

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจน ผ่านเยื่ออย่างธรรมชาติ (NR) เยื่ออย่างธรรมชาติที่ผ่านการคงรูป (Vul.NR) และเยื่ออย่างธรรมชาติคงรูปผสมเนพธาลีนที่อัตราส่วน 10 20 และ 30 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วน (Vul.NR+Nap.10 Vul.NR+Nap.20 และ Vul.NR+Nap.30) ตามลำดับ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรคือ อุณหภูมิ และความดัน กับ เยื่อที่เตรียมขึ้น อีกทั้งยังได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเยื่อในด้านอื่นๆ ด้วยเช่น การตรวจสอบพื้นผิว และภาคตัดขวาง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ค่าความทนแรงดึง ความยืดเมื่อขาด และความเค้นดึงที่การยืดร้อยละ 300 เป็นต้น

4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำยางชั้น

ผลการวิเคราะห์น้ำยางชั้นที่ใช้เตรียมเยื่อในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของน้ำยางชั้นที่ใช้เตรียมเยื่อ

สมบัติ	ค่ามาตรฐาน	ค่าทดสอบ
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	ต่ำสุด 61.5	62.1
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (ร้อยละ)	ต่ำสุด 60.0	60.7
ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่เนื้อยาง (ร้อยละ)	สูงสุด 2.0	1.4
แอมโมเนีย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.70	0.69
การคงตัวต่อเครื่องกล (วินาที)	ต่ำสุด 650	900
ปริมาณกรดไขมันระเหยได้	สูงสุด 0.20	0.018
ปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์	สูงสุด 1.0	0.47
การตรวจดูสีด้วยสายตา	ไม่เป็นสีฟ้า หรือเทา	ขาว
การตรวจกลิ่น	ไม่มีกลิ่นบูดเน่า	กลิ่นหอม
ความเป็นกรด – เบส (pH ที่ 25 °C)	-	10.6

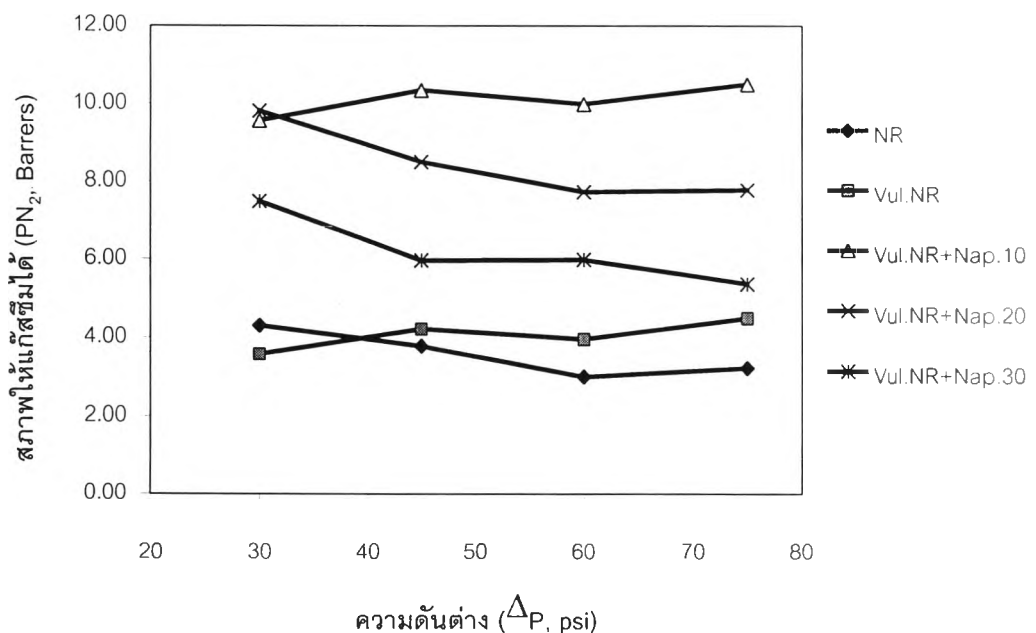
จากผลการวิเคราะห์ ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 2004 – 1979 (E) จะเห็นได้ว่าสมบัติของน้ำยางชั้น ซึ่งเป็นชนิดแอมโมเนียสูงที่ใช้นั้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นเพียงค่าร้อยละของแอมโมเนีย ที่มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.2 ผลของความดันต่าง ต่อค่าสภาพให้แก๊สซึมได้

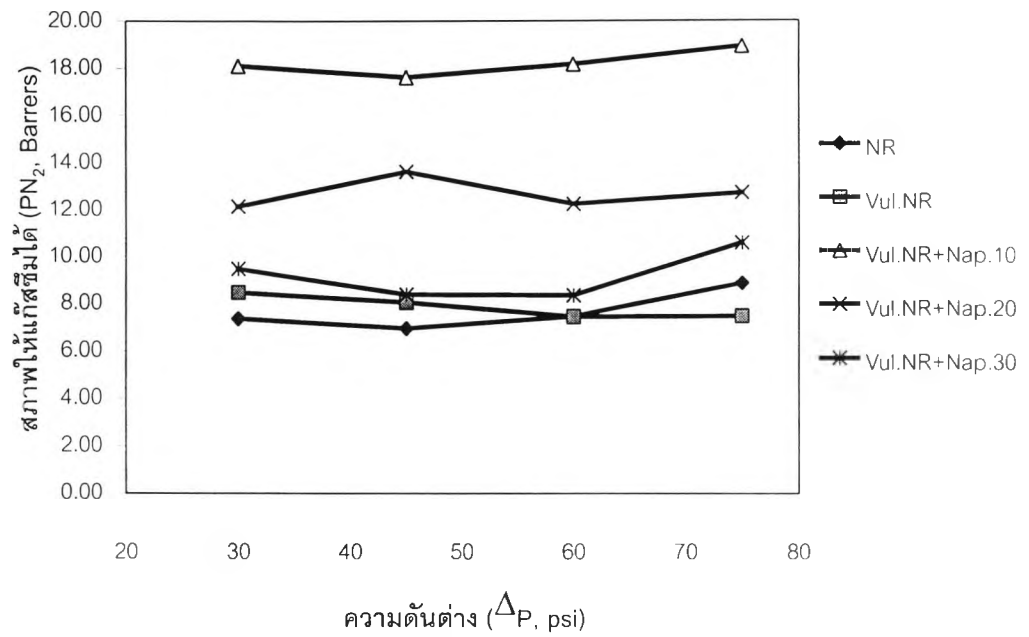
เป็นการศึกษาผลของความดันต่าง ต่อค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อที่เตรียมขึ้น ด้วยวิธีการดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ได้ดำเนินการโดยทำการทดสอบกับแก๊ส 2 ชนิด คือแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจน ที่ความดันต่าง 30 45 60 และ 75 psi (206.8 310.3 413.7 และ 517.1 กิโลปาสคาล)

4.2.1 ผลการทดสอบกับแก๊สไนโตรเจน

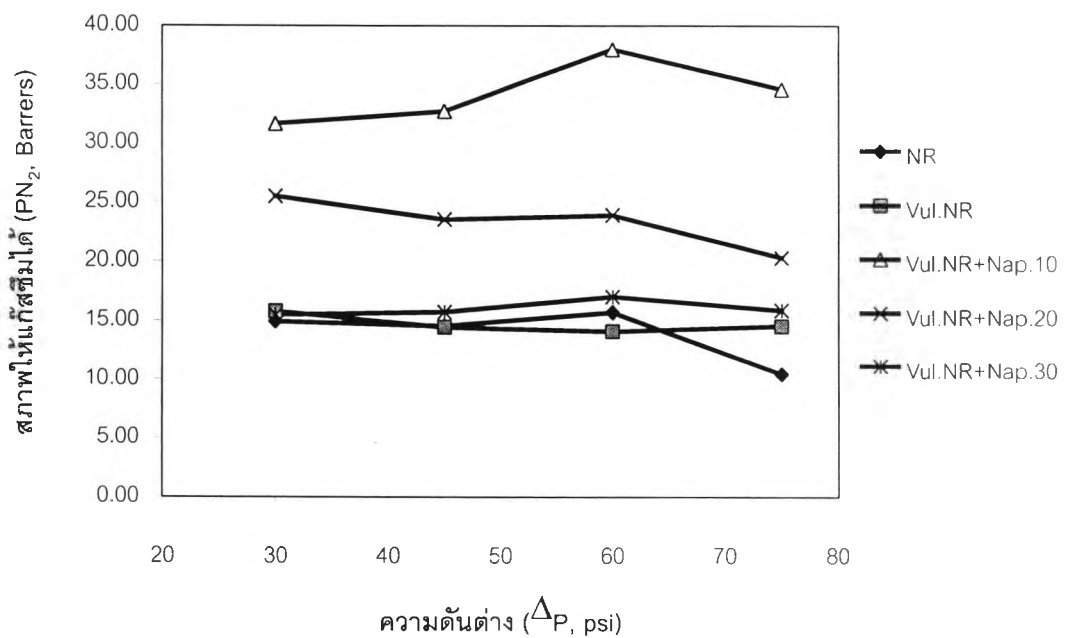
จากการทดสอบเยื่อกับแก๊สไนโตรเจน จะได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 26 40 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.2 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

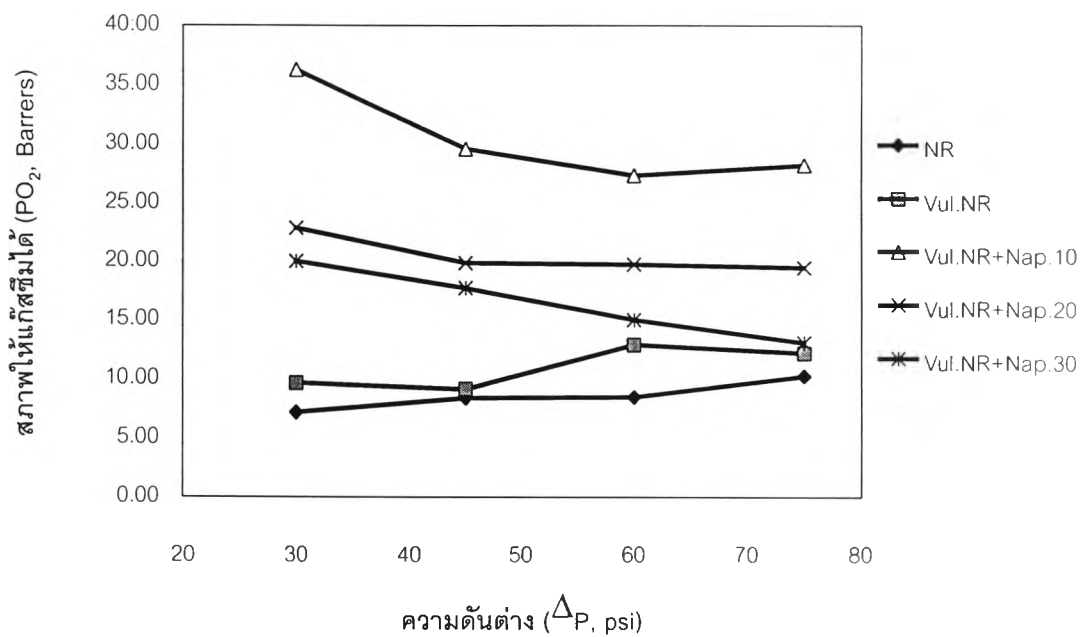


ภาพที่ 4.3 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

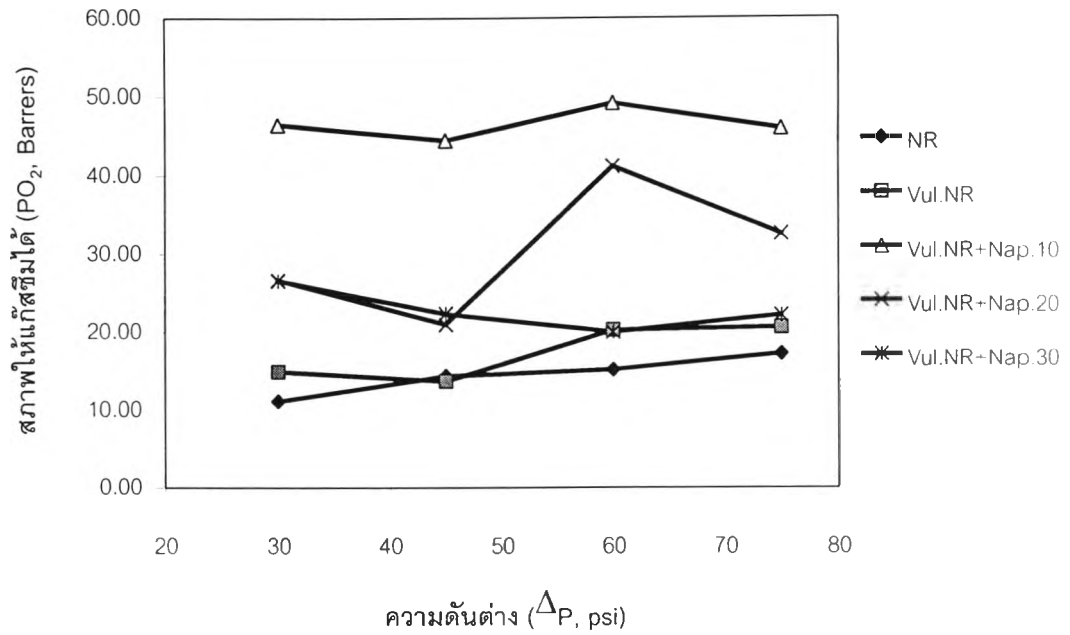
จากภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าความดันต่างที่เพิ่มขึ้นของแก๊สไนโตรเจนในการทดสอบกับเยื่อชนิดต่างๆ นั้น ไม่ทำให้ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้มีค่าที่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยแนวโน้มของค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ค่อนข้างคงที่ กล่าวคือแม้จะเพิ่มความดันต่างมากขึ้น ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ก็ยังมีค่าอยู่ในระดับเดิม ดังจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของเยื่อชนิดต่างๆ ค่อนข้างที่จะขนานกันในแนวนอน ทั้งนี้เนื่องจากค่าสภาพให้แก๊สซึมได้เป็นค่าที่ปรับสู่ภาวะปกติ (normalized) เรียบร้อยแล้ว จึงไม่ขึ้นกับความดันต่าง อย่างไรก็ตามในเยื่อบางชนิดความดันต่างที่เปลี่ยนไปอาจมีผลทำให้ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อมีแนวโน้มที่เปลี่ยนไปได้เช่นกัน^(14, 21 22) ในกรณีเช่นนั้นแสดงว่าความดันทำให้เยื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง

4.2.2 ผลการทดสอบกับแก๊สออกซิเจน

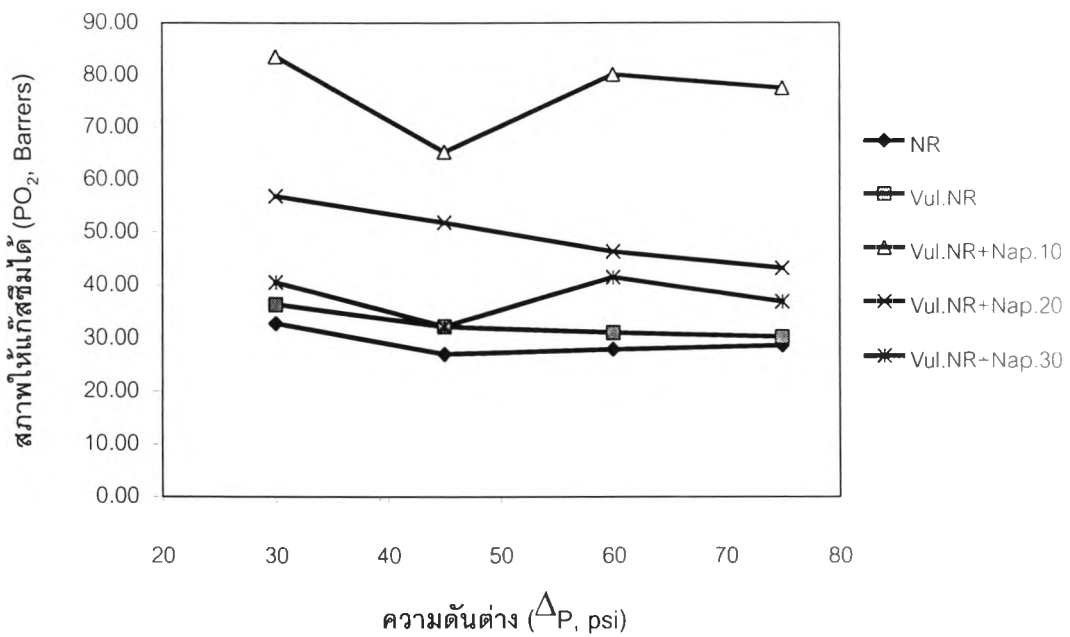
ภาพที่ 4.4 4.5 และ 4.6 แสดงผลการทดสอบค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ กับแก๊สออกซิเจน ที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.4 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.5 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



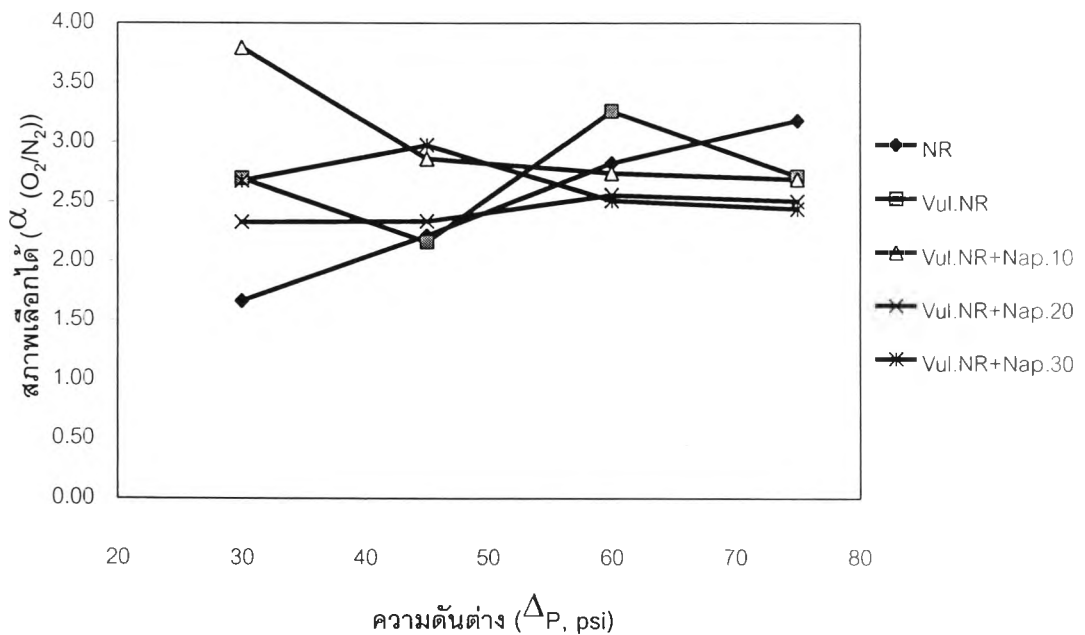
ภาพที่ 4.6 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพให้ออกซิเจนซึมได้ กับความดันต่างของแก๊สออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น มีลักษณะเช่นเดียวกันกับในกรณีของแก๊สไนโตรเจน กล่าวคือ

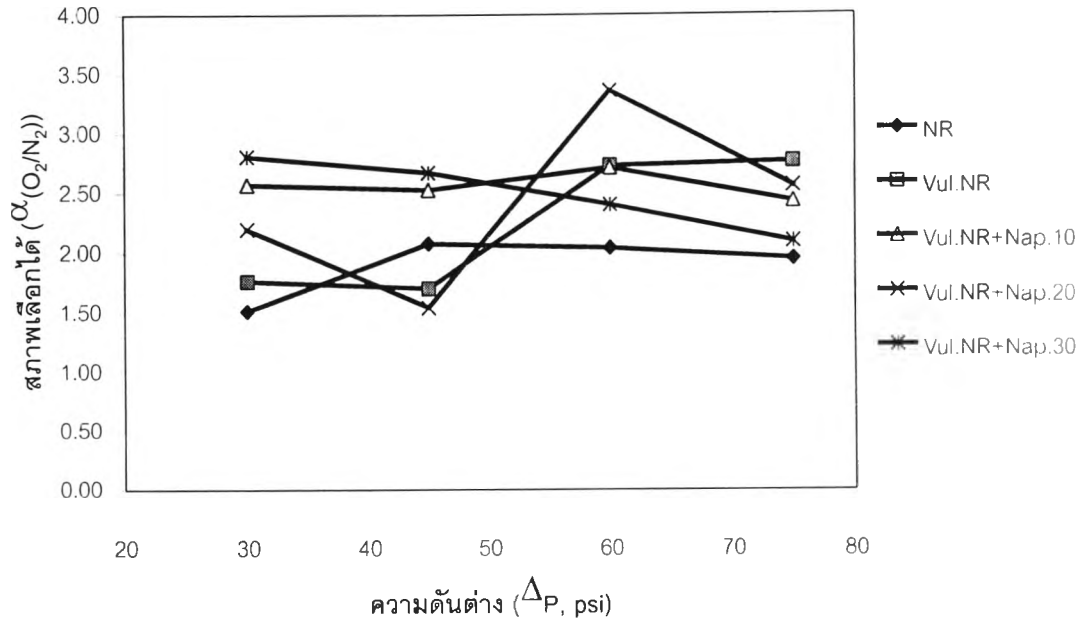
การเพิ่มความดันต่าง ไม่ทำให้ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง ถึงแม้ว่าการเพิ่มความดันต่างจะเป็นการเพิ่มแรงขับ (driving force) ให้แก๊สซึมตาม ทั้งนี้เพราะเหตุผลเช่นเดียวกันกับที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ในกรณีของแก๊สไนโตรเจน

4.3 ผลของความดันต่าง ต่อค่าสภาพเลือกได้

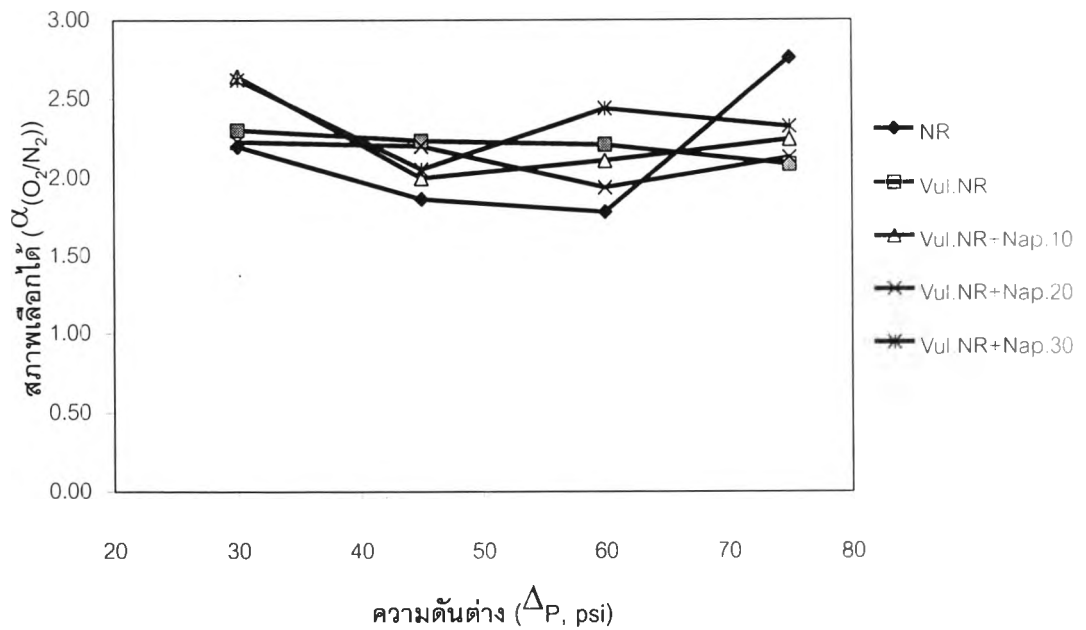
จากการทดสอบค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจน และออกซิเจน นำไปสู่การคำนวณค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สทั้งสองชนิด โดยนำเสนอข้อมูลค่าสภาพเลือกได้ ในรูปของแฟกเตอร์การแยกอุดมคติ โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สออกซิเจน ต่อไนโตรเจน กับความดันต่าง ที่เพิ่มขึ้นจาก 30 ถึง 75 psi ในเยื่อชนิดต่างๆ โดยทำการแสดงผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 26 40 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.8 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิตั้ง 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.9 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิตั้ง 55 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.7 ในช่วงความดันต่ำคือที่ 30 psi พบว่าค่าสภาพเลือกได้ ในเยื่ออย่างธรรมชาติ (NR) ซึ่งเป็นเยื่อชนิดที่มีค่าสภาพเลือกได้ต่ำสุด และเยื่ออย่างคงรูปผสมแนฟธาซีน 10 ส่วน

ตัวอย่าง 100 ส่วน (Vul.NR+Nap.10) ซึ่งเป็นเยื่อชนิดที่มีค่าสภาพเลือกได้สูงสุด มีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกันมาก แต่เมื่อเพิ่มความดัน และ/หรือ อุณหภูมิให้สูงขึ้นค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สทั้งสองชนิดที่เกิดขึ้นในเยื่อทั้งสอง และในเยื่อชนิดอื่นๆ จะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.8 - 4.9 และถ้าแยกดูในเยื่อแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าเมื่อความดันต่างเปลี่ยนแปลงไป ค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจนต่อไนโตรเจนของเยื่อแต่ละชนิดในการทดลอง มีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าอาจจะมีค่าที่แตกต่างกันบ้างในบางภาวะ แต่หากว่าสังเกตในภาพรวมที่เกิดกับเยื่อในทุกอุณหภูมิแล้ว แนวโน้มของค่าสภาพเลือกได้ในเยื่อชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากค่าสภาพเลือกได้ที่แสดงนั้นมาจากการเปรียบเทียบค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สทั้งสองชนิด ซึ่งจากหัวข้อที่ 4.2 แสดงให้เห็นค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สแต่ละชนิดมีแนวโน้มคงที่ ทำให้ค่าสภาพเลือกได้ที่เกิดขึ้นในเยื่อแต่ละชนิดมีค่าคงที่ไปด้วย ดังนั้นค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจนต่อไนโตรเจนในเยื่อที่เตรียมขึ้นจากน้ำยางธรรมชาติในการทดลองนี้ ไม่ขึ้นกับความดันต่างของแก๊สที่ใช้ในการทดสอบ

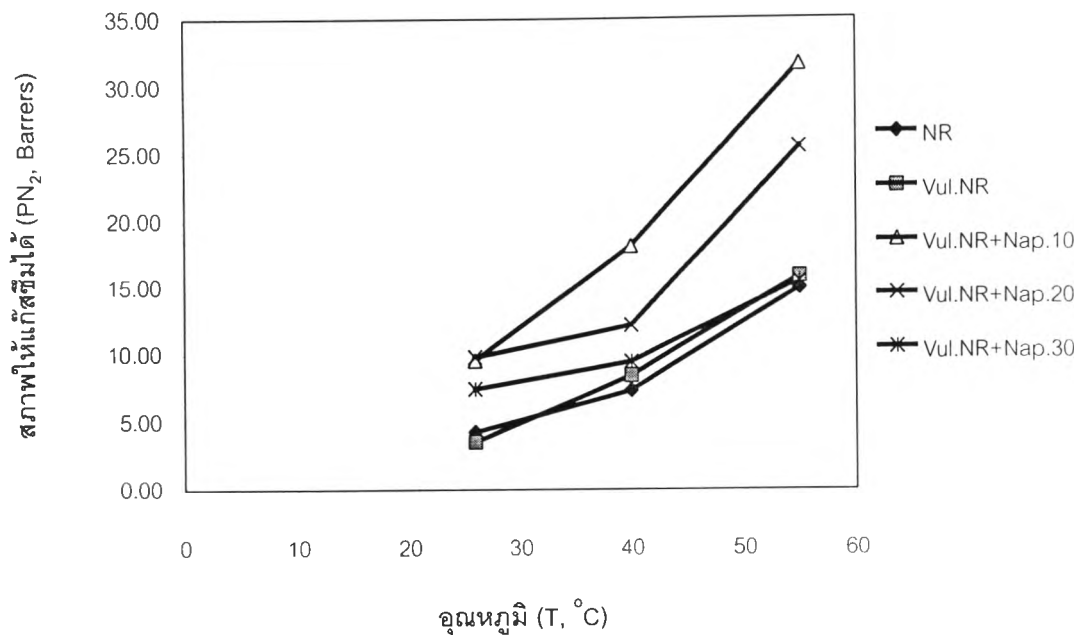
นอกจากนี้ผลการทดลองในส่วนนี้ แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเยื่อที่เตรียมขึ้นเป็นเยื่อที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้ดีกว่าแก๊สไนโตรเจน โดยค่าเฉลี่ยสภาพเลือกได้ในเยื่อทุกชนิดจะอยู่ที่ประมาณ 2 – 3

4.4 ผลของอุณหภูมิ ต่อค่าสภาพให้แก๊สซึมได้

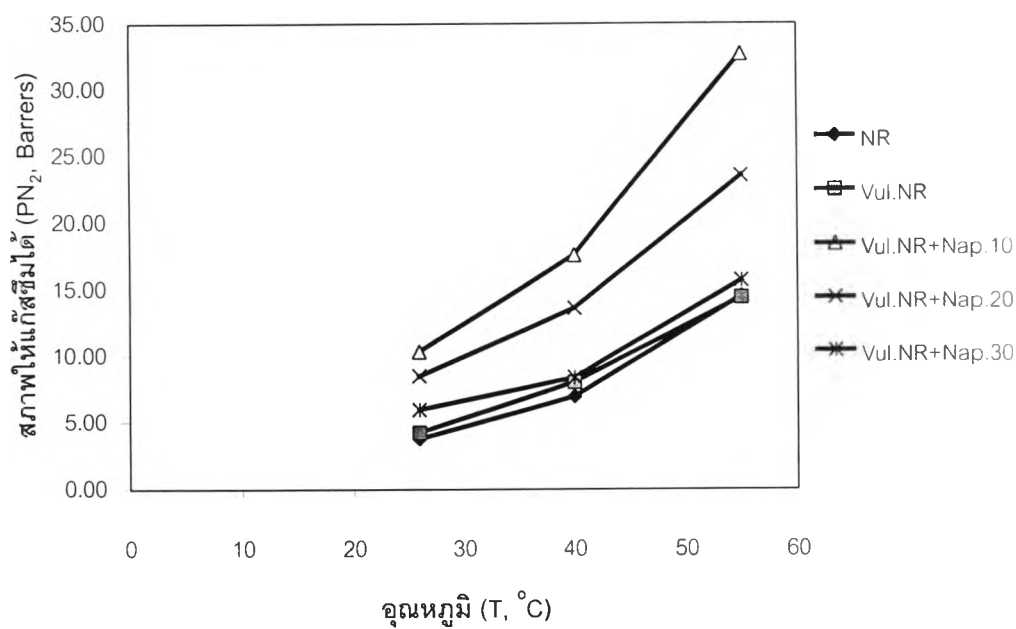
ผลการทดลองในส่วนนี้ แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ กับ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป จาก 26 – 55 องศาเซลเซียส เป็นกราฟความสัมพันธ์ที่ค่าความดันต่างแตกต่างกัน โดยจะแยกออกเป็น 2 กรณีคือ ในกรณีของแก๊สไนโตรเจน และในกรณีของแก๊สออกซิเจน เพื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อทั้ง 5 ชนิด

4.4.1 ผลการทดสอบกับแก๊สไนโตรเจน

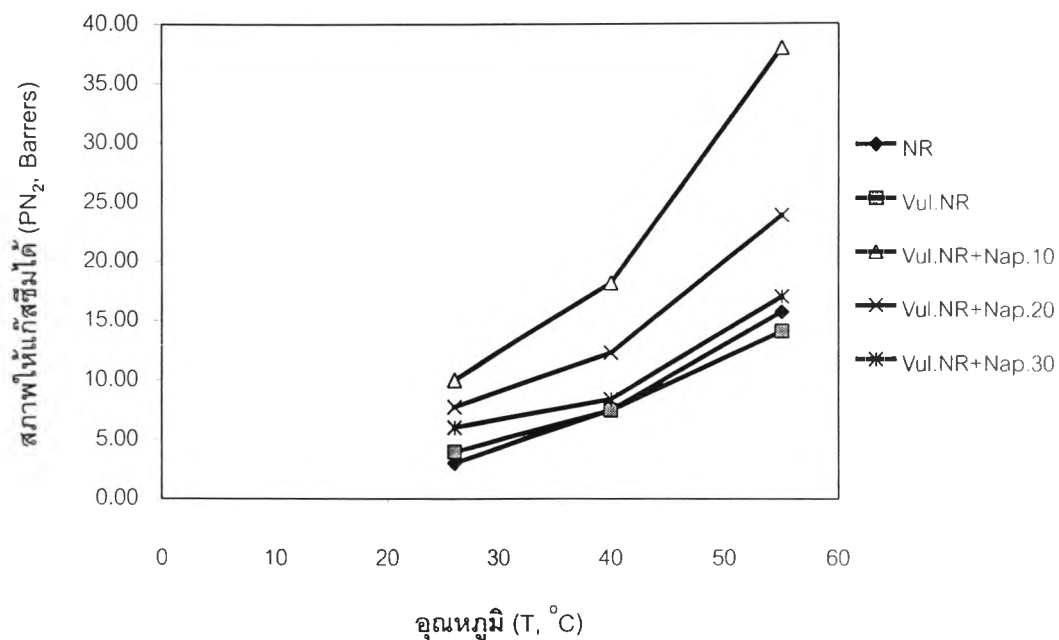
ผลการทดสอบค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจน กับอุณหภูมิ ที่ความดันต่าง 30 45 60 และ 75 psi นำเสนอตั้งในภาพที่ 4.10 4.11 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



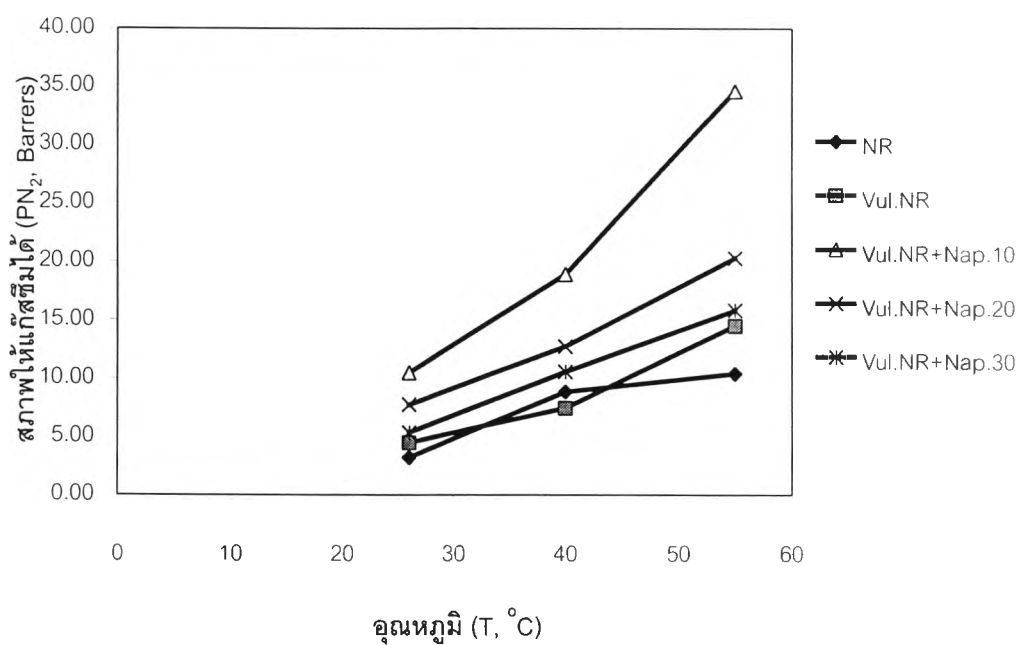
ภาพที่ 4.10 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 30 psi



ภาพที่ 4.11 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 45 psi



ภาพที่ 4.12 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 60 psi



ภาพที่ 4.13 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 75 psi

จากภาพที่ 4.10 – 4.13 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสภาพให้ซึมได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกความดันต่าง โดยที่อัตราการเพิ่มจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อที่ทดสอบ

การเพิ่มของค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจนนี้ เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้โมเลกุลของแก๊สมีพลังงานสูงขึ้นเกิดแรงขับเคลื่อนให้แก๊สแพร่ผ่านเยื่อได้มากขึ้น จึงทำให้มีปริมาณแก๊สที่ผ่านเยื่อออกมาได้ในอัตรามากขึ้น โดยเยื่ออย่างธรรมชาติผสมเนฟธาลิน 10 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วน ซึ่งให้ไนโตรเจนซึมได้สูงสุดนั้น มีค่าการเพิ่มในช่วงอุณหภูมิ 26 – 55 องศาเซลเซียส มากถึงร้อยละ 200 – 270 ซึ่งเป็นไปตามการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ในเรื่องของเยื่อแผ่นสถานะยืดหยุ่น (rubbery) กับผลของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น⁽⁸⁾ โดยผลของการเพิ่มของอุณหภูมิต่อค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius) สำหรับพอลิเมอร์ชนิดยืดหยุ่นคือ

$$P = P_0 \exp(-E_p/RT)$$

โดย P_0 คือ ค่าคงที่

E_p คือ ค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการซึมผ่าน

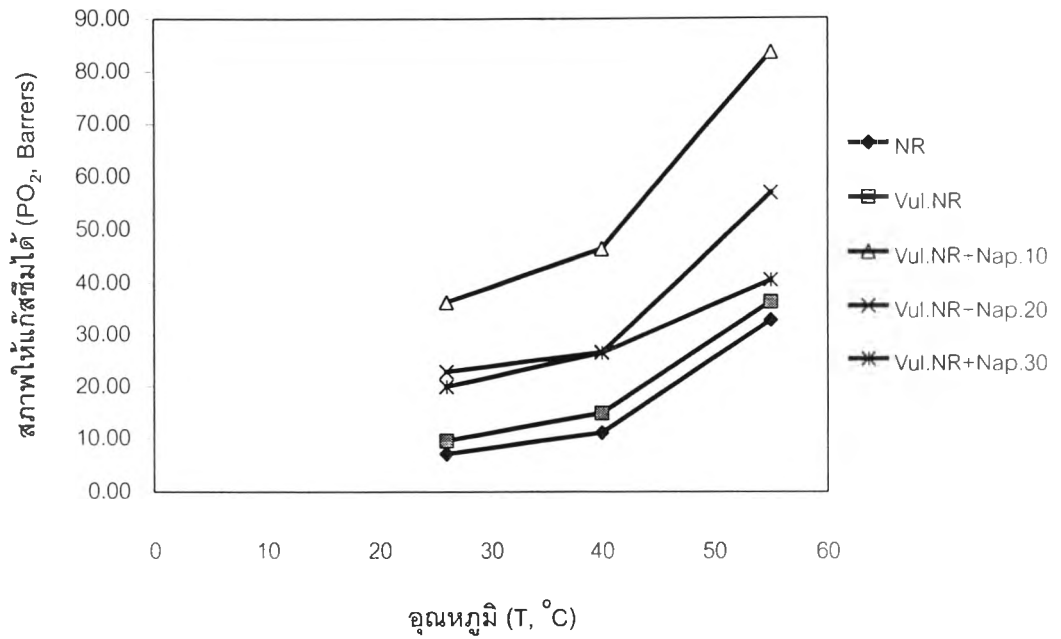
R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

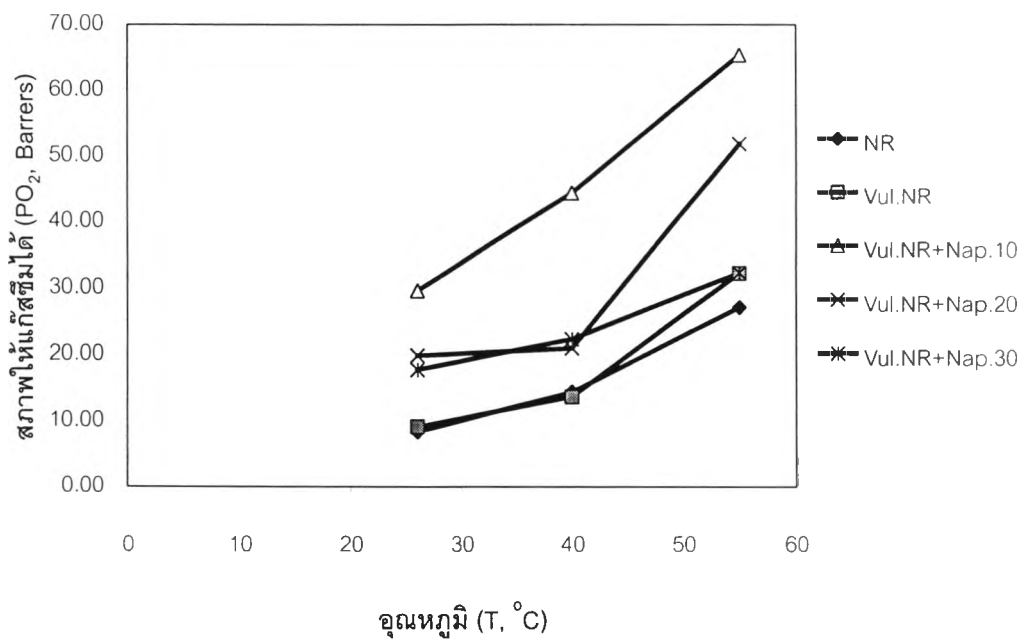
4.4.2 ผลการทดสอบกับแก๊สออกซิเจน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สออกซิเจน กับอุณหภูมิ ที่ความดันต่าง 30 45 60 และ 75 psi แสดงดังภาพที่ 4.14 4.15 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

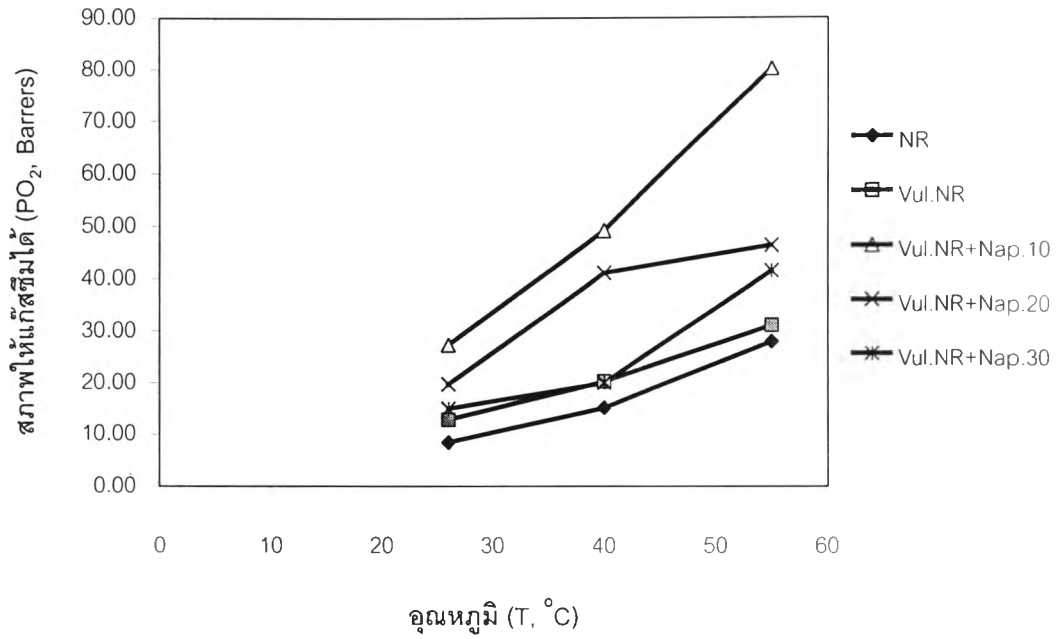
จากภาพดังกล่าวผลของอุณหภูมิต่อค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สออกซิเจนในทุกความดันต่าง มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับในกรณีของแก๊สไนโตรเจน กล่าวคือค่าสภาพให้ซึมได้มีค่าเพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ก็มีเหตุผลเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในแก๊สไนโตรเจน ดังที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ แต่ในกรณีของแก๊สออกซิเจนนี้ จะมีค่าสภาพให้ซึมได้สูงกว่า



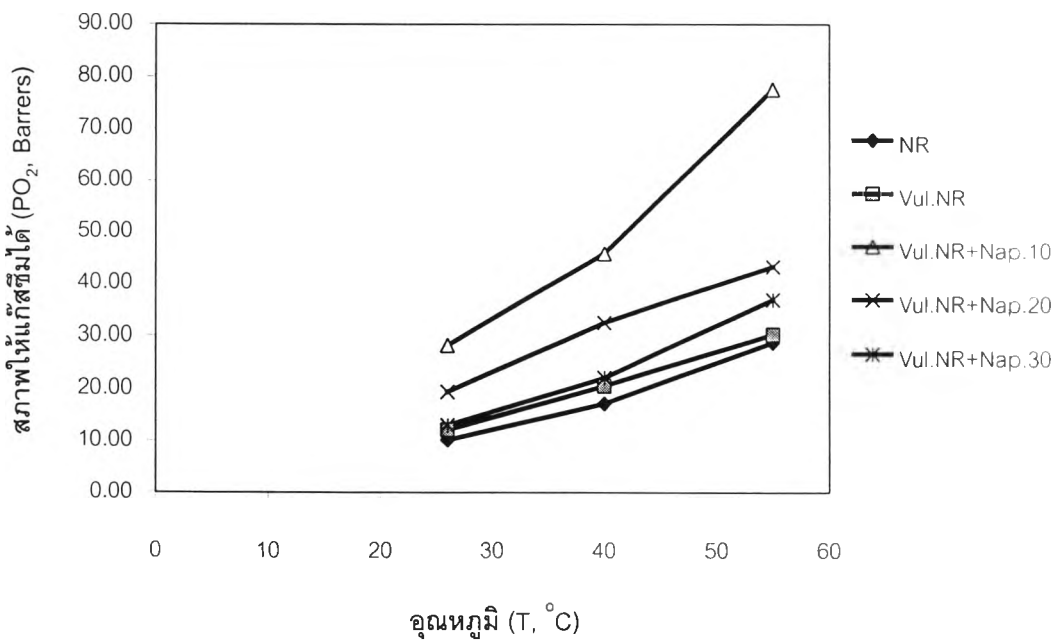
ภาพที่ 4.14 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 30 psi



ภาพที่ 4.15 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 45 psi



ภาพที่ 4.16 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 60 psi

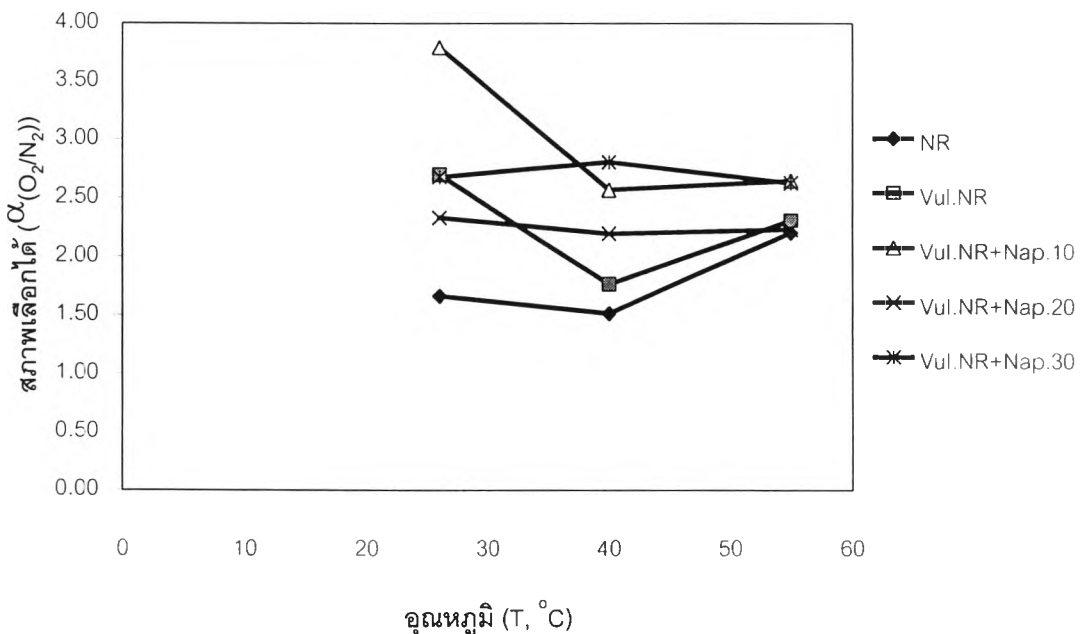


ภาพที่ 4.17 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 75 psi

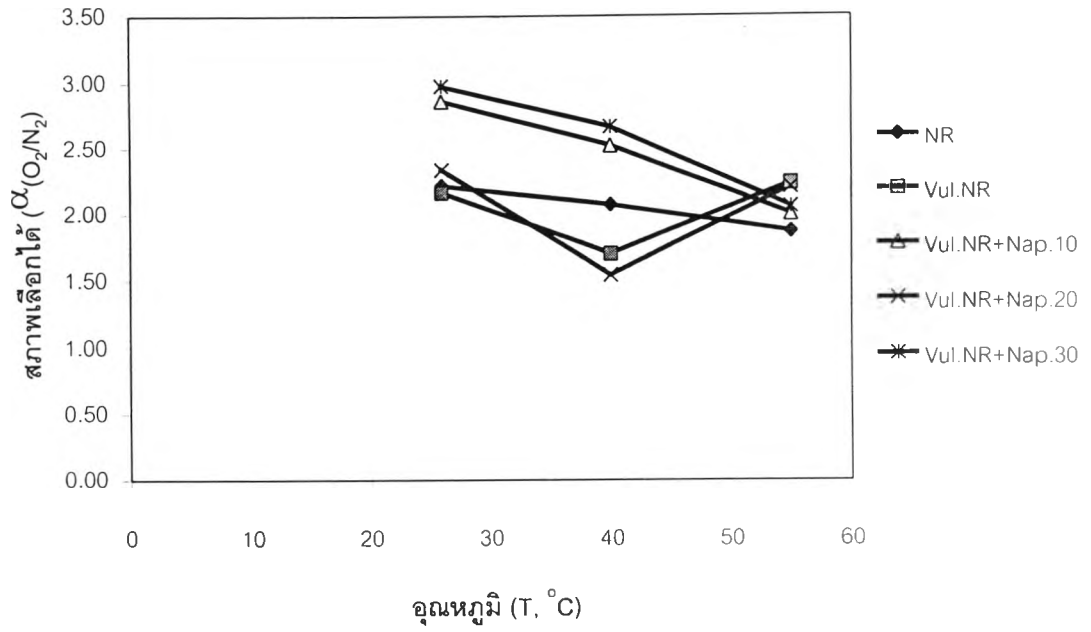
4.5 ผลของอุณหภูมิ ต่อค่าสภาพเลือกได้

ผลทดสอบของอุณหภูมิ ต่อค่าสภาพเลือกได้ที่เกิดขึ้นในเยื่อ ที่ค่าความดันต่าง 30 – 75 psi แสดงดังภาพที่ 4.18 – 4.21

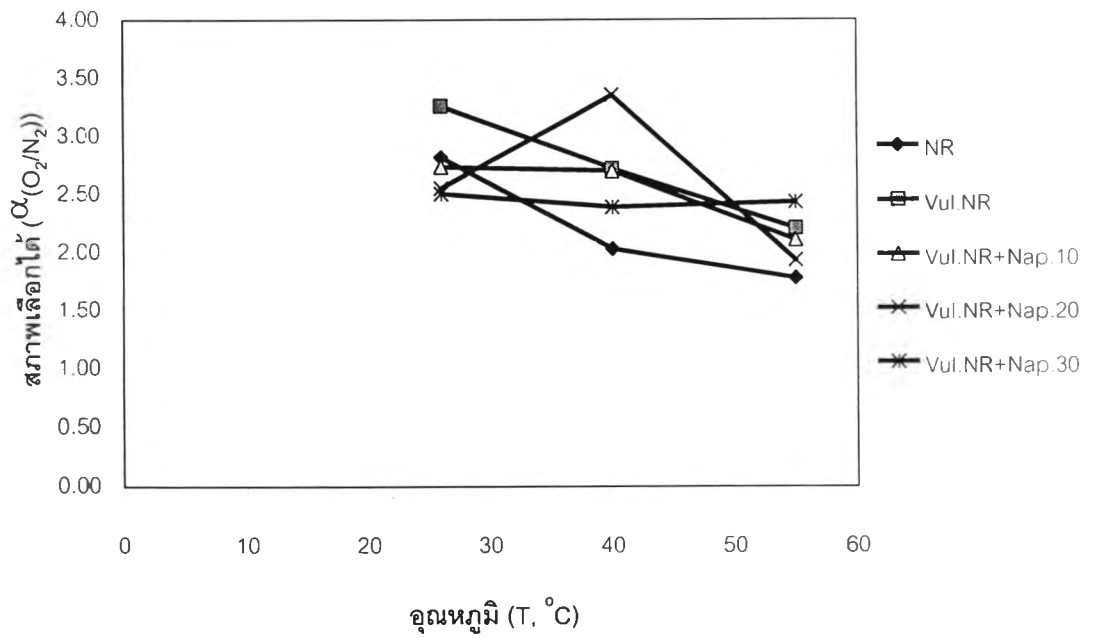
เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเยื่อที่เตรียมขึ้นมีการเลือกผ่านแก๊สออกซิเจน มากกว่าแก๊สไนโตรเจน แต่สำหรับแนวโน้มที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิแก๊ส และภาวะทดสอบเพิ่มขึ้นนั้น มีความไม่ชัดเจน โดยมีทั้งแนวโน้มคงที่ และลดลงเล็กน้อย โดยถ้าหากพิจารณาถึงกรณีของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเยื่อ และอันตรกิริยาระหว่างแก๊สกับเยื่อ อาจมีผลทำให้แก๊สต่างชนิดกันเกิดอันตรกิริยากับเยื่อได้แตกต่างกัน เป็นผลทำให้อัตราการเพิ่มของค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สต่างชนิดกันไม่เท่ากันเช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแก๊สบางชนิดอาจเกิดอันตรกิริยากับเยื่อ ในขณะที่แก๊สอีกชนิดหนึ่งไม่มีการเกิดอันตรกิริยากับเยื่อ ทำให้อัตราการเพิ่มของค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สแต่ละชนิดที่ผ่านเยื่อมีอัตราการเพิ่มที่ไม่เท่ากัน หรือหากพิจารณาในกรณีของการละลาย และการแพร่ที่เกิดขึ้นในเยื่อการเพิ่มของอุณหภูมิจะมีผลทำให้การแพร่ของแก๊สเพิ่มขึ้น แต่อาจทำให้การละลายของแก๊สในเยื่อมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หรือลดลงก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของแก๊สจากสาเหตุดังกล่าวจึงส่งผลให้ค่าสภาพเลือกได้มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป



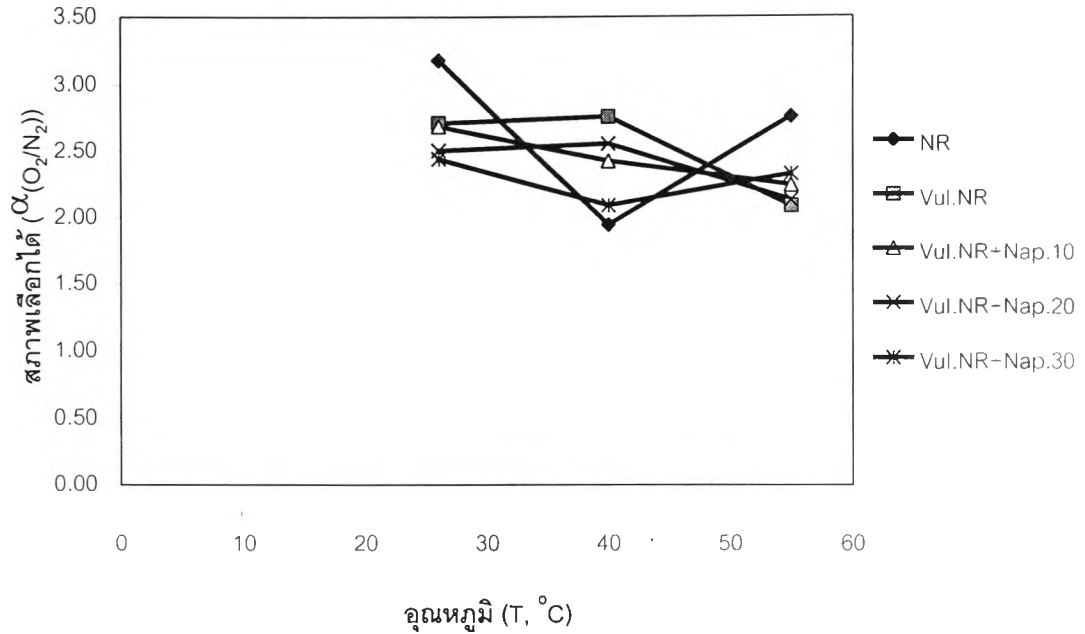
ภาพที่ 4.18 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 30 psi



ภาพที่ 4.19 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 45 psi



ภาพที่ 4.20 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 60 psi



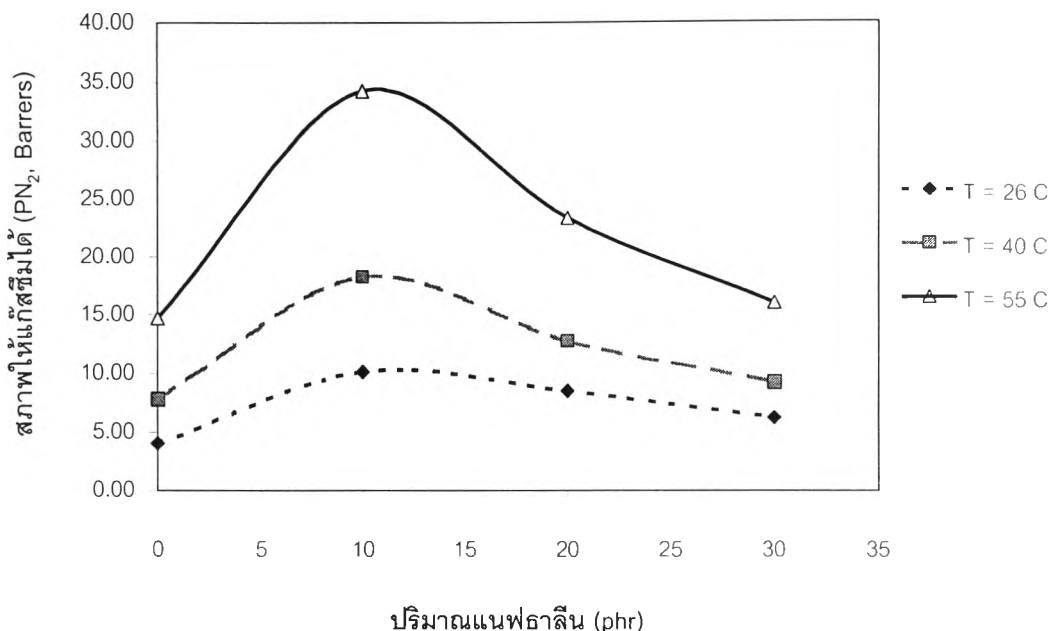
ภาพที่ 4.21 สภาพเลือกได้ของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ความดันต่าง 75 psi

4.6 ผลของปริมาณแนฟธาลิน ต่อค่าสภาพให้แก๊สซึมได้

หัวข้อนี้จะแสดงถึงผลของปริมาณแนฟธาลินที่ผสมในเยื่อที่ปริมาณ 0 10 20 และ 30 ส่วนต่ออย่าง 100 ส่วน (phr) กับการซึมผ่านของแก๊ส ที่อุณหภูมิต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากในหัวข้อที่ 4.2 ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าค่าความดันต่างที่เปลี่ยนแปลงไปไม่มีผลต่อการซึมผ่านของแก๊สในเยื่อที่เตรียมขึ้น จึงทำให้สามารถนำค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อที่เป็นชนิด และที่มีอุณหภูมิเดียวกัน แต่มีค่าความดันต่างที่ 30 45 60 และ 75 psi มาเฉลี่ย และทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ กับปริมาณแนฟธาลิน ที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.1 ผลการทดสอบกับแก๊สไนโตรเจน

ผลของปริมาณแนฟธาลินที่ผสมในเยื่อ ต่อการซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจนที่นำเสนอในรูปแบบของค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจน แสดงดังภาพที่ 4.22



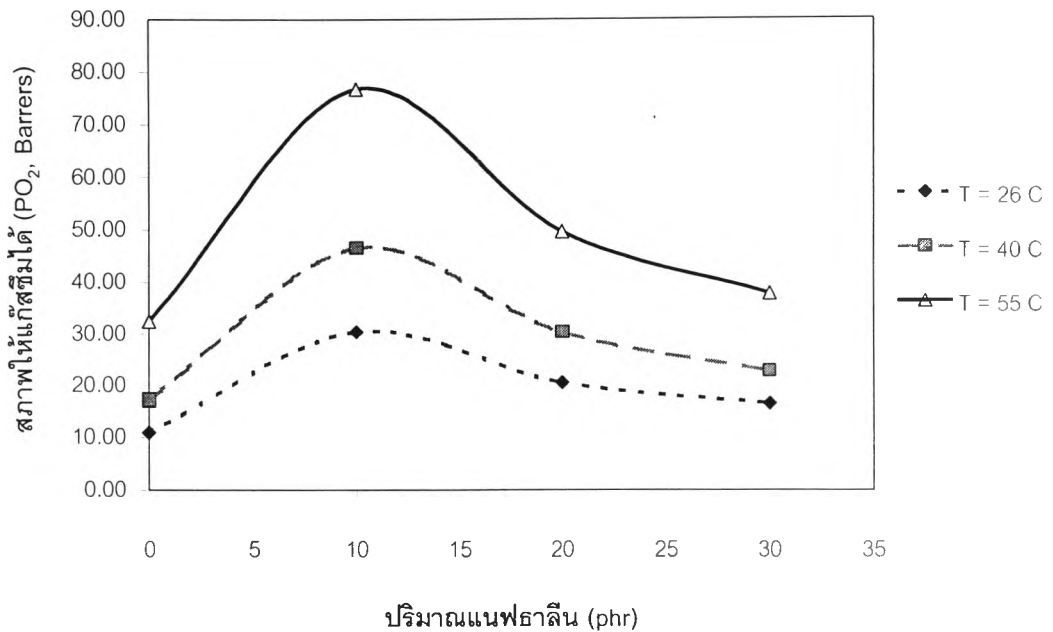
ภาพที่ 4.22 สภาพให้ไนโตรเจนซึมได้เฉลี่ยจากความดันต่าง ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพจะเห็นได้ว่าปริมาณแฉะพลาสติกที่ผสมในเยื่อที่อัตราส่วน 10 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วน จะมีค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจนสูงสุด และเมื่ออัตราส่วนของแฉะพลาสติกในเยื่อเพิ่มขึ้น ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ก็จะมีค่าลดลงตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วนแฉะพลาสติก 30 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วน ค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สไนโตรเจนก็ยังมีค่ามากกว่าในกรณีของเยื่อที่ไม่ผสมแฉะพลาสติกอยู่เล็กน้อย

4.6.2 ผลการทดสอบกับแก๊สออกซิเจน

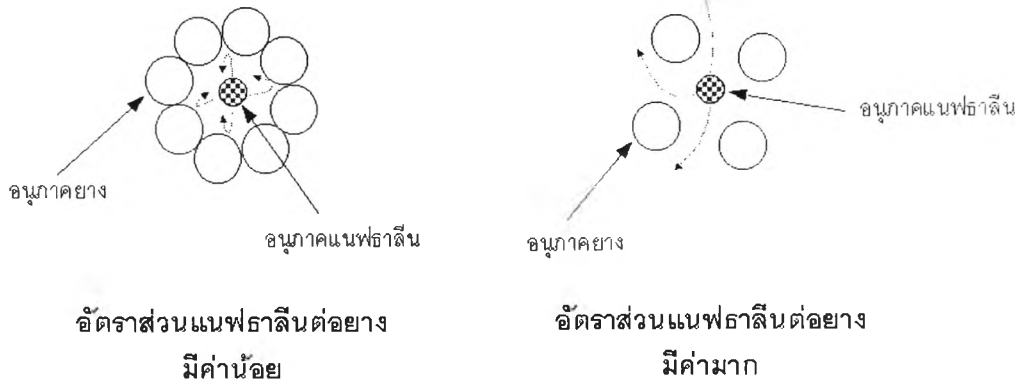
สำหรับในกรณีผลของปริมาณแฉะพลาสติกที่ผสมในเยื่อ กับค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สออกซิเจน แสดงดังภาพที่ 4.23

จากกราฟที่ได้ ปริมาณแฉะพลาสติกที่ทำให้ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของแก๊สออกซิเจนสูงสุดก็เป็นเช่นเดียวกับกรณีของแก๊สไนโตรเจนคือ ที่อัตราส่วนแฉะพลาสติก 10 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วน และเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของแก๊สออกซิเจนก็จะมีค่าลดลงตามลำดับ



ภาพที่ 4.23 สภาพให้ออกซิเจนซึมได้เฉลี่ยจากความดันต่าง ที่อุณหภูมิต่างๆ

สำหรับเหตุผลที่เกิดขึ้นเหมือนกันทั้งในกรณีของแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจน ต่อค่าการซึมผ่านของแก๊สสูงสุดนั้น ก็เนื่องมาจากการที่ในกรณีของเยื่ออย่างธรรมชาติผสมแอมฟราลินที่ 10 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วนนั้น ขณะที่ทำการอบให้แห้งอนุภาคทั้งหมดซึ่งแขวนลอยอยู่ในเฟสน้ำจะถูกอนุภาคยงที่มีจำนวนมากกว่าอนุภาคของแอมฟราลินมาก เริ่มจับตัวล้อมรอบอนุภาคของแอมฟราลินจากการที่น้ำระเหยออกไปก่อนเนื่องจากมีจุดเดือดต่ำกว่าสารอื่นที่อยู่ในสารผสม การจับตัวของอนุภาคยงที่เกิดขึ้นทำให้อนุภาคของแอมฟราลินที่ถูกยงล้อมรอบไม่สามารถระเหยออกไปได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น อนุภาคแอมฟราลินที่ถูกยงห่อหุ้มนั้นมีการสะสมพลังงานที่สูงขึ้น และเมื่อถึงจุดที่มีการสะสมพลังงานสูงเพียงพอที่จะดันอนุภาคของยงจับตัวล้อมรอบอยู่ให้แยกออกจากกัน และระเหยออกมาสู่ผิวหน้าของเยื่อ ทำให้เกิดมีช่องว่างที่เกิดจากการแยกออกของอนุภาคยงที่จับตัวแข็งแล้วเกิดขึ้นภายในเยื่อ แต่ในขณะที่เมื่อมีปริมาณแอมฟราลินมากขึ้นเช่นที่ 30 ส่วน ต่ออย่าง 100 ส่วน เมื่อน้ำระเหยออกไปอนุภาคยงที่มีจำนวนมากกว่าอนุภาคของแอมฟราลินไม่มากนัก ก็จะเริ่มจับตัวล้อมเข้ามาเช่นเดียวกันแต่ไม่สามารถที่จะล้อมอนุภาคของแอมฟราลินได้ทั้งหมด ทำให้อนุภาคของแอมฟราลินมีช่องว่างเพียงพอในการที่จะระเหยผ่านบริเวณที่อนุภาคยงไม่สามารถจับตัวกันได้ออกไป ก่อนที่อนุภาคยงจะจับตัวแข็ง ทำให้เมื่ออนุภาคยงจับตัวรวมกันแล้ว ไม่เกิดช่องว่าง หรือรอยแยกในเยื่อเท่ากับในกรณีที่ผสมแอมฟราลิน 10 ส่วน



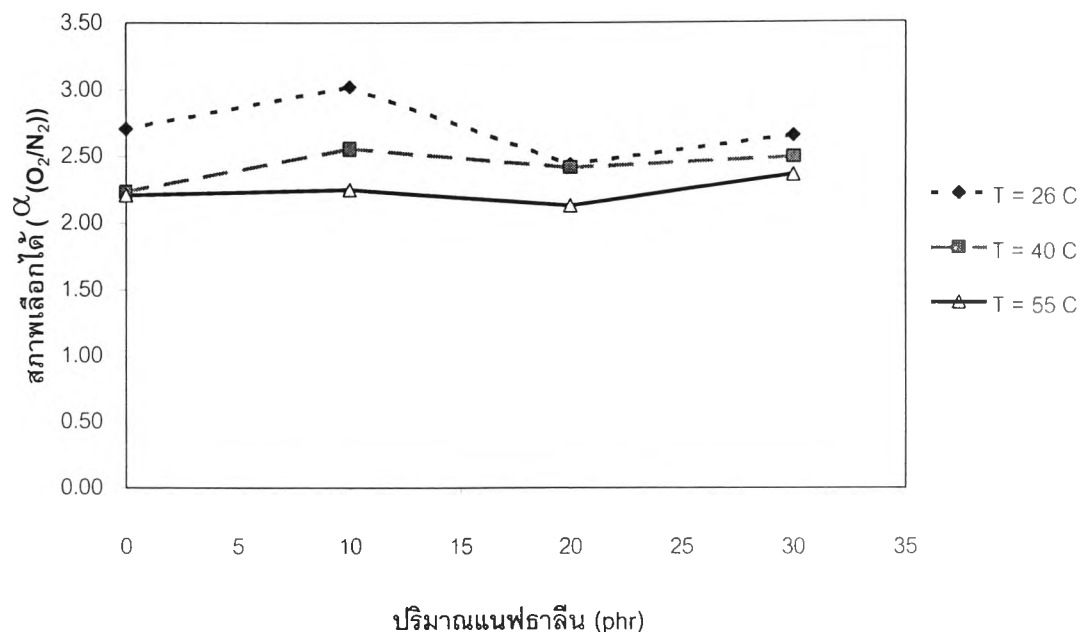
ภาพที่ 4.24 จำลองการระเหยของเบนฟธาลิน

เนื่องจากค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ขึ้นอยู่กับค่าของการละลาย และการแพร่ของแก๊สแต่ละชนิดที่มีกับเยื่อ จากเหตุผลดังกล่าวที่อธิบายข้างต้น ที่เกิดขึ้นกับกรณีของการผสมเบนฟธาลิน 10 ส่วน ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแยกในเยื่อขึ้นมากกว่าเยื่อที่เตรียมด้วยสัดส่วนเบนฟธาลินอื่น มีการแพร่ผ่านช่องว่างที่เกิดขึ้นได้มากขึ้น เป็นเหตุให้ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อชนิดนี้กับแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจนมีค่าสูงสูดนั่นเอง

4.7 ผลของปริมาณเบนฟธาลิน ต่อค่าสภาพเลือกได้

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบนฟธาลินที่เพิ่มขึ้น กับค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจน และแก๊สไนโตรเจนแสดงดังภาพที่ 4.25

จากภาพที่แสดง จะเห็นได้ว่าค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สทั้งสองที่เกิดขึ้นจากปริมาณของเบนฟธาลินที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มคงที่ในทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา แสดงให้เห็นว่าปริมาณเบนฟธาลินที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพเลือกได้ของเยื่อที่เตรียมขึ้น และเป็นที่น่าสนใจกว่าที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าสภาพเลือกได้สูงกว่า ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้ทำให้สามารถอธิบายแนวโน้มของผลที่เห็นไม่ชัดเจนในหัวข้อที่ 4.5 ได้อย่างดีถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสภาพเลือกได้ในเยื่อที่เตรียมขึ้น



ภาพที่ 4.25 สภาพเลือกได้เฉลี่ยจากความดันต่าง ที่อุณหภูมิต่างๆ

การที่แก๊สจะผ่านเยื่อมาก หรือน้อย ขึ้นอยู่กับการละลาย และการแพร่ของแก๊สที่มีต่อเยื่อ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ และจากผลที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าเยื่อที่เตรียมขึ้นจากวัสดุคือ ยางธรรมชาติที่ไม่ผ่านการคงรูปซึ่งมีช่องว่างน้อยมาก และยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านมากกว่าแก๊สไนโตรเจน จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ แสดงให้เห็นว่าแก๊สออกซิเจนสามารถละลาย และแพร่ในเยื่อที่เตรียมขึ้นได้ดีกว่าแก๊สไนโตรเจน และสำหรับในกรณีนี้เยื่อยางธรรมชาติคงรูปผสมแอมโมเนียซึ่งทำให้เกิดมีช่องว่างเพิ่มมากขึ้น ทำให้แก๊สสามารถผ่านเยื่อได้ดีขึ้น โดยอาศัยการแพร่ผ่านช่องว่างที่เกิดขึ้นในเยื่อ ทำให้มีค่าสภาพให้แก๊สซึมได้สูงขึ้นดังที่กล่าวไปแล้ว แต่ค่าการเลือกผ่านยังคงมีแนวโน้มคงที่ ทั้งนี้ก็เป็นเพราะว่าขนาดของช่องว่างที่เกิดขึ้น มีขนาดใหญ่กว่าขนาดโมเลกุลของแก๊สทั้งสองชนิดที่แพร่ผ่านเยื่ออย่างมาก ทำให้ช่องว่างที่เกิดขึ้นไม่สามารถแยกแก๊สแต่ละชนิดที่มีขนาดโมเลกุลที่ไม่เท่ากันออกจากกันได้

4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

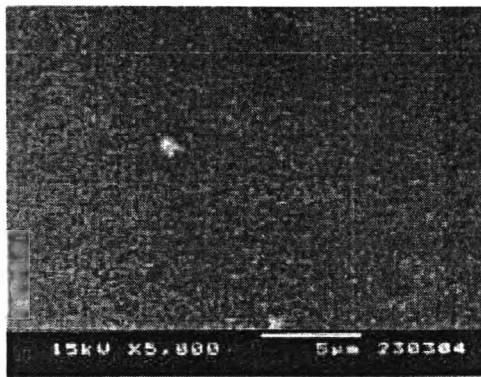
การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือนี้ จะทำให้เห็นลักษณะพื้นผิว และภาคตัดขวางของเยื่อแต่ละชนิดที่เตรียมขึ้นว่าจะมีความแตกต่างกันอย่างไรบ้าง อีกทั้งยังสามารถระบุได้ว่าเยื่อที่เตรียมขึ้นนั้นเป็นเยื่อชนิดใด สำหรับในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบทั้งสภาพพื้นผิว และภาคตัดขวางของเยื่อเช่นกันโดยจะทำการนำเสนอแยกกันเป็น 2 ส่วนคือ ในส่วนของพื้นผิวเยื่อ และในส่วนของภาคตัดขวางเยื่อ

4.8.1 ลักษณะพื้นผิวเยื่อ

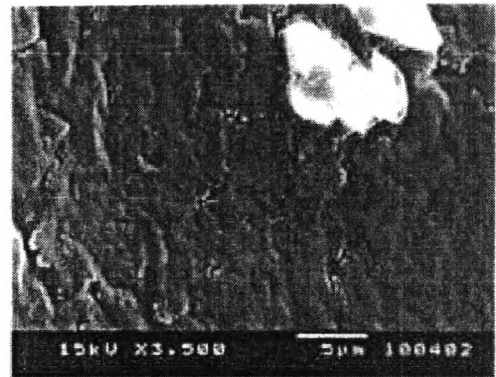
การตรวจสอบสภาพพื้นผิวของเยื่อที่เตรียมขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.26

จากภาพที่แสดงพื้นผิวของเยื่อสามารถอธิบายลักษณะของพื้นผิวเยื่อที่เกิดขึ้นในเยื่อแต่ละชนิดได้ดังนี้

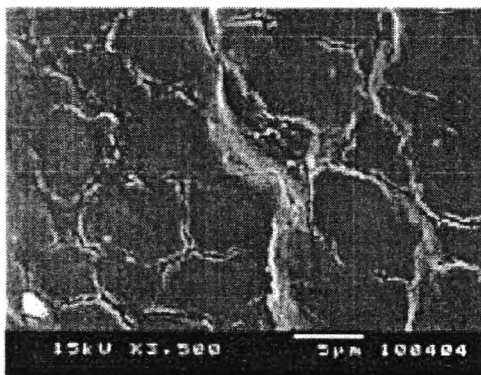
- (1) เยื่ออย่างธรรมชาติ (NR) ลักษณะพื้นผิวของเยื่อชนิดนี้จะมีลักษณะค่อนข้างเรียบ ไม่พบรู และมีรอยแยกอยู่น้อยมาก
- (2) เยื่ออย่างธรรมชาติคิงรูป (Vul.NR) พื้นผิวจะมีลักษณะมีร่องตื้นๆ และรูเล็กๆ กระจายอยู่อย่างห่างๆ ซึ่งมีจำนวนไม่มาก
- (3) เยื่ออย่างธรรมชาติคิงรูปผสมแนฟธาซีน 10 ส่วน (Vul.NR+Nap.10) จะมีรูเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป และรอยแยกของพื้นผิวจะมีขนาดใหญ่ และมีความลึกมากกว่าเยื่อชนิดอื่นๆ
- (4) เยื่ออย่างธรรมชาติคิงรูปผสมแนฟธาซีน 20 ส่วน (Vul.NR+Nap.20) มีลักษณะเป็นร่องตื้น กระจายอยู่ทั่วไปอย่างห่างๆ และมีรูอยู่บ้าง แต่ไม่มากนัก
- (5) เยื่ออย่างธรรมชาติคิงรูปผสมแนฟธาซีน 30 ส่วน (Vul.NR+Nap.30) มีลักษณะเป็นเนินเตี้ยๆ กระจายอยู่ห่างๆ และไม่พบรู



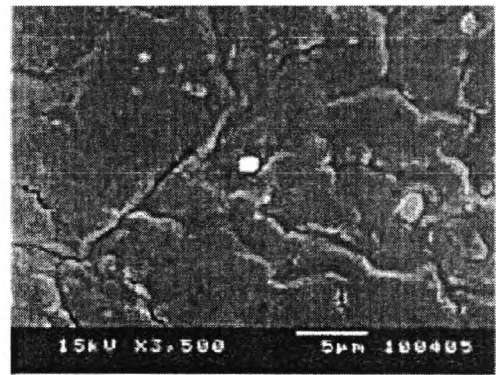
(1) เยื่อ NR (ขยาย 5000 เท่า)



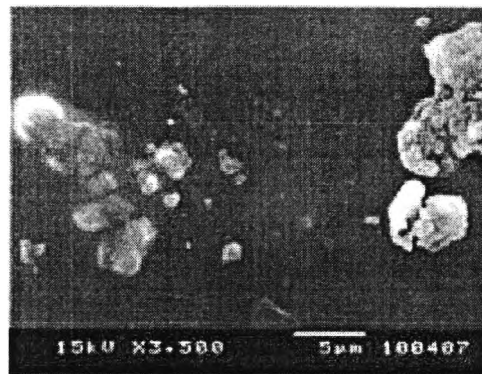
(2) เยื่อ Vul.NR



(3) เยื่อ Vul.NR+Nap.10



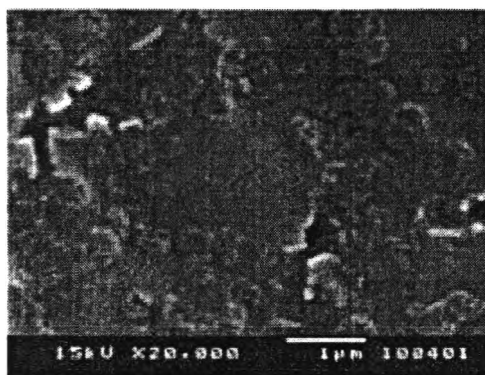
(4) เยื่อ Vul.NR+Nap.20



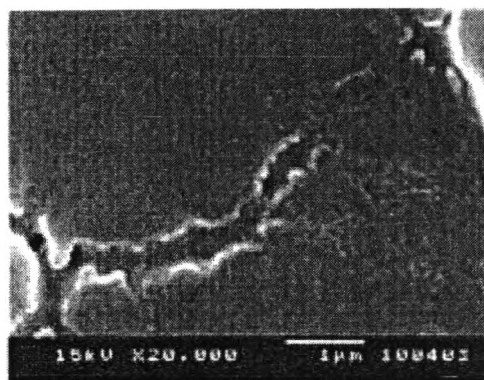
(5) เยื่อ Vul.NR+Nap.30

ภาพที่ 4.26 ลักษณะพื้นผิวเยื่อ ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

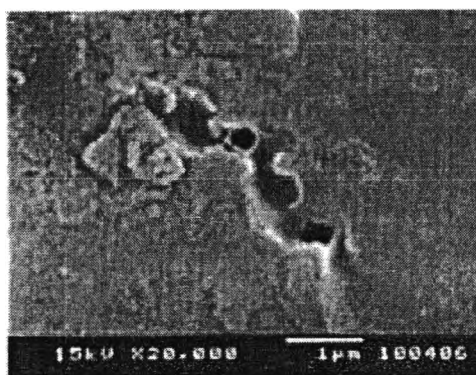
ภาพที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายที่กำลังขยายสูง เพื่อทำการตรวจสอบขนาดของรูที่พบบริเวณพื้นผิวเยื่อชนิดต่างๆ 3 ชนิด จะสังเกตได้ว่าขนาดของรูที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก



(1) เยื่อ VuI.NR



(2) เยื่อ VuI.NR+Nap.10

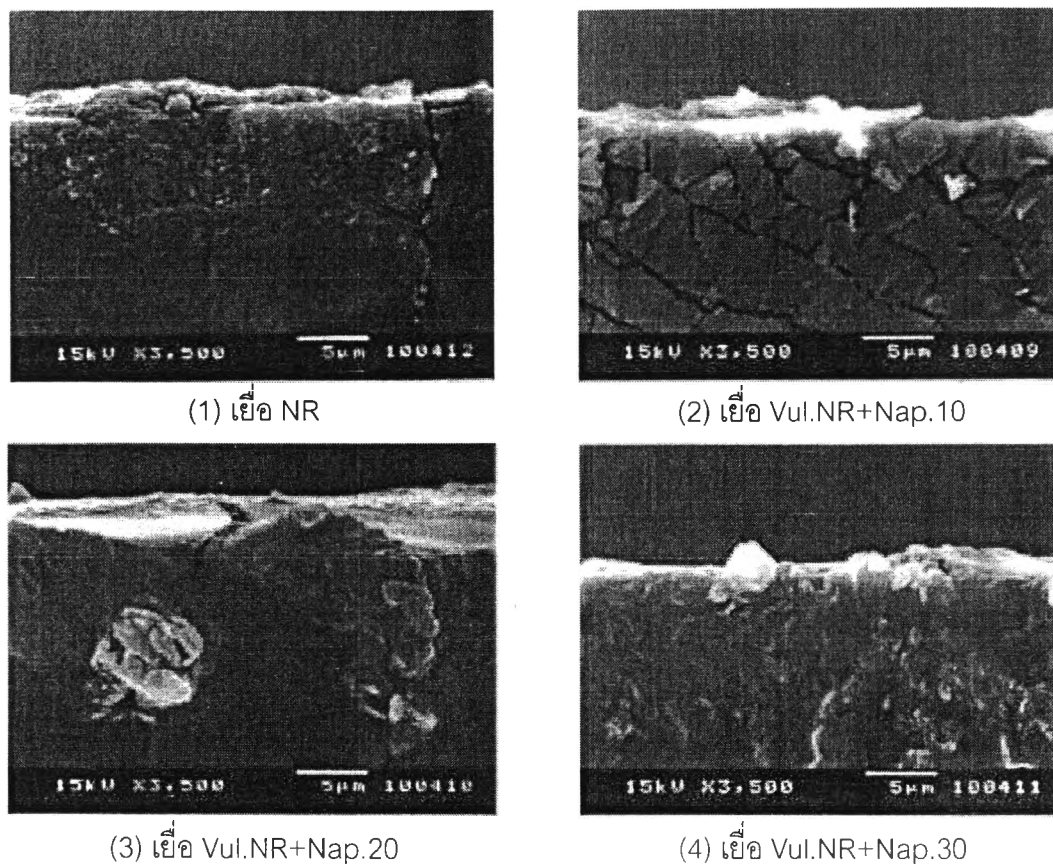


(3) เยื่อ VuI.NR+Nap.20

ภาพที่ 4.27 รู และรอยแยกที่เกิดบริเวณพื้นผิวเยื่อที่กำลังขยาย 20,000 เท่า

4.8.2 ลักษณะภาคตัดขวาง

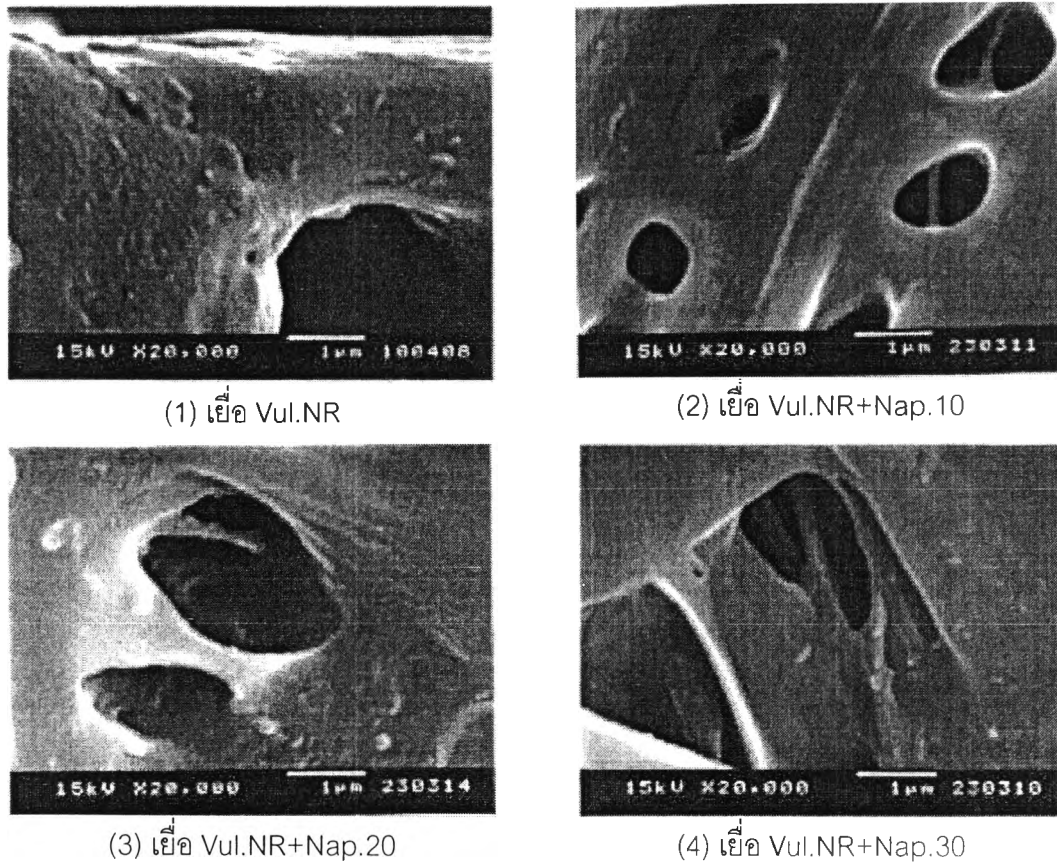
ภาพภาคตัดขวางของเยื่อที่เตรียมขึ้นจากการทดลอง จะเห็นได้ว่าเยื่ออย่างธรรมชาติผสมแนฟธาลีน 10 ส่วน จะมีรอยแยกมากที่สุด และสำหรับเยื่อที่ผสมแนฟธาลีนปริมาณเพิ่มขึ้นรอยแยกที่เกิดขึ้นก็จะมีน้อยลงตามลำดับ โดยที่รอยแยกที่เกิดขึ้น จะเกิดใกล้กับบริเวณที่มีอนุภาคของสารเคมีอยู่เป็นส่วนใหญ่ ดังที่ปรากฏในภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 ลักษณะภาคตัดขวางเยื่อที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

สำหรับภาพภาคตัดขวางที่กำลังขยาย 20,000 เท่า ที่แสดงดังภาพที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่า รูพรุน หรือช่องว่างที่เกิดขึ้นในเยื่อชนิดต่างๆ นั้น มีขนาดโดยประมาณใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจนมาก ทำให้รูที่เกิดขึ้นไม่สามารถที่จะแยกแก๊สทั้งสองชนิดออกจากกันได้ จึงทำให้ค่าสภาพเลือกได้ของเยื่อที่เตรียมขึ้น มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้

จากภาพทั้งหมดที่แสดงทำให้สามารถยืนยันถึงคำอธิบายก่อนหน้านี้ถึงลักษณะของเยื่อที่เกิดขึ้นจากการผสมเนฟธาซีน ต่อการซึมผ่าน และการเลือกผ่านของแก๊สได้เป็นอย่างดี และทำให้สามารถทราบได้ว่าเยื่อที่เตรียมได้เป็นเยื่อแผ่นแบบแน่น ที่มีช่องว่างเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป



ภาพที่ 4.29 ภาคตัดขวางแสดงรูในเยื่อที่กำลังขยาย 20,000 เท่า

4.9 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพอื่น

เยื่อที่เตรียมขึ้นจากการทดลองนี้ นอกจากทำการทดสอบสมบัติในด้านของการซึมผ่านของแก๊สที่มีต่อเยื่อแล้ว ยังได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของเยื่อ โดยนำเสนอค่าความทนแรงดึง ความยืดเมื่อขาด และความเค้นดึง เมื่อมีการยืดร้อยละ 100 300 และ 500 ของเยื่อที่เตรียมขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาการใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากการเลือกใช้เยื่อในการแยกแก๊สนั้นนอกจากที่จะต้องคำนึงถึงสมบัติของเยื่อในด้านของการซึมผ่าน และการเลือกผ่านของแก๊สที่เกิดขึ้นในเยื่อแล้ว สมบัติด้านความเสถียรภาพเชิงกล เสถียรภาพเชิงความร้อน และเสถียรภาพเชิงเคมี ก็มีผลสำคัญเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.2 สมบัติเชิงกลของเยื่อใยธรรมชาติ และเยื่อใยธรรมชาติคงรูปผสมแนฟธาไลน์

ชนิดเยื่อ	NR	Vul.NR	Vul.NR+ Nap.10	Vul.NR+ Nap.20	Vul.NR+ Nap.30
ความทนแรงดึง (นิวตัน / ตร.มม.)	4.72	15.4	15.1	16.0	13.6
ความยืดเมื่อขาด (ร้อยละ)	1291	889	940	904	896
ความเค้นดึงที่การยืดร้อยละ 100 (นิวตัน / ตร.มม.)	0.13	0.42	0.30	0.33	0.34
ความเค้นดึงที่การยืดร้อยละ 300 (นิวตัน / ตร.มม.)	0.38	0.91	0.84	0.92	0.91
ความเค้นดึงที่การยืดร้อยละ 500 (นิวตัน / ตร.มม.)	0.64	1.82	1.45	1.68	1.60

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเยื่อใยธรรมชาติที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการคงรูปด้วยสารเคมีจะมีสมบัติในด้านต่างๆ ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นค่าความยืดเมื่อขาดที่มีค่าลดลง เยื่อใยธรรมชาติที่ผ่านการคงรูปแล้วจะมีสมบัติความทนแรงดึง และความเค้นดึง เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 3 เท่าของเยื่อใยธรรมชาติที่ไม่ผ่านการคงรูป และเมื่อเปรียบเทียบเยื่อใยธรรมชาติที่ผ่านการคงรูป กับเยื่อใยธรรมชาติที่ผ่านการคงรูปผสมแนฟธาไลน์ที่ปริมาณต่างๆ จะพบว่าสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกัน โดยที่สมบัติส่วนใหญ่ของเยื่อใยธรรมชาติที่ผ่านการคงรูปจะมีค่ามากกว่าเยื่อใยธรรมชาติที่ผ่านการคงรูปผสมแนฟธาไลน์ ยกเว้นค่าความยืดเมื่อขาดซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย