรนเพื่อการใช้งานทางด้านการระเหยเป็นไอ โดยการใช้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊สออกซิเจนลงไปบนผิวของเมมเบรน เพื่อเพิ่มความชอบน้ำให้กับเมมเบรน ดังที่เห็นในภาพที่ 2.11 โดยการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนลงไปบนผิว เช่น หมู่คาร์บอนิล, คาร์บอกซิลและแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการอื่นเพื่อให้ได้เมมเบรนตามวัตถุประสงค์ผู้วิจัยต่อไป [4]

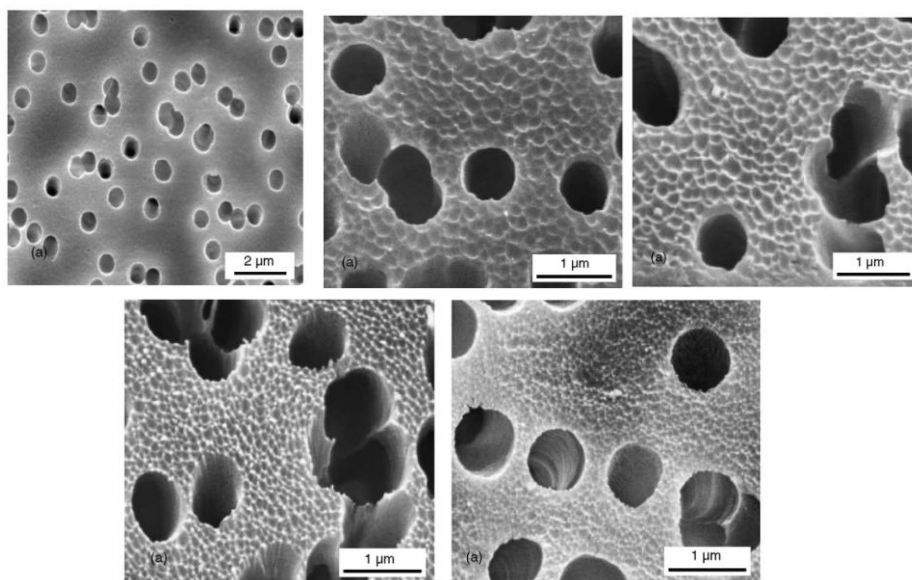


ภาพที่ 2.11 การเข้าไปแทนที่หมู่แอซีเตตของออกซิเจนพลาสมาในเซลลูโลสแอซีเตตเมมเบรน

ในปี ค.ศ. 2003 B. Sartowska และคณะ ได้ศึกษาการตัดแปรผิวของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) เมมเบรนด้วยพลาสมา ว่าส่งผลอย่างไรต่อพื้นผิวและรูพรุนของเมมเบรน โดยอาศัยภาพถ่ายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยทำการปรับเปลี่ยนแก๊สที่ให้กำเนิดพลาสมาแตกต่างกัน เช่น แก๊สออกซิเจน, แก๊สไนโตรเจน, แก๊สอาร์กอนและแก๊สแอมโมเนียดัง รวมไปถึงปรับเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาแตกต่างกัน

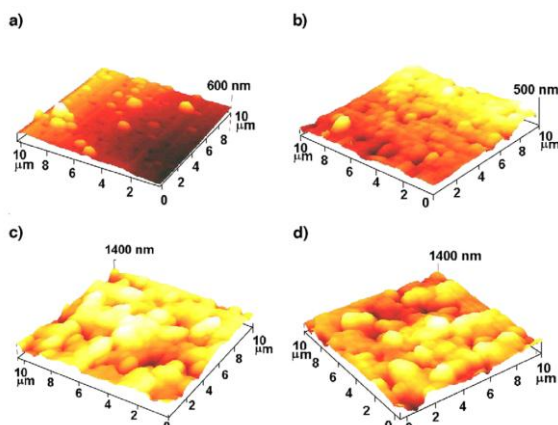


เพื่อศึกษาผลของพื้นผิวและรูพรุนเมมเบรนที่เปลี่ยนไป ในภาพที่ 2.12 พบว่าปริมาณความขรุขระบนพื้นผิวเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเป้าหมายต่อไปของผู้วิจัยต้องการหาเทคนิคทำความสะอาดหรือกักกรองพื้นผิวโดยไม่ใช้สารเคมี [8]



ภาพที่ 2.12 ภาพ SEM แสดงผิวของ PET เมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาและที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ อาร์กอน, ไนโตรเจน, แอมโมเนียและออกซิเจน ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2005 Lazea และคณะ ได้ศึกษาผลของการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของอากาศและแก๊สแอมโมเนียลงบนผิวของพอลิเอสเตอร์เมมเบรน เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นบนผิวเมมเบรนก่อนและหลังการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา โดยทำการศึกษาจากความขรุขระของผิวรวมไปถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนจากเทคนิค AFM ดังในภาพที่ 2.13 และทำการศึกษาผลของค่ากำลังไฟฟ้าและเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาที่ใช้ต่อค่ามุมสัมผัสที่เปลี่ยนไป พบว่าหลังจากตัดแปรผิวด้วยพลาสมาแล้วความขรุขระบนผิวเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อใช้เวลาในการตัดแปรผิวยาวนานขึ้น ความขรุขระเพิ่มขึ้นช้าลง นอกจากนี้พลาสมาของแก๊สแอมโมเนียยังช่วยเพิ่มขนาดรูพรุนให้กับเมมเบรนอีกด้วย ทางผู้วิจัยกลุ่มนั้นยังพบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำและเวลาในการตัดแปรผิวสั้นๆ พบว่าช่วยเพิ่มความชอบน้ำให้กับเมมเบรน แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นและเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิว พบว่าเมมเบรนมีความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้นแทน [7]



ภาพที่ 2.13 ภาพจำลอง AFM เปรียบเทียบระหว่างเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  
อากาศ 0.4 ทอร์ ที่เวลา 1, 5, 10, และ 15 นาที

ในปี ค.ศ. 2010 Gulec และคณะ ได้ตัดแปรผิวของเซลลูโลสแอซีเทตเมมเบรนด้วยพลาสมาอุณหภูมิต่ำ ในกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ภายใต้สถานะพลาสมาโดยใช้เอทิลีนไดเอมีนเป็นมอนอเมอร์ เพื่อเพิ่มขนาดรูพรุนและประสิทธิภาพการแยกสารให้กับเมมเบรน โดยมีการใช้พลาสมาจากแก๊สอาร์กอนช่วยลดความว่องไวของอนุภาคอิสระในเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา [6]

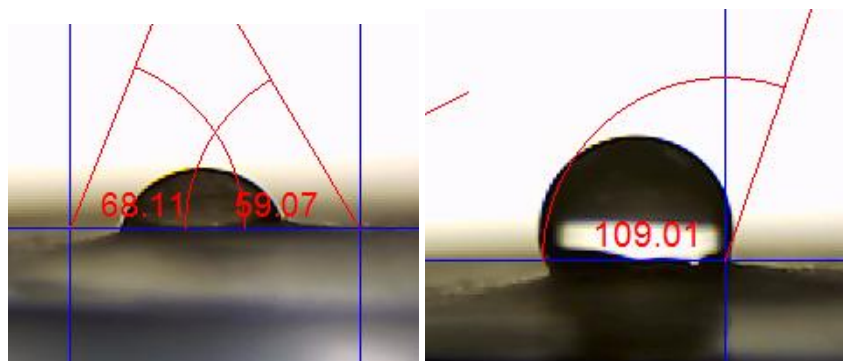
ในปี ค.ศ. 2010 Pertile และคณะ ได้พัฒนาแบคทีเรียเซลลูโลสเมมเบรน (bacterial cellulose membranes) เพื่อการใช้งานทางชีวการแพทย์ โดยทำการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊สไนโตรเจนลงบนผิวของเมมเบรนเพื่อเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างเซลล์ จากนั้นทำการวิเคราะห์การยึดเกาะของเซลล์เนื้อเยื่อตัวอย่างที่ใช้ทำการทดสอบ จากงานวิจัยพบว่าพลาสมาของแก๊สไนโตรเจนช่วยเพิ่มค่ามุมสัมผัส 10-15 องศา ดังในภาพที่ 2.14 และยังไปช่วยเพิ่มปริมาณรูพรุนให้กับเมมเบรนและปรับเปลี่ยนสมบัติทางเคมีบนผิวเมมเบรนด้วยการเพิ่มหมู่ไนโตรเจนที่ช่วยในการยึดติดของเซลล์ ทำให้เซลล์เจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ได้ช่วยเพิ่มแนวทางของงานวิจัยในการตัดแปรผิวของเมมเบรนด้วยพลาสมาว่าส่งผลต่ออันตรกิริยาระหว่างเซลล์ [44]

กระบวนการพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำนั้นได้รับการศึกษากันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนสมบัติของพื้นผิววัสดุของพอลิเมอร์และเมมเบรนตามการปรับเปลี่ยนชนิดของแก๊สที่ถูกใช้เป็นแหล่งพลาสมา ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยเลือกใช้  $SF_6$  เป็นแหล่งของฟลูออรีนเพื่อใช้ในการเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ โดยเครื่องให้กำเนิดพลาสมาที่ทางผู้วิจัยใช้นั้น เป็นเครื่องกำเนิดพลาสมาที่ใช้ความถี่คลื่นวิทยุหรือที่เรียกว่าอาร์-เอฟพลาสมา ความถี่คลื่นวิทยุถูกใช้ในการแตกตัวแก๊สให้กลายเป็นพลาสมาสปีชีส์ต่างๆ ตัวเครื่องปฏิกรณ์และขั้วอิเล็กโตรดถูกผลิตขึ้นจากสแตนเลส โดยตัวอย่างถูกนำไปวางไว้บนแผ่นรองรับภายใต้ขั้วอิเล็กโตรด ความถี่วิทยุที่ใช้ในระบบคือ 13.56 เมกกะเฮิร์ตต์ ปรับเปลี่ยนสภาวะที่ใช้ เช่น ใช้กำลังไฟฟ้า 25-75 วัตต์, ความดัน 0.05-0.5 ทอร์ และ

ระยะเวลาในการตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสมา 1-20 นาที โดยทางทีมผู้วิจัยก่อนหน้านี้ในหน่วยวิจัยพลาสมาเป็นผู้พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์พลาสมาชนิดอาร์-เอฟ พลาสมาขึ้นได้เอง

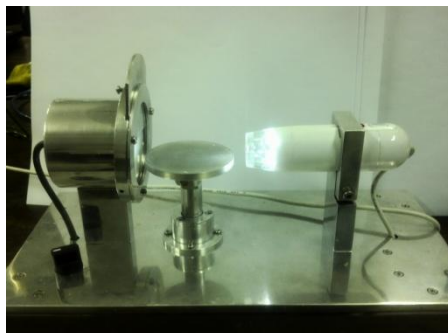
## 2.4 สมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ

สมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือ พลังงานพื้นผิว (surface energy) ของวัสดุนั้น วัสดุที่มีพลังงานพื้นผิวสูงนั้นมีสมบัติความชอบน้ำสูง วัสดุที่มีพลังงานพื้นผิวดำนั้นมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูง โดยปัจจัยอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยเสริมก็คือลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวัสดุ เช่น ความขรุขระ พบว่าค่าความขรุขระที่ต่างกันส่งผลต่อค่าความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำที่ต่างกันด้วย [46]



ภาพที่ 2.14 ค่ามุมสัมผัสแสดงสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของผิววัสดุ

เทคนิคการวัดมุมสัมผัสถูกใช้เพื่อวัดความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของวัสดุ ค่ามุมสัมผัสคือมุมระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของเหลว-ของแข็ง ดังในภาพที่ 2.14 โดยวัสดุที่มีค่าความชอบน้ำสูงนั้นมีค่ามุมสัมผัสที่ต่ำ เช่นเดียวกับวัสดุที่มีค่าความไม่ชอบน้ำสูงนั้นมีค่ามุมสัมผัสที่สูงเช่นกันและเทคนิคการวัดมุมสัมผัสนั้นสามารถใช้หาเวลาในการดูดซึมน้ำ (absorption time) รวมทั้งใช้ทดสอบเวลาในการเสื่อมสภาพ (aging time) ได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสอย่างง่ายในการหาค่ามุมสัมผัสของตัวอย่าง ดังภาพที่ 2.15 โดยการวางตัวอย่างแล้วหยดน้ำลงไปจากนั้นใช้โปรแกรมคำนวณค่ามุมสัมผัสและยืนยันด้วยการวัดมุมสัมผัสด้วยมืออีกครั้งหนึ่ง ทดสอบ 3 จุดต่อ 1 ตัวอย่าง จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของค่ามุมสัมผัสแล้วรายงานผลทดสอบต่อไป



ภาพที่ 2.15 เครื่องวัดมุมสัมผัสอย่างง่ายที่ได้รับการพัฒนาจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธรรมชาติของเซลลูโลสเมมเบรนนั้นมีความชอบน้ำสูงมาก ในการเตรียมบางเทคนิคนั้นได้เซลลูโลสเมมเบรนที่มีความชอบน้ำมากจนไม่อาจวัดค่ามุมสัมผัสได้เลย เพราะน้ำได้ถูกดูดซึมลงไปบนผิวเมมเบรนอย่างรวดเร็ว มีนักวิจัยหลากหลายคณะที่ต้องการเพิ่มความไม่ชอบน้ำลงไปให้กับวัสดุที่มีความชอบน้ำสูงเช่นเซลลูโลส เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการใช้งานหรือเพิ่มประโยชน์ด้านอื่นๆ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดแปรผิวของวัสดุเพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติความชอบน้ำให้มีความไม่ชอบน้ำสูงขึ้นนั้นมีอยู่หลากหลายงานวิจัย และงานวิจัยที่น่าสนใจมีดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 2007 Ho และคณะ ได้ตัดแปรผิวเส้นใยคาร์บอนด้วยพลาสมาผสมของแก๊สคลอโรไดฟลูออโรมีเทนและแก๊สไนโตรเจนในระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ เพื่อเพิ่มหมู่ของฟลูออรีนลงไปบนผิวของเส้นใย เมื่อวัดค่ามุมสัมผัสก่อนและหลังการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาแล้วนั้นพบว่าค่ามุมสัมผัสหลังการตัดแปรผิวด้วยพลาสมามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 70 องศาเป็น 100 องศา และเมื่อทดสอบซ้ำในอีก 1 เดือนต่อมา ค่ามุมสัมผัสยังคงมีค่าสูงถึง 95 องศา [33]

ในปี ค.ศ. 2009 Yoon และคณะ ได้พัฒนาเส้นใยเซลลูโลสแอซิเตดที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยขึ้นรูปเส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning) จากนั้นได้นำเส้นใยที่ได้มาตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $CF_4$  ที่ใช้เวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาแตกต่างกัน เมื่อวัดค่ามุมสัมผัสก่อนและหลังการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาพบว่าค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นจาก 142 องศา เป็น 153 องศา และพบว่าค่ามุมสัมผัสนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง จากนั้นค่ามุมสัมผัสกลับมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการตัดแปรผิวสูงเกินไป แสดงว่าการใช้สภาวะที่รุนแรงมากเกินไปไม่ได้ช่วยให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มสูงขึ้นอย่างที่ต้องการ [35]

ในปี ค.ศ. 2010 Kamlangkla และคณะ ได้ตัดแปรผิวของผ้าฝ้ายด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  จากนั้นศึกษาถึงน้ำหนักของผ้าที่เปลี่ยนไปหลังตัดแปรผิวด้วยพลาสมา และทำการศึกษาความแข็งแรงเชิงกล, สัมฐานวิทยาที่เปลี่ยนไป, และสมบัติความไม่ชอบน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังที่เห็นในตารางที่ 2.3 โดยมีการปรับเปลี่ยนสภาวะต่างๆ ว่าส่งผลต่อสมบัติเช่นไร พบว่าหลังจากตัดแปร

พลาสติกของแก๊ส SF<sub>6</sub> ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นสูงมาก จากเดิม 0 องศาเป็น 145-149 องศา และค่าความแข็งแรงเชิงกลลดลงเล็กน้อยเนื่องจากผลของการกัดกร่อนของพลาสติก ส่งผลต่อเนื่องถึงความขรุขระที่เพิ่มขึ้นบนผิวของผ้าฝ้าย และเมื่อทำการทดสอบเวลาในการเสื่อมสภาพนั้น แม้เก็บตัวอย่างไว้ถึง 4 สัปดาห์ ตัวอย่างที่ผ่านการอบพลาสติกที่ 30 นาที ยังคงสภาพสดใหม่เหมือนเช่นเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านการซักล้างหลายๆ รอบ ค่ามอดุลัสกลับยิ่งลดลงแสดงให้เห็นว่าหมู่ฟลูออรีนบนผิวผ้าฝ้ายไม่สามารถทนแรงซักล้างได้บ่อยครั้งนัก [3]

**ตารางที่ 2.3** ค่ามอดุลัสของผ้าฝ้ายที่อบพลาสติกของแก๊ส SF<sub>6</sub> ที่เวลาในการอบพลาสติกแตกต่างกันภายใต้ความดันคงที่ที่ 0.5 ทอร์

ค่ามอดุลัส (±5°) vs เวลาในการอบ	ระยะเวลาที่เก็บ (สัปดาห์)				วัฏจักรการซักล้าง (รอบ)				
	ทันที	1	2	3	4	ทันที	1	2	3
Untreated	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 วินาที	145	0	0	0	0	145	0	0	0
30 วินาที	145	113	108	105	102	145	0	0	0
1 นาที	146	126	123	120	117	146	0	0	0
3 นาที	147	138	135	130	126	147	0	0	0
5 นาที	148	141	139	137	135	148	20	10	0
10 นาที	149	148	147	145	142	149	85	74	50
30 นาที	149	148	147	146	145	149	120	110	100

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้พลาสติกของแก๊ส SF<sub>6</sub> ที่ให้หมู่ฟลูออรีนไปช่วยเพิ่มค่ามอดุลัสให้กับเมมเบรน เนื่องจากแก๊ส SF<sub>6</sub> นั้นมีราคาถูกและสามารถซื้อขายได้ตามปกติ แก๊ส CF<sub>4</sub> ที่ให้หมู่ฟลูออรีนเช่นกันแต่เป็นแก๊สที่มีราคาแพงและห้ามซื้อขายแบบปกติเนื่องจากเป็นแก๊สเรือนกระจก [47-50] ดังนั้นการเลือกใช้พลาสติกจากแก๊ส SF<sub>6</sub> ดูสมเหตุสมผลกว่า คาดว่าหลังจากตัดแปรผิวเมมเบรนด้วยพลาสติกของแก๊ส SF<sub>6</sub> ทำให้เมมเบรนมีค่าความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้นและคาดว่าผลของมอดุลัสที่เพิ่มขึ้นได้ไปช่วยลดความเป็นพิษกับเซลล์และเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียต่อไป

## 2.5 ความเป็นพิษกับเซลล์ (cytotoxicity) และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility)

วัสดุทางการแพทย์แทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นเมมเบรนที่ใช้ในเป็นอุปกรณ์ในกระบวนการฟอกเลือดของไตเทียม ดังในภาพที่ 2.16 [51], อุปกรณ์ที่ต้องฝังลงไปในร่างกายมนุษย์ [52] หรืออุปกรณ์ทางทันตกรรม ล้วนต้องผ่านการทดสอบเบื้องต้นเรื่องความเป็นพิษกับเซลล์ โดยวัสดุได้ถูกทดสอบด้วยเซลล์ไฟโบรบลาสต์จากเนื้อเยื่อของหนู (fibroblast cells) เป็นตัวทดสอบ และทดสอบตามหลัก MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) assay [53] สำหรับขั้นตอนรายละเอียดขออธิบายในภายหลัง วัสดุที่นำมาใช้งานทางการแพทย์ได้ต้องมี %การมีชีวิตรอด (%viability) หมายถึงปริมาณเซลล์ที่รอดชีวิตของตัวอย่างที่ถูกทดสอบ ต้องมีค่าสูงกว่า 70% เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม จัดว่าไม่มีความเป็นพิษกับเซลล์ และอาจสามารถนำมาใช้กับเซลล์มนุษย์ได้ อย่างไรก็ตามการที่นำวัสดุชนิดใดไปใช้งานทางการแพทย์จริงๆ นั้น ต้องมีการทดสอบกับเซลล์ชนิดอื่นๆ อีก รวมไปถึงขั้นตอนการทดสอบภายนอก (*in vitro*) และภายในสิ่งมีชีวิต (*in vivo*) เพื่อความปลอดภัยสูงสุดของมนุษย์

ความเข้ากันได้ทางชีวภาพนั้นถูกทำการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่าตัวอย่างที่นำมาใช้งานทางการแพทย์นั้นมีความเข้ากันได้กับเซลล์มนุษย์หรือไม่ เซลล์ที่มักนำมาทดสอบคือน้ำเลือดและเซลล์เม็ดเลือดขาว โดยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวที่เปลี่ยนไป ส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และยังบอกถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพของตัวอย่างต่อเซลล์ที่ทดสอบ รวมไปถึงในบางการ ทดสอบมีการทดสอบจริงกับมนุษย์ (ผู้ป่วย) โดยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง, เซลล์เม็ดเลือดขาว และระบบภูมิคุ้มกันต่างๆ ของมนุษย์ที่ถูกทดสอบได้ถูกนำมาศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้ดีกับร่างกายมนุษย์ต่อไป

อย่างไรก็ตามงานวิจัยประเภทนี้ต้องได้รับความยินยอมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องก่อน เพราะการทดสอบกับเซลล์สัตว์หรือเซลล์มนุษย์ รวมไปถึงสัตว์ทดลองไม่ใช่เรื่องทางวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ยังเกี่ยวข้องกับเรื่องทางศีลธรรมและจรรยาบรรณของนักวิจัยที่ต้องทำงานด้านนี้อีกด้วย ถือว่าเป็นขีดจำกัดสำหรับนักวิจัยในสายงานที่ไม่เกี่ยวข้อง สำหรับงานวิจัยทางด้านการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเซลล์และเซลล์โลสเมมเบรน รวมไปถึงเซลล์โลสอื่น ๆ นั้นมีอย่างหลากหลาย [53] โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและน่าสนใจ มีดังต่อไปนี้

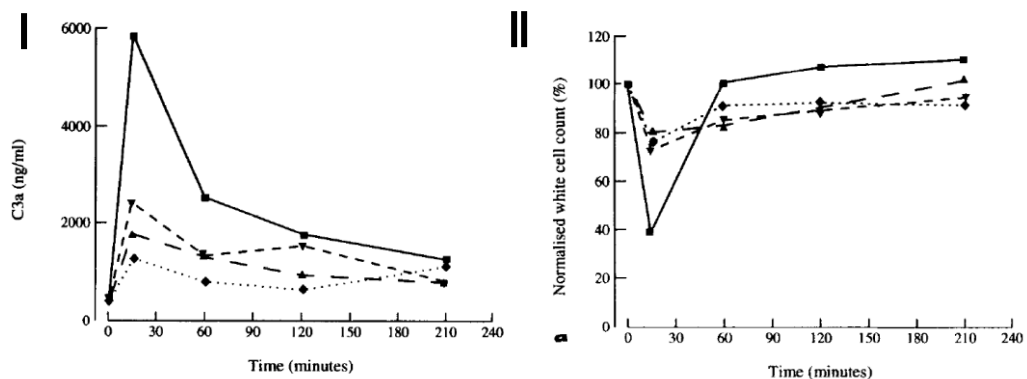


ภาพที่ 2.16 เครื่องกรอง (filter) ในเครื่องฟอกเลือดในกระบวนการไตเทียมโดยดำนในบรรจุ เมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการไตเทียม

ในปี ค.ศ. 1990 Cheung และคณะ ได้ศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเมมเบรนฟอกเลือด กับองค์ประกอบของน้ำเลือด (plasma) โดยได้ศึกษาอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบของ เลือดและเมมเบรน นักประสาทวิทยาได้ศึกษาทั้งระบบภูมิคุ้มกันและเซลล์เม็ดเลือด ในงานวิจัย กล่าวถึงคำจำกัดความของความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเมมเบรนฟอกเลือด หมายถึงตัวอย่างที่ นำมาทดสอบนั้นต้องไม่มีความเป็นพิษและสร้างความผิดปกติในร่างกาย โดยระบบการกระตุ้น ภูมิคุ้มกัน (complement system) ในร่างกายเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อน อธิบายอย่างง่ายว่าการ กระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกายทำการศึกษได้จากโปรตีนขนาดเล็กในน้ำเลือด พบว่ามีการแตกสลาย เมื่อน้ำเลือดถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเป็นพิษต่างๆ และจับตัวกันเป็น โปรตีนขนาดเล็กชนิดใหม่ สามารถ ตรวจวัดได้จากปริมาณ โปรตีนชนิด C3a และ C5a ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายถูก กระตุ้น หมายความว่าถ้ามีปริมาณ โปรตีน C3a และ C5a สูงขึ้น แสดงว่าระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ได้แสดงความเป็นพิษออกมาแล้ว กลุ่มวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับผู้ป่วยที่ได้รับการฟอกเลือดจริง เมมเบรนที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดีต้องไม่ไปกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้ผู้ป่วยรู้สึก ระคายเคืองได้ อย่างไรก็ตามเมมเบรนที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพต่ำต้องไปกระตุ้น โปรตีนใน เลือดให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายถูกกระตุ้นให้สูงขึ้น สามารถวัดได้ จากปริมาณ C3a และ C5a ที่เพิ่มสูงขึ้น [12]

ในปี ค.ศ. 1995 Hoenich และคณะ ได้ศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเมมเบรนที่ใช้ในการ บำบัดผู้ป่วยไตวาย เมมเบรนฟอกเลือดที่มีช่วงการซึมผ่านสารละลายหลากหลายได้ถูกนำมาใช้ใน การรักษาผู้ป่วยมากมาย โดยมีทั้ง เซลลูโลสเมมเบรน, เซลลูโลสแอสีเทตเมมเบรนและเมมเบรน

สังเคราะห์ชนิดอื่นๆ ความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเมมเบรนแต่ละชนิดนั้นวัดได้จากปริมาณโปรตีน C3a และ C5a ในระบบการกระตุ้นภูมิคุ้มกันและการเปลี่ยนแปลงของเซลล์เม็ดเลือดขาวในน้ำเลือด ข้อสรุปของงานวิจัยนี้คือเซลล์โลสเมมเบรนนั้นมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพต่ำที่สุดกับร่างกาย เนื่องจากพบว่าเมื่อผู้ป่วยผ่านการบำบัด 30 นาที โปรตีน C3a ในน้ำเลือดถูกกระตุ้นให้แตกตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังในภาพที่ 2.17 อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาการบำบัดผ่านไปนานกว่า 1 ชั่วโมง ระบบภูมิคุ้มกันและปริมาณเม็ดเลือดขาวของผู้ป่วยที่ใช้เซลล์โลสเมมเบรนในกระบวนการฟอกไตเทียม ได้กลับมาเป็นปกติสำหรับเซลล์โลสแอซีเททเมมเบรน และเมมเบรนสังเคราะห์ชนิดอื่นที่แสดงเป็นเส้นประในภาพที่ 2.17 นั้น พบว่ามีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูงกว่าเซลล์โลสเมมเบรนค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากพบการเปลี่ยนแปลงของระบบภูมิคุ้มกันและปริมาณเม็ดเลือดขาวเพียงเล็กน้อย [10]

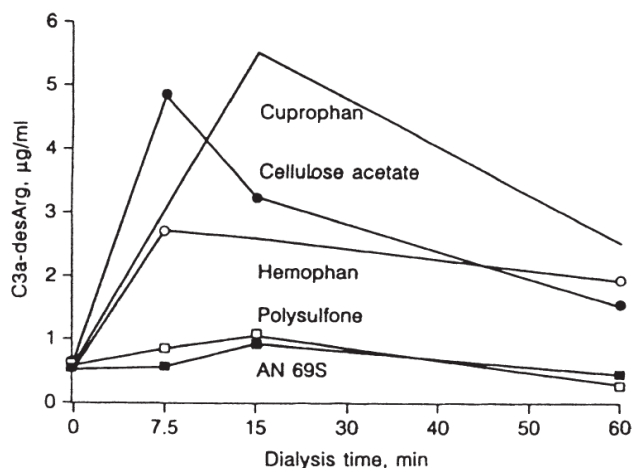


ภาพที่ 2.17 เส้นทึบแสดงระดับของของโปรตีน C3a ในน้ำเลือดที่เพิ่มสูงขึ้น (I) และปริมาณเม็ดเลือดขาวในน้ำเลือดที่ลดลงอย่างมาก (II) เมื่อใช้เซลล์โลสเมมเบรนในกระบวนการไตเทียมเปรียบเทียบกับเมมเบรนสังเคราะห์ชนิดอื่น

ในปี ค.ศ. 2002 Opajjareonsuk และคณะ ได้ศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเมมเบรนฟอกเลือด โดยการนำเมมเบรนชนิดต่างๆ มาทดสอบในการฟอกเลือดในผู้ป่วยไตวาย จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบภูมิคุ้มกันเมื่อถูกกระตุ้นในเมมเบรนแต่ละชนิด รวมไปถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของเม็ดเลือดขาวด้วย จากผลการศึกษาปรากฏว่าเซลล์โลสเมมเบรนแสดงความเข้ากันได้ทางชีวภาพต่ำกว่าเมมเบรนสังเคราะห์อื่นๆ โดยดูได้จากภาพที่ 2.18 ปริมาณ C3a ได้เพิ่มขึ้นสูงกว่าเมมเบรนอื่นๆ ส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการอาเจียนและวิงเวียนศีรษะ สำหรับเซลล์โลสแอซีเททเมมเบรนและเมมเบรนสังเคราะห์อื่นๆ เช่น พอลิซัลโฟน ให้ผลข้างเคียงต่อผู้ป่วยที่ต่ำกว่า



เซลลูโลสเมมเบรน ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้เนื่องจากเซลลูโลสเมมเบรนที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน ชื่อทางการค้าคือ Cuprophan® [9]

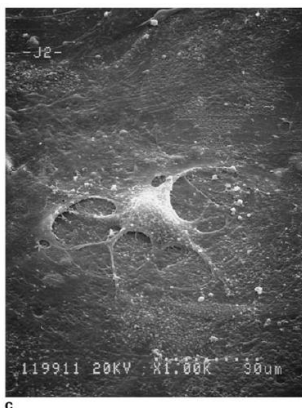


ภาพที่ 2.18 ระดับการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน C3a ที่เกิดจากการใช้เมมเบรนต่างชนิดกัน

ในปี ค.ศ. 2003 Yuan และคณะ ได้ศึกษาและพัฒนาการเพิ่มความเข้ากันระหว่างน้ำเลือดและผิวของเซลลูโลสเมมเบรนกราฟท์ด้วยบีเทน (betaine) ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการกราฟท์สารลงไปบนผิวของเซลลูโลสเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ของน้ำเลือด โดยทำการทดสอบกับเกล็ดเลือดของมนุษย์ ผลปรากฏว่าเมมเบรนที่ผ่านการกราฟท์นั้นช่วยป้องกันการยึดติดของเกล็ดเลือดที่ผิวเมมเบรน เป็นการช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ของเลือดกับเมมเบรนได้อย่างยอดเยี่ยมเพราะการมีเกล็ดเลือดติดที่เมมเบรนปริมาณมากนั้นส่งผลให้เลือดจับตัวกัน จนเลือดมีการแข็งตัวส่งผลเสียต่อร่างกาย เกล็ดเลือดแตกต่างกับเซลล์ร่างกายชนิดอื่นที่ใช้ทดสอบเพราะเซลล์ร่างกายชนิดอื่นเมื่อสามารถยึดติดกับเมมเบรนได้ดีส่งผลต่อสามารถเจริญเติบโตที่ดีและทำให้มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูงขึ้น [54]

ในปี ค.ศ. 2004 Hoenich ได้นำเสนอข้อมูลใหม่ๆ เกี่ยวกับการศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเมมเบรนฟอกเลือด งานวิจัยนี้เน้นการนำเสนอข้อมูลงานวิจัยใหม่เปรียบเทียบระหว่างเซลลูโลสเมมเบรน, เซลลูโลสเมมเบรนที่ดัดแปรหมู่ฟังก์ชันและเมมเบรนสังเคราะห์ ว่ามีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการรักษาผู้ป่วยไตวาย และยังมี การโต้แย้งกันอย่างมากมายในการเลือกใช้เซลลูโลสเมมเบรนผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ หรือเมมเบรนสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้อย่างชัดเจนในขณะนั้น มีกลุ่มวิจัยมากมายพยายามพัฒนา เมมเบรนของตนให้มีประสิทธิภาพและความเข้ากันได้กับเซลล์ในร่างกายได้ดียิ่งขึ้น ไปอีก [18]

ในปี ค.ศ.2006 Granja และคณะ ได้ศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเซลลูโลสฟอสเฟต เซลลูโลสฟอสเฟตที่ใช้ในงานนี้นั้นได้จากการกราฟท์หมู่ฟอสเฟตลงไปที่บนรีเจนเนอเรต เซลลูโลสไฮโดรเจล (regenerated cellulose hydrogels) ผลิตโดยกระบวนการทางความหนืด (viscose process) หรือชื่อในทางการค้าคือ CRV<sup>®</sup> ผู้วิจัยทดสอบความเป็นพิษ, การยึดติดกับเซลล์ และการเจริญเติบโตของเซลล์ด้วยเซลล์กระดูกมนุษย์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เซลลูโลสฟอสเฟตไม่มีความเป็นพิษกับเซลล์ รวมไปถึงรีเจนเนอเรตเซลลูโลสไฮโดรเจลได้ แสดงผลการยึดติดและเจริญเติบโตของเซลล์กระดูกมนุษย์ได้อย่างดี ดังในภาพที่ 2.19 อย่างไรก็ตามการเพิ่มหมู่ฟอสเฟตที่มีความชอบน้ำสูงและปรับเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนผิว CRV<sup>®</sup> นั้นแสดงให้เห็นถึงการยึดติดและเจริญเติบโตของเซลล์กระดูกมนุษย์ที่แย่กว่า CRV<sup>®</sup> ที่ไม่ได้ดัดแปรผิว แต่ก็ยังไม่ได้แสดงความเป็นพิษกับเซลล์ ทำให้การกราฟท์หมู่ฟอสเฟตลงไปที่นั่นกลับไม่ช่วยให้ ความเข้ากันได้ทางชีวภาพของเซลล์เพิ่มสูงขึ้น [20]



ภาพที่ 2.19 การยึดติดของเนื้อเยื่อบนผิวของรีเจนเนอเรตเซลลูโลสไฮโดรเจล

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเห็นได้ว่าเซลลูโลสนั้นได้ถูกนำมาใช้งานทางการแพทย์อย่างแพร่หลายและเซลลูโลสเมมเบรนยังได้ถูกนำมาใช้งานในกระบวนการฟอกเลือดในผู้ป่วยไตเทียมอย่างมากมาย แต่กลับมีงานวิจัยหลายงานวิเคราะห์ว่าเซลลูโลสเมมเบรนนั้นมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพต่ำกว่าเมมเบรนอื่นๆ มีความเป็นไปได้ว่าตัวเซลลูโลสมีความเป็นพิษกับเซลล์ ข้อสันนิษฐานนี้ถูกคาดเดาว่าเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ

1. เซลลูโลสนั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก มีความเป็นไปได้ในการไปกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้ปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง หรืองานวิจัยบางชิ้นแย้งว่าความเป็นพิษในลักษณะเดียวกันนี้ไม่น่าเป็นเหตุผลที่ถูกต้องของความเป็นพิษของเซลลูโลสต่อเซลล์ เนื่องจากวัสดุชนิดอื่นที่มีหมู่ไฮดรอกซิลกลับไม่แสดงผลความเป็นพิษกับเซลล์ [20]

2. เนื่องจากเซลล์โลสเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองเตรียมได้จากกระบวนการคิวแพรมโมเนียม มีความเป็นไปได้ว่ามีคอปเปอร์(II) หลงเหลืออยู่ในกระบวนการผลิต ดังนั้นคอปเปอร์(II) อาจไปทำอันตรกิริยากับระบบภูมิคุ้มกันและเซลล์เม็ดเลือดขาว จนเกิดความเป็นพิษกับเซลล์เพิ่มขึ้นได้ [9, 10, 12]

ข้อสันนิษฐานที่เป็นไปได้มากกว่านั้นควรเป็นข้อ 2 กล่าวคือความเป็นพิษเกิดจากคอปเปอร์(II) ที่อาจตกค้างหลงเหลืออยู่บนเมมเบรน เพราะมีงานวิจัยบางชิ้นรายงานว่าริเจนเนอเรตเซลล์โลสจากเทคนิคอื่น ที่ไม่ได้ใช้กระบวนการคิวแพรมโมเนียมนั้นแสดงผลการยึดติดและเจริญเติบโตของเซลล์ค่อนข้างดี อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้เมมเบรนที่เป็นพิษต่อเซลล์น้อยลงคือหลีกเลี่ยงความเป็นพิษจากข้อสันนิษฐานทั้ง 2 ข้อนั้น ทางผู้วิจัยมีความประสงค์ในการเตรียมริเจนเนอเรตเซลล์โลสเมมเบรนขึ้นเอง โดยใช้กระบวนการที่คาดว่าไม่เป็นพิษกับเซลล์เพราะสารเคมีที่ใช้มีความอันตรายค่อนข้างต่ำ จากนั้นนำไปคัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  เพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำ เพิ่มหมู่ฟลูออรีนและลดจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวเมมเบรนลง เพื่อให้ได้เมมเบรนที่มีความไม่ชอบน้ำสูงขึ้น, มีความเป็นพิษกับเซลล์ลดลงและมีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์นั้นถูกทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10993-5: 1999 (E) หรือเรียกว่า MTT assay ทดสอบโดยการนำเซลล์เนื้อเยื่อของหนูที่ใช้ทดสอบประมาณ 1 แสนเซลล์เพาะลงไปในงานหลุม 96 หลุม (96-well plates) ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ (culture medium) ที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1^\circ C$ , คาร์บอนไดออกไซด์  $5 \pm 0.1\%$ , และความชื้นสัมพัทธ์  $95 \pm 5\%$  ให้คล้ายกับร่างกายมนุษย์มากที่สุด เป็นเวลา  $24 \pm 2$  ชั่วโมง หลังจากนั้นได้ชั้นของแผ่นเซลล์ให้นำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ภายในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชุดนั้นมีการเติมตัวควบคุมอื่นๆ เพื่อใช้เป็นตัวทดสอบและตัวควบคุมการทดสอบ โดยขั้นตอนวิธีการทดสอบโดยละเอียดนั้น ได้อธิบายในบทที่ 3 บทของวิธีการดำเนินงานวิจัยต่อไป

## 2.6 สมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย

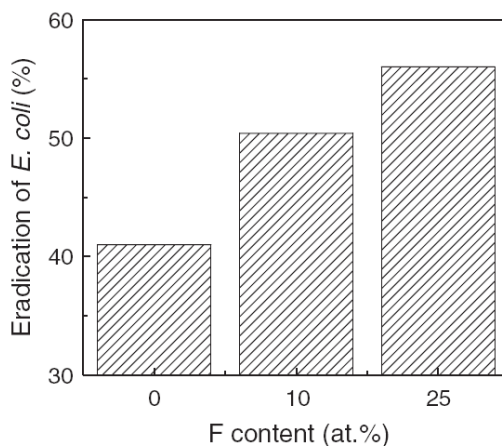
สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียและจุลินทรีย์นั้นเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายเนื่องจากในแวดวงทางการแพทย์ต้องการใช้วัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ปลอดภัย การใช้สารเคมีกราฟท์ลงบนเมมเบรนเพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียนั้นก็มีความน่าสนใจ [55] หรือเป็นการเลือกใช้สารที่มีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียเติมลงไปในพอลิเมอร์แล้วขึ้นรูปด้วยเทคนิคต่างๆก็ยังสามารถทำได้ [56] รวมทั้งการผลิตฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชร โดยอาศัยเทคนิคพลาสมาที่ให้สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียก็มีความน่าสนใจเช่นกัน [57] จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมามีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียขึ้นอยู่กับค่ามุมสัมผัสและพลังงานพื้นผิว ที่ส่งผลต่อการ

ยึดเกาะของเซลล์แบคทีเรียบนพื้นผิววัสดุ รวมไปถึงการปลดปล่อยไอออนของธาตุบางชนิดเข้าไปทำร้ายชั้นเมมเบรนของเซลล์แบคทีเรียให้เกิดการแตกออก จนเซลล์แบคทีเรียไม่สามารถมีชีวิตอยู่ต่อไปได้ [42] กระบวนการคัดแปรผิวด้วยพลาสมาเพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากใช้สารเคมีน้อยกว่าเทคนิคอื่น รวมไปถึงการช่วยลดการเกิดมลพิษได้สูงกว่าเทคนิคอื่นๆ เช่นกัน

การทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการเติบโตของแบคทีเรียในวัสดุ โดยทางผู้วิจัยคาดว่าวัสดุที่ยังไม่ได้ผ่านการคัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  นั้นไม่มีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในวัสดุที่ผ่านการคัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $SF_6$  นั้นมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอีกทางหนึ่งให้กับเมมเบรน โดยฟลูออรีนได้ช่วยเพิ่มค่ามุมสัมผัสให้สูงขึ้นและลดพลังงานพื้นผิวลง [39, 58, 59] ทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และมีบางงานวิจัยรายงานว่าฟลูออรีนได้ส่งผลต่อชั้นไขมันที่หุ้มอยู่ภายนอกของแบคทีเรียให้เกิดความไม่เสถียรอย่างรุนแรงจนทำให้แบคทีเรียตายได้ โดยงานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียที่เกี่ยวกับพลาสมา และผลของหมู่ฟลูออรีนที่น่าสนใจมีดังต่อไปนี้

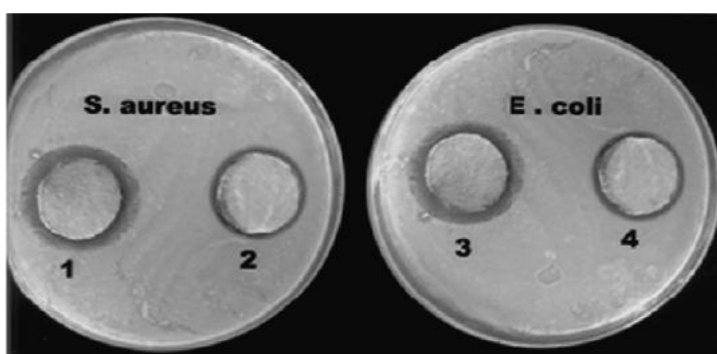
ในปี ค.ศ. 2006 Gimenez และคณะ ได้ศึกษาถึงผลของฟลูออรีนในสายเปปไทด์ขนาดสั้นว่าส่งผลอย่างไรต่อการยับยั้งแบคทีเรีย พวกเขาได้อธิบายว่าการมีอยู่ของฟลูออรีนในเปปไทด์นั้นส่งผลให้ค่าความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้น จนไปมีผลทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรียลดลง [59]

ในปี ค.ศ. 2006 Ishihara และคณะ ได้ศึกษาฤทธิ์ของการต้านเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรมีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ (F-DLC) โดยการเตรียมด้วยพลาสมาของแก๊สผสมระหว่างอาร์กอน, มีเทนและ  $CF_4$  คณะผู้วิจัยพบว่าค่าพลังงานพื้นผิวของฟิล์มลดลงเมื่อมีปริมาณฟลูออรีนสูงขึ้น เกิดจากฟลูออรีนทำให้พื้นผิวของฟิล์มมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทดสอบฤทธิ์ของการต้านเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ของฟิล์มแล้วนั้นพบว่าปริมาณแบคทีเรีย *E.coli* ที่ถูกทำลายได้มีปริมาณสูงขึ้นสอดคล้องกับปริมาณฟลูออรีนบนผิวฟิล์มที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ดังในภาพที่ 2.20 เห็นได้ว่าเมื่อปริมาณฟลูออรีนเพิ่มขึ้น 25% แล้วนั้น ปริมาณแบคทีเรียที่ถูกทำลายได้เพิ่มขึ้นอีก 25% เช่นกัน [39]



ภาพที่ 2.23 ปริมาณแบคทีเรีย *E.coli* ที่ถูกทำลายเปรียบเทียบกับปริมาณฟลูออรีนบนผิวฟิล์ม

ในปี ค.ศ. 2007 Vaideki และคณะ ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการยับยั้งแบคทีเรียเมื่อทำการตัดแปรรูปร่างของผ้าฝ้ายด้วยพลาสติกของแก๊สออกซิเจนและสารสกัดจากสะเดา (neem extract) เมื่อตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสติกของออกซิเจนลงบนผ้าฝ้ายนั้น ค่ามุมสัมผัสได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จากนั้นทำการตัดแปรรูปร่างด้วยสารสกัดจากสะเดาลงไปบนผ้าฝ้ายอีกที โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดจากสะเดาระหว่างการตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสติกของแก๊สออกซิเจนลงไปช่วย และการไม่ตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสติกของแก๊สออกซิเจน พบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสติกนั้นมีขอบเขตการยับยั้งมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตัดแปรรูปร่าง ดังในภาพที่ 2.21 [36] และได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในปี ค.ศ. 2008 โดยทำการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารสกัดที่ใช้ต่อผ้าฝ้าย ว่าส่งผลต่อแบคทีเรียได้อย่างไร พบว่าเมื่อผ่านการอบพลาสติกแล้วนั้น เป็นการเพิ่มความแรงของขี้ผึ้งกับหมู่คาร์บอนิลและยังไปช่วยเพิ่มการดูดซับสารสกัดลงบนผ้าฝ้ายให้มากขึ้นด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น [2]



ภาพที่ 2.21 โซนการยับยั้งแบคทีเรียระหว่างผ้าที่ตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสติก (1, 3) และไม่ได้ตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสติก (2, 4)

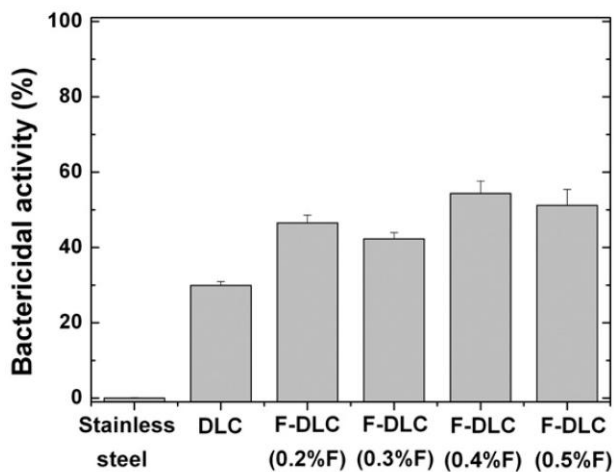
ในปี ค.ศ. 2009 Canal และคณะ ได้ทำการศึกษาสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าปิดแผล (wound dressing) ที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอน (Ar) และแก๊ส  $CF_4$  โดยการเลือกใช้ผ้าปิดแผลที่ทำจากผ้าต่างชนิดกันคือ ผ้าฝ้าย, ผ้าขนสัตว์, และไนลอน ผลปรากฏว่าเมื่อตัดแปรผิวด้วยพลาสมาลงไปบนผิวของผ้าแล้วนั้น พบว่าผ้าขนสัตว์และไนลอนนั้นมีปริมาณแบคทีเรียลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณฟลูออรีนเพิ่มสูงขึ้น ดังที่เห็นในตารางที่ 2.4 คาดว่าเกิดจากฟลูออรีนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสและความขรุขระของผิวที่เพิ่มเช่นกัน เป็นผลทำให้แบคทีเรียยึดเกาะบนผ้าได้ยากขึ้น ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทำให้ปริมาณแบคทีเรียมีค่าลดลงสำหรับผลทางด้านการเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นไม่สามารถบอกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามผ้าฝ้ายกลับมีผลการยับยั้งแบคทีเรียแตกต่างจากผ้าชนิดอื่น เนื่องจากค่ามุมสัมผัสและความขรุขระบนผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นกลับมีลักษณะเรียบและค่ามุมสัมผัสต่ำมาก ทำให้ผ้าฝ้ายไม่มีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย ทางผู้วิจัยกลุ่มนี้ยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป [40]

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการลดลงของแบคทีเรีย *E.coli* บนผ้าที่อบด้วยพลาสมาของแก๊ส Ar- $CF_4$  ที่เวลาในการอบพลาสมาแตกต่างกัน

เวลาในการอบพลาสมาของ Ar- $CF_4$ (นาที)	ปริมาณแบคทีเรียที่ลดลง (%)	
	ผ้าขนสัตว์	พอลิเอไมด์ 6
20	89	87
40	90	84
80	94	87

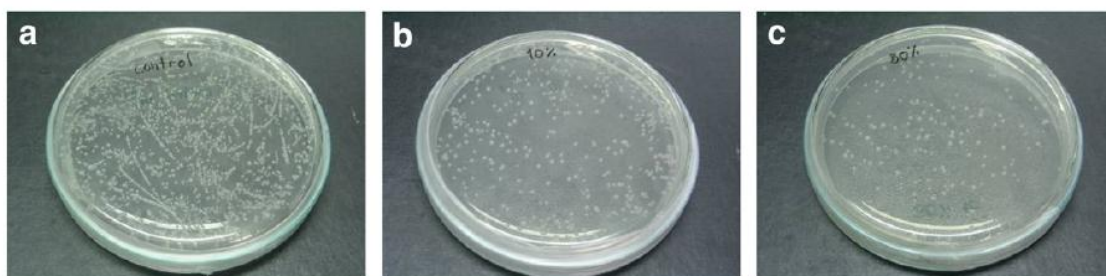
ในปี ค.ศ. 2010 Maciano และคณะ ได้ศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรมีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ (F-DLC) จากวิธีการเตรียมด้วยพลาสมา PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) โดยมีเป้าหมายคือการผลิตชิ้นส่วนเพื่อการใช้งานทางชีวการแพทย์ด้วยการเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย การเตรียมฟิล์มบางในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคพลาสมาเข้าช่วย โดยการใช้แก๊สมีเทนผสมกับแก๊ส  $CF_4$  เพื่อกำหนดความเข้มข้นของปริมาณฟลูออรีนให้แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณฟลูออรีนที่เพิ่มขึ้นต่อกลไกการยึดติดของแบคทีเรีย ส่งผลมาจากทฤษฎีกลศาสตร์ความร้อน โดยทดสอบกับแบคทีเรีย *E.coli* ผลปรากฏว่าเมื่อปริมาณฟลูออรีนบนพื้นผิวฟิล์มบางคาร์บอนคล้ายเพชรเพิ่มสูงขึ้น ฤทธิ์ของการต้านเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังที่เห็นในภาพที่ 2.22 พบว่าแบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้บนฟิล์ม

และจากภาพถ่าย SEM คาดว่าชั้นเมมเบรนของแบคทีเรียได้ถูกทำลายด้วยฟลูออรีนทำให้เซลล์แบคทีเรียแตกออก จนปริมาณแบคทีเรียลดลงอย่างเห็นได้ชัด [37]



ภาพที่ 2.22 ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเมื่อมีปริมาณฟลูออรีนแตกต่างกันที่ 0 ถึง 0.5%

ในปี ค.ศ. 2011 Boonyawan และคณะ ได้ศึกษาสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของฟลูออรีน-ริชคาร์บอนฟิล์มสะสมบนพอลิแล็กติกแอซิด (fluorine-rich carbon films deposited on poly(lactic acid)) โดยใช้เทคนิคการเตรียมฟิล์มด้วยพลาสมา PECED เช่นกัน โดยเลือกใช้แก๊สผสมระหว่างอะเซทิลีนและแก๊ส  $CF_4$  เพื่อผลิตฟิล์มบางบนผิวพอลิแล็กติกแอซิด พบว่าพอลิแล็กติกแอซิดที่มีปริมาณฟลูออรีนอยู่บนผิวมากขึ้น แสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการมีพันธะ  $-CF_x$  เพิ่มมากขึ้น และฟิล์มที่มีปริมาณฟลูออรีนสูงมากแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *E. coli* อย่างยอดเยี่ยม ดังในภาพที่ 2.23 เมื่อเพิ่มปริมาณฟลูออรีนเป็น 25% นั้น ปริมาณโคโลนีของแบคทีเรีย *E. coli* ลดลงถึง 92.2% จากตัวอย่างควบคุม [58]



ภาพที่ 2.23 ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเมื่อปริมาณฟลูออรีนแตกต่างกันที่ 0 ถึง 25%

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดพบว่ามีการใช้เทคนิคพลาสมาจากแก๊สที่ให้หมู่ฟลูออรีนช่วยในการดัดแปรผิวของวัสดุให้มีปริมาณฟลูออรีนบนผิวให้สูงขึ้น และเมื่อทำการทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียแล้วนั้น พบว่าปริมาณแบคทีเรียที่พบบนผิวของวัสดุที่มีหมู่ฟลูออรีนอยู่มากมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีหมู่ฟลูออรีนอยู่บนผิว และมีหลายงานวิจัยรายงานว่าหมู่ของฟลูออรีนช่วยเพิ่มค่ามุมสัมผัส, ลดพลังงานพื้นผิวรวมไปถึงการปลดปล่อยฟลูออไรด์ไอออน (fluoride ion) ของผิววัสดุอาจส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยเลือกใช้พลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ช่วยในการดัดแปรผิวของเมมเบรนเพื่อเพิ่มปริมาณฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนให้สูงขึ้น คาดว่าผลของการเพิ่มหมู่ฟลูออรีนนี้นั้นช่วยเพิ่มฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียให้กับเมมเบรน ส่งผลให้เมมเบรนนั้นมีประสิทธิภาพการใช้งานในทางการแพทย์ที่สูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 100-1999 โดยขั้นตอนวิธีการทดสอบโดยละเอียดนั้น ได้อธิบายในบทที่ 3 บทของวิธีการดำเนินงานวิจัย



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

งานวิจัยนี้ใช้ผักตบชวาเป็นแหล่งของเซลลูโลส ผักตบชวาแห่งนี้ได้รับจากภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผักตบชวาแห่งนี้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 12.6-12.8% และสารเคมีที่ใช้ทั้งหมดในงานวิจัยนี้นั้นเป็นสารเคมีเกรดงานวิเคราะห์

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 99%) ของบริษัท Merck ประเทศไทย
- ไทโอยูเรีย (CS(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 99%) ของบริษัท Loba Chemie ประเทศไทย
- แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 99%) ของบริษัท Baker & Adamson quality ประเทศสหรัฐอเมริกา
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%) ของบริษัท Merck ประเทศไทย
- โซเดียมซิลิเกต (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (Na<sub>2</sub>O 10.6%, SiO<sub>2</sub> 26.5%)) ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO<sub>4</sub> 99%) ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- แก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub> 99.99%) ของบริษัทแลบแก๊ส (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศไทย

#### 3.2 การเตรียมเส้นใยเซลลูโลส

ในการต้มเชื้อผักตบชวาได้ทำตามวิธีของ widyanto [27] โดยการนำผักตบชวาแห้งมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 นิ้ว จากนั้นนำไปต้มด้วยหม้อต้มเหี่ยวความดันสูง ในสถานะที่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง เดิม น้ำกลั่นในอัตราส่วนของน้ำกลั่นต่อน้ำหนักแห้งของผักตบชวาที่ 7:1 ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีลักษณะสีน้ำตาลแยกออกจากสารประกอบพวกลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่มีลักษณะสีค่อนข้างดำ จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาล้างให้สะอาดและกรองผ่านตะแกรงที่มีรูพรุนขนาดละเอียดด้วยการให้น้ำไหลผ่าน ทำซ้ำหลายๆครั้งแล้วนำไปปั่นหมาด ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการนี้คือเส้นใยเซลลูโลสแห่งคิดเป็นร้อยละของผลผลิต 20-22% (%yield) เก็บเส้นใยในถุงพลาสติกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ภายในเครื่องทำความเย็นเพื่อรักษาความสดใหม่ของเส้นใยให้ใช้งานได้ยาวนาน

เมื่อนำเส้นใยออกมาใช้งาน ต้องนำเส้นใยเซลลูโลสมาปั่นให้มีขนาดเส้นใยสั้นลง ด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ทั่วไป จากนั้นนำเส้นใยขนาดเล็กที่ได้ มาล้างให้สะอาด กรองด้วยผ้าขาวบางแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำไปเก็บไว้ภายในตู้เก็บความชื้น ก่อนนำออกมาใช้งานในขั้นตอนต่อไป

### 3.3 การเตรียมเมมเบรนด้วยกระบวนการ regeneration

เส้นใยเซลลูโลสน้ำหนักแห้ง 1.54 กรัม ถูกนำมาย่อยให้เล็กลงในสารละลายผสมระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.5 M และไทโอยูเรียความเข้มข้น 0.65 M จากนั้นนำไปกวนด้วยเครื่องกวน (stirrer) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ของผสมของเซลลูโลสหนืด (cellulose slurry) นำเซลลูโลสหนืดที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-6^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $23 \pm 1$  ชั่วโมง นำออกมาและไปกวนต่อเพื่อให้เซลลูโลสที่เริ่มจับกลุ่มเป็นน้ำแข็งแตกกระจายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้เซลลูโลสที่มีลักษณะคล้ายเจลลี่เหลืองอ่อนออกมา

เตรียมสารละลายเพื่อใช้เป็นสารก่อการจับก้อน (coagulant) ของเซลลูโลส โดยการใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 5 % ร้อยละโดยน้ำหนัก เป็นสารก่อการจับก้อน จากนั้นนำเซลลูโลสที่ได้มากระจายตัวบนจานแก้วให้มีลักษณะคล้ายเจลมีความหนาประมาณ 10 มม และ 20 มม จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารก่อการจับก้อนทันที เป็นเวลา 4-5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เซลลูโลสเมมเบรนที่ได้ต้องถูกล้างด้วยน้ำสะอาดไหลผ่านเป็นเวลา 20-30 นาที เพื่อล้างสารละลายปนเปื้อนออกให้หมด จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 3 รอบ แล้วนำไปเป่าให้แห้งด้วยพัดลมที่อุณหภูมิห้อง ได้เซลลูโลสเมมเบรนที่มีน้ำหนักแห้ง 1.31 กรัม คิดเป็นร้อยละของผลผลิต 85%

จากนั้นนำรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรนที่ได้ มาฟอกขาวด้วยสารฟอกขาวเส้นใยผักตบชวา ความเข้มข้น 5 เท่าของที่ใช้ในการฟอกขาวเสียขี้ปอกติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฟอก คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100%, โซเดียมซัลไฟด์ 10%, แมกนีเซียมซัลเฟต 0.25% และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 7.5% ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง สารปนเปื้อนต่างๆ ที่หลงเหลืออยู่ในเซลลูโลสเมมเบรนได้ถูกขจัดออกภายในขั้นตอนการฟอกขาวนี้ สำหรับเซลลูโลสเมมเบรนที่ฟอกแล้วพบว่ามีความสว่างสูงกว่าเมมเบรนที่ยังไม่ได้ฟอก รวมไปถึงช่วยให้มีสีสันนำใช้งานมากขึ้น หลังจากผ่านการฟอกขาวแล้วน้ำหนักแห้งของเซลลูโลสเมมเบรนลดลงเหลือ 1.03 กรัม หรือคิดเป็นร้อยละของผลผลิต 79%

### 3.4 การตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสมา



ภาพที่ 3.1 เครื่องอาร์-เอฟ พลาสมา (RF plasma) ที่ใช้ในการตัดแปรรูปร่างของเซลลูโลสเมมเบรน

รีเจนเนอเรเตอร์เซลลูโลสเมมเบรนผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสฝักตบชวา ถูกตัดเป็นขนาดกว้าง 1 ซม ยาว 5 ซม จากนั้นนำไปตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ที่ถูกกระตุ้นด้วยความถี่คลื่นวิทยุ ในดังภาพที่ 3.1 ความถี่คลื่นวิทยุได้ถูกใช้เป็นที่กำเนิดพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  โดยการทำให้แก๊ส  $\text{SF}_6$  แตกตัวเป็นพลาสมา ภายในห้องเครื่องของระบบและขั้วอิเล็กโตรดนั้นได้ถูกผลิตขึ้นด้วยสแตนเลสอย่างดี และตัวอย่างถูกนำไปวางไว้บนแผ่นรองรับภายใต้ขั้วอิเล็กโตรด ความถี่วิทยุที่ใช้ในระบบคือ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตาม ในสภาวะการตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสมา นั้นได้ใช้สภาวะที่แตกต่างกันคือใช้กำลังไฟฟ้า 25-75 วัตต์, ความดัน 0.05-0.5 ทอร์ และ เวลาในการตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสมา 1-20 นาที โดยมีรหัสในการเรียกชื่อตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 3.1 รหัสในการเรียกชื่อตัวอย่างที่ผ่านการตัดแปรรูปร่างด้วยพลาสมา

ชื่อรหัสตัวอย่าง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความดัน (ทอร์)	เวลาในการตัดแปรรูปร่าง (นาที)
25W5	25	0.5	5
25W5-2	25	0.05	5
50W10	50	0.5	10
50W10-2	50	0.05	10

### 3.5 การวิเคราะห์สมบัติของเซลลูโลสเมมเบรน

3.5.1 ผิวของเมมเบรนถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM, JEOL model JSM-6480LV) เทคนิค SEM สามารถบอกได้ถึงขนาดรูพรุน, ปริมาตรรูพรุนรวมไปถึงลักษณะของพื้นผิวว่ามีความเรียบหรือขรุขระอย่างไร ในงานวิจัยนี้ได้ส่งตัวอย่างทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย

3.5.2 เทคนิคอิเล็กตรอนโพรบไมโครอนาไลซิส (Electron Probe Micro Analysis, EPMA, JEOL model JXA-8100/8200) ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณธาตุบนพื้นผิวของเมมเบรน โดยเฉพาะธาตุที่เราสนใจก็คือฟลูออรีน ปริมาณธาตุฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรน สอดคล้องกับค่าความสว่างของจุดสเปกตรัมที่ EPMA พบว่าปริมาณฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนยิ่งมากค่าความสว่างยิ่งเข้าใกล้สีแดงมากขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อมีปริมาณฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนน้อย ค่าความสว่างยิ่งเข้าใกล้สีน้ำเงินเข้มมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ส่งตัวอย่างทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย

3.5.3 หมู่ฟังก์ชันได้ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซ์-เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS, AXIS ULTRA<sup>DLD</sup> model, KRATOS ANALYTICAL, England) เทคนิค XPS ได้ช่วยแสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของเซลลูโลสก่อนและหลังการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> สามารถบอกสปีชีส์ต่างๆของฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรนได้อย่างแม่นยำ อาศัยหลักการที่ว่าพลังงาน binding energy (BE) ของอิเล็กตรอนของธาตุแต่ละชนิดที่จับกับพันธะของธาตุอื่นๆ นั้นมีค่าพลังงานเฉพาะตัว เทียบได้จากสมการ

$$E_k(e^-) = h\nu - E_b - \Phi = h\nu - (E_f - E_i) - \Phi$$

เมื่อ  $E_k$  หมายถึงพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่องมือ

$h\nu$  หมายถึงพลังงานของรังสีเอกซ์-เรย์ที่ถูกใช้งานวัดได้จากเครื่องมือ

$E_b$  หมายถึงค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานในสถานะสุดท้ายและสถานะเริ่มต้นของอิเล็กตรอนเป้าหมาย

$E_f$  หมายถึงพลังงานในสถานะสุดท้ายของอิเล็กตรอนเป้าหมาย

$E_i$  หมายถึงพลังงานในสถานะเริ่มต้นของอิเล็กตรอนเป้าหมาย

$\Phi$  หมายถึงพลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถจัดอิเล็กตรอนออกจากของแข็ง มีค่าคงที่

สำหรับพลังงานที่วัดได้จากเครื่อง XPS นั้นเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจากนั้นเครื่องได้แปลงค่าพลังงานจลน์จากสมการและรายงานผลเป็นพลังงาน  $E_b$  ความหมายของ  $E_b$  แตกต่างจากพลังงานยึดเหนี่ยวในทางเคมี ดังนั้นเมื่อสามารถวัดค่าพลังงานของอิเล็กตรอนแต่ละรูปแบบที่แสดงออกมาได้แล้วนั้น ทำให้สามารถบอกได้ว่าพลังงานค่านั้นแสดงถึงการจับพันธะของธาตุชนิดใดกับธาตุชนิดใดและจับในรูปแบบใด โดยอิเล็กตรอนที่มีค่า  $E_b$  สูง นั้นมีพลังงานจลน์ต่ำ เช่น พบพีคของ F Auger ที่ตำแหน่ง BE สูงกว่า F 1s เมื่อคำนวณจากสมการพบว่า F Auger มีพลังงานจลน์ต่ำกว่า F 1s สอดคล้องกับทฤษฎีว่า F Auger เป็นอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานหลายทอด ทำให้เคลื่อนที่ได้ไกลกว่าและมีพลังงานต่ำกว่า F 1s ที่ได้รับพลังงานจากรังสีเอกซ์-เรย์โดยตรง ในงานวิจัยนี้ได้ส่งตัวอย่างทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย

3.5.4 เทคนิคการวัดมุมสัมผัส (contact angle measurement) นั้นได้ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบหาค่าการเปียกน้ำของผิวเมมเบรน บอกได้ถึงความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของเมมเบรน รวมไปถึงสามารถหาเวลาในการดูดซับน้ำอีกทั้งยังใช้วัดระยะเวลาการเสื่อมสภาพของเมมเบรนที่คัดแปรผิวด้วยพลาสมาได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวัดค่ามุมสัมผัสด้วยตัวเองผ่านเครื่องวัดค่ามุมสัมผัสภายในศูนย์วิจัย โดยทำการวัดค่ามุมสัมผัส 3 จุด บน 1 ชิ้นงาน แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยรายงานเป็นผลทดสอบออกมา

3.5.5 การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ (cytotoxicity) นั้นถูกทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10993-5: 1999 (E) [53] หรือเรียกว่า MTT assay ทดสอบโดยการนำเซลล์เนื้อเยื่อของหนูที่ใช้ทดสอบประมาณ 1 แส่นเซลล์ เพาะลงไปในงานหลุม 96 หลุม (96-well plates) ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ (culture medium) ที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ , คาร์บอนไดออกไซด์  $5 \pm 0.1\%$  และความชื้นสัมพัทธ์  $95 \pm 5\%$  ให้คล้ายกับร่างกายมนุษย์มากที่สุด เป็นเวลา  $24 \pm 2$  ชั่วโมง หลังจากนั้นได้ชั้นของแผ่นเซลล์ให้นำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ภายในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชุดนั้นมีการเติมตัวควบคุมอื่นๆ เพื่อใช้เป็นตัวทดสอบและควบคุมการทดลอง

- ช่องที่ 1 มีอาหารเลี้ยงเซลล์เท่านั้น (blank) ใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบในการทดสอบ
- ช่องที่ 2 ตัวควบคุมไม่เกิดปฏิกิริยา (negative control) มีอาหารเลี้ยงเซลล์และกระจกสไลด์ ต้องไม่แสดงความเป็นพิษกับเซลล์
- ช่องที่ 3 ตัวควบคุมเกิดปฏิกิริยา (positive control) มีอาหารเลี้ยงเซลล์และฟิล์มพอลิยูรีเทนที่มี 0.1% ZDEC เป็นองค์ประกอบ ต้องแสดงความเป็นพิษกับเซลล์

- ช่องที่ 4 เป็นต้นไป มีอาหารเลี้ยงเซลล์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

หลังจากผ่านการเพาะเชื้อเรียบร้อยแล้วนั้น เซลล์ทั้งหมดถูกย้อมสีด้วยสารละลาย MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) และนำไปเพาะเชื้อต่ออีก 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างสารละลาย MTT ออกด้วย DMSO แล้วนำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร โดยเซลล์ที่ยังมีชีวิตได้เปลี่ยนสีของสารละลาย MTT จากสีเหลืองเป็นสีม่วงน้ำเงิน ดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร สำหรับเซลล์ที่ไม่มีชีวิตแล้วนั้นไม่มีการเปลี่ยนสีของสารละลาย MTT ในงานวิจัยนี้ได้ส่งตัวอย่างทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ประเทศไทย

3.5.6 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียได้ทำการทดสอบตัวอย่างกับเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* โดยการนับปริมาณโคโลนีของแบคทีเรียหลังจากตัดแปรผิวด้วยพลาสติกของแก๊ส SF<sub>6</sub> ถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณโคโลนีของแบคทีเรียก่อนตัดแปรผิวด้วยพลาสติกของแก๊ส SF<sub>6</sub> ด้วยเทคนิคการนับโคโลนีตามมาตรฐาน AATCC 100-1999 [60] โดยให้นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ไว้ในหลอดทดลองบรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ Luria broth 1 มิลลิลิตร ภายในอาหารเลี้ยงเชื้อมีแบคทีเรีย *E.coli* ปริมาณ 1 ไมโครลิตรภายในหลอดทดลองและหลอดทดลองถูกนำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเชื้อแบคทีเรียถูกนำมากระจายตัวลงบนจานรอง และนำไปฝักตัวต่อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณโคโลนีของแบคทีเรีย *E.coli* ได้ถูกนับออกมาว่ามีปริมาณเท่าใด การทดสอบถูกทำซ้ำ 2 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้ส่งตัวอย่างทดสอบที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) ประเทศไทย

## บทที่ 4

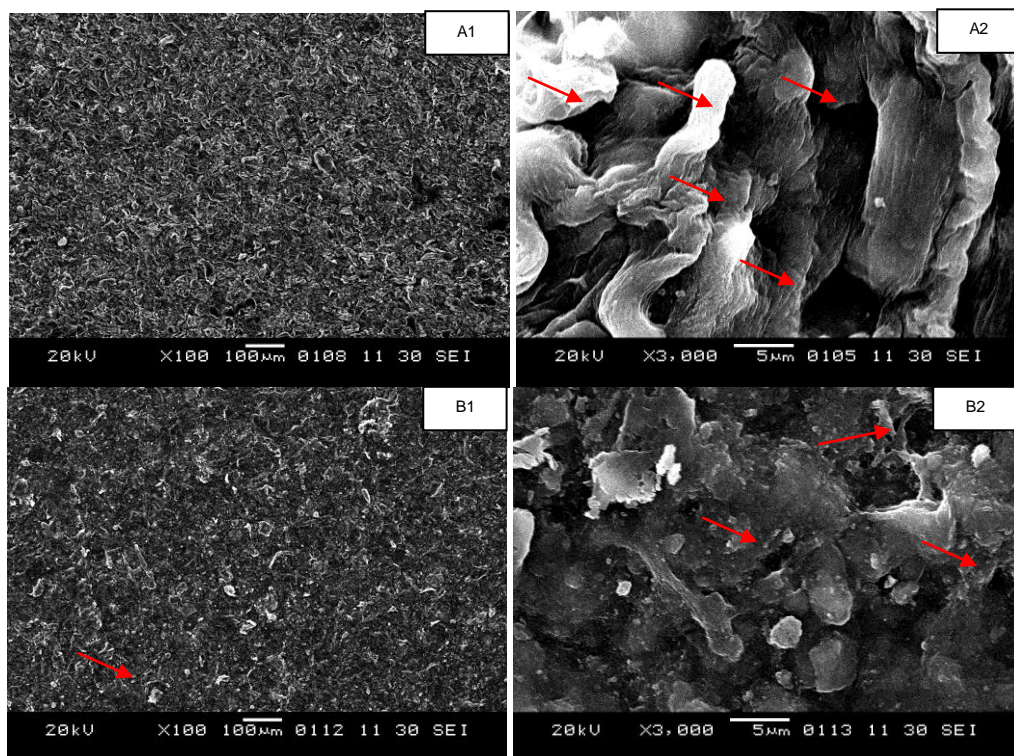
### ผลการทดลองและอภิปรายผล

เส้นใยเซลลูโลสสามารถเตรียมได้จากกระบวนการต้มเยื่อของผักตบชวา และเมื่อได้เส้นใยเซลลูโลสแล้วนั้น เส้นใยเซลลูโลสได้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการ regeneration เพื่อเตรียมเส้นใยเซลลูโลสให้เป็นรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรนที่มีปริมาณรูพรุนสูง และมีขนาดรูพรุนเล็กตามที่ต้องการ หลังจากนั้นเซลลูโลสเมมเบรนได้ถูกตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  เพื่อเพิ่มค่ามุมสัมผัสที่สูงขึ้น ผลของค่ามุมสัมผัสขึ้นอยู่กับปริมาณฟลูออรีนและความขรุขระบนผิวของเมมเบรนทางผู้วิจัยคาดว่าเซลลูโลสเมมเบรนที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ได้ช่วยเพิ่มสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียอีกด้วย ผลการทดลองแต่ละด้านได้ถูกแสดงดังนี้

#### 4.1 ขนาดรูพรุนและผลของความขรุขระบนผิวจากการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา

จากกระบวนการ regeneration คาดว่ารีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรนควรมีปริมาณรูพรุนเพิ่มสูงขึ้นมาก และการเตรียมรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรนที่มีความหนาไม่เท่ากันนั้น ควรส่งผลกระทบต่อขนาดรูพรุนของเมมเบรนด้วย คาดว่าเมมเบรนที่มีความหนามากกว่านั้นมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าเมมเบรนขนาดบาง เนื่องจากเมมเบรนที่มีความหนามากกว่านั้นมีเวลาให้แก๊สก่อตัวภายในเมมเบรนได้นานกว่า จนส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเมื่อตัดแปรผิวเซลลูโลสเมมเบรนด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  แล้วนั้น คาดว่าความขรุขระบนผิวของเมมเบรนควรเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว ภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นปริมาณและขนาดรูพรุนของเซลลูโลสเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม และ 0.10 มม พบว่าความหนาของเซลลูโลสเมมเบรนส่งผลกระทบต่อขนาดรูพรุนที่พบอย่างมีนัยสำคัญไว้ โดยเซลลูโลสเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม มีลักษณะผิวของเมมเบรนค่อนข้างขรุขระเพราะพบเส้นใยอยู่บนผิวเมมเบรนปริมาณมาก (A1) และพบว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 1-5 ไมโครเมตร (A2) พบว่าขนาดรูพรุนเห็นได้ชัดเจนและพบในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามเซลลูโลสเมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม มีลักษณะของผิวเมมเบรนที่ค่อนข้างเรียบคล้ายแผ่นฟิล์ม (B1) และมีปริมาณรูพรุนน้อยกว่าเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม ด้วยเทคนิค SEM ไม่สามารถบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่แน่นอนของเมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม (B2) ได้ และพบว่ารูพรุนขนาดเล็กบนเมมเบรน 0.10 มม นั้นมีรูพรุนบางส่วนที่ซ่อนอยู่ภายใต้ผิว ทำให้เทคนิค SEM ไม่สามารถ

ตรวจสอบได้อย่างชัดเจน ต้องอาศัยเทคนิคอื่นในการวิเคราะห์หาขนาดรูพรุนต่อไป แต่หากเทียบจากงานวิจัยอ้างอิงแล้วนั้น [16, 17] มีความเป็นไปได้ที่เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมีขนาดเล็กได้ถึง 300 - 500 นาโนเมตร จากปริมาณรูพรุนที่พบในเซลล์โลสเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม นั้นมีปริมาณรูพรุนสูงกว่าเมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม อย่างเห็นได้ชัด สามารถคาดเดาได้ว่าเซลล์โลสเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม สามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วกว่าเซลล์โลสเมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม

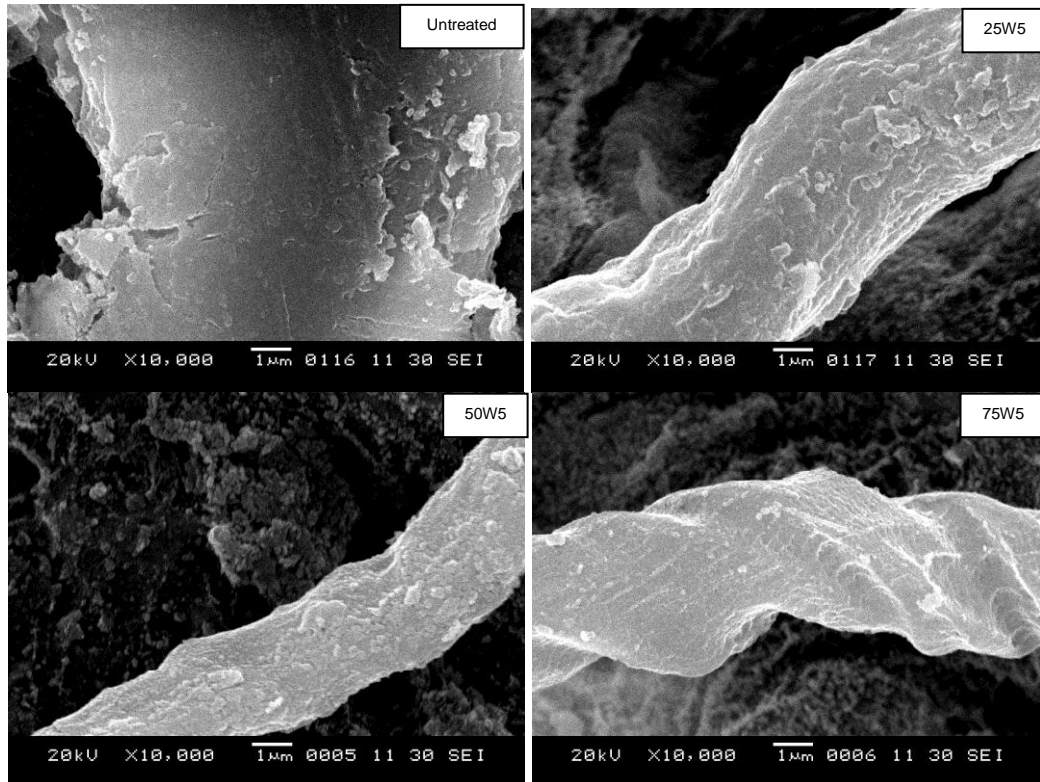


ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายมุมมองจากเทคนิค SEM ของเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม (A1), ขนาดรูพรุนของเมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม (A2), เมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม (B1) และขนาดรูพรุนเมมเบรนที่มีความหนา 0.10 มม (B2)

ภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นผลของการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในพลาสมาต่อความขรุขระที่เปลี่ยนแปลงไปของผิวเมมเบรน จากภาพเห็นว่าเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบเนียน แต่เมื่อตัดแปรผิวเมมเบรนด้วยพลาสมาแล้วนั้นเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ 25W5 แสดงให้เห็นถึงความขรุขระที่เพิ่มสูงขึ้นบนพื้นผิวของเมมเบรน คาดว่าเป็นผลจากการกัดกร่อนของพลาสมาบนพื้นผิวเมมเบรน สำหรับตัวอย่างที่ 50W5 แสดงให้เห็นถึงผิวเมมเบรนที่มีความขรุขระเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเนื่องจากผลของการกัดกร่อนเช่นเดียวกับในตัวอย่าง 25W5



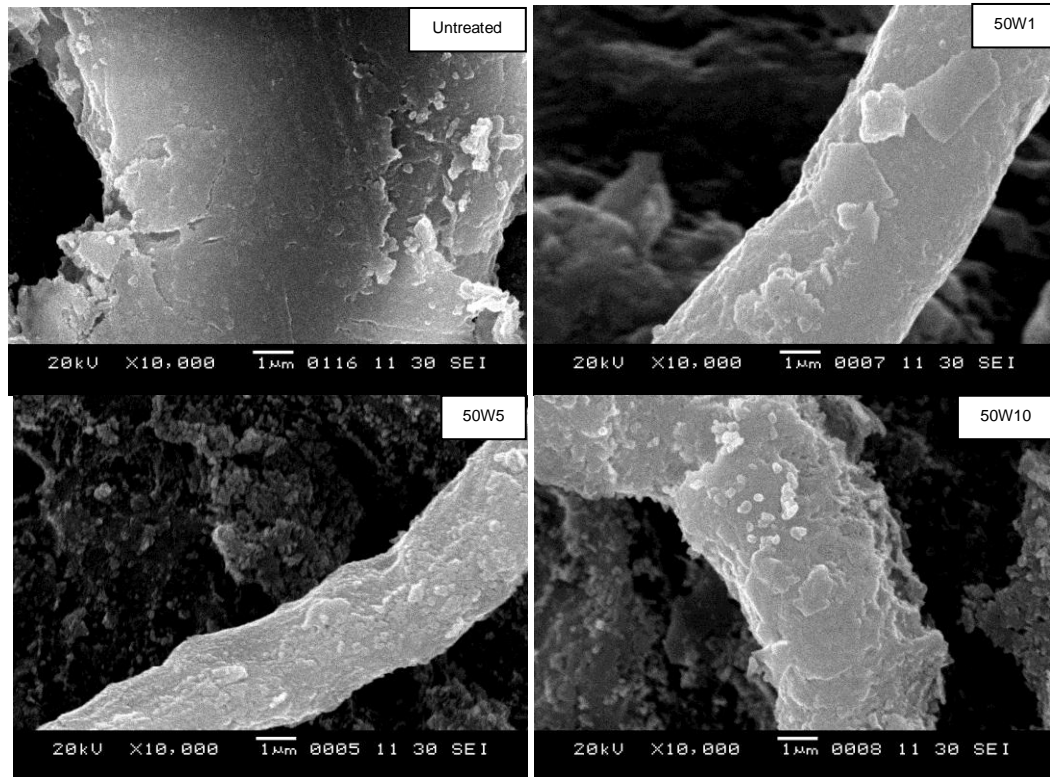
อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์สูงขึ้นถึง 75 วัตต์แล้วนั้น ตัวอย่างที่ 75W5 กลับแสดงลักษณะผิวที่ค่อนข้างเรียบเนียนกว่าตัวอย่าง 25W5 และ 50W5 คาดว่าเป็นผลมาจากการกัดกร่อนที่มีความรุนแรงสูงเกินไปจนทำให้มีผิวสัมผัสบางส่วนหลุดออกไป ไม่พบส่วนของผิวที่ขรุขระ แต่พบส่วนของผิวที่เรียบเนียนแทน แสดงให้เห็นถึงการถูกกัดกร่อนจนพื้นผิวเรียบเนียน



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายความขรุขระของผิวจากเทคนิค SEM ของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $SF_6$  ที่ความดัน 0.5 ทอร์, เวลาในการตัดแปรผิว 5 นาทีและกำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ (25W5), 50 วัตต์ (50W5) และ 75 วัตต์ (75W5)

สำหรับการศึกษาผลของการเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นได้แสดงในภาพที่ 4.3 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมายาวนานขึ้น ความขรุขระบนพื้นผิวก็เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ โดยตัวอย่าง 50W10 นั้นพบว่ามีความขรุขระมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ จากผลการศึกษาด้านเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานี้ ทำให้ได้ข้อสรุปค่อนข้างแน่ชัดแล้วว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นช่วยเพิ่มความขรุขระของผิวสัมผัสให้มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาปัจจัยของกำลังไฟฟ้าพบว่าเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าสูงเกินไป ความขรุขระ

บนผิวสัมผัสกลับเรียบเนียนขึ้น ดังนั้นต้องทำการศึกษาผลของความขรุขระต่อสภาวะในการตัดแปรรูด้วยพลาสติกทุกครั้งเพื่อให้ได้ลักษณะผิวสัมผัสอย่างที่ต้องการ



ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายความขรุขระของผิวจาก SEM ของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรรูผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรรูผิวด้วยพลาสติกของ  $\text{SF}_6$  ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์และ เวลาในการตัดแปรรูผิว 1 นาที (50W1), 5 นาที (50W5) และ 10 นาที (50W10)

#### 4.2 ผลของปริมาณฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนเมื่อตัดแปรรูผิวด้วยพลาสติก

เมื่อตัดแปรรูผิวของเซลลูโลสเมมเบรนด้วยพลาสติกของ  $\text{SF}_6$  แล้วนั้น จากผลของความขรุขระที่พบในเทคนิค SEM ทำให้คาดการณ์ได้ว่าต้องมีฟลูออรีนอยู่บนผิวของเมมเบรนแน่นอน ดังนั้นผู้วิจัยทำการยืนยันผลของการมีอยู่ของฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรรูผิวด้วยพลาสติกของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ด้วยเทคนิคการทำแผนที่ EPMA (EPMA mapping) โดยรายงานปริมาณฟลูออรีนบนผิวเป็นแผนที่ที่มีความสว่างของจุดสีแตกต่างกัน หากมีปริมาณฟลูออรีนสูงจุดสีบนแผนที่ยิ่งเข้าใกล้สีแดง หากมีปริมาณฟลูออรีนต่ำจุดสียิ่งเข้าใกล้สีน้ำเงินเข้ม เมื่อต้องการทราบปริมาณธาตุชนิดอื่น เช่น กำมะถัน เพียงสั่งให้เครื่องสแกนหากำมะถันแทนเท่านั้น สำหรับหลักการอื่นๆเป็นหลักการเดียวกันคืออาศัยความสว่างของจุดสีบนแผนที่ EPMA ผู้วิจัยคาดว่าไม่พบกำมะถันที่คาดว่าเป็น

สารเคมีที่เหลือตกค้างในขั้นตอนการเตรียมรีเจนเนอเรเตอร์เซลล์โพลีเมมเบรนและในกระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub>

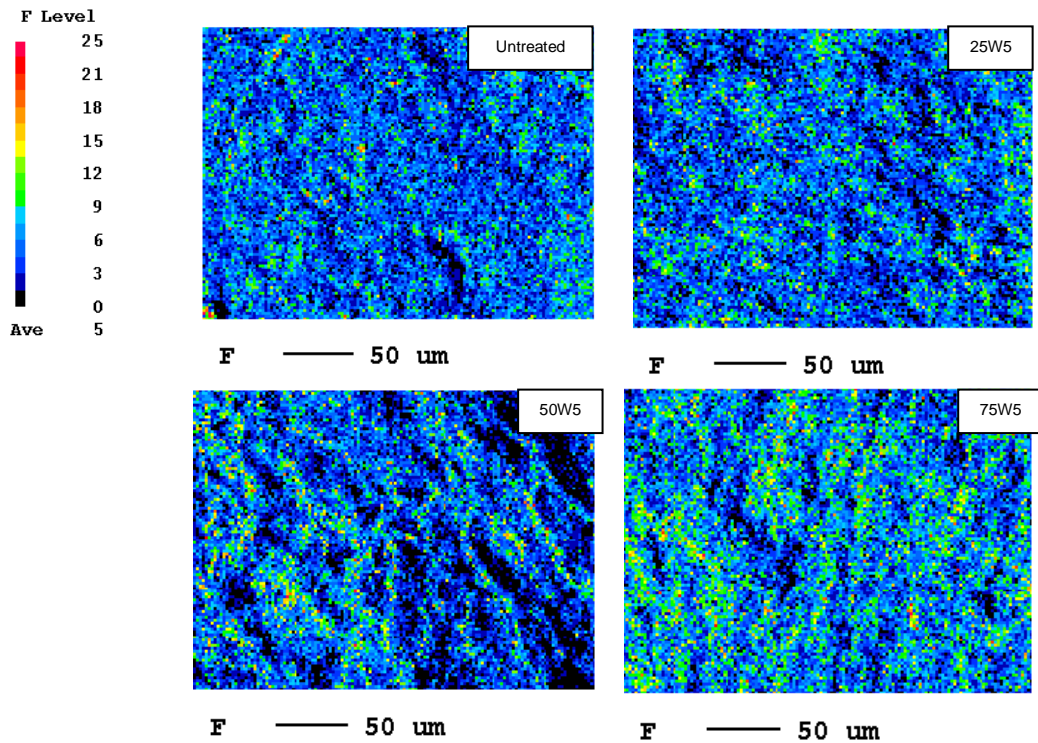
ปริมาณธาตุที่พบบนผิวที่ใช้เทคนิค EPMA วิเคราะห์ได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.1 ธาตุที่สนใจมีทั้งหมด 3 ธาตุคือ ฟลูออรีน, ออกซิเจนและกำมะถัน สำหรับหลักการของเทคนิคนี้ได้อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณของธาตุที่อยู่บนผิวของเมมเบรนสอดคล้องกับความสว่างของจุดสีบนแผนที่ EPMA หมายความว่าเมื่อมีปริมาณธาตุนั้นๆ ที่ตำแหน่งใดสูง ตำแหน่งนั้นมีความสว่างเพิ่มสูงขึ้นจนเข้าใกล้สีแดง เช่นเดียวกับถ้ามีปริมาณธาตุนั้นๆต่ำ ค่าความสว่างยังเข้าใกล้สีน้ำเงินเข้ม

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุ (%อะตอม) ที่พบบนผิวเมมเบรน

ตัวอย่าง	% อะตอม	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความดัน (ทอร์)	เวลาในการตัดแปรผิว (นาที)	F	O	S
Untreated		0	0	0	0	0.3	0
25W5		25	0.5	5	1.0	0.3	0
50W1		50	0.5	1	1.0	0.3	0
50W3		50	0.5	3	1.2	0.4	0
50W5		50	0.5	5	1.1	0.4	0
50W10		50	0.5	10	1.4	0.4	0
75W5		75	0.5	5	1.5	0.3	0

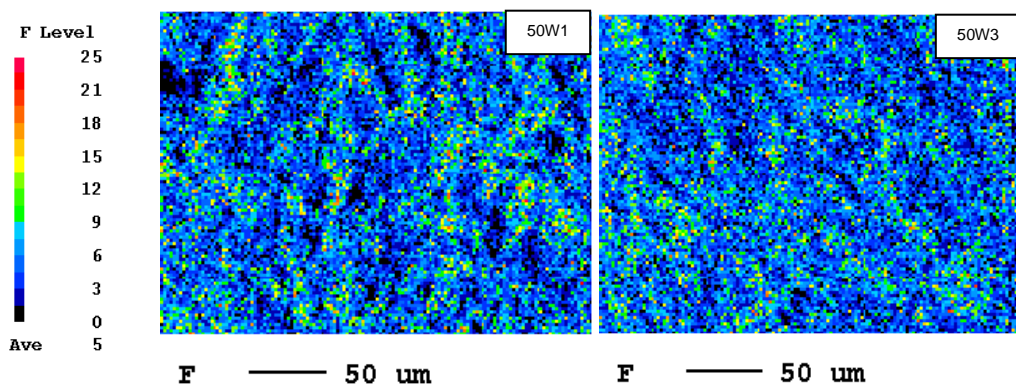
เห็นว่าด้วยเทคนิค EMPA นั้นไม่สามารถตรวจสอบพบปริมาณฟลูออรีนอยู่บนผิวของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาเลย สำหรับเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> นั้นพบฟลูออรีนบนผิวประมาณ 1.0-1.5% โดยปริมาณอะตอม นอกจากนั้นยังตรวจไม่พบอะตอมของกำมะถันทั้งบนผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาและไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา แสดงว่าไม่มีอะตอมของกำมะถันที่อาจตกค้างมาจากไทโอยูเรียภายในกระบวนการ regeneration รวมไปถึงกระบวนการการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> สำหรับปริมาณของออกซิเจนนั้นด้วยเทคนิค EPMA ไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน โดยผู้วิจัยคาดว่าปริมาณออกซิเจนอาจลดลงเมื่อถูกแทนที่ด้วยหมู่ฟลูออรีน แต่จากปริมาณอะตอมของออกซิเจนตามตารางที่ 4.1 พบว่ามีแนวโน้มขึ้นและลงจนไม่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงได้ ปริมาณธาตุอื่นๆ ที่เป็นธาตุหลักของเซลล์โพลีเมอร์คือคาร์บอนและไฮโดรเจนไม่ได้รับการทดสอบเนื่องจากไม่ได้เป็นจุดสนใจหลักในงานวิจัยนี้ จากภาพที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจาก 25 วัตต์ ถึง 75 วัตต์ โดยควบคุม

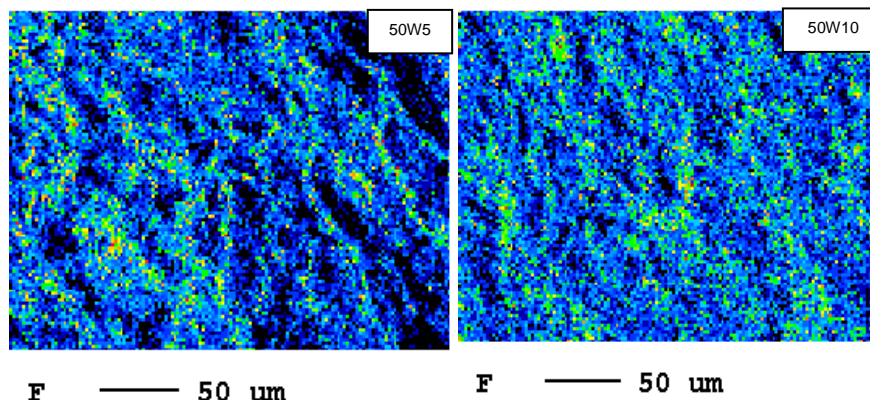
สภาวะอื่นให้เท่ากันนั้น ปริมาณของฟลูออรีนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เห็นได้จากภาพถ่ายปริมาณฟลูออรีนของ 75W5 สว่างกว่า 25W5



ภาพที่ 4.4 แผนที่ EPMA แสดงปริมาณฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $\text{SF}_6$  ที่ความดัน 0.5 ทอร์, เวลาในการตัดแปรผิว 5 นาทีและกำลังไฟฟ้า 25 วัตต์ (25W5), 50 วัตต์ (50W5) และ 75 วัตต์ (75W5)

ในภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นผลของการเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาต่อปริมาณฟลูออรีนที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อใช้เวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาสูงขึ้นโดยควบคุมสภาวะอื่นๆ ให้คงที่นั้น พบว่าปริมาณฟลูออรีนมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด





ภาพที่ 4.5 แผนที่ EPMA แสดงปริมาณฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $\text{SF}_6$  ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์, เวลาในการตัดแปรผิว 1 นาที (50W1), 3 นาที (50W3), 5 นาที (50W5) และ 10 นาที (50W10)

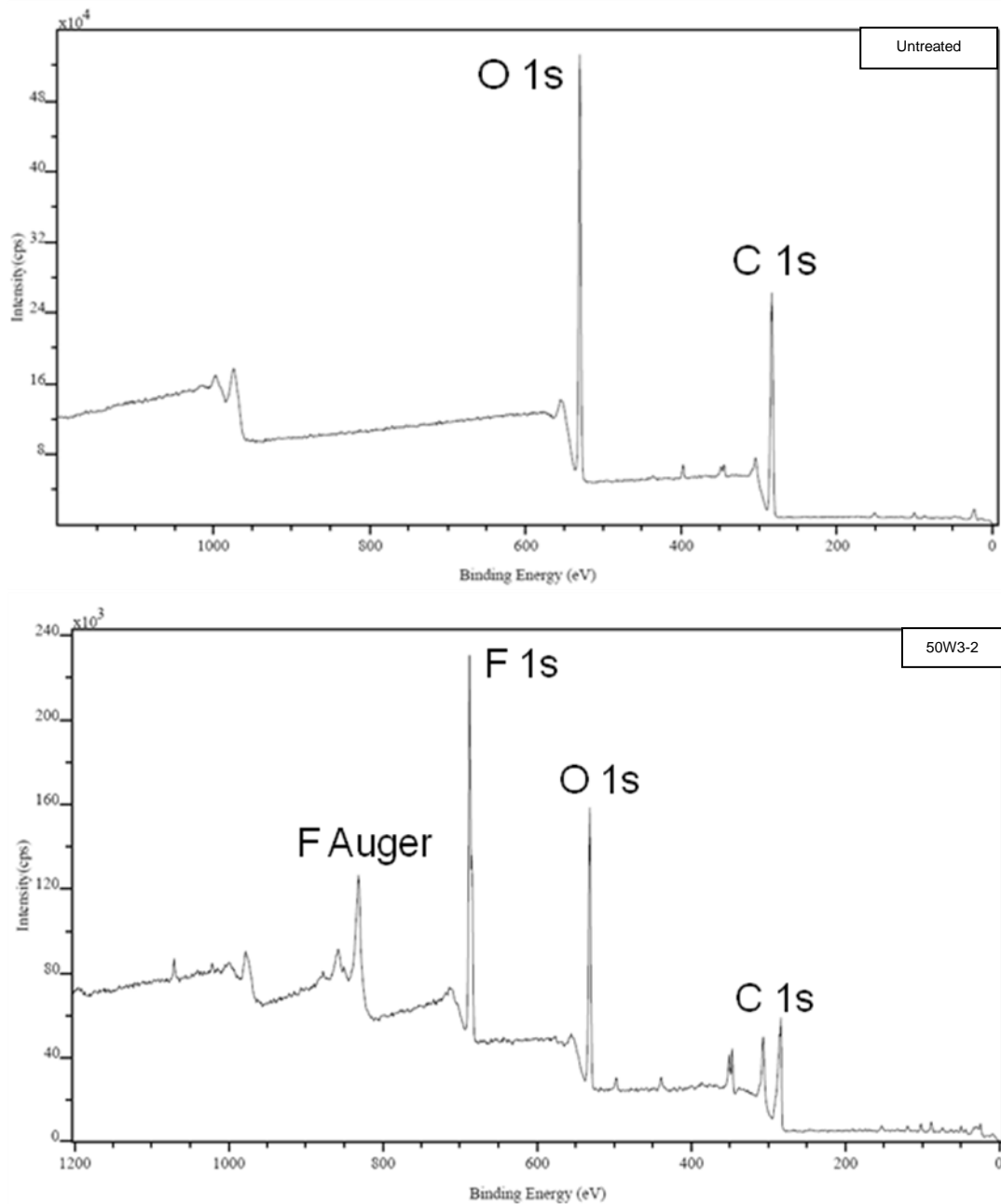
อย่างไรก็ตามปริมาณฟลูออรีนที่ตรวจพบในตัวอย่าง 50W5 นั้นต่ำกว่าปริมาณฟลูออรีนของตัวอย่างอื่น เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย EPMA ของตัวอย่าง 50W5 แล้วนั้น เป็นไปได้ว่าเกิดจากการอาบพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ไม่ครอบคลุมพื้นผิวที่ทำการทดสอบ ถือเป็นเรื่องปกติในกระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาที่ไม่อาจควบคุมตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาที่แน่นอนได้ อย่างไรก็ตามถ้าสังเกตจากตารางที่ 4.1 ปริมาณฟลูออรีนบนผิวของตัวอย่าง 50W5 มีค่าแตกต่างจากตัวอย่างอื่นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คาดว่าไม่น่าส่งผลกระทบต่อสมบัติโดยรวมของพื้นผิวทั้งหมดของเมมเบรนแต่อย่างใด

#### 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา

จากเทคนิค EPMA ที่ผ่านมา ทำให้แน่ใจได้แล้วว่าเมมเบรนที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  พบว่ามีปริมาณฟลูออรีนปรากฏอยู่บนผิวเมมเบรน แม้กระนั้นด้วยเทคนิค EPMA ยังไม่สามารถบอกชนิดของพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนและฟลูออรีนบนผิวของเมมเบรน ดังนั้นผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิค XPS ช่วยในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นใหม่บนผิวของเมมเบรน คาดว่าพบสปีชีส์ของฟลูออรีนเพิ่มขึ้นมากมายบนผิวของเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$

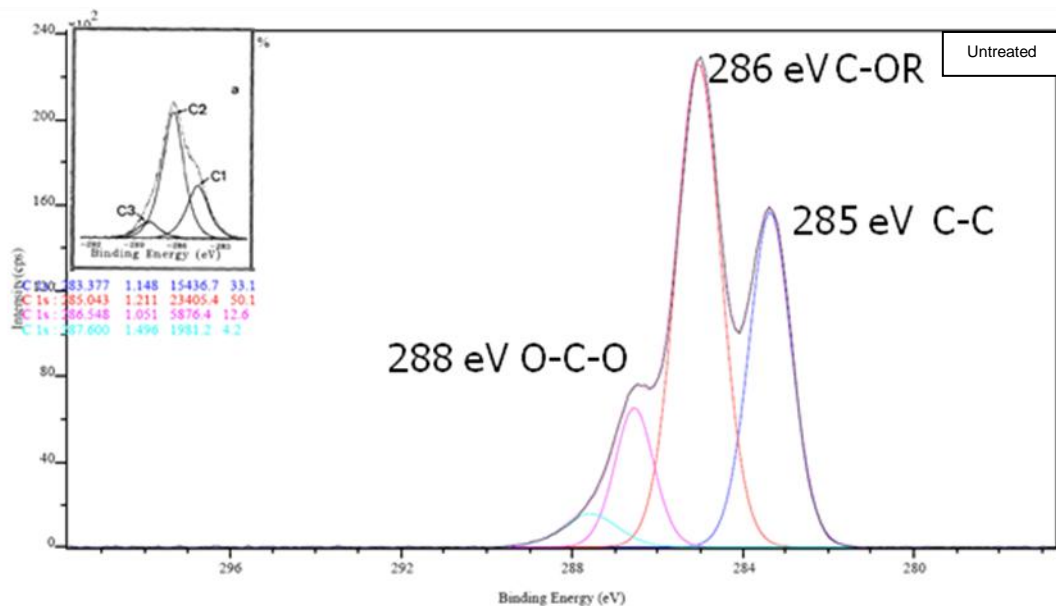
จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมแบบสำรวจจากเทคนิค XPS ของเซลลูโลสเมมเบรนที่ยังไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และ เซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  (50W3-2) พบว่าในสเปกตรัมของเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวนั้นเห็นพีคที่ชัดเจนเกิดขึ้น 2 พีค คือพีคที่ตำแหน่ง 285 eV และ 531 eV [61, 62] ได้รับความวิเคราะห์ว่าเป็นพีคของ C 1s และ

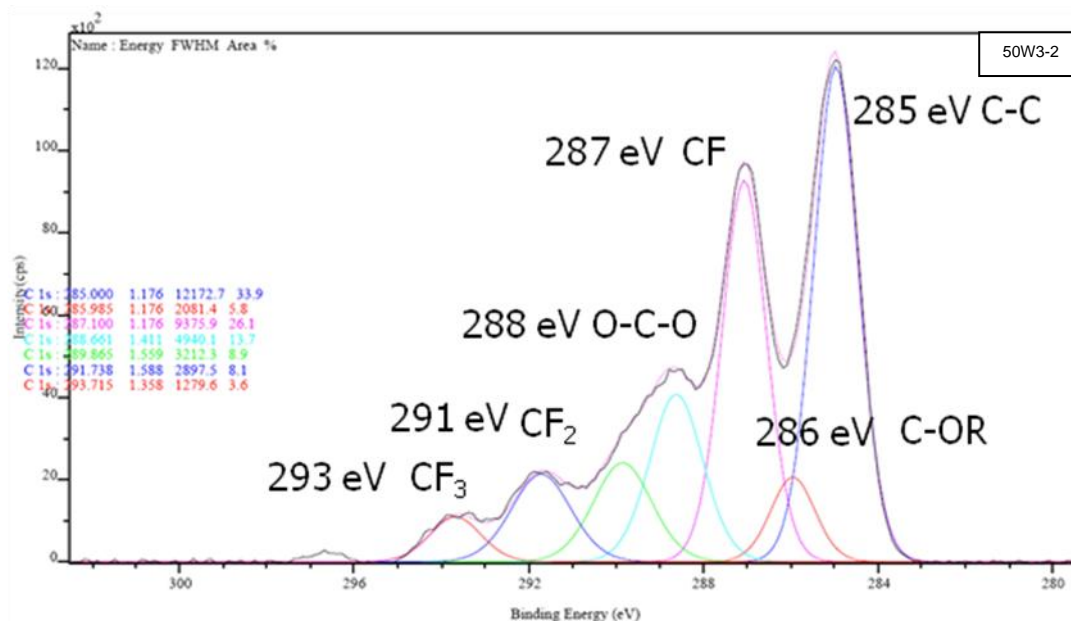
O 1s ตามลำดับ จากพีคที่พบนั้นยืนยันให้เห็นถึงธาตุประกอบหลักในเซลลูโลสเมมเบรน คือคาร์บอนและออกซิเจน ในสเปกตรัมของ 50W3-2 นั้นพบว่าการปรากฏของพีคขึ้นมาใหม่อีก 2 พีค รวมเป็น 4 พีคที่เห็นได้อย่างชัดเจน ก็คือพีคที่ตำแหน่ง 658 eV และ 833 eV เป็นพีคของ F 1s และ F Auger [61, 62] เป็นการยืนยันได้ว่าการเกิดสปีชีส์ใหม่ของหมู่ฟลูออรีนบนผิวเมมเบรนขึ้น



ภาพที่ 4.6 สเปกตรัมแบบสำรวจจากเทคนิค XPS ของเซลลูโลสเมมเบรนที่ยังไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และ เซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2)

ในภาพที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมความละเอียดสูงจากเทคนิค XPS ของ C 1s สปีชีส์ ระหว่างเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> (50W3-2) โดยพบพีคของ C-C, C-OR และ O-C-O ที่ตำแหน่ง 285 eV, 286 eV และ 288 eV ตามลำดับ [61, 62] บนผิวของเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) สอดคล้องกับสเปกตรัมของเซลลูโลสปกติ พบว่าอัตราส่วนของพีค C-OR สูงกว่า C-C ตรงตามโครงสร้างของเซลลูโลสที่พบ C-OR ถึง 7 พันธะและ C-C พบเพียง 5 พันธะใน 1 วงของกลูโคส อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตัดแปรผิวเมมเบรนด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> แล้วนั้นพบว่าพีคใหม่ของสปีชีส์ต่างๆ ของ CF<sub>x</sub> หลายพีค เช่น CF ที่ 287 eV, CF<sub>2</sub> ที่ 289 eV, และ CF<sub>3</sub> ที่ 293 eV [61, 62] เป็นการพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการสร้างพันธะใหม่ระหว่างฟลูออรีนและคาร์บอนบนผิวของเมมเบรน 50W3-2 เป็นโครงสร้างพันธะทางเคมีที่มีความแข็งแรงระหว่างพันธะสูงกว่าการยึดติดแบบกายภาพ ถ้าเทียบแกน y ให้มีค่าเท่ากันนั้นพบว่าพีคของ C-OR ลดลงมากสำหรับพีคของ C-C ก่อนข้างคงที่ เป็นไปได้ว่า C-OR บางส่วนอาจหลุดจากโมเลกุล และถูกแทนที่ด้วย CF<sub>x</sub> สำหรับพีคบางส่วนที่ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นพีคของสปีชีส์ใดนั้น เนื่องจากในตารางแสดงสัญญาณของธาตุใน XPS [61, 62] ไม่พบความเชื่อมโยงระหว่างพีคและตัวอย่างที่ถูกวิเคราะห์ที่ตำแหน่งดังกล่าว ไม่สามารถยืนยันได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามด้วยค่าพลังงานยึดเหนี่ยวที่มีความใกล้เคียงกันมากนั้น มีความเป็นไปได้ว่าพีคเหล่านั้นเป็นสปีชีส์ของ CF<sub>x</sub> ที่มีระดับพลังงานยึดเหนี่ยวใกล้เคียงกัน

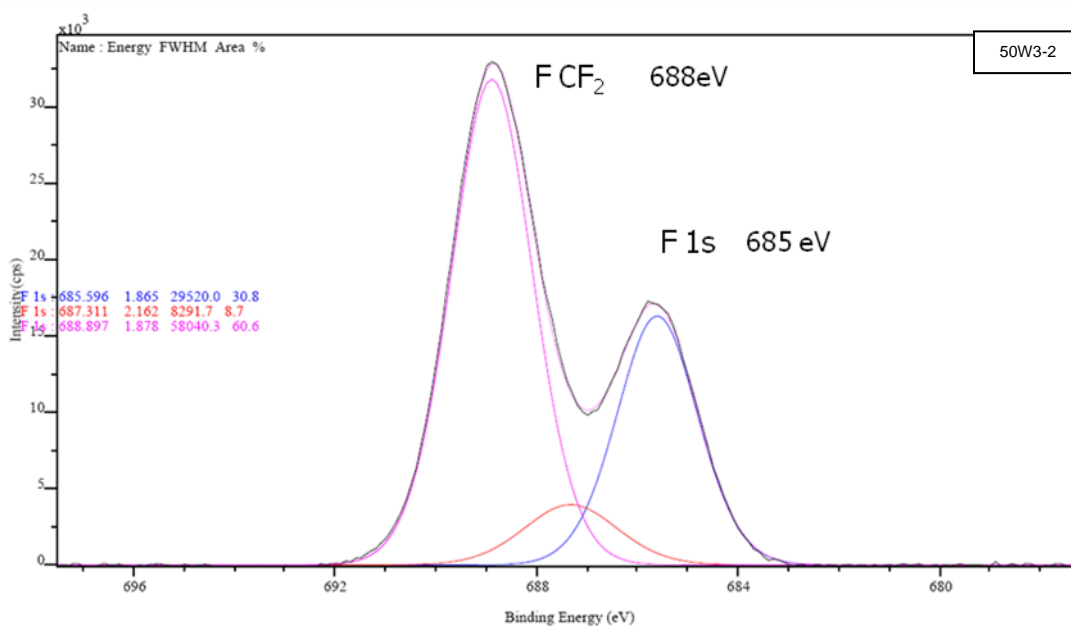




ภาพที่ 4.7 สเปกตรัมความละเอียดสูงจากเทคนิค XPS ของสปีชีส์ต่างๆของธาตุคาร์บอนระหว่าง เซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2)

ในภาพที่ 4.8 นั้นเป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมความละเอียดสูงจากเทคนิค XPS ของ F 1s สปีชีส์บนผิวของเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  (50W3-2) พบพีคที่เห็นได้อย่างชัดเจน 2 พีค คือพีคที่ตำแหน่ง 658 eV และ 688 eV เป็นพีคของ F 1s และ  $\text{CF}_2$  ตามลำดับ [61] จากผลของเทคนิค XPS ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นการช่วยยืนยันอีกครั้งหนึ่งว่ามีการสร้างพันธะทางเคมีที่แข็งแรงของฟลูออรีนบนผิวของเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  (50W3-2) ทำให้มั่นใจได้ว่าแม้ใช้เทคนิคการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาในสภาวะที่เบาบางของตัวอย่าง 50W3-2 นั้นก็ยังพบพันธะที่แข็งแรงบนผิวของเมมเบรน เช่น  $\text{CF}$ ,  $\text{CF}_2$  และ  $\text{CF}_3$  และยังช่วยยืนยันได้ว่ากระบวนการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $\text{SF}_6$  ได้ช่วยสร้างพันธะทางเคมีที่แข็งแรงและไม่ถูกทำลายได้ง่ายบนผิวของรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรน





ภาพที่ 4.8 สเปกตรัมความละเอียดสูงจากเทคนิค XPS ของสปีชีส์ต่างๆของ F 1s บนผิวของ เซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2)

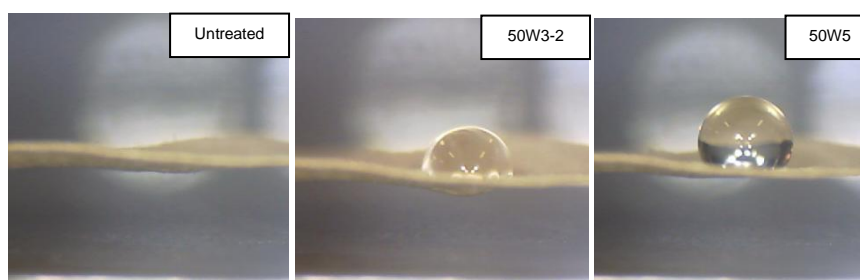
ตารางที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นของอะตอม (%) ของธาตุต่างๆ ของเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (UN) และเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> (50W3-2)

ความเข้มข้นของอะตอม (%)	C 1s	O 1s	F 1s
ตัวอย่าง			
Untreated	64.94	34.37	0
50W3-2	45.75	22.79	28.90

ปริมาณของฟลูออรีนถูกคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างพีค C 1s และ F 1s ในสเปกตรัมของ XPS ในการคำนวณปริมาณธาตุด้วยเทคนิคนี้ไม่นับรวมธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียม เนื่องจากเป็นขีดจำกัดของเทคนิค XPS ที่ไม่สามารถวัดปริมาณธาตุที่เล็กกว่าลิเทียมได้ จากตารางที่ 4.2 เห็นค่าปริมาณความเข้มข้นของอะตอม (%) ระหว่างเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) และเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> (50W3-2) เห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณธาตุของ C 1s และ O 1s ในเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> (50W3-2) มีแนวโน้มลดลง สำหรับปริมาณ F 1s ของ 50W3-2 นั้นก็เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลมาจากการมี

ปริมาณฟลูออรีนเพิ่มขึ้นบนผิวของเมมเบรน ทำให้สัดส่วนปริมาณของคาร์บอนและออกซิเจนนั้นมีค่าลดลง ดังนั้นตารางที่ 4.2 เป็นการช่วยพิสูจน์อีกครั้งหนึ่งว่าพันธะของ  $CF_x$  นั้นได้ถูกสร้างขึ้นมาเป็นจำนวนมาก หลังจากเซลล์โลสเมมเบรนถูกตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$

#### 4.4 ค่ามุมสัมผัส, เวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำและเวลาของการเสื่อมสมบัติตามอายุ



ภาพที่ 4.9 ภาพมุมสัมผัสของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated), เมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที (50W3-2) และเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 5 นาที (50W5)

เทคนิคการวัดมุมสัมผัสนั้นได้ถูกนำมาใช้ตรวจสอบค่าการเปียกน้ำของผิวสัมผัสของเมมเบรนตัวอย่าง จากการตรวจวัดพบว่าเมมเบรนที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรผิวนั้นไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้ เนื่องจากเมมเบรนถูกดูดซับหยดน้ำอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเมื่อใช้พลาสมาที่สภาวะกำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 5 นาที นั้นค่ามุมสัมผัสเพิ่มสูงขึ้นถึง 130 องศา และเมื่อมีการลดสภาวะให้มีความรุนแรงน้อยลงโดยการใช้อำนาจไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์ และเวลาในการตัดแปรผิว 3 นาที ค่ามุมสัมผัสลดลงเหลือ 75 องศา ดังภาพที่ 4.9 ได้แสดงให้เห็นถึงค่าการเปียกน้ำที่ไม่สามารถวัดมุมสัมผัสได้ของเซลล์โลสเมมเบรนที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา โดยหยดน้ำได้ถูกดูดซับภายในเวลาไม่เกิน 15 วินาที เรียกสมบัติที่ดูดซับน้ำได้ดีจนไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้แบบนี้ว่า ความชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophilicity) สำหรับค่ามุมสัมผัสของเซลล์โลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  แล้วนั้นก็มีค่าแตกต่างกันไปตามสภาวะที่ใช้ ดังตารางที่ 4.3 ค่าพลังงานพื้นผิวของเมมเบรนมีค่าลดลงเมื่อถูกตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  เป็นผลทำให้ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.3 ค่ามุมสัมผัสและเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำของเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ดัดแปรผิว และที่ดัดแปรผิวด้วยพลาสมาในสถานะต่างๆ

ชื่อรหัส ตัวอย่าง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความดัน (ทอร์)	เวลา (นาที)	ค่ามุมสัมผัส (°)	เวลาในการดูดซับน้ำ (นาที)
Untreated	-	-	-	a	a
25W1	25	0.5	1	90±3	45±2
25W3	25	0.5	3	100±3	45±1
25W5	25	0.5	5	100±1	50±1
25W10	25	0.5	10	100±2	70±3
25W20	25	0.5	20	115±2	65±3
50W1	50	0.5	1	100±1	40±1
50W3	50	0.5	3	110±1	40±1
50W5	50	0.5	5	130±3	60±2
50W10	50	0.5	10	100±1	40±1
50W20	50	0.5	20	100±2	40±2
75W1	75	0.5	1	60±2	20±1
75W3	75	0.5	3	75±1	40±2
75W5	75	0.5	5	115±1	70±3
75W10	75	0.5	10	115±2	45±2
75W20	75	0.5	20	115±3	45±1
50W1-2	50	0.05	1	60±2	5±1
50W3-2	50	0.05	3	75±2	30±2
50W5-2	50	0.05	5	85±3	30±2
50W10-2	50	0.05	10	85±1	25±1
50W20-2	50	0.05	20	75±2	30±2

<sup>a</sup> ชิ้นงานมีความชอบน้ำสูง หยดน้ำถูกดูดซับในทันทีทำให้ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้

ตัวอย่าง 50W5 แสดงให้เห็นถึงค่ามุมสัมผัสที่สูงที่สุดในทุกสถานะการทดลองที่ได้มีการทดสอบ โดยมีค่ามุมสัมผัสสูงถึง 130 องศา หรือสูงขึ้น 130% จากเมมเบรนที่ไม่ได้ดัดแปรผิวด้วยพลาสมา

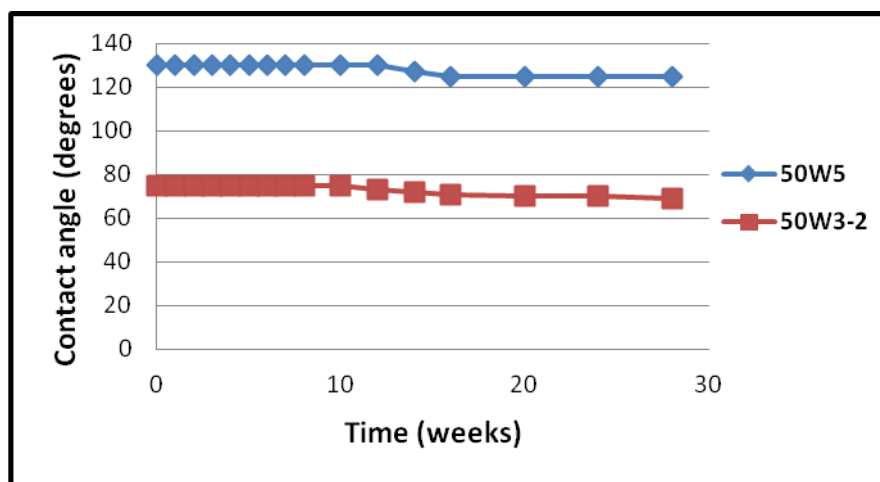
เลยทีเดียว เมื่อมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าและเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นค่ามุมสัมผัสมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สภาวะที่รุนแรงมากเกินไป ค่ามุมสัมผัสอาจมีแนวโน้มลดลง จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้การใช้พลังงานไฟฟ้าและเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาที่สูงเกินไปนั้นให้ค่ามุมสัมผัสที่น้อยกว่าการใช้กำลังไฟฟ้าและเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาที่ต่ำกว่า ทางผู้วิจัยคาดว่าเกิดจากผลของความขรุขระที่เกิดขึ้นบนผิวของเมมเบรน เพราะเมื่อมีการใช้สภาวะที่รุนแรงเกินไปในการตัดแปรผิวนั้นยังทำให้เส้นใยมีความขรุขระลดลง เนื่องจากผิวของตัวอย่างอาจหลุดลอกหายไปแทน ส่งผลทำให้ค่ามุมสัมผัสควรเพิ่มขึ้นกลับมีค่าลดลงแทน ดังนั้นค่ามุมสัมผัสที่วัดได้ต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้สภาวะที่ต่ำกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ผิวของเมมเบรนด้วยเทคนิค SEM พบว่าลักษณะผิวของเมมเบรนเปลี่ยนไปในทุกสภาวะที่ใช้ในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  คือความขรุขระมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วคงที่

และเมื่อมีการใช้สภาวะที่ไม่รุนแรงในการจุดพลาสมานั้น เซลลูโลสเมมเบรนที่ใช้ความดัน 0.05 ทอร์ ให้ค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่าเซลลูโลสเมมเบรนที่ใช้ความดัน 0.5 ทอร์ เมื่อให้สภาวะอื่นๆคงที่ เป็นการยืนยันว่าปริมาณของแก๊ส  $SF_6$  นั้น ส่งผลโดยตรงต่อค่ามุมสัมผัสเช่นเดียวกับตัวแปรอื่นๆ โดยตัวอย่าง 50W3-2 ให้ค่ามุมสัมผัสประมาณ 75 องศา สาเหตุที่ต้องลดความดันในการจุดพลาสมาให้ลดลงนั้น เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าการใช้เมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาที่ให้ค่ามุมสัมผัสและปริมาณฟลูออรีนที่สูง อาจส่งผลต่อการยึดเกาะและเจริญเติบโตของเซลล์ ต้องทำการตัดแปรผิวพลาสมาที่ความดันต่ำไว้เพื่อใช้ทดสอบเปรียบเทียบค่าความเป็นพิษกับเซลล์ต่อไป และจากงานวิจัยก่อนหน้าเมมเบรนสังเคราะห์ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเซลล์ที่ใช้ทดสอบได้ดีนั้น มีค่ามุมสัมผัสอยู่ระหว่าง 70-80 องศา

เวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำของเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวและตัดแปรผิวด้วยพลาสมาสภาวะต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.3 หยกน้ำนั้นถูกดูดซับทันทีเมื่อหยดลงไปบนเซลลูโลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา แต่สำหรับเซลลูโลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาแล้วนั้นใช้เวลาในการดูดซับน้ำที่ยาวนานกว่า เช่น ในตัวอย่าง 25W1-25W20 ใช้เวลาในการดูดซับ 45-70 นาที, ตัวอย่าง 50W1-50W20 ใช้เวลาดูดซับ 40-60 นาที, ตัวอย่าง 75W1-75W20 ใช้เวลาดูดซับ 20-70 นาที และตัวอย่าง 50W1-2-50W20-2 ใช้เวลาในการดูดซับ 5-30 นาที ดังนั้นแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำส่วนใหญ่นั้นขึ้นอยู่กับค่ามุมสัมผัสของเมมเบรน เมมเบรนที่มีค่ามุมสัมผัสสูงก็ใช้เวลาในการดูดซับน้ำยาวนานกว่าเมมเบรนที่มีค่ามุมสัมผัสต่ำ โดยเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำนั้นจำเป็นอย่างมากในการกำหนดประโยชน์ในการใช้งาน เนื่องจากเมมเบรนที่นำไปใช้งานในเป้าหมายแตกต่างกันก็ย่อมต้องการเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกันเช่นกัน เช่น เซลลูโลสเมมเบรนที่ต้องการใช้เป็นชั้นนอกของผ้าปิดแผลที่ต้องมีคุณสมบัติป้องกันน้ำเข้าและ

ป้องกันแบคทีเรียที่ดีก็ควรมีค่ามุมสัมผัสที่สูงและเวลาในการดูดซับน้ำยาวนาน สำหรับเซลล์โลสเมมเบรนที่ต้องการใช้งานเป็นเมมเบรนฟอกเลือดในกระบวนการไตเทียมอาจไม่ต้องการค่ามุมสัมผัสที่สูงมากนักและเวลาในการดูดซับน้ำไม่จำเป็นต้องยาวนาน เพียงแต่ต้องมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่สูงและมีค่าความเป็นพิษกับเซลล์ต่ำ ในงานวิจัยนี้เราสามารถเตรียมเซลล์โลสเมมเบรนที่มีค่าการดูดซับน้ำที่หลากหลายตามต้องการได้ อย่างไรก็ตามการวัดเวลาที่ใช้ในการดูดซับในงานวิจัยนี้ ใช้การหยคน้ำและค่อยๆปล่อยให้ น้ำซึมลงไปเอง โดยไม่มีการเพิ่มความดันหรือแรงกระทำอื่นๆช่วยในการดันน้ำให้ซึมลงไป ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการดูดซับดูยาวนาน แต่หากมีการเพิ่มความดันเข้าไปช่วยสามารถร่นระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำได้เช่นกัน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นเป็นเทคนิคที่มีอายุไขในการใช้งาน ส่วนมากมีอายุไขการใช้งานค่อนข้างสั้น ในงานวิจัยส่วนใหญ่ได้ใช้ระบบสุญญากาศในการเก็บรักษาตัวอย่าง แต่ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้มีการนำเซลล์โลสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  มาทดสอบค่ามุมสัมผัสเข้าไปเข้ามา เป็นระยะเวลายาวนานกว่า 28 สัปดาห์ หลังจากทดสอบแต่ละครั้งมีการเก็บรักษาตัวอย่างในตู้เก็บความชื้น พบว่าค่ามุมสัมผัสที่วัดจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 ตัวอย่างนั้น มีค่าลดลงมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการตัดแปรผิวและทดสอบทันที ดังในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 เวลาของการเสื่อมสมบัติตามอายุของตัวอย่าง 50W3-2 และ 50W5

สาเหตุที่ทำให้เมมเบรนทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่ามุมสัมผัสลดลงในช่วงเวลาใกล้เคียงกันนั้น ยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้อย่างชัดเจน แต่มีความเป็นไปได้ว่าถ้ามีการทดสอบเวลาของการเสื่อมสมบัติตามอายุให้ยาวนานกว่า 28 สัปดาห์ ค่ามุมสัมผัสอาจตกลงอีกเล็กน้อย และตัวอย่างที่ 50W3-2 อาจเสื่อมสภาพเร็วกว่าตัวอย่าง 50W5 เพราะใช้สภาวะที่เบาบางกว่า แม้แนวโน้มของค่ามุมสัมผัสลดลง

ใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มของเวลาในการดูดซับน้ำที่ไม่ได้แสดงผลนั้นกลับแตกต่างกัน จากการทดสอบพบว่าตัวอย่าง 50W5 ยังคงใช้เวลาการดูดซับน้ำที่ยาวนานใกล้เคียงเดิม สำหรับตัวอย่าง 50W3-2 แม้ยังคงมีค่ามุมสัมผัสสูง แต่เวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำกลับสั้นลงรวดเร็วกว่าตัวอย่าง 50W5 ไม่น่าแปลกใจแต่อย่างใด เนื่องจากสภาวะที่ใช้มีความรุนแรงแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากการทดสอบซ้ำในตัวอย่างเดิมถึง 28 สัปดาห์ ค่ามุมสัมผัสยังคงเพียงเล็กน้อยทำให้สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนและมั่นใจว่า หมูฟังก์ชันที่ถูกสร้างขึ้นมาบนพื้นผิวของเซลลูโลสเมมเบรนนั้นไม่ได้เสื่อมสภาพโดยเร็วนัก แม้ถูกเก็บในสภาวะที่มีความชื้นหรือผ่านการใช้งานหลายครั้ง ก็ยังให้สภาพสดใหม่ไม่ต่างจากวันแรกของการทดสอบ

#### 4.5 ค่าความเป็นพิษกับเซลล์

ค่าความเป็นพิษกับเซลล์นั้นเป็นการทดสอบเบื้องต้นสำหรับวัสดุที่ต้องการนำไปใช้งานทางการแพทย์ที่ต้องสัมผัสกับเนื้อเยื่อคนหรือสัตว์ โดยทำการทดสอบกับเซลล์เนื้อเยื่อต่างๆ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เซลล์ไฟโบรบลาสต์ได้จากเซลล์เนื้อเยื่อของหนู จัดว่าเป็นเซลล์พื้นฐานที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ ผลของค่าความเป็นพิษกับเซลล์รายงานเป็นจำนวนของเซลล์ที่มีชีวิตรอด (%viability) เปรียบเทียบกับตัวขึ้นงานที่ว่าง (blank) ที่มีเพียงอาหารเลี้ยงเซลล์เท่านั้น ในการทดสอบแต่ละครั้งนั้นจำเป็นต้องมีตัวอย่างควบคุม 2 ชุด เพื่อใช้ควบคุมผลการทดสอบแต่ละครั้งให้มีความน่าเชื่อถือ ตัวควบคุมไม่เกิดปฏิกิริยา (negative control) หมายถึงตัวอย่างที่ไม่เป็นพิษกับเซลล์ต้องให้ค่า %การมีชีวิตรอด (%viability) ใกล้เคียง 100% สำหรับตัวควบคุมเกิดปฏิกิริยา (positive control) หมายถึงตัวอย่างที่เป็นพิษกับเซลล์ต้องให้ค่า %การมีชีวิตรอดใกล้เคียง 0% มีรายงานก่อนหน้าว่าเซลลูโลสเมมเบรนที่ใช้ในการฟอกเลือดในกระบวนการไตเทียม หรือชื่อทางการค้าคือ Cuprophane<sup>®</sup> แม้ไม่มีผลทดสอบด้านความเป็นพิษกับเซลล์ แต่จากผลทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ทดสอบโดยตรงกับน้ำเลือดและเซลล์เม็ดเลือดขาวนั้น พบว่า Cuprophane<sup>®</sup> นั้นแสดงค่าความเป็นพิษกับเซลล์ที่ค่อนข้างสูง โดยระบบภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยที่ใช้ Cuprophane<sup>®</sup> ถูกกระตุ้นให้สูงขึ้น และมีปริมาณเม็ดเลือดขาวลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านการฟอกเลือดเป็นเวลา 60 นาที ระบบภูมิคุ้มกันและปริมาณเม็ดเลือดขาวได้กลับสู่ภาวะปกติ เนื่องจากร่างกายผู้ป่วยเริ่มปรับตัวได้ สำหรับงานวิจัยนี้สามารถเตรียมรีเจนเนอเรตเซลลูโลสเมมเบรนขึ้นได้เองและคาดว่าเมมเบรนมีค่าความเป็นพิษกับเซลล์ไม่มากนัก ผลการทดสอบถูกแสดงในตารางที่ 4.4 ตัวขึ้นงานที่ว่าง (blank) นั้นต้องมีค่าการเจริญเติบโตของเซลล์ 100% เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างอื่นๆ สำหรับตัวควบคุมไม่เกิดปฏิกิริยา

(negative control) แสดง %การมีชีวิตรอด 95% และตัวควบคุมเกิดปฏิกิริยา (positive control) แสดง %การมีชีวิตรอด 0% หมายความว่าผลการทดสอบนี้เชื่อถือได้

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นพิษกับเซลล์ของเซลล์โลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวและที่ตัดแปรผิวด้วย พลาสมาในสถานะต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยของ		ค่ามุมสัมผัส (°)
	OD 570 nm	%การมีชีวิตรอด	
Blank	1.756	100	-
ตัวควบคุมไม่เกิดปฏิกิริยา	1.676	95	-
ตัวควบคุมเกิดปฏิกิริยา	0.006	0	-
1. Untreated	1.608	92	A
2. 50W5	1.051	60	130
3. 50W3-2	1.493	85	75
4. 50W20-2	1.335	76	75

<sup>a</sup> ชิ้นงานมีความชอบน้ำสูง หยดน้ำถูกดูดซับในทันทีทำให้ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้

ผลทดสอบปรากฏว่าเซลล์โลสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นให้ค่า %การมีชีวิตรอดของเซลล์สูงถึง 92% เป็นผลวิจัยที่ต่างจากกลุ่มวิจัยอื่น [9, 10, 12] ที่ใช้เซลล์โลสเมมเบรนชนิด Cuprophane<sup>®</sup> ที่มีรายงานถึงความเป็นพิษกับระบบภูมิคุ้มกันและเซลล์เม็ดเลือดขาว หมายความว่าเซลล์โลสเมมเบรนที่เราเตรียมได้นั้นไม่มีความเป็นพิษกับเซลล์ในเบื้องต้น จนกว่ามีการทดสอบกับเซลล์เม็ดเลือด โดยเซลล์โลสเมมเบรนที่เตรียมด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์และไทโอยูเรียนั้นมีค่าความเป็นพิษกับเซลล์ต่ำกว่าเซลล์โลสเมมเบรนที่เตรียมด้วยกระบวนการคิวแพรมโมเนียม คาดว่าเป็นผลมาจากการมีคอปเปอร์(II) หลงเหลืออยู่ในกระบวนการ ได้ถูกวิเคราะห์ว่าอาจส่งผลกระทบต่ออันตรกิริยากับเซลล์มนุษย์ ด้านการมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากในเซลล์โลสเมมเบรนนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษกับเซลล์แต่อย่างใด [9, 10, 12, 18] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Granja [20] ที่ทำการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพของรีเจนเนอเรทีฟเซลล์ไฮโดรเจลกับเซลล์กระดูกมนุษย์ พบว่าเซลล์สามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดี โดยไม่พบความเป็นพิษกับเซลล์แต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามตัวอย่าง 50W5 ให้ค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์เพียง 60% หมายความว่าตัวอย่าง 50W5 นั้นมีความเป็นพิษกับเซลล์เพราะให้ค่าการเจริญเติบโตของเซลล์ต่ำกว่า 70% ทางผู้วิจัยคาด

ว่าผลของค่ามูมสัมพัทธ์ที่สูงเกินไปและปริมาณฟลูออรีนที่มีมากบนผิวเมมเบรนนั้น ทำให้เซลล์ยึดติดอยู่บนเมมเบรนและเจริญเติบโตได้ยากกว่าปกติ เป็นสาเหตุทำให้ตัวอย่าง 50W5 นั้นมีความเป็นพิษกับเซลล์

จากนั้นผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่าง 50W3-2 และ 50W20-2 มาทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ เนื่องจากตัวอย่างทั้ง 2 ถูกตัดแปรผิวด้วยพลาสมาที่สภาวะเบาบาง โดยควบคุมความดัน 0.05 ทอร์, กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, และเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา 3 และ 20 นาที ทั้ง 2 ตัวอย่างให้ค่ามูมสัมพัทธ์เท่ากับ 75 องศา การที่ไม่เลือกตัวอย่าง 50W5-2 ที่มีสภาวะของพลาสมาคล้ายกับตัวอย่าง 50W5 แตกต่างกันเพียงความดันของแก๊ส นั้น เนื่องจากตัวอย่าง 50W5-2 ให้ค่ามูมสัมพัทธ์ 85 องศาซึ่งมีค่าสูง ทางผู้วิจัยเลือกใช้ตัวอย่าง 50W3-2 และ 50W20-2 แทน ผลปรากฏว่าตัวอย่าง 50W3-2 นั้นให้ค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์สูงถึง 85% อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิว 20 นาที ค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์ลดลงเหลือ 76% แม้ผ่านมาตรฐานเช่นกันแต่น้อยกว่าตัวอย่างที่ 50W3-2 อยู่เช่นเดิม ทั้งที่มีมูมสัมพัทธ์เท่ากับ 75 องศา ดังนั้นตัวอย่าง 50W3-2 ให้ค่าการเจริญเติบโตของเซลล์สูงที่สุดในหมู่ตัวอย่างที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาทั้ง 3 ตัวอย่าง การที่มีค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์แตกต่างกันทั้งที่มีมูมสัมพัทธ์เท่ากันนั้น ในกรณีนี้ค่ามูมสัมพัทธ์ไม่เกี่ยวข้องแต่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา เป็นไปได้ว่าผลของปริมาณฟลูออรีนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นส่งผลต่อค่าการเจริญเติบโตของเซลล์เช่นกัน หรือฟลูออรีนอาจส่งผลให้เซลล์บางส่วนตายได้ แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่ใช้ในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> นั้นส่งผลโดยตรงต่อค่าความเป็นพิษกับเซลล์ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ค่ามูมสัมพัทธ์, ความขรุขระบนผิวเมมเบรนและปริมาณฟลูออรีนล้วนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อเยื่อของหนู

#### 4.6 สมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย

สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียนั้นบ่งบอกถึงความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนพื้นผิวหรือเนื้อวัสดุ มีการทดสอบกับเซลล์แบคทีเรียได้หลายชนิดตามความต้องการและวัตถุประสงค์ของการใช้งานของวัสดุที่ต้องการทดสอบ ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียแบบการทดสอบเชิงปริมาณ (quantitative method) ตามมาตรฐาน AATCC 100-1999 [60] ใช้ทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในเนื้อวัสดุที่ใช้ทดสอบ จำพวก กระดาษและเมมเบรน โดยการหยดแบคทีเรียลงไปบนเนื้อวัสดุแล้วจากนั้นทำการเพาะเชื้อแล้วทดสอบต่อไป แตกต่างจากการทดสอบเชิงคุณภาพ (qualitative method) ที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผิววัสดุ รายงานเป็นขอบเขตการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (inhibition zone)



ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบคทีเรีย *E.coli* ในการทดสอบ เป็นแบคทีเรียชนิดพื้นฐานที่พบได้ทั่วไปในสภาพแวดล้อมปกติ โดยปริมาณเซลล์แบคทีเรียถูกนับเปรียบเทียบกับระหว่างตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่สนใจ โดยอาศัยการนับโคโลนีของแบคทีเรียและรายงานผลเป็นปริมาณโคโลนีของแบคทีเรีย จากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณโคโลนีของแบคทีเรียที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

เมื่อได้เซลล์โอสเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> (50W3-2) ที่มีความเป็นพิษกับเซลล์ต่ำแล้วนั้น ทางผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่าง 50W3-2 ไปวัดประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเปรียบเทียบกับเซลล์โอสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว โดยทำการทดสอบกับเซลล์แบคทีเรีย *E.coli* ที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) ผลการทดสอบเห็นได้ว่าตัวอย่าง 50W3-2 ใช้สภาวะพลาสมาที่ค่อนข้างเบาบางนั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียได้ไม่ดึนึก อย่างไรก็ตาม ปริมาณโคโลนีของแบคทีเรีย *E.coli* ก็ลดลง 6.99% เมื่อเทียบกับเซลล์โอสเมมเบรนที่ไม่ได้ตัดแปรผิว (untreated) อาจเป็นเพราะวิธีการที่ใช้เป็นการทดสอบทั้งชิ้นงานแต่ฟลูออรีนมีอยู่เฉพาะผิวของเมมเบรน ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียได้ต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ เนื่องด้วยตัวอย่างที่ใช้มีลักษณะแผ่นไม่เรียบและมีพื้นที่หน้าตัดของผิวไม่สม่ำเสมอไม่สามารถนำตัวอย่างไปกดบนเซลล์ทดสอบในการหาขอบเขตการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ อย่างไรก็ตามสามารถคาดเดาได้ว่าผลของปริมาณฟลูออรีนและค่ามอดุสสัมพันธ์นั้นส่งผลต่อปริมาณการลดลงของเซลล์แบคทีเรียอยู่บ้าง

มีรายงานการศึกษาพบว่าอะตอมของฟลูออรีนนั้นส่งผลให้โครงสร้างชั้นไขมันของเซลล์แบคทีเรียเกิดภาวะไม่เสถียรอย่างรุนแรง [59] และยังมีรายงานการศึกษ้อื่นพบว่าผลของความขรุขระบนผิว, พลังงานพื้นผิวและปริมาณฟลูออรีน ส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรีย [37, 39] จากงานวิจัยทั้งหมดสามารถกล่าวได้ว่ากลไกการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรียบนผิวเมมเบรนนั้นเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน แต่ถึงกระนั้นในหมุ่นักวิจัยทางด้านนี้ก็ทราบกันดีแล้วว่าอะตอมของฟลูออรีนนั้นส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรีย [37, 39, 40, 57-59] ทำให้เซลล์แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ลดลง จากตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction) ในตัวอย่างแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับตัวอย่างชนิดนั้นที่ไม่ได้ตัดแปรผิวด้วยพลาสมา พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของตัวอย่าง 50W3-2 เทียบกับงานวิจัยอื่นที่ใช้พลาสมาของฟลูออรีนในการตัดแปรผิว เห็นได้ว่าตัวอย่างที่ให้ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียสูงนั้น ใช้สภาวะที่รุนแรงกว่าตัวอย่างของผู้วิจัย เช่น การเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น การเพิ่มความดันของแก๊สที่ใช้รวมไปถึงการเพิ่มเวลาการตัดแปรผิว

ด้วยพลาสมา ดังนั้นมีความเป็นไปได้สูงหากผู้วิจัยเพิ่มสถานะในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียควรเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการลดลงของแบคทีเรียเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของฟลูออรีนที่สถานะแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ชนิดของแก๊ส	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความดัน (ทอร์)	เวลา (นาที)	ปริมาณการลดลง ของแบคทีเรีย (%)
50W3-2	SF <sub>6</sub>	50	0.050	3	6.99
[58] PLA	50%CF <sub>4</sub> /50%C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	100	0.050	10	92.2
[39] DLC	25%CF <sub>4</sub> /75%CH <sub>4</sub>	60	0.008	30	40
[40] wool	Ar-2%CF <sub>4</sub>	100	5	80	94

จากสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียและความเป็นพิษกับเซลล์นั้นเห็นได้ว่าสมบัติทั้ง 2 ข้อ มีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยเห็นได้จากตัวอย่าง 50W3-2 แสดงปริมาณความเป็นพิษกับเซลล์ และสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากนั้นพบว่าในตัวอย่าง 50W5 แสดงความเป็นพิษกับเซลล์สูงมาก ถึงแม้ไม่ได้ทำการวัดสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียแต่เชื่อได้ว่าสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียมักมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยปริมาณเซลล์ที่ลดลงทั้งในส่วนของเซลล์เนื้อเยื่อของหนูและปริมาณการลดลงของเซลล์แบคทีเรียที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันนั้น ทำให้สามารถตั้งข้อสรุปในการตัดแปรผิวของเซลล์ โลสเมมเบรนด้วยพลาสมาของ SF<sub>6</sub> ได้ว่าเมื่อความเป็นพิษกับเซลล์ต่ำ ส่งผลให้สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียต่ำเช่นกัน ในทิศทางเดียวกันเมื่อความเป็นพิษกับเซลล์สูง สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียควรเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน มีความเป็นไปได้สูงว่าฟลูออรีนได้เข้าไปหยุดยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายทั้งเซลล์เนื้อเยื่อของหนูและเซลล์แบคทีเรียในลักษณะเดียวกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

รีเจนเนอเรทีฟเซลล์โลสเมมเบรนจากผักตบชวาที่มีความหนาเพียง 0.10 มม และ 0.25 มม นั้นสามารถเตรียมได้จากสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และไทโอยูเรีย โดยการใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต 5% ร้อยละโดยน้ำหนัก เป็นสารก่อการจับก้อน ในส่วนของเทคนิคการตัดแปรผิวด้วยพลาสมานั้นได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างผิวของเมมเบรนที่มีความไม่ชอบน้ำสูง โดยการเพิ่มความขรุขระและปริมาณฟลูออรีนลงบนผิวของเมมเบรน

ผลการทดสอบด้านความเป็นพิษกับเซลล์นั้น เซลล์โลสเมมเบรนที่ไม่ผ่านการตัดแปรผิวมีค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์สูงกว่า 90% หมายความว่า เซลล์โลสเมมเบรนที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีค่าความเข้ากันได้กับเซลล์เนื้อเยื่อของหนูและไม่มีความเป็นพิษกับเซลล์แต่อย่างใด เมื่อทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ด้วยเมมเบรนที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> ภายใต้สภาวะที่ใช้คือกำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.5 ทอร์และเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา 5 นาที พบว่าค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์ลดลงเหลือเพียง 60% เกิดจากการมีมุมสัมผัสที่สูงถึง 130 องศาและมีปริมาณฟลูออรีนบนผิวมากเกินไป

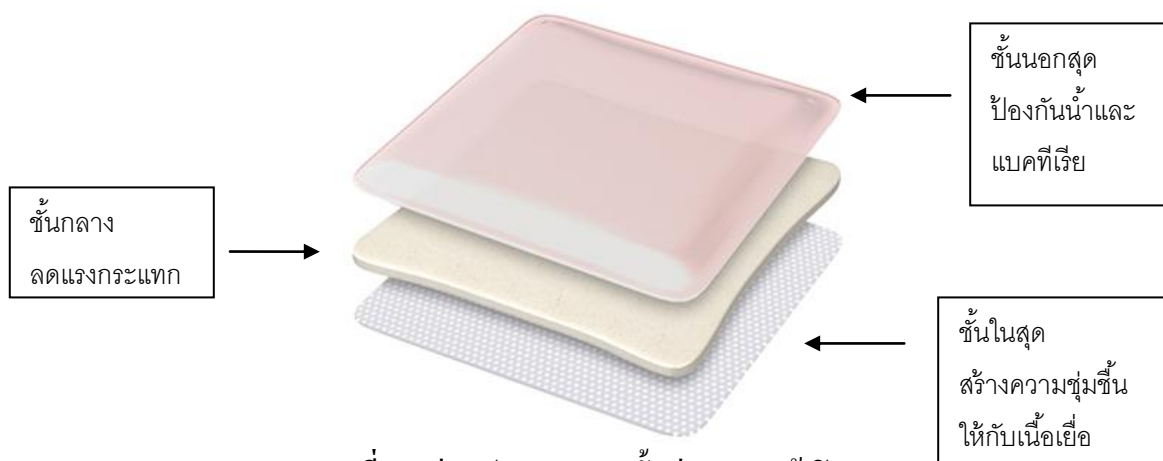
อย่างไรก็ตามเซลล์โลสเมมเบรนที่ผ่านการตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส SF<sub>6</sub> ภายใต้สภาวะที่ใช้คือกำลังไฟฟ้า 50 วัตต์, ความดัน 0.05 ทอร์และเวลาในการตัดแปรผิวด้วยพลาสมา 3 นาที แสดงค่าการมีชีวิตรอดของเซลล์สูงกว่า 80% และยังเพิ่มสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเล็กน้อย ทางผู้วิจัยคาดว่าผลของค่ามุมสัมผัส, ปริมาณฟลูออรีนและความขรุขระของผิวเมมเบรนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของทั้งเซลล์เนื้อเยื่อของหนูและเซลล์แบคทีเรียในทิศทางเดียวกัน

สรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถเตรียมเซลล์โลสเมมเบรนที่มีค่าความเป็นพิษกับเซลล์ต่ำและมีสมบัติการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเล็กน้อยได้ แต่ยังคงพัฒนาสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียให้สูงขึ้นโดยไม่ทำให้ค่าความเป็นพิษกับเซลล์เพิ่มสูงขึ้นต่อไป

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยสามารถเตรียมเซลล์โลสเมมเบรนที่มีความเป็นพิษต่ำได้สำเร็จ อย่างไรก็ตามงานวิจัยยังต้องพัฒนาการรวมสมบัติความไม่เป็นพิษกับเซลล์และมีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียที่สูงในชิ้นงานเดี่ยวให้ได้ อาจต้องใช้พลาสมาจากแก๊สชนิดอื่น เช่น ไนโตรเจน ผสมเข้าไปเพื่อช่วยในการเพิ่มการเจริญเติบโตของเซลล์มนุษย์โดยไม่ไปลดประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์

แบคทีเรีย เพื่อให้ได้เมมเบรนที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานเป็นเมมเบรนฟอกเลือด สำหรับการพัฒนาเมมเบรนให้มีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียสูงเพียงอย่างเดียวเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบชั้นนอกของผ้าปิดแผล (wound dressing) นั้นสามารถทำได้เพราะเซลลูโลสเมมเบรนมีจุดเด่นด้านความสามารถในการระบายอากาศได้ดี เมื่อตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของแก๊ส  $SF_6$  ที่สภาวะรุนแรงเพื่อเพิ่มมุมสัมผัสแล้วนั้น ค่ามุมสัมผัสที่สูงช่วยเพิ่มสมบัติการป้องกันน้ำและเชื้อโรคเข้าบาดแผลได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 5.1 ส่วนประกอบของชั้นต่างๆ ของผ้าปิดแผล

จากภาพที่ 5.1 พบว่าแต่ละชั้นที่เป็นส่วนประกอบของผ้าปิดแผลนั้นมีสมบัติแตกต่างกันดังนี้ ส่วนของชั้นในสุดที่สัมผัสกับเนื้อเยื่อต้องช่วยสร้างความชุ่มชื้นให้กับบาดแผล ส่วนของชั้นกลางต้องช่วยลดแรงกระแทกเมื่อบาดแผลกระทบกับสิ่งภายนอกต่างๆ และชั้นนอกสุดเป็นชั้นที่ต้องปกป้องบาดแผลจากความชื้นและเชื้อโรคนอกเข้าข้างกับเมมเบรนที่มีค่ามุมสัมผัสที่สูงและคาดว่าสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียที่สูงเช่นกันของผู้วิจัย คาดว่าสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นเมมเบรนชั้นนอกของผ้าปิดแผลได้

ทั้งนี้ยังสามารถเน้นการพัฒนาทางด้านการเตรียมเมมเบรนให้มีขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุนที่สามารถกำหนดได้ และนำไปทดสอบการซึมผ่านสารละลายมีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้ง เพื่อดูความสามารถในการซึมผ่าน คาดว่าเมมเบรนที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาของ  $SF_6$  ช่วยให้การซึมผ่านไม่มีขี้ผึ้งซึมผ่านได้อย่างรวดเร็วขึ้นและไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติโดยรวมของเมมเบรน เพราะฟลูออรีนมีอยู่เฉพาะบนชั้นผิวของเมมเบรนเท่านั้น ทำให้เซลลูโลสเมมเบรนใช้งานในการแยกสารได้หลากหลายประเภทมากขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] Carosio, F., et al., Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics. *European Polymer Journal* 47 (2011): 893-902.
- [2] Vaideki, K., et al., Investigation on the effect of RF air plasma and neem leaf extract treatment on the surface modification and antimicrobial activity of cotton fabric. *Applied Surface Science* 254 (2008): 2472-2478.
- [3] Kamlangkla, K., et al., Mechanical strength and hydrophobicity of cotton fabric after plasma treatment. *Applied Surface Science* 256 (2010): 5888-5897.
- [4] Kusumocahyo, S.P., et al., Development of polyion complex membranes based on cellulose acetate modified by oxygen plasma treatment for pervaporation. *Journal of Membrane Science* 208 (2002): 223-231.
- [5] Steen, M.L., et al., Hydrophilic modification of polymeric membranes by low temperature H<sub>2</sub>O plasma treatment. *Journal of Membrane Science* 204 (2002): 341-357.
- [6] Gulec, H.A., et al., Modification of cellulose acetate membrane via low-pressure plasma polymerization for sugar separation applications: Part I. Membrane development and characterization. *Journal of Membrane Science* 350 (2010): 310-321.
- [7] Lazea, A., et al., Modification of polyester track membranes by plasma treatments. *Surface and Coatings Technology* 200 (2005): 529-533.
- [8] Sartowska, B., et al., SEM observations of particle track membrane surfaces modified using plasma treatment. *Materials Chemistry and Physics* 81 (2003): 352-355.
- [9] Opajjareonsuk, W., Biocompatibility of Hemodialysis Membranes. *Practical Dialysis* 1 (2002): 349-358.
- [10] Hoenich, N.A., et al., Biocompatibility of membranes used in the treatment of renal failure. *Biomaterials* 16 (1995): 587-592.
- [11] Karen, B., et al., *Absorbable and Biodegradable Polymers*, Taylor & Francis Inc, 2003.
- [12] Cheung, A.K., Biocompatibility of Hemodialysis Membranes. *Journal of the American Society of Nephrology* 1 (1990): 150-161.

- [13] Klemm, D., et al., Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition* 44 (2005): 3358-3393.
- [14] Sperling, L.H., *Physical Polymer Science*, NJ : John Wiley & Sons, 2006.
- [15] Odian, G., *Principles of Polymerization*, NJ : John Wiley & Sons, 2004.
- [16] Zhou, J., et al., Cellulose microporous membranes prepared from NaOH/urea aqueous solution. *Journal of Membrane Science* 210 (2002): 77-90.
- [17] Ruan, D., et al., Microporous membranes prepared from cellulose in NaOH/thiourea aqueous solution. *Journal of Membrane Science* 241 (2004): 265-274.
- [18] Hoenich, N.A., Update on the Biocompatibility of Hemodialysis Membranes. *Hong Kong Journal of Nephrology* 6 (2004): 74-78.
- [19] Hoenich, N.A., et al., Synthetically modified cellulose: an alternative to synthetic membranes for use in haemodialysis? *Biomaterials* 18 (1997): 1299-1303.
- [20] Granja, P.L., et al., Cellulose phosphates as biomaterials. In vitro biocompatibility studies. *Reactive and Functional Polymers* 66 (2006): 728-739.
- [21] Zhang, S., et al., Dissolution behaviour and solubility of cellulose in NaOH complex solution. *Carbohydrate Polymers* 81 (2010): 668-674.
- [22] Mao, Y., et al., Effects of coagulants on porous structure of membranes prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solution. *Journal of Membrane Science* 279 (2006): 246-255.
- [23] Zhou, J., et al., Microstructure and aggregation behavior of methylcelluloses prepared in NaOH/urea aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers* 74 (2008): 901-906.
- [24] Xiong, X., et al., A pH-sensitive regenerated cellulose membrane. *Journal of Membrane Science* 363 (2010): 96-102.
- [25] Chang, C., et al., Structure and properties of hydrogels prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers* 82 (2010): 122-127.
- [26] Malik, A., Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. *Environment International* 33 (2007): 122-138.
- [27] Widyanto, L.S., et al., Water hyacinth as a Potential plant in a PaPer Factory. *Journal of Aquatic Plant Management* 21 (1983): 32-35.
- [28] Sornvoraweat, B., et al., Separated hydrolysis and fermentation of water hyacinth leaves

- for ethanol production. *KKU Research Journal* 15 (2010): 794-802.
- [29] Barai, B.K., et al., Optimization of a process for preparing carboxymethyl cellulose from water hyacinth (*Eichornia crassipes*). *Carbohydrate Polymers* 32 (1997): 229-231.
- [30] Kongtud, W., et al., Mechanical properties of Thai hand made paper from water hyacinth and saa mixed pulp for handicrafts. *Proceeding of the 45th Kasetsart University Annual Conference*, January 30-February 2, 2007, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, pages 379-384.
- [31] Nolan, W.J., et al., The Papermaking Properties of Water Hyacinth. *Hyacinth Control Journal* 12 (1974): 90-97.
- [32] Bhattacharya, A., et al., WATER HYACINTH AS A POTENTIAL BIOFUEL CROP. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 9 (2010): 112-122.
- [33] Ho, K.K.C., et al., Fluorination of carbon fibres in atmospheric plasma. *Carbon* 45 (2007): 775-784.
- [34] Maia da Costaa, M.E.H., et al., Fluorine incorporation into amorphous hydrogenated carbon films deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition: structural modifications investigated by X-ray photoelectron spectrometry and Raman spectroscopy. *Diamond and Related Materials* 10 (2001): 910-914.
- [35] Yoon, Y.I., et al., Superhydrophobicity of cellulose triacetate fibrous mats produced by electrospinning and plasma treatment. *Carbohydrate Polymers* 75 (2009): 246-250.
- [36] Vaideki, K., et al., A study on the antimicrobial efficacy of RF oxygen plasma and neem extract treated cotton fabrics. *Applied Surface Science* 253 (2007): 7323-7329.
- [37] Marciano, F.R., et al., Antibacterial activity of fluorinated diamond-like carbon films produced by PECVD. *Surface and Coatings Technology* 204 (2010): 2986-2990.
- [38] Sahin, H.T., RF-CF<sub>4</sub> plasma surface modification of paper: Chemical evaluation of two sidedness with XPS/ATR-FTIR. *Applied Surface Science* 253 (2007): 4367-4373.
- [39] Ishihara, M., et al., Antibacterial activity of fluorine incorporated DLC films. *Diamond*

- and Related Materials* 15 (2006): 1011-1014.
- [40] Canal, C., et al., Studies on antibacterial dressings obtained by fluorinated post-discharge plasma. *International Journal of Pharmaceutics* 367 (2009): 155-161.
- [41] Johansson, D. *Carbohydrate degradation and dissolution during Kraft cooking – Modelling of kinetic results*, Doctoral dissertation, Faculty of Technology and Science Chemical Engineering, Karlstad University, 2008.
- [42] Davis, R., et al., Use of atmospheric pressure plasma to confer durable water repellent functionality and antimicrobial functionality on cotton/polyester blend. *Surface and Coatings Technology* 205 (2011): 4791-4797.
- [43] Madaeni, et al., Improving separation capability of regenerated cellulose ultrafiltration membrane by surface modification. *Applied Surface Science* 257 (2011): 4870-4876.
- [44] Pertile, R.A.N., et al., Surface modification of bacterial cellulose by nitrogen-containing plasma for improved interaction with cells. *Carbohydrate Polymers* 82 (2010): 692-698.
- [45] Riekerink, M.B.O., et al., Tailoring the Properties of Asymmetric Cellulose Acetate Membranes by Gas Plasma Etching. *Journal of Colloid and Interface Science* 245 (2002): 338-348.
- [46] Guo, Z., et al., Superhydrophobic surfaces: From natural to biomimetic to functional. *Journal of Colloid and Interface Science* 353 (2011): 335-355.
- [47] Ehhalt, D., et al., Chapter 4. Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases. In J.T. Houghton et al., eds., *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, pp. 239-287. England : Cambridge U. Press, 2001.
- [48] Meinshausen, M., et al., The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109 (2011): 213-241.
- [49] Myhre, G., et al., New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases. *Geophysical Research Letters* 25 (1998): 2715-2718.
- [50] Shine, K., et al., Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases. *Climatic Change* 68 (2005): 281-302.



- [51] Vilar, E., et al., Haemodialysis. *Medicine* 39 (2011): 429-433.
- [52] Andrade, F.K., et al., Improving bacterial cellulose for blood vessel replacement: Functionalization with a chimeric protein containing a cellulose-binding module and an adhesion peptide. *Acta Biomaterialia* 6 (2010): 4034-4041.
- [53] Chiaoprakobkij, N., et al., Characterization and biocompatibility of bacterial cellulose/alginate composite sponges with human keratinocytes and gingival fibroblasts. *Carbohydrate Polymers* 85 (2011): 548-553.
- [54] Yuan, J., et al., Improvement of blood compatibility on cellulose membrane surface by grafting betaines. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 30 (2003): 147-155.
- [55] Tan, K., et al., Development of an antimicrobial microporous polyurethane membrane. *Journal of Membrane Science* 289 (2007): 199-209.
- [56] Jia, B., et al., Electrospun nano-fiber mats containing cationic cellulose derivatives and poly (vinyl alcohol) with antibacterial activity. *Carbohydrate Research* 346 (2011): 1337-1341.
- [57] Marciano, F.R., et al., Investigation into the antibacterial property and bacterial adhesion of diamond-like carbon films. *Vacuum* 85 (2011): 662-666.
- [58] Boonyawan, D., et al., Characterization and antimicrobial properties of fluorine-rich carbon films deposited on poly(lactic acid). *Surface and Coatings Technology* 205 (2011): S552-S557.
- [59] Giménez, D., et al., The introduction of fluorine atoms or trifluoromethyl groups in short cationic peptides enhances their antimicrobial activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 14 (2006): 6971-6978.
- [60] RA31, A.C., AATCC Test Method 100-1999, in *Antibacterial Finishes on Textile Materials: Assessment of*. *American Association of Textile Chemists and Colorists* (2004): 149-151.
- [61] Crist, B.V., *Handbook of Monochromatic XPS Spectra: The elements and native oxides*. California, USA : XPS International, Inc, 1999.
- [62] Crist, B.V., *XPS Handbook: Elements & Native Oxides*. California, USA : XPS International, Inc, 2007.

ภาคผนวก

ตารางที่ ๑ ค่ามุมสัมผัสของเซลล์โพลีเมมเบรนที่ไม่ได้ดัดแปรผิวและที่ดัดแปรผิวด้วยพลาสมาในสถานะต่างๆ

ชื่อรหัสตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 1	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 2	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 3	ค่ามุมสัมผัส (°) เฉลี่ย
<b>Untreated</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>a</b>
25W1	90±3	88±3	91±3	90±3
25W3	98±3	100±3	101±3	100±3
25W5	99±1	99±1	100±1	100±1
25W10	99±3	100±3	102±3	100±2
25W20	113±3	115±2	116±2	115±2
50W1	100±1	100±1	101±1	100±1
50W3	110±1	110±1	111±1	110±1
50W5	130±3	133±5	128±5	130±3
50W10	99±1	100±1	100±1	100±1
50W20	100±2	99±3	102±3	100±2
75W1	60±2	62±2	60±2	60±2
75W3	75±1	75±1	76±1	75±1
75W5	115±1	116±1	115±1	115±1
75W10	113±4	117±4	114±3	115±2
75W20	111±7	118±7	117±6	115±3
50W1-2	60±3	62±3	59±3	60±2
50W3-2	75±2	75±2	77±2	75±2
50W5-2	88±4	84±4	86±2	85±3
50W10-2	86±1	85±1	85±1	85±1
50W20-2	77±3	75±2	74±3	75±2

<sup>a</sup> ชิ้นงานมีความขรุขระสูง หยดน้ำถูกดูดซับในทันทีทำให้ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้

ตารางที่ ๒ เวลาที่ใช้ในการดูดซับน้ำของเซลลูโลสแบบเบรนนที่ไม่ได้ตัดแปรผิวและที่ตัดแปรผิวด้วยพลาสมาในสถานะต่างๆ

ชื่อรหัสตัวอย่าง	เวลาในการดูดซับน้ำ (นาที) วัดครั้งที่ 1	เวลาในการดูดซับน้ำ (นาที) วัดครั้งที่ 2	เวลาในการดูดซับน้ำ (นาที) วัดครั้งที่ 3	เวลาในการดูดซับน้ำ (นาที) เฉลี่ย
Untreated	a	a	a	a
25W1	45±2	43±2	46±2	45±2
25W3	44±1	45±1	45±1	45±1
25W5	51±1	50±1	51±1	50±1
25W10	70±3	67±3	72±3	70±3
25W20	67±3	62±3	65±3	65±3
50W1	41±1	40±1	40±1	40±1
50W3	39±2	41±2	40±1	40±1
50W5	58±3	61±3	60±3	60±2
50W10	40±1	41±1	40±1	40±1
50W20	38±3	39±3	41±3	40±2
75W1	20±2	19±2	21±2	20±1
75W3	40±3	42±3	39±3	40±2
75W5	70±5	73±5	68±5	70±3
75W10	46±3	46±3	43±3	45±2
75W20	44±2	46±2	46±2	45±1
50W1-2	5±1	5±1	4±1	5±1
50W3-2	28±3	30±3	31±3	30±2
50W5-2	30±3	29±3	32±3	30±2
50W10-2	24±1	25±1	24±1	25±1
50W20-2	29±3	31±3	28±3	30±2

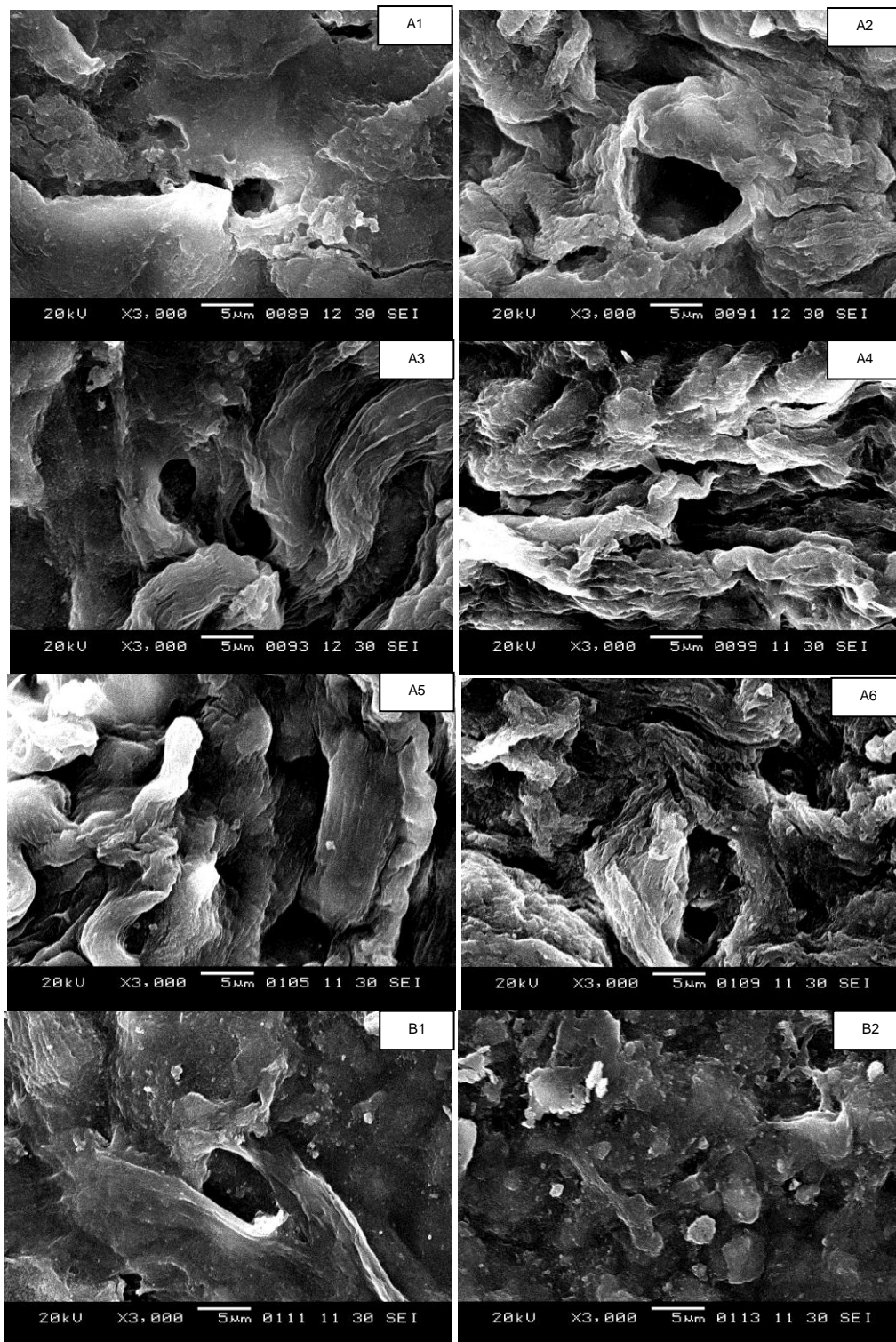
<sup>a</sup> ชิ้นงานมีความชอบน้ำสูง หยคน้ำถูกดูดซับในทันทีทำให้ไม่สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้

ตารางที่ ๓ ค่ามุมสัมผัสของเซลล์โพลีเมมเบรนตัวอย่าง 50W5 ที่เวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน

ระยะเวลาในการ เก็บรักษา	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 1	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 2	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 3	ค่ามุมสัมผัส (°) เฉลี่ย
1 วัน	130±3	133±5	128±5	130±3
2 วัน	131±3	130±3	128±3	130±2
3 วัน	130±6	133±6	127±6	130±3
4 วัน	129±2	131±2	130±2	130±1
5 วัน	131±4	128±4	132±4	130±2
6 วัน	135±7	128±7	128±7	130±5
7 วัน	133±5	128±5	129±5	130±3
1 สัปดาห์	127±7	134±7	130±7	130±4
2 สัปดาห์	131±1	130±1	130±1	130±1
3 สัปดาห์	130±3	129±3	132±3	130±2
4 สัปดาห์	127±5	132±5	131±5	130±3
5 สัปดาห์	129±5	133±5	128±5	130±3
6 สัปดาห์	130±3	132±3	129±3	130±3
7 สัปดาห์	126±8	131±8	134±8	130±4
8 สัปดาห์	133±4	129±4	129±4	130±3
10 สัปดาห์	130±3	128±3	131±3	130±3
12 สัปดาห์	127±5	131±5	132±5	130±3
14 สัปดาห์	127±3	125±3	128±3	127±2
16 สัปดาห์	126±2	125±2	125±2	125±1
20 สัปดาห์	123±3	125±3	126±3	125±2
24 สัปดาห์	124±4	123±4	127±4	125±2
28 สัปดาห์	125±5	128±5	123±5	125±3

ตารางที่ 4 ค่ามุมสัมผัสของเซลล์โอสเมมเบรนตัวอย่าง 50W3-2 ที่เวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน

ระยะเวลาในการ เก็บรักษา	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 1	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 2	ค่ามุมสัมผัส (°) วัดครั้งที่ 3	ค่ามุมสัมผัส (°) เฉลี่ย
1 วัน	73±5	78±5	75±5	75±3
2 วัน	74±4	77±4	73±4	75±2
3 วัน	73±4	77±4	75±4	75±2
4 วัน	75±1	76±1	75±1	75±1
5 วัน	74±2	76±2	75±2	75±1
6 วัน	72±5	77±5	74±5	75±3
7 วัน	71±7	75±7	78±7	75±4
1 สัปดาห์	74±2	73±2	75±2	75±2
2 สัปดาห์	75±1	75±1	74±1	75±1
3 สัปดาห์	73±4	73±4	77±4	75±2
4 สัปดาห์	74±3	77±3	76±3	75±2
5 สัปดาห์	73±5	76±5	78±5	75±3
6 สัปดาห์	72±6	75±6	78±6	75±3
7 สัปดาห์	77±4	75±4	73±4	75±2
8 สัปดาห์	73±3	76±3	76±3	75±2
10 สัปดาห์	74±2	76±2	76±2	75±1
12 สัปดาห์	72±2	71±2	74±2	73±2
14 สัปดาห์	72±1	71±1	72±1	72±2
16 สัปดาห์	70±2	72±2	72±2	71±1
20 สัปดาห์	70±4	68±4	72±4	70±2
24 สัปดาห์	69±3	68±3	71±3	70±2
28 สัปดาห์	70±2	68±2	68±5	69±2



ภาพที่ ๕ 1 ภาพถ่ายมุมมองจากเทคนิค SEM แสดงขนาดรูพรุนของรีเจนเนอเรตเตดเซลลูโลส  
เมมเบรนที่มีความหนา 0.25 มม (A1-A6) และ 0.10 มม (B1-B2)

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายญาณวิทย์ จันทรภิรมย์ เกิดวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด ประเทศไทย มีภูมิลำเนาอยู่บ้านเลขที่ 209 หมู่ที่ 3 ต.เหนือเมือง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด จบการศึกษาปริญญาตรีในสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลในปี พ.ศ. 2552 จากนั้นได้ทำการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรปริญญาโท สาขาเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มีโอกาสได้เข้าร่วมการเสนอผลงานวิทยาศาสตร์แบบโปสเตอร์วิชาการที่งานประชุมวิชาการ Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2013) อำเภอบางแสน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย ในวันที่ 23-25 มกราคม พ.ศ. 2556 และยังมีโอกาสเข้าร่วมการประชุมวิชาการ World forum on Advanced Materials (POLYCHAR 21) ที่เมืองกวางจู ประเทศเกาหลีใต้ ในวันที่ 11-15 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยได้นำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์วิชาการได้รับความสนใจจากเหล่านักศึกษาและอาจารย์จากมหาวิทยาลัยหลายประเทศ เช่น เกาหลี, ญี่ปุ่น, มาเลเซีย, อินโดนีเซีย, ฮองกงและแอฟริกาใต้ ภายหลังจากการนำเสนอผลงานแล้วนั้นได้รับการทาบทามเข้าศึกษาต่อชั้นปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัยนานาชาติคยองปุก ประเทศเกาหลีใต้ จากรองศาสตราจารย์ ดร.ปาร์ค คยอง-แบ ในงานวิจัยเชิงเซลล์โลส

ปัจจุบันอยู่ในระหว่างการเขียนและเรียบเรียงงานวิจัยส่งเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ