บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในเรื่องการแยกสารละลายไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีน โดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันในครั้งนี้สามารถสรุปผลงานวิจัย และมีข้อเสนอแนะในการที่จะทำการศึกษาและวิจัยต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารป้อนที่มีต่อคุณสมบัติของระบบและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองแสดงในตาราง 5.1 และ สามารถสรุปเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง

	TCE	โทลูอีน
ค่าร้อยละการแยก (สูงสุด)	98.0	97.0
ฟลักซ์ของสารอินทรีย์เฉลี่ย (ก./ตร.ม.-ชม.)	4-8	
ค่าความสามารถของการซึมผ่าน (70 °C / 25.1 ล./ชม. , x 10^{-9} $ม^2$/ชม.)	7.2	7.1
ค่าความสามารถของการแพร่ (70 °C / 25.1 ล./ชม. , x 10^{-11} $ม^2$/ชม.)	3.7	4.7
ค่าความสามารถของการละลาย (40-70 °C)	119.3-290.2	82.0-220.1
ค่าพลังงานกระตุ้นการซึมผ่าน (14.3ล./ชม. , kJ/mol)	20.39	19.28
ค่าพลังงานการละลาย (kJ/mol)	27.66	27.85
ค่าความสามารถของการแพร่ (200-300 พีพีเอ็ม , x 10^{-11} $ม^2$/ชม.)	1-4	2-6
ค่าการเลือก (200-300 พีพีเอ็ม)	700-3,200	
PSI (200-300 พีพีเอ็ม) ที่อุณหภูมิ 50 °C ให้ค่ามากที่สุดและอัตราการไหลมีแนวโน้มที่ให้ค่าสูงขึ้น	3000-40000	

1) การทดลองดูดซึมสารละลายอินทรีย์ในยางซิลิโคน ผลของอุณหภูมิในสารละลายที่เพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความสามารถของการละลายของไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนสูงขึ้นประมาณ 2.5 เท่า (2.44 และ 2.69 ตามลำดับ) โดยคำนวณค่าพลังงานการละลายของไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีน เท่ากับ 27.66 และ 27.85 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ

2) อัตราการไหลของสารป้อนที่ขึ้นจาก 3.3 -25.1 ล./ชม. มีผลทำให้ความเร็วที่ผิวสัมผัสของเยื่อแผ่นสูงขึ้นจาก 1.4 -11.1 ซม./วินาที มีรูปแบบการไหลแบบแลมินาร์ (ค่าเรย์โนลดส์อยู่ในช่วง 43.8 - 537)

3) ประสิทธิภาพการแยกสารอินทรีย์โดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน เป็นกระบวนการแบบกะ ครั้งละ 4 ชม. ปริมาตรสารละลาย 2 ลิตร พบว่าค่าร้อยละการแยกของไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนเท่ากับ 98 และ 97 ตามลำดับ โดยมีสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส และ 25.1 ล./ชม. ตามลำดับ

4) ค่าฟลักซ์ของเพอร์มิเอทรวมสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน โดยที่ฟลักซ์ของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงแคบ ๆ 4-8 กรัม/ตร.ม.-ชม. และฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้น 15-40 กรัม/ตร.ม.-ชม. ซึ่งสูงกว่าฟลักซ์ของน้ำ 5-6 เท่า

5) ค่าพลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านที่คำนวณได้จากฟลักซ์ของสารอินทรีย์ จากการทดลองที่ความเข้มข้นของสารป้อนอยู่ในช่วง 200-300 พีพีเอ็ม พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านของไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนเท่ากับ 20.39 และ 19.28 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ

6) ผลการทดลองที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ กันพบว่าค่าความสามารถของการซึมผ่านเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองของสารละลายไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนเท่ากับ 7.2 และ 7.1×10^{-9} ตรม./ชม. ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าความสามารถของการแพร่ตามแบบจำลองการถ่ายเทมวลได้เท่ากับ 3.7 และ 4.7×10^{-11} ตร.ม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิของสารป้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียสและอัตราการไหล 25.1 ล./ชม.

7) เมื่อพิจารณาค่าความสามารถของการแพร่ที่ช่วงความเข้มข้น 200-300 พีพีเอ็ม พบว่าค่าความสามารถของการแพร่ของสารละลายไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนอยู่ในช่วง $1\text{-}4 \times 10^{-11}$ และ $2\text{-}6 \times 10^{-11}$ ตร.ม./ชม. ตามลำดับ ขึ้นกับอัตราไหลของสารป้อนที่สูงขึ้น โดยผลของอุณหภูมิของสารป้อนทำให้ค่าความสามารถของการแพร่ลดลงซึ่งเป็นผลเนื่องจากค่าความสามารถของการละลายที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในสภาวะที่อุณหภูมิของสารป้อนสูง ๆ ความสามารถของการละลายจะมีผลต่อการซึมผ่านของเพอร์มิเอทมากกว่าความสามารถของการแพร่ ซึ่งเห็นได้ชัดในการทดลองแยกสารละลายไตรคลอโรเอทธิลีนซึ่งมีค่าความสามารถของการละลายสูงกว่าโทลูอีน

8) ค่าการเลือกของระบบที่ได้จากการทดลองที่ช่วงความเข้มข้น 200 - 300 พีพีเอ็ม ได้ค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 700-3,200 โดยสภาวะที่มีค่าการเลือกมากที่สุดคือที่อุณหภูมิของสารป้อน 50 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 25.1 ล./ชม.

9) เมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการด้วยดัชนีการแยกของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน (PSI) พบว่าที่อุณหภูมิของสารป้อน 50 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นผลสอดคล้องกับค่าการเลือกของระบบ เนื่องจากค่าฟลักซ์ของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นน้อยมาก (4-8 กรัม/ตร.ม.-ชม.) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเลือกของระบบ โดยที่ผลของอัตราการไหลของสารป้อนนั้นมีผลต่อค่าดัชนีการแยกของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันไม่มากนัก เนื่องจากช่วงอัตราการไหลของสารป้อนที่ทำการทดลองมีค่าต่ำและแคบเกินไป

5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้

จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ได้ดังนี้

1) สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมและออกแบบกระบวนการที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เช่น ค่าฟลักซ์ของสารอินทรีย์ ค่าการเลือกของระบบ เป็นต้น

2) ผลจากการทดลอง เช่น ค่าความสามารถในการละลาย ค่าความสามารถของการซึมผ่านเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบชุดเยื่อแผ่นและเยื่อแผ่นเพอร์เวเพอเรชัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการทดลองแยกสารละลายไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนด้วยชุดทดลองเพอร์เวเพอเรชันขนาดทดสอบ ได้พบข้อที่น่าสนใจอีกหลายประการเพื่อทำการศึกษาวิจัยต่อไป ได้แก่

1) ทำการทดสอบแยกสารละลายไตรคลอโรเอทธิลีนและโทลูอีนด้วยรูปแบบการเดินระบบ single pass ซึ่งไม่การหมุนเวียนสารป้อนกลับ โดยใช้ชุดเยื่อแผ่นที่พื้นที่ผิวจำเพาะสูงขึ้น

2) เพิ่มอัตราการไหลของสารป้อนให้มีความเร็วช่วง transition หรือ turbulent regime เพื่อศึกษาผลของชั้นขอบเขตของเหลวที่เกิดขึ้นด้วยแบบจำลองการถ่ายเทมวล resistance-in-series

3) ทดสอบการแยกของสารอินทรีย์ด้วยเยื่อแผ่นชนิดอื่น ๆ เช่น EPDM (Ethene-propene terpolymer) เป็นต้น

4) ทดสอบแยกสารละลายอินทรีย์จริงที่เกิดจากการปนเปื้อนตัวทำละลายอินทรีย์ในชั้นน้ำใต้ดิน

5) ออกแบบระบบ vapor permeation ร่วมกับ กระบวนการ biofilter ด้วยเยื่อแผ่นชนิดยางซิลิโคนเพื่อกำจัดไอของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศ

6) ศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเพื่อทำการแยกและนำกลับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมให้นำกลับมาใช้ใหม่ได้