

6. การทดสอบค่าการนำโปรตอน

วัดความหนาของแผ่นเมมเบรนขนาด 1 เซนติเมตร × 4 เซนติเมตร ก่อนนำไปแช่ในน้ำปราศจากประจุ 24 ชม. แล้วจึงนำขึ้นมาวางบนเครื่องมือวัดค่าการนำโปรตอนซึ่งได้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งระบบให้เข้าสู่สมดุลประมาณ 30 นาที แล้วจึงเริ่มอ่านค่าความต้านทานที่ได้ จากนั้นนำค่าความต้านทานมาคำนวณหาค่าการนำโปรตอน (ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ตามสมการที่ 5

$$\text{ค่าการนำโปรตอน} = \frac{D}{R \times A} \tag{5}$$

โดยที่ D และ R คือระยะห่างระหว่างสวดแพลตตินัม (เซนติเมตร) และค่าความต้านทาน (โอห์ม) ตามลำดับและ A คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเมมเบรนมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

7. การทดสอบค่าความแข็งแรงเชิงกล

วัดความหนาของแผ่นเมมเบรนขนาด 1 เซนติเมตร × 10 เซนติเมตรแล้วบ่มเมมเบรนนี้ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 25 80 120 และ150 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีโอไลต์ในแผ่นเมมเบรนผสมที่ใช้ในการทดสอบมี 0 5 และ15 แผ่นเมมเบรนที่ผ่านการอบในสภาวะต่างๆ แล้วจะนำไปเข้าเครื่องดึงวัดความแข็งแรงเชิงกล (Instron mechanical testing machine, Hounsfield H50KS)โดยมีการตั้งค่าระยะห่างระหว่างตัวจับเท่ากับ 5 เซนติเมตร อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อนาที

8. การวิเคราะห์อื่นๆ

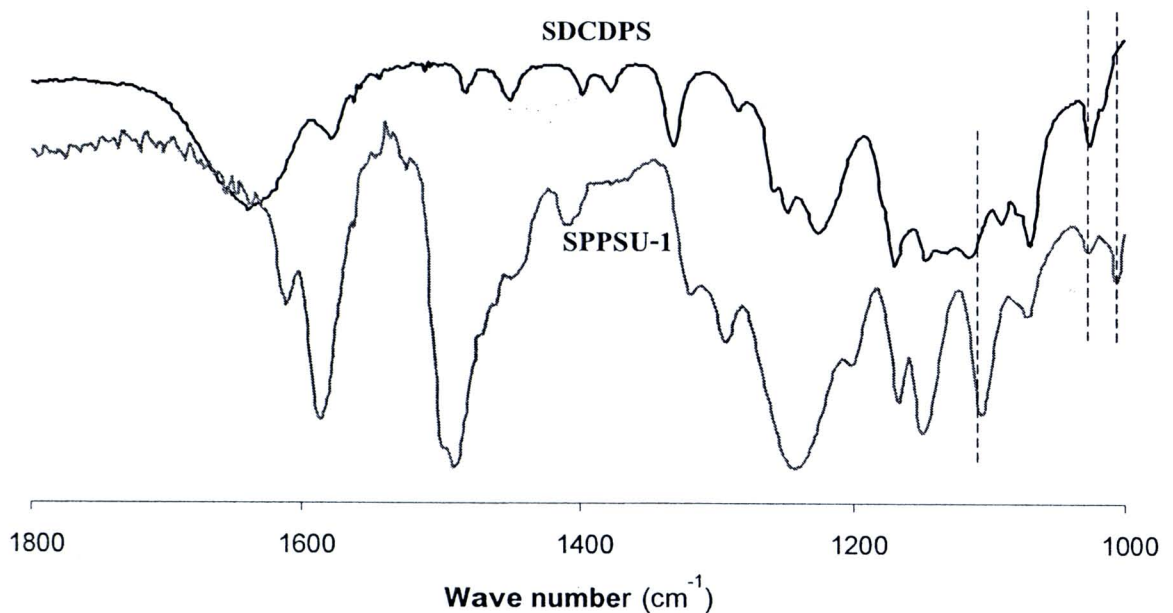
การวิเคราะห์ด้วย Thermo Gravimetric Analysis (STD 2960 Simultaneous DSC-TGA) ทำโดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 ถึง 100 องศาเซลเซียสในสภาวะไนโตรเจนและอากาศ รวมทั้งศึกษาเมอร์ฟอลอจีของเมมเบรนด้วย Scanning electron microscopy (Jeol JSM-56002v) รวมทั้งได้ใช้เทคนิค FTIR (Perkin-Elmer Spectrum GX FTIR Spectrometer) และ ¹H-NMR (Bruker Avance-300 NMR spectrometer) ในการวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การสังเคราะห์ซิลโฟเนเต็ดพอลิอะริลีนอีเธอร์ซิลโฟเน

สิ่งที่ได้จากการสังเคราะห์ซิลโฟเนเต็ดพอลิอะริลีนอีเธอร์ซิลโฟเนวิธีที่ 1 คือผงสีน้ำตาล เมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นเมมเบรน พบว่าได้เมมเบรนที่เปราะมาก ไม่สามารถขึ้นรูปเป็น

แผ่นสมบูรณ์ได้ ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของซัลโฟเนตีดมोनเมอร์และซัลโฟเนตีดพอลิเมอร์เป็นดังภาพที่ 1 โดยในที่นี้ใช้ SDCDPS และSPPSU แทนมอนเมอร์และพอลิเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟเนต ตามลำดับ โดยเลข 1 นั้นแสดงถึงหมายเลขวิธีการสังเคราะห์



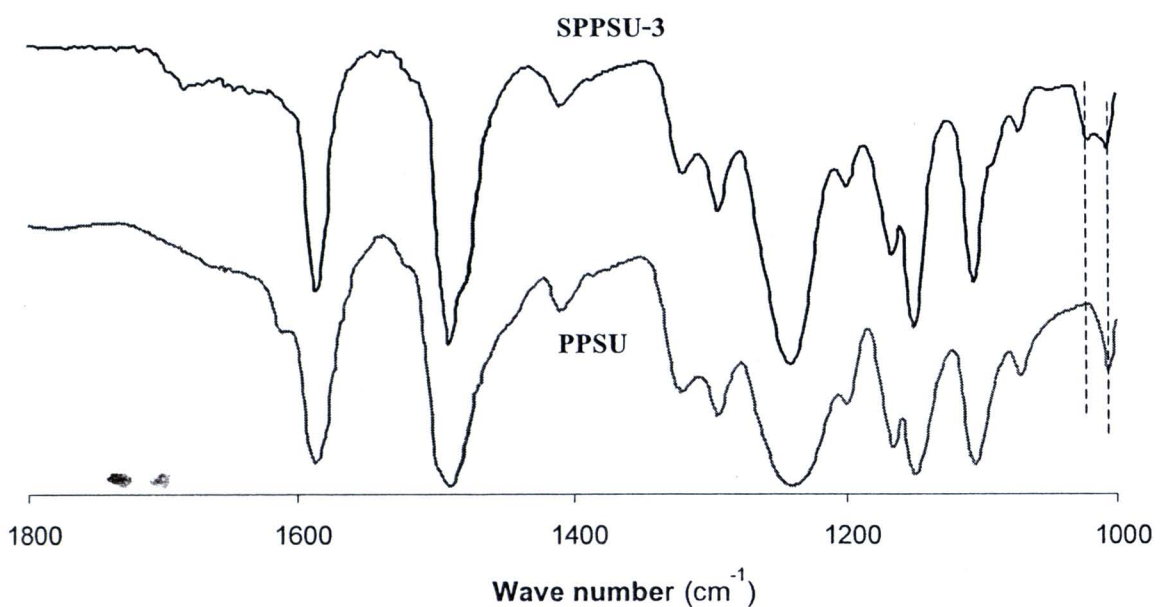
ภาพที่ 1 กราฟ FTIR ของซัลโฟเนตีดมोनเมอร์(SDCDPS) และซัลโฟเนตีดพอลิเมอร์ที่ได้จากวิธีการสังเคราะห์ที่ 1 (SPPSU-1)

จากภาพที่ 1 เส้นกราฟของซัลโฟเนตีดมोनเมอร์แสดงให้เห็นว่ามียอดกราฟที่ 1024 และ 1110 cm^{-1} ซึ่งใกล้เคียงกับตำแหน่งยอดกราฟของหมู่ซัลโฟเนตบนวงแหวนเบนซีนตามที่ Harrison (2002) ได้พบ จึงแสดงให้เห็นผลสำเร็จในการทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับมอนเมอร์ไดคลอโรไธฟีนิวซัลโฟน นอกจากนี้ยังพบยอดกราฟดังกล่าวด้วยสำหรับซัลโฟเนตีดพอลิเมอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังคงมีหมู่ซัลโฟเนตติดอยู่บนวงแหวนเบนซีน ส่วนยอดกราฟของซัลโฟเนตีดพอลิเมอร์ที่ตำแหน่ง 1006 cm^{-1} แสดงให้เห็นการมีพันธะอีเธอร์ในการเชื่อมต่อเป็นสายโซ่ แต่เมื่อนำซัลโฟเนตีดพอลิเมอร์มาขึ้นรูปเป็นแผ่นเมมเบรนจะได้แผ่นเมมเบรนมีลักษณะแตกเปราะ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพอลิเมอร์แลกเปลี่ยนโปรตอน โดยสาเหตุที่ทำให้เมมเบรนมีลักษณะแตกเปราะน่าจะมาจากพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้นี้มีสายโซ่ที่สั้นซึ่งจะเกิดจากขั้นตอนการทำปฏิกิริยาการดึงน้ำออกจากระบบไม่ดีพอ และไม่ได้อยู่ในสภาวะของระบบปิดอย่างสมบูรณ์ ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เช่นนั้น โพลีแซลไซม์คาร์บอนจะถูกไฮโดรเจนแทนที่ตรงตำแหน่งของโพลีแซลไซม์จนสุดท้ายได้เป็นน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Harrison, 2002) อีกทั้งอากาศซึ่งมีความชื้นผ่านเข้ามาในระบบการสังเคราะห์และก๊าซไนโตรเจนที่ปล่อยเข้ามาไล่อากาศออกจากระบบไม่ได้มีตัว

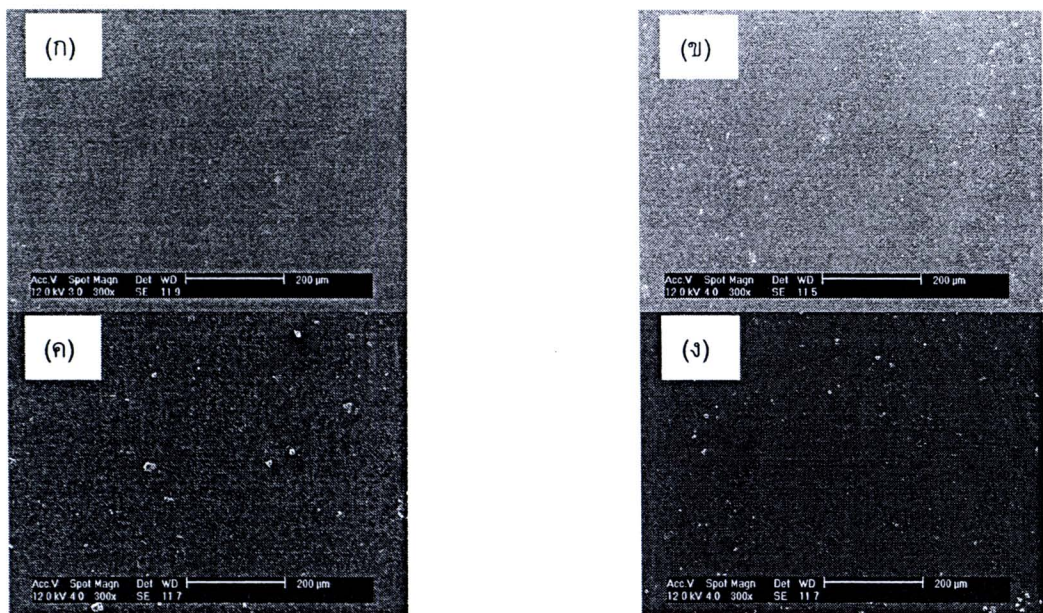
กรองความชื้น ซึ่งความชื้นหรือน้ำในอากาศมีผลอย่างมากทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดอย่างไม่สมบูรณ์ ยิ่งความชื้นในบรรยากาศมีมากจะยิ่งส่งผลมากขึ้นตามไปด้วย

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ซัลโฟเนเต็ดพอลิอะริลอีเธอร์ซัลโฟเนวิธีที่ 2 เป็นก้อนสีขาวขุ่น เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มพบว่าสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มเหนียวและใส การทดสอบด้วยการนำเมมเบรนไปแช่น้ำพบว่าแผ่นฟิล์มซัลโฟเนเต็ดพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์วิธีนี้ที่อุณหภูมิ 20 และ 30 องศาเซลเซียส และทุกช่วงเวลากการทำปฏิกิริยาสามารถละลายน้ำได้ง่ายดาย แต่พบว่าซัลโฟเนเต็ดพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสใช้เวลานานกว่าในการละลายในน้ำจนหมด นอกจากนี้แผ่นฟิล์มที่ได้จากสภาวะเหล่านี้ยังไม่สามารถทนความชื้นที่อุณหภูมิสูง โดยแผ่นเมมเบรนเมื่อสัมผัสกับอากาศซึ่งมีความชื้นและอุณหภูมิสูงเกิดการเสียรูปและละลาย ซึ่งสาเหตุที่ทำให้แผ่นเมมเบรนเหล่านี้ละลายในน้ำหรือทนความชื้นไม่ได้นี้น่าจะเกิดจากการทำปฏิกิริยาที่รุนแรงของกรดซัลฟูริกเข้มข้น โดยกรดนี้จะตัดสายโซ่ของพอลิเมอร์ (Harrison, 2002; Roziere และ Jones, 2003)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ซัลโฟเนเต็ดพอลิอะริลอีเธอร์ซัลโฟเนวิธีที่ 3 เป็นก้อนสีขาวเหมือนกับสิ่งที่ได้จากวิธีสังเคราะห์ที่ 2 เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นเมมเบรนได้เป็นแผ่นเมมเบรนเหนียวและใส ผลการทดสอบแช่น้ำ พบว่าแผ่นเมมเบรนไม่ละลายในน้ำและไม่เสียรูป จึงเหมาะที่จะใช้นำมาทดสอบคุณสมบัติอื่นๆ ของการเป็นพอลิเมอร์ที่น่าโปรตอนได้ ซึ่งผลการทดสอบจากเครื่องมือ FTIR ของซัลโฟเนเต็ดพอลิเมอร์เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ผ่านปฏิกิริยาซัลโฟเนชันเป็นดังภาพที่ 2 โดยสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของกราฟได้ตำแหน่งเวฟเนมเบอร์ที่ 1022 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมู่ซัลโฟเนตบนสายโซ่พอลิเมอร์ (Harrison, 2002) นอกจากนี้ค่าการแลกเปลี่ยนประจุของแผ่นเมมเบรนที่ไม่ผ่านการ



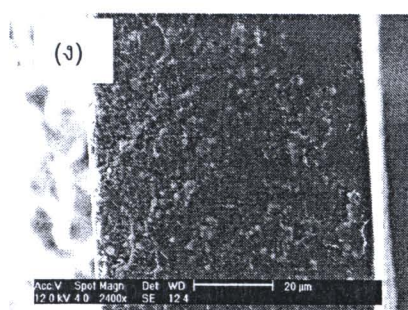
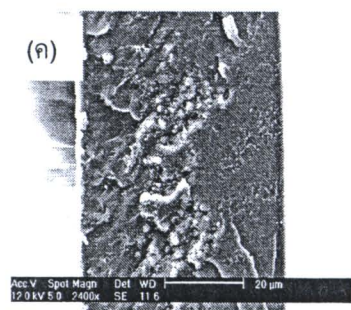
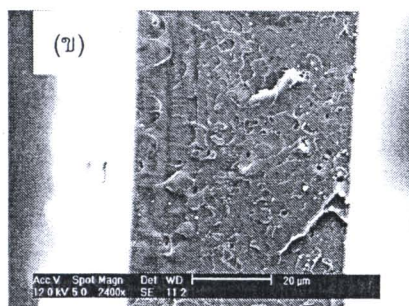
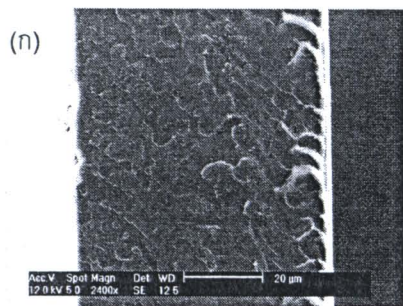
ภาพที่ 2 กราฟ FTIR ของพอลิอะริลอีเธอร์ซัลโฟเน(PPSU) และซัลโฟเนเต็ดพอลิอะริลอีเธอร์ซัลโฟเนจากการสังเคราะห์ที่ 3 (SPPSU-3)



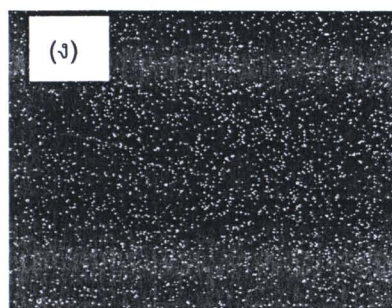
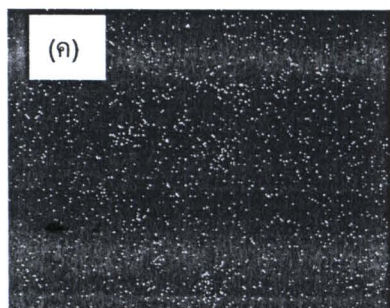
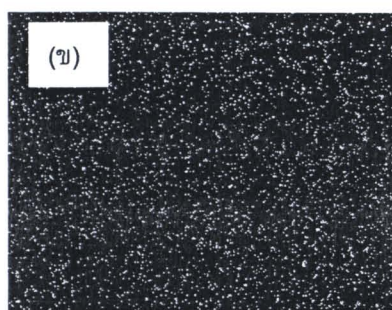
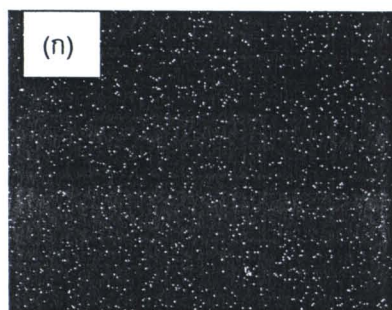
ภาพที่ 4 ลักษณะส่วนพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนผสมที่มีซิลิโอส (ก) 0 (ข) 5 (ค) 15 และ (ง) 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 300 เท่า

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแผ่นเมมเบรน 0 เปอร์เซ็นต์ซิลิโอสซึ่งก็คือแผ่นเมมเบรนที่ได้จากการขึ้นรูปซิลิโอสในเตาเผาโพลิเมอร์จะมีพื้นผิวที่เรียบ เมื่อเพิ่มสัดส่วนซิลิโอสลงไปพบว่าเกิดจุดสีขาวขึ้นเป็นพื้นผิวของเมมเบรนซึ่งเป็นส่วนของซิลิโอส ภาพนี้แสดงให้เห็นเพียงการกระจายตัวบางส่วนของซิลิโอสบนแผ่นเมมเบรนเท่านั้นแต่ไม่สามารถมองเห็นการกระจายตัวภายในแผ่นได้ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการส่องภาคตัดขวางดังแสดงในภาพที่ 5

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์ซิลิโอสภาพตัดขวางค่อนข้างเรียบ แต่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ซิลิโอสเริ่มพบจุดสีขาวกระจายตัวอยู่และมีโพรงขึ้นบางส่วนซึ่งเป็นส่วนของซิลิโอสที่หลุดออกไป ภาพตัดขวางที่ 15 เปอร์เซ็นต์ซิลิโอส แสดงให้เห็นส่วนกระจุกตัวของซิลิโอสกลางแผ่นได้อย่างชัดเจนและที่ 25 เปอร์เซ็นต์ซิลิโอสพบซิลิโอสที่ด้านซ้ายของแผ่นเมมเบรนมากกว่าด้านขวาซึ่งคาดว่าด้านซ้ายของแผ่นเมมเบรนคือส่วนล่างของแผ่น ขณะที่ทำการขึ้นรูปทำให้ซิลิโอสที่มีจำนวนมากตกลงไปยังด้านล่างของแผ่นเมมเบรน แต่อย่างไรก็ดีภาพที่ได้จาก SEM นี้ยังไม่สามารถแสดงการกระจายตัวของซิลิโอสได้ชัดเจน จึงเปลี่ยนวิธีการทดสอบโดยใช้ SEM-EDX แทนซึ่งเป็นระบบที่มีอยู่ในกล้อง SEM อยู่แล้ว และวิธีนี้จะแสดงตำแหน่งของธาตุ(เช่น ซิลิกอน อะลูมิเนียม เป็นต้น) ในสารตัวอย่าง โดยในที่นี้ซิลิโอสมีธาตุซิลิกอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในขณะที่ไม่มีธาตุนี้ในพอลิเมอร์ ดังนั้นจุดขาวในภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งของธาตุดังกล่าว หรือการกระจายของซิลิโอสในพอลิเมอร์นั่นเอง



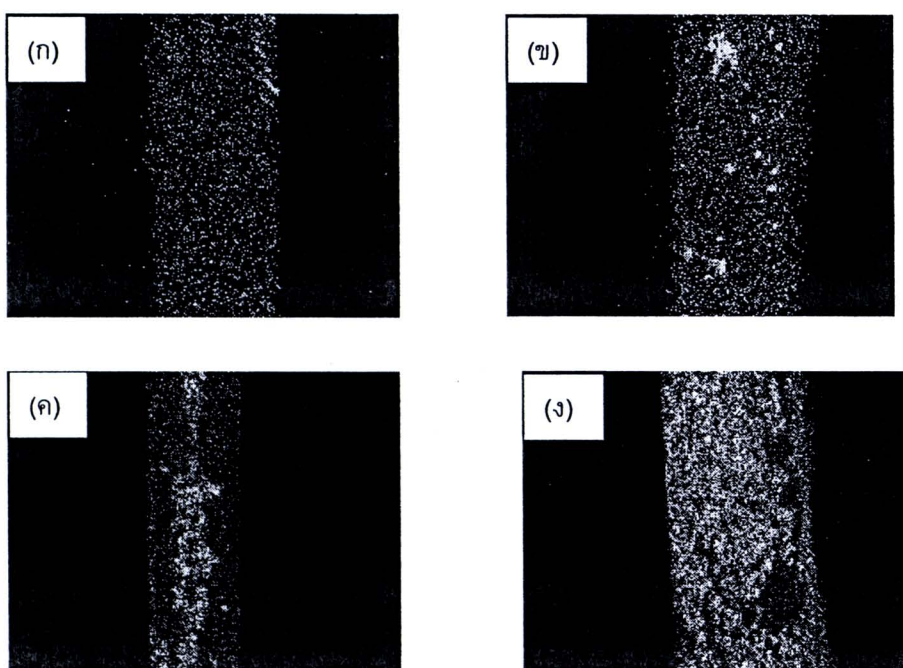
ภาพที่ 5 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นเมมเบรนผสมที่มีซีโอไลต์ (ก) 0 (ข) 5 (ค) 15 และ (ง) 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 2400 เท่า



ภาพที่ 6 ลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ในแผ่นเมมเบรนผสมบนระบบ SEM-EDX (ก) 0 (ข) 5 (ค) 15 และ (ง) 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 2400 เท่า

จากภาพที่ 6 จุดคือตำแหน่งของซิลิกอนภายในแผ่นเมมเบรนผสม ปริมาณของจุดจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแผ่นเมมเบรนผสม ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์การกระจายตัวของจุดในแผ่นเมมเบรนค่อนข้างดี เมื่อเพิ่มขึ้นเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์ จะเริ่มพบการกระจุกตัวของจุดหรือการกระจุกตัวของซีโอไลต์และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์ แต่สำหรับที่ 0 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์พบจุดบนภาพถ่ายในระบบอีดีเอ็กซ์มีความเป็นไปได้ว่าแผ่นเมมเบรนอาจบางจนทำให้รังสีที่ใช้ในการตรวจสอบธาตุทะลุผ่านไปยังแท่นรองแผ่นเมมเบรนจึงทำให้เกิดเป็นจุดขึ้น

ลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ของแผ่นเมมเบรนผสมในลักษณะส่วนภาพตัดขวาง ในระบบ SEM-EDX เป็นดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะการกระจายตัวของซีโอไลต์ในภาพตัดขวางของแผ่นเมมเบรนผสมบนระบบ SEM-EDX (ก) 0 (ข) 5 (ค) 15 และ (ง) 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 2400 เท่า

ภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่ามีการกระจุกตัวภายในแผ่นเมมเบรนเริ่มตั้งแต่ที่สัดส่วน 5% ซีโอไลต์ ซึ่งจะไม่สามารถมองเห็นการกระจุกตัวได้จากภาพที่ 28ข. และจะพบการกระจุกตัวมากขึ้นตามสัดส่วนของซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้น ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์มีการกระจุกตัวอยู่กลางแผ่นเมมเบรนมากสอดคล้องกับภาพที่ 28ค. และที่ 25 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์พบการกระจุกตัวลงซีโอไลต์เต็มพื้นที่ของแผ่นเมมเบรนซึ่งจะเห็นว่าด้านซ้ายของภาพมีปริมาณซีโอไลต์มากกว่า บ่งบอกให้เห็นถึงการตกของซีโอไลต์ลงด้านล่างของแผ่นเมมเบรนขณะทำการขึ้นรูป

3. ค่าการแลกเปลี่ยนประจุของแผ่นเมมเบรนผสม

ค่าการแลกเปลี่ยนประจุของซีโอไลต์และแผ่นเมมเบรนผสมซึ่งได้จากการทดลองและจากการคำนวณแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในการคำนวณนั้นจะใช้สมมติฐานที่ว่าค่าการแลกเปลี่ยนประจุของแผ่นเมมเบรนผสมควรมีค่าเท่ากับค่าการแลกเปลี่ยนประจุของซิลโฟเนตพอลิเมอร์และซีโอไลต์ตามสัดส่วนของน้ำหนักของแต่ละสารที่มีอยู่ในเมมเบรนผสมนี้ ดังแสดงตามสมการที่ 6

ค่าการแลกเปลี่ยนประจุรวม= (สัดส่วนโดยน.น.X ค่าการแลกเปลี่ยนประจุ)ซีโอไลต์
+ (สัดส่วนโดยน.น. X ค่าการแลกเปลี่ยนประจุ)ซิลโฟเนตพอลิเมอร์ (6)

ซึ่งค่าการแลกเปลี่ยนประจุซีโอไลต์ และค่าการแลกเปลี่ยนประจุของเมมเบรนจะได้จากการวัดค่าการแลกเปลี่ยนประจุของสารแต่ละชนิด ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าการแลกเปลี่ยนประจุที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด และจากการทดลองนี้พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์(ลดสัดส่วนปริมาณพอลิเมอร์) เข้าไปในแผ่นเมมเบรนผสม ค่าการแลกเปลี่ยนประจุของเมมเบรนผสมที่วัดได้มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงที่พบได้จากการคำนวณซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสาเหตุของการลดลงของค่าการแลกเปลี่ยนประจุน่าจะเกิดจากปริมาณพอลิเมอร์ที่ลดลง

ตารางที่ 1 ค่าการแลกเปลี่ยนประจุและค่าการดูดซับน้ำของซีโอไลต์และแผ่นเมมเบรนผสม

ตัวอย่าง	ค่าการแลกเปลี่ยนประจุที่วัดได้ (meq/g)	ค่าการแลกเปลี่ยนประจุที่คำนวณได้ (meq/g)	ค่าการดูดซับน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
ซีโอไลต์ซีเอสเอ็มไฟว์	0.81	-	
เมมเบรน-0%ซีโอไลต์	1.23	-	19.42
เมมเบรน-5%ซีโอไลต์	1.23	1.21	18.94
เมมเบรน-15%ซีโอไลต์	1.21	1.17	19.16
เมมเบรน-25%ซีโอไลต์	1.13	1.13	12.99

4. ค่าการดูดซับน้ำ

พอลิเอทรีนอีเธอร์ซิลโฟนโดยปกติเป็นพอลิเมอร์ประเภทไม่ชอบน้ำ(hydrophobic polymer) ดังนั้นจึงมีค่าการดูดซับน้ำต่ำมากประมาณ 0.37 เปอร์เซ็นต์ (<http://www.solvay.com>) การเติมหมู่ซิลโฟเนตทำให้ซิลโฟเนตพอลิเมอร์เกิดความเป็นขั้วมากขึ้นจึงทำให้สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น(Harrison, 2002) ค่าการดูดซับน้ำของแผ่นเมม

เบรณผสมเป็นดังตารางที่ 1 โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเทียบกับน้ำหนักของ
เมมเบรณแห้ง

จากตารางพบว่าค่าการดูดซับมีค่าเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าการ
แลกเปลี่ยนประจุที่วัดได้เนื่องจากค่าการดูดซับน้ำแปรผันตามค่าการแลกเปลี่ยนประจุ
อย่างไรก็ตามการเติมซีโอไลต์เข้าไปแทนที่พอลิเมอร์ในเมมเบรณผสมนี้ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน
พบว่าไม่สามารถเพิ่มการดูดซับน้ำให้มากขึ้นอย่างชัดเจนได้ ซึ่งคาดว่ามิสาเหตุจากพอลิ
เมอร์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ผลสำเร็จของการติดหมู่ซิลโฟเนตบนหนึ่งสายโซ่เพียง 8 เปอร์เซนต์จึง
ทำให้พอลิเมอร์เมทริกซ์มีความชอบน้ำไม่สูงนักทำให้ไปขัดขวางการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ที่
อยู่ภายในเมมเบรณ

5. ค่าการนำโปรตอน

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่าการนำโปรตอนของแผ่นเมมเบรณผสมที่อุณหภูมิห้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ 99.9 เปอร์เซนต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0071– 0.1175 ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
ในขณะที่ค่าการนำโปรตอนของแนฟฟิออนที่วัดที่สภาวะเดียวกันและเครื่องมือเดียวกันมีค่า
0.1130 ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ดังนั้นจะเห็นว่าค่าการนำโปรตอนของซิลโฟเนตพอลิเมอร์ที่
ต่ำที่สุดนี้ ยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ยอมรับได้ที่ 0.01 ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร(Jiang และคณะ,
2005; Vernon และคณะ, 2005) ดังนั้นเมมเบรณผสมนี้มีศักยภาพที่จะนำไปใช้แผ่นเมมเบร
นแลกเปลี่ยนโปรตอนได้

ตารางที่ 2 ค่าการนำโปรตอนของแผ่นเมมเบรณผสมที่อุณหภูมิห้อง ความชื้น 99.9%

ตัวอย่าง	ค่าการนำโปรตอน (ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)
แนฟฟิออน 117	0.1130
เมมเบรณ 0%ซีโอไลต์	0.0093
เมมเบรณ 5%ซีโอไลต์	0.0071
เมมเบรณ 15%ซีโอไลต์	0.1175
เมมเบรณ 25%ซีโอไลต์	0.0113

6. ความเสถียรต่ออุณหภูมิ

ตารางที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่วัดของพอลิอะวิริลีนอีเทอร์
ซิลโฟเน Radel-R[®] ที่ได้โดยตรงจากบริษัท Solvay และของซิลโฟเนเต็ดพอลิอะวิริลีนอีเทอร์
ซิลโฟเนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีที่ 3 โดยพอลิอะวิริลีนอีเทอร์ซิลโฟเนมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยน
สถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 224 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับ 220 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นค่า

อุณหภูมิที่ได้มีรายงานไว้ในสิ่งพิมพ์ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ Radel-R[®] ของบริษัท Solvay(<http://www.solvay.com>)

ซิลโฟเนตเต็ดพอลิอะริลีนอีเธอร์ซิลโฟเนตมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมากกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่มีหมู่ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Harrison (2002); Wang และคณะ (2002) โดยอาจมีสาเหตุจากหมู่ซิลโฟเนตที่ติดที่สายโซ่ ทำให้สายโซ่มีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้การเคลื่อนตัวของสายโซ่เกิดได้ยากขึ้น อีกประการมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนบอกระหว่างหมู่ซิลโฟเนตได้ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงขึ้น(Harrison, 2002) ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ได้จากการทดสอบในบรรยากาศไนโตรเจนไม่แตกต่างจากค่าได้จากการทดสอบในบรรยากาศปกติ

ตารางที่ 3 ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของแผ่นเมมเบรนผสมภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและอากาศ

ตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (องศาเซลเซียส)	
	ไนโตรเจน	อากาศ
พอลิอะริลีนอีเธอร์ซิลโฟเนต	224	224
เมมเบรน 0%ซีโอไลต์	320	320
เมมเบรน 25%ซีโอไลต์	314	308

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าพอลิอะริลีนอีเธอร์ซิลโฟเนตมีอุณหภูมิที่ทำให้สูญเสียน้ำหนักไป 5 เปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง เป็นเพราะพอลิเมอร์ไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ นอกจากสายโซ่หลัก ที่อุณหภูมิ 540 เซลเซียส จึงเป็นการทำลายพันธะของสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ แต่สำหรับซิลโฟเนตเต็ดพอลิเมอร์จะมีหมู่ซิลโฟเนตบนสายโซ่ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่า

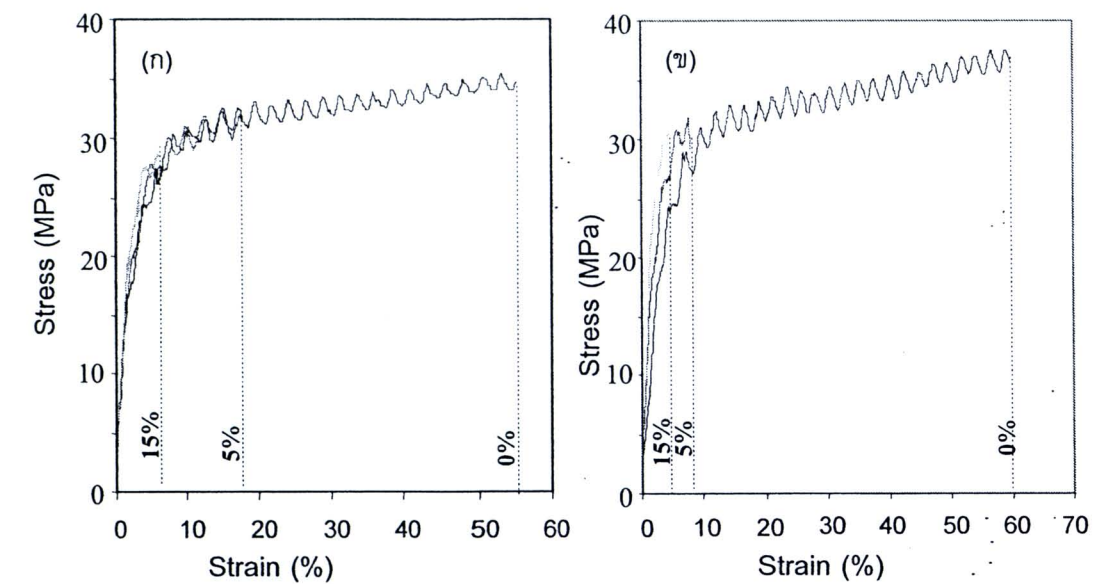
ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิสูญเสียน้ำหนัก 5 เปอร์เซ็นต์ของแผ่นเมมเบรนผสมภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและอากาศ

ตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิสูญเสียน้ำหนัก 5 เปอร์เซ็นต์ (องศาเซลเซียส)	
	ไนโตรเจน	อากาศ
พอลิอะริลีนอีเธอร์ซิลโฟเนต	540	519
เมมเบรน 0%ซีโอไลต์	217	213
เมมเบรน 25%ซีโอไลต์	232	233

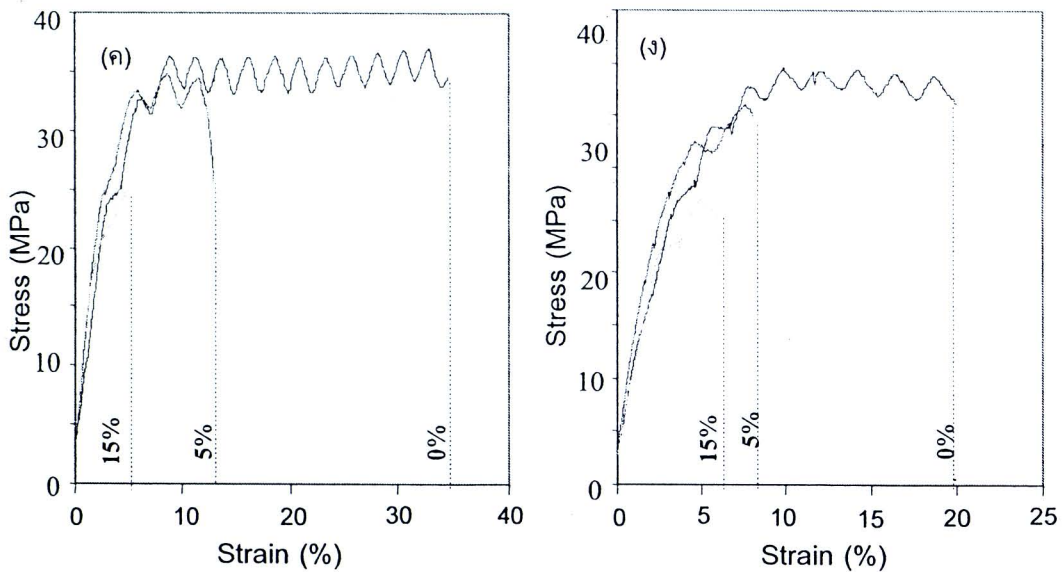
พันธะของอะตอมบนสายโซ่หลัก ดังนั้นจึงได้ว่าการสูญเสียน้ำหนัก 5 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิประมาณ 217 องศาเซลเซียส สำหรับเมมเบรนผสมที่ไม่มีซีโอไลต์ และที่ 232 องศาเซลเซียส สำหรับเมมเบรนผสมที่มีซีโอไลต์ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งซีโอไลต์นั้นจะไม่เกิดการสูญเสียน้ำหนัก ณ ที่อุณหภูมินี้ ดังนั้นการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิช่วงนี้จะเกิดเนื่องจากการสูญเสียหมู่ซัลโฟเนตเท่านั้น(Harrison, 2002)

6. ค่าความแข็งแรงเชิงกล

ภาพที่ 8ก-ง แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียด (stress) ที่ค่าความเค้น (strain) ต่างๆ ของเมมเบรนผสมที่แต่ละสัดส่วนของซีโอไลต์ต่างๆ โดยได้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่ม เป็นดังนี้ อุณหภูมิห้อง 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส จากภาพจะเห็นได้อย่างชัดเจน ว่าในทุกอุณหภูมิบ่มที่สนใจนี้ แผ่นเมมเบรนผสม 0 เปอร์เซ็นต์มีค่าของการยืดตัวสูงที่สุด (20-60 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาเป็นแผ่นเมมเบรนผสมที่มีซีโอไลต์ผสมอยู่ 5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่าการยืดตัวอยู่ในช่วง 7-18 เปอร์เซ็นต์ และ 5-6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นเห็นได้ว่า แผ่นเมมเบรนผสมมีความแข็งแรงและเปราะมากขึ้นตามสัดส่วนซีโอไลต์ที่ใส่เพิ่มลงไป

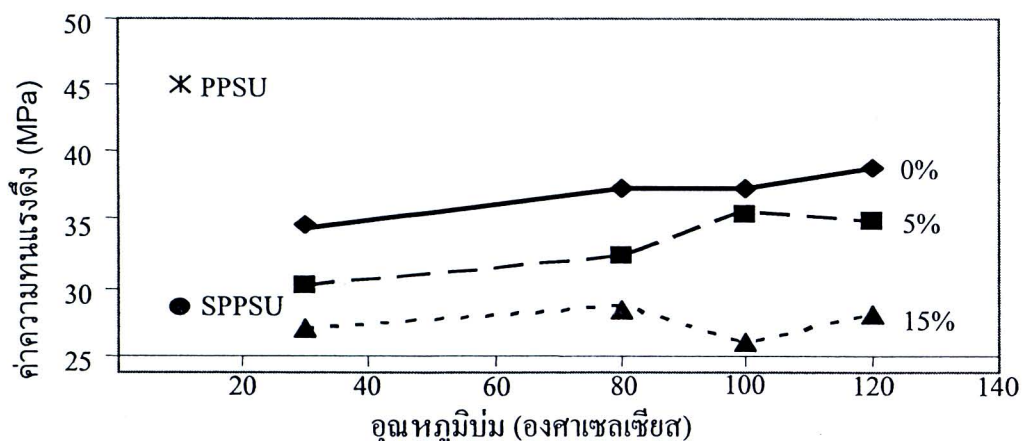


ภาพที่ 8 stress-strain curve ของแผ่นเมมเบรนผสม 0 5 และ 15เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิบ่ม (ก) อุณหภูมิห้อง (ข) 80 (ค) 100 และ (ง) 120 องศาเซลเซียส เส้นประแสดงค่าความเค้นที่เมมเบรนฉีกขาด



ภาพที่ 8 (ต่อ)

ภาพที่ 9 แสดงค่าความทนแรงดึง (Tensile strength) ของแผ่นเมมเบรนผสมที่ สัดส่วน 0 5 และ 15 เปอร์เซนต์ซีโอไลต์ที่ได้บ่มนาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ แผ่นเมมเบรน PPSU มีค่าความทนแรงดึงสูงที่สุดในทุกอุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อแผ่นเมมเบรนผสมได้ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ทนต่อแรงดึงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม สำหรับ แผ่นเมมเบรนผสม 15 เปอร์เซนต์ซีโอไลต์นั้น จะมีปริมาณพอลิเมอร์น้อย และ จากภาพโครงสร้างจุลภาค ยังแสดงให้เห็น

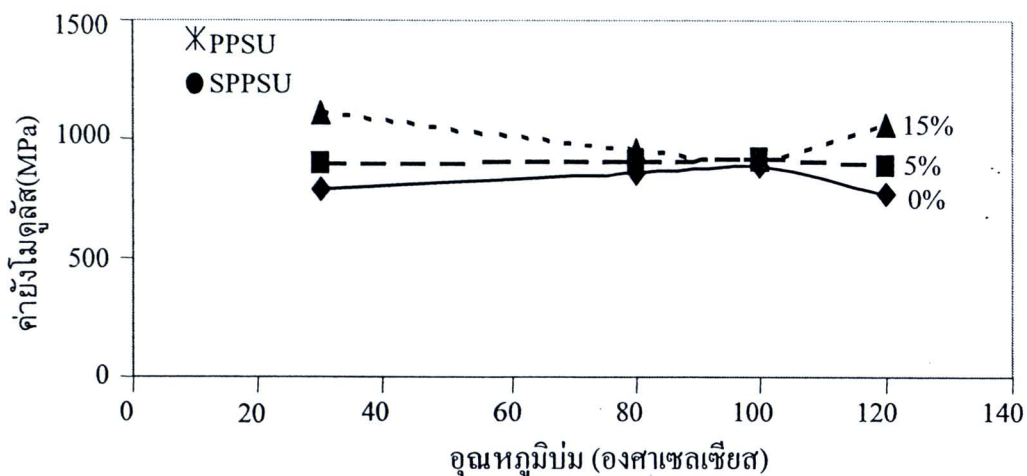


ภาพที่ 9 ค่าการทนแรงดึงของแผ่นเมมเบรนผสมซีโอไลต์บ่มที่อุณหภูมิต่างๆ ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 99.9 เปอร์เซนต์ โดยดอจันท์และวงกลมที่บแสดงถึงค่าการทนแรงดึงของเมมเบรนผสมซีโอไลต์ 0 เปอร์เซนต์ที่ทำจากพอลิเมอร์ PPSU และ SPPSU ตามลำดับ โดยก่อนทดสอบนี้ เมมเบรนทั้งสองชนิดนี้จะเก็บไว้ในบรรยากาศของห้องปฏิบัติการเท่านั้น

เห็นการกระจุกตัวของซีโอไลต์ทั่วแผ่น โดยไม่มีพอลิเมอร์ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถต้านทานแรงดึงได้ดีแทรกตัวอยู่ นี่จึงอาจเป็นสาเหตุของความทนแรงดึงของเมมเบรนผสมนี้ที่มีค่าต่ำ และอิทธิพลของการเพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อค่าการทนแรงดึงที่ไม่สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้จากภาพที่ 9 ยังเห็นได้ว่า สำหรับเมมเบรนที่ทำจากพอลิเมอร์ที่มีและไม่มี หมู่ซัลโฟเนต (SPPSU และ PPSU ตามลำดับ) ที่ไม่ได้บ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปทดสอบ จะได้ค่าการทนแรงดึงที่แตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์ที่มีหมู่ซัลโฟเนตมีค่าการทนแรงดึงที่ต่ำกว่า ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุจากขณะทำซัลโฟเนชัน เกิดการตัดสายโซ่ และการบ่มแผ่นเมมเบรนที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 ที่อุณหภูมิต่างๆ นี้ ซึ่งต่ำกว่า Tg อาจก่อให้เกิดการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมหรืออะตอมบนสายโซ่ได้ ซึ่งทำให้สามารถทนแรงดึงได้มากขึ้น

ภาพที่ 10 แสดงค่ายังโมดูลัส(young's modulus) ของแผ่นเมมเบรนผสมที่สัดส่วน 0 5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์ ที่ได้ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ 99.9 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 10 ค่ายังโมดูลัสของแผ่นเมมเบรนผสมที่สภาวะอุณหภูมิบ่มต่างๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 99.9 เปอร์เซ็นต์

ค่ายังโมดูลัสของแผ่นเมมเบรนผสมที่ทดสอบทุกสัดส่วนซีโอไลต์นี้ถือว่าอยู่ในค่าของระดับพลาสติก (700-1000MPa) และจากกราฟที่ 10 ค่ายังโมดูลัสของแผ่นเมมเบรน 15 เปอร์เซ็นต์ซีโอไลต์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาเป็น 5 และ 0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแผ่นเมมเบรน 15 เปอร์เซ็นต์มีความแข็ง เปราะ มากกว่าแผ่นเมมเบรนผสมที่มีสัดส่วนซีโอไลต์ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเค้นของเมมเบรนนี้ที่มีค่าต่ำสุดในภาพที่ 8 และ