บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการเพอร์แวเพอเรชัน

ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำและเอทานอล ดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนเอทานอลจะมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะในระบบของเหลวผสม 2 องค์ประกอบ องค์ประกอบเอทานอลจะมีผลกระทบต่อทั้งค่าการละลายและการแพร่ขององค์ประกอบน้ำ ซึ่งเอทานอลจะเข้าไปบดบังและแย่งพื้นที่ในการดูดซับหรือการละลายของน้ำในเยื่อแผ่น ดังนั้นจึงทำให้น้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายลดลงดังแสดงในตารางที่ 3.1

ฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อนดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.3 - 3.12 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของระบบด้านสารป้อนเป็นการเพิ่มสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารและการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ความดันไออิ่มตัวของน้ำและเอทานอลสูงขึ้น ความแตกต่างของความดันไอด้านสารป้อนและด้านเพอร์มิเอตจึงมีค่ามากขึ้น ด้วยเหตุผลทั้งสองข้อนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน จึงทำให้ฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ดีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน พบว่าค่าการเลือกของเยื่อแผ่นมีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติทางกายภาพขององค์ประกอบ เช่น สัมประสิทธิ์การแพร่ หรือ ความดันไออิ่มตัว มีการเปลี่ยนแปลงพร้อมๆกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน (35) อย่างไรก็ดีจากการทดลองที่ได้ พบว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อค่าฟลักซ์ชัดเจนกว่าค่าการเลือกของเยื่อแผ่น

4.2 ผลของความดันเพอร์มิเอต

ผลของความดันต่อค่าฟลักซ์และค่าการเลือกของเยื่อแสดงในกราฟรูปที่ 3.18-3.29 พบว่าเมื่อลดความดันสุญญากาศลง เยื่อแผ่นจะให้ค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงขับของกระบวนการเพอร์แวเพอเรชัน คือผลต่างของความดันของสารในสารป้อนและในเพอร์มิเอต โดยที่สารป้อนเป็นของเหลว แรงขับจะมีค่าสูงสุดเมื่อความดันย่อยของสารที่ด้านเพอร์มิเอตต่ำสุด และเมื่อแรงขับมีค่าสูงฟลักซ์ของสารจึงมีค่าสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อกระบวนการเพอร์แวเพอเรชัน

โดยทั่วไปเยื่อแผ่นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเพอร์แวเพอเรชันจะมีโครงสร้างของรูพรุนที่ไม่แน่นอน (amorphous) ซึ่งหมายถึงว่ารูพรุนที่มีอยู่ในเยื่อแผ่นไม่ต่อถึงกันตลอดความหนาของเยื่อแผ่น จึงเรียกได้ว่าเป็นเยื่อแผ่นที่ไม่มีรูพรุน (nonporous membrane) ดังนั้นกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นจึงเป็นไปในลักษณะของการแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่นซึ่งขึ้นกับระยะทางที่สารแพร่ผ่านหรือก็คือความหนาของเยื่อแผ่น จากตารางที่3.1 และ 3.2 พบว่าเมื่อเยื่อแผ่นมีความหนามากขึ้น ฟลักซ์ของสารมีแนวโน้มต่ำลงเนื่องจากสารจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้ยากขึ้น สำหรับค่าการเลือกของเยื่อแผ่นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเอทานอลจะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้ยากขึ้นเมื่อเยื่อแผ่นมีความหนามากขึ้น ในขณะที่น้ำยังคงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้ดี เป็นผลให้ปริมาณเอทานอลในด้านเพอร์มิเอตมีค่าลดลง แต่ปริมาณของน้ำอาจมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หรือก็คือความเข้มข้นของน้ำในเพอร์มิเอตมีค่ามากขึ้นนั่นเอง จึงเป็นผลให้ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นมีค่ามากขึ้น

4.4 สัมประสิทธิ์การแพร่และค่าการซึมผ่าน

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดความดันเพอร์มิเอตพบว่าทั้งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเอทานอลมีค่าเพิ่มมากขึ้น และค่าการซึมผ่านของน้ำและเอทานอลก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน จากกราฟรูปที่ 3.30 - 3.47 แสดงผลของอุณหภูมิและความดันเพอร์มิเอตต่อค่าการซึมผ่านของน้ำและเอทานอล จากกราฟพบว่า น้ำจะให้ค่าการซึมผ่านสูงกว่าเอทานอล ดังนั้นจึงแสดงได้ว่าน้ำคือองค์ประกอบที่จะถูกแยกออกมาได้มากกว่าเอทานอลด้วยกระบวนการเพอร์แวเพอเรชัน สำหรับกราฟรูปที่ 3.48 – 3.65 แสดงผลของอุณหภูมิและความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเอทานอล จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อลดความดันเพอร์มิเอตค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและเอทานอลก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เป็นเพราะการลดความดันเพอร์มิเอตจะไปเพิ่มแรงขับของกระบวนการ จึงมีผลทำให้ทั้งน้ำและเอทานอลสามารถแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ดีจากกราฟพบว่าน้ำจะให่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูงกว่าเอทานอล เนื่องจากขนาดโมเลกุลของน้ำที่เล็กกว่าเอทานอลนั่นเอง

4.5 การเก็บรักษาเยื่อแผ่นที่ผลิตได้

ในการทดลองนี้ได้นำเยื่อแผ่นมาเก็บรักษาในเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆคือ 95, 96, 97, 98 และ 99.7 %โดยปริมาตร จากกราฟรูปที่ 3.69 พบว่าเยื่อแผ่นที่แช่ใน 95% เอทานอลจะมีการพองตัวมากที่สุด ในขณะที่เยื่อแผ่นที่แช่ใน 99.7% เอทานอลจะมีการพองตัวน้อยที่สุด เยื่อแผ่นที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเยื่อแผ่นที่มีความชอบน้ำสูง (high hydrophilic) การที่มีปริมาณน้ำในสารละลายมาก เยื่อแผ่นก็จะเกิดการพองตัวได้มากขึ้นเนื่องจากผลกระทบของพลาสติกไซซิ่ง (plasticizing effect) ดังนั้น

ถ้าในสารละลายมีปริมาณน้ำลดลง เยื่อแผ่นก็จะเกิดการพองตัวลดลงเช่นกัน (36) เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 3.67 จะเห็นได้ว่าเยื่อแผ่นที่แช่ใน 95% เอทานอลจะได้ค่าฟลักซ์สูงที่สุด ซึ่งผลที่ได้นี้ก็สามารถอธิบายได้จากเหตุผลข้างต้น กล่าวคือเมื่อเยื่อแผ่นมีการพองตัวมาก ตัวทำละลายก็สามารถแพร่ผ่านเยื่อได้มากขึ้น ดังนั้นค่าฟลักซ์จึงสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการที่เยื่อแผ่นพองตัวมาก ตัวทำละลายแพร่ผ่านได้มาก มีผลทำให้ความต้านทานการแพร่ของเยื่อต่ำลง เพราะฉะนั้นค่าการเลือกของเยื่อจึงลดลงด้วย ดังเห็นได้ในกราฟรูปที่ 3.68 และเมื่อนำเยื่อแผ่นมาแช่ใน 99.7% เอทานอล เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อเพอร์แวเพอเรชันของ 95% เอทานอล ในตารางที่ 3.8 พบว่า ค่าการเลือกของเยื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากและค่า ฟลักซ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อแช่เยื่อแผ่นเป็นเวลานานขึ้น ถึงแม้ว่าแอลจิเนตจะเป็นอนุพันธ์ที่ชอบน้ำแต่จากค่าดีกรีการพองตัวที่มากขึ้นเมื่อแช่เยื่อแผ่นในเอทานอลเป็นเวลานานขึ้น พิจารณาได้ว่าองค์ประกอบเอทานอลเกิดอันตรกริยา (interaction)กับโซ่พอลิเมอร์ของแอลจิเนตและทำให้เกิดการพองตัว ส่งผลให้ทั้งองค์ประกอบน้ำและองค์ประกอบเอทานอลสามารถแพร่เข้ามาภายในเยื่อแผ่นได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงเกิดปริมาตรอิสระ(free volume) ในเยื่อแผ่นมากขึ้น ฟลักซ์ของสารจึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นลดลง อย่างไรก็ดีเยื่อแผ่นที่แช่ใน 99.7% เอทานอลเป็นเวลา 30 วันเยื่อแผ่นก็ยังคงให้ค่าการเลือกที่ดี คือมีค่าท่ากับ 725

4.5 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (operation time) และความมีอายุของเยื่อแผ่น (membrane aging)

ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (operation time) และความมีอายุของเยื่อแผ่น (membrane aging) สามารถสังเกตการแสดงออกของเยื่อแผ่นได้จากข้อมูลของค่าฟลักซ์ พบว่า ฟลักซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ในขณะที่ค่าการเลือกไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก การลดลงของค่าฟลักซ์หลังจากการ aging น่าจะมีสาเหตุจากการเกิด relaxation process ในระหว่างการ aging และในกระบวนการเพอร์แวเพอเรชันตามลำดับ relaxation process คือการเปลี่ยนสัณฐาน (configuration) ของสายพอลิเมอร์ซึ่งจะเกิดขึ้นในวัสดุคล้ายแก้ว (glassy material) เท่านั้น ในกระบวนการเพอร์แวเพอเรชัน ความดันพอร์มิเอตจะมีค่าต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวของเพอร์มิแอนท์ (permeant) ดังนั้นผิวหน้าของเยื่อแผ่นที่ด้านเพอร์มิเอตในการทดลองนี้ควรจะอยู่ในสถานะคล้ายแก้ว ในขณะที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นด้านสารป้อนจะบวมตัว เพราะมีการดูดซึมโมเลกุลของของเหลวไว้ และดังนั้นผิวหน้าของเยื่อแผ่นด้านสารป้อนจึงควรอยู่ในสถานะคล้ายยาง เพราะฉะนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า relaxation process อาจจะเกิดในบริเวณที่ไม่คงตัว (transition region) ระหว่างสถานะคล้ายยางและ

มิแอนท์จากผิวหน้าเยื่อแผ่นที่ด้านสารป้อน สารเพอร์มิแอนท์ในเยื่อแผ่นยิ่งมากจะไปเพิ่มการเคลื่อนไหวของสายพอลิเมอร์จึงเป็นการกระตุ้น (accelerate) หรือ ส่งเสริมให้เกิด (facilitate) กระบวนการ relaxation เพราะฉะนั้นเยื่อแผ่นที่ผ่านขั้นตอนการ aging จึงให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำลงมาก ดังเห็นจากกราฟรูปที่ 3.70

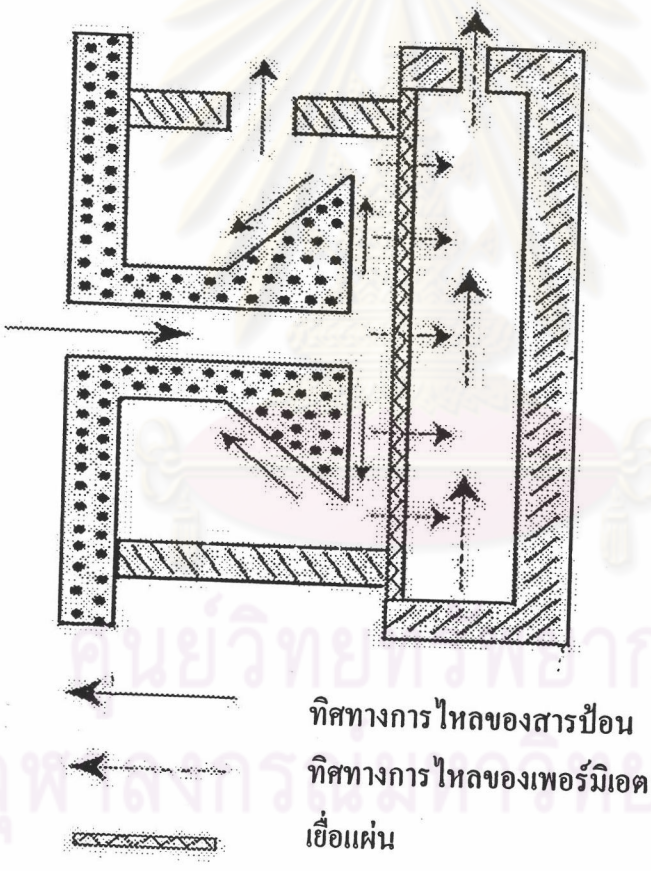
4.6 การนำเยื่อแผ่นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

เยื่อแผ่นที่ใช้ในกระบวนการเพอร์แวเพอเรชันและผ่านการ aging พบว่าค่าฟลักซ์และค่าการเลือกมีแนวโน้มลดลง (→0) ซึ่งจากผลการทดลองของ Yeom และผู้ร่วมงาน (32) รายงานว่าค่าฟลักซ์ที่ลดลงของเยื่อแผ่นอัลจิเนตที่ใช้ในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันน่าจะมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ relaxation ของสายพอลิเมอร์ และจากผลการทดลองในข้อ 3.11 ก็ได้ผลในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากพอลิเมอร์คล้ายแก้ว (glassy polymer) ที่มีโครงสร้างแข็ง (rigid) และมีขนาดใหญ่ (bulky) มีแนวโน้มที่ถูกอัด (stress) และถูกทำให้คลาย (relax) ได้ง่าย การที่สายพอลิเมอร์เกิดกระบวนการ relaxation จะมีผลทำให้โครงสร้างของเยื่อแผ่นแน่นขึ้นเนื่องจากเกิดการจัดเรียงตัวของสัณฐานของสายพอลิเมอร์ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงได้นำเยื่อแผ่นที่ผ่านกระบวนการเพอร์แวเพอเรชันและการ aging มาทดลองแช่ในเอทานอลเข้มข้น 99.7 %โดยปริมาตร ที่เวลาต่างๆกันคือ 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าค่าฟลักซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อแช่เยื่อแผ่นเป็นเวลานานขึ้นดังแสดงในปราฟรูปที่ 3.72 และ 3.73 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการที่นำเยื่อแผ่นกลับไปแช่ใน99.7%เอทานอลเป็นเวลานานนั้น พิจารณาได้ว่าองค์ประกอบเอทานอลเกิดอันตรกริยา (interaction) กับโซ่พอลิเมอร์ของแอลจิเนตและทำให้เกิดการพองตัว ส่งผลให้ทั้งองค์ประกอบน้ำและองค์ประกอบเอทานอลสามารถแพร่เข้ามาภายในเยื่อแผ่นได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงเกิดปริมาตรอิสระ(free volume) ในเยื่อแผ่นมากขึ้น ฟลักซ์ของสารจึงเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นจะลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบที่ใช้ในการทดลองนี้มีข้อบกพร่องในขั้นตอนของการเก็บรีเทนเทรต เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล ซึ่งในการเก็บรีเทนเทรตนั้นจะทำการเก็บโดยการไขน็อตตรงบริเวณด้านล่างของหลอดเก็บ การเก็บในลักษณะนี้อาจจะมีการระเหยของเอทานอลบางส่วนได้ และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลด้วยวิธีก๊าซโครมากราฟฟีนั้น ปริมาณเอทานอลที่วิเคราะห์ได้อาจจะได้น้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นหากสามารถต่อท่อจากหลอดเก็บเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตรกราฟฟีได้โดยตรง คาดว่าจะสามารถแก้ปัญหาในเรื่องข้างต้นได้

2. ในการทดลองนี้ได้ทำการป้อนสารป้อนเข้าทางด้านล่างของโมดุลเยื่อแผ่น ดังนั้นอาจเกิดปัญหาว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นในการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้มากกว่า 95%โดยปริมาตร อาจจะเป็น .vapor permeation แทนที่จะเป็น pervaporation ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพิ่มโดยทำการวางโมดุลจากตั้งตรงให้เอียงลงมา 90 องศาเพื่อให้แน่ใจว่าสารป้อนที่เป็นของเหลวสัมผัสกับเยื่อแผ่นจริง รูปที่ 4.1 แสดงทิศทางการไหลของสารในโมดุลเยื่อแผ่นเมื่อวางโมดุลในแนว 90 องศา ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวางโมดุลในลักษณะตั้งตรง (ดังแสดงในตารางที่ ง-34) อย่างไรก็ดีเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวในการทดลองครั้งต่อไปจึงควรวางโมดุลในลักษณะที่เอียง 90 องศา เพื่อที่ว่าสารป้อนจะได้สัมผัสกับเยื่อแผ่นอย่างแน่นอน



รูปที่ 4.1 ทิศทางการไหลของสารในโมดุลเยื่อแผ่นเมื่อวางโมดุลจากตั้งตรงให้เอียงลงมา 90 องศา