

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัยของข้อมูลต่างๆ ซึ่งได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยจะนำเสนอตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการศึกษาเงื่อนไขการกักรอย เพื่อหาตัวเร่งที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเงื่อนไขเบื้องต้นในการกักรอยต่อไป

4.2 ผลของการทำให้เกิดรอยแผงบนแผ่น PC โดยการศึกษาลักษณะของรูพรุนที่เกิดจากอนุภาคโปรตอน และ อนุภาคแอลฟา

4.3 นิวตรอนเร็ว เพื่อหาเงื่อนไขการกักรอยที่เหมาะสมของแผ่น PC ที่ผ่านการอบนิวตรอนเร็ว

4.4 นิวตรอนช้า เพื่อหาเงื่อนไขการกักรอยที่เหมาะสมของแผ่น PC ที่ผ่านการอบนิวตรอนช้า

4.5 ผลการหาขนาดใหญ่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนโดยเทคนิคฟองอากาศ

4.6 ผลการศึกษาเวลาในการอบนิวตรอนเร็ว เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเวลาในการอบนิวตรอน กับความหนาแน่นของรูพรุน บนแผ่น PC

4.7 ภาพถ่าย SEM ของเมมเบรนแผ่นมาตรฐาน (Millipore ,Ireland) เพื่อใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิว รูพรุน และความหนาแน่นของรูพรุน

4.8 ผลการเปรียบเทียบรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นกับแผ่นเมมเบรนมาตรฐานในด้านลักษณะพื้นผิว รูพรุน และความหนาแน่นของรูพรุน

4.1 ผลการศึกษาเงื่อนไขการกักรอย

ในขณะที่ทำการกักรอย ทุกส่วนของแผ่น PC จะถูกละลายออกโดยรอยแผงของอนุภาคจะมีอัตราการละลายเร็วกว่าบริเวณอื่น ดังรูปที่ 2.8 โดยให้อัตราการละลายของแผ่น PC ในทิศของอนุภาคเป็น V_T และอัตราการละลายของแผ่น PC ในบริเวณอื่นเป็น V_0 ดังรูปที่ 2.8 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า

- กรณีใช้ Ethanol พบว่าสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ คือสามารถลดเวลาการกัตรอยลงได้ประมาณ 60% ของเวลาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และเร่งปฏิกิริยาได้ทั้งในแนว V_0 ,มากกว่า V_t ดังรูปที่ 4.1 แต่ทำให้แผ่นเมมเบรนเปื่อยยุ่ย ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

- กรณีใช้ Methanol พบว่าเร่งปฏิกิริยาได้ทั้ง ในแนว V_0 ,มากกว่า V_t แต่น้อยกว่า Ethanol ดังรูปที่ 4.1 คือสามารถลดเวลาการกัตรอยลงได้ ประมาณ 50% ของเวลาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ทำให้แผ่นเมมเบรนเปราะขาดง่าย

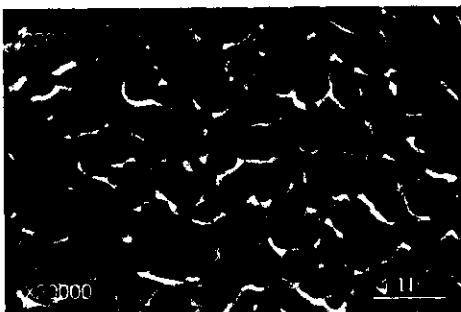
- ใช้ก๊าซ O_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าจะสามารถได้เล็กน้อยคือใช้เวลาในการกัตรอยใกล้เคียงกับ การกัตรอยโดยไม่มีตัวเร่งแต่ทำให้รอยบนแผ่นเมมเบรนไม่สม่ำเสมอ เพราะขณะกัตรอยมีฟองอากาศไปเกาะที่แผ่นเมมเบรน

- ใช้สารละลาย H_2O_2 30% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถลดเวลาในการกัตรอยได้ประมาณ 40% ของเวลาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ทำให้แผ่นเมมเบรนเปราะขาดง่าย

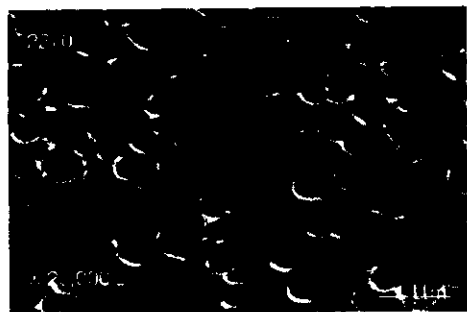
- อาบ UV สามารถเร่งปฏิกิริยาในแนว V_t ได้ ใช้เวลากัตรอยเท่ากับการกัตรอยโดยไม่มีตัวเร่งและไม่ทำให้แผ่นเมมเบรนเปราะ

จากการที่ได้ทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้กล่าวมาแล้วจึง เลือกใช้ UV เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกัตร โดยหาเงื่อนไขของเวลาที่เหมาะสม ดังนี้

นำแผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอบนิวตรอนแล้ว ไปอาบ UV ที่เวลาต่างๆ ดังนี้ 1, 1.5, 2 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นเมมเบรนไปกัตรขยายรอยที่เงื่อนไขเดียวกัน (อุณหภูมิ $85^{\circ}C$ NaOH 4.25 N 6 นาที) หลังจากนั้นนำแผ่นเมมเบรนไปทดสอบอัตราการไหลของน้ำ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2

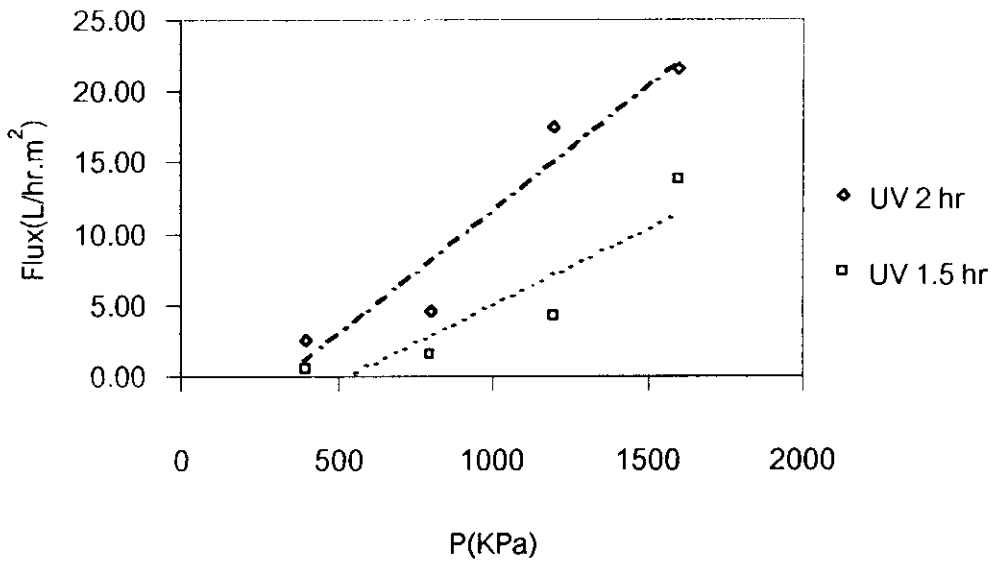


ก)



ข)

รูปที่ 4.1 อาบนิวตรอน 3 ชั่วโมง กัตรขยายรอย 20 นาที อุณหภูมิ $60^{\circ}C$ ก)ใช้ethanol ช่วยในการกัตรขยายรอย ข)ใช้ methanol ช่วยในการกัตรขยายรอย (กำลังขยาย 20,000 เท่า)

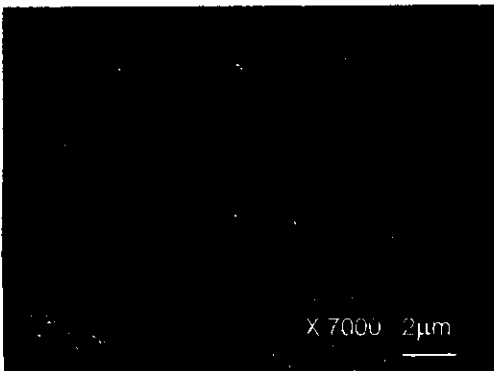


รูปที่ 4.2 แสดงอัตราการไหลของน้ำ ที่เวลาการอบรังสี UV ต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น โดยใช้แผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอบนิวตรอนเร็ว 30 นาที เงื่อนไขการกักตอชยเดียวกันคือ อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้น NaOH 4.25 N เวลา 6 นาที แต่เวลาในการอบ UV ต่างกัน คือ 1, 1.5, 2 และ 2.5 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าที่เวลาอบ UV 2 ชั่วโมงให้อัตราการไหลของน้ำได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 4.2 ที่ความดันเดียวกัน อัตราการไหลของน้ำที่เวลาอบ UV 2 ชั่วโมงจะมีอัตราการไหลของน้ำสูงกว่าทุกค่าความดัน เช่น ที่ความดัน 400 kPa ที่เวลาอบ UV 2 ชั่วโมง มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 3 L/hr.m² ในขณะที่เวลาอบ UV 1 ชั่วโมง มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 1 L/hr.m² ส่วนเวลาอบ UV 2.5 ชั่วโมงเกิดความร้อนขึ้นมากขณะอบ UV ทำให้แผ่น PC ม้วนเข้าหากัน จึงเลือกเงื่อนไขการอบ UV 2 ชั่วโมง ใช้ทำการทดลองครั้งต่อไป

4.2 ผลของการทำให้เกิดรอยแฉ่งบนแผ่นฟิล์มพอลิคาร์บอเนต

จากแผ่น PC ที่ไม่มีรอยของอนุภาค ดังรูปที่ 4.3 นำมาทำให้เกิดรอย จากอนุภาค 2 ชนิด คือ รอยของ recoil proton จากนิวตรอนเร็ว และรอยของอนุภาคแอลฟา จากนิวตรอนช้า ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



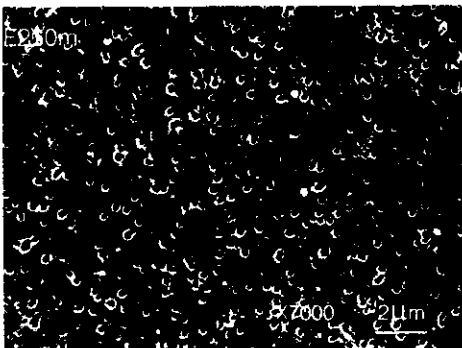
หน้า



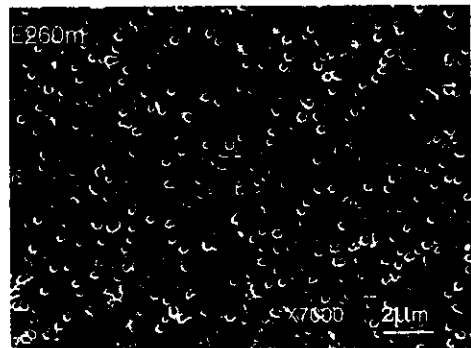
หลัง

รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 7000X ของ แผ่น PC ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการอบนิวตรอนและกัดขยายรอย

4.2.1 รอยของอนุภาคจากการอบนิวตรอนเร็ว



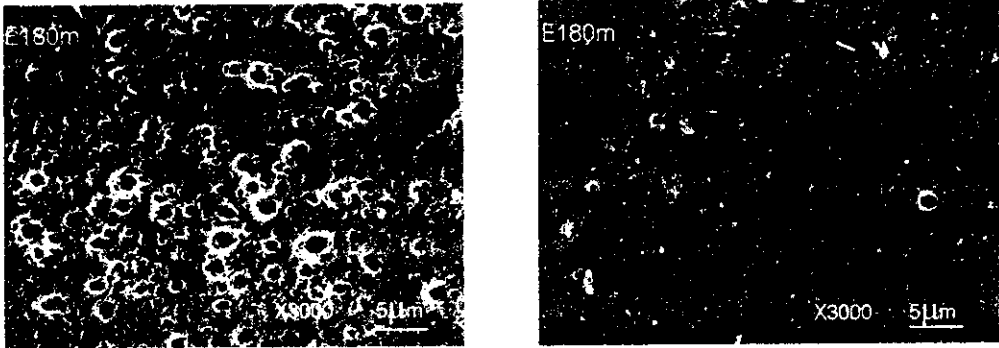
หน้า



หลัง

รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 7,000X ของการอบนิวตรอนเร็ว 20 นาที : เจือจางไฮดรอกไซด์รอย อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้น NaOH 0.75 N เวลา 260 นาที

4.2.2 รอยของอนุภาคจากการอบนิวตรอนซ้ำ



หน้า

หลัง

รูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 3,000X ของการ อบนิวตรอนซ้ำ 20 นาที: เงื่อนไขการกัดรอย
อุณหภูมิ 85 °C ความต่างศักย์ 2000 V ความเข้มข้น NaOH 2.25 N เวลา 180 นาที

จากรูปที่ 4.3 เมื่อยังไม่นำ แผ่น PC ไปผ่านกระบวนการ อบนิวตรอน และการกัดรอย จะยังไม่มีรอยของอนุภาคปรากฏให้เห็น แต่เมื่อ นำแผ่น PC ไป อบนิวตรอนแล้วนำมากัดรอยด้วยสารละลาย NaOH จะปรากฏรอยอนุภาคให้เห็นดังรูปที่ 4.4 - 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารอยจากนิวตรอนเร็วและนิวตรอนช้ามีลักษณะแตกต่างกัน โดยที่รอยจากนิวตรอนช้าจะมีรอยอยู่เพียงด้านเดียวอีกด้านจะไม่มี ส่วนรอยอนุภาคจากนิวตรอนเร็วจะมีทั้งสองด้านและมีจำนวนมากกว่ารอยอนุภาคจากนิวตรอนช้าในขณะที่เวลาอบนิวตรอนเท่ากัน

4.3 นวัตกรรมเร็ว

แผ่น PC ที่ผ่านการอบนวัตกรรมเร็วที่เวลาต่างๆ จะนำมาทดสอบเพื่อหาเงื่อนไขการกัดกร่อนที่เหมาะสม ซึ่งแสดงได้ดังผลการทดลองต่อไปนี้

4.3.1 ออบนวัตกรรมเร็ว 5 นาที

จากการเปลี่ยนแปลง เงื่อนไขการกัดกร่อนของค่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เวลา และอุณหภูมิ พบว่าการกัดขยายรอยที่ความเข้มข้น 2.25 N อุณหภูมิ 75 °C มีอัตราการกัดกร่อนน้อยมาก เนื่องจากความเข้มข้นของ NaOH และอุณหภูมิไม่สูง สังเกตได้จากตารางที่ 4.1 ของเวลาการกัดขยายรอย 34 นาที มีขนาดรูพรุน 0.38 μm (ด้านหน้า) และ รูพรุนขนาดเล็กมาจนไม่สามารถได้ดังรูปที่ ก 1.1 (ด้านหลัง) และมีการกระจายของรูพรุนน้อย คือ 0.07 μm (ด้านหน้า) แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็น 85°C อัตราการกัดขยายรอยจะสูงกว่า สังเกตได้จากเวลาการกัดกร่อน 34 นาทีเท่ากัน แต่วัดขนาดรูพรุนได้ 1.01 μm (ด้านหน้า) และ 1.00 μm (ด้านหลัง) และมีการกระจายของรูพรุนเท่ากับ 0.46 μm ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 75 °C

ตาราง 4.1 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน : ที่เงื่อนไขการกัดกร่อนอุณหภูมิ 75 °C, 80 °C, 85 °C ความเข้มข้น NaOH 2.25 N

ความเข้มข้น NaOH (N)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (μm)	
			หน้า	หลัง
2.25	75	34	0.38 \pm 0.07	-
		37	0.66 \pm 0.15	0.64 \pm 0.16
		40	0.86 \pm 0.26	0.76 \pm 0.20
	80	31	0.70 \pm 0.20	0.69 \pm 0.19
		34	0.91 \pm 0.30	0.81 \pm 0.26
		37	1.03 \pm 0.38	0.81 \pm 0.27
	85	28	0.88 \pm 0.33	0.82 \pm 0.22
		31	1.01 \pm 0.41	0.98 \pm 0.46
		34	1.01 \pm 0.46	1.00 \pm 0.36

และเมื่ออุณหภูมิคงที่ แต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NaOH พบว่าอัตราการกัดขยาย รอย และการกระจายของรูพรุนก็จะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ NaOH สูงขึ้น ดังนี้

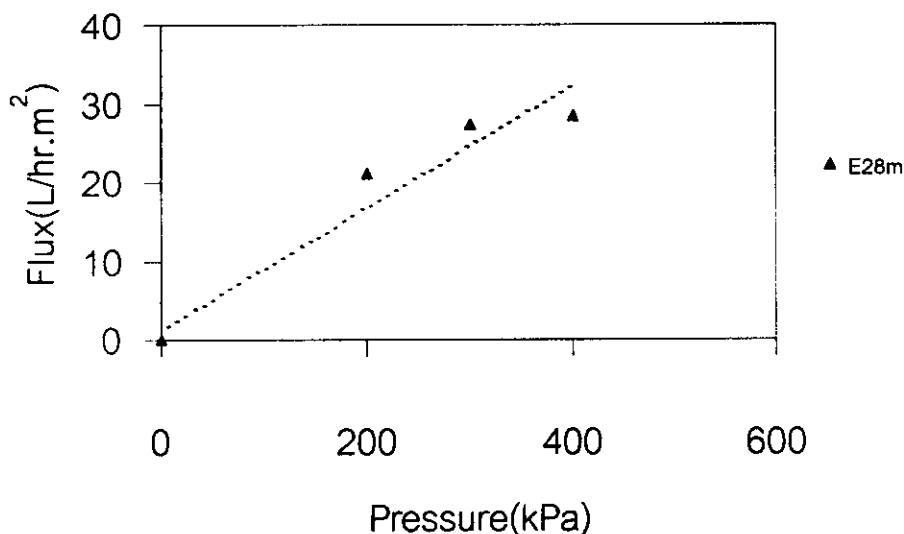
ตาราง 4.2 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน : เงื่อนไขการกัดรอย ความเข้มข้น NaOH 2.25 N, 4.25 N, 6.25 N , อุณหภูมิ 80 °C

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น NaOH (N)	เวลา (นาที)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (µm)	
			หน้า	หลัง
80	2.25	31	0.70 ± 0.20	0.69 ± 0.19
		34	0.91 ± 0.30	0.81 ± 0.26
		37	1.03 ± 0.38	0.81 ± 0.27
	4.25	16	1.12 ± 0.49	0.73 ± 0.19
		18	0.94 ± 0.38	0.94 ± 0.32
		20	1.15 ± 0.45	1.06 ± 0.42
	6.25	6	-	0.75 ± 0.19
		7	0.88 ± 0.25	0.71 ± 0.25
		8	1.04 ± 0.37	0.89 ± 0.27

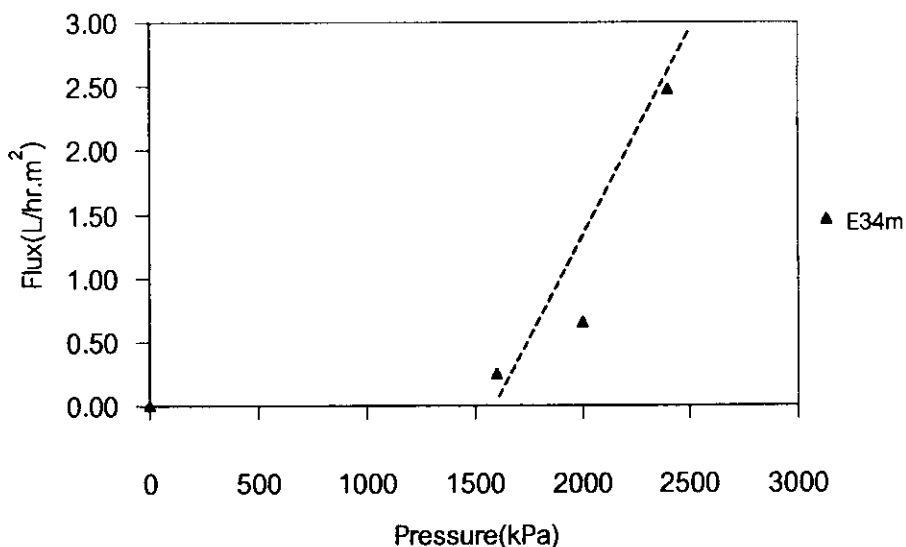
จาก ตาราง 4.2 จะเห็นว่าอัตราการกัดขยายรอยที่ความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N มีค่า สูงที่สุด คือ ใช้เวลาน้อยที่สุดในการกัดขยายรอยให้ได้ขนาดรูพรุนเท่ากัน เช่น NaOH ความเข้มข้น 6.25 N ใช้เวลาเพียงแค่ 7 นาที ได้ขนาดรูพรุน 0.88 µm (ด้านหน้า) 0.71 µm (ด้านหลัง)แต่ที่ ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N ต้องใช้เวลากัดรอยถึง 31 นาที จึงได้ขนาดรูพรุน 0.70 µm (ด้าน หน้า) 0.69 µm (ด้านหลัง)

จากผลการศึกษาเงื่อนไขการกัดขยายรอยของการอบนิวตรอนเร็ว เป็นเวลา 5 นาที ตาม เงื่อนไขการกัดขยายรอยต่างๆ (โดยใช้เงื่อนไข ของ อัตราการไหลของน้ำ ขนาดรูพรุน การกระจาย ของรูพรุน ความแข็งแรงของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นเป็นแกนในการตัดสินใจ) พบว่าเหมาะสม กับ การกัดขยายรอยที่ อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N โดยสังเกตจากเงื่อนไขต่อไปนี้

- เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำที่ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N ระหว่าง อุณหภูมิ 85 °C กับ 80 °C เวลาที่ดซยายรอย 28, 34 นาที ตามลำดับ (เนื่องจากมีขนาด และจำนวนรูพรุน ใกล้เคียงกัน)

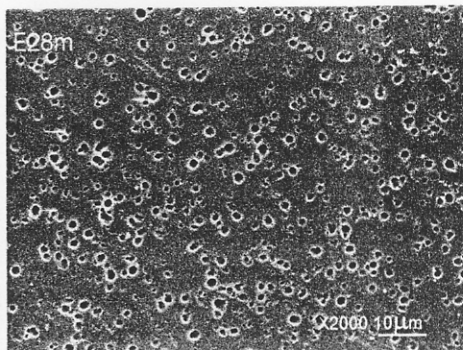
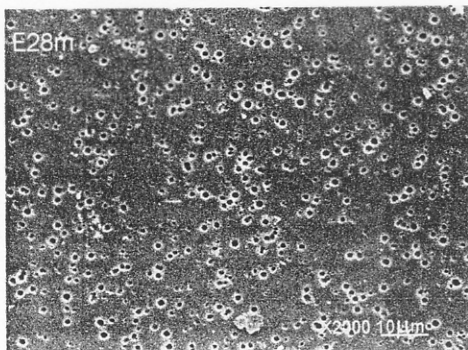


รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เส้นใยการกัตรอย : ความเข้มข้น NaOH 2.25 N
อุณหภูมิ 85 °C เวลา 28 นาที

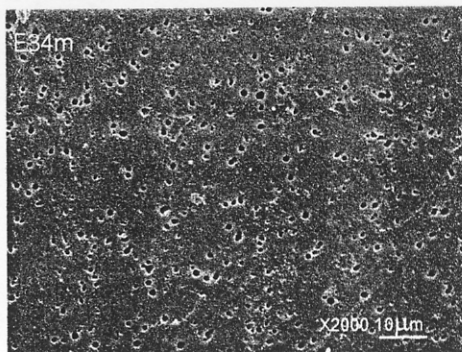
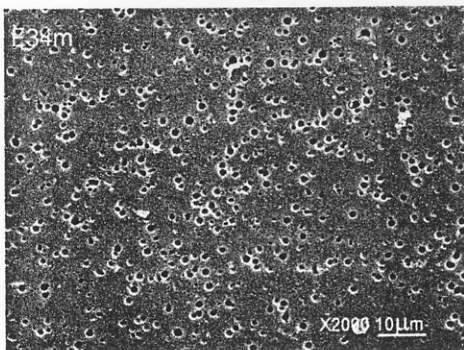


รูปที่ 4.7 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เส้นใยการกัตรอย : ความเข้มข้น NaOH 2.25 N
อุณหภูมิ 80 °C เวลา 34 นาที

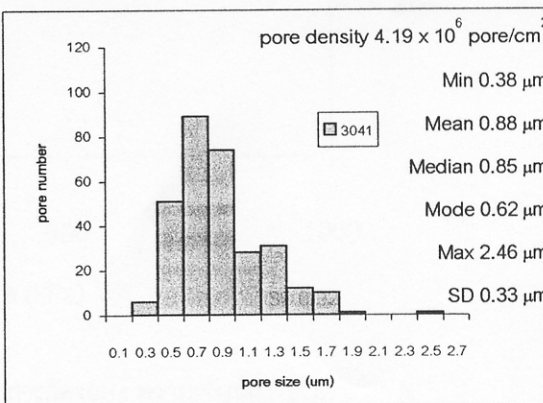
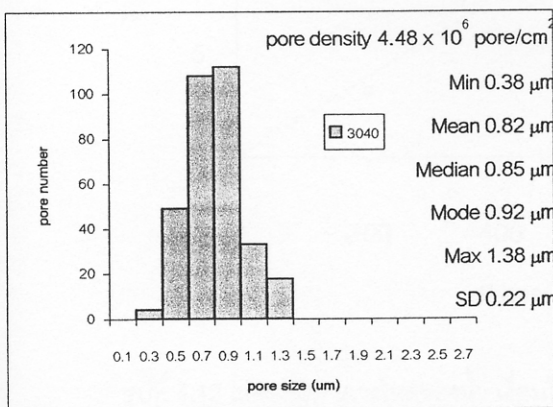
จากรูปที่ 4.7 อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จนกระทั่งที่ความดัน 2000 kPa อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าแผ่นเมมเบรนเริ่มขาด



รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM 2,000X : เงื่อนไขการกัดกร่อน :
 ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 28 นาที

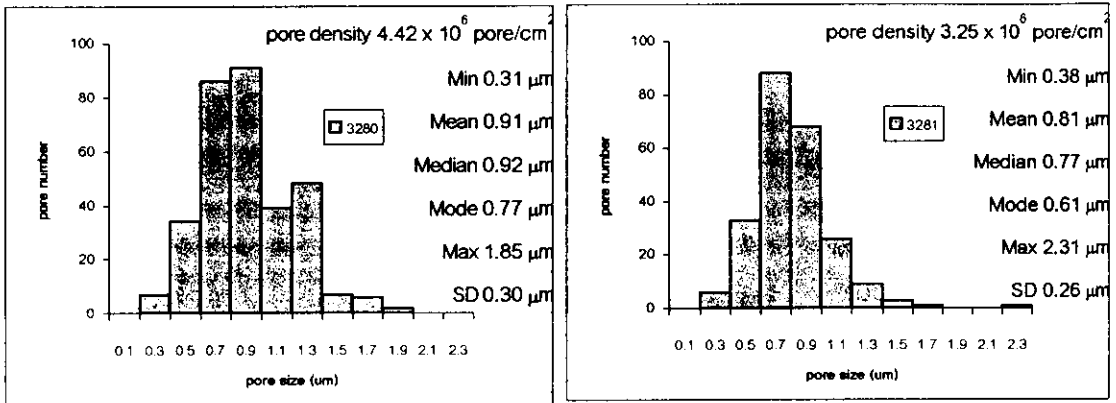


รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM 2,000X : เงื่อนไขการกัดกร่อน :
 ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 80 °C เวลา 34 นาที



รูปที่ 4.10 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดกร่อน :

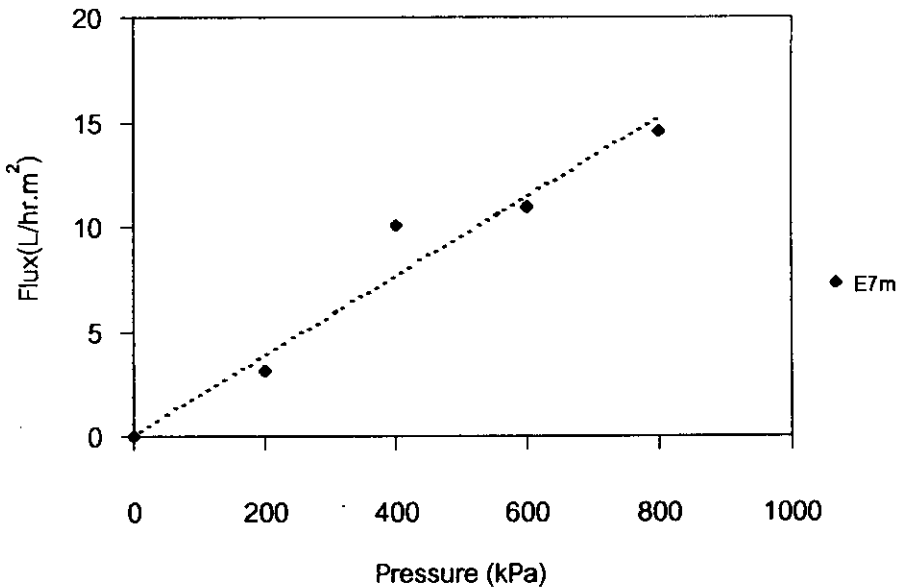
ความเข้มข้น NaOH 2.25 N อุณหภูมิในการกัดกร่อน 85 °C เวลา 28 นาที



รูปที่ 4.11 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุนเยื่อใยการกักตroy :

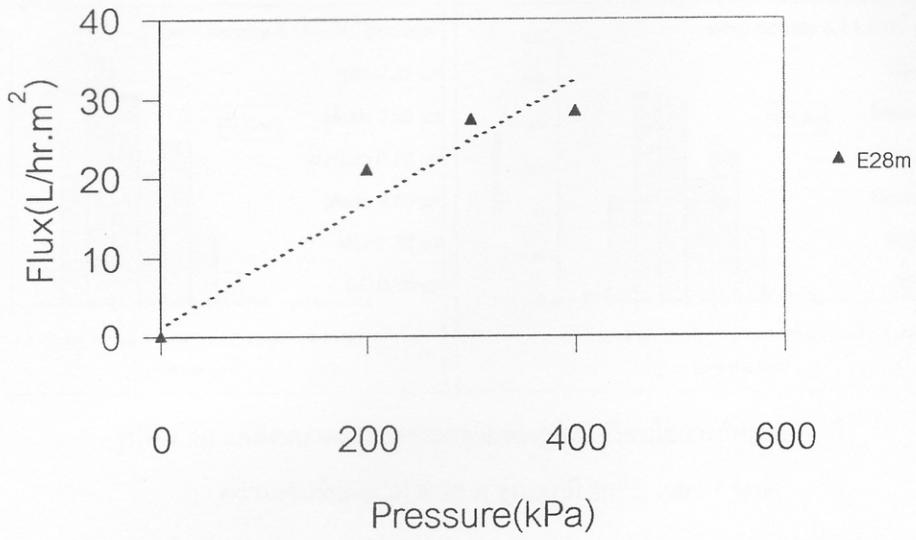
ความเข้มข้น NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 80 °C เวลา 34 นาที

- เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำที่ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N กับ 6.25 N ที่อุณหภูมิ 85 °C เวลาที่กักตroy 28, 34 นาที ตามลำดับ (เนื่องจากมีขนาด และจำนวนรูพรุนใกล้เคียงกัน)

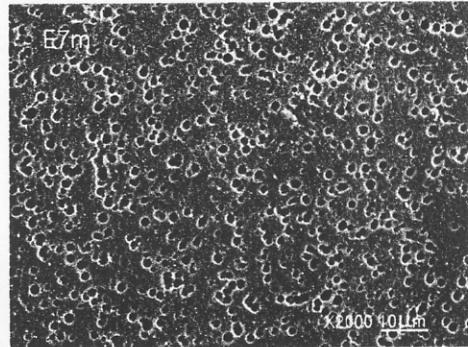
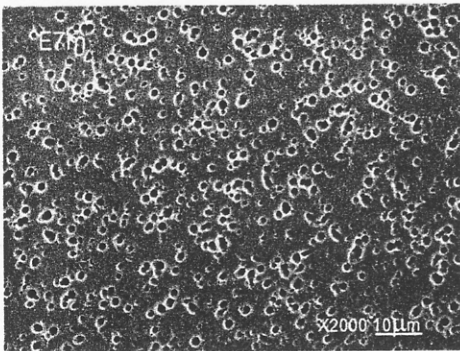


รูปที่ 4.12 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เยื่อใยการกักตroy : ความเข้มข้น NaOH 6.25 N

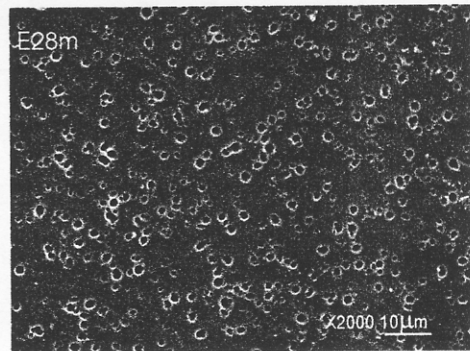
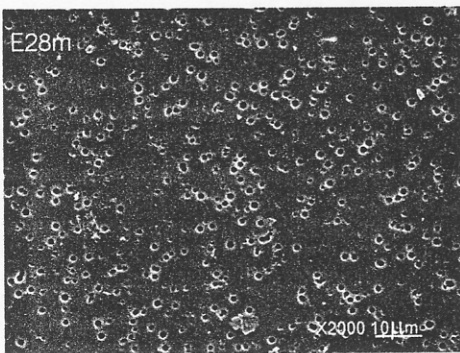
อุณหภูมิ 85 °C เวลา 7 นาที



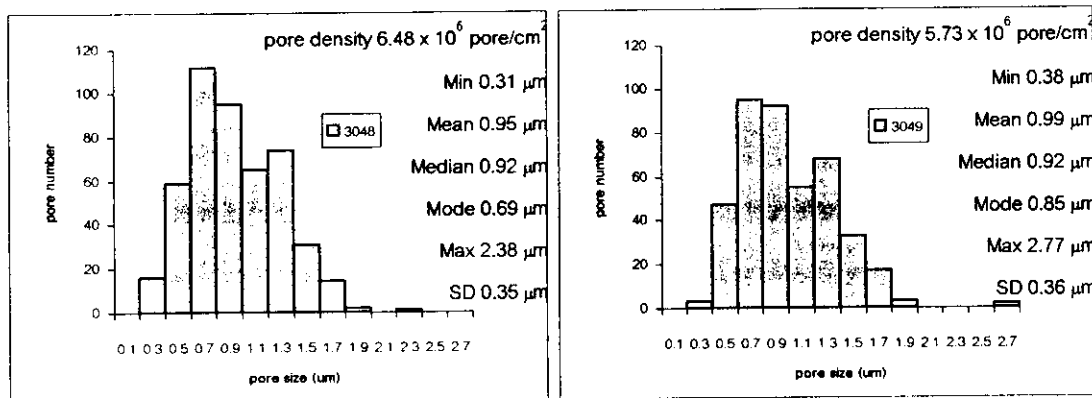
รูปที่ 4.13 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เจือปนโซลการกัทรอย : ความเข้มข้น NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 28 นาที



รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM 2,000X : เจือปนโซลการกัทรอย : ความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 7 นาที

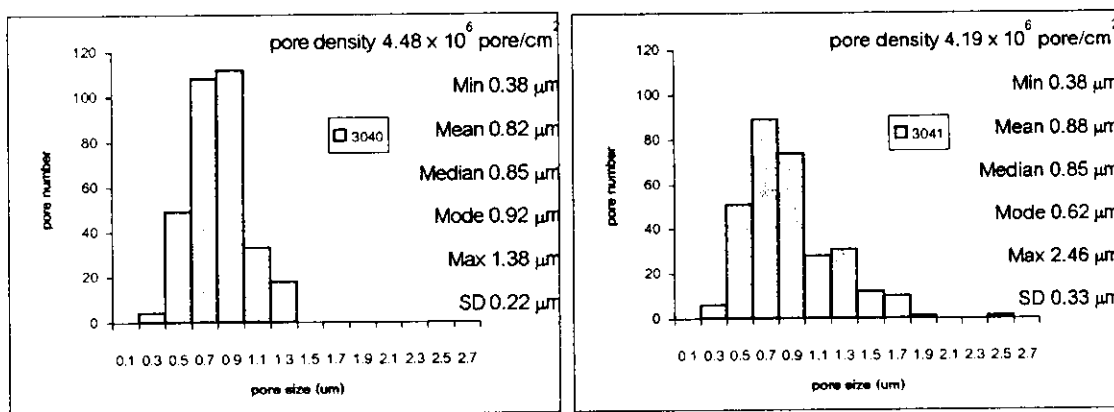


รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM 2,000X : เจือปนโซลการกัทรอย : ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 28 นาที



รูปที่ 4.16 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เจือไนไฮการกัตรอย :

ความเข้มข้น NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85°C เวลา 7 นาที



รูปที่ 4.17 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เจือไนไฮการกัตรอย :

ความเข้มข้น NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85°C เวลา 28 นาที

จากรูปที่ 4.6 – 4.7 และ 4.12 – 4.13 แสดงอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่เจือไนไฮการกัตรอยต่างๆพบว่า อัตราการไหลของน้ำเมื่อใช้ อุณหภูมิการกัตรอย 85 °C ความดัน 200 kPa มีค่าประมาณ 20 L/hr.m² ซึ่งมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 80 °C ความดัน 200 kPa มีค่าประมาณ 1 L/hr.m² และอัตราการไหลของน้ำที่ ความเข้มข้นของ NaOH 2.25 มีค่าประมาณ 20 L/hr.m² ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N ซึ่งมีค่าประมาณ 3 L/hr.m² ที่ความดันเท่ากันคือ ความดัน 200 kPa ทั้งๆที่ขนาดรูพรุนมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.8 – 4.11 และ 4.14 – 4.17 แสดงว่าที่ อุณหภูมิในการกัตรอย 85° C และความเข้มข้น 2.25 N มีรูพรุนที่ทะลุจำนวนมากว่า และการกระจายของรูพรุนก็ไม่แตกต่างกันมากนัก (ดูได้จากรูปที่ 4.10 – 4.11 และ 4.16 – 4.17) รวมทั้งยังมีความคงทน โดยสามารถเพิ่มความดันขณะทดสอบอัตราการไหลของน้ำได้จนถึง 400 KPa (ดูได้จากรูปที่ 4.6 และ 4.13)

3.3.2 ออบนิวตรอนเร็ว 10 นาที

แผ่น PC ที่ผ่านการอบนิวตรอนเร็ว 10 นาที สามารถนำมาหาเงื่อนไขการกัดรอยที่เหมาะสมได้ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขการกัดขยายรอย ที่ความเข้มข้น NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 °C มีอัตราการกัดรายน้อย ส่วนเงื่อนไขการกัดรอย ความเข้มข้น NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C มีอัตราการกัดรอยสูง ดังตาราง 4.3 ต่อไปนี้

ตาราง 4.3 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน :เงื่อนไขการกัดรอยที่อุณหภูมิต่างๆของ NaOH ความเข้มข้น NaOH 1.25 N

ความเข้มข้น NaOH (N)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (µm)	
			หน้า	หลัง
3.25	75	19	0.38 ± 0.14	0.33 ± 0.14
		21	0.38 ± 0.17	0.37 ± 0.13
		23	0.48 ± 0.22	0.43 ± 0.18
	80	15	0.48 ± 0.19	0.44 ± 0.18
		17	-	-
		15	-	-
	85	11	0.48 ± 0.20	0.44 ± 0.16
		13	-	-
		15	-	-

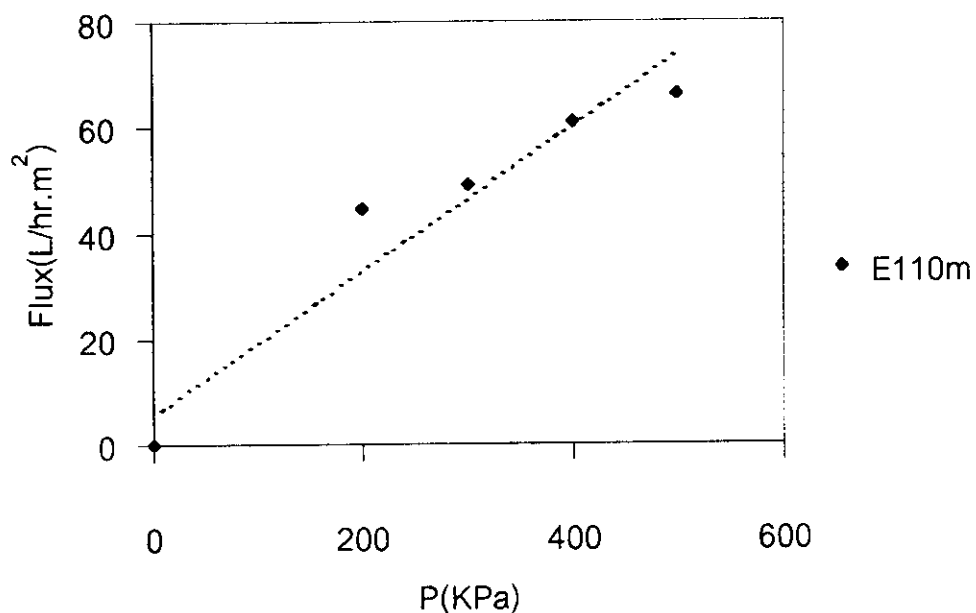
ตาราง 4.4 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน:เงื่อนไขการกักรอย ที่ความเข้มข้นต่างๆ อุณหภูมิ 75 °C

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น NaOH (N)	เวลา (นาที)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (µm)	
			หน้า	หลัง
75	1.25	140	0.23 ± 0.07	0.22 ± 0.08
		150	0.29 ± 0.12	0.27 ± 0.10
		160	-	0.31 ± 0.14
	2.25	31	0.39 ± 0.14	0.38 ± 0.15
		33	0.41 ± 0.15	0.40 ± 0.15
		35	0.49 ± 0.19	0.40 ± 0.16
	3.25	19	0.38 ± 0.14	0.33 ± 0.14
		21	0.38 ± 0.17	0.37 ± 0.13
		23	0.43 ± 0.18	0.48 ± 0.22

จากตาราง 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าอัตราการกักรอยที่เงื่อนไขการกักรอย ความเข้มข้นของ NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C มีค่าสูงที่สุด โดยใช้เพียง 11 นาทีในการกักรอยให้ได้ขนาด 0.48 µm (ด้านหน้า) 0.44 µm (ด้านหลัง) และในขณะที่เงื่อนไขการกักรอย ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 °C มีอัตราการกักรอยต่ำที่สุด คือ ใช้เวลาถึง 150 นาที ได้ขนาดรูพรุนเพียง 0.29 µm (ด้านหน้า) 0.27 µm (ด้านหลัง)

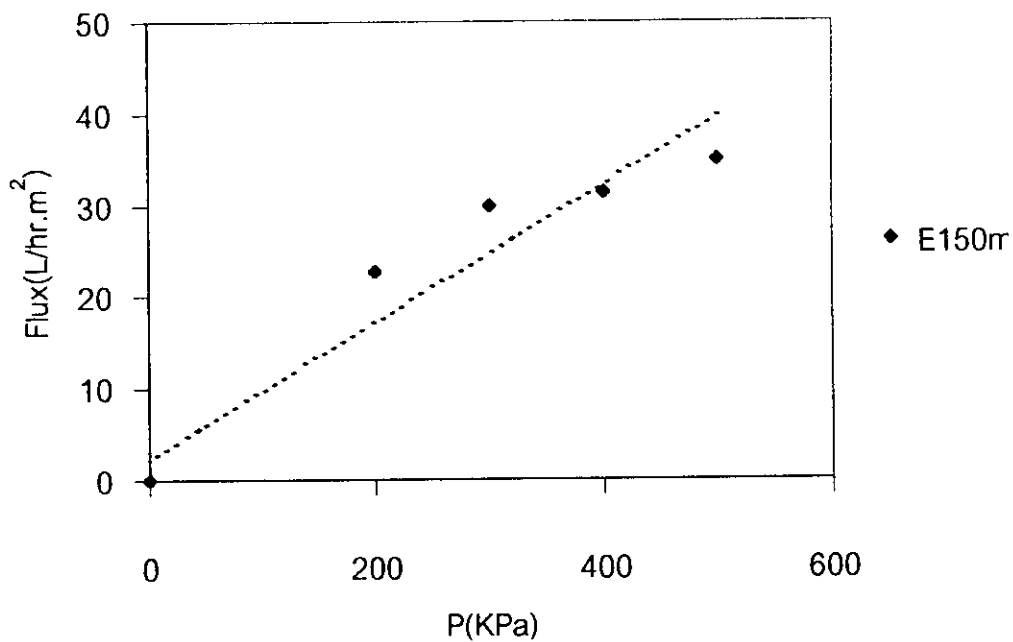
จากผลการศึกษาเงื่อนไขการกักรอยของการอบนิวตรอนเร็ว เป็นเวลา 10 นาที ตามเงื่อนไขการกักรอยต่างๆ พบว่าเหมาะสม กับการกักรอยที่ อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N (โดยใช้เงื่อนไข ของ อัตราการไหลของน้ำ ขนาดรูพรุน การกระจายของรูพรุน ความแข็งแรงของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นเป็นแกนในการตัดสลิบ) โดยสังเกตจากเงื่อนไขต่อไปนี้

เนื่องจากเงื่อนไขการกักรอยที่ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C , 75 °C เวลาการกักรอย 110, 150 นาที มีขนาด และจำนวนรูพรุนใกล้เคียงกันจึงนำมาเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำ



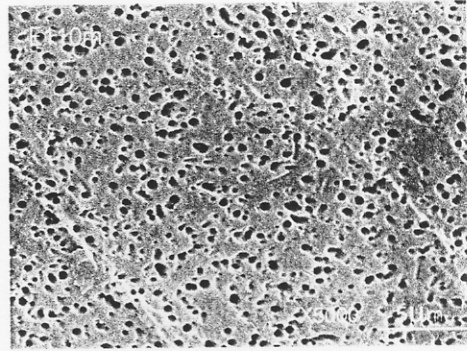
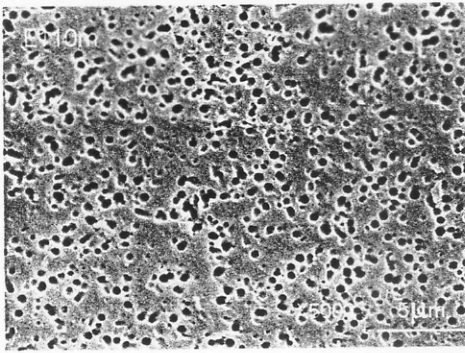
รูปที่ 4.18 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เยื่อนไซการกัศรอย :

ความเข้มข้น NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 110 นาที

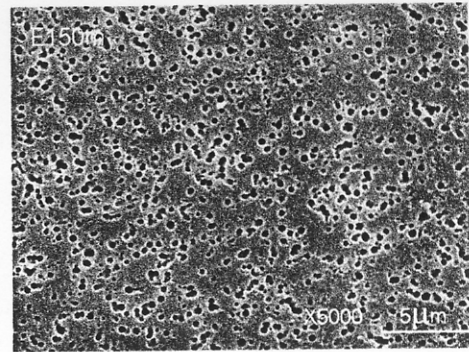
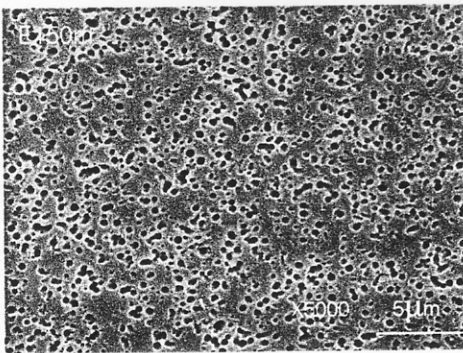


รูปที่ 4.19 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เยื่อนไซการกัศรอย

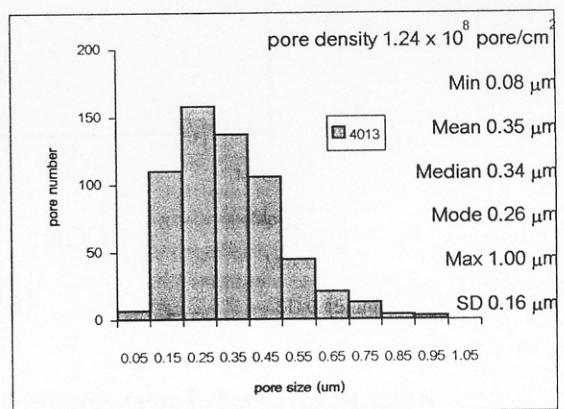
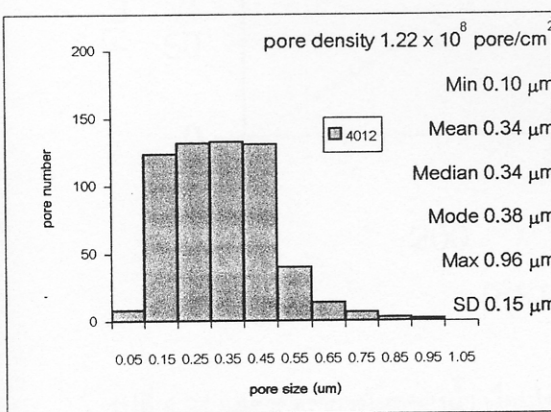
ความเข้มข้น NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 °C เวลา 150 นาที



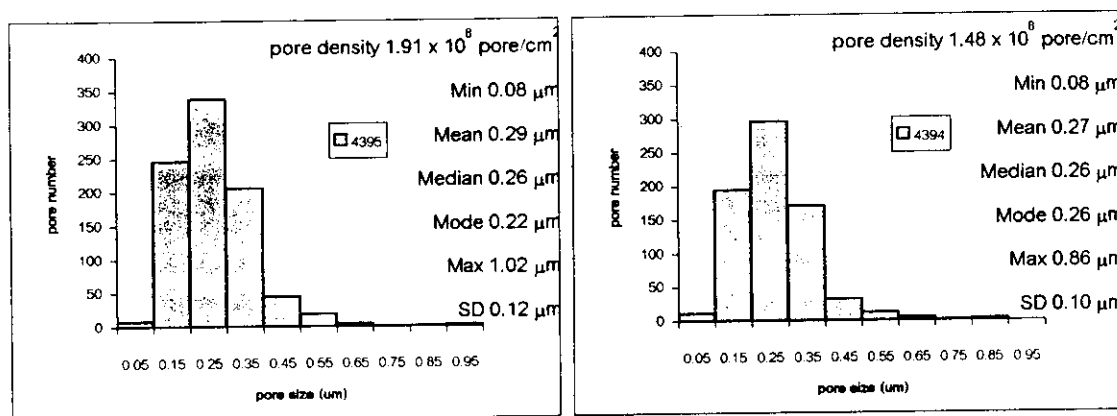
รูปที่ 4.20 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เงื่อนไขการทดลอง ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 110 นาที



รูปที่ 4.21 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เงื่อนไขการทดลอง ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 °C เวลา 150 นาที



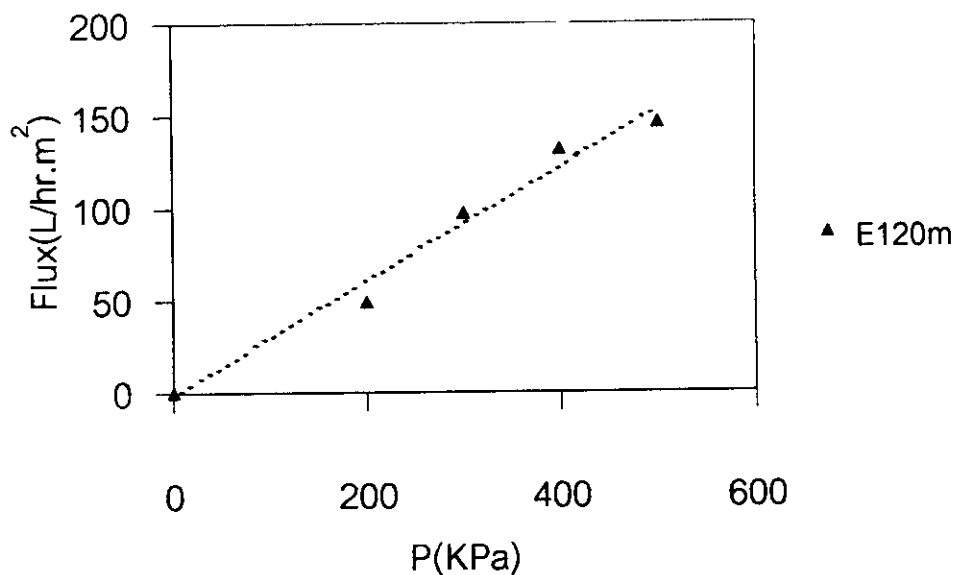
รูปที่ 4.22 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการทดลอง ความเข้มข้น NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 110 นาที



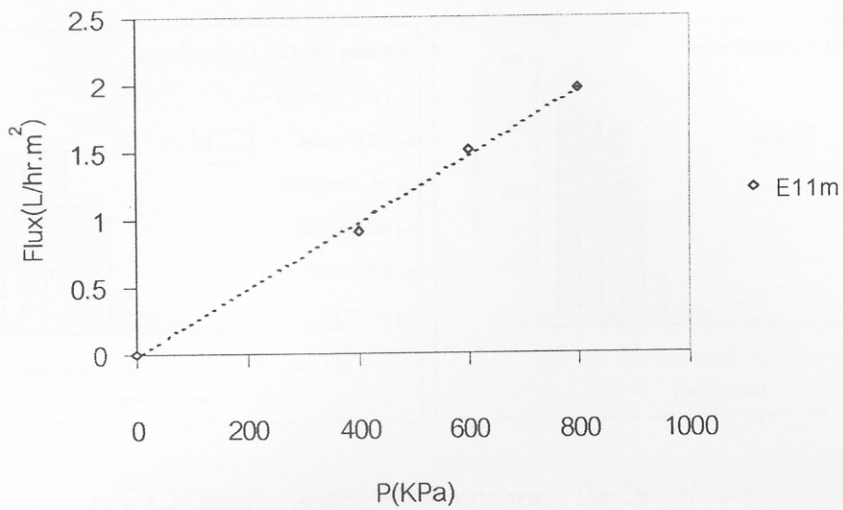
รูปที่ 4.23 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เยื่อไนไคการกัตรอย

ความเข้มข้นNaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 °C เวลา 150 นาที

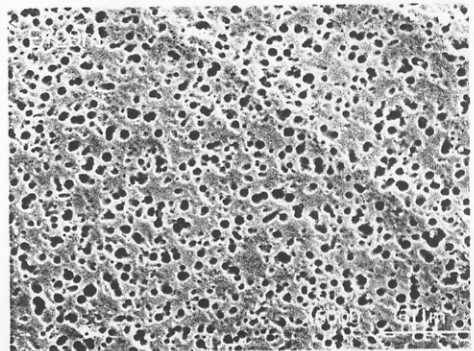
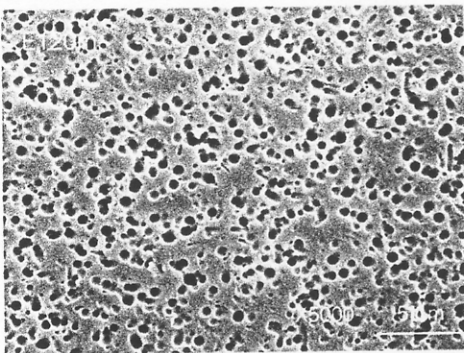
เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำที่ความเข้มข้น 1.25 N กับ 3.25 N ที่อุณหภูมิ 85 °C เวลาที่ขยายรอย 120 และ 11 นาทีตามลำดับ (เนื่องจากมีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกัน)



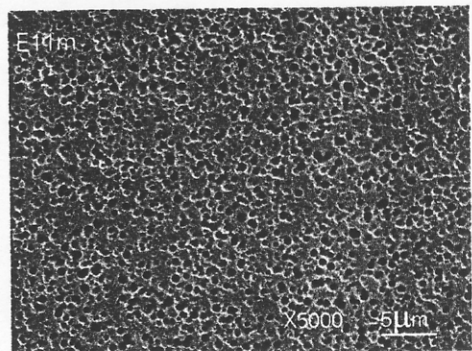
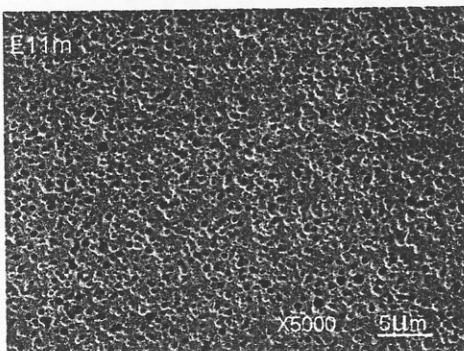
รูปที่ 4.24 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เยื่อไนไคการกัตรอย ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 120 นาที



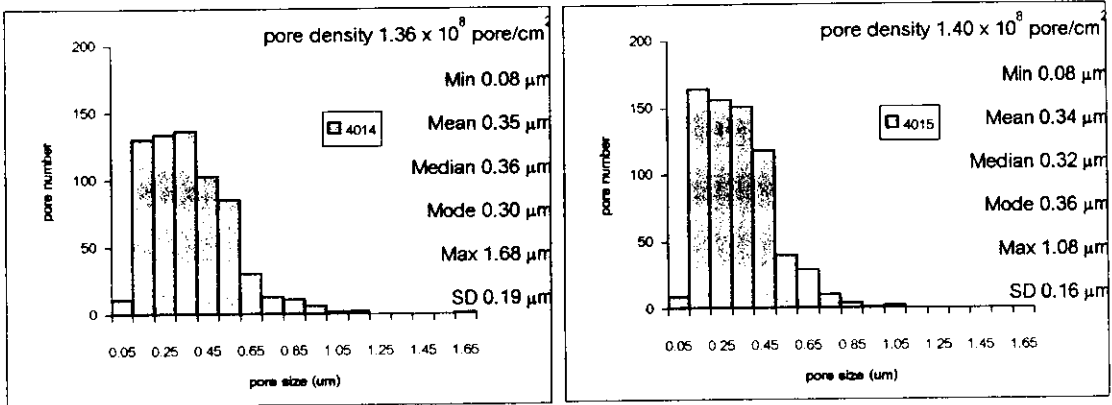
รูปที่ 4.25 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เจือไนเซการกัตรอย
ความเข้มข้นของ NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 11 นาที



รูปที่ 4.26 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เจือไนเซการกัตรอย
ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 120 นาที

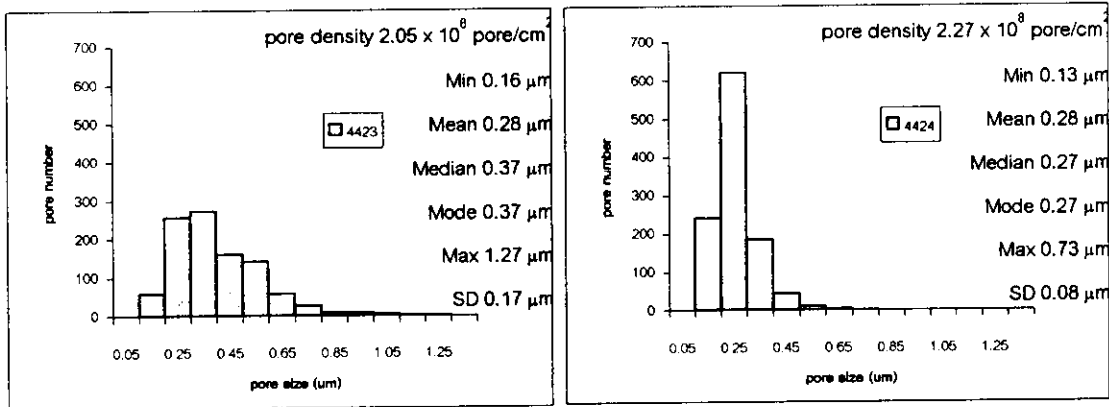


รูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายของเมมเบรนจาก SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เจือไนเซการกัตรอย
ความเข้มข้นของ NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 11 นาที



รูปที่ 4.28 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เส้นใยการกัตรอย

ความเข้มข้น NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 120 นาที



รูปที่ 4.29 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุนเส้นใยการกัตรอย

ความเข้มข้น NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 11 นาที

จากผลการเปรียบเทียบแผ่นเมมเบรน ซึ่งมีเส้นใยการกัตรอยต่างกัน แต่ขนาดและการกระจายของรูพรุนใกล้เคียงกัน พบว่า อัตราการไหลของน้ำดังรูปที่ 4.18 – 4.19 และ 4.24 – 4.25 ที่เส้นใยการกัตรอย ความเข้มข้น ของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 85 °C มีอัตราการไหลของน้ำดีกว่าเส้นใยการกัตรอยอื่นๆ คือ มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 50 L/hr.m² ณ ความดัน 200 kPa ในขณะที่เส้นใยการกัตรอย ความเข้มข้น ของ NaOH 1.25 N อุณหภูมิ 75 °C มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 25 L/hr.m² และ เส้นใยการกัตรอย ความเข้มข้น ของ NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 0.5 L/hr.m² อีกทั้งยังมีความแข็งแรง โดยสามารถทนแรงดันได้ถึง 500 KPa ดังรูปที่ 4.24

4.3.3 ออบนิวตรอนเร็ว 20 นาที

จากการเปรียบเทียบเงื่อนไขการกัดขยายรอย ที่ความเข้มข้น NaOH 0.75 N ที่อุณหภูมิต่างๆกันคือ 75 °C ,80°C ,85 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 75 °C มีอัตราการกัดรอยต่ำที่สุด และที่อุณหภูมิ 85°C มีอัตราการกัดรอยสูงที่สุด ดังตาราง 4.5 ที่เวลากัดรอยเท่ากัน ณ อุณหภูมิที่สูงกว่า อัตราการกัดรอยจะสูงกว่า เช่นที่เวลา 260 นาที การกัดรอยที่อุณหภูมิ 85 °C จะมีขนาดรูพรุนขนาด 0.27 μm (ด้านหน้า) 0.24 (ด้านหลัง) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่ อุณหภูมิ 80 °C เวลา 260 นาที ซึ่งมีขนาดรูพรุน 0.16 μm (ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง) ในขณะที่ อุณหภูมิ 75 °C เวลา 260 นาที ยังไม่สามารถมองเห็นรูพรุนได้ (เล็กมาก)

ตาราง 4.5 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดรอย : อุณหภูมิ 75 °C ,80°C ,85 °C ความเข้มข้น NaOH 0.75 N

ความเข้มข้น NaOH (N)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (μm)	
			หน้า	หลัง
0.75	75	300	0.12 \pm 0.06	0.12 \pm 0.06
		320	0.15 \pm 0.05	0.15 \pm 0.06
		340	0.16 \pm 0.07	0.16 \pm 0.07
	80	260	0.08 \pm 0.04	0.05 \pm 0.02
		280	0.09 \pm 0.02	0.08 \pm 0.02
		300	0.22 \pm 0.12	0.18 \pm 0.08
	85	220	0.14 \pm 0.05	0.12 \pm 0.05
		240	0.14 \pm 0.06	0.13 \pm 0.05
		260	0.27 \pm 0.16	0.24 \pm 0.12

และเมื่อให้อุณหภูมิคงที่ ที่ 80°C แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ NaOH ดังนี้ 0.75N ,1.00 N ,1.25 N ดังตาราง 4.6 พบว่า ที่ความเข้มข้นของ NaOH 0.75 N มีอัตราการกัดรอยต่ำที่สุดคือ กัดรอยได้ขนาดรูพรุน 0.12 μm (ด้านหน้า และด้านหลัง) ต้องใช้เวลาถึง 300 นาที แต่ความเข้มข้นของ NaOH 1.25 N ใช้เวลากัดรอยเพียงแค่ 220 นาที ได้ขนาดรูพรุน 0.14 μm (ด้าน

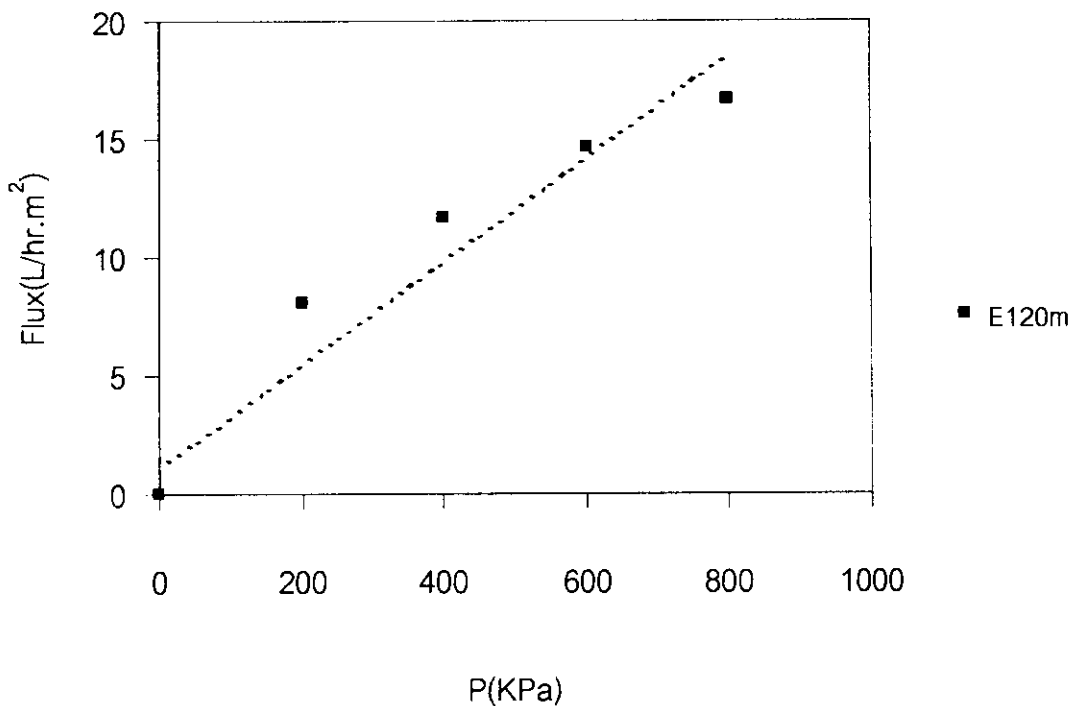
หน้า) 0.12 μm (ด้านหลัง) ดังนั้นจากตาราง 4.5 และ 4.6 สรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ และความเข้มข้นของ NaOH สูง อัตราการกัดกร่อนจะสูงตามไปด้วย

ตาราง 4.6 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เงื่อนไขการกัดกร่อน ความเข้มข้น ของ NaOH นี้ 0.75N ,1.00 N ,1.25 N อุณหภูมิ 80 °C

อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น NaOH (N)	เวลา (นาที)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (μm)	
			หน้า	หลัง
80	0.75	260	0.08 \pm 0.04	0.05 \pm 0.02
		280	0.09 \pm 0.02	0.08 \pm 0.02
		300	0.22 \pm 0.12	0.18 \pm 0.08
	1.00	135	0.08 \pm 0.02	0.08 \pm 0.02
		150	0.14 \pm 0.08	0.08 \pm 0.03
		165	-	-
	1.25	90	0.32 \pm 0.22	0.31 \pm 0.19
		100	0.34 \pm 0.28	0.34 \pm 0.25
		110	-	-

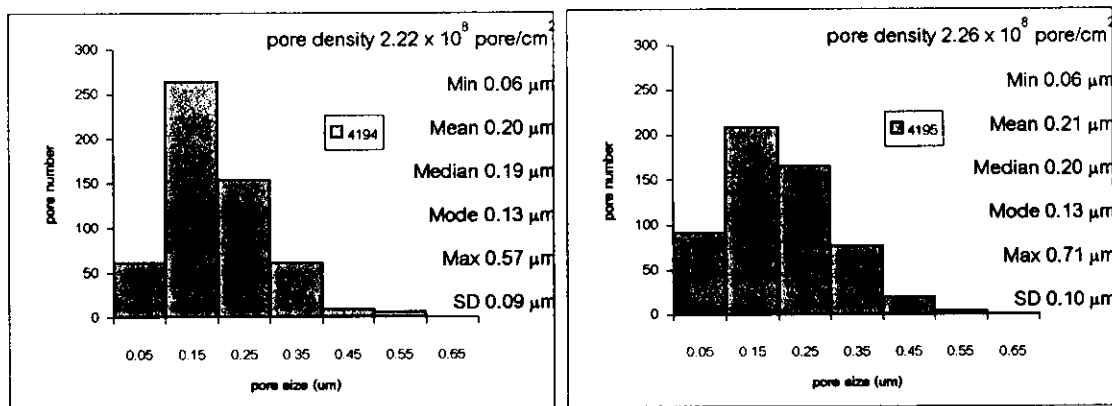
จากผลการศึกษาข้างต้น นำมาใช้หาเงื่อนไขการกัดกร่อนที่เหมาะสมในการผลิตเมมเบรน โดย ยึดหลักการทดสอบเมมเบรนดังนี้ อัตราการไหลของน้ำ ขนาดและการกระจายของรูพรุน ความแข็งแรงของแผ่นเมมเบรน ดังต่อไปนี้

จากเงื่อนไขการกัดกร่อนดังกล่าว นำมาทดสอบอัตราการไหลของน้ำ เพื่อหาเงื่อนไขการกัดกร่อนที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขที่กัดกร่อนได้ ขนาดรูพรุนเฉลี่ยใกล้เคียงกันดังนี้ โดยให้ความเข้มข้นของ NaOH เท่ากันคือ 1.00 N แต่อุณหภูมิในการกัดกร่อนไม่เท่ากัน คือ 85°C และ 75 °C และใช้เวลากัดกร่อน 120 , 180 นาที ตามลำดับ พบว่า ที่เงื่อนไขการกัดกร่อน 75 °C เวลากัดกร่อน 180 นาที มีอัตราการไหลของน้ำน้อยมากไม่สามารถวัดได้ ส่วนที่เงื่อนไขการกัดกร่อน 85 °C เวลากัดกร่อน 120 นาที สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำได้ดังรูปที่ 4.36



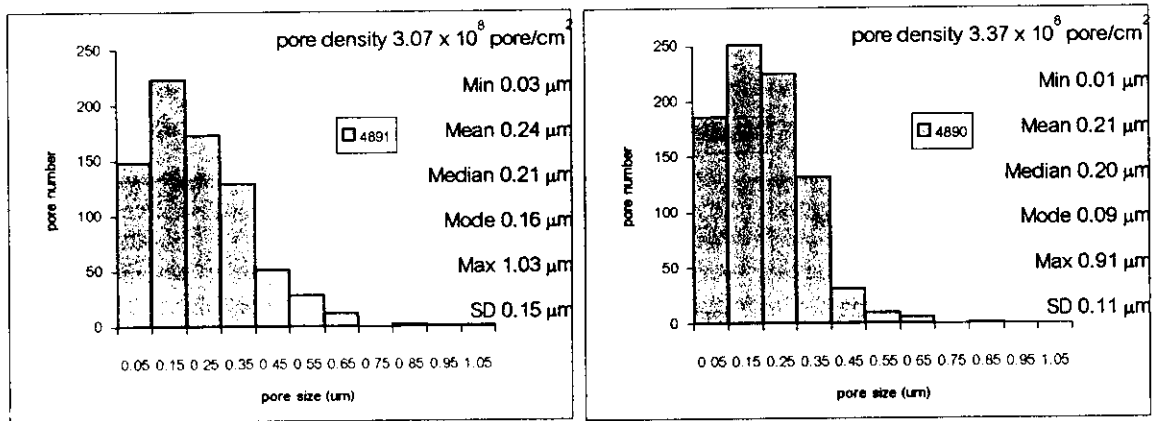
รูปที่ 4.30 แสดงอัตราการไหลของน้ำ เจือปนไซคาร์บิคไดรอกไซด์

ความเข้มข้น NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 120 นาที



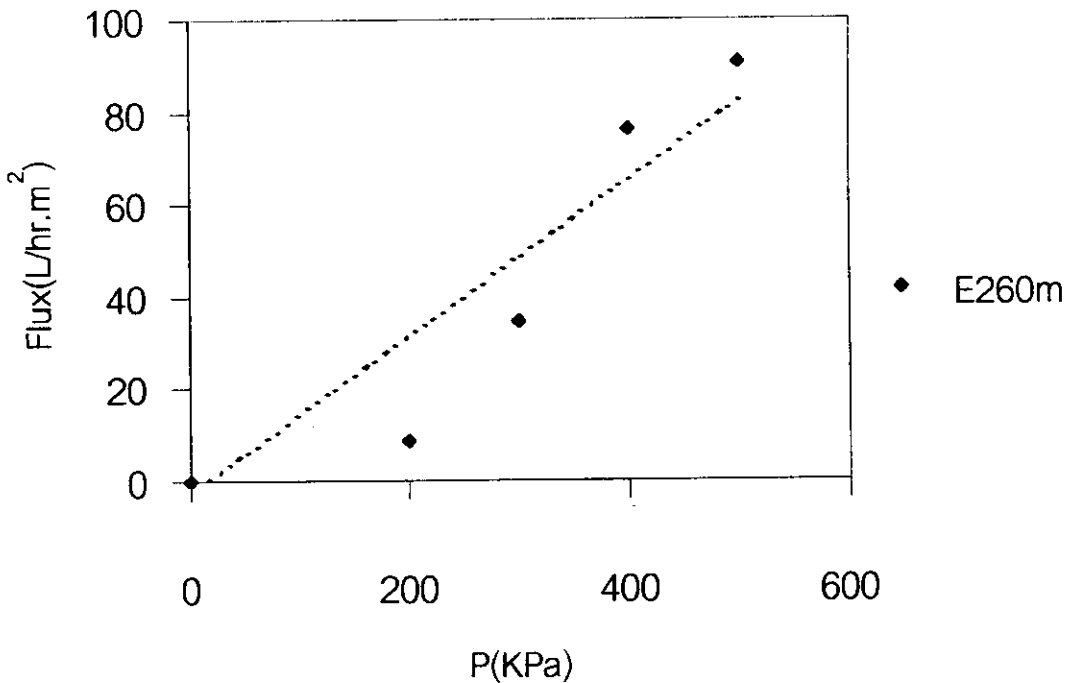
รูปที่ 4.31 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เจือปนไซคาร์บิคไดรอกไซด์

ความเข้มข้น NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 120 นาที

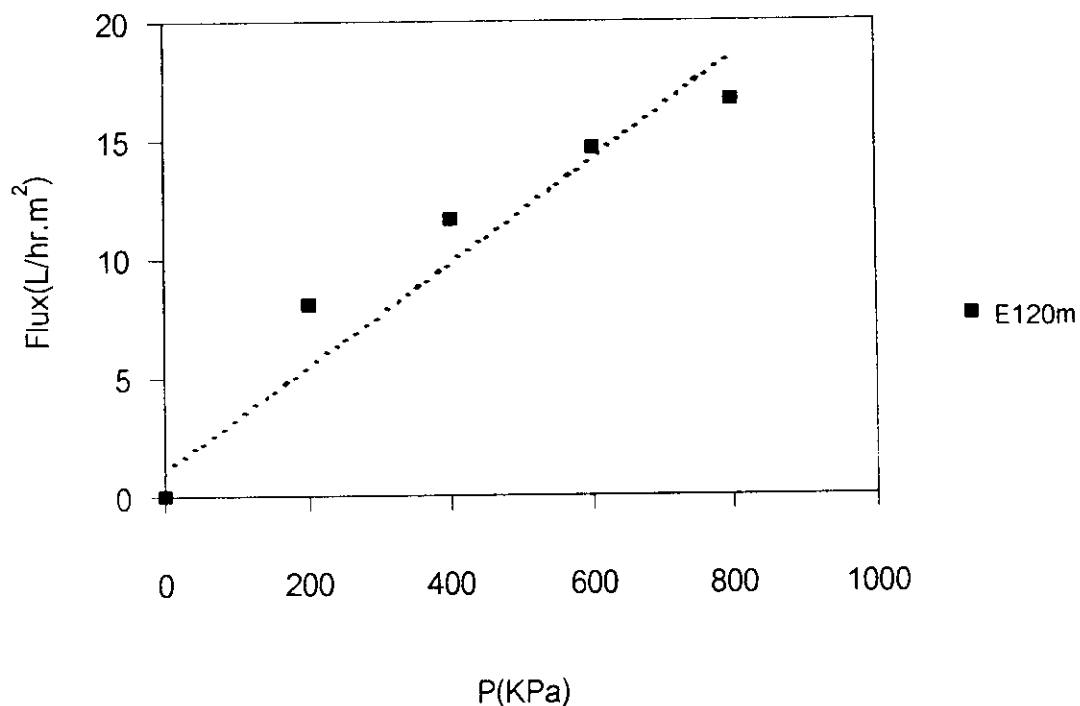


รูปที่ 4.32 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เยื่อไนไคการกัตรอย
ความเข้มข้น NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 75 °C เวลา 180 นาที

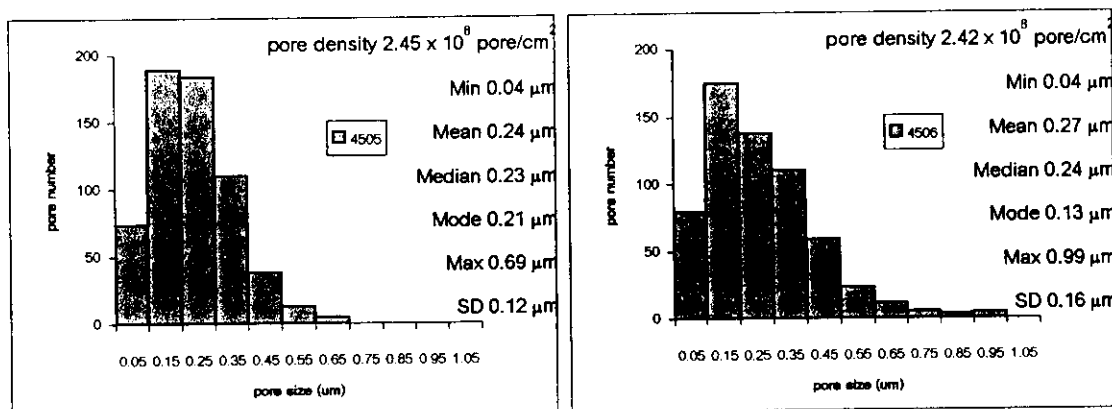
หลังจากนั้นให้ อุณหภูมิของการกัตรอยคงที่ 85 °C แต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NaOH ดังนี้ 0.75 N กับ 1.00 N เวลา กัตรอย 260, 120 นาทีตามลำดับ ได้อัตราการไหลของน้ำดังรูปต่อไปนี้



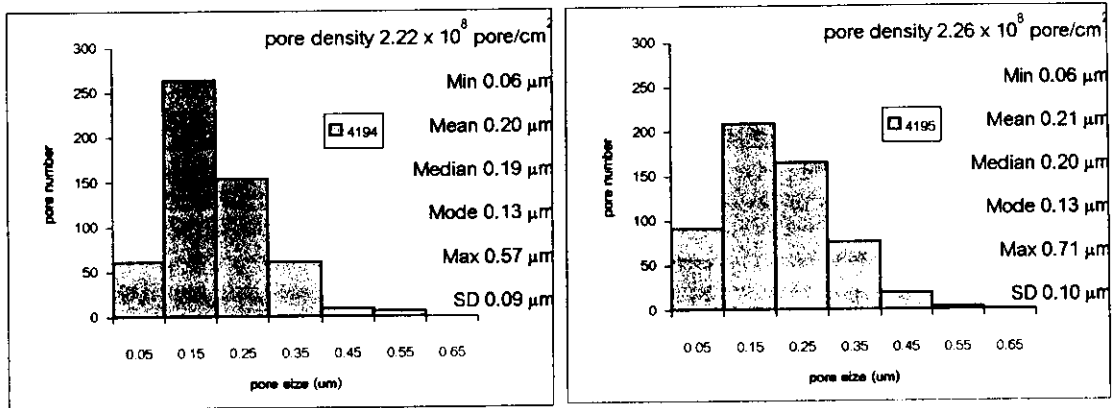
รูปที่ 4.33 แสดงอัตราการไหลของน้ำ ความเข้มข้นของ NaOH 0.75 N อุณหภูมิในการกัตขยายรอย 85 °C
เวลา กัตขยายรอย 260 นาที



รูปที่ 4.34 แสดงอัตราการไหลของน้ำ ความเข้มข้นของ NaOH 1.00 N อุณหภูมิในการกักขายรอย 85 °C เวลา กักขายรอย 120 นาที



รูปที่ 4.35 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เส้นใยการกักขาย ความเข้มข้น NaOH 0.75 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 260 นาที

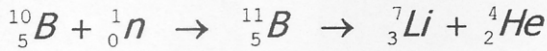


รูปที่ 4.36 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน เยื่อไนไตรการกัตรอย
ความเข้มข้น NaOH 1.00 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 120 นาที

จากการเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำดังรูปที่ 4.33 และ 4.44 โดยการเปลี่ยนแปลงเยื่อไนไตรการกัตรอย ของ อุณหภูมิ และ ความเข้มข้นของ NaOH พบว่า ที่เยื่อไนไตรการกัตรอย อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้น 0.75 N เหมาะสมที่จะใช้เป็นเยื่อไนไตรในการผลิตเมมเบรนสำหรับการอบนิวตรอน 20 นาที เนื่องจากให้อัตราการไหลของน้ำสูงที่สุดคือ มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 10 L/hr.m² จากบรรดาเยื่อไนไตรการกัตรอยอื่นที่มีขนาดของรูพรุนใกล้เคียงกัน เช่นที่เยื่อไนไตรการกัตรอย อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้น 1.00 N มีอัตราการไหลของน้ำ ประมาณ 7 L/hr.m² ที่ความดัน 200 kPa และยังมีความแข็งแรงโดยสามารถทนแรงดันได้ถึง 500 kPa

4.4 นิวตรอนช้า

เนื่องจากนิวตรอนช้า ไม่สามารถทำให้เกิดรอยบนแผ่นฟิล์มพอลิคาร์บอเนตได้ ดังนั้นจึงอาศัยนิวตรอนช้า ดังกล่าว ผลิตอนุภาคที่มีประจุ เช่น อนุภาคแอลฟา ด้วยการระดมยิงไปที่ธาตุ $^{10}_5B$ จากปฏิกิริยา



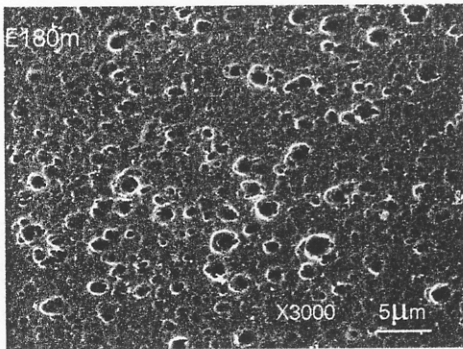
ในกรณีนี้ได้ทำการศึกษาดัชนีแปรต่างๆที่มีผลต่อการกัดขยายรอยบนแผ่นฟิล์ม โดยทำการศึกษาดัชนีแปรดังนี้ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เวลาในการกัดขยายรอย เวลาในการอบรังสีนิวตรอนช้า และความต่างศักย์ที่ป้อนให้สำหรับการอบรังสีนิวตรอนช้า ดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 โดยในขั้นต้นจะทำการศึกษาเงื่อนไขของเวลาและความเข้มข้นของ NaOH ก่อน เพื่อที่จะได้เงื่อนไขที่เหมาะสมของ 2 ตัวแปรนี้ก่อน หลังจากได้ค่า 2 ตัวแปรดังกล่าว ก็จะใช้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับศึกษาดัชนีแปรอื่นๆ ต่อไป

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยที่

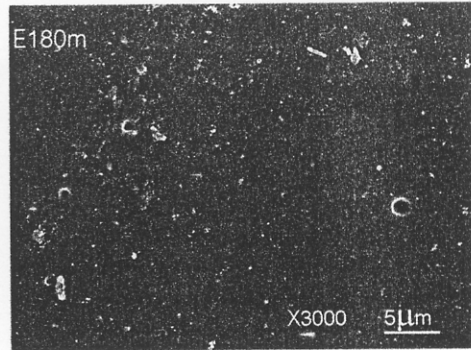
a คือ ด้านหน้า

b คือ ด้านหลัง

เวลาอบนิวตรอน 20 นาที อุณหภูมิในการกัดขยายรอย 85 °C ความต่างศักย์ 2000 V



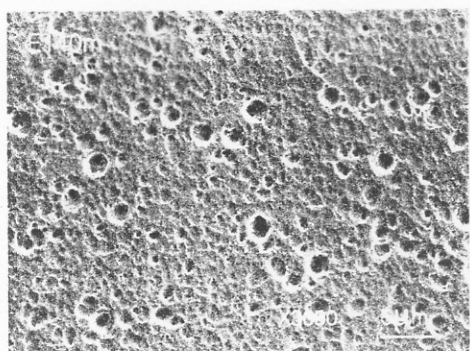
a



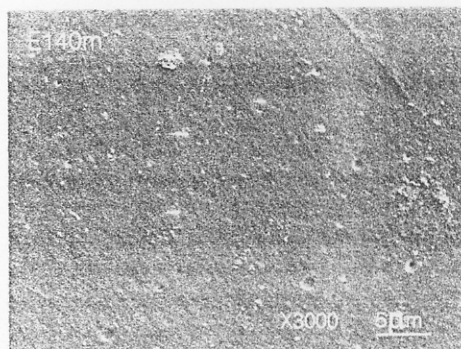
b

รูปที่ 4.37 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 3,000X เงื่อนไขการกัดขยาย

NaOH 2.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 180 นาที



a

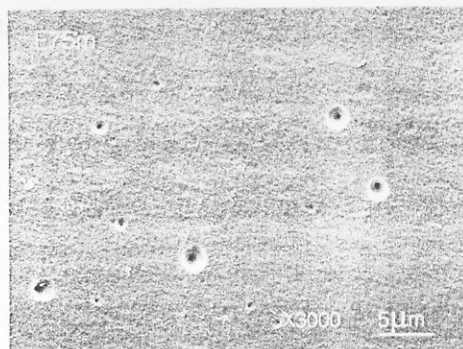


b

รูปที่ 4.38 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 3,000X เส้นใยคาร์บอน
NaOH 3.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 140 นาที

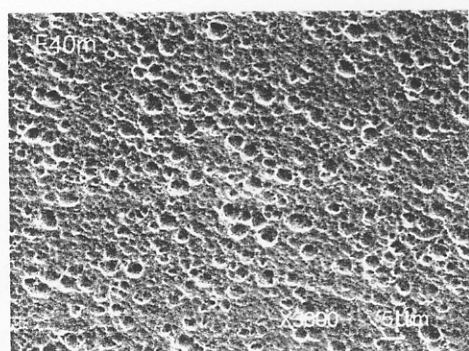


a

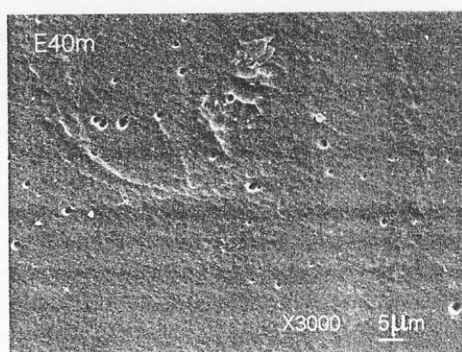


b

รูปที่ 4.39 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 3,000X เส้นใยคาร์บอน
NaOH 4.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 75 นาที

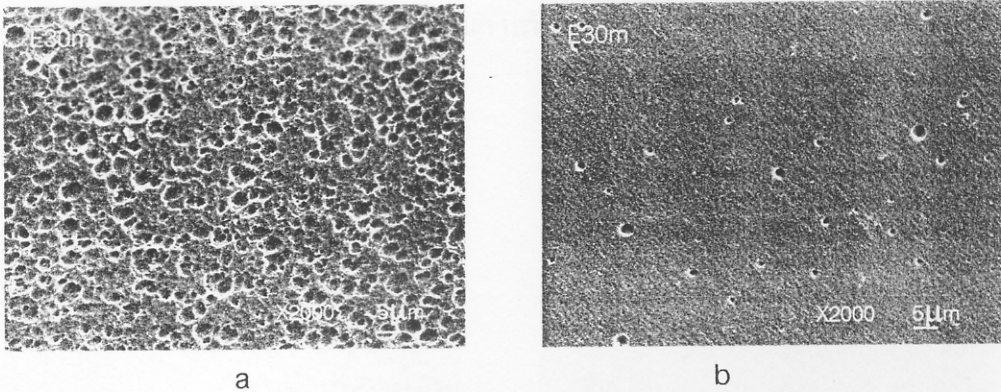


a



b

รูปที่ 4.40 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 3,000X เส้นใยคาร์บอน
NaOH 5.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 40 นาที



รูปที่ 4.41 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 3,000X เงื่อนไขการกัดรอย
NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 30 นาที

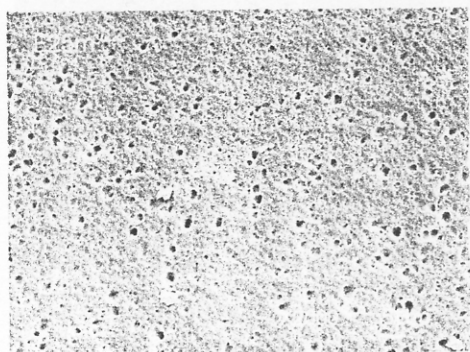
จากรูปที่ 4.43 และ 4.47 เมื่อให้ความเข้มข้นของ NaOH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ลักษณะของรอยที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์ม ด้านที่ถูกระดมยิงด้วยรังสีนิวตรอนช้า จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัด โดยเฉพาะจำนวนและขนาดรอยของอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาอีกด้านหนึ่งของแผ่นฟิล์มจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งขนาดและจำนวนของรอยอนุภาคที่เกิดขึ้น

นั่นแสดงว่าในการใช้ออนุภาคแอลฟาเป็นตัวระดมยิงแผ่นฟิล์ม ไม่สามารถที่จะเจาะแผ่นฟิล์มให้เป็นรูที่ทะลุได้ แม้ว่าจะเปลี่ยนความเข้มข้น และเวลาในการกัดขยายรอยแล้วก็ตาม แต่ทั้งนี้ในการเพิ่มความเข้มข้นและเวลาการกัดขยายรายนั้นไม่เป็นผลดีต่อแผ่นฟิล์มเพราะจะทำให้แผ่นฟิล์มเปื่อยยุ่ยไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะเห็นได้จากแผ่นฟิล์มที่ทำการกัดขยายรอยด้วยเงื่อนไข ความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N ในเวลาการกัดขยายรอย 30 นาที แผ่นฟิล์มจะบางมาก ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เพราะฉะนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมควรจะลดเวลาในการกัดขยายรอยลงมาเป็น 25 นาที ซึ่งจะใช้ เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นทดลองในตอนต่อไป

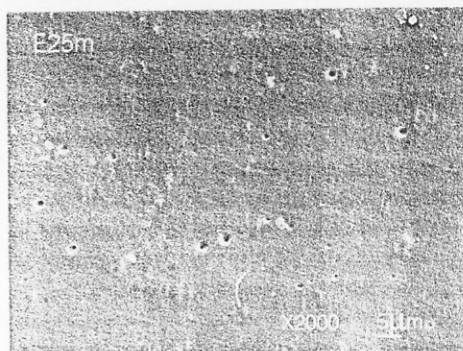
ในการทดลองยิงแผ่น PC ด้วยนิวตรอนช้า จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ครั้งนี้ ได้ทำการประกบแผ่นโลหะอะลูมิเนียมบาง 2 แผ่น พร้อมกับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังแผ่นโลหะอะลูมิเนียมทั้งสอง เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าในแนวขนาน เพื่อบังคับให้อนุภาคแอลฟาที่เกิดจากฉากเปลี่ยนนิวตรอนฟุ้งชนแผ่น PC ในแนวขนาน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

เวลาอบนิวตรอน 20 นาที อุณหภูมิในการกัดขยายรอย 85 °C ความเข้มข้นของ NaOH

6.25 N เวลากัดขยายรอย 25 นาที



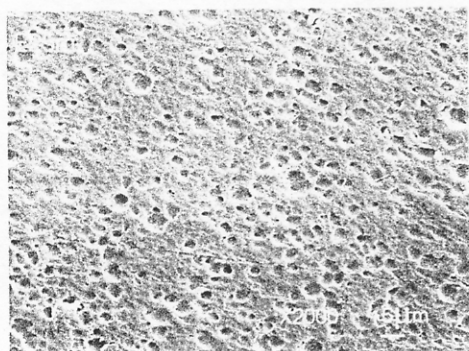
a



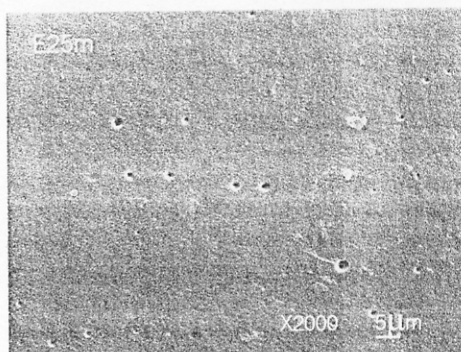
b

รูปที่ 4.42 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เงื่อนไขการกัดขยาย

NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 0 V



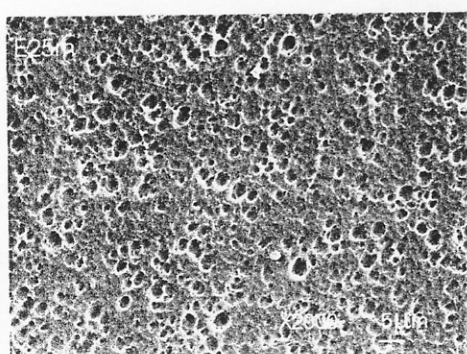
c



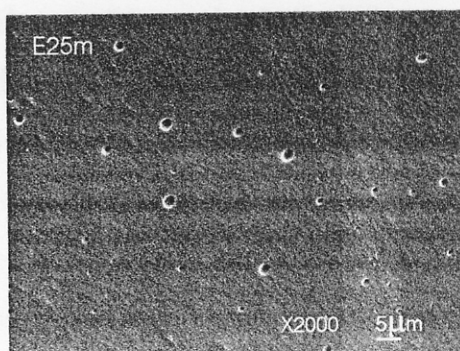
d

รูปที่ 4.43 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เงื่อนไขการกัดขยาย

NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 500 V



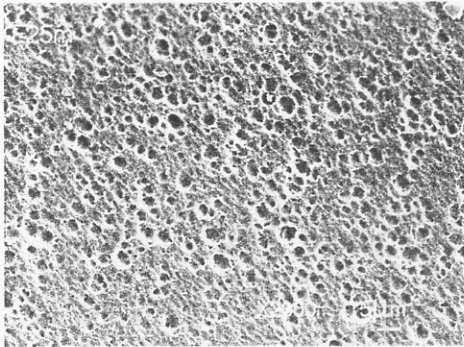
e



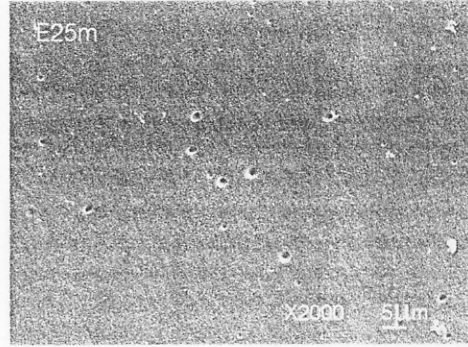
f

รูปที่ 4.44 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เงื่อนไขการกัดขยาย

NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 1000 V



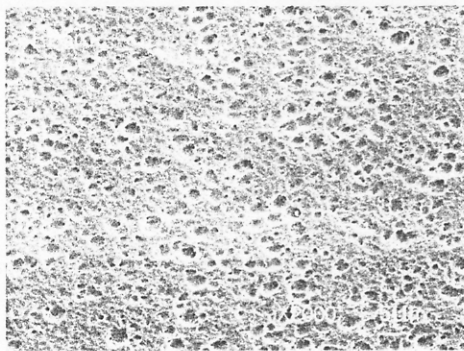
a



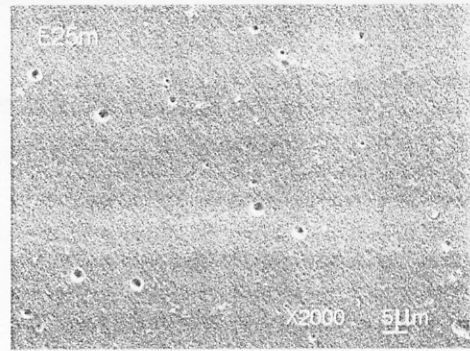
b

รูปที่ 4.45 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เส้นใยการกักรอย

NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 1500 V



c



d

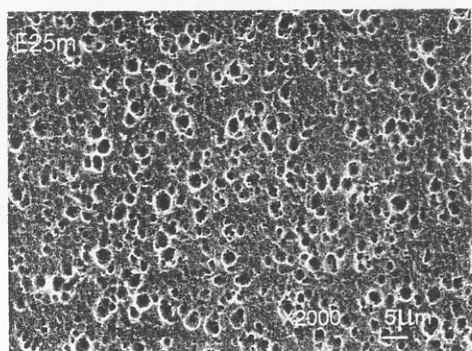
รูปที่ 4.46 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เส้นใยการกักรอย

NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V

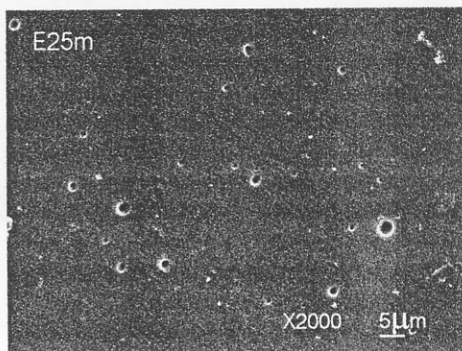
จากรูปที่ 4.42 และ 4.46 จะเห็นได้ชัดเจนถึงผลการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในกระบวนการอาบรังสีนิวตรอนซ้ำ เนื่องจากเมื่อรังสีนิวตรอนซ้ำ พุ่งเข้าชนฉากเปลี่ยนนิวตรอน จะเกิดเป็นอนุภาคแอลฟาซึ่งมีประจุและเคลื่อนออกไปในทุกทิศทาง การใส่ค่าความต่างศักย์เข้าไปจึงเป็นการช่วยเบี่ยงเบนทิศทางของอนุภาคให้วิ่งไปในทิศที่ต้องการ ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดในภาพที่ไม่ได้จ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้า จำนวนรอยอนุภาคจะมีจำนวนน้อยกว่า แผ่นฟิล์มที่ได้รับการป้องกันความต่างศักย์ แต่เมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มด้านหลังพบว่า ทั้งแผ่นที่ได้รับ และไม่ได้รับความต่างศักย์ไฟฟ้า มีลักษณะและขนาด และจำนวนของรอยอนุภาคไม่ต่างกัน เพราะฉะนั้นการป้องกันความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีผลเฉพาะด้านที่ถูกระดมยิงเท่านั้น

อุณหภูมิในการกัดขยายรอย 85 °C ความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N เวลากัดขยายรอย 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V

— เวลาอาบนิวตรอน 15 นาที



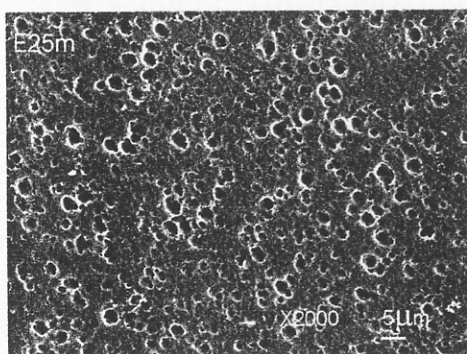
a



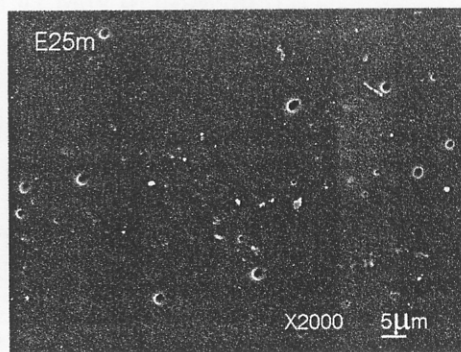
b

รูปที่ 4.47 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เส้นใยการกัดรอย NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V เวลาอาบนิวตรอน 15 นาที

— เวลาอาบนิวตรอน 20 นาที



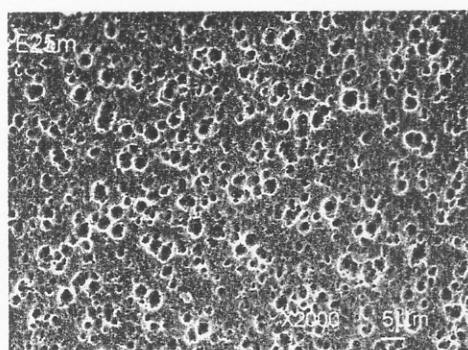
a



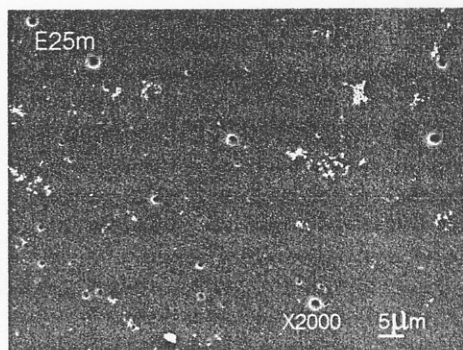
b

รูปที่ 4.48 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เส้นใยการกัดรอย NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V เวลาอาบนิวตรอน 20 นาที

— เวลาอบนิวตรอน 25 นาที



a



b

รูปที่ 4.49 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 2,000X เจือไนซการกัตรอย NaOH 6.25 N อุณหภูมิ 85 °C เวลา 25 นาที ความต่างศักย์ 2000 V เวลาอบนิวตรอน 25 นาที

จากรูปที่ 4.47 - 4.49 ลักษณะของแผ่นฟิล์มไม่ต่างกันมากนัก จำนวนรอยของอนุภาคเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มเวลาในการอบรังสีนิวตรอน

ดั่งภาพถ่ายจาก SEM ที่ผ่านมา พบว่าไม่สามารถขยายรอยอนุภาคให้ทะลุได้เนื่องจากอนุภาคแอลฟาจากปฏิกิริยา (n, α) มีพลังงานเพียง 1.47 MeV เท่านั้นดังสมการ



ซึ่งถ้าคำนวณพิสัยของอนุภาคแอลฟา (พงศกร สุวรรณเดชา, 2541)จากสมการ

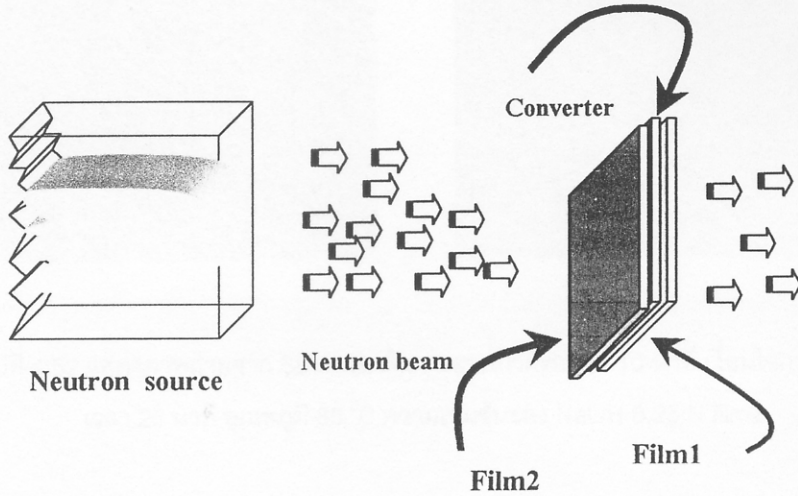
$$R(\text{mm}) = 3.2 \times 10^{-1} \frac{\sqrt{A_{ef}}}{\rho(\text{kg} / \text{m}^3)} R_{air}(\text{mm})$$

$$\sqrt{A_{ef}} = \left(\sum_{i=1}^L \frac{W_i}{\sqrt{A_i}} \right)^{-1}$$

$$R_{air}(\text{mm}) = \exp[1.61\sqrt{E_k(\text{MeV})}] (1 < E_k \leq 4\text{MeV})$$

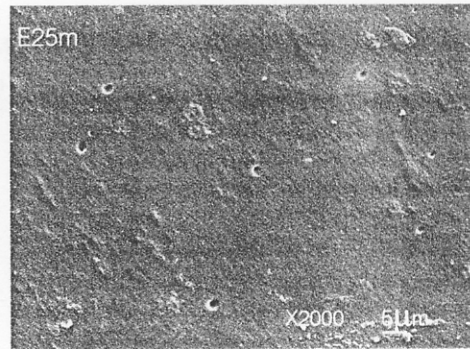
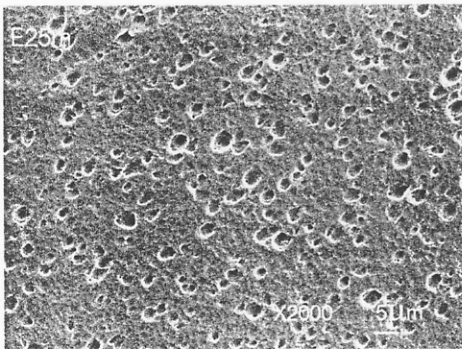
$$= (0.05E_k + 2.85)E_k^{3/2} \quad (4 \leq E_k \leq 15\text{MeV})$$

พบว่าอนุภาคมีพิสัยในแผ่น PC เพียง $3.63 \mu\text{m}$ เท่านั้น และหลังจากได้ทดลองประกบฟิล์ม 2 ชั้น ดังรูปที่ 4.50

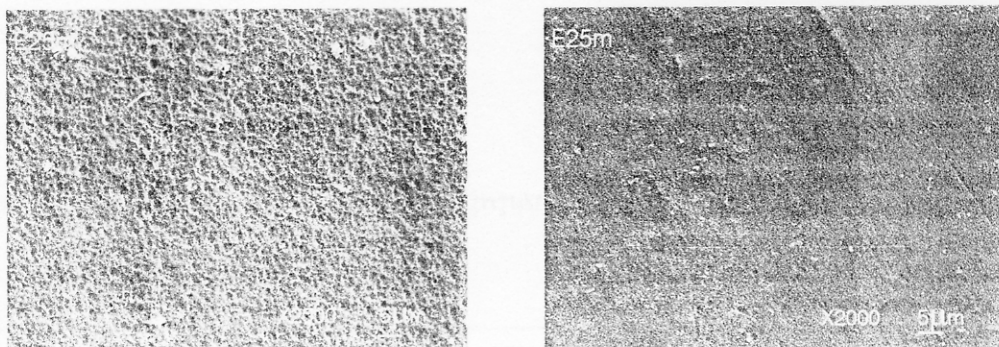


รูปที่ 4.50 แสดงลักษณะการอบนิวตรอนซ้ำ ของแผ่น PC film 1, film 2

เมื่อนำแผ่น PC ที่อบนิวตรอนแล้วไปกัดรอย พบว่า ไม่มีรอยอนุภาคแอลฟาบน film 2 ดังรูป ที่ 4.51 และ 4.52



รูปที่ 4.51 แสดงภาพถ่ายจาก SEM เวลาในการอบนิวตรอนซ้ำ 10 นาที เงื่อนไขการกัดรอย เวลา 25 นาที อุณหภูมิ 85°C ความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N film 1



รูปที่ 4.52 แสดงภาพถ่ายจาก SEM เวลาในการอบนิวตรอนซ้ำ 10 นาที เงื่อนไขการกัดรอย เวลา 25 นาที อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้นของ NaOH 6.25 N film2

ทั้งรูปที่ 4.51 และ 4.52 เป็นแผ่นฟิล์มที่ผ่านการระดมยิงด้วยนิวตรอนซ้ำ เป็นเวลา 10 นาที ทำการกัดขยายรอยเป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ 85 °C ความเข้มข้น NaOH 6.25N

รูปที่ 4.50 เป็นแผ่น Film 1(อยู่ติดกับฉากเปลี่ยนนิวตรอน) จะเห็นรอยอนุภาคที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มได้ชัดเจน และพบรอยอนุภาคเล็กน้อยในด้านที่ไม่ถูกระดมยิงด้วยนิวตรอนซ้ำ ส่วนในแผ่น film 2 (ถัดจากฟิล์ม 1) รูปที่ 4.50 ไม่พบรอยอนุภาคปรากฏบนแผ่นฟิล์มทั้ง 2 ด้านนั้นแสดงให้เห็นว่าอนุภาคแอลฟา ที่เกิดจากฉากเปลี่ยนนิวตรอน ไม่สามารถเจาะทะลุผ่านแผ่น film 1 ไปได้

จากเงื่อนไขดังกล่าวมานี้ ทำให้ไม่สามารถหาเงื่อนไขการกัดขยายรอยใด ที่สามารถทำให้แผ่นฟิล์มที่ผ่านการระดมยิงรังสีนิวตรอนซ้ำมีรูปพรุนที่ทะลุได้

4.5 ผลการหาขนาดรูใหญ่ที่สุดบนแผ่นเมมเบรนโดยใช้เทคนิคฟองอากาศ (Bubble Point techniques)

ก. อาบนิวตรอน 5 นาที

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการหาขนาดรูใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรน โดยใช้เทคนิคฟองอากาศของการอาบนิวตรอน 5 นาที

NaOH (N)	อุณหภูมิ etching (°C)	เวลา Etching (min)	อุณหภูมิ ขณะวัด (°C)	ความตึง					Pore size (ϕ) (μm)
				ผิว $\times 10^{-2}$ (N/m)	ความดัน (kg/cm^2)				
					1	2	3	เฉลี่ย	
2.25	80	34	23	2.23	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91
		37	23	2.23	0.90	0.90	0.90	0.90	1.01
	85	28	27	2.19	0.70	0.70	0.75	0.72	1.25
		31	23	2.23	0.30	0.30	0.30	0.30	3.04
		34	23	2.23	0.30	0.30	0.25	0.28	3.22
4.25	75	22	23	2.24	0.80	0.70	0.75	0.75	1.22
		80	18	23	2.23	0.40	0.40	0.35	0.38
	85	20	23	2.23	0.40	0.35	0.35	0.37	2.49
		14	25	2.21	0.35	0.30	0.30	0.32	2.85
		16	23	2.23	0.40	0.45	0.40	0.42	2.19
		18	24	2.22	0.30	0.30	0.25	0.28	3.20
6.25	85	7	22	2.24	0.45	0.45	0.40	0.43	2.11

ข. อาบนิวตรอน 10 นาที

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการหาขนาดใหญ่มากที่สุดของรูพรุนบนแผ่น เมมเบรน โดยใช้เทคนิคฟองอากาศ ของการอาบนิวตรอน 10 นาที

NaOH (N)	อุณหภูมิ etching (°C)	เวลา Etching (min)	อุณหภูมิ ขณะวัด (°C)	ความตึง		ความดัน (kg/cm ²)				Pore size (φ) (μm)
				ผิว X 10 ⁻² (N/m)						
					1	2	3	เฉลี่ย		
1.25	75	150	23	2.23	1.60	1.50	1.50	1.53	0.89	
		160	23	2.23	0.60	0.50	0.50	0.53	2.17	
	80	130	23	2.23	0.35	0.30	0.30	0.32	3.14	
		140	24	2.22	0.20	0.25	0.25	0.23	3.78	
	85	100	22	2.24	1.05	1.05	1.10	1.07	1.24	
		110	23	2.23	1.00	0.90	0.90	0.93	1.38	
		120	23	2.23	0.50	0.40	0.40	0.43	2.53	
2.25	75	35	23	2.23	1.20	1.20	1.20	1.20	1.11	
	80	29	23	2.23	0.70	0.70	0.75	0.72	1.72	
		31	25	2.21	0.20	0.20	0.15	0.18	4.30	
	85	23	23	2.23	0.50	0.50	0.50	0.50	2.28	
		25	23	2.23	0.45	0.45	0.45	0.45	2.46	
3.25	75	23	24	2.22	0.30	0.30	0.30	0.30	3.24	
	80	19	24	2.22	0.15	0.10	0.10	0.12	5.34	
		17	23	2.23	0.85	0.85	0.85	0.85	1.49	
	85	11	23	2.23	1.10	1.05	1.10	1.08	1.01	

ค. อาบนิวตรอน 20 นาที

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการหาขนาดใหญ่ที่สุดของรูพรุนบนแผ่น เมมเบรน โดยใช้เทคนิคฟองอากาศ ของการอาบนิวตรอน 20 นาที

NaOH (N)	อุณหภูมิ etching (°C)	เวลา Etching (min)	อุณหภูมิ ขณะวัด (°C)	ความตึง ผิว X 10 ⁻² (N/m)	ความดัน (kg/cm ²)				Pore size (φ) (μm)
					ความดัน (kg/cm ²)				
					1	2	3	เฉลี่ย	
0.75	75	300	26	2.20	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	<0.360
	80	300	27	2.19	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	<0.360
	85	260	23	2.23	0.90	0.85	0.85	0.87	1.18
1.00	80	150	25	2.21	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	<0.360
	85	120	25	2.21	1.60	1.50	1.50	1.53	0.77
		135	25	2.21	0.40	0.40	0.40	0.40	1.84
1.25	75	120	24	2.22	1.90	1.70	1.60	1.73	0.70
		130	24	2.22	1.60	1.40	1.40	1.46	0.80
	80	100	25	2.21	0.50	0.45	0.45	0.46	1.70
	85	70	25	2.21	1.80	1.50	1.50	1.60	0.75

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบการหาขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุดบนแผ่นเมมเบรน

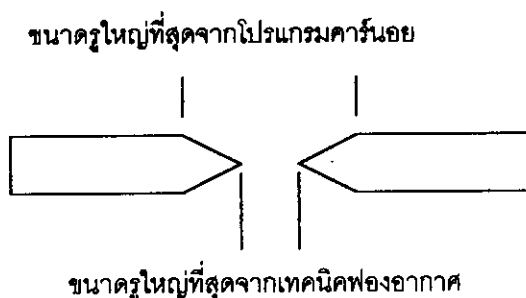
เวลาอบ นิเวตรอน (นาท)	NaOH (N)	อุณหภูมิ (°C)	เวลากัดขยาย รอย (นาท)	ϕ_{max} pore by carnoy (μm)		$\phi_{pore,max}$ by bubble point (μm)			
				หน้า	หลัง				
5	2.25	80	34	1.85	2.31	0.91			
			37	2.46	1.54	1.01			
			28	1.38	2.46	1.26			
			31	3.23	3.23	3.04			
			34	2.77	2.54	3.25			
	4.25	75	22	2.38	1.92	1.20			
			80	1.85	1.92	2.34			
			20	2.77	2.54	2.40			
		85	14	1.92	2.38	2.74			
			16	2.38	2.77	2.15			
			18	2.61	2.92	3.24			
			6.25	85	7	2.38	2.77	1.20	
			10	1.25	75	150	1.02	0.86	0.89
						160	1.02	-	2.17
80	130	0.74			0.76	3.14			
	140	0.80			1.02	3.78			
	85	100			0.88	1.02	1.24		
2.25	75	110		0.96	1.00	1.38			
		120		1.68	1.08	2.53			
		35		1.50	1.27	1.11			
		80		-	-	1.72			
		31		-	-	4.30			
3.25	75	85	23	1.27	1.63	2.28			
		25	1.83	1.63	2.46				
		23	1.23	1.77	3.24				
		80	-	-	1.49				
		19	-	-	5.34				
85	11	1.60	1.70	1.01					

ตาราง 4.10 (ต่อ)

เวลาอบ นิเวตรอน (นาทีก)	NaOH (N)	อุณหภูมิ (°C)	เวลาดัดขยาย รอย (นาทีก)	ϕ_{max} pore by carnoy (μm)		$\phi_{pore_{max}}$ by bubble point (μm)	
				หน้า	หลัง		
20	0.75	75	300	0.47	0.38	<0.36	
		80	300	0.66	0.77	<0.36	
		85	260	0.69	0.99	1.18	
	1.00	80	150	150	0.41	0.23	<0.36
			85	120	0.57	0.71	0.77
			135	135	1.06	1.06	1.84
	1.25	75	120	120	1.47	1.29	0.70
			130	130	-	-	0.80
		80	100	100	1.36	1.73	1.70
			85	70	70	0.56	0.81

จากตารางที่ 4.10 พบว่าในบางเงื่อนไข ค่าขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุดบนแผ่นเมมเบรนที่หาได้จากเทคนิคฟองอากาศมีค่า ต่างกับ ค่าที่ได้ จากโปรแกรมคาร์นอย ซึ่งเกิดขึ้นได้จาก หลายกรณี ดังนี้

1. ภาพถ่ายจาก SEM เป็นภาพซึ่งมองจากภายนอก ซึ่งรูพรุนที่เห็นบางรูอาจจะไม่ทะลุไปถึงอีกด้านของแผ่นเมมเบรน หรือ รูพรุนที่ทะลุมีขนาดทั้ง 2 ด้านไม่เท่ากัน ส่วนค่าที่ได้จาก เทคนิคฟองอากาศ ก็จะต้องดันผ่าน ของเหลวในรูพรุนออกมา ซึ่งต้องเป็นรูที่ทะลุถึงอีกด้านหนึ่งเท่านั้น ดังรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 แสดงลักษณะรูใหญ่ที่สุดที่ได้จากโปรแกรมคาร์นอยและเทคนิคฟองอากาศ

2. เกิดการฉีกขาดของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนขณะที่เพิ่มความดันทำให้ค่าที่ได้จากเทคนิคฟองอากาศ ใหญ่กว่าความเป็นจริง

4.6 ผลการศึกษาเวลาในการอบด้วยนิวตรอนเร็ว

ตาราง 4.11 แสดงความหนาแน่น และขนาดรูโดยเฉลี่ยของรูพรุน บนแผ่นเมเบรนที่ผลิตขึ้นของการอบนิวตรอนเร็วที่เวลาต่างๆ

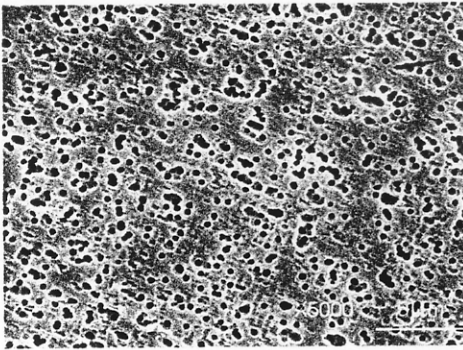
Bombarding time (min)	ϕ_{mean} (μm)	Pore density ($\times 10^7$ pore/cm ²)
5	1	1.30 – 6.48
10	0.4	5.4 - 23.9
20	0.3	5.70 – 33.7

จากตาราง 4.11 พบว่าเมื่อเวลาอบนิวตรอนเร็วเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของรูพรุนก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเป็นเชิงเส้นเนื่องจาก เมื่ออบนิวตรอนด้วยเวลาที่นานขึ้น อนุภาคเริ่มไปชนซ้ำกับรอยเดิมเหมือนไม่ได้เกิดรอยใหม่ขึ้น โดยที่ขนาดรูพรุนจะสัมพันธ์กับเงื่อนไขการกัดกร่อน ส่วนความหนาแน่นของรูพรุน จะขึ้นกับเวลาในการอบนิวตรอน

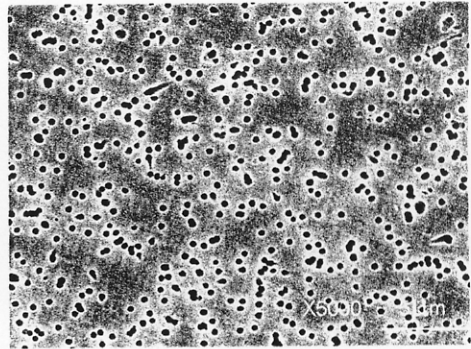
4.7 แผ่นเมมเบรนมาตรฐาน

4.7.1 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน (Millipore,Ireland)

- ขนาด 0.4 μm



a

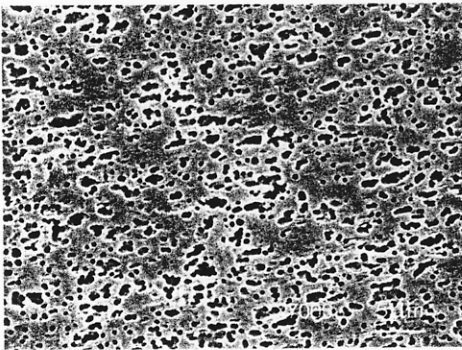


b

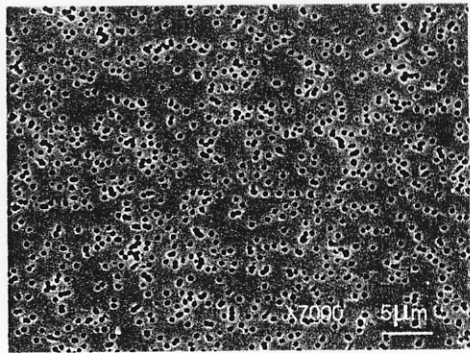
รูปที่ 4.54 แสดงภาพถ่าย SEM 5000x ของแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน

ขนาดรูพรุน 0.4 μm

- ขนาด 0.2 μm



a



b

รูปที่ 4.55 แสดงภาพถ่าย SEM 5000x ของแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน

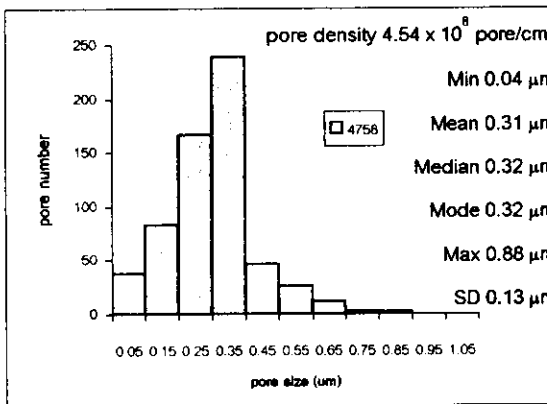
ขนาดรูพรุน 0.2 μm

จากรูปที่ 4.54- 4.55 จะเห็นว่าแผ่นเมมเบรนทั้ง 2 ด้านมีลักษณะแตกต่างกัน โดยที่ ด้านหน้าจะมีลักษณะผิวขรุขระ และขนาดรูพรุนใหญ่กว่าด้านหลัง

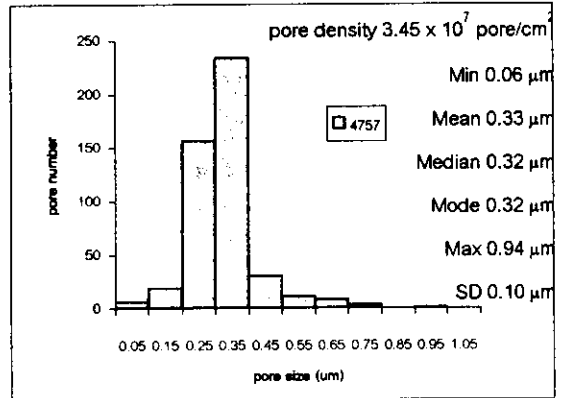
4.7.2 การหาขนาดการกระจายของรูพรุนบนแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมคาร์

นอย

ก. 0.4 μm



a

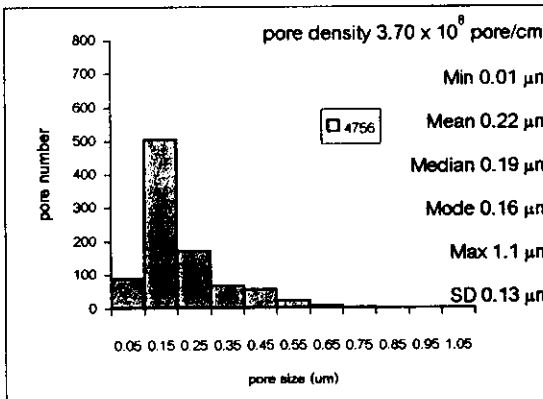


b

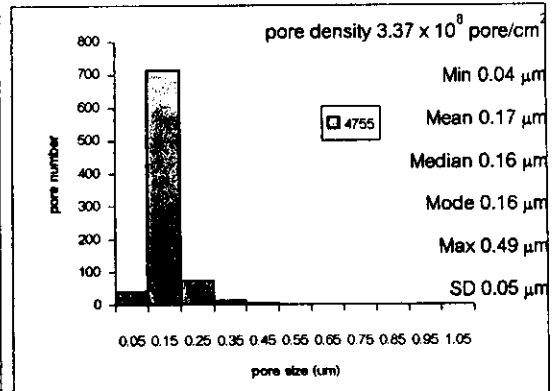
รูปที่ 4.56 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน บนแผ่นเมมเบรนมาตรฐานขนาด 0.4 μm

โดยใช้โปรแกรมคาร์นอย

ข. 0.2 μm



a



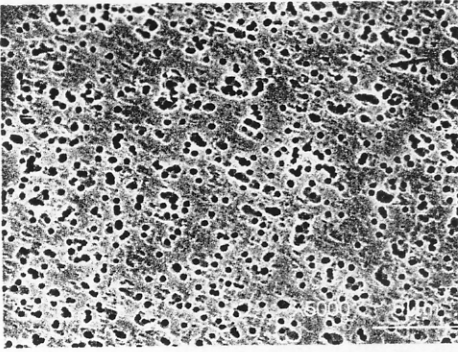
b

รูปที่ 4.57 แสดงขนาดและการกระจายของรูพรุน บนแผ่นเมมเบรนมาตรฐานขนาด 0.2 μm

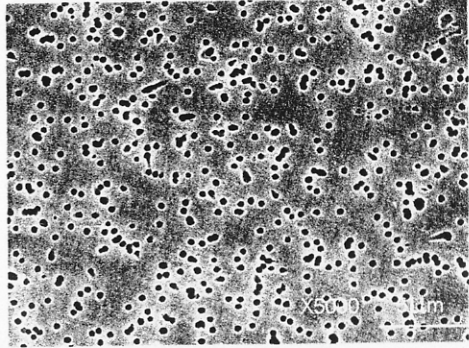
โดยใช้โปรแกรมคาร์นอย

จากรูปที่ 4.58 และ 4.59 จะเห็นว่าขนาดการกระจายของรูพรุน ทั้งสองด้านมีค่าต่างกัน โดยที่ ด้านหน้าจะมี ขนาด และการกระจายของรูพรุนมากกว่าด้านหลัง เช่นแผ่นมาตรฐานขนาด 0.2 μm รูพรุนด้านหน้ามีขนาด $0.22 \pm 0.13 \mu\text{m}$ ด้านหลัง $0.17 \pm 0.05 \mu\text{m}$

4.8 ผลการเปรียบเทียบแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นกับแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน

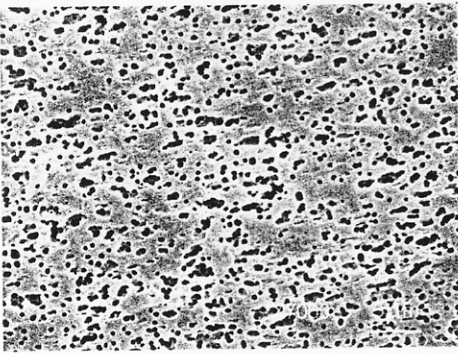


a

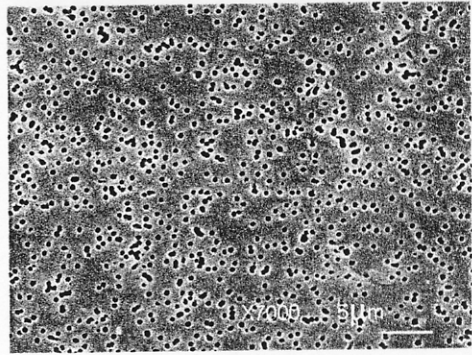


b

รูปที่ 4.58 แสดงภาพถ่าย SEM 5000x ของแผ่นเมมเบรนมาตรฐานขนาด 0.4 μm

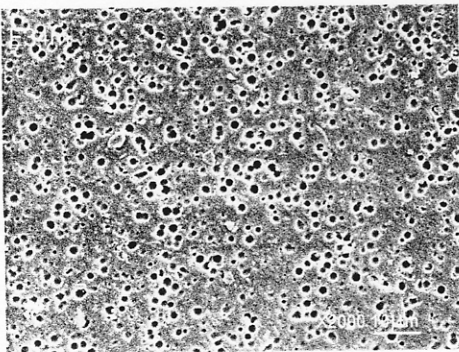


a

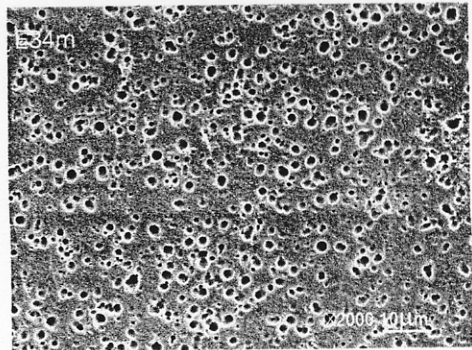


b

รูปที่ 4.59 แสดงภาพถ่าย SEM 7000x ของแผ่นเมมเบรนมาตรฐานขนาด 0.2 μm

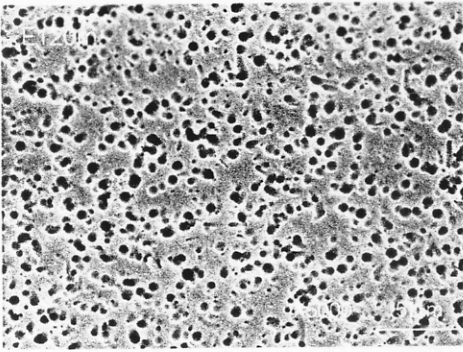


a

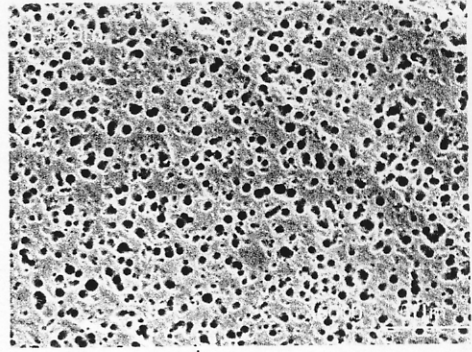


b

รูปที่ 4.60 แสดงภาพถ่าย SEM 2000X ของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น จากการอาบนิวตรอนเร็ว 5 นาที

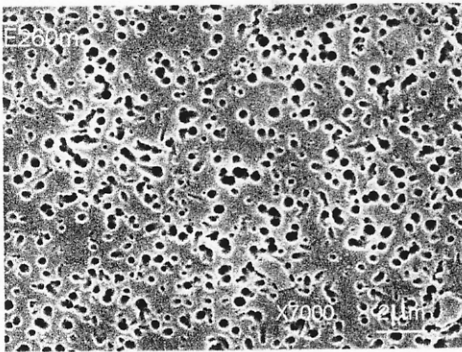


a

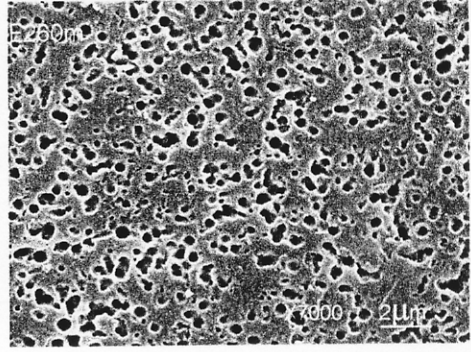


b

รูปที่ 4.61 แสดงภาพถ่ายจาก SEM 5000X ของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น
จากการอบนิวตรอนเร็ว 10 นาที



a



b

รูปที่ 4.62 แสดงภาพถ่าย SEM 7000X ของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น
จากการอบนิวตรอนเร็ว 20 นาที

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบสมบัติของเมมเบรนที่ผลิตได้กับแผ่นเมมเบรนมาตรฐาน

สมบัติต่างๆ	แผ่นเมมเบรนมาตรฐาน				แผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้น					
	ขนาดรูพรุน(μm) (ระบุโดยบริษัทผู้ผลิต)				เวลาอบนิวตรอน (นาทีก)					
	0.2		0.4		5		10		20	
หน้า	หลัง	หน้า	หลัง	หน้า	หลัง	หน้า	หลัง	หน้า	หลัง	
ขนาดรูเฉลี่ย	0.22 ± 0.13	0.17 ± 0.10	0.33 ± 0.13	0.31 ± 0.05	1.01 ± 0.40	1.01 ± 0.36	0.38 ± 0.19	0.34 ± 0.16	0.27 ± 0.16	0.27 ± 0.12
ความหนา แน่นรูพรุน ($\times 10^6$ pore/cm ²)	337	370	34.5	45.4	4.67	5.43	136	140	245	242
ขนาดรูใหญ่ สุด (SEM) (μm)	0.94	0.88	0.49	1.10	2.77	2.54	1.68	1.08	0.69	0.99

จากภาพถ่าย SEM และจากการทดสอบสมบัติของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตได้พบว่า แผ่น PC ที่ผ่านการอบนิวตรอน 10 นาทีก เปรียบเทียบกับ แผ่นมาตรฐานขนาด 0.4 μm และ แผ่น PC ที่ผ่านการอบนิวตรอน 20 นาทีก เปรียบเทียบกับ แผ่นมาตรฐานขนาด 0.2 μm ดังนี้

1. พื้นผิวของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นมีลักษณะรูพรุนว่าแผ่นมาตรฐานดัง รูปที่ 4.52 – 4.53 และ 4.56 – 4.58 เนื่องจากมีรูพรุนที่ไม่ทะลุ จำนวนมาก และอัตราการกักขยายรอยในแนวกว้าง (V_G) มาก

2. แผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นจะมีลักษณะของรูพรุนเป็นรอยเฉียง ดังรูปที่ 4.52 – 4.53 และ 4.56 – 4.58 เนื่องจาก ไม่สามารถบังคับทิศทางของอนุภาคได้ และ อนุภาคที่ได้มีหลายพลังงาน บางตัวมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะผ่านแผ่นฟิล์มออกไปได้

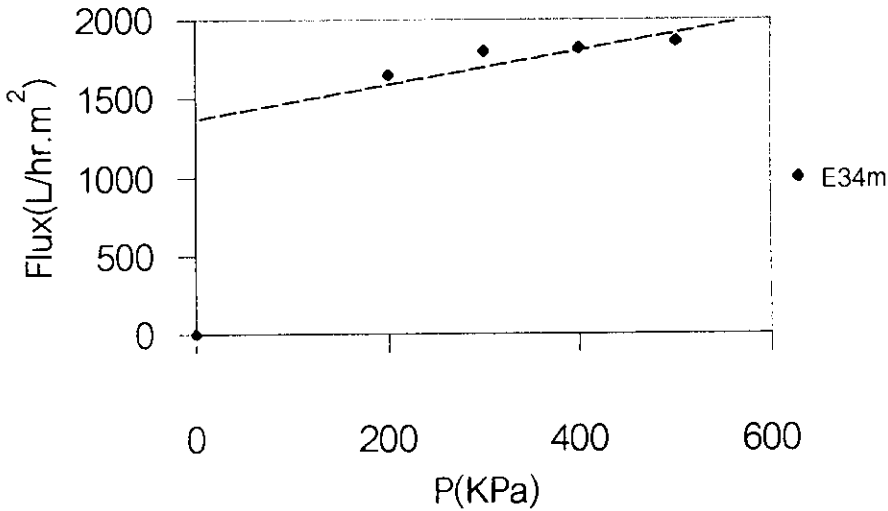
3. การกระจายของรูพรุนมากกว่า จากตารางที่ 4.12 เนื่องจากนิวตรอนที่ผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีหลายพลังงาน ทำให้ขนาดรูพรุนต่างกัน

4. มีความคงทนน้อยกว่า เนื่องจาก แผ่น PC มีความหนาเริ่มต้นเพียง 6 μm เมื่อผ่านการกัดรอยด้วยสารเคมี ทำให้ความหนาลดลง มีความแข็งแรงน้อยกว่าแผ่นมาตรฐานซึ่งมีความหนา 20 μm หรือ บางเงื่อนไขก็ทรอยมากเกินไปจนเปราะไม่สามารถนำมาใช้งานได้

4.9 ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำของเมมเบรนที่ผลิตขึ้น

จากการศึกษาอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นพบว่า สามารถแบ่งรูปแบบอัตราการไหลของน้ำได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้

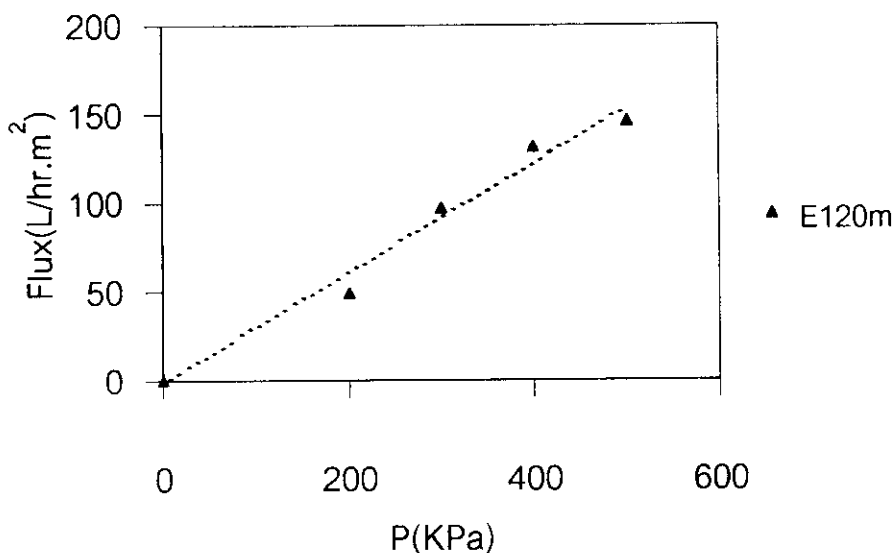
1 มีการซึมซาบของแผ่นเมมเบรนตั้งแต่เริ่มทดสอบอัตราการไหลของน้ำ สังเกตได้จากอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะเริ่มต้นการทดลอง ดังรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 แสดงอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอบนิวตรอนเร็ว 5 นาที

เงื่อนไขการกักรอย อุณหภูมิ 85 °C NaOH 2.25 N เวลา 34 นาที

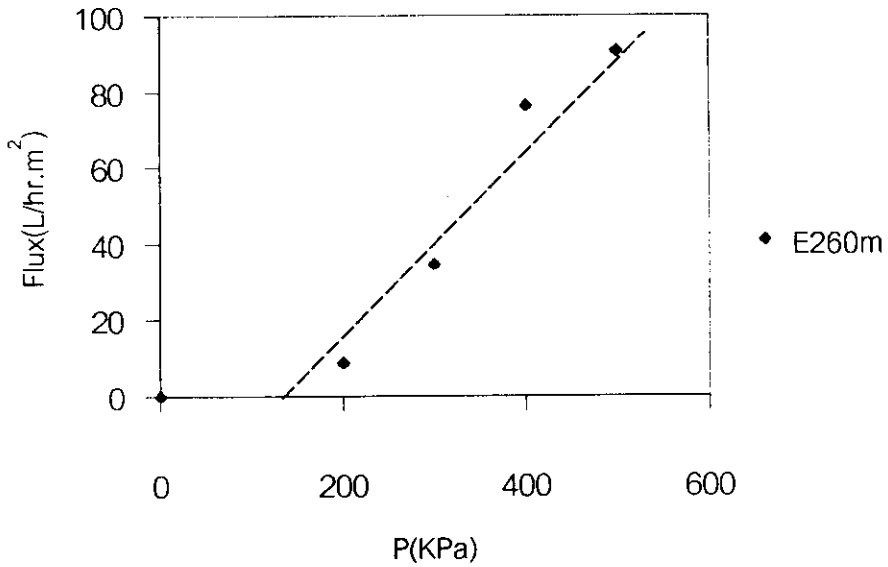
2. อัตราการไหลของน้ำมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับความดัน ดังรูปที่ 4.64



รูปที่ 4.64 แสดงอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอบนิวตรอนเร็ว 10 นาที

เงื่อนไขการกักรอย อุณหภูมิ 85 °C NaOH 1.25 N เวลา 120 นาที

3. ต้องให้ความดันเริ่มต้นก่อนจึงจะมีอัตราการไหลของน้ำดังรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.65 แสดงอัตราการไหลของน้ำของแผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอบนิวตรอนเร็ว 20 นาที
เงื่อนไขการกักตroy อุณหภูมิ 85 °C NaOH 0.75 N เวลา 260 นาที