

การแยกของผสมไลโคพีนและตัวทำละลายโดยเมมเบรนไคโตซาน



นายพราหมณ์ ยอดจันทร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

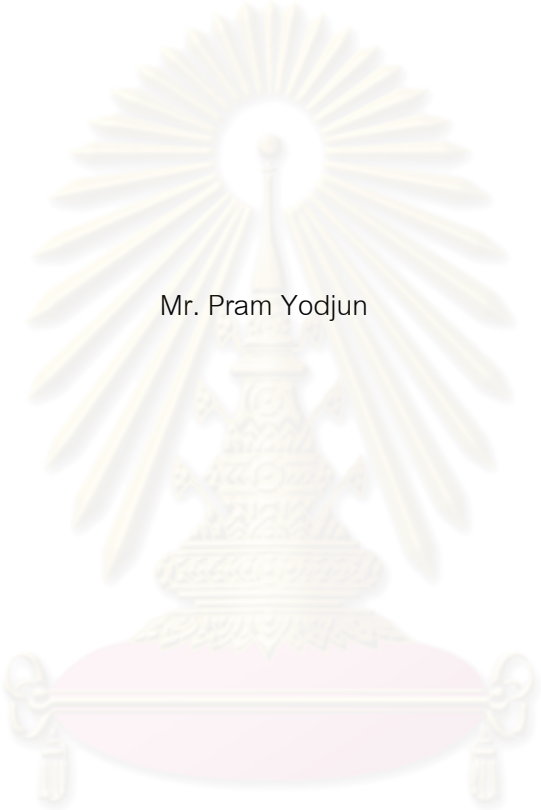
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEPARATION OF LYCOPENE/SOLVENT MIXTURES BY CHITOSAN MEMBRANES



Mr. Pram Yodjun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

พราหมณ์ ยอดจันทร์ : การแยกของผสมไลโคพีนและตัวทำละลายโดยเมมเบรนไคโตซาน.
(SEPARATION OF LYCOPENE/SOVENT MIXTURES BY CHITOSAN MEMBRANES)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ชันทอง สุนทรภา, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :
อ. ดร. ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต, 78 หน้า.

ในขั้นตอนการเลือกสารสกัดไลโคพีนจากขอสมะเขือเทศแทนเฮกเซนพบว่า สามารถใช้ แอซีโตนในอัตราส่วนขอสมะเขือเทศต่อสารสกัด เท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยปริมาตร ได้ความเข้มข้นสารไลโคพีนเป็น 37.5 ± 3.2 พีพีเอ็ม เมมเบรนไคโตซานที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยแบบไม่เชื่อมขวางซึ่งได้จากการอบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และแบบเชื่อมขวางซึ่งได้จากการนำเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการระเหยตัวทำละลายหรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีด้วยการเชื่อมขวางทำให้เมมเบรนไคโตซานมีลักษณะพื้นฐานวิทยาเป็นเนื้อแน่นขึ้น ความสามารถในการซึมผ่านของเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางมีค่าเท่ากับ 0.039 และ 0.006 ลิตร/ตารางเมตร/ชั่วโมง/พีเอสไอ ตามลำดับ เมมเบรนไคโตซานทั้งแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางเป็นเมมเบรนชอบน้ำแต่ไม่ชอบทั้งแอซีโตนและสารไลโคพีน สารไลโคพีนสามารถแยกออกจากสารละลายไลโคพีน/แอซีโตนได้ด้วยกระบวนการเพอร์เวปพอร์ชันแต่ต้องทำให้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำก่อน โดยเมมเบรนไคโตซานทุกสูตรทั้งแบบไม่เชื่อมขวางและเชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมง แยกแอซีโตนออกจากสารละลายไลโคพีนได้ค่าร้อยละการกักกันเท่ากับ 100 หรือค่าแฟกเตอร์การแยกสูงมากเป็นอินฟินิตี โดยเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ค่าฟลักซ์แอซีโตนสูงสุดเท่ากับ 0.131 ± 0.004 ลิตร/ตารางเมตร/ชั่วโมง ที่สภาวะระดับสุญญากาศทางด้านเพอร์มิเอตเท่ากับ -1 บาร์ และความเข้มข้นของสารป้อนเท่ากับ 15 พีพีเอ็ม

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนิสิต.....พราหมณ์ ยอดจันทร์.....
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....ชันทอง สุนทรภา.....
ปีการศึกษา.....2552.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....อ.ดร. ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต.....

5072384223 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS : MEMBRANE / CHITOSAN / NANOFILTRATION / PERVAPORATION / LYCOPENE / ACETONE

PRAM YODJUN : SEPARATION OF LYCOPENE/SOLVENT MIXTURES BY CHITOSAN MEMBRANES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KHANTONG SOONTARAPA, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : CHUTIMA EAMCHOTCHAWALIT Ph.D., 78 pp.

Acetone should be used as extracting solvent of lycopene in tomato paste instead of hexane. The lycopene concentration of 37.5±3.2 ppm was obtained by using the tomato to solvent ratio of 1:10. The studied chitosan membranes were uncrosslinked and crosslinked types. The evaporation conditions in preparing uncrosslinked membranes were varied in the temperature range of 40 to 60°C for 2 to 6 h. The crosslinked membranes were obtained by immersing the uncrosslinked membranes in 4% by wt of sulfuric solution for 24 h. It was found that the membrane morphology could be changed from porous to dense structure by increasing evaporation temperature or time or by crosslinking. The membrane permeability of uncrosslinked and crosslinked membranes was 0.039 and 0.006 L/m²/h/psi, respectively. Both uncrosslinked and crosslinked membranes were hydrophilic but not preferred to both acetone and lycopene. The lycopene/acetone mixture could be separated by using water swollen chitosan membrane in pervaporation process. It was found that all studied membranes; i.e., both uncrosslinked and crosslinked membranes prepared at 40 to 60 °C for 2 to 6 h, could separate acetone from lycopene solution as permeate with rejection of 100% or separation factor of infinity. The uncrosslinked membrane prepared at 40°C for 2 h provided the highest acetone flux of 0.131±0.004 L/m²/h by operating at -1 bar and 15 ppm feed concentration.

Department :Chemical Technology.....Student's Signature.....
Field of study :Chemical Technology.....Advisor's Signature.....
Academic Year :2009.....Co-Advisor' s Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรามา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือในงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ โครงการสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนงานวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สารไนโตรเจนเหลว

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ทำให้การทำงานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมาย ที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มะเขือเทศ.....	4
2.2 ไลโคพีน.....	4
2.3 การสกัดไลโคพีน.....	6
2.4 ไคโตซาน.....	7
2.5 กระบวนการเมมเบรน.....	10
2.6 การแบ่งชนิดของเมมเบรน.....	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	21
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	21
3.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์.....	22
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	35
4.1 ผลการเลือกสารสกัดไลโคพีนเพื่อใช้แทนเฮกเซน.....	35
4.2 ผลการเตรียมตัวอย่างไลโคพีน.....	36
4.3 ผลการทดสอบสมบัติของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อม ขวาง.....	36
4.4 การทดสอบการแยกไลโคพีนออกจากสารสกัดด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน.....	51
4.5 ผลการศึกษาสมรรถนะในการแยกของเมมเบรนไคโตซานแบบบวมตัว.....	55
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง.....	63
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ.....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	78

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะเขือเทศในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ถึง 2552.....	1
ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ.....	5
ตารางที่ 2.2 แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของโคติน.....	7
ตารางที่ 2.3 ค่าการกักกัน (Rejection) โดยเมมเบรน RO, Loose RO, NF และ UF.....	13
ตารางที่ 4.1 ความยาวคลื่นของไลโคพีนที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลายเทียบความยาวคลื่นของสารไลโคพีนมาตรฐาน.....	36
ตารางที่ 4.2 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ทั้งกระบวนการนาโนฟิลเตรชันและเพอร์เวปอเรชันด้วยเมมเบรนแห้ง.....	52
ตารางที่ 4.3 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว.....	53
ตารางที่ 4.4 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการเพอร์เวปอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต -1 บาร์.....	54
ตารางที่ 5.1 สมบัติต่างๆ ของเมมเบรนไคโตซาน.....	58
ตารางที่ ก.1.1 ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง.....	63
ตารางที่ ก.1.2 ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง.....	65
ตารางที่ ก.2.1 น้ำหนักของเมมเบรนที่หายไปเมื่ออบแห้งตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส.....	66
ตารางที่ ก.3.1 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 200, 400, 600 และ 1000 ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง.....	67
ตารางที่ ก.3.2 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 200, 400, 600 และ 1000 ของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง.....	68
ตารางที่ ก.3.3 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 4,000, 6,000 และ 10,000 ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง.....	68
ตารางที่ ก.4.1 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง.....	69

	หน้า
ตารางที่ ก.4.2 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง.....	69
ตารางที่ ก.5.1 ค่าการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน.....	70
ตารางที่ ก.6.1 ค่าการดูดซับน้ำบริสุทธิ์ในเมมเบรน.....	70
ตารางที่ ก.7.1 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการ นาโนฟิลเตรชันใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	71
ตารางที่ ก.8.1 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการ เพอร์เวปพอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต -1 บาร์.....	71
ตารางที่ ก.8.2 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการ เพอร์เวปพอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต -0.2 ถึง -1 บาร์.....	72
ตารางที่ ก.8.3 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 - 35 พีพีเอ็ม ด้วย กระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดัน ด้านเพอร์มิเอต -1 บาร์.....	72

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างของไลโคพีน.....	6
รูปที่ 2.2	โครงสร้างทางเคมีของโคติน.....	8
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน.....	8
รูปที่ 2.4	กลไกการถ่ายโอนมวลผ่านเมมเบรนโดยโมเดลการละลาย-การแพร่.....	14
รูปที่ 2.5	กลไกการถ่ายโอนมวลผ่านเมมเบรนโดยโมเดลการไหลผ่านรูพรุน.....	14
รูปที่ 3.1	แผนภาพการเตรียมเมมเบรนโคโตซานไม่เชื่อมขวาง.....	24
รูปที่ 3.2	แผนภาพการเตรียมเมมเบรนโคโตซานเชื่อมขวาง.....	25
รูปที่ 3.3	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy.....	26
รูปที่ 3.4	ชุดทดสอบนาโนฟิลเตรชันแบบแผ่นและกรอบ.....	28
รูปที่ 3.5	เครื่อง Universal Testing LLOYD Instruments LR 5K.....	30
รูปที่ 3.6	แผนผังชุดทดสอบเพอร์เมปอเรชันแบบแผ่นและกรอบ.....	33
รูปที่ 4.1	UV spectra ของสารละลายไลโคพีนในตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	35
รูปที่ 4.2	FTIR spectra ของเมมเบรนโคโตซาน.....	37
รูปที่ 4.3	ภาคตัดขวาง SEM ของเมมเบรนโคโตซานที่เตรียมขึ้น.....	40
รูปที่ 4.4	ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางที่เตรียมที่สภาวะต่างๆ ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว.....	43
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการระเหยตัวทำละลายกับน้ำหนักของเมมเบรนโคโตซานที่หายไป โดยการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส.....	43
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวาง.....	44
รูปที่ 4.7	การเกิดพันธะไฮดรอกซิลในสายโซ่โคโตซาน.....	44
รูปที่ 4.8	ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG น้ำหนักโมเลกุล 200, 400, 600 และ 1000 ดอลตัน.....	45
รูปที่ 4.9	ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนโคโตซาน.....	47
รูปที่ 4.10	ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรน.....	49
รูปที่ 4.11	ปริมาณการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน.....	50

รูปที่ 4.12 ตัวอย่าง FTIR spectra ของสารฝังเพอร์มิเอตจากเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	54
รูปที่ 4.13 ผลของระดับสุญญากาศที่มีต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางในกระบวนการเพอร์แวกพอเรชันที่ความเข้มข้นสารละลายไลโคพีน 15 พีพีเอ็ม....	56
รูปที่ 4.14 ผลของความเข้มข้นของสารละลายไลโคพีนต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางในกระบวนการเพอร์แวกพอเรชันที่ระดับสุญญากาศ -1.0 บาร์..	56
รูปที่ ข.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายไลโคพีนมาตรฐานกับความดูดกลืนรังสี ด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะเขือเทศจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญ ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการบริโภค ดังข้อมูลมูลค่าการส่งออกของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในตารางที่ 1.1 เนื่องจากในมะเขือเทศประกอบไปด้วยวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินซี และแร่ธาตุสำคัญ เช่น โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และ เหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ในมะเขือเทศยังมีรงควัตถุที่ทำให้มะเขือเทศมีสีแดงที่เรียกว่า ไลโคพีน (Lycopene) จัดเป็นแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) สามารถพบได้ในแตงโมและมะละกอก แหล่งของไลโคพีนที่มีมากที่สุดในวัตถุดิบอาหาร คือ มะเขือเทศ ประโยชน์ของไลโคพีน คือ ช่วยลดอัตราการเกิดมะเร็งในต่อมลูกหมากในเพศชาย มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปากมดลูกและปอด โรคที่เกี่ยวข้องกับทางเดินอาหารและยังช่วยให้สุขภาพผิวดีอีกด้วย ไลโคพีนมีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ น้ำหนักโมเลกุล 536.88 ดอลตัน มีโครงสร้างแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Conjugated double bonds) ประมาณ 11 ตำแหน่ง ทำให้ไลโคพีนสามารถรับสารประเภทอนุมูลอิสระได้ จึงมีประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นยาหรือสารต่อต้านมะเร็ง [1, 2]

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะเขือเทศในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึง 2552 [3]

ปี	ปริมาณการส่งออก (ล้านกิโลกรัม)		มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)	
	มะเขือเทศปรุงแต่ง	มะเขือเทศสดหรือแช่เย็น	มะเขือเทศปรุงแต่ง	มะเขือเทศสดหรือแช่เย็น
2548	3.15	2.93	87.00	17.95
2549	2.17	2.24	61.53	16.24
2550	2.23	0.75	58.16	11.32
2551	2.88	0.43	80.51	8.07
2552	3.85	0.51	117.99	11.49

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545)

ในปัจจุบันกระบวนการแยกไลโคพีนใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายเช่น เฮกเซน แอซีโทน คลอโรฟอร์มและเบนซีน แล้วจึงระเหยตัวทำละลายออกด้วยความร้อน แต่ในขณะเดียวกันไลโคพีนสลายตัวได้เมื่อได้รับความร้อน หรืออาจใช้การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานะเหนือวิกฤติ แต่มีข้อเสียคือ เป็นกระบวนการที่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้เทคโนโลยีขั้นสูง กระบวนการเมมเบรนเป็นเทคโนโลยีการแยกที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถแยกสารหรือทำให้สารมีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีอันตรายอื่นๆ และไม่ทำให้สารผลิตภัณฑ์สูญเสียสมบัติหรือเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน [4] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อแยกไลโคพีนออกจากสารสกัด และเมื่อพิจารณาน้ำหนักโมเลกุลของไลโคพีน (536.88 ดอลตัน) พบว่าอยู่ในช่วงการแยกของกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 10–50 อังสตรอม สามารถกักกันสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 ดอลตัน จึงคาดว่าจะสามารถแยกไลโคพีนออกจากสารสกัดได้ แต่จากงานวิจัยของธนวรรณ บุญยศักดิ์เสรี [5] ซึ่งใช้เมมเบรนพอลิซัลโฟน พบว่ากระบวนการนาโนฟิลเตรชันไม่สามารถแยกเฮกเซนออกจากไลโคพีนได้เนื่องจากไลโคพีนถูกละลายอยู่ในเฮกเซนจึงไม่สามารถแยกออกจากกันโดยการให้ความดันตามกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน ต่างจากกระบวนการเพอร์แวกพอเรชันที่ใช้ความดันย่อยเป็นแรงขับเคลื่อน ทำให้สามารถแยกเฮกเซนซึ่งมีความดันย่อยต่ำออกจากไลโคพีนซึ่งเป็นตัวถูกละลายในเฮกเซน งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาหลักการแยกไลโคพีนออกจากสารสกัดอีกครั้งด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน แต่ใช้วัสดุเมมเบรนไคโตซานซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ เป็นวัสดุทางชีวภาพ แทนเมมเบรนพอลิซัลโฟนซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำ นอกจากนั้นยังต้องการหาตัวทำละลายอื่นซึ่งปลอดภัยต่อผู้ใช้แทนเฮกเซน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาเทคโนโลยีเมมเบรนที่เหมาะสมในการแยกไลโคพีนในมะเขือเทศออกจากสารสกัด
2. การเตรียมเมมเบรนไคโตซานและศึกษาสมรรถนะการแยกไลโคพีนในมะเขือเทศออกจากสารสกัด โดยเทคโนโลยีเมมเบรนแทนการระเหย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ไลโคพินที่ได้มาจากมะเขือเทศ
2. ศึกษาการสกัดไลโคพินจากซอสมะเขือเทศเข้มข้น โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เอทานอล แอซีโตนและเฮกเซน เพื่อหาสารสกัดทดแทนเฮกเซน
3. เตรียมเมมเบรนชนิดแผ่นด้วยการขึ้นรูปด้วยมือ (hand casting) บนแผ่นกระจก
4. เตรียมเมมเบรนไคโตซานแบบไม่มีชั้นรองรับ
5. เลือกศึกษาเทคโนโลยีเมมเบรนแบบนาโนฟิลเตรชันและเพอร์เวปพอเรชัน
6. โมดูลที่ใช้ในการศึกษากระบวนการนาโนฟิลเตรชันและเพอร์เวปพอเรชันเป็นโมดูลแบบแผ่นและกรอบ (Plate and frame module)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้การเตรียมเมมเบรนไคโตซานแบบมีรูพรุนอสัณฐานและแบบเนื้อแน่นด้วยเทคนิคการเปลี่ยนเฟส
2. กระบวนการที่สามารถแยกไลโคพินออกจากสารสกัดแทนการระเหยเพื่อรักษาคุณภาพของสารไลโคพิน และนำสารสกัดกลับมาใช้ใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะเขือเทศ [1,2]

มะเขือเทศมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเทือกเขาแอนดิส ทวีปอเมริกาใต้ โดยเฉพาะในแถบประเทศเปรูและชิลี ซึ่งอุดมไปด้วยมะเขือเทศพันธุ์ป่าอยู่เป็นจำนวนมาก และแพร่กระจายเข้าไปทั่วทวีปอเมริกาใต้ มะเขือเทศที่ปลูกในปัจจุบันเป็นมะเขือเทศที่แพร่กระจายเข้าไปในตอนใต้ของยุโรป สำหรับประเทศไทยเริ่มแพร่เข้ามาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมะเขือเทศพันธุ์ป่า (*Lycopersicon pimpinellifolium*) มีผลขนาดเล็ก นิยมใช้ทำส้มตำและทางภาคเหนือนิยมใช้ทำน้ำพริก มะเขือเทศเป็นพืชผักอยู่ในวงศ์ Solanaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Lycopersicon esculentum* Mill. มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Tomato เป็นพืชล้มลุก สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ชอบอากาศอบอุ่นและแสงแดด ลำต้นและใบมีขน ดอกออกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยว ดอกสีเหลือง รูปวงรีและขนาดของผลมีได้ต่างๆ กัน ผลดิบมีสีเขียวอมเทา ผลสุกจะมีสีส้มถึงสีแดง มีเมล็ดจำนวนมาก มะเขือเทศสุก มีวิตามินหลายชนิดในปริมาณสูง โดยเฉพาะวิตามินเอและวิตามินซี และมีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก เป็นต้น ในผลสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 60 นอกจากนี้ยังพบสารจำพวกแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) หลายชนิดที่พบส่วนใหญ่มี 2 ชนิด ได้แก่ เบตาแคโรทีน (β -carotene) และไลโคพีน (Lycopene) โดยมีปริมาณไลโคพีนมากที่สุด ในสารจำพวกแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและปริมาณไลโคพีนจะเพิ่มมากขึ้นในมะเขือเทศสุก ทำให้เห็นผลมะเขือเทศมีสีแดง ดังนั้นมะเขือเทศจึงเป็นพืชที่มีความสำคัญทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการบริโภคผลสด โดยสามารถนำมาทำเป็นอาหารได้หลายรูปแบบ และสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ น้ำซอสมะเขือเทศเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสด เป็นต้น

2.2 ไลโคพีน [6, 7]

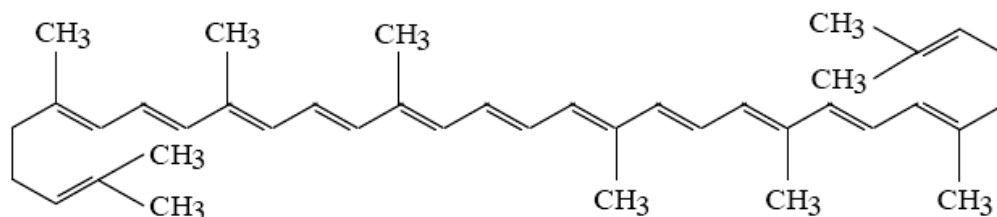
ไลโคพีนจัดเป็นสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่พบกระจายอยู่ทั่วไปในร่างกาย พบมากในผลมะเขือเทศสุก แตงโม และ พืชจำพวกส้ม มีลักษณะโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดไม่เป็นวง (Acyclic carotenoid) ปกติในธรรมชาติ จะอยู่ในรูป *trans* - configuration ดังรูปที่ 2.1 มีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ มีน้ำหนักโมเลกุล 536.88 ดอลตัน เป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในไขมัน

ค่าการละลายของไลโคพีน 1 กรัม ในคาร์บอนไดซัลไฟด์เท่ากับ 50 มิลลิลิตร ในเฮกเซนเท่ากับ 14 ลิตร และละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม, เบนซีน แต่ไม่ละลายในเมทานอลและเอทานอล ค่า λ_{\max} เมื่อละลายในเฮกเซนเท่ากับ 470-472 นาโนเมตร ผลึกมีลักษณะเป็นรูปเข็มสีแดง มีโครงสร้างแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว (Conjugated double bonds) ประมาณ 11 ตำแหน่ง ทำให้ไลโคพีนสามารถรับสารประเภทอนุมูลอิสระได้ โดยไลโคพีนเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเบตาแคโรทีน 2 เท่า มีประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นยาหรือสารต่อต้านมะเร็ง นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจอีกด้วย

เนื่องจากร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ขึ้นเองได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากการบริโภคเข้าไป ส่วนใหญ่แล้วไลโคพีน (Lycopene) ที่รับประทานกัน (55%) ได้มาจากผลของมะเขือเทศ รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่นจากมะเขือเทศ นอกจากนี้ยังพบได้จากผลไม้อื่น ๆ หลายชนิดได้แก่ แตงโม ฝรั่ง มะละกอ และพืชพวกส้ม ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคพีนในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ [6]

ผลไม้หรือผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศ	ปริมาณไลโคพีน มิลลิกรัม/กรัม (น้ำหนักสด)
มะเขือเทศสด (Fresh tomato)	8.8- 42.0
แตงโม (Watermelon)	23.0-72.0
ฝรั่ง (Pink guava)	54.0
เกรฟฟรุต (Pink grapefruit)	33.6
มะละกอ (Papaya)	20.0-53.0
ซอสมะเขือเทศ (Tomato Sauce)	62.0
มะเขือเทศเข้มข้น (Tomato Paste)	54.0-150.0
น้ำมะเขือเทศ (Tomato Juice)	50.0-116.0
ซอสมะเขือเทศ (Tomato Ketchup)	99.0-134.4
ซอสพิซซ่า (Pizza Sauce)	127.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของไลโคพีน [6]

นอกจากไลโคพีนจะมีประโยชน์ในทางยาแล้ว ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้อีกด้วย เช่น การเพิ่มสีของไขมันหรือน้ำมัน เนยแข็ง เครื่องดื่ม เพิ่มระดับสีแดงของไข่แดง หรือไก่สดและแต่งสีในโยเกิร์ต เป็นต้น

2.3 การสกัดไลโคพีน

การสกัดไลโคพีนทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) แล้วระเหยตัวทำละลายออกด้วยความร้อน แต่ในขณะเดียวกันไลโคพีนสลายตัวได้เมื่อได้รับความร้อน ถึงแม้ว่าเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุด แต่ต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการแยก

ในการสกัดจะได้ผลดีหรือไม่ อยู่ที่การคัดเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม ตัวทำละลายที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ [7]

- สามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดีพอ
- ไม่ระเหยง่ายหรือยากเกินไป
- ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
- ไม่เป็นพิษ
- ราคาเหมาะสม

ในการเลือกตัวทำละลายอาศัยหลักเกณฑ์ต่อไปนี้คือ

- สารละลายและตัวทำละลายมีสมบัติความมีขั้วคล้ายคลึงกัน
- ละลายสารที่ต้องการออกมามากที่สุด ในขณะที่ละลายสารที่ไม่ต้องการออกมาน้อยที่สุด (High selectivity)

ตัวทำละลายที่นิยมใช้ สามารถจัดเรียงตามลำดับความมีขั้วจากน้อยไปมากได้ดังนี้

ไซโคลเฮกเซน, คาร์บอนเตตระคลอไรด์, เบนซีน, อีเทอร์, คลอโรฟอร์ม, แอซีโตน, เอทิลเอซีเตต, เอทานอล, เมทานอล, น้ำ, กรดและเบส

ในปัจจุบันนิยมใช้ตัวทำละลายเฮกเซนในการสกัดไลโคพีน แต่เฮกเซนมีราคาแพงและมีความเป็นพิษสูง จึงมีงานวิจัยศึกษาลดปริมาณการใช้เฮกเซน เช่น Rosa และคณะ [8] ศึกษาตัวทำละลายผสมของเฮกเซน:เอซีโทน:เอทานอล พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 50:25:25 โดยปริมาตร โดยเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายชนิด Polar organic solvent ทำหน้าที่ปลดปล่อยไลโคพีนออกจากเซลล์แล้วใช้เฮกเซนซึ่งเป็นตัวทำละลายชนิด Nonpolar solvent ทำหน้าที่สกัดไลโคพีนออกมา

นอกจากนี้ยังสามารถสกัดไลโคพีนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical carbon dioxide) โดยมีข้อดีคือสารที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูง และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค แต่วิธีการนี้ยุ่งยากซับซ้อน ต้องใช้เทคโนโลยีสูง และมีราคาแพง จึงยังไม่เป็นที่นิยมใช้ [5]

2.4 ไคโตซาน (Chitosan) [9,10]

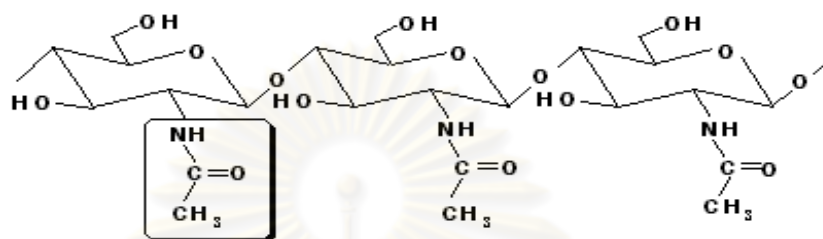
ไคติน (Chitin) เป็นวัสดุชีวภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ มีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยมากจะไม่พบเป็นโครงสร้างหลักเดี่ยวๆ ในสิ่งมีชีวิต แต่จะพบในรูปที่เป็นสารประกอบปะปนอยู่กับสารอื่นๆ เช่น อยู่ร่วมกับหินปูน หรือแคลเซียม และโปรตีน ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน แหล่งวัตถุดิบสำคัญของไคติน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของไคติน [10]

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ประเภทมีปล้อง (Arthropods)	แมลง (Insect)	จุลินทรีย์ (Microorganisms)
หนอนทะเล (Annelida)	แมลงป่อง	สาหร่ายสีเขียว
หอย (Mollusk)	แบรคิโอพอด	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำตาล
สัตว์พวกแมงกะพรุนปะการัง (Coelentera)	มด	ยีสต์ (β -type)
กุ้งก้ามกราม (Lobster)	แมลงสาบ	เชื้อรา (ผนังเซลล์)
กุ้ง (Shrimp)	แมลงปีกแข็ง	ก้านชูสปอร์ของ penicillium
กุ้งนาง (Prawn)	แมงมุม	สปอร์
ปู (Crab)		

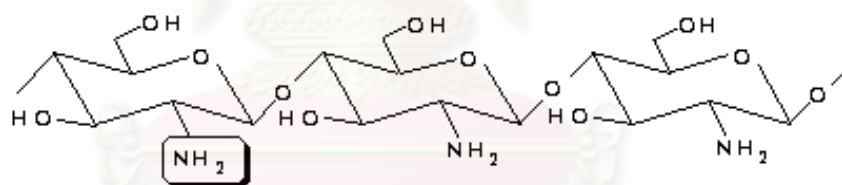
2.4.1 สมบัติทางเคมี

ไคติน คือสารพอลิเมอร์ชีวภาพ ประเภทพอลิแซคคาไรด์ จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ประเภทโครงสร้างที่เป็นเส้นใยคล้ายคลึงกับเซลลูโลสจากพืช มีชื่อทางเคมีว่า Poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [9]

ไคโตซาน (Chitosan) คือ สารพอลิเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน ได้จากการนำอนุพันธ์ของไคตินมากำจัดเอากลุ่ม acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกตั้งแต่ 50% ขึ้นไปมีชื่อทางเคมีว่า poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [9]

ซึ่งจะเห็นได้ว่าไคตินและไคโตซาน มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับเซลลูโลส แต่จะแตกต่างกันที่หมู่แทนที่ที่อะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (Pyranose ring) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน โดยหมู่แทนที่ที่ตำแหน่งนี้ของเซลลูโลสจะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) แต่ของไคตินเป็นหมู่แอสีทาไมด์ (Acetamide group) ส่วนของไคโตซานเป็นหมู่แอมิโน (Amino group)

2.4.2 สมบัติทางกายภาพ

1. การละลาย

การละลายเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของสารกับตัวทำละลาย ดังนั้น ประเด็นที่สำคัญที่จะทำให้พอลิเมอร์หนึ่ง ๆ ละลายได้ดี จึงขึ้นอยู่กับการยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายแทรกผ่านเข้าไปในระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์นั่นเอง

ไคตินและไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและทำพันธะกับสายโซ่ของไคตินหรือไคโตซานได้ จึงพบว่าไคตินและไคโตซานจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป และบ่อยครั้งที่สารจะบวมหรือพองตัวในตัวทำละลายเท่านั้น แต่ไม่ละลายอย่างสมบูรณ์

ตัวทำละลายที่ดีสำหรับไคตินและไคโตซานจึงอาศัยหลักการที่จะทำให้เกิดพันธะไอออนไปทดแทนที่ตำแหน่งไฮโดรเจน เช่น ที่ตำแหน่งแอมิโนหรือตำแหน่งแอสีทาไมด์ เมื่อตำแหน่งดังกล่าวกลายเป็นไอออนบวก (Protonation) พันธะไฮโดรเจนได้ถูกทำลายและสามารถสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบในระบบตัวทำละลาย การละลายจึงเกิดขึ้นด้วยหลักการดังกล่าวในกรณีของไคติน พบว่าในตัวทำละลายทั่วไป เช่น น้ำ กรดเจ็จจาง ต่างทั้งเจ็จจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ ไม่สามารถที่จะทำให้ไคตินละลายได้แต่ในขณะเดียวกัน กรดเข้มข้นจำพวกกรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก จะทำให้เกิดการละลายได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากกรดเข้มข้นดังกล่าว มีปริมาณโปรตอนมากเพียงพอที่จะเกิดไอออนบวกที่ตำแหน่งแอสีทาไมด์ และทำให้ตำแหน่ง C-2 ของไคติน กลายเป็นไอออนบวก พันธะไฮโดรเจนจึงสลายลง ในขณะเดียวกันพันธะไอออนถูกสร้างขึ้นระหว่างไอออนลบของกรดประเภทนั้น ๆ ทำให้การละลายเกิดขึ้น

ตัวทำละลายอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับไคตินคือ ประเภทเกลือในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น สารละลายลิเทียมคลอไรด์อิมิตัวใน N,N'-Dimethylformamide หรือ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์อิมิตัวในเมทานอล การที่ไคตินละลายได้ เนื่องจากเกลือในตัวทำละลายนี้สร้างพันธะไอออนแทนที่พันธะไฮโดรเจนได้และได้เป็นสารละลายไคติน

กรณีของไคโตซานก็เช่นกัน ตัวทำละลายที่รู้จักกันดีคือ กรดฟอร์มิก และกรดแอสีติก ทั้งนี้เนื่องจากกรดดังกล่าวสามารถแตกตัวให้หมู่แอมิโนเป็นไอออนบวก และสามารถสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบที่แตกตัวอยู่ในกรด นอกจากนี้กรดทั้งสองประเภทยังไม่ทำลายโครงสร้างของไคโตซาน หาง่าย และราคาถูก จึงเป็นตัวทำละลายที่ใช้อย่างแพร่หลาย และเหมาะสำหรับการเตรียมไคโตซานเป็นชิ้นงานอื่น ๆ โดยกระบวนการปรับโครงสร้างทางกายภาพ เช่น

จากสารละลายโคโตะซานสามารถขึ้นรูปเป็นเจล บีดส์ หรือเมมเบรนได้ กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเพอร์คลอริก และกรดฟอสมิก สามารถละลายโคโตะซานได้เช่นกัน แต่ภายใต้อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจเกิดตะกอนขาวคล้ายเจลขึ้น เนื่องจากการละลายที่ไม่สมบูรณ์

2. ความหนืด

การไหลของพอลิเมอร์เป็นตัวชี้วัดขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ หากสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความยาวมาก (Higher degree of polymerization) จะแสดงสมบัติการไหลที่ช้า ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเตรียมสารละลายของพอลิเมอร์ประเภทนั้นๆ สารละลายจะมีความหนืดสูงผันแปรไปตามมวลโมเลกุล (Molecular weight)

สำหรับความหนืดของสารละลายโคโตะซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น รั้อย ละการกำจัดหมู่แอซีทิล มวลโมเลกุล ความเข้มข้น ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของโคโตะซานในกรดแอซีติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ในขณะที่ความหนืดของโคโตะซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น

3. สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงความเสถียรของโคติน-โคโตะซาน เมื่อพิจารณาโคติน-โคโตะซานเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ประเภทหนึ่งแล้ว โคติน-โคโตะซานจะเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง จึงควรแสดงสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ซึ่งจะให้ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เมื่อให้ความร้อนแก่โคติน-โคโตะซานจนถึงระดับหนึ่ง แต่ในความเป็นจริงเมื่อให้ความร้อนแก่โคติน-โคโตะซาน จะพบว่าโคติน-โคโตะซานจะไม่แปรสภาพเป็น สารหนืด แต่จะไหม้และสลายไปในที่สุด

2.5 กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) [4,11]

กระบวนการเมมเบรนเป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำให้สารบริสุทธิ์มากขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรนคือ แรงขับเคลื่อน (Driving force) ที่สามารถทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน เมมเบรนที่ใช้อาจเป็นของแข็ง หรือของเหลว แต่ต้องมี สมบัติในการเลือกผ่านสารใดสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (Semi-permeable/permeable) การ

เลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีหรือโครงสร้างทางกายภาพของเมมเบรน ผลจากขนาดรูพรุน หรือผลจากการมีประจุของเมมเบรน เป็นต้น

กระบวนการเมมเบรนแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ดังนี้

2.5.1 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ ประมาณ 0.1-10 ไมโครเมตร มักใช้ในการแยกสารที่มีโมเลกุลใหญ่ สารแขวนลอย และอนุภาคขนาดเล็ก ความดันที่ใช้ในการแยกต่ำกว่า 2 บาร์

2.5.2 อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous) ประมาณ 10 อังสตรอม ถึง 0.1 ไมโครเมตร หรือเมมเบรนแบบไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนาประมาณ 0.1-2 ไมโครเมตร สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่และคอลลอยด์ แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในการแยกประมาณ 1-10 บาร์

2.5.3 ออสโมซิสผกกลับ (Reverse osmosis, RO) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนในการแยกน้ำออกจากสารโมเลกุลเล็ก ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 ดอลตัน (เช่น เกลือ น้ำตาล) โดยการป้อนสารละลายภายใต้ความดันสูง ซึ่งต้องมีความมากกว่าความดันออสโมซิส (Osmotic pressure) ของสารละลาย น้ำบริสุทธิ์จึงไหลผ่านเมมเบรนไปได้ โดยทิ้งเกลือและตัวถูกละลายต่างๆ เอาไว้ หลักการทำงานของออสโมซิสผกกลับจะตรงข้ามกับกระบวนการออสโมซิส โดยใช้ความดันสูงถึง 15-150 บาร์ มักใช้ในการผลิตน้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง

2.5.4 อิเล็กโทรไดอะลิซิส (Electro dialysis, ED) เป็นกระบวนการแยกทางไฟฟ้า-เคมี เมมเบรนที่ใช้เป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange membrane) และเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion exchange membrane) ที่ต่ออนุกรมกันอยู่ระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็นแรงขับเคลื่อนร่วมกับการเลือกผ่านไอออนของเมมเบรนทำให้เกิดการแยก ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนสูงและสารละลายบริสุทธิ์หรือเจือจางลง

2.5.5 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF)

นาโนฟิลเตรชันคล้ายกับออสโมซิสผกกลับมาก แตกต่างกันที่ความสามารถในการแยกไอออนวาเลนซ์หนึ่ง (Monovalent ions) เช่น คลอไรด์ ไม่ให้ผ่านเมมเบรนออกไป โดยเมมเบรนออสโมซิสผกกลับสามารถกันไอออนวาเลนซ์หนึ่งได้ร้อยละ 98-99 ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ขณะที่เมมเบรนนาโนฟิลเตรชันสามารถกักกันไอออนวาเลนซ์หนึ่งได้ร้อยละ 50-90 ขึ้นกับชนิดวัสดุเมมเบรนและโครงสร้างของเมมเบรน ขนาดรูของเมมเบรนนาโนฟิลเตรชันใหญ่กว่า

ขนาดรูของเมมเบรนออสโมซิสผ่นกลับมาก จึงยอมให้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 200 ดอลตัน ผ่านเมมเบรนไปได้ ดังนั้น โมเลกุลน้ำ ไอออนวาลเลนซีหนึ่ง และสารอินทรีย์โมเลกุลต่ำ เช่น เมทานอล สามารถผ่านนาโนฟิลเตรชันไปได้ ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบค่าการกักกัน (Rejection) ของสารชนิดต่างๆ จากเมมเบรน 3 ชนิด คือ ออสโมซิสผ่นกลับ (RO) นาโนฟิลเตรชัน (NF) และอัลตราฟิลเตรชัน (UF) โดยที่กระบวนการ Loose reverse osmosis ในตารางที่ 2.3 คือ กระบวนการออสโมซิสผ่นกลับที่ไม่ยอมให้ไอออนเกลือทุกชนิดผ่านแต่มีค่าการกักกันน้อยกว่าเมมเบรนออสโมซิสผ่นกลับแบบปกติ จากตารางสามารถสังเกตได้ว่าเมมเบรนนาโนฟิลเตรชันไม่สามารถกักกันไอออนวาลเลนซีหนึ่งได้ อาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติเฉพาะของกระบวนการนาโนฟิลเตรชันอยู่ระหว่างกระบวนการออสโมซิสผ่นกลับและกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน กระบวนการเมมเบรนที่ใช้ความดันเป็นแรงขับ 4 ประเภท คือ ออสโมซิสผ่นกลับ นาโนฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน โดยแรงขับดันที่ใช้ในกระบวนการทั้ง 4 ประเภท ตามลำดับ คือ 1,300 – 1,700; 500 – 1,400; 200 – 1,400 และ 15 – 500 กิโลพาสคัล ตามลำดับ

พอลิเมอร์ที่มักใช้ทำเมมเบรนนาโนฟิลเตรชัน ได้แก่ พอลิเอไมด์เชิงประกอบ (Thin film composite polyamide membrane; PA), เซลลูโลสแอซีเตต (Cellulose acetate: CA), พอลิซัลโฟน (Polysulfone: PS), พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol: PVA) และ พอลิอะคริโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile) เป็นต้น

กลไกการถ่ายโอนมวล คือ การละลายหรือการดูดซับของสารแพร่ซึม (Permeants) บนผิวของเมมเบรน แล้วมีการเคลื่อนที่ของมวลแบบ Capillary flow ด้วยเกรเดียนต์ ความดัน

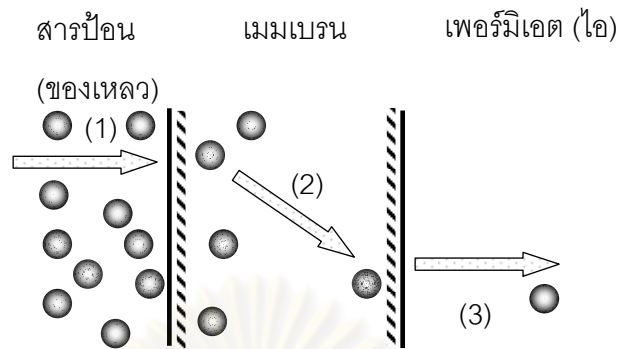
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ค่าการกักกัน (Rejection) โดยเมมเบรน RO, Loose RO, NF และ UF [4]

Species	RO	Loose RO	NF	UF
Sodium chloride, NaCl	99%	70 – 95%	0 – 50%	0%
Sodium sulfate, Na ₂ SO ₄	99%	80 – 95%	99%	0%
Calcium chloride, CaCl ₂	99%	80 – 95%	0 – 60%	0%
Magnesium sulfate, MgSO ₄	>99%	95 – 98%	>99%	0%
Sulfuric acid, H ₂ SO ₄	98%	80 – 90%	0%	0%
Hydrochloric acid, HCl	90%	70 – 85%	0%	0%
Fructose, MW 180	>99%	>99%	>99%	0%
Sucrose, MW 360	>99%	>99%	>99%	0%
Humic acid	>99%	>99%	>99%	0%
Viruses	99.99%	99.99%	99.99%	99%
Protein	99.99%	99.99%	99.99%	99%
Bacteria	99.99%	99.99%	99.99%	99%

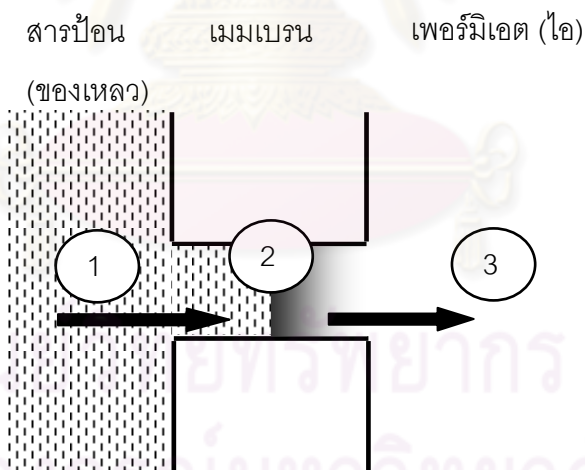
2.5.6 เพอร์แวกพอเรชัน (Pervaporation, PV) ในกระบวนการเพอร์แวกพอเรชันจะมีการเปลี่ยนเฟสของเพอร์มิเอตจากของเหลวกลายเป็นไอด้วยพลังงานสำหรับการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) ใช้การควบคุมความดันไอด้านเพอร์มิเอตเป็นแรงขับเคลื่อนทำให้เกิดการแยก นิยมใช้แยกสารผสมคงจุดเดือด (Azeotrope mixtures) กลไกการถ่ายโอนมวลในกระบวนการเพอร์แวกพอเรชันอธิบายด้วยโมเดลการละลาย-การแพร่ หรือโมเดลการไหลผ่านรูพรุน ดังนี้

1. โมเดลการละลาย-การแพร่ เป็นโมเดลที่นิยมนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการอธิบายกลไกการถ่ายโอนมวลผ่านเมมเบรน โดยกลไกการถ่ายโอนมวลประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ (1) องค์ประกอบจากสารป้อนละลายเข้าไปในเมมเบรน (2) การแพร่ภายในเมมเบรนจากด้านสารป้อนไปยังด้านเพอร์มิเอต และ (3) องค์ประกอบระเหยกลายเป็นไอออกจากเมมเบรน สามารถแสดงขั้นตอนการถ่ายโอนมวลในกลไกนี้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกการถ่ายโอนมวลผ่านเมมเบรนโดยโมเดลการละลาย-การแพร่ [4]

2. โมเดลการไหลผ่านรูพรุน อาศัยพื้นฐานของกลไก Pore – flow ซึ่งคิดว่ามีรูทรงกระบอกตรงทะลุจากผิวด้านสารป้อนถึงผิวด้านขาออกของเมมเบรน การถ่ายโอนมวลประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ (1) ของเหลวถ่ายโอนจากเนื้อสารละลายป้อนผ่านรูไปสู่ขอบเขตของเฟส (2) ของเหลวเกิดการระเหยที่ขอบเขตของเฟส (3) ไอถ่ายโอนจากขอบเขตของเฟสออกจากรู ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการถ่ายโอนมวลผ่านเมมเบรนโดยโมเดลการไหลผ่านรูพรุน [4]

ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะในการแยกของกระบวนการเพอร์เมอแพนดอร์ชัน ประกอบด้วย [12]

1. ความเข้มข้นของสารป้อน (ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ผ่านเมมเบรนได้ดีกว่า) เมื่อความเข้มข้นของสารป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้องค์ประกอบสารสามารถละลายเข้าไปในเมม

เบรอนมากขึ้น ทำให้มีผลต่อการเกิด coupling และ plasticization ผลการทดลองแยกน้ำจากสารละลายเอทานอลโดยใช้เมมเบรนชอบน้ำพบว่า เมื่อน้ำในสารป้อนมากขึ้น ทำให้ฟลักซ์เพิ่มและค่าการแยกลดลง

2. อัตราการป้อน กระทบต่อการเกิดโพลาไรเซชันความเข้มข้น (Concentration polarization) ในชั้นขอบเขตของเหลว การเพิ่มความเร็วในการป้อนสารจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในชั้นขอบเขต จึงทำให้โพลาไรเซชันความเข้มข้นลดลงหรือความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลลดลง ฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้น แต่ค่าการแยกลดลง

3. คุณหมุมิของสารป้อน การเพิ่มคุณหมุมิจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลในด้านสารป้อนและในเมมเบรน และเพิ่มการละลายในเมมเบรนและทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้มากฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้นแต่ค่าการแยกลดลง

4. ความดันด้านเพอร์มิเอต เป็นตัวแปรสำคัญ เพราะการทำสุญญากาศมีค่าใช้จ่ายสูง แต่การลดความดันด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนในการถ่ายเทมวล ดังนั้นฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการแยกนั้นอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้เมื่อความดันด้านเพอร์มิเอตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระเหยขององค์ประกอบที่ผ่านเมมเบรน แต่โดยส่วนใหญ่ ค่าการแยกจะลดลงเมื่อความดันด้านเพอร์มิเอตเพิ่มขึ้น

2.6 การแบ่งชนิดของเมมเบรน [11]

การแบ่งชนิดของเมมเบรนที่ทำให้เห็นความแตกต่างทางกายภาพและการใช้งานของเมมเบรนได้อย่างชัดเจน คือ การแบ่งชนิดตามโครงสร้าง และกลไกในการแยก โดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ เมมเบรนแบบแน่น (Dense membrane) เมมเบรนรูพรุน (Porous membrane) เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange membrane) และเมมเบรนสมมาตร/ไม่สมมาตร (Symmetric/asymmetric membrane)

2.6.1 เมมเบรนแบบแน่น คือ เมมเบรนที่มีความหนาแน่นของเนื้อพอลิเมอร์สูง และมีช่องว่างในเนื้อพอลิเมอร์อยู่น้อย (น้อยกว่าร้อยละ 40) หรือมีช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การซึมผ่านของสารอาศัยการถ่ายโอน โดยการแพร่ภายใต้แรงขับเคลื่อนจากความดัน ความเข้มข้นหรือความต่างศักย์ทางไฟฟ้า สมบัติที่สำคัญของเมมเบรนแบบแน่นคือ การแยกของสารที่มีขนาดเท่ากัน อาจเกิดจากสภาพการละลายของสารในวัสดุที่นำมาผลิตเป็นเมมเบรนได้แตกต่างกัน เมมเบรนแบบแน่นนี้

นิยมนำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ นาโนฟิลเตรชัน และเพอร์เมปพรेशन มักมีการทำให้เกิดโครงสร้างแบบไม่สมมาตรเพื่อทำให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้น

2.6.2 เมมเบรนรูพรุน คือ เมมเบรนที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน และทำหน้าที่เหมือนกับการกรอง โดยปกติทั่วไปความหมายของคำว่ารูพรุน ตามคำจำกัดความของ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ได้แบ่งขนาดรูพรุนออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ขนาดใหญ่: ขนาดรูพรุน > 50 นาโนเมตร

ขนาดกลาง: 2 นาโนเมตร < ขนาดรูพรุน < 50 นาโนเมตร

ขนาดเล็ก: ขนาดรูพรุน < 2 นาโนเมตร

อนุภาคทั้งหมดที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนถูกกันออกไปทั้งหมด แต่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนสามารถผ่านออกไปได้เพียงบางส่วน อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนที่เล็กที่สุดสามารถผ่านทะลุเมมเบรนชนิดนี้ได้ ดังนั้นการแยกตัวด้วยเมมเบรนรูพรุน จึงเกิดจากกลไกการคัดขนาดของโมเลกุล และการกระจายขนาดรูพรุนของเมมเบรน

2.6.3 เมมเบรนสมมาตร/ไม่สมมาตร

เมมเบรนสมมาตร คือ เมมเบรนที่มีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา ส่วนเมมเบรนไม่สมมาตร คือ เมมเบรนที่มีชั้นผิวเนื้อแน่นกว่าชั้นล่าง ชั้นผิวทำหน้าที่ในการกักกันสาร ส่วนโครงสร้างชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่เมมเบรน

เมมเบรนแบบไม่สมมาตรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ 1. เมมเบรนที่มีชั้นผิว (Skinned membrane) โดยที่ชั้นผิวและชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และ 2. เมมเบรนเชิงประกอบ (Composite membrane) เป็นเมมเบรนที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุต่างชนิดกัน

2.6.4 เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน คือ เมมเบรนที่ผลิตจากพอลิเมอร์ที่มีประจุ มีความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกหรือไอออนลบสามารถเป็นได้ทั้งเมมเบรนแบบแน่นหรือแบบรูพรุน แต่ส่วนใหญ่เป็นแบบรูพรุน ที่ผนังของรูพรุนมีประจุของไอออนบวกหรือลบยึดติดอยู่ หลักการทำงานของเมมเบรน คือ การกีดกันไอออนที่มีประจุชนิดเดียวกับประจุที่ยึดติดอยู่กับเมมเบรนออกไป การแยกที่เกิดขึ้นมีผลมาจากประจุ และความเข้มข้นของไอออน เมมเบรนประจุไฟฟ้ามักนำมาใช้แยกสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในกระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิส

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Olives และคณะ [13] ศึกษาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการหาปริมาณไลโคพีนและเบตาแคโรทีนในผักชนิดต่างๆ ได้แก่ มะเขือเทศ แครอท พริกไทย แดงโม ลูกพลัม และ medlar ด้วยวิธี

โครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) เปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐาน Spectrophotometry พบว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้คอลัมน์ชนิด C18 เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วย เมทานอล/แอสีโทไนไทรล์ในสัดส่วน 90:10 v/v ผสมกับไทรอเทิลเอมีน 9 ไมโครโมล ด้วยอัตราการไหล 0.9 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ได้ % RSD น้อยกว่าร้อยละ 10.5 ความแม่นยำร้อยละ 100-109 ค่า sensitive detection limits ของไลโคพีน เท่ากับ 0.6 ไมโครโมล และของเบตาแคโรทีนเท่ากับ 0.3 ไมโครโมล

Renata และคณะ [14] ศึกษาการเตรียมเมมเบรนไคโตซาน 3 ชนิด คือ เมมเบรนไคโตซานระเหยแห้งในบรรยากาศแอมโมเนีย (Chitosan membrane dried in ammonia atmosphere, CSA), เมมเบรนไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วย glutaraldehyde (Chitosan membrane crosslinked with glutaraldehyde, CSG) และเมมเบรนไคโตซานจากสารละลายผสมเอทานอล (Chitosan membrane from aqueous-ethanolic solution, CSE) บนตัวรองรับที่เป็นกระดาษมัน (glossy paper support) เพื่อใช้กับกระบวนการกรองความดันสูง เมมเบรนทุกสูตรถูกตรวจสอบด้วย Infrared Spectroscopy (IR), Scanning Electron Microscopy (SEM) และสมรรถนะการแยก พบว่า การเติมเอทานอลลงในสารละลายไคโตซานสามารถลดเวลาในการเตรียมเมมเบรน และเวลาในการกรอง เมมเบรนทุกชนิดสามารถกักสารประกอบอินทรีย์ เช่น methylene blue, truncated hemoglobin และ bovine serum albumin (BSA) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 319.8 ดอลตัน 17,700 ดอลตัน และ 66,400 ดอลตัน ตามลำดับ ได้ร้อยละ 100

ธนวรรณ บุญยศักดิ์เสรี [5] ได้ทำการเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟนและเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟนเพื่อประยุกต์ใช้ในการแยกไลโคพีนจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการเพอร์แวกพอเรชันแบบแผ่นและกรอบ โดยเตรียมเมมเบรนจากสูตรพอลิซัลโฟนหรือซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และนอร์มัล - เมทิล - 2 - ไพโรลิโดนร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส โดยแปรค่าอุณหภูมิและเวลาในการระเหยตัวทำละลายและเวลาที่ใช้แช่น้ำ พบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เตรียมขึ้นมี 2 ลักษณะ คือ แบบไม่สมมาตรซึ่งได้จากการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ถึง 18 ชั่วโมง หรือได้จากการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ถึง 12 ชั่วโมง และแบบเนื้อแน่นซึ่งได้จากการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ถึง 18 ชั่วโมง หรือได้จากการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ถึง 18 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาในการแช่น้ำ 45 นาที ถึง 90 นาที ไม่มีผลต่อโครงสร้างของเมมเบรนอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของสูตรเมมเบรนที่มีโครงสร้างไม่สมมาตรจะอยู่ในช่วง 5.5-16.0 เมกะปาสกาล

สำหรับเมมเบรนที่มีโครงสร้างเนื้อแน่นจะอยู่ในช่วง 41.3-63.1 เมกะปาสกาล เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เหมาะสมในการนำมาใช้สกัดสารไลโคพีนออกจากเฮกเซนด้วยกระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน คือ เมมเบรนที่ได้จากการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ถึง 18 ชั่วโมง โดยให้ค่าดัชนีการแยกประมาณ 3,000 อย่างไรก็ตามพบว่า เมมเบรนที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ในกระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน คือ เมมเบรนที่ได้จากการระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 14 ถึง 18 ชั่วโมง เนื่องจากมีโครงสร้างเนื้อแน่น และให้ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงสูงกว่าเมมเบรนที่เตรียมจากสภาวะอื่น เมมเบรนซัลฟอนเตดพอลิซัลโฟนที่ได้จากการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 หรือ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานกว่า 8 ชั่วโมง จะให้โครงสร้างภาคตัดขวางเป็นแบบเนื้อแน่นทุกสูตรและให้ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 30.8 – 41.9 เมกะปาสกาล แต่ให้ค่าสมรรถนะการแยกค่อนข้างต่ำ

บุญชู มหาผล [15] ได้ทำการเตรียมโคโตซานจากเปลือกกุ้งมีค่ามวลโมเลกุล 1.4×10^6 ดอลตัน ค่าร้อยละการกำจัดหมู่แอสีทิล 87.79 ± 1.81 ด้วยวิธี Colloidal titration และความหนืด 904.8 เซนติพอยส์ เพื่อเตรียมเป็นเมมเบรนจากสารละลายโคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ในกรดแอสีติกเข้มข้นร้อยละ 1 การทำให้เมมเบรนแห้งที่ระยะเวลาต่างๆ ผลการทดสอบการแยกเกลือของเมมเบรนในโมดูลแบบแผ่นและกรองจากน้ำเกลือสังเคราะห์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก พบว่า เมมเบรนที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดเท่ากับ 80.83 ± 4 ให้ฟลักซ์ 0.08 ± 0.2 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที่ สมรรถนะของเมมเบรนนี้เหมาะสมในการนำไปใช้บำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มของโรงงานกรณีศึกษา ผลการทดสอบเมมเบรนโคโตซานที่เตรียมขึ้นกับน้ำล้างเห็ดดองเค็มที่มีความเค็มอยู่ระหว่างร้อยละ 2-2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถแยกเกลือและสารอินทรีย์ได้ โดยให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดเท่ากับ 82.93 ± 2.57 ค่าร้อยละการกำจัดซีไอดีสูงสุดเท่ากับ 95.33 ± 0.24 และค่าฟลักซ์สูงสุดเท่ากับ 0.08 ± 0.02 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที่

Domenico และคณะ [16] เสนอขั้นตอนการสกัดไลโคพีนจากมะเขือเทศแบบใหม่ที่มีความรวดเร็วและต้นทุนต่ำ เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนในการสกัดไลโคพีนที่สูง ดังนี้ นำผลมะเขือเทศที่ตัดเป็นชิ้นขนาด 4 มิลลิเมตร ผสมกับน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 10 นาที สกัดน้ำมะเขือเทศที่ได้ ภายใต้ความดัน 8 บาร์ นาน 5 นาที โดยใช้ น้ำ 2 ลิตรเป็นตัวทำละลาย กรองแยกน้ำออกภายใต้สภาพสุญญากาศให้ได้ tomato paste ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 16 สกัดด้วยเอซีโตนในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) กรองแยกส่วนที่เป็นกากมาสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระเหย

ส่วนที่เป็น filtrate ด้วยการลดความดันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ขับด้วยกระดาษกรองในที่มีด ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ฟันแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที และทำการ Liophylization เป็น เวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดตัวทำละลายทั้งหมด สารที่ได้จะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบสมบัติโดยใช้ DAD-HPLC ร่วมกับ แมสสเปกโทรเมตรี และโดยยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่าได้ไลโคพีนชนิดทรานส์ (trans-lycopene) ทั้งหมด มีความบริสุทธิ์มากกว่า ร้อยละ 95

Devi และคณะ [17] เตรียมเมมเบรนไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่แอสีทิลเท่ากับร้อยละ 84 และเชื่อมขวางด้วย toluene-2,4-diisocyanate เพื่อใช้ในการแยกน้ำออกจากสารผสมคง จุดเดือดของ isopropanol (azeotrope isopropanol) โดยกระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน ศึกษา สมบัติเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์มุมกว้าง (wide-angle X-ray diffraction, WAXD) เพื่อศึกษาอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลและความเป็นผลึก ตามลำดับ ทดสอบ Dynamic mechanical thermal analyses (DMTA) เพื่อการประเมินสมบัติ ความมีเสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของเมมเบรน ศึกษาการดูดซับในน้ำ, ใน isopropanol และที่สัดส่วนต่างๆของสารผสม เพื่อให้เกิดความเข้าใจในกลไกการเกิดอันตรกิริยา ของพอลิเมอร์กับของเหลวและกลไกการแยกของกระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน พบว่าเมมเบรนมี เสถียรภาพสูงในการนำไปใช้แยกสารผสมคงจุดเดือดของ isopropanol ร้อยละ 87.5 โดยน้ำหนัก โดยให้ค่าการเลือกผ่านสูง (High selectivity) เท่ากับ 472 และให้ค่าฟลักซ์น้ำเท่ากับ 0.39 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ชั่วโมง ที่ความหนาของเมมเบรน 10 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังได้ศึกษา อิทธิพลของตัวแปรปฏิบัติการต่างๆ ได้แก่ องค์ประกอบสารป้อน ความหนาเมมเบรน และความดันเพอร์มิเอต ที่มีต่อสมรรถนะของเมมเบรนคือ ค่าฟลักซ์และค่าการเลือกผ่าน

Santosh และคณะ [18] เตรียมเมมเบรนไคโตซานที่เชื่อมขวางด้วย blocked diisocyanate ศึกษาสมบัติเมมเบรนเชื่อมขวางด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์มุมกว้าง (wide-angle X-ray diffraction, WAXD) การบวมตัวน้ำในช่วงร้อยละ 5 ถึง 40 ศึกษาสมรรถนะการแยกด้วย กระบวนการเพอร์เวปพอเรชันของสารผสมน้ำกับไอโซโพรพานอลที่อุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส พบว่าเมมเบรนที่มีปริมาณ blocked diisocyanate ร้อยละ 40 โดยมีผล แสดงค่า separation selectivity สูงสุดเท่ากับ 5,918 และค่าฟลักซ์น้ำเท่ากับ 2.20×10^{-2} กิโลกรัมต่อ ตารางเมตร ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อสารป้อนมีปริมาณน้ำร้อยละ 5 โดยมีผล โดย

ค่าพลาซมและค่าพลาซมามีค่าใกล้เคียงกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมมเบรนที่มีปริมาณการเชื่อมขวางสูง จึงได้ว่าเมมเบรนไคโตซานที่มีปริมาณ blocked diisocyanate สูง สามารถนำมาใช้แยกสารผสมคงจุดเดือดของ isopropanal อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ผ่านน้ำ (E_{pw}) มีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ผ่านไอโซโพรพานอล (E_{DIPA}) ถึง 3 เท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเมมเบรนแบบเชื่อมขวาง ค่าพลังงานกระตุ้นรวม (E_p) และของน้ำ (E_{pw}) มีค่าเกือบเท่ากัน จึงยืนยันได้ว่าการเคลื่อนที่คู่กันไปของโมเลกุลน้ำกับไอโซโพรพานอลน้อยมากเนื่องจากเมมเบรนมีความสามารถในการคัดเลือกสูงขึ้น โดยค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ผ่านเมมเบรน (E_p) อยู่ในช่วง 22.68 ถึง 30.78 กิโลจูลต่อโมล และค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่กระจาย (E_D) อยู่ในช่วง 21.19 ถึง 29.22 กิโลจูลต่อโมล ค่าพลังงานความร้อนการดูดซับ (ΔH_s) คำนวณได้เป็นบวกในเมมเบรนทุกสูตร แสดงว่ามีการดูดซับตามแบบ Henry



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเมมเบรน

1. ไคโตซาน (Chitosan) (Commercial grade): Eland Corporation Ltd.
2. เมทานอล (CH_3OH) (Commercial grade)
3. กรดแอสติก (CH_3OOH) ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยน้ำหนัก (Commercial grade)
4. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก (Commercial grade)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (Commercial grade)

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดไลโคพิน

1. เฮกเซน (C_6H_{14}) (commercial grade)
2. แอซีโตน (CH_3COCH_3) (AR grade)
3. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (AR grade)
4. ซอสมะเขือเทศเข้มข้น (Tomato paste) ตราไม้ก่า

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเมมเบรน

1. ไนโตรเจนเหลว (liquid N_2): บริษัทไทยอินดัสเตรียลแก๊สจำกัด (มหาชน)
2. สารมาตรฐานไลโคพินจากมะเขือเทศ ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$): ALDRICH

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเมมเบรน

1. เครื่องชั่ง (Analytical balance): METTLER TOLEDO รุ่น AB204-S
2. เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก: Schott รุ่น 625051010

3. แผ่นกระจก
4. อ่างน้ำอัลตราโซนิก (Ultrasonic water bath): BRANSONIC รุ่น 521
5. ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven): BINDER รุ่น ED 115

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของเมมเบรน

1. ไมโครมิเตอร์
2. เครื่องชั่ง (Analytical balance): METTLER TOLEDO รุ่น AB204-S
3. โถดูดความชื้น (Desiccators): SANPLATEC รุ่น C-3W No. 0031
4. ชุดทดสอบนาโนฟิลเตรชันแบบแผ่นและกรอบ
5. ชุดทดสอบเพอร์เมปพรेशनแบบแผ่นและกรอบ
6. ปั๊มความดันสูง (High pressure pump): Thermo Finnigan รุ่น P100
7. ปั๊มสุญญากาศ: EDWARDS รุ่น RV-3
8. Peristaltic pump: Masterflex

3.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดไลโคพิน

1. เครื่องเขย่า (Shaker): PNP รุ่น OS3
2. ขวดสีชา

3.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

1. เครื่อง Universal Testing: LLOYD Instruments LR 5K (ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
2. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR): Thermo รุ่น DF3C206A (ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
3. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (UV): Jasco รุ่น V-530 (ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
4. เครื่อง Scanning Electron Microscopy: JEOL รุ่น JSM-6400 (ศูนย์เครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
5. Total organic carbon analyser (TOC): Shimadzu รุ่น TOC-VCSH (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย)

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเลือกตัวทำละลายที่ใช้สกัดไลโคพินเพื่อใช้แทนเฮกเซน

1. นำขอสมะเขือเทศเข้มข้นผสมกับตัวทำละลายใส่ในขวดสีชาและหุ้มด้วยกระดาษพอยล์เพื่อป้องกันแสง ในอัตราส่วนมะเขือเทศต่อสารสกัด เท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยปริมาตร โดยตัวทำละลายที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แอซีโตน, เอทานอล และเฮกเซน
2. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
3. วิเคราะห์ไลโคพินเชิงคุณภาพ ด้วยเครื่อง UV

3.4.2 วิธีการเตรียมเมมเบรน

เมมเบรนที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 2 ชนิด ดังนี้

- (1) เมมเบรนไคโตซานไม่เชื่อมขวาง
- (2) เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง

(1) การเตรียมเมมเบรนไคโตซานไม่เชื่อมขวาง มีขั้นตอนการเตรียมดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนี้

- ก) เตรียมสารละลายไคโตซานร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ในสารละลายกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (โดยละลายไคโตซาน 3 กรัม ในสารละลายกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก หนัก 97 กรัม)
- ข) กวนสารละลายด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ค) กรองส่วนที่ไม่ละลายด้วยผ้าพอลิเอสเตอร์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ไล่ฟองอากาศ
- ง) เทสารละลายไคโตซานปริมาณ 17-18 กรัม บนแผ่นกระจกขนาด 15×15 ตารางเซนติเมตร ทำการแผ่ให้เต็มแผ่นกระจกอย่างสม่ำเสมอ (ซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะได้แผ่นเมมเบรนหนาประมาณ 20-30 ไมครอน)
- จ) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง

- ฉ) แซ่เมมเบรอนในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนเมมเบรอนมีสภาพเป็นกลาง จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
- (2) การเตรียมเมมเบรอนไคโตซานเชื่อมขวาง มีขั้นตอนการเตรียมดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนี้
- ก) ดำเนินการเหมือนกับการเตรียมเมมเบรอนไคโตซานไม่เชื่อมขวางตั้งแต่ขั้นตอน ก) ถึง ฉ)
- ข) แซ่เมมเบรอนในสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จนเมมเบรอนมีสภาพเป็นกลาง ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.1 แผนภาพการเตรียมเมมเบรอนไคโตซานไม่เชื่อมขวาง

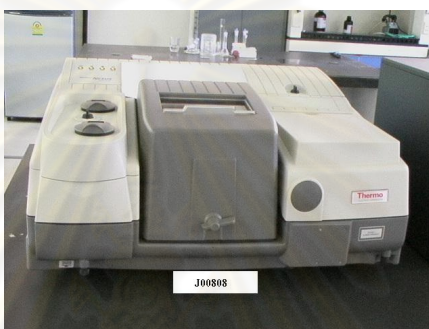


รูปที่ 3.2 แผนภาพการเตรียมเมมเบรนโคโตนเชื่อมขวาง

3.4.3 การทดสอบสมบัติของเมมเบรน

3.4.3.1 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FTIR

1. ตัดตัวอย่างเมมเบรนให้ได้ขนาด 10×10 ตารางเซนติเมตร
2. วางแผ่นตัวอย่างเมมเบรนลงบนตัวรองรับตัวอย่างแบบแผ่นฟิล์ม
3. นำเข้าเครื่อง FTIR ในรูปที่ 3.3 โดยใช้ความยาวคลื่นในการทดสอบ $400-4,000 \text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.3 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy

3.4.3.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เนื่องจากการตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเมมเบรนไคโตซานในสภาพปกติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมักจะไม่สามารถเห็นโครงสร้างรูพรุนได้ชัดเจนนัก การสร้างสถานการณ์ทำให้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ แล้วทำให้น้ำในเมมเบรนแข็งตัว เมื่อระเหิดน้ำแข็งในเมมเบรนออก และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดน่าจะเห็นโครงสร้างรูพรุนในเมมเบรนไคโตซานได้ชัดเจนขึ้น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. แช่เมมเบรนในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำจนสมดุล
2. เช็ดน้ำบนผิวหน้าเมมเบรนออกด้วยกระดาษซับ
3. นำเมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำไปแช่แข็งในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง
4. ระเหิดน้ำแข็งออกด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze dryer)

5. แच्छ์แผ่นเมมเบรนในไนโตรเจนเหลวเพื่อให้สามารถหักแผ่นเมมเบรนได้
6. นำไปติดบนที่รองรับของเครื่อง SEM ด้วยกาวสองหน้าอย่างบาง
7. นำตัวอย่างไปเคลือบทอง แล้วทำการตรวจสอบภาคตัดขวางของเมมเบรนที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

3.4.3.3 การทดสอบค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ (Pure water flux, PWF)

เนื่องจากค่าความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์กับแรงขับเคลื่อน (Driving force) ซึ่งคือค่าความสามารถในการซึมผ่านเมมเบรน (Membrane permeability) สามารถบอกค่าความความต้านทานของเมมเบรนหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งบ่งบอกลักษณะการอัดตัวการแน่น (Compactness) ของเนื้อเมมเบรนได้ จึงดำเนินการทดสอบดังนี้

1. ตัดเมมเบรนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร วางบนหน้าแปลนของชุดทดสอบนาโนฟิลเตรชันแบบแผ่นและครอบในรูปที่ 3.4
2. ป้อนน้ำบริสุทธิ์ที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที (อัตราการไหลสูงสุดของปั๊มความดันสูงในงานวิจัยนี้) เข้าไปใน Membrane cell
3. ควบคุมแรงดันทางด้านสารป้อนที่ระดับ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ขณะที่ความดันด้านเพอร์มิเอตเท่ากับความดันบรรยากาศ
4. รอจนได้ปริมาณน้ำที่ซึมผ่านเมมเบรนคงที่ (Steady state)
5. จับเวลาวัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านเมมเบรน (น้ำเพอร์มิเอต) คำนวณค่าฟลักซ์ตามสมการที่ (3.1)
6. เปลี่ยนเมมเบรนแผ่นใหม่และควบคุมค่าแรงดันด้านสารป้อนเป็น 200 และ 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ จับเวลาวัดปริมาณน้ำเพอร์มิเอตที่แต่ละแรงดัน เพื่อคำนวณค่าฟลักซ์ตามสมการที่ (3.1) เช่นเดิม

$$J = \frac{Q}{A\Delta t} \quad (3.1)$$

เมื่อ J = ฟลักซ์ (ลิตร/ตารางเมตร/ชั่วโมง)

Q = ปริมาณเพอร์มิเอตที่ผ่านเมมเบรน (ลิตร)

A = พื้นที่ผิวของเมมเบรนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (ตารางเมตร)

Δt = เวลาที่เก็บเพอร์มิเอต (ชั่วโมง)



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบนาโนฟิลเตรชันแบบแผ่นและกรอบ

3.4.3.4 การวิเคราะห์ค่า Molecular weight cut off (MWCO)

ในงานวิจัยนี้เลือกทดสอบค่าร้อยละการกักกันของสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ด้วยชุดทดสอบนาโนฟิลเตรชันแบบแผ่นและกรอบ เพื่อวิเคราะห์หาค่า MWCO ของเมมเบรน ดังนี้

1. เตรียมสารละลาย PEG ในน้ำให้มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน คือ 200, 400, 600 และ 1,000 ดังตัวอย่างแสดงการเตรียมสารละลาย PEG ในภาคผนวก ข
2. วิเคราะห์ความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัม/ลิตร ของปริมาณธาตุคาร์บอนทั้งหมดของสารละลายป้อน PEG ด้วยเครื่อง TOC
3. ควบคุมค่าแรงดันด้านสารป้อนเป็น 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
4. รวณได้ปริมาณเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรนคงที่

5. นำตัวอย่างเพอร์มิเอตปริมาตร 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์ความเข้มข้นของปริมาณธาตุคาร์บอนทั้งหมดด้วยเครื่อง TOC
6. คำนวณค่าร้อยละการกักกันสาร (%R) ตามสมการที่ (3.2)
7. เปลี่ยนสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอื่นต่อไป และดำเนินตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 ข้างต้น
8. พล็อตค่าร้อยละการกักกันสารที่แต่ละน้ำหนักโมเลกุล ค่า MWCO ของเมมเบรน คือ ค่าน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ถูกกักกันได้ร้อยละ 90-95

$$\%R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ C_p = ความเข้มข้นขององค์ประกอบในเพอร์มิเอต (พีพีเอ็ม)

C_f = ความเข้มข้นขององค์ประกอบในสารป้อน (พีพีเอ็ม)

3.4.3.5 ความสามารถทนต่อแรงดึง (Tensile strength)

1. ตัดเมมเบรนให้มีขนาด 5×150 ตารางมิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ก)
2. วัดความหนาของเมมเบรนด้วยไมโครมิเตอร์
3. ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D882 ด้วยเครื่อง Universal testing machine ในรูปที่ 3.5 (ข) ที่สภาวะในการทดสอบ ดังนี้
 - ก) ความเร็วในการดึง (Crosshead speed) เท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที
 - ข) ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) เท่ากับ 50 มิลลิเมตร
 - ค) ใช้ค่าโหลดเซลล์ (Load cell) เท่ากับ 100 นิวตัน



(ก) แผ่นเมมเบรนที่นำมาทดสอบ (ข) เครื่อง Universal testing machine
รูปที่ 3.5 เครื่อง Universal Testing LLOYD Instruments LR 5K

3.4.3.6 การทดสอบการดูดซับน้ำในเมมเบรน

การตรวจสอบความชอบน้ำของเมมเบรนนอกจากการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle) แล้ว ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรนสามารถบ่งบอกความชอบน้ำได้เช่นกัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดเมมเบรนตัวอย่างให้มีขนาด 1×1 ตารางนิ้ว
2. ชั่งน้ำหนักของเมมเบรนแห้ง
3. แช่เมมเบรนตัวอย่างในน้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เช็ดน้ำบนผิวหน้าของเมมเบรนออกด้วยกระดาษซับอย่างเบา ๆ แล้วชั่งน้ำหนักของเมมเบรน โดยต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้น้ำที่ดูดซับในเมมเบรนระเหยออกไป คำนวณปริมาณการดูดซับตามสมการที่ 3.3
5. ดำเนินการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ถึง 4 จนกระทั่งได้น้ำหนักของเมมเบรนเปียกคงที่

$$\text{ปริมาณการดูดซับ} = \frac{\text{น้ำหนักเมมเบรนเปียก} - \text{น้ำหนักเมมเบรนแห้ง}}{\text{น้ำหนักเมมเบรนแห้ง}} \quad (3.3)$$

3.4.3.7 การทดสอบการดูดซับสารละลายไลโคพีนในเมมเบรน

ในทำนองเดียวกันเพื่อการตรวจสอบความชอบสารละลายไลโคพีนของเมมเบรน จึงดำเนินการทดสอบดังนี้

1. ตัดเมมเบรนตัวอย่างให้มีขนาด 1×1 ตารางนิ้ว
2. ชั่งน้ำหนักของเมมเบรนแห้ง
3. แช่เมมเบรนตัวอย่างในสารละลายไลโคพีนความเข้มข้น 35 พีพีเอ็ม (ความเข้มข้นสูงสุดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เช็ดสารละลายบนผิวหน้าของเมมเบรนออกด้วยกระดาษซับอย่างเบา ๆ แล้วชั่งน้ำหนักของเมมเบรน โดยต้องดำเนินการอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้สารละลายที่ดูดซับในเมมเบรนระเหยออกไป คำนวณปริมาณการดูดซับตามสมการที่ 3.3
5. ดำเนินการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ถึง 4 จนกระทั่งได้น้ำหนักของเมมเบรนเปียกคงที่

3.4.4 การทดสอบการแยกไลโคพีนออกจากสารสกัดด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration process) ซึ่งจะใช้ป้อนความดันสูงผลักดันสารละลายป้อนไปยังผิวหน้าเมมเบรนให้เมมเบรนเลือกองค์ประกอบบางชนิดผ่านเมมเบรนออกไปเป็นเพอร์มิเอต และกระบวนการเพอร์แวกพอเรชัน (Pervaporation process) ซึ่งจะใช้ป้อนสุญญากาศทางด้านหลังเมมเบรนดูดสารที่เมมเบรนดูดซับไว้ออกจากเมมเบรนเป็นเพอร์มิเอตโดยมีวิธีการศึกษาดังนี้

- 1) กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration process)
 - ก. ตัดเมมเบรนเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตรวางบนหน้าแปลนของชุดทดสอบนาโนฟิลเตรชันแบบแผ่นและครอบในรูปที่ 3.4
 - ข. ป้อนสารละลายไลโคพีนความเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที (อัตราการไหลสูงสุดของป้อนความดันสูงในงานวิจัยนี้) เข้าไปใน Membrane cell
 - ค. ควบคุมแรงดันทางด้านสารป้อนที่ระดับ 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ขณะที่ความดันด้านเพอร์มิเอตเท่ากับความดันบรรยากาศ

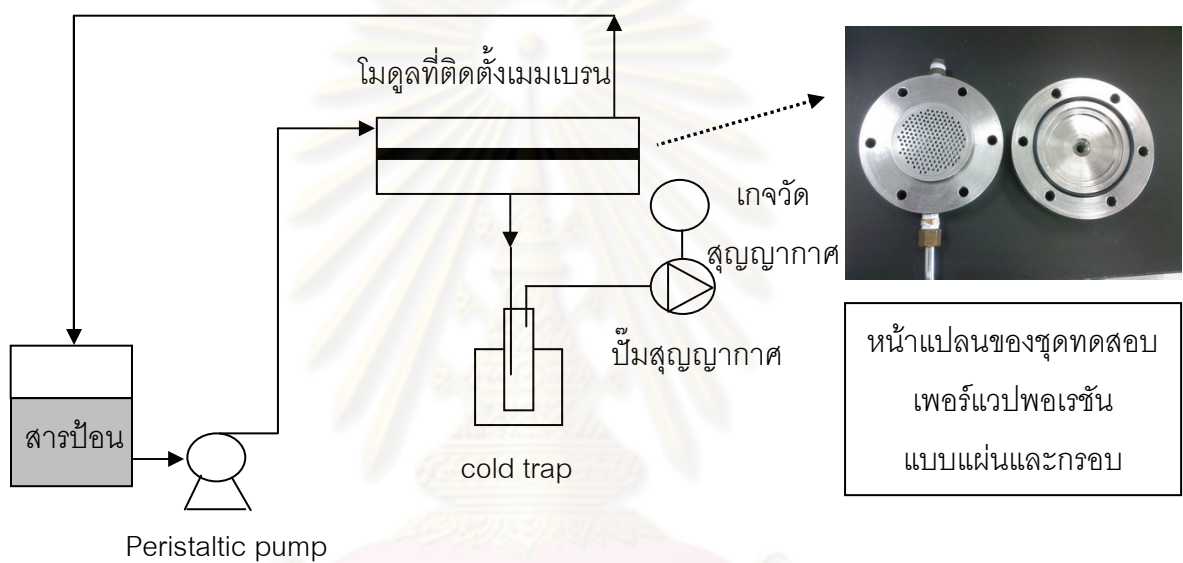
- ง. เก็บเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรนโดยการควบคุมแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว
- จ. รอจนได้ปริมาณเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรนคงที่ (Steady state)
- ฉ. จับเวลาวัดปริมาณเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรน คำนวณค่าฟลักซ์ตามสมการที่ (3.1)
- ช. วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในเพอร์มิเอตด้วยเครื่อง UV
- ซ. คำนวณค่าร้อยละการกักกันตามสมการที่ (3.2)

2) กระบวนการเพอร์แปปอเรชัน (Pervaporation process)

- ก. ตัดเมมเบรนเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 46 มิลลิเมตรวางบนหน้าแปลนของชุดทดสอบเพอร์แปปอเรชันแบบแผ่นและกรอบในรูปที่ 3.6
- ข. ป้อนสารละลายไลโคพีนความเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วย Peristaltic pump ที่อัตราการไหล 75 มิลลิลิตรต่อนาที เข้าไปใน Membrane cell
- ค. เดินปั๊มสุญญากาศ โดยควบคุมระดับสุญญากาศสูงสุด (ประมาณ -1 บาร์)
- ง. เก็บเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรนโดยการควบคุมแน่นด้วยไนโตรเจนเหลว
- จ. รอจนได้ปริมาณเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรนคงที่ (Steady state)
- ฉ. จับเวลาวัดปริมาณเพอร์มิเอตที่ซึมผ่านเมมเบรน คำนวณค่าฟลักซ์ตามสมการที่ (3.1)
- ช. วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนในเพอร์มิเอตด้วยเครื่อง UV
- ซ. คำนวณค่าร้อยละการกักกันตามสมการที่ (3.2) เพื่อจะได้สามารถเปรียบเทียบกับผลจากการเดินระบบด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน
- ณ. คำนวณค่าแฟกเตอร์การแยก (Separation factor) ตามสมการที่ (3.4) ตามรูปแบบการศึกษาสมรรถนะของกระบวนการเพอร์แปปอเรชัน

$$\alpha_{i/j} = \frac{c_{ip} / c_{jp}}{c_{if} / c_{jf}} \quad (3.4)$$

เมื่อ	$\alpha_{i/j}$	= ค่าแฟกเตอร์การแยกขององค์ประกอบ i เทียบกับองค์ประกอบ j
	c_{ip}	= ความเข้มข้นขององค์ประกอบ i ในเพอร์มิเอต (พีพีเอ็ม)
	c_{jp}	= ความเข้มข้นขององค์ประกอบ j ในเพอร์มิเอต (พีพีเอ็ม)
	c_{if}	= ความเข้มข้นขององค์ประกอบ i ในสารป้อน (พีพีเอ็ม)
	c_{jf}	= ความเข้มข้นขององค์ประกอบ j ในสารป้อน (พีพีเอ็ม)



รูปที่ 3.6 แผนผังชุดทดสอบเพอร์แวปพอเรชันแบบแผ่นและกรอบ

3.4.5 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายไลโคพินและผลของแรงขับเคลื่อนต่อสมรรถนะการแยก

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการแยกซึ่งศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความเข้มข้นและแรงขับเคลื่อน โดยมีวิธีการดำเนินการศึกษาดังนี้

- 1) กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน
 - ก. เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายไลโคพินเป็น 25 และ 35 พีพีเอ็มตามลำดับ และดำเนินตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.4 ที่ระดับความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ข. ดำเนินตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.4 ที่ความเข้มข้นของสารละลายไลโคพีน เท่ากับ 15 พีพีเอ็ม แต่เปลี่ยนแรงดันเป็น 100 และ 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ

2) กระบวนการเพอร์เวปพอร์เรชัน

ก. เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายไลโคพีนเป็น 25 และ 35 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และดำเนินตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.4 ที่ระดับสุญญากาศ เท่ากับ -1 บาร์

ข. ดำเนินตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.4.4 ที่ความเข้มข้นของสารละลายไลโคพีน เท่ากับ 15 พีพีเอ็ม แต่เปลี่ยนระดับสุญญากาศเป็น -0.5 และ -0.2 บาร์ ตามลำดับ



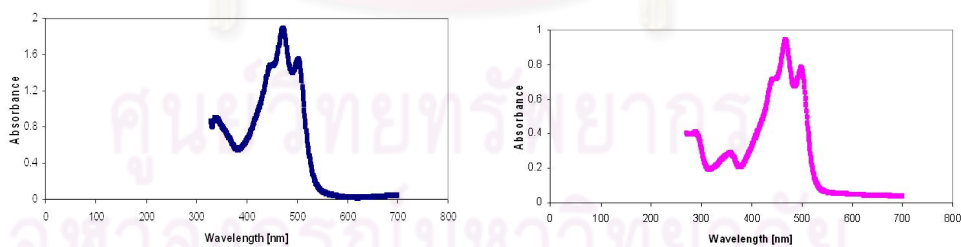
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

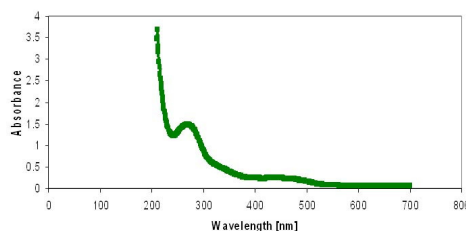
4.1 ผลการเลือกสารสกัดไลโคพีนเพื่อใช้แทนเฮกเซน

จากการทดสอบการสกัดไลโคพีนด้วยเอซีโทน เฮกเซน และเอทานอล โดยการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์ไลโคพีนเชิงคุณภาพ ด้วยเครื่อง UV ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า สารไลโคพีนที่สกัดด้วยเอซีโทนให้ค่าความยาวคลื่น λ_1 , λ_2 และ λ_3 ที่ 445, 471 และ 500 นาโนเมตร ตามลำดับ และเฮกเซนให้ค่าความยาวคลื่น λ_1 , λ_2 และ λ_3 ที่ 445, 471 และ 502 นาโนเมตร ตามลำดับ แต่เอทานอลไม่ปรากฏพีคที่แสดงการดูดซับของสารไลโคพีน และเมื่อนำค่า λ ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า λ ของสารไลโคพีนมาตรฐาน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันที่ตัวทำละลายเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จึงกล่าวได้ว่าทั้งเอซีโทนและเฮกเซนสามารถสกัดสารไลโคพีนจากมะเขือเทศได้เช่นเดียวกัน แต่เอซีโทนมีค่า Threshold Limit Value - Time Weighted Average (TLV-TWA) เท่ากับ 500 พีพีเอ็ม สูงกว่าของเฮกเซนซึ่งมีค่าเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม และมีราคาที่ถูกกว่าเฮกเซน (สอบถามราคาจากบริษัทขายสารเคมีในประเทศ) ดังนั้นเอซีโทนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นสารสกัดไลโคพีนจากมะเขือเทศแทนเฮกเซน และได้ถูกเลือกใช้เป็นสารสกัดในงานวิจัยนี้



(ก) แอซีโทน

(ข) เฮกเซน



(ค) เอทานอล

รูปที่ 4.1 UV spectra ของสารละลายไลโคพีนในตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าความยาวคลื่นของสารไลโคพินที่สกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ
เทียบกับความยาวคลื่นของสารไลโคพินมาตรฐาน

(ก) สารไลโคพินมาตรฐาน [19]

ตัวทำละลาย	λ_1 (nm)	λ_2 (nm)	λ_3 (nm)
แอสีโทน	445	473	505
เฮกเซน	445	471	502

(ข) ตัวอย่างสารไลโคพิน

ตัวทำละลาย	λ_1 (nm)	λ_2 (nm)	λ_3 (nm)
แอสีโทน	445	471	500
เฮกเซน	445	471	502

4.2 ผลการเตรียมตัวอย่างไลโคพิน

การสกัดสารไลโคพินในซอสมะเขือเทศด้วยแอสีโทนที่อัตราส่วนซอสมะเขือเทศต่อแอสีโทนเท่ากับ 1 ต่อ 10, 1 ต่อ 20 และ 1 ต่อ 30 ได้ความเข้มข้นสารไลโคพินเป็น 37.5 ± 3.2 , 25.7 ± 6.2 และ 14.2 ± 3.3 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ดังนั้นในการเตรียมสารป้อนไลโคพินเพื่อการศึกษาในส่วนต่อไป จึงสกัดที่อัตราส่วน 1 ต่อ 10 วิเคราะห์ความเข้มข้นที่แน่นอนด้วย standard curve ของ UV และคำนวณปริมาณแอสีโทนเพื่อเติมให้ได้ความเข้มข้นสารละลายไลโคพินเท่ากับ 15, 25 และ 35 พีพีเอ็ม ดังตัวอย่างแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

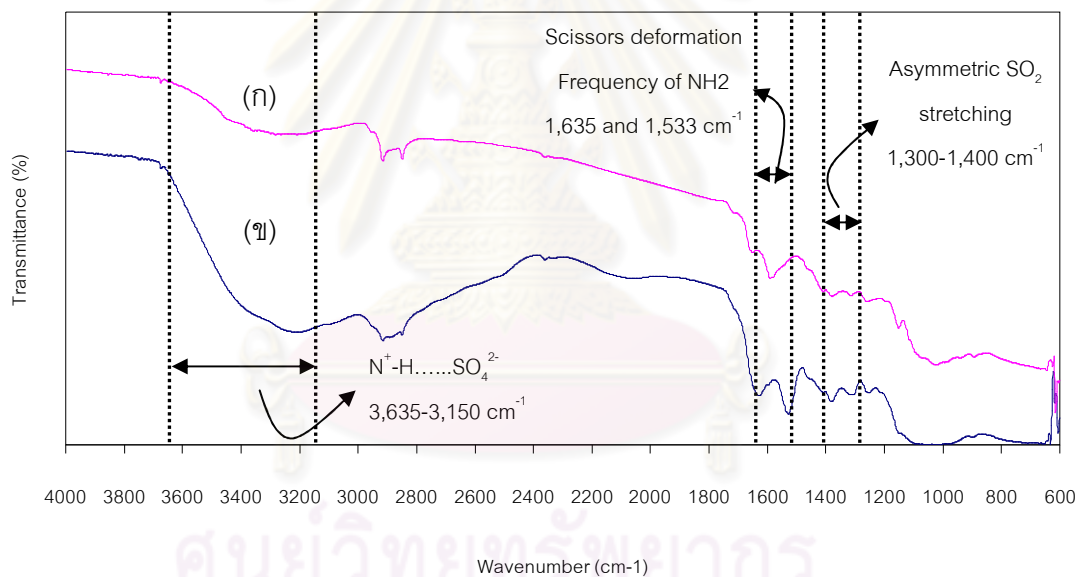
4.3 ผลการทดสอบสมบัติของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวาง

ไคโตซานที่ใช้เตรียมเมมเบรนในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) และร้อยละการกำจัดหมู่แอสีทิล (%Deacetylation) เท่ากับ 9.5×10^5 ดอลตัน และ 90 ± 5 ตามลำดับ เมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีความหนา 23.0 ± 3.0 และ 23.3 ± 2.0 ไมครอน ตามลำดับ มีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมี

เพื่อตรวจสอบความแตกต่างโครงสร้างทางเคมีของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและหลังจากการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่า FTIR spectrum ของเส้น (ก) ในรูปที่ 4.2 ปรากฏพีคของหมู่ Amine deformation (NH_2) ที่หมายเลขคลื่น $1,592 \text{ cm}^{-1}$ พีคของหมู่ C-O-C ใน Membered ring stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ $1,074\text{--}1,076 \text{ cm}^{-1}$ พีคของหมู่ C-H stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ $2,849\text{--}2,916 \text{ cm}^{-1}$ และพีคของหมู่ O-H และ N-H stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่น

ประมาณ $3,358-3,589 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคแสดงหมู่ฟังก์ชันของไคโตซาน หลังจากการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกตาม FTIR spectrum ของเส้น (ข) พบว่าเกิดพีคคู่ของหมู่ NH_3^+ ที่หมายเลขคลื่น $1,533$ และ $1,635 \text{ cm}^{-1}$ อย่างชัดเจน เนื่องจากหมู่เอมีนในไคโตซานถูก protonated โดยโปรตอนจากกรดซัลฟิวริก นอกจากนี้ยังเกิดพีคลักษณะฐานกว้าง ที่ช่วงหมายเลขคลื่นใกล้เคียง $3,150 \text{ cm}^{-1}$ และเกิดการ shift ของ C-H stretching ไปยังหมายเลขคลื่นที่สูงขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ NH_3^+ และ SO_4^{2-} รวมทั้งยังมีพีคของหมู่กรดซัลฟอนิก ได้แก่ asymmetric SO_2 stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ $1,300-1,400 \text{ cm}^{-1}$ พีคของเกลือกรดซัลฟอนิกที่หมายเลขคลื่นประมาณ 1386 cm^{-1} แสดงว่ากรดซัลฟิวริกสามารถสร้างพันธะกับหมู่ฟังก์ชันเอมีนของไคโตซานได้ เป็นเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวางตามต้องการ



รูปที่ 4.2 FTIR spectra ของเมมเบรนไคโตซาน

(ก) แบบไม่เชื่อมขวาง (ข) แบบเชื่อมขวาง

4.3.2 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

รูปที่ 4.3 เป็นภาพภาคตัดขวาง SEM ของเมมเบรนไคโตซานที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าเมมเบรนส่วนใหญ่ที่เตรียมขึ้นมีลักษณะเนื้อแน่น ไม่สามารถเห็นรูพรุนที่ชัดเจนตามที่คาดหวังไว้ แม้ว่าจะมีการทำให้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำก่อนนำไปทดสอบแล้วก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมมเบรนที่เตรียมขึ้นมีความหนาแน่นเกินไป อย่างไรก็ตาม

เบรนโคโตซานสามารถเตรียมให้มีโครงสร้างแตกต่างกันได้ด้วยการปรับเปลี่ยนเวลาในการระเหยตัวทำละลาย หรือปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลาย หรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีด้วยการเชื่อมขวาง ดังนี้

4.3.2.1 ผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลาย

รูปที่ 4.3 (ก) ถึง (ค) เป็นภาพของเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่อุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลาย 40 องศาเซลเซียส เท่ากัน แต่ใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มขึ้นจาก 2 ชั่วโมง เป็น 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า เมมเบรนในรูป (ก) มีเนื้อพอลิเมอร์อยู่อย่างหลวม ๆ ในขณะที่เมมเบรนในรูป (ข) พบโครงสร้างที่มีเนื้อแน่นขึ้น โดยเห็นแนวแบ่งแยกระหว่างชั้นที่มีเนื้อแน่นกับชั้นที่เนื้อพอลิเมอร์อยู่กันอย่างหลวม ๆ และเมมเบรนมีเนื้อแน่นตลอดภาคตัดขวางเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายเป็น 6 ชั่วโมง

4.3.2.2 ผลของอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลาย

การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเมมเบรนนอกจากการเพิ่มระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายแล้วอาจใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายก็ได้ เช่น รูปที่ 4.3 (ก) และ (ค) เป็นภาพของเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่ใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 2 ชั่วโมง เท่ากัน แต่เพิ่มอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางมีโครงสร้างเนื้อแน่นตั้งแต่ 2 ชั่วโมง เมื่อใช้อุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส

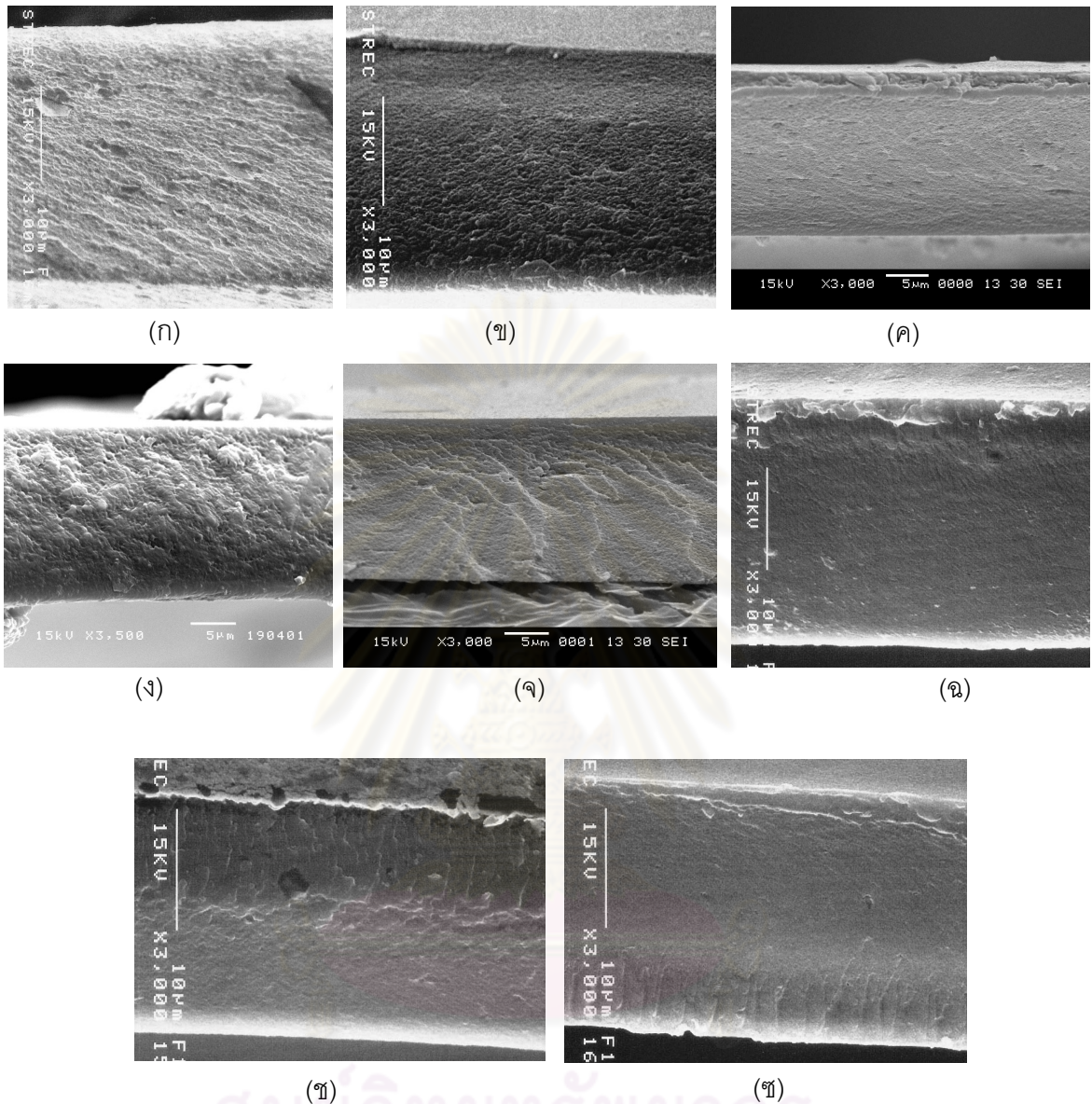
สำหรับเมมเบรนโคโตซานแบบเชื่อมขวางในรูปที่ 4.3 (ข) และ (ช) ซึ่งระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้เมมเบรนที่มีโครงสร้างเนื้อแน่นตั้งแต่ 2 ชั่วโมง เช่นกัน

4.3.2.3 ผลของการเชื่อมขวางเมมเบรนด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

เมื่อพิจารณาเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางที่สภาวะในการระเหยตัวทำละลายเดียวกันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ในรูปที่ 4.3 (ก) กับ (ง) และ (ข) กับ (จ) ตามลำดับ พบว่าการเชื่อมขวางทำให้เมมเบรนมีโครงสร้างเนื้อแน่นขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเมมเบรนมีโครงสร้างเนื้อแน่นแล้วดังรูป (ฉ) และ (ช) ซึ่งใช้สภาวะในการระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะไม่เห็นความแตกต่างใด ๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ภาพภาคตัดขวาง SEM ของเมมเบรนไคโตซานที่เตรียมขึ้น

- (ก) อบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แบบไม่เชื่อมขวาง
 (ข) อบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แบบไม่เชื่อมขวาง
 (ค) อบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แบบไม่เชื่อมขวาง
 (ง) อบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แบบเชื่อมขวาง
 (จ) อบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แบบเชื่อมขวาง
 (ฉ) อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แบบไม่เชื่อมขวาง
 (ช) อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แบบเชื่อมขวาง
 (ซ) อบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แบบเชื่อมขวาง

4.3.3 ผลการทดสอบค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์

จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่า สำหรับเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางเมื่อเวลาในการระเหยมากขึ้นจาก 2 เป็น 6 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลาย 40 องศาเซลเซียส ค่าฟลักซ์น้ำลดลงจาก 10.3 ± 2.4 เป็น 3.6 ± 0.1 ลิตร/(ตารางเมตร-ชั่วโมง) แสดงว่าเมมเบรนมีโครงสร้างที่แน่นขึ้นสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วย SEM ข้างต้น ในทำนองเดียวกันการระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ผลค่าฟลักซ์น้ำลดลงจาก 10.1 ± 2.1 เป็น 2.2 ± 1.0 ลิตร/(ตารางเมตร-ชั่วโมง) เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการระเหยจาก 2 เป็น 6 ชั่วโมง แต่การระเหยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้ค่าฟลักซ์น้ำเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.1 ± 0.2 ถึง 3.1 ± 0.8 ลิตร/(ตารางเมตร-ชั่วโมง) เมื่อเพิ่มเวลาในการระเหยตัวทำละลายจาก 2 เป็น 8 ชั่วโมง ใกล้เคียงกับค่าฟลักซ์น้ำของเมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (2.2 ± 1.0 ลิตร/(ตารางเมตร-ชั่วโมง)) ซึ่งแสดงว่าการเตรียมเมมเบรนในสภาวะที่กล่าวนี้ทำให้ได้โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาเหมือนกัน กล่าวคือมีเนื้อแน่นเหมือนกัน กล่าวได้ว่าเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางให้โครงสร้างรูพรุนตลอดภาคตัดขวางจากการระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 40 หรือ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และโครงสร้างเนื้อแน่นตลอดภาคตัดขวางจากการระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง หรือใช้ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง สภาวะอื่น ๆ ระหว่างช่วงดังกล่าวเมมเบรนน่าจะมีโครงสร้างแบบอสัณฐานโดยมีชั้นเนื้อแน่นอยู่ด้านบน (ด้านที่เปิดสู่บรรยากาศในขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นกระจก) และชั้นมีรูพรุนอยู่ด้านล่าง (ด้านที่ติดกับกระจก)

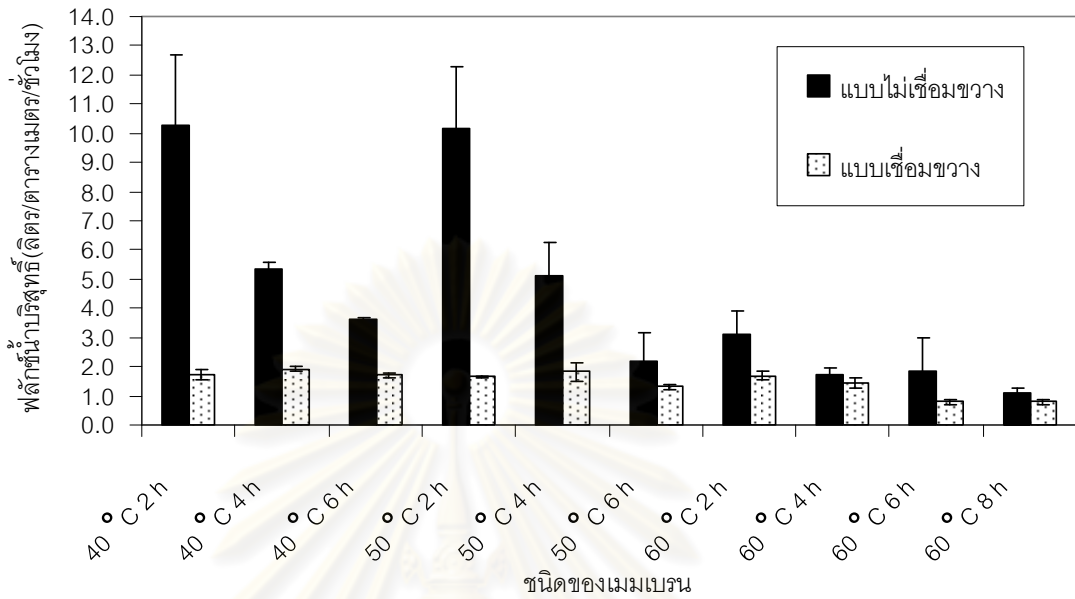
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการระเหยตัวทำละลายกับน้ำหนักของเมมเบรนที่หายไป พบว่า การระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เมมเบรนเริ่มมีน้ำหนักคงที่ หลังจากใช้เวลาในการระเหย 6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงว่าตัวทำละลายได้ระเหยไปหมดแล้ว ทำให้ได้เมมเบรนเนื้อแน่น ขณะที่ต้องใช้เวลาในการระเหยมากกว่า 6 ชั่วโมง สำหรับการใช้อุณหภูมิต่ำที่ 40 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับผลการศึกษาข้างต้น ความชันของความสัมพันธ์เชิงเส้นของรูปที่ 4.5 ยังบ่งบอกค่าอัตราการระเหย (Evaporation rate) ของตัวทำละลายสารละลายกรดแอสติก เพื่อประโยชน์ใช้ในการกำหนดสภาวะในการเตรียมเมมเบรนให้ได้ลักษณะ

โครงสร้างตามต้องการ โดยอัตราการระเหย ณ อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ของการเตรียมเมมเบรนไคโตซานเท่ากับ 1.6235, 4.2924 และ 6.1373 กรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ

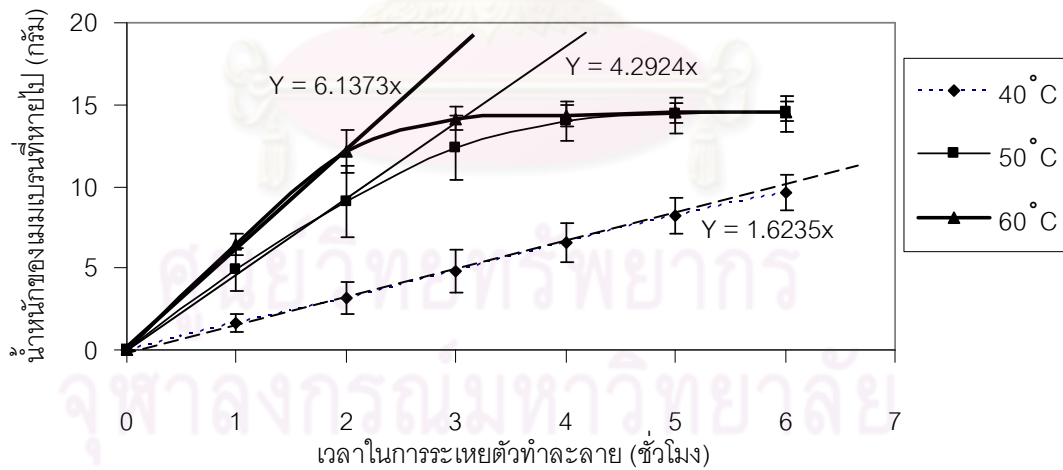
กรณีของเมมเบรนแบบเชื่อมขวาง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส หรือเพิ่มเวลาจาก 2 เป็น 8 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์มากนัก โดยมีค่าแกว่งอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 ± 0.1 ถึง 1.9 ± 0.1 ลิตร/(ตารางเมตร-ชั่วโมง) และมีค่าใกล้เคียงกับค่าฟลักซ์น้ำของเมมเบรนไม่เชื่อมขวางที่มีลักษณะเนื้อแน่น สอดคล้องกับผลการศึกษาด้วย SEM เช่นกัน

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ พบว่า ทั้งเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวางและไม่เชื่อมขวาง เมื่อเพิ่มความดันจะทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และเมื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความดันและค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ พบว่า เมมเบรนที่ไม่มีการเชื่อมขวางมีค่าความชันเท่ากับ 0.039 ลิตร/(ชั่วโมง-ตารางเมตร-ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) สูงกว่าเมมเบรนที่มีการเชื่อมขวางประมาณ 7 เท่า ซึ่งค่าความชันนี้ บ่งบอกถึงความสามารถในการซึมผ่านของเมมเบรน (membrane permeability) แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมขวางทำให้เมมเบรนมีเนื้อแน่นขึ้น

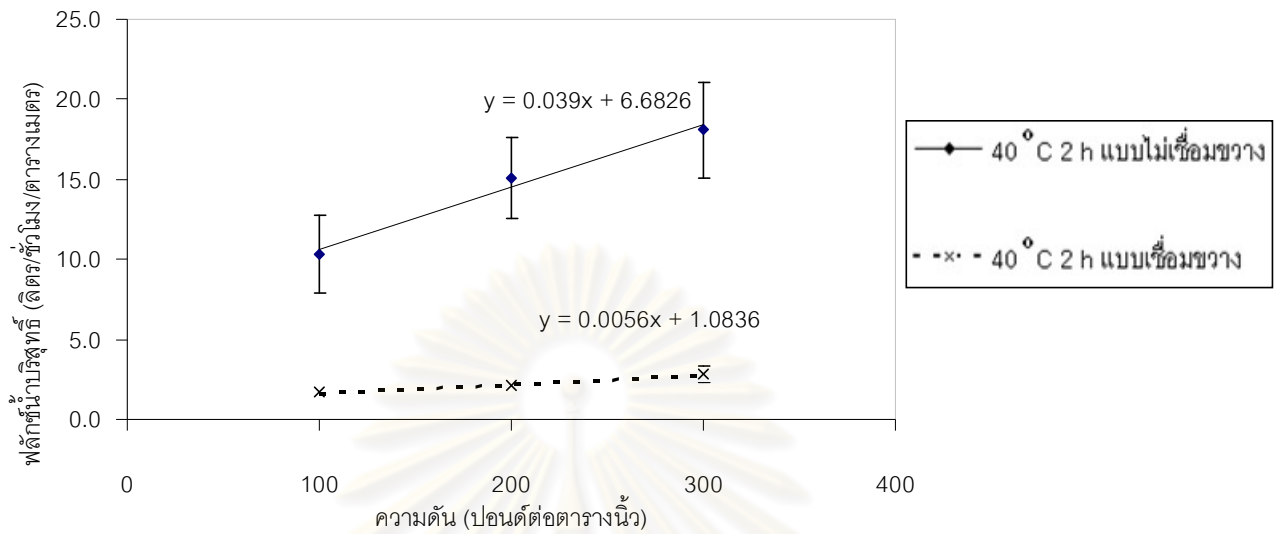
สรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการระเหยตัวทำละลายทำให้เมมเบรนไคโตซานมีลักษณะฐานวิทยาศาสตร์เป็นเนื้อแน่นขึ้นซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อตัวทำละลายระเหยออกไปมากขึ้นจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เข้าใกล้กันมากขึ้นตามลำดับด้วย แต่เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพการใช้อุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายสูงหรือใช้เวลานานเกินไปอาจมีผลต่อสมบัติความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนได้ และจากผลการศึกษาข้างต้นแสดงว่าอาจใช้การเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นอีกหนึ่งวิธีในการเปลี่ยนลักษณะฐานวิทยาศาสตร์ของเมมเบรนจากโครงสร้างรูพรุนเป็นเนื้อแน่น อธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ว่าน่าจะเกิดจากการเกิดพันธะของหมู่ SO_4^{2-} ซึ่งเป็นลบกับหมู่ NH_3^+ ซึ่งเป็นบวก 2 หมู่ของสายโซ่ไคโตซาน 2 สายในเมมเบรนแบบเชื่อมขวาง ดังรูปที่ 4.7 ทำให้สายโซ่ไคโตซานถูกดึงเข้าใกล้กันมากขึ้นจากแรงพันธะไอออนิกของประจุตรงข้ามกัน



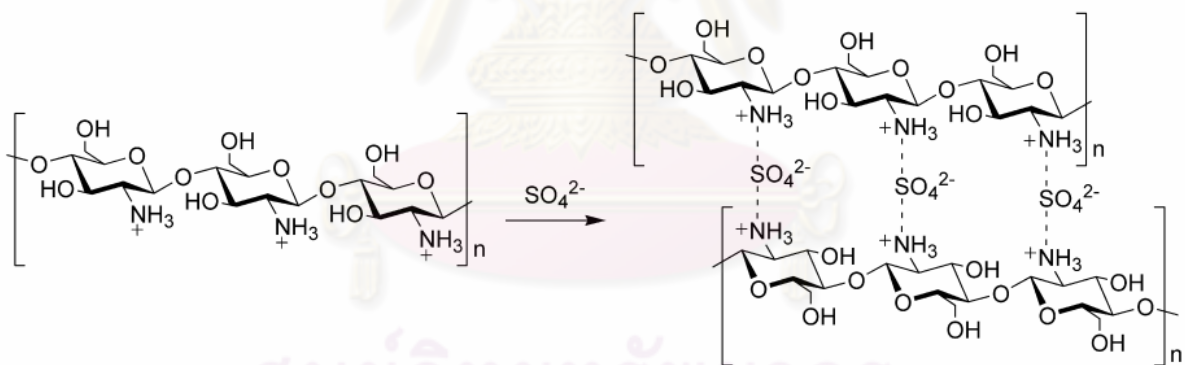
รูปที่ 4.4 ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวาง สูตรต่าง ๆ ที่สภาวะใช้แรงขับดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการระเหยตัวทำละลายกับน้ำหนักของเมมเบรนไคโตซานที่หายไป โดยการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวาง



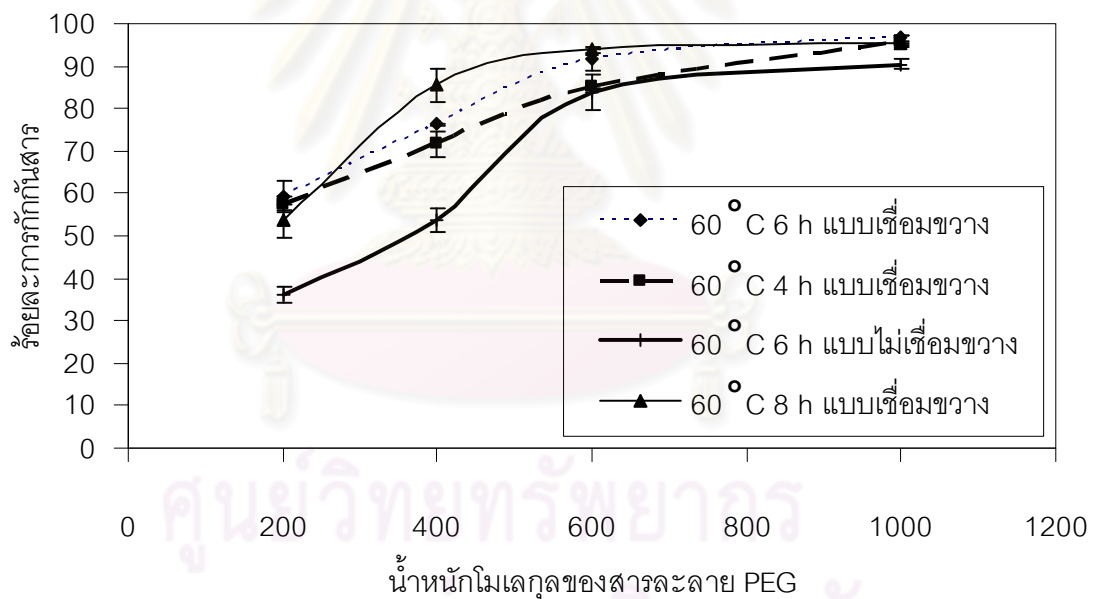
รูปที่ 4.7 การเกิดพันธะไอออนิกในสายโซ่ไคโตซาน [20]

4.3.4 ผลการทดสอบค่า MWCO

เนื่องจากเมมเบรนที่จะนำมาใช้แยกไลโคพีนตามกระบวนการนาโนฟิลเตรชันควรมีค่า MWCO ใกล้เคียงกับสารไลโคพีน (536.88 ดอลตัน) แต่พบว่าเมมเบรนส่วนใหญ่กักกันสารละลาย PEG น้ำหนักโมเลกุล 1000 ได้น้อยกว่าร้อยละ 90 เหลือเมมเบรนเพียง 3 ชนิดที่มีค่า MWCO น้อยกว่า 1000 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 คือเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่า MWCO ประมาณ

950 ดอลตัน เมมเบรนแบบเชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง มีค่า MWCO ประมาณ 750 และ 560 ดอลตัน ตามลำดับ จากผลดังกล่าว ยืนยันว่าการเพิ่มเวลาในการระเหยและการเชื่อมขวางเมมเบรนด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกทำให้เมมเบรนมีค่า MWCO ลดลง หรือกล่าวว่ามีขนาดรูเล็กลง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีเนื้อแน่นขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาด้วย SEM และการทดสอบค่าฟลักซ์น้ำ

อย่างไรก็ตามเมมเบรนทั้ง 3 ชนิดข้างต้นยังไม่สามารถกักกันสารไลโคพีนได้ เพราะมีขนาดรูใหญ่กว่าขนาดโมเลกุลของสารไลโคพีน จึงได้เตรียมเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวางที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพิ่มเติมจากสภาวะที่กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ในหัวข้อ 3.4.2 พบว่าได้ค่า MWCO เท่ากับ 450 ดอลตัน ซึ่งเล็กกว่าขนาดโมเลกุลของสารไลโคพีนตามต้องการ



รูปที่ 4.8 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG น้ำหนักโมเลกุล 200, 400, 600 และ 1000 ดอลตัน

4.3.5 ผลการทดสอบค่าความสามารถทนต่อแรงดึง

ความสามารถทนต่อแรงดึงเป็นสมบัติเชิงกลเดียวที่สนใจในสาขาวิทยาการเมมเบรน และศึกษาในงานวิจัยนี้โดยได้ผลดังนี้

4.3.5.1 ผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลาย

เมมเบรนไคโตซานทั้งแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเท่ากัน พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการระเหยตัวทำละลายจาก 2 เป็น 6 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.9 (ก) ทำให้เมมเบรนมีค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 54.5 ± 0.7 เป็น 61.7 ± 2.5 เมกะปาสกาล และจาก 63.8 ± 5.6 เป็น 77.1 ± 6.0 เมกะปาสกาล ตามลำดับ อธิบายได้ว่าการเพิ่มเวลาในการระเหยตัวทำละลายจะทำให้เมมเบรนมีเนื้อแน่นขึ้น ทำให้เมมเบรนมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่พบว่าที่ระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลาย 8 ชั่วโมง เมมเบรนมีความสามารถในการทนแรงดึงน้อยลง คาดว่าเนื่องจากความเป็นสารชีวภาพ (Biomaterial) ของไคโตซาน การใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้โครงสร้างโมเลกุลเสียหายความแข็งแรงจึงลดลง

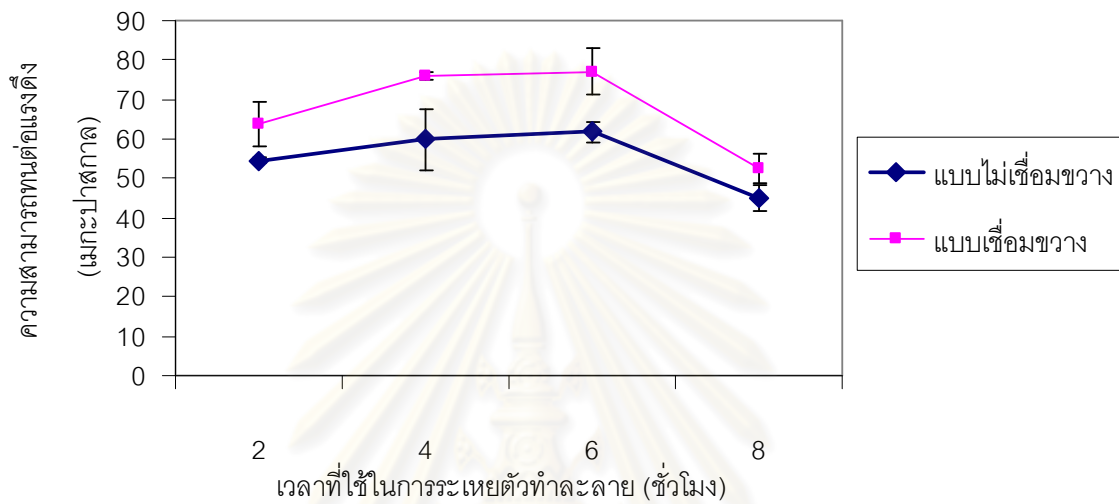
4.3.5.2 ผลของอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลาย

เมมเบรนไคโตซานทั้งแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.9 (ข) ทำให้เมมเบรนมีค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 54.1 ± 3.5 เป็น 61.7 ± 2.5 เมกะปาสกาล และจาก 58.7 ± 1.1 เป็น 77.1 ± 6.0 เมกะปาสกาล ตามลำดับ อธิบายได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายทำให้เมมเบรนมีเนื้อแน่นขึ้น ทำให้เมมเบรนมีความแข็งแรงมากขึ้น

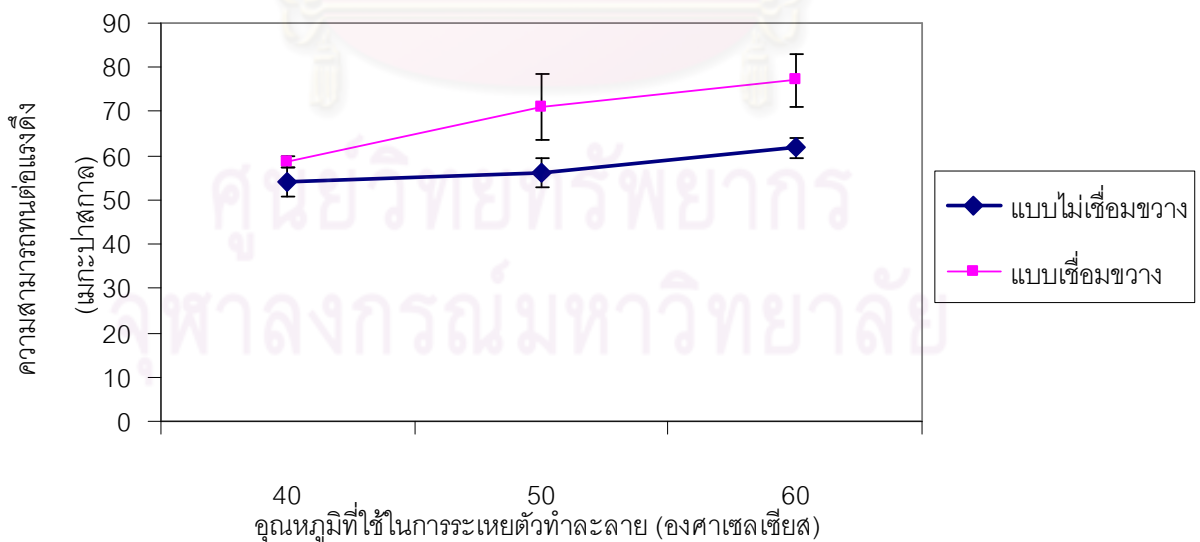
4.3.5.3 ผลของการเชื่อมขวางเมมเบรนด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

จากรูปที่ 4.9 (ค) เมื่อเปรียบเทียบเมมเบรนที่เตรียมที่ภาวะเดียวกัน เช่น เมมเบรนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อทำการเชื่อมขวางเมมเบรนจะทำให้เมมเบรนมีค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 51.8 ± 1.6 เป็น 58.7 ± 1.1 เมกะปาสกาล แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมขวางทำให้เมมเบรนมีโครงสร้างที่

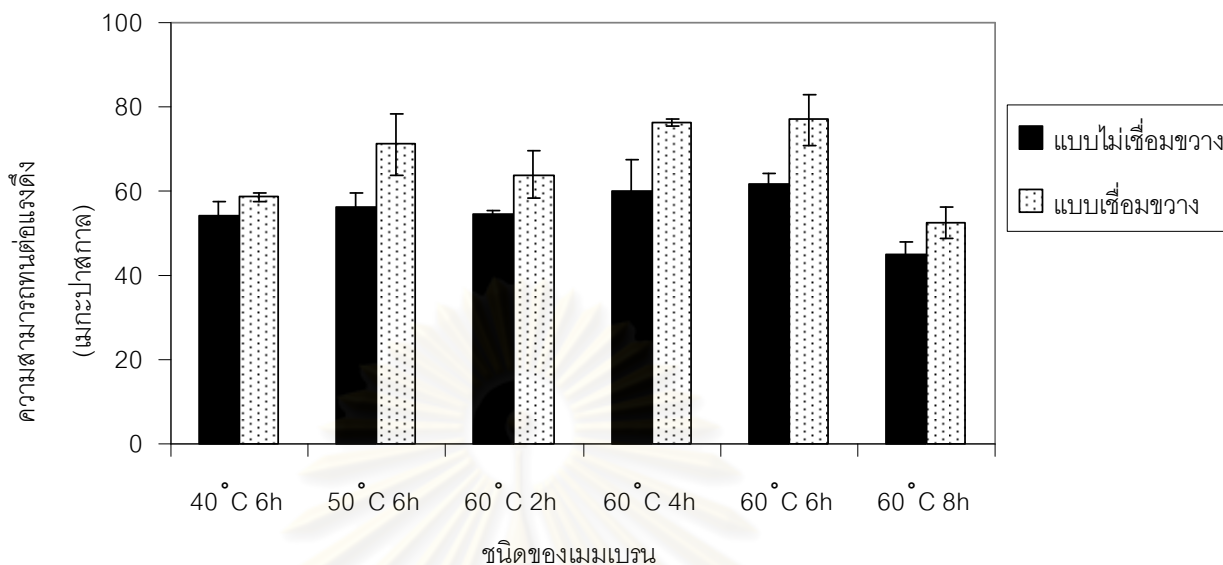
แข็งแรงขึ้น โดยเมมเบรนที่มีค่าความสามารถทนต่อแรงดึงมากที่สุดคือ เมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 77.1 ± 6.0 เมกะปาสกาล



(ก) ผลของเวลาในการระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต่อค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซาน



(ข) ผลของอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ต่อค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซาน



(ค) ผลการเชื่อมขวางเมมเบรนไคโตซานต่อค่าความสามารถทนต่อแรงดึง
รูปที่ 4.9 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซาน

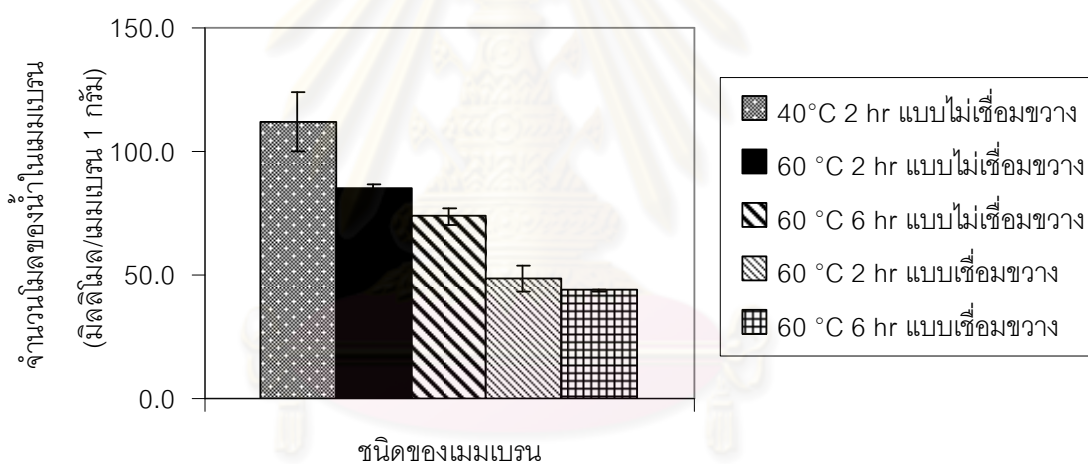
4.3.6 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำในเมมเบรน

การศึกษาในส่วนนี้เพื่อทดสอบสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilicity) ของเมมเบรนไคโตซานบางชนิดตามลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุนหรือแบบเนื้อแน่น ดังนี้ 1) เมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เป็นตัวแทนของเมมเบรนมีรูพรุน 2) เมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางและแบบเชื่อมขวาง เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 และ 6 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการศึกษาที่กล่าวมาแล้วน่าจะมีโครงสร้างเนื้อแน่นใกล้เคียงกัน เพื่อการพิจารณาผลของอุณหภูมิหรือเวลาในการระเหยตัวทำละลายและผลของการเชื่อมขวางต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

เพื่อการเปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับสารไลโคพีนในหัวข้อถัดไป จึงเปลี่ยนค่าน้ำหนักสารที่เมมเบรนดูดซับไว้ตามสมการที่ (3.3) เป็นจำนวนโมล ได้ผลดังรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงว่าเมมเบรนไคโตซานทุกสูตรชอบน้ำ โดยการดูดซับน้ำในเมมเบรนเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างขั้ว (Dipole-dipole interaction) หรือการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเมมเบรนกับโมเลกุลของน้ำ

โดยทั่วไปเมมเบรนที่มีรูพรุนมากย่อมสามารถดูดซับน้ำได้มาก ผลในรูปที่ 4.10 ได้แสดงว่าเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถดูดซับน้ำได้มากที่สุดเท่ากับ 111.94 ± 11.60 มิลลิโมล/เมมเบรน 1

กรัม ในรูปที่ 4.9 ยังแสดงว่าเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต้องมีโครงสร้างที่แน่นกว่าเมมเบรนซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อย่างแน่นอน แต่เมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือ 6 ชั่วโมง มีโครงสร้างใกล้เคียงกัน และการเชื่อมขวางเมมเบรนมีผลทำให้เมมเบรนแน่นขึ้นมากกว่าผลจากการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการระเหยตัวทำละลาย โดยแสดงจำนวนโมลของน้ำที่ดูดซับไว้ในเมมเบรนน้อยสุดและน้อยกว่าผลที่ได้จากเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางที่สภาวะการระเหยตัวทำละลายเดียวกัน ประการสุดท้ายกล่าวได้ว่าแม้กระทั่งเมมเบรนไคโตซานที่มีเนื้อแน่นที่สุดก็ยังสามารถดูดซับน้ำสูงเท่ากับ 43.86 ± 0.43 มิลลิโมล/เมมเบรน 1 กรัม

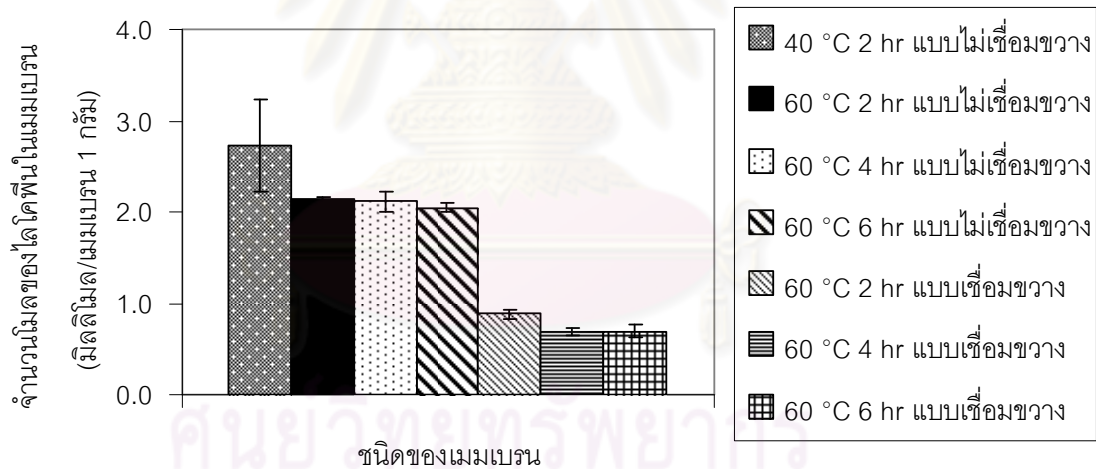


รูปที่ 4.10 ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรน

4.3.7 ผลการทดสอบการดูดซับสารละลายไลโคพินในเมมเบรน

ผลการแช่แผ่นเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมง และเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมง ลงในสารละลายไลโคพินที่ความเข้มข้น 35 พีพีเอ็ม พบว่าน้ำหนักของเมมเบรนเพิ่มขึ้นน้อยมาก แสดงว่าเมมเบรนไคโตซานไม่ชอบทั้งไลโคพินและเอซีโทนที่ใช้เป็นสารสกัด เนื่องจากเอซีโทนสามารถระเหยได้ง่ายจึงคิดว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดเป็นของสารไลโคพิน เมื่อเปลี่ยนค่าน้ำหนักสารที่เมม

เบรณดูดซับไว้ตามสมการที่ (3.3) เป็นจำนวนโมล ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวาง เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมง สามารถดูดซับสารไลโคพีนไว้ได้ใกล้เคียงกันและมากกว่าเมมเบรนแบบเชื่อมขวาง ซึ่งเตรียมที่ภาวะเดียวกันถึง 2 เท่า และหากเนื้อเมมเบรนอยู่กันอย่างหลวม ๆ มากขึ้น ดังเช่นในสภาวะการอบแห้งเมมเบรนที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สารไลโคพีนก็สามารถติดค้างอยู่ในเมมเบรนมากขึ้น แต่เมมเบรนที่คาดว่าจะแยกไลโคพีนออกจากสารสกัดด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันเป็นเมมเบรนที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งสามารถดูดซับไลโคพีนได้น้อยมาก จึงอาจมีผลต่อสมรรถนะการแยกได้ เพราะสารที่จะสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนเป็นเพอร์มิเอตได้ต้องถูกดูดซับเข้าไปในเมมเบรนได้มากก่อน แต่ผลการทดสอบในส่วนนี้แสดงว่าสารไลโคพีนสามารถถูกดูดซับเข้าไปในเมมเบรนที่เลือกไว้ (เมมเบรนโคโตะซานแบบเชื่อมขวางที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง) ได้น้อยมาก



รูปที่ 4.11 ปริมาณการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน

4.4 การทดสอบการแยกไลโคพินออกจากสารสกัดด้วยเทคโนโลยีเมมเบรน

ในการศึกษาสมรรถนะการแยกสารละลายไลโคพินของกระบวนการเมมเบรนทั้งแบบนาโนฟิลเตรชันและเพอร์แวกพอเรชัน ได้เริ่มต้นด้วยการใช้เมมเบรนในสภาวะปกติคือ เมมเบรนแห้ง ซึ่งพบว่าใช้ไม่ได้ผล จึงแก้ปัญหาด้วยการใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ซึ่งพบว่ามีการแยกเกิดขึ้น ดังคำอธิบายต่อไปนี้

4.4.1 การแยกสารละลายไลโคพิน/แอสีโทนด้วยเมมเบรนแห้ง

ผลการศึกษาจากทั้งกระบวนการนาโนฟิลเตรชันและเพอร์แวกพอเรชันด้วยเมมเบรนแห้ง พบว่าไม่มีสารใดผ่านเมมเบรนที่เลือกมาศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งต่างจากผลการทดสอบการกักกันของสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอล ซึ่งเมมเบรนเกิดการบวมตัวด้วยน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายของสารพอลิเอทิลีนไกลคอล ดังนั้นน้ำและสารพอลิเอทิลีนไกลคอลบางส่วนจึงสามารถผ่านเมมเบรนได้ แต่สารละลายไลโคพิน/แอสีโทนดูดซับในเมมเบรนได้น้อยมากตามหัวข้อ 4.3.7 ข้างต้น จึงไม่เกิดการแพร่ของสารเพราะสารที่ผ่านเมมเบรนได้ต้องสามารถดูดซับในเมมเบรนได้ด้วย

4.4.2 การแยกสารละลายไลโคพิน/แอสีโทนด้วยเมมเบรนบวมตัว

เนื่องจากเมมเบรนไคโตซานชอบน้ำมากดังผลแสดงในหัวข้อ 4.3.6 จึงใช้สมบัตินี้ปรับสภาพเมมเบรนก่อนนำมาใช้แยกด้วยกระบวนการเมมเบรน ได้ผลการศึกษาดังนี้

1) กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน

จากการทดสอบการแยกสารละลายไลโคพิน/แอสีโทน ด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ พบว่า มีเพียงเมมเบรน 2 ชนิดที่ให้ผลการแยกบางส่วนเกิดขึ้น คือ เมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงผลการแยกดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่าร้อยละการกักกันของเมมเบรนทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำเท่ากับ 2.6 ± 3.7 และ 39.5 ± 13.1 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่าเมมเบรน 2 ชนิดนี้มีเนื้อไคโตซานอยู่กันอย่างหลวม ๆ ดังภาพ SEM ในรูปที่ 4.3 (ก) อีกทั้งยังสามารถดูดซับไลโคพินได้บ้างแม้ในสภาพเมมเบรนแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เมื่อทำให้บวมตัวด้วยน้ำจึงยิ่งทำให้ไลโคพินดูดซับเข้าไปในเมมเบรนได้มากขึ้น และเมื่อได้รับแรงขับเคลื่อน สารละลายไลโคพิน (ทั้ง

สารไลโคพีนและแอสซีโทน) จึงแพร่ผ่านเมมเบรนเป็นเพอร์มิเอตทำให้ได้ค่าร้อยละการกักกันต่ำ สรุปว่าไม่สามารถใช้เมมเบรนไคโตซานด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันแยกสารละลายไลโคพีนออกจากสารสกัดแอสซีโทน

ตารางที่ 4.2 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสซีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ทั้งกระบวนการนาโนฟิลเตรชันและเพอร์เวปพอเรชันด้วยเมมเบรนแห้ง

ชนิดกระบวนการแยก	ชนิดของเมมเบรน	หมายเหตุ
นาโนฟิลเตรชัน	60 °C 8 h แบบเชื่อมขวาง	ไม่มีสารใดผ่าน เมมเบรนออก มา
	60 °C 6 h แบบเชื่อมขวาง	
	60 °C 2 h แบบเชื่อมขวาง	
	60 °C 8 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	60 °C 6 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	60 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	50 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	40 °C 6 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	40 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
เพอร์เวปพอเรชัน	60 °C 8 h แบบเชื่อมขวาง	ไม่มีสารใดผ่าน เมมเบรนออก มา
	60 °C 6 h แบบเชื่อมขวาง	
	60 °C 2 h แบบเชื่อมขวาง	
	60 °C 8 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	60 °C 6 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	60 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	50 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	40 °C 6 h แบบไม่เชื่อมขวาง	
	40 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	

ตารางที่ 4.3 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ชนิดของเมมเบรน	ค่าฟลักซ์ (l/m ² h)	ร้อยละการกักกัน (%R)
40 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	3.3±1.6	2.6±3.7
50 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	0.4±0.1	39.5±13.1

2) กระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน

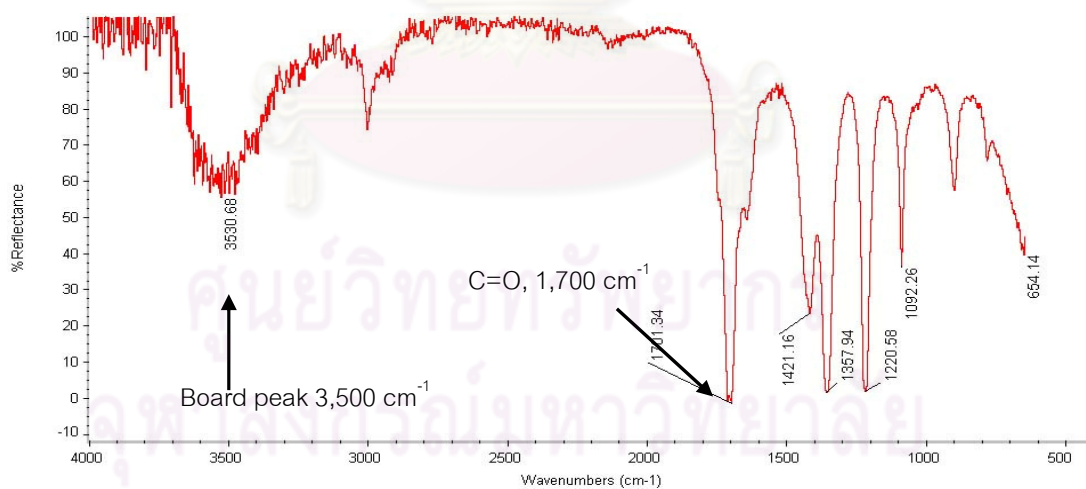
จากการทดสอบการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทน ด้วยกระบวนการเพอร์เวปพอเรชันที่ระดับสูญญากาศ -1 บาร์ โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าเมมเบรนทุกสูตรให้ค่าร้อยละการกักกันเท่ากับ 100 หรือค่าแฟกเตอร์การแยกสูงมากเป็นอินฟินิตี้ อธิบายได้ว่า เมมเบรนที่บวมตัวด้วยน้ำจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแพร่ของสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้าไปในเมมเบรน และเนื่องจากกระบวนการเพอร์เวปพอเรชันมีการลดความดันด้านเพอร์มิเอต เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นเมื่อสารละลายแพร่เข้าไปในเมมเบรนแล้ว แอสีโทนซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายมีการถ่ายโอนมวลในเมมเบรนออกมาทางด้านเพอร์มิเอต ขณะที่ไลโคพีนไม่สามารถระเหยเป็นไอจึงไม่แพร่ออกมาเป็นเพอร์มิเอต สรุปได้ว่าสามารถใช้เมมเบรนไคโตซานด้วยกระบวนการเพอร์เวปพอเรชันแยกสารไลโคพีนออกจากสารสกัดแอสีโทนได้

เพื่อตรวจสอบว่าเพอร์มิเอตจากกระบวนการเพอร์เวปพอเรชันที่ได้เป็นสารใด จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ได้ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบพีคที่ตำแหน่งหมายเลขคลื่น 1,701.34 ซม.⁻¹ ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C=O ของโมเลกุลแอสีโทน นอกจากนี้ยังพบพีคฐานกว้างที่ตำแหน่งประมาณ 3,500 ซม.⁻¹ ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน O-H ของโมเลกุลน้ำ ซึ่งให้เห็นว่าสารเพอร์มิเอตที่ได้ประกอบด้วยแอสีโทนและน้ำ

ตารางที่ 4.4 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการเพอร์
 แวปพอร์ชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต -1 บาร์

ชนิดของเมมเบรน	ค่าฟลักซ์ (l/m ² h)	ร้อยละการกักกัน (%R)	ค่าแฟกเตอร์การแยก (α)
40 °C 2 h uncrosslinked	0.131±0.004	100.0±0.0	∞
50 °C 2 h uncrosslinked	0.093±0.025	100.0±0.0	∞
60 °C 2 h uncrosslinked	0.127±0.009	100.0±0.0	∞
60 °C 4 h uncrosslinked	0.038±0.012	100.0±0.0	∞
60 °C 6 h uncrosslinked	0.022±0.006	100.0±0.0	∞
60 °C 2 h crosslinked	0.062±0.002	100.0±0.0	∞
60 °C 4 h crosslinked	0.033±0.000	100.0±0.0	∞
60 °C 6 h crosslinked	0.025±0.000	100.0±0.0	∞

หมายเหตุ ∞ หมายถึง ค่าอนันต์หรืออินฟินิตี้



รูปที่ 4.12 ตัวอย่าง FTIR spectra ของสารเพอร์มิเอตจากเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อม
 ขวางที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.5 ผลการศึกษาสมรรถนะในการแยกของเมมเบรนไคโตซานแบบบวมตัว

ตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะการแยกของเมมเบรนด้วยกระบวนการเพอร์เมปอเรชัน มีหลายตัวแปร ยกตัวอย่างเช่น ระดับสุญญากาศด้านเพอร์มิเอต, ความเข้มข้นของสารป้อน, อุณหภูมิของสารป้อน และอัตราการป้อน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาผลของระดับสุญญากาศด้านเพอร์มิเอตและความเข้มข้นของสารป้อนที่มีต่อสมรรถนะการแยกของเมมเบรน โดยเลือกเมมเบรน 2 ชนิด ที่ให้ค่าฟลักซ์สูงสุดในตารางที่ 4.4 ได้แก่ เมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นอกจากนั้นจากการศึกษาในตอนต้นพบว่า เมมเบรนทั้งสองมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยเมมเบรนชนิดแรกมีโครงสร้างแบบมีรูพรุนแต่เมมเบรนชนิดหลังมีโครงสร้างแบบเนื้อแน่น

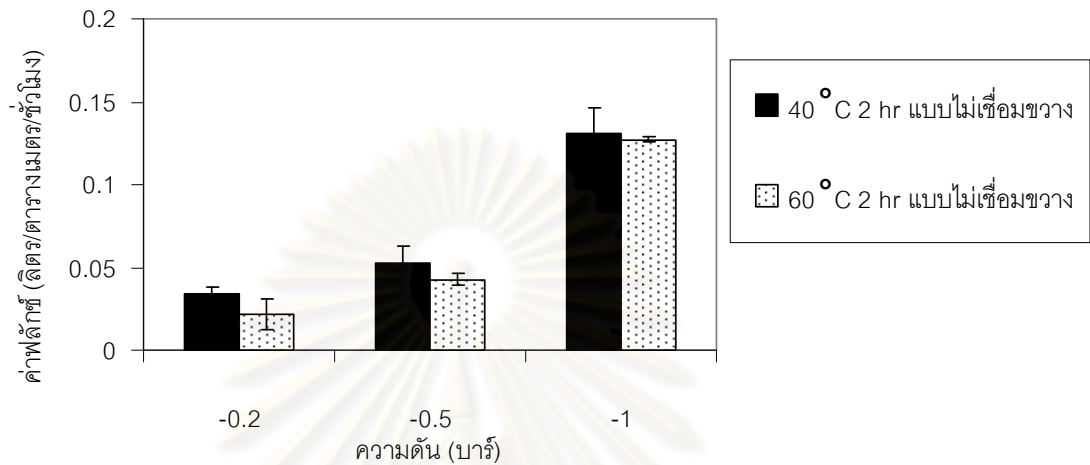
4.5.1 ผลของระดับสุญญากาศด้านเพอร์มิเอตที่มีต่อสมรรถนะการแยกของเมมเบรนแบบบวมตัว

จากการศึกษาผลของระดับสุญญากาศที่มีต่อสมรรถนะการแยกสารละลายไลโคพีนของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อทำให้ระดับสุญญากาศทางด้านเพอร์มิเอตมากขึ้นจาก -0.2 เป็น -1.0 บาร์ ค่าฟลักซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับแต่ไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากการลดความดันด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนในการถ่ายเทมวล ดังนั้นฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้น โดยเมมเบรนที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนให้ฟลักซ์สูงกว่าที่ได้จากเมมเบรนที่เป็นเนื้อแน่นแต่ไม่มากอย่างมีนัยสำคัญ

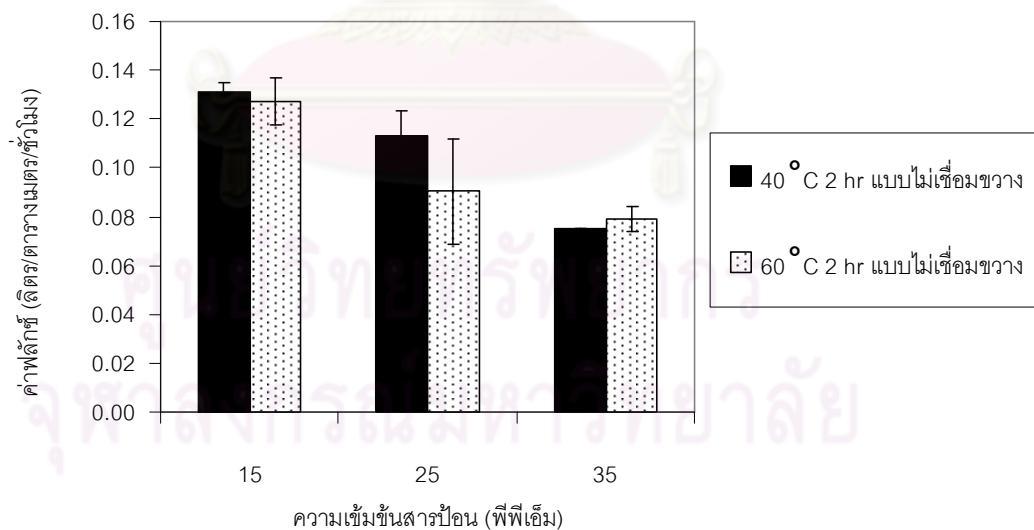
4.5.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนที่มีต่อสมรรถนะการแยกของเมมเบรนแบบบวมตัว

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายไลโคพีนที่มีต่อสมรรถนะการแยกของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายไลโคพีนจาก 15 เป็น 35 พีพีเอ็ม ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสองมีค่าลดลง อธิบายได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไลโคพีนเป็นการเพิ่มปริมาณไลโคพีนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่ผ่านเมมเบรน ดังนั้นแอสีโทนที่สามารถผ่านเมมเบรนจึงมีปริมาณ

ลดลงทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง โดยเมมเบรนที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนให้ฟลักซ์สูงกว่าที่ได้จากเมมเบรนที่เป็นเนื้อแน่นแต่ไม่มากเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.13 ผลของระดับสุญญากาศที่มีต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง ในกระบวนการเพอร์เวปอเรชันที่ความเข้มข้นสารละลายไลโคพีน 15 พีพีเอ็ม



รูปที่ 4.14 ผลของความเข้มข้นของสารละลายไลโคพีนต่อค่าฟลักซ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางในกระบวนการเพอร์เวปอเรชันที่ระดับสุญญากาศ -1.0 บาร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. แอซีโทนสามารถใช้เป็นสารสกัดไลโคพีนจากซอสมะเขือเทศแทนเฮกเซนได้ โดยการใช้อัตราส่วนซอสมะเขือเทศต่อสารสกัด เท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยปริมาตร ทำให้ได้ความเข้มข้นสารไลโคพีนเป็น 37.5 ± 3.2 พีพีเอ็ม
2. การเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาในการระเหยตัวทำละลาย หรือการเชื่อมขวางด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกสามารถเปลี่ยนลักษณะพื้นฐานวิทยาของเมมเบรนจากโครงสร้างรูพรุนเป็นแบบเนื้อแน่นได้
3. เมมเบรนไคโตซานเป็นเมมเบรนชอบน้ำแต่ไม่ชอบทั้งแอซีโทนและสารไลโคพีน
4. สารไลโคพีนสามารถแยกออกจากสารละลายไลโคพีน/แอซีโทนได้ด้วยกระบวนการเพอร์แวกซ์แต่ต้องทำให้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำก่อน โดยได้แอซีโทนในเพอร์มิเอตและได้ไลโคพีนที่เข้มข้นขึ้นในส่วนรีเทนเทต
5. เมมเบรนสูตรที่น่าสนใจ คือ เมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเมมเบรนแบบไม่เชื่อมขวางที่ระเหยตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีสมบัติและสมรรถนะเพอร์แวกซ์ที่สภาวะ -1.0 บาร์ และความเข้มข้นของสารป้อนเท่ากับ 15 พีพีเอ็ม ตามตารางที่ 5.1
6. ระดับสุญญากาศทางด้านเพอร์มิเอตและความเข้มข้นของสารป้อน ส่งผลต่อสมรรถนะการแยกของเมมเบรนด้วยกระบวนการเพอร์แวกซ์ การมีระดับสุญญากาศหรือความเข้มข้นของสารป้อนมากขึ้นจะได้ฟลักซ์สูงขึ้น โดยไม่ทำให้ค่าร้อยละการกักกันหรือค่าแฟกเตอร์การแยกเสียไป

ตารางที่ 5.1 สมบัติต่างๆ ของเมมเบรนไคโตซาน

สมบัติ	ชนิดเมมเบรน	
	40 °C, 2 h uncrosslinked	60 °C, 2 h uncrosslinked
ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	เนื้อพอลิเมอร์อยู่กันอย่างหลวมๆ	เนื้อแน่น
ฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ที่ความดัน 100 psi (L/m ² ·h)	10.3±2.4	3.1±0.8
MWCO (Dalton)	มากกว่า 10,000	ประมาณ 10,000
ความสามารถทนต่อแรงดึง (MPa)	51.8±1.6	54.5±0.7
ฟลักซ์เพอร์เวปพอเรชัน (L/m ² ·h)	0.131±0.004	0.127±0.009
ร้อยละการกักกัน (%R)	100.0±0.0	100.0±0.0
ค่าแฟกเตอร์การแยก (α)	∞	∞

5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาสมรรถนะกระบวนการเพอร์เวปพอเรชันของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวางด้วยโมดูลแบบม้วนเกลียว (Spiral wound module) ซึ่งเป็นรูปแบบโมดูลที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] วันดี กฤษณพันธ์. สมุนไพรสารพัดประโยชน์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539.
- [2] ไฉน ยอดเพชร. พืชผักอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ริ้วเขียว, 2548.
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. [ออนไลน์]. 2545. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?id=4542 [2553, มีนาคม 10]
- [4] ชันทอง สุนทรภา. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [5] ธนวรรณ บุญศักดิ์เสรี. การเตรียมและลักษณะสมบัติของเมมเบรนพอลิซัลโฟนและซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟนเพื่อแยกไลโคพีนในมะเขือเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [6] ทรงศรี แก้วสุวรรณ. ไลโคพีน. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: <http://pcog.pharmacy.psu.ac.th/thi/article8-51.asp> [2553, มีนาคม 15]
- [7] นันทวัน บุญยะประภัศร. ยาและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2534.
- [8] Rosa, A., Lee, T.C., Logendra, L., and Janes, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. J.Agric.Food.Chem 48 (2000) : 1697-1702.
- [9] สุวบุญ จิระกาญจชัย. สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคติน-ไคโตซาน. ใน รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการไคตินและไคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้, หน้า 11-40. 30-31 สิงหาคม 2544 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร, 2544.
- [10] ภาวดี เมธะคานนท์ ไคติน-ไคโตซาน. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=category§ionid=8&id=20&Itemid=36 [2552, ตุลาคม 15]
- [11] รัตนา จิระรัตนานนท์. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

- [12] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี. กระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน.
[ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/PV_files/v3_document.htm [2552, มีนาคม 1]
- [13] Olives, A. I., Camara, H. M., Sanchez, M. C., Fernandez, R. V., and Lopez, M.
Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. *Food Chemistry* 95 (2006): 328-336.
- [14] Renata, S.M., Gizelle, C.B., Faruk, N., and Haidi, D.F., and Mauro, C.M.
Preparation of chitosan membranes for filtration and concentration of compounds under high pressure process. *Polymer Bulletin* 56 (2006): 447-54.
- [15] บุญชู มหาผล. การบำบัดน้ำล้างเห็ดดอกเข็มโดยใช้เมมเบรนไคโตซาน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [16] Domenico, M., Francesca, F., Lina, C., and Ancilla, B. Innovative extraction procedure for obtaining high pure lycopene from tomato. *European Food Research and Technology* 226 (2008): 327-335.
- [17] Devi, D., Smitha, B., Sridhar, S., and Aminabhavi, T. Pervaporation separation of isopropanol/water mixtures through crosslinked chitosan membranes. *Journal of Membrane Science* 262 (2005): 91-99.
- [18] Santosh, K. C., Arjumandbanu, A. K., Srikant, S. K., and Mahadevappa, Y. K.
Development of novel blocked diisocyanate crosslinked chitosan membranes for pervaporation separation of water-isopropanal mixtures. *Journal of Membrane Science* 302 (2007): 197-206.
- [19] Daniele, N., Fabiana, P., Lydia, F., and Biagio, N. Extraction of pure lycopene from industrial tomato waste in water using the extractor Naviglio. *African Journal of Food Science* 2 (2008): 37-44.

- [20] Cui, Z., Xiang, Y., Si, J., Yang, M., Zhang, Q., and Zhang, T. Ionic interactions between sulfuric acid and chitosan membranes. *Carbohydrate Polymers* 73 (2008) : 111–116.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

1. ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรน

ตารางที่ ก.1.1 ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง

อุณหภูมิ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความดัน ที่เป็นแรงขับ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตารางเมตร -ชั่วโมง)
40	2	100	10.3±2.4
		200	15.1±2.5
		300	18.1±3.0
	4	100	5.3±0.2
		200	8.4±0.7
		300	10.7±2.6
	6	100	3.6±0.1
		200	6.2±1.8
		300	7.3±1.0
50	2	100	10.1±2.1
		200	11.2±3.0
		300	12.5±3.0
	4	100	5.1±1.1
		200	5.8±0.6
		300	8.0±0.7
	6	100	2.2±1.0
		200	2.5±0.8
		300	3.5±0.9

ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ) ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง

คุณสมบัติ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความดัน ที่เป็นแรงขับ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตารางเมตร -ชั่วโมง)
60	2	100	3.1±0.8
		200	4.2±0.8
		300	4.8±0.7
	4	100	1.7±0.2
		200	2.1±0.1
		300	3.0±0.7
	6	100	1.8±1.2
		200	2.0±1.3
		300	3.1±0.7
	8	100	1.1±0.2
		200	1.3±0.3
		300	2.0±0.3

ตารางที่ ก.1.2 ค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง

คุณสมบัติในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความดันที่เป็นแรงขับ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง)
40	2	100	1.7±0.2
		200	2.1±0.2
		300	2.8±0.5
	4	100	1.9±0.1
		200	2.2±0.1
		300	2.7±0.1
	6	100	1.7±0.1
		200	2.4±0.1
		300	2.61±0.2
50	2	100	1.7±0.0
		200	2.3±0.1
		300	3.0±0.1
	4	100	1.8±0.3
		200	2.4±0.3
		300	3.1±0.1
	6	100	1.3±0.1
		200	1.5±0.0
		300	2.3±0.5

ตารางที่ ก.1.2 (ต่อ) ค่าพลาสมาปริมาตรของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง

อุณหภูมิ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความดัน ที่เป็นแรงขับ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	ค่าพลาสมา (ลิตร/ตารางเมตร -ชั่วโมง)
60	2	100	1.7±0.1
		200	2.4±0.2
		300	2.7±0.1
	4	100	1.4±0.2
		200	1.6±0.2
		300	1.7±0.1
	6	100	0.8±0.1
		200	1.2±0.1
		300	1.6±0.0
	8	100	0.7±0.1
		200	1.0±0.0
		300	1.2±0.2

2. ข้อมูลน้ำหนักของเมมเบรนที่หายไปเมื่อระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ก.2.1 น้ำหนักของเมมเบรนที่หายไปเมื่ออบแห้งตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการ อบแห้ง (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักของเมมเบรนที่หายไปที่เวลาในการอบแห้งต่างๆ (กรัม)					
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
40	1.65±0.55	3.15±0.97	4.83±1.30	6.65±1.19	8.21±1.07	9.66±1.09
50	4.88±1.32	9.08±2.23	12.35±1.98	13.99±1.17	14.38±1.03	14.51±0.97
60	6.42±0.68	12.13±1.32	14.15±0.75	14.35±0.64	14.49±0.63	14.56±0.62

3. ค่า MWCO ของเมมเบรน

ตารางที่ ก.3.1 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 200, 400, 600 และ 1000 ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง

คุณสมบัติ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ร้อยละการกักกัน			
		PEG 200	PEG 400	PEG 600	PEG 1000
40	2	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
	4	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
	6	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
50	6	N.A.	N.A.	N.A.	79.5±0.2
60	2	12.1±1.0	17.2±1.8	22.9±2.1	46.0±3.9
	4	28.2±0.0	46.6±0.0	78.2±4.5	89.5±3.8
	6	36.2±2.0	53.8±3.0	83.8±4.0	90.5±1.4
	8	33.5±1.7	62.1±1.0	88.9±2.0	92.5±2.8

หมายเหตุ : N.A. หมายถึง ไม่ได้ทดสอบ

ตารางที่ ก.3.2 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 200, 400, 600 และ 1000 ของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง

อุณหภูมิ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ร้อยละการกักกัน			
		PEG 200	PEG 400	PEG 600	PEG 1000
40	2	33.1±0.0	34.7±0.9	52.4±3.0	59.4±2.6
	4	50.8±0.0	57.0±0.0	64.4±4.4	72.2±0.0
	6	55.0±0.0	65.1±0.0	69.0±0.5	79.1±3.1
50	6	N.A.	74.9±1.6	N.A.	85.0±1.8
60	2	49.4±3.6	47.9±7.4	68.3±0.9	78.0±0.6
	4	57.5±1.6	71.6±2.9	85.2±0.5	95.9±1.2
	6	59.4±3.7	76.3±0.2	91.5±2.5	96.6±0.6
	8	56.3±4.0	88.1±3.8	94.2±0.6	95.5±0.4

หมายเหตุ : N.A. หมายถึง ไม่ได้ทดสอบ

ตารางที่ ก.3.3 ค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 4,000, 6,000 และ 10,000 ของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง

อุณหภูมิ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ร้อยละการกักกัน		
		PEG 4000	PEG 6000	PEG 10000
40	2	55.2±1.0	54.9±0.9	56.4±0.1
60	2	68.6±3.0	85.0±7.9	88.5±0.6

4. ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรน

ตารางที่ ก.4.1 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวาง

อุณหภูมิ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ค่าความสามารถทนต่อแรงดึง (เมกะปาสกาล)	ร้อยละการยืด
40	2	51.8±1.6	1.4±0.4
40	6	54.1±3.5	8.0±2.2
50	6	56.3±3.3	29.2±3.0
60	2	54.5±0.7	15.6±1.6
60	4	59.9±7.8	27.2±4.4
60	6	61.7±2.5	41.1±4.5
60	8	45.0±3.1	24.1±4.0

ตารางที่ ก.4.2 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวาง

อุณหภูมิ ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ค่าความสามารถทนต่อแรงดึง (เมกะปาสกาล)	ร้อยละการยืด
40	6	58.7±1.1	27.7±5.9
50	6	71.1±7.3	23.5±5.7
60	2	63.8±5.6	31.3±5.5
60	4	76.1±0.9	12.5±1.9
60	6	77.1±6.0	23.9±4.2
60	8	52.7±3.8	13.1±0.0

5. ค่าการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรนไคโตซาน

ตารางที่ ก.5.1 ค่าการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน

ชนิดของเมมเบรน	ค่าการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน (มิลลิโมล/เมมเบรน 1 กรัม)
แบบไม่เชื่อมขวาง, 40 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	2.72±0.51
แบบไม่เชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	2.14±0.03
แบบไม่เชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง	2.11±0.11
แบบไม่เชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง	2.04±0.05
แบบเชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	0.89±0.05
แบบเชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง	0.69±0.04
แบบเชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง	0.69±0.07

6. ค่าการดูดซับน้ำบริสุทธิ์ในเมมเบรนไคโตซาน

ตารางที่ ก.6.1 ค่าการดูดซับน้ำบริสุทธิ์ในเมมเบรน

ชนิดของเมมเบรน	ค่าการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน (มิลลิโมล/เมมเบรน 1 กรัม)
แบบไม่เชื่อมขวาง, 40 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	111.94±11.60
แบบไม่เชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	85.02±1.34
แบบไม่เชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง	73.58±3.39
แบบเชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	48.79±5.16
แบบเชื่อมขวาง, 60 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง	43.86±0.43

7. การแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน

ตารางที่ ก.7.1 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการนาโนฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ชนิดของเมมเบรน	ความหนา เมมเบรน (มิลลิเมตร)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง)	ร้อยละการ กักกัน (%R)
40 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	0.023±0.001	3.3±1.6	2.6±3.7
50 °C 2 h แบบไม่เชื่อมขวาง	0.025±0.001	0.4±0.1	39.5±13.1

8. การแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนด้วยกระบวนการเพอร์แวกพอเรชัน

ตารางที่ ก.8.1 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยกระบวนการเพอร์แวกพอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต -1 บาร์

ชนิดของเมมเบรน	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตาราง เมตร-ชั่วโมง)	ร้อยละการ กักกัน (%R)	ค่าแฟกเตอร์ การแยก (α)
40 °C 2 h uncrosslinked	0.023±0.001	0.131±0.004	100.0±0.0	∞
50 °C 2 h uncrosslinked	0.020±0.001	0.093±0.025	100.0±0.0	∞
60 °C 2 h uncrosslinked	0.023±0.001	0.127±0.009	100.0±0.0	∞
60 °C 4 h uncrosslinked	0.022±0.001	0.038±0.012	100.0±0.0	∞
60 °C 6 h uncrosslinked	0.022±0.001	0.022±0.006	100.0±0.0	∞
60 °C 2 h crosslinked	0.021±0.001	0.062±0.002	100.0±0.0	∞
60 °C 4 h crosslinked	0.022±0.000	0.033±0.000	100.0±0.0	∞
60 °C 6 h crosslinked	0.022±0.000	0.025±0.000	100.0±0.0	∞

หมายเหตุ ∞ หมายถึง อนันต์หรืออินฟินิตี้

ตารางที่ ก.8.2 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วย
กระบวนการเพอร์เวปอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต
-0.2 ถึง -1 บาร์

ชนิดของเมมเบรน	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความดันด้าน เพอร์มิเอต (บาร์)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตาราง เมตร-ชั่วโมง)	ร้อยละการ กักกัน (%R)	ค่าแฟก เตอร์การ แยก (α)
40 °C 2 h uncrosslinked	0.022±0.000	-0.2	0.034±0.016	100.0±0.0	∞
	0.022±0.001	-0.5	0.053±0.011	100.0±0.0	∞
	0.026±0.001	-1.0	0.131±0.004	100.0±0.0	∞
60 °C 2 h uncrosslinked	0.023±0.001	-0.2	0.021±0.002	100.0±0.0	∞
	0.024±0.001	-0.5	0.043±0.004	100.0±0.0	∞
	0.023±0.001	-1.0	0.127±0.009	100.0±0.0	∞

หมายเหตุ ∞ หมายถึง อนันต์หรืออินฟินิตี้

ตารางที่ ก.8.3 ผลการแยกสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15-35 พีพีเอ็ม ด้วย
กระบวนการเพอร์เวปอเรชัน โดยใช้เมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต
-1 บาร์

ชนิดของเมมเบรน	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความเข้มข้น สารป้อน (พีพีเอ็ม)	ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตาราง เมตร-ชั่วโมง)	ร้อยละการ กักกัน (%R)	ค่าแฟก เตอร์การ แยก (α)
40 °C 2 h uncrosslinked	0.026±0.000	15	0.131±0.004	100.0±0.0	∞
	0.024±0.001	25	0.113±0.011	100.0±0.0	∞
	0.024±0.001	35	0.075±0.000	100.0±0.0	∞
60 °C 2 h uncrosslinked	0.023±0.001	15	0.127±0.009	100.0±0.0	∞
	0.023±0.002	25	0.090±0.021	100.0±0.0	∞
	0.023±0.001	35	0.078±0.005	100.0±0.0	∞

หมายเหตุ ∞ หมายถึง อนันต์หรืออินฟินิตี้

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ

1. ค่าฟลักซ์

การคำนวณค่าฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์ เมมเบรนไคโตซานไม่เชื่อมขวางอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

$$Q = 0.013 \text{ ลิตร/ชั่วโมง}$$

$$A = 0.00113 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{ฟลักซ์} = Q/A$$

$$\text{ฟลักซ์} = 0.013/0.00113$$

$$\text{ฟลักซ์} = 11.5 \text{ ลิตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง}$$

2. การเตรียมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (พีพีเอ็ม)

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่น้ำหนักโมเลกุล 400 ให้มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่น้ำหนักโมเลกุล 400

ความหนาแน่น : 1.128 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

สถานะ : ของเหลวใส

พอลิเอทิลีนไกลคอล 1 กรัม ต้องใช้ปริมาตรที่คำนวณตามสูตรดังนี้

จากสูตร $D = M/V$; $D =$ ความหนาแน่น, $M =$ น้ำหนัก และ $V =$ ปริมาตร

$$V = M/D = 1 / 1.128 = 0.886 \text{ มิลลิลิตร}$$

การเตรียมสารละลายป้อนพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ให้มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 400 จะต้องใช้ปริมาตรเท่ากับ 0.886 มิลลิลิตร และเติมน้ำให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3. คำนวณร้อยละการกักกัน

การคำนวณค่าร้อยละการกักกันสารละลาย PEG น้ำหนักโมเลกุล 1,000 ดอลตัน ของเมมเบรนไคโตซานแบบเชื่อมขวางอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

$$C_p = 23.33 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$C_f = 487.4 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$\%R = \left(1 - \frac{23.33}{487.4}\right) \times 100$$

ดังนั้น ได้ค่าร้อยละการกักกัน = 95.21

4. การทำ calibration curve ของ UV

เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลายไลโคพินที่สกัดได้ด้วยเอซีโทน โดยทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานไลโคพิน โดยใช้เอซีโทนเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม แล้วหาค่าความดูดกลืนรังสี (Absorbance) ในแต่ละความเข้มข้นด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ที่ความเข้มข้น 2 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 0.1425

ที่ความเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 0.2801

ที่ความเข้มข้น 6 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 0.403

ที่ความเข้มข้น 8 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 0.5401

ที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 0.6667

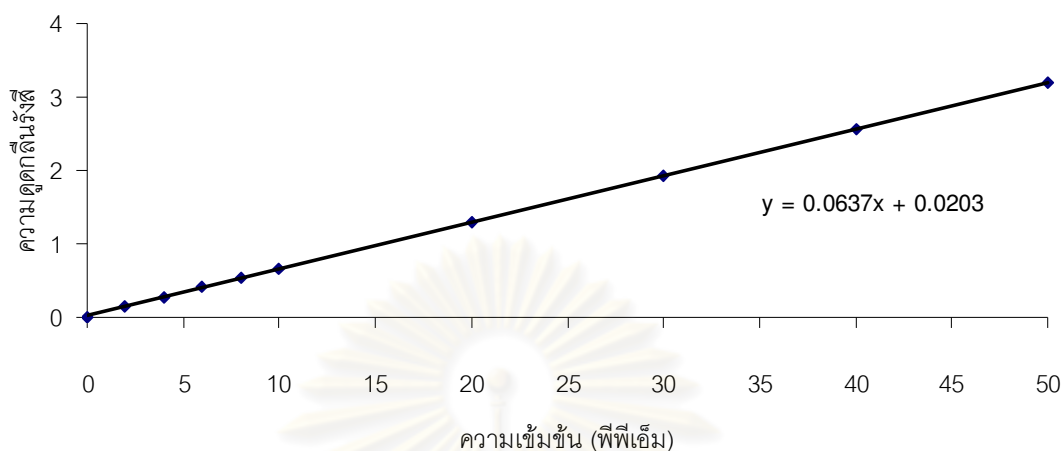
ที่ความเข้มข้น 20 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 1.2997

ที่ความเข้มข้น 30 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 1.9327

ที่ความเข้มข้น 40 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 2.5657

ที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ให้ค่าความดูดกลืนรังสี 3.1987

จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์เส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้้นสารละลายไลโคพีนมาตรฐานกับ ความเค็ดกเล็ดนร้งสึ ด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบ็ด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตัวอย่าง การคำนวณหาความเข้มข้้นสารละลายไลโคพีน

เช่น การสกัดสารไลโคพีนในอัตราส่วน มะเขือเทศ : แอซีโทน เท่ากับ 1:10

ได้ค่าความเค็ดกเล็ดนร้งสึ จากเครื่อง ยูวี-วิสิเบ็ด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เท่ากับ 2.5657

จากสมการ $y = 0.0673x + 0.0203$

ผลจาก UV ได้ $y = 2.5657$

ดังนั้น ความเข้มข้้นที่ได้ คือ $x = (2.5657 - 0.0203) / 0.0673 = 37.82$ ฟี่ฟี่เอ็ม

ตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะในการแยก

โดยจะใช้ ความเข้มข้้น 15, 25 และ 35 ฟี่ฟี่เอ็ม

โดยทำการเจือจาง การสกัดสารไลโคพีนในอัตราส่วน มะเขือเทศ : แอซีโทน เท่ากับ 1:10

ที่ได้ความเข้มข้้น 37.82 ฟี่ฟี่เอ็ม ให้ได้ความเข้มข้้นที่ต้องการ โดยการเติมตัวทำละลายแอซีโทน

ต้องการสารละลายไลโคพีน/แอซีโทน ความเข้มข้้น 15 ฟี่ฟี่เอ็ม ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ต้องใช้ สารละลายไลโคพีน/แอซีโทน ความเข้มข้้น 37.82 ฟี่ฟี่เอ็ม ที่สกัดได้ปริมาตรเท่าไร

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$: C = ความเข้มข้น , V = ปริมาตร

$$37.82 \times V_1 = 15 \times 100$$

$$V_1 = 39.66 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น ต้องใช้สารละลายไลโคพีน/แอสีโทน ความเข้มข้น 37.82 พีพีเอ็ม ที่สกัดได้ปริมาตร 39.34 มิลลิลิตร และเติมแอสีโทนให้ได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร ก็จะได้สารละลายไลโคพีน/แอสีโทน ความเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

5. ค่าร้อยละการกักกันสารละลายไลโคพีน/แอสีโทน

การคำนวณค่าร้อยละการกักกันสารละลายไลโคพีน/แอสีโทนเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ของเมมเบรนไคโตซานไม่เชื่อมขวางเตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยกระบวนการเพอร์แวกพอร์เรชั่น

$$C_p = 0 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$C_f = 15 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$\%R = \left(1 - \frac{0}{15}\right) \times 100$$

ดังนั้น ได้ค่าร้อยละการกักกัน = 100

6. ค่าแฟกเตอร์การแยก

การคำนวณค่าแฟกเตอร์การแยกของเมมเบรนไคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

$$C_{ip} = 1,000,000 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$C_{jp} = 0.00 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$C_{if} = 999,985 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$C_{jf} = 15 \text{ พีพีเอ็ม}$$

$$\alpha_{i/j} = \frac{1,000,000/0.00}{999,985/15}$$

$$\alpha_{i/j} = \infty$$

หมายเหตุ ∞ หมายถึง อนันต์หรืออินฟินิตี้

7. ปริมาณการดูดซับสารไลโคพีนในเมมเบรน

การคำนวณปริมาณการดูดซับสารไลโคพีนในของเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

$$\text{น้ำหนักของเมมเบรนแห้ง} = 0.0074 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของเมมเบรนเปียก} = 0.0166 \text{ กรัม}$$

ไลโคพีนมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 536.8 ดอลตัน

$$\text{Lycopene uptake} = \frac{0.0166 - 0.0074}{0.0074}$$

$$\text{Lycopene uptake} = 1.24 \text{ กรัม/เมมเบรน 1 กรัม}$$

$$= 2.3 \text{ มิลลิโมล/เมมเบรน 1 กรัม}$$

8. ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรน

การคำนวณปริมาณการดูดซับสารไลโคพีนในของเมมเบรนโคโตซานแบบไม่เชื่อมขวางอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

$$\text{น้ำหนักของเมมเบรนแห้ง} = 0.0130 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของเมมเบรนเปียก} = 0.0415 \text{ กรัม}$$

$$\text{Water uptake} = \frac{0.0415 - 0.0130}{0.0130}$$

$$\text{Water uptake} = 2.19 \text{ กรัม/เมมเบรน 1 กรัม}$$

$$= 121.6 \text{ มิลลิโมล/เมมเบรน 1 กรัม}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพรหมณ์ ยอดจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2526 จบการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค ในปี 2550 จนสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย