

## บทที่ 2

### ค่าพลาซมา การกักกัน และฟาวลิงในระหว่างการกรองน้ำตาลโตนด ด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันระดับโรงงานทดลอง

#### 2.1 บทนำ

ในระยะหลายปีที่ผ่านมา กระบวนการเมมเบรนได้สร้างความแตกต่างของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น น้ำผลไม้, เบียร์, น้ำตาล และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน ได้ถูกนำมาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีคุณภาพสูงขึ้น ลดปริมาณจุลินทรีย์ การเพิ่มความใส เพื่อลดการใช้ความร้อนและพลังงาน อีกทั้งสามารถรักษาสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ที่มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด โดยปราศจากสารเคมีและสารเติมแต่ง จึงมีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาเป็นทางเลือกในการแปรรูปน้ำผลไม้ นอกเหนือจากกระบวนการแปรรูปแบบเดิมที่มีการใช้ความร้อนและสารเคมีเข้ามามีส่วนร่วม (Pereira *et al.*, 2002; Matta *et al.*, 2004)

โดยทั่วไปการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชันสำหรับการแปรรูปน้ำผลไม้และเครื่องดื่ม มีวัตถุประสงค์คือ (1) การทำให้ใส (Clarification) โดยแยกสารโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้ง, ใย และองค์ประกอบที่ไม่สามารถละลายได้ได้ดีกว่ากระบวนการการทำให้ใสแบบทั่วไป (2) การลดปริมาณจุลินทรีย์ หรือการทำให้ส่วนประกอบของเพมิเอทพอลอดเชื้อโดยไม่ใช้ความร้อนหรือที่เรียกว่า “Cold sterilization” ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพและกลิ่นรสไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และส่วนของรีเทนเททสามารถนำไปพาสเจอร์ไรซ์แล้วเติมเพื่อให้ น้ำผลไม้มีเนื้อสัมผัสดีขึ้น (Vaillant *et al.*, 1999) โดยจุดเด่นนี้จึงนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำตาลโตนด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมากในจังหวัดสงขลา น้ำผลไม้ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการเมมเบรนได้แก่ แอปเปิ้ล เสาวรส องุ่น กีวี สับปะรด ส้ม เป็นต้น มีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของกระบวนการเมมเบรนและคุณภาพของน้ำผลไม้ Wu และคณะ (1990) ศึกษาถึงคุณภาพของน้ำแอปเปิ้ลภายหลังการกระบวนการเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรนแบบเส้นใยกลวง (hollow fiber) ชนิด โพลีซัน โฟน (polysulfone) ขนาด MWCO 5 และ 50 kDa พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ พีเอช ไม่มีความแตกต่างกับน้ำแอปเปิ้ลสด และมีความใสมากขึ้น

de Carvalho และคณะ (1998) ศึกษาคุณภาพของน้ำสับประคโดยผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนชนิดโพลีซันโฟน MWCO ขนาด 50 kDa และกระบวนการไมโครฟิลเตรชันที่ใช้เมมเบรนชนิดเซรามิกรูพรุนขนาด 0.22  $\mu\text{m}$  พบว่ากระบวนการเมมเบรนทั้งสองสามารถลดความขุ่นในน้ำสับประคลงได้โดยองค์ประกอบอื่นๆ เช่นกลิ่นรส ปริมาณกรดอินทรีย์ ไม่แตกต่างจากน้ำสับประคเริ่มต้น

Campos และคณะ (2002) ศึกษาผลของกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและการเก็บรักษาน้ำมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านเมมเบรนแบบท่อเซรามิกรูพรุนขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  ที่อุณหภูมิ 30 °C ความดันขับ 200 kPa พบว่าสามารถลดปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ได้ และสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานกว่า 60 วัน

Cassano และคณะ (2004) ศึกษาการใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรนชนิดโพลีไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (polyvinylidene fluoride) ขนาด MWCO 15 kDa ในการกรองน้ำกีวี่ที่อุณหภูมิ 20, 25 และ 30 °C พบว่าในระหว่างการกรองมีการลดลงของฟลักซ์เพอเมอเทลงแตกต่างกัน เมื่อใช้อุณหภูมิค่าฟลักซ์ในระหว่างการกรองมีค่าต่ำ เนื่องจากความหนืดของเพอเมอเทและรีเทนเททสูงขึ้น ส่งผลต่อการเกิดการสะสมของชั้นฟาวลิง และคอนเซ็นเตรชันโพลาริเซชัน เช่นเดียวกับ Wang และคณะ (2005) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการกรองน้ำเชอร์รี่ด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เมมเบรน เซรามิกรูพรุนขนาด 0.14  $\mu\text{m}$  ที่ความดันขับและความเร็วตามขวางคงที่

Dornier และคณะ (1995) ศึกษากระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการกรองน้ำอ้อยด้วยเมมเบรนระดับโรงงานทดลอง (Pilot plant scale) โดยใช้เมมเบรนเซรามิกรูพรุนขนาด 1.4  $\mu\text{m}$  ที่ความเร็วตามขวางแตกต่างกัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์สูงขึ้นเมื่อความเร็วตามขวางในระบบสูงขึ้นนอกจากนี้ Snir และคณะ (1996) ศึกษาผลขนาดรูพรุนต่อการเกิดฟาวลิงในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันแบบเส้นใยกลวง ระหว่างการกรองน้ำเกรฟฟรุต (grapefruit) ด้วยเมมเบรน MWCO ขนาด 10, 30 และ 100 kDa พบว่าเมมเบรนขนาด MWCO 30 และ 100 kDa มีการเกิดฟาวลิงสูงกว่าเมมเบรนขนาด MWCO 10 kDa เช่นเดียวกับ Czekaj และคณะ (2001) ที่ศึกษาการกักกันองค์ประกอบในเบียร์ด้วยเมมเบรนเซลลูโลสอะซิเตต (CA), โพลีไวนิลิดีนไดฟลูออไรด์ (PVDF) และโพลีคาร์บอเนต (PC) ขนาดรูพรุน 0.2  $\mu\text{m}$  พบว่าความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และแตกต่างกันในแต่ละชนิดเมมเบรน

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างของการใช้เมมเบรนกับน้ำผลไม้

Table 2-1 Example of membrane clarified juices

Juice	Membrane system	Operating conditions	Pore size/ MWCO	Flux (L/m <sup>2</sup> .h)	Quality/Comments	Ref.
Apple	Hollow fiber polysulfone	Temp 25-30°C TMP 121 kPa CFV 5 times	10 kDa 50 kDa 100 kDa 500 kDa	30 (initial)	- Juices had similar soluble solids, titratable acidity and sensory quality. - Total solids increased with membrane pore size. - Juices from 100 and 500 kDa membrane had higher turbidity and browning than those from 10 and 50 kDa; total phenols increased with MWCO up to 100 kDa..	Padilla and MeeLellan, 1989
Pineapple	Tubular polyethersulfone	Temp 25°C TMP 100 kPa CFV 6 m/s	0.3 µm	100 (steady)	- Clarified juice present a great reduction in viscosity. - pH, acidity and soluble solid not change during the processing.	Carnerio <i>et al.</i> , 2002
Cashew apple	Tubular polyethersulfone	Temp 30 °C TMP 200 kPa	0.3 µm	70 (steady)	- The clarified juice had similar physical and chemical properties. - Moulds and yeast and mesophilic bacteria counting was less than 10 CFU/g.	Campos <i>et al.</i> , 2002
Kiwifruit	Tubular polyvinylidene fluoride	Temp 25 °C Flow rate 500 L/h TMP 0.8 bar	15 kDa	12 (steady)	- Suspension solids in fresh kiwifruit juice was completely removed and the clarified juice had lower viscosity and negligible turbidity.	Cassano <i>et al.</i> , 2004
Cherry	Tubular ceramic	Temp 40 °C CFV 8.01 m/s TMP 0.2 MPa	0.14 µm	55 (initial)	- The value color indexes <i>L</i> increased and viscosity were decrease.	Wang <i>et al.</i> , 2005

การเกิดฟาวลิ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกักกันสารหรือองค์ประกอบของ กระบวนการได้ จากการศึกษาของ Eagles และ Wakeman (2002) ถึงการเกิดชั้นฟาวลิ่งในระหว่าง การกรองเบียร์ด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันรูพรุนขนาด 0.2, 0.26 และ 0.43  $\mu\text{m}$  เมมเบรน ชนิดโพลีเอไมด์, โพลีคาร์บอเนต และเซลลูโลส ในเตรท พบว่าการกักกันโมเลกุลซูโครส, มอลโทส, แลคโทส, กลูโคส และฟรุกโทส มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลากรองเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Barbate และคณะ (2003) ในการแปรูปน้ำผึ้งโดยใช้เมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันแบบโพลีเมอร์ MWCO ขนาด 25, 50 และ 100 kDa ที่ความดันขับและความเร็วตามขวางที่ ส่งผลให้ค่าการกักกันเอนไซม์มี ค่าเพิ่มขึ้นสูงถึง 60-100%

โดยทั่วไปน้ำตาลโตนดมีความขุ่นสูงและมีองค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหมักอย่างรวดเร็วส่งผลให้คุณภาพของน้ำตาลโตนด ลดลง ปัจจุบันมีการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ ส่งผลให้น้ำตาลโตนดมีการเปลี่ยนแปลงทางสี กลิ่น และรส

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของกระบวนการเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชันระดับโรงงานทดลอง ต่อการกักกันองค์ประกอบทางเคมีในน้ำตาลโตนด และต่อการ เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านเคมี, กายภาพและจุลินทรีย์ของน้ำตาลโตนด การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ และความต้านทานเนื่องจากฟาวลิ่ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเมมเบรน ในการแปรูปน้ำตาลโตนดและน้ำผลไม้ที่มีลักษณะทางเคมีใกล้เคียงกันต่อไป

## 2.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

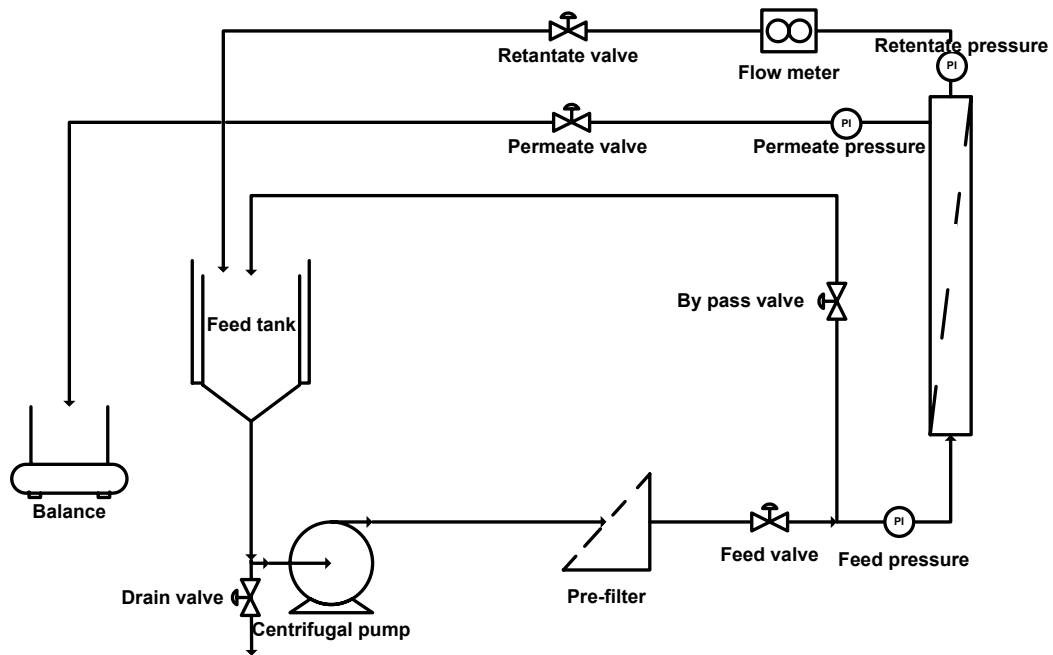
### 2.2.1 น้ำตาลโตนด

น้ำตาลโตนดที่ใช้เป็นน้ำตาลโตนดที่มีการเติมไม้เคี่ยมในระหว่างการเก็บเกี่ยว ทำการ เก็บตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร เก็บที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดการขนส่ง และใช้ในการทดลอง ให้หมดภายใน 10 ชั่วโมง ก่อนการทดลองกรองผ่านผ้าขาวบางเพื่อแยกตะกอนและอนุภาคขนาดใหญ่ ในน้ำตาลโตนดออก จากนั้นทำการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 50 °C และนำเข้าระบบกรอง

### 2.2.2 ระบบเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันระดับโรงงานทดลองและเมมเบรน

ระบบเมมเบรนระดับโรงงานทดลอง (Pilot plant scale) มีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2-1 โดยมีถังสองชั้นปริมาตร 50 ลิตรเป็นถังป้อนตัวอย่าง การป้อนตัวอย่างเข้าระบบโดยใช้ปั๊มแบบหอยโข่ง (Centrifugal pump) สามารถปรับอัตราการไหลของสารป้อนและความดันโดยการปรับความถี่ของ อินเวอร์เตอร์ (inverter) และการปรับวาล์วของรีเทนเทท ควบคุมอุณหภูมิน้ำตาลโตนดให้คงที่  $50 \pm 1$  °C โดยใช้น้ำกรอง (อุณหภูมิห้อง) ในการหล่อเย็นระบบ

ใช้กรองเมมเบรนที่ใช้เป็นแบบท่อเซรามิก ( $ZrO_2-TiO_2$ ) (Rhodia Oreilis, France) ระดับไมโครฟิลเตรชันรูพรุนขนาด 0.2 และ 0.1  $\mu m$  และระดับอัลตราฟิลเตรชัน MWCO ขนาด 300 และ 50 kDa เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร (mm) จำนวน 18 ท่อ ยาว 1.2 เมตร (m) พื้นที่การกรอง 0.245 ตารางเมตร ( $m^2$ )



ภาพที่ 2-1 ชุดเมมเบรนระดับโรงงานทดลองไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน

Figure 2-1 Ultra- and microfiltration pilot plant scale system

### 2.2.3 วิธีการทดลอง

1. กรองน้ำตาลโตนดสดด้วยผ้าขาวบาง ให้ความร้อนจนอุณหภูมิ 50 °C แล้วนำเข้าระบบการกรอง
2. นำน้ำตาลโตนดผ่านเข้าสู่กระบวนการเมมเบรน โดยใช้เมมเบรน 2 ระดับ คือระดับอัลตราฟิลเตรชัน ขนาด MWCO 50, 300 kDa ที่ความดันขับ 250 kPa และไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.2 และ 0.1  $\mu m$  ที่ความดันขับ 100 kPa ดำเนินระบบการกรองแบบกะ (batch process) โดยมีความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิการกรอง 50±1 °C
3. ติดตามการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ของเพมิเอท โดยการชั่งน้ำหนักของเพมิเอททุกๆ 500 กรัม (g) พร้อมกับบันทึกเวลา และทำการสุ่มตัวอย่างน้ำตาลโตนดจากเพมิเอทและ

รีเทนเทท เพื่อหาการกักกันปริมาณโปรตีน และทำการหยุดการกรองเมื่อปริมาณสารป้อนลดลงร้อยละ 50 (VCR=2)

4. เก็บตัวอย่างน้ำตาลโตนดจากส่วนเพอมีเอทและรีเทนเททที่ VCR=2 เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพของน้ำตาลโตนดทางด้านเคมี, กายภาพและจุลินทรีย์ ทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 10 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 °C

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

#### 2.2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์

##### 1. คุณสมบัติทางเคมี

- พีเอช โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (A.O.A.C., 1999)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (A.O.A.C., 1999)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand Refractometer (A.O.A.C., 1999)
- น้ำตาลอินเวิร์ทตามวิธีของ Lane Eynon and Volumetric Method (A.O.A.C., 1999)
- น้ำตาลทั้งหมดตามวิธีของ Lane Eynon and Volumetric Method (A.O.A.C., 1999)
- ปริมาณกรดทั้งหมด (A.O.A.C., 1999)
- ปริมาณโปรตีนตามวิธี Lowry's (Lowry *et al.*, 1951)

##### 2. คุณสมบัติทางกายภาพ

- วัดค่าสี โดยใช้ Hunter Lab (Carneiro และคณะ, 2002)
- วัดความข้นใส โดยใช้ Hunter Lab (Carneiro และคณะ, 2002)
- วัดค่าความหนืด โดยใช้ U-tube viscometers (Bailey และคณะ, 2000)
- การกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดยใช้เครื่อง LS Particle Size Analyzer (COULTER LS 230)

##### 3. คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้วิธี Pour Plate ใช้อาหารพีซีเอ (Plate count agar)
- จำนวนยีสต์และรา โดยใช้วิธี Pour Plate ใช้อาหารพีดีเอ (Potato dextrose agar)
- จำนวนแลกติกแบคทีเรียโดยใช้วิธี Pour Plate ใช้อาหารเอ็มอาร์เอส (MRS-medium)

### 2.2.5 การวิเคราะห์ฟาวลิง (Jiratananon *et al.*, 1997)

การวิเคราะห์ความต้านทานของกระบวนการเมมเบรน สามารถแยกความต้านทานการไหลของเพอมีเอทเป็นความต้านทานของเมมเบรน ( $R_m$ ) ความต้านทานเนื่องจากการเกิดฟาวลิง ( $R_{if}$ ) และความต้านทานเนื่องจากชั้นโพลาไรเซชัน ( $R_p$ )

ดังนั้นความต้านทานรวม ( $R_t$ ) ในสมการที่ [2.1] ประกอบด้วย

$$R_t = R_m + R_{if} + R_{irf} \quad [2.1]$$

ซึ่งความต้านทานแต่ละตัวสามารถคำนวณได้ดังนี้

1.) ความต้านทานรวม ( $R_t$ ) สามารถคำนวณได้จากฟลักซ์ของสารละลายดังสมการที่ [2.2]

$$R_t = \frac{TMP}{\mu_p J} \quad [2.2]$$

เมื่อ  $TMP$  = ความดันขับที่ให้กับระบบ (Pa)

$J$  = ฟลักซ์ของสารละลาย ( $m^3/m^2.s$ )

$\mu_p$  = ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)

2.) ความต้านทานเมมเบรน ( $R_m$ ) สามารถคำนวณได้จากฟลักซ์ของน้ำกรองจากสมการ

$$R_m = \frac{TMP}{\mu_w J_w} \quad [2.3]$$

เมื่อ  $TMP$  = ความดันขับที่ให้กับระบบ (Pa)

$J_w$  = ฟลักซ์ของน้ำกรองก่อนการใช้งาน ( $m^3/m^2.s$ )

$\mu_w$  = ความหนืดของน้ำกรอง (Pa.s)

หลังจากการใช้งานแล้วจะทำการล้างเมมเบรนด้วยน้ำกรองเพื่อกำจัดชั้นคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน ดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นโพลาไรเซชันจึงถูกกำจัดออกไป ค่าความต้านทานที่เหลืออยู่คือ ความต้านทานเมมเบรน ( $R_m$ ) และความต้านทานของฟาวลิงที่ไม่สามารถผันกลับได้ ( $R_{irf}$ ) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ [2.4]

$$R_m + R_{irf} = \frac{TMP}{\mu_w J'_w} \quad [2.4]$$

เมื่อ  $J'_w$  = ฟลักซ์ของน้ำกรองหลังจากการล้างเมมเบรน ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{s}$ )

3.) ความต้านทานของชั้นโพลารไรซ์ ( $R_{rp}$ ) สามารถคำนวณโดยการแทนค่าของสมการที่ [2.2] และ [2.4] ลงในสมการที่ [2.1]

4.) ความต้านทานของฟาวลิง ( $R_{fp}$ ) สามารถคำนวณโดยการแทนค่าของ  $R_m$  จากสมการ [2.3] ลงในสมการ [2.5] จะได้ดังนี้

$$R_{irf} = \frac{TMP}{(\mu_w J'_w)} - R_m \quad [2.5]$$

โดยดำเนินการล้างที่ความดันขับ 1.0 bar ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ  $30 \pm 5$  °C

#### 2.2.6 วิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ระบบเมมเบรน

ก่อนกระบวนการกรองในแต่ละครั้งทำการสเตรไรซ์ระบบเมมเบรน โดยล้างด้วยน้ำเปล่าที่ความดันขับ 0.5 bar ความเร็วตามขวาง 1.5 m/s อุณหภูมิ  $\sim 30$  °C นาน 15 นาที และทำการล้างระบบเมมเบรนด้วยโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) เข้ม 0.5% (w/v) ที่อุณหภูมิ  $\sim 30$  °C นาน 15-20 นาที และการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ระบบเมมเบรนอีกครั้งด้วยน้ำร้อน อุณหภูมิ 80-85 °C นาน 15-20 นาที วนทั้งระบบ

#### 2.2.7 วิธีการล้างเมมเบรน

หลังจากกระบวนการกรองแต่ละครั้งทำการล้างเมมเบรนด้วยน้ำกรองที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการชะล้างสิ่งอุดตันออก ด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มขึ้น 0.5% (v/v) พีเอช 11 ที่ความดันขับ 1.0 bar ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ 70-80 °C นาน 30 นาที และล้างด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เข้มขึ้น 0.5% (v/v) พีเอช 2 ที่อุณหภูมิ 50-60 °C ที่ความดันขับและความเร็วตามขวางระดับเดียวกันนาน 30 นาที ใช้น้ำกรองในการทำความสะอาด ทำความสะอาด และทำการวัดค่าฟลักซ์ของน้ำสะอาดที่สภาวะคงที่ จากนั้นใช้โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Potassium metabisulfite, KMS) เข้มขึ้น 0.5 % (w/v) วนทั้งระบบนาน 10 นาที ก่อนทำการหยุดระบบการกรอง



## 2.3 ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง

### 1) ผลของกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันต่อคุณสมบัติของน้ำตาลโตนด

ผลของการศึกษากระบวนการเมมเบรนต่อคุณภาพน้ำตาลโตนด ทดลองโดยใช้เมมเบรน 2 ระดับ คือ ระดับไมโครฟิลเตรชัน ขนาดรูพรุน 0.1 และ 0.2  $\mu\text{m}$  และอัลตราฟิลเตรชัน ขนาด MWCO 50 และ 300 kDa โดยหลังผ่านกระบวนการเมมเบรนจะได้น้ำตาลโตนด 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเพอมีเอท และรีเทนเตท คือส่วนที่ผ่านเมมเบรนและที่ถูกกักกันด้วยเมมเบรน ตามลำดับ (ภาพที่ 2-1) เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์หลังจากผ่านกระบวนการ มีผลการทดลองดังนี้

#### 1.1) คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน แสดงดังตารางที่ 2-2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้ระบบ Hunter lab (L,a,b) ซึ่งในทฤษฎีกำหนดว่าค่า L มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีความสว่าง ค่า a มีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีแดง และเมื่อค่า b เป็นบวก แสดงว่าวัตถุมีเฉดสีเหลือง พบว่าเมื่อกรองน้ำตาลโตนดผ่านเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน ค่า L, a และ b มีความแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่า L เฉลี่ยเท่ากับ 97.3, 98.4, 97.1 และ 98.0 เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ



ภาพที่ 2-2 น้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการเมมเบรน

Figure 2-2 Sugar palm sap after membrane filtration process

**ตารางที่ 2-2** คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำตาลโตนดสดและเพอเมต (ไมโครฟิลเตรชัน ขนาดรูพรุน 0.2 และ 0.1  $\mu\text{m}$  ที่ความดันขั้วขั้ว 100 kPa และอัลตราฟิลเตรชัน MWCO 300 และ 50 kDa ที่ความดันขั้วขั้ว 250 kPa ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ )

**Table 2-2** Physical properties of fresh sugar palm sap and permeate (microfiltration pore size 0.2 and 0.1  $\mu\text{m}$  at TMP 100 kPa and ultrafiltration MWCO 300 and 50 kDa at TMP 250 kPa CFV 3.5 m/s, Temp.  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ .)

Properties		Fresh sugar	Permetate			
		plam sap	0.2 $\mu\text{m}$	0.1 $\mu\text{m}$	300 kDa	50 kDa
<b>Color</b>	<b>L</b> <sup>1</sup>	72.46 $\pm$ 1.46 <sup>*b</sup>	97.27 $\pm$ 0.90 <sup>a</sup>	98.36 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	97.14 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	98.04 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>
	<b>a</b> <sup>2</sup>	2.80 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	-0.05 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	-0.027 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>	-0.10 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>
	<b>b</b> <sup>3</sup>	14.86 $\pm$ 0.95 <sup>a</sup>	4.75 $\pm$ 1.55 <sup>b</sup>	3.37 $\pm$ 0.60 <sup>b</sup>	5.27 $\pm$ 1.52 <sup>b</sup>	3.82 $\pm$ 1.19 <sup>b</sup>
<b>Transmittance(%) at 650 nm</b>		64.99 $\pm$ 1.61 <sup>b</sup>	98.09 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	99.02 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup>	98.15 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	99.77 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>
<b>Viscosity (mPa.s) at 25 °C</b>		1.35 $\pm$ 0.005 <sup>a</sup>	1.26 $\pm$ 0.005 <sup>c</sup>	1.26 $\pm$ 0.005 <sup>c</sup>	1.29 $\pm$ 0.005 <sup>b</sup>	1.32 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup>
<b>Particle size (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		0.2-30	-	-	-	-

Note: \*Each value is the mean of triplicate determination  $\pm$  standard deviation

<sup>a-c</sup>, Means within row with the same superscript are not significantly different at  $p > 0.05$

<sup>1</sup> L<sub>Hunter</sub> – luminosity (0 = black and 100 = white) <sup>2</sup> a<sub>Hunter</sub> – (from -80 to zero = green, from zero to +100 = red)

<sup>3</sup> b<sub>Hunter</sub> – (from -100 to zero = blue, from zero to +70 = yellow)

ผลการทดลองค่า  $a$  ของน้ำตาลโตนดในส่วนของเพอมีเอทที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04, -0.05, -0.023 และ -0.10 ตามลำดับ และค่า  $b$  ของน้ำตาลโตนดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.8, 3.4, 5.3 และ 3.3 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าน้ำตาลโตนดที่ผ่านเมมเบรนมีค่า  $a$  และ  $b$  ลดลงจากน้ำตาลโตนดสด และมีสีเหลืองนวล ทั้งนี้เพราะน้ำตาลโตนดสดมีสีค่อนข้างดำและกักไว้ด้วยเมมเบรน ส่งผลให้ส่วนของเพอมีเอทมีความใสและความสว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Carneiro และคณะ (2002) รายงานว่าค่า  $L$  ในส่วนเพอมีเอท มีค่าสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักกั้นอนุภาคและองค์ประกอบของสีในน้ำสับปะรดบางส่วนไว้ได้

การวิเคราะห์ค่าความขุ่นในรูปของความสามารถในการส่องผ่านของแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร (nm) เมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าน้ำตาลโตนดส่วนของเพอมีเอทมีความแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ค่าการผ่านทะลุของแสงในส่วนเพอมีเอทมีค่าสูงสุดเท่ากับ 98.1, 99.0, 98.2 และ 99.8 % เมื่อผ่านเมมเบรนรูพรุน/MWCO ขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ และความใสของน้ำตาลโตนดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (ตารางที่ 2-2) ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ คอลลอยด์และองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำตาลโตนดถูกเมมเบรนกักกั้นไว้ในส่วนของรีเทนเทท ส่งผลให้ค่าของการส่องผ่านทะลุของแสงในส่วนเพอมีเอทสูงกว่าในน้ำตาลโตนดสด จากรายงานของ López และคณะ (2004) ถึงการศึกษากระบวนการกรองน้ำส้มสายชูด้วยเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันรูพรุนขนาด 0.45  $\mu\text{m}$  พบว่าสามารถกักกั้นสารแขวนลอย เซลล์จุลินทรีย์และองค์ประกอบของสีของน้ำส้มสายชู ส่งผลให้เพอมีเอทมีความใสขึ้นและมีความยอมรับของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Wu และคณะ (1990) ศึกษาคุณภาพของน้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรน 2 ขนาด คือ 5 และ 50 kDa พบว่าน้ำแอปเปิ้ลมีความใสมากขึ้น

การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำตาลโตนดที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่าความหนืดในส่วนของเพอมีเอทมีค่าลดลงเล็กน้อยและมีความแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ( $p < 0.05$ ) โดยความหนืดของน้ำตาลโตนดในส่วนของเพอมีเอทมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.26, 1.26, 1.29 และ 1.32 mPa.s เมื่อผ่านเมมเบรน ขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ (ตารางที่ 2-2) เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักกั้นองค์ประกอบขนาดใหญ่ไว้ในส่วนของรีเทนเทท และในการดำเนินกระบวนการเมมเบรนใช้อุณหภูมิ 50°C จึงมีความเป็นไปได้ที่ความหนืดมีค่าลดลง (Alvarez *et al.*, 1998) เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์น้ำสับปะรด เมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรนรูพรุนขนาด 0.3  $\mu\text{m}$  เพอมีเอทมีความใสเพิ่มขึ้น และความหนืดลดลง (Carneiro *et al.*, 2002)

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการกรองของเมมเบรนทั้งสองระดับ พบว่าการกรองด้วยไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน สามารถทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของเพอมีเอทมี

ความแตกต่างไปจากน้ำตาลโตนดสด เมื่อเปรียบเทียบสีและความใสสามารถสังเกตได้ว่าในเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีความใสมากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากเมมเบรนมีรูพรุนขนาดเล็กกว่าเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน แต่ความหนืดของเพอมีเอทพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในเมมเบรนทั้งสองระดับ อย่างไรก็ตามการใช้กระบวนการเมมเบรนในการทำให้ใส ขนาดของรูพรุนหรือ MWCO ของเมมเบรนมีผลต่อคุณภาพของน้ำผลไม้เมื่อขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลขนาดเล็กสามารถผ่านเมมเบรนได้ ทำให้น้ำผลไม้หลังจากการกรองเกิดสีที่ขุ่นและองค์ประกอบของสารให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป (Padilla-Zakour and Mclellan, 1993)

## 1.2) คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนมีผลต่อค่าดังกล่าว โดยในส่วนของเพอมีเอทมีค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.80, 9.67, 11.20 และ 11.33 °Brix เมื่อผ่านเมมเบรนขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ (ตาราง ที่ 2-3) ซึ่งแตกต่างไปจากการทดลองของ Vaillant และคณะ (1999) พบว่าน้ำเสาวรสีในส่วนของเพอมีเอทและรีเทนเททที่กรองผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2  $\mu\text{m}$  ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่แตกต่างกับน้ำเสาวรสีเริ่มต้น และงานวิจัยของ de Barros และคณะ (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำสับประรดเมื่อผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ขนาด MWCO 100 kDa ความดันขับ 2 bar และอุณหภูมิ 50 °C พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าของแข็งที่ละลายได้เมื่อผ่านกระบวนการเมมเบรนดังกล่าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเมื่อผ่านเมมเบรนขนาด MWCO 300 และ 50 kDa มีความแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 2-3) เพราะเมมเบรนขนาด 300 และ 50 kDa มีรูพรุนขนาดเล็ก จึงมีประสิทธิภาพในการกักกันองค์ประกอบขนาดใหญ่ได้ดีกว่า เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cassano และคณะ (2004) ที่พบว่าสารแขวนลอยในน้ำกีวีลดลง 5 เท่าเมื่อผ่านเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชัน MWCO ขนาด 15 kDa ทั้งนี้เป็นเพราะในน้ำตาลโตนดมีองค์ประกอบที่เป็นสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมาก แม้จะมีบางส่วนที่ถูกกักกันในรีเทนเททด้วยเมมเบรนแต่อาจมีองค์ประกอบขนาดเล็กผ่านเมมเบรนได้ หากเปรียบเทียบในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้อื่นอาจมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย เพคติน หรือ โพลีแซคคาไรด์ ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เมื่อผ่านกระบวนการเมมเบรน ทำให้เมมเบรนสามารถกักสารโมเลกุลใหญ่ไว้ในส่วนของรีเทนเททได้มากจึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนเพอมีเอทลดลง (Carneiro *et al.*, 2002; de Barros *et al.*, 2003)

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชและค่ากรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดแลกติก) ของน้ำตาลโตนดที่ผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน (ตารางที่2-3) พบว่าค่าพีเอชไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลโตนดเริ่มต้น ( $p>0.05$ ) ในส่วนของเพอมีเอทมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 5.45, 5.01, 5.16 และ 5.38 และค่ากรดทั้งหมดในส่วนของเพอมีเอทมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.043, 0.048, 0.027 และ 0.027 % เมื่อกรองผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ ค่ากรดในเพอมีเอทที่ผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีค่าต่ำกว่าน้ำตาลโตนดสด ( $p<0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบบางอย่าง เช่น จุลินทรีย์ถูกกักกันด้วยเมมเบรนทำให้เกิดการหมักในระหว่างการกรอง เช่นเดียวกับการศึกษาของ de Carvalho และคณะ (1998) พบว่าเมื่อกรองน้ำสับปะรดผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน MWCO ขนาด 50 kDa มีค่ากรดลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน 0.22  $\mu\text{m}$  เนื่องจากเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีการกักกัน และมีการลดลงของฟลักซ์สูงกว่าไมโครฟิลเตรชัน แต่จากงานการวิจัยของ Vladisavljević และคณะ (2003) ในการศึกษาการใช้เมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชัน MWCO ขนาด 30, 50 และ 300 kDa ในการกรองน้ำแอปเปิ้ล พบว่าค่ากรด (คิดในรูปกรดมาลิก) ในส่วนของเพอมีเอทไม่มีความแตกต่างจากน้ำแอปเปิ้ลเริ่มต้น เนื่องจากองค์ประกอบและกรดอินทรีย์มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับรูพรุนเมมเบรน จึงสามารถผ่านเมมเบรนได้โดยไม่ถูกกักกัน

**ตารางที่ 2-3** คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลโตนดสด และเพอมีเอท (ไมโครฟิลเตรชัน ขนาดรูพรุน 0.2 และ 0.1  $\mu\text{m}$  ที่ความดันขับ 100 kPa และอัลตราฟิลเตรชัน MWCO 300 และ 50 kDa ที่ความดันขับ 250 kPa ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ  $50 \pm 1$  °C)

**Table 2-3** Physical properties of fresh sugar palm sap and permeate (microfiltration pore size 0.2 and 0.1  $\mu\text{m}$  at TMP 100 kPa and ultrafiltration 300 and 50 kDa at TMP 250 kPa CFV 3.5 m/s, Temp.  $50 \pm 1$  °C)

Properties	Fresh sugar	Permetate			
	plam sap	0.2 $\mu\text{m}$	0.1 $\mu\text{m}$	300 kDa	50 kDa
Total soluble solid (°Brix)	12.33 $\pm 0.57^*^a$	9.80 $\pm 0.20^c$	9.67 $\pm 0.50^c$	11.20 $\pm 0.20^b$	11.33 $\pm 0.57^b$
Total solid (%)	12.28 $\pm 0.23^{ab}$	12.42 $\pm 0.13^a$	11.93 $\pm 0.78^{abc}$	11.54 $\pm 0.25^{bc}$	11.20 $\pm 0.39^c$
pH	5.18 $\pm 0.21^{ab}$	5.45 $\pm 0.15^{ab}$	5.01 $\pm 0.30^b$	5.16 $\pm 0.05^{ab}$	5.38 $\pm 0.15^{ab}$
Acidity as lactic acid(%)	0.047 $\pm 0.005^a$	0.043 $\pm 0.002^a$	0.048 $\pm 0.012^a$	0.027 $\pm 0.005^b$	0.027 $\pm 0.005^b$
Total sugar (%)	11.39 $\pm 0.29^a$	11.18 $\pm 0.49^{ab}$	10.38 $\pm 0.54^b$	10.55 $\pm 0.56^{bc}$	10.55 $\pm 0.49^{ab}$
Reducing sugar (%)	0.88 $\pm 0.07^a$	0.57 $\pm 0.13^b$	0.59 $\pm 0.08^b$	0.59 $\pm 0.07^b$	0.64 $\pm 0.08^b$
Protein content (g/100ml)	0.29 $\pm 0.04^a$	0.25 $\pm 0.03^{ab}$	0.23 $\pm 0.01^b$	0.25 $\pm 0.03^{ab}$	0.23 $\pm 0.00^b$

Note: \* Each value is the mean of triplicate determination  $\pm$  standard deviation

<sup>a-b</sup>, Means within row with the same superscript are not significantly different at  $p > 0.05$

จากการทดลองปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ของแข็งทั้งหมด, ค่าพีเอชและค่ากรดไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก จึงสามารถผ่านรูพรุนของเมมเบรนไปได้ โดยไม่มีการกักกันหรือกักกันไว้น้อยมาก (Pereira *et al.*, 2002)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีความแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ( $p < 0.05$ ) โดยในส่วนของเพอมีเอทมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเฉลี่ย 11.18, 10.38, 10.55 และ 10.55 % เมื่อผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ (ตารางที่ 2-3) เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบขนาดโมเลกุลของน้ำตาล (กลูโคส) มีขนาดโมเลกุล 120 kDa ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันและระดับอัลตราฟิลเตรชัน MWCO ขนาด 300 kDa ดังนั้นโมเลกุลของน้ำตาลบางส่วนสามารถผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้ (Merin and Shomer, 1999)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ เมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ในส่วนเพอมีเอทมีค่าลดลงและมีค่าแตกต่างจากน้ำตาลโตนดสด ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57, 0.59, 0.50 และ 0.64 % เมื่อผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$ , 300 และ 50 kDa ตามลำดับ (ตารางที่ 2-3) จากการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ de Barros และคณะ (2003) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ของน้ำสับประรดในส่วนเพอมีเอทมีค่าลดลงต่ำกว่าน้ำสับประรดสด แต่ในส่วนของรีเทนเททมีปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์สูงขึ้นเมื่อใช้เมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.01  $\mu\text{m}$  ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนอนุภาคขนาดใหญ่และจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกกักกันไว้ในส่วนของรีเทนเทท ทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ซึ่งกลุ่มที่สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เทส สามารถย่อยน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส ส่งผลให้น้ำตาลรีดิวิซ์ในส่วนของเพอมีเอทลดลง (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของน้ำตาลโตนดเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกับน้ำตาลโตนดสด ( $p < 0.05$ ) ในน้ำตาลโตนดประกอบด้วยโปรตีนจุลินทรีย์และเอนไซม์ จึงมีความเป็นไปได้ที่องค์ประกอบเหล่านี้ถูกกักกันด้วยเมมเบรน Chakraborty และคณะ (2004) ได้ศึกษาและรายงานถึงน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนของน้ำตาลโตนดมีขนาด 100 kDa แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานถึงลักษณะหรือโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนในน้ำตาลโตนดอย่างชัดเจนจึงอาจมีความเป็นไปได้ที่องค์ประกอบของโปรตีนสามารถผ่านเมมเบรนไปได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Matta และคณะ (2004) ถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพของน้ำเซอร์รี่เมื่อผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.3  $\mu\text{m}$  พบว่าปริมาณโปรตีนในส่วนของรีเทนเททมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพราะเมมเบรนกักกันไฟเบอร์ เซลล์จุลินทรีย์และอนุภาคต่างๆไว้ในส่วนของรีเทนเทท

### 1.3) คุณสมบัติทางจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, แลคติกแบคทีเรีย, ยีสต์และรา ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนดและน้ำผลไม้อื่นๆ โดยส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาและการยอมรับของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในส่วนของเพอมีเอทมีค่าเฉลี่ย  $5.33, 3.25 \times 10^2, 6.67$  และ  $9.88 \times 10^3$  โคโลนีต่อมิลลิเมตร (CFU/ml) เมื่อผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ (ตารางที่ 2-4) จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกกักกันด้วยเมมเบรนไว้ในส่วนของรีเทนเทท ส่งผลให้ส่วนของเพอมีเอทมีจำนวนจุลินทรีย์ลดลง

ผลการวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียแลคติกในน้ำตาลโตนดหลังผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่ามีจำนวนแบคทีเรียแลคติกเฉลี่ย  $<1.0 \times 10^{-1}$  CFU/ml (ตารางที่ 2-4) ทั้งนี้จำนวนแบคทีเรียแลคติกในส่วนของรีเทนเททมีค่าน้อยกว่าในส่วนของน้ำตาลโตนดเริ่มต้น เพราะสถานะในการทดลองที่ดำเนินกระบวนการกรองที่อุณหภูมิ 50 °C สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้ (Matta *et al.*, 2004) สอดคล้องกับการศึกษาของ Campos และคณะ (2002) พบว่าการใช้เมมเบรนไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.3  $\mu\text{m}$  สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำมะม่วงหิมพานต์ โดยจำนวนยีสต์ รา และ mesophilic bacteria เหลือน้อยกว่า 10 CFU/g เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเครื่องดื่มประเภทน้ำผลไม้ซึ่งกำหนดว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 500 CFU/g จำนวนยีสต์และรา ไม่เกินกว่า 100 CFU/g (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, มพช.113/2546)



**ตารางที่ 2-4** จำนวนจุลินทรีย์ในน้ำตาลโตนดสด และเพอมีเอท (ไมโครฟิลเตรชัน ขนาดรูพรุน 0.2 และ 0.1  $\mu\text{m}$  ที่ความดันขับ 100 kPa และอัลตราฟิลเตรชัน MWCO 300 และ 50 kDa ที่ความดันขับ 250 kPa ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ )

**Table 2-4** Microbiological properties of fresh sugar palm sap and permeate (microfiltration, pore size 0.2 and 0.1  $\mu\text{m}$  at TMP 100 kPa and ultrafiltration, MWCO 300 and 50 kDa at 250 kPa, Cross-flow velocity 3.5 m/s, Temp.  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ .)

Properties	Fresh sugar	Permeate			
	plam sap*	0.2 $\mu\text{m}$	0.1 $\mu\text{m}$	300 kDa	50 kDa
Total viable count (CFU/ml)	$9.22 \times 10^7$	5.33	$3.25 \times 10^2$	6.67	$9.88 \times 10^3$
Lactic acid bacteria (CFU/ml)	$7.00 \times 10^6$	0	0	0	0
Yeast and mold (CFU/ml)	$7.08 \times 10^7$	0	0	0	$6.85 \times 10^2$

Note: \* Microbiological analysis were done after 15 hours of collecting sugar palm sap.

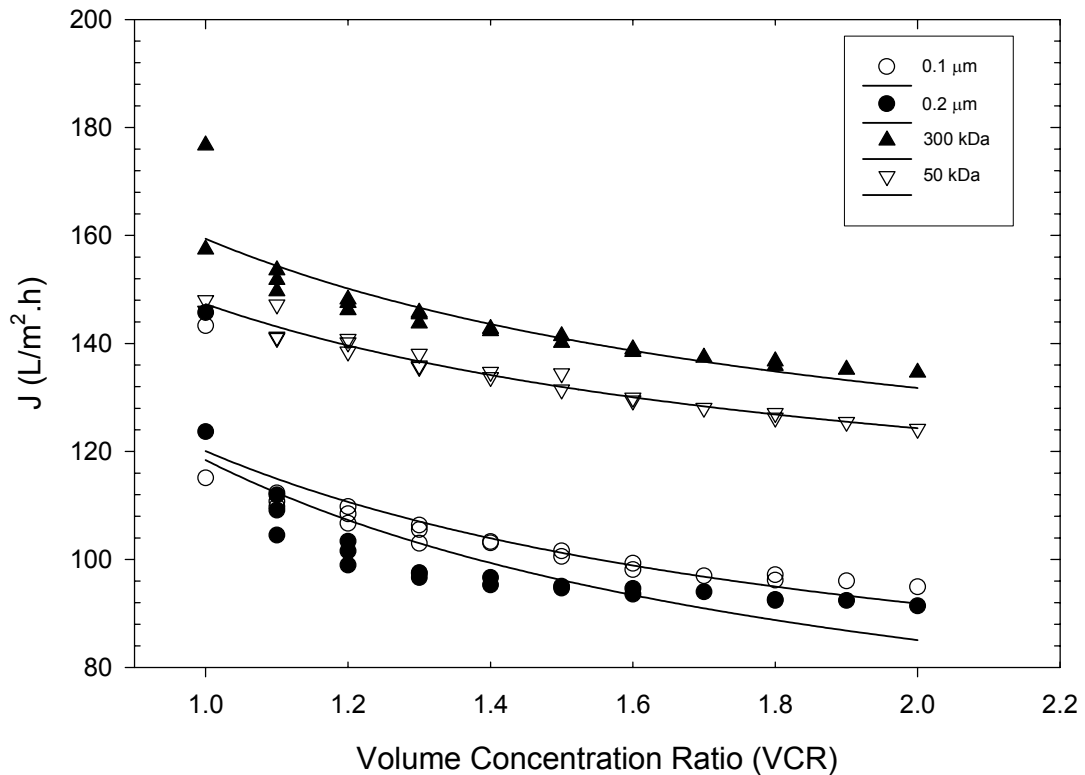
(Each value is the mean of triplicate determination  $\pm$  standard deviation.)

ผลการวิเคราะห์จำนวนยีสต์และราในน้ำตาลโตนดสดและเพอมีเอท พบว่าจำนวนยีสต์และราในส่วนของเพอมีเอทมีค่าเฉลี่ย 0, 0, 0 และ  $6.85 \times 10^2$  CFU/ml เมื่อผ่านเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ (ตารางที่ 2-4) จากการทดลองพบว่าเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันขนาด MWCO 50 kDa มีจำนวนยีสต์และราสูงกว่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของน้ำตาลโตนด (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, มผช.113/2546) ทั้งนี้เนื่องจากระบบการกรองหรือไส้กรองเมมเบรนอาจมีจุดบกพร่องจุดเล็กๆเกิดขึ้น จากการทดลองสอดคล้องกับ Barefoot และคณะ (1989) ในศึกษาการลดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการเมมเบรนโดยใช้จุลินทรีย์ *P. diminuta* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2  $\mu\text{m}$  เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการกรอง พบว่าการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันสามารถกักกันจุลินทรีย์ *P. diminuta* ได้อย่างสมบูรณ์

## 2) การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์

ค่าฟลักซ์ของเพอมีเอทในระหว่างการกรองน้ำตาลโตนดด้วยเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน แสดงดังภาพที่ 2-2 ค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 143.3, 145.7, 176.7 และ 148.0  $\text{L/m}^2\cdot\text{h}$  เมื่อกรองด้วยเมมเบรนขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$ , 300 และ 50 kDa ตามลำดับ ค่าฟลักซ์มีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก สันนิษฐานว่าในช่วงดังกล่าวมีฟาวลิ่งสะสมในรูพรุนและมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะคงตัว

(steady state) เมื่อมีค่า VCR เพิ่มขึ้นและเกิดปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันและชั้นเค้กที่ผิวหน้าเมมเบรน (Mordon *et al.*, 2000)



**ภาพที่ 2-3** เอมิเอทฟลักซ์กับอัตราความเข้มข้นเชิงปริมาตรในระหว่างการกรองน้ำตาลโดนคด้วยเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน (รูพรุนขนาด 0.2 และ 0.1  $\mu\text{m}$  ที่ความดันขับ 100 kPa) และอัลตราฟิลเตรชัน (MWCO ขนาด 300 และ 50 kDa ที่ความดันขับ 250 kPa) ที่ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ  $50 \pm 1^\circ\text{C}$

**Figure 2-3** Flux versus VCR during microfiltration (poresize 0.2 and 0.1  $\mu\text{m}$ , TMP 100 kPa) and ultrafiltration of sugar palm sap (MWCO 300 and 50 kDa, TMP 250 kPa) at cross-flow velocity 3.5 m/s and temperature  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ .

จากการทดลองพบว่าค่าฟลักซ์ของเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2  $\mu\text{m}$  มีค่าต่ำกว่าเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.1  $\mu\text{m}$  เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่ามีความเป็นไปได้ที่สารแขวนลอย หรืออนุภาคขนาดเล็กเกิดแรงกระทำระหว่างเมมเบรน และสะสมที่ผนังภายในรูพรุนส่งผลให้เกิดฟาวลิงอย่างรวดเร็ว (Domier *et al.*, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fukumoto และคณะ

(1998) พบว่าในการกรองน้ำแอปเปิ้ลด้วยเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันแบบเซรามิกขนาดรูพรุน 0.2 และ 0.02  $\mu\text{m}$  ที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่า ค่าฟลักซ์ของน้ำแอปเปิ้ลที่กรองด้วยเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2  $\mu\text{m}$  ที่ได้มีค่าต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Chamchong และ Noomhorn (1991) ว่าในกระบวนการกรองน้ำส้มด้วยเมมเบรนแบบโพลีซัลโฟนขนาดรูพรุน 0.1  $\mu\text{m}$  มีค่าฟลักซ์ที่ดีกว่าการกรองด้วยเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.2  $\mu\text{m}$ . ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่อยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เริ่มต้นมีการสะสมและถูกดูดซับภายในผนังของรูพรุนของเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าการผ่านของอนุภาคเป็นไปได้ยากและอนุภาคขนาดใหญ่จะมีการสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน ส่งผลให้ฟลักซ์ที่สภาวะคงที่มีค่าสูงกว่า

ส่วนการลดลงของฟลักซ์ของเพอมีเอทของเมมเบรน MWCO 300 และ 50 kDa พบว่า ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนขนาด MWCO 300 kDa มีค่าสูงกว่า 50 kDa ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันมีการใช้ความดันสูง (250 kPa) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเมมเบรนทั้งสองระดับ พบว่าฟลักซ์ของเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันสูงกว่าเมมเบรนที่มีรูพรุนในระดับไมโครฟิลเตรชัน มีความเป็นไปได้ว่าการสะสมของชั้นฟาวลิงในเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชัน เกิดการดูดซับอย่างรวดเร็วภายในรูพรุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดรูพรุนอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ซึ่งต่างจากเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชัน ที่เป็นไปได้ว่าฟาวลิงที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าเมมเบรนเป็นหลัก และอีกเหตุผลคือในการทดลองมีการใช้ความดันขับที่แตกต่างกัน โดยในเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีการใช้ความดันขับที่สูงกว่าจึงมีแรงกระทำต่อเพอมีเอทไหลผ่านเมมเบรนสูงกว่า

### 3) ความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงและการกักกันโปรตีน

#### 3.1) ความต้านทานเนื่องจากฟาวลิง

จากการลดลงของฟลักซ์ในระหว่างการกรองเป็นปัญหาหลักต่อประสิทธิภาพกระบวนการกรองและอายุการใช้งานเมมเบรน โดยในน้ำผลไม้ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์, โปรตีน และคอลลอยด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สามารถสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรนหรืออุดตันรูพรุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูพรุนและส่งผลต่อการเพิ่มความต้านทานของเมมเบรนเนื่องจากฟาวลิง (Youn *et al.*, 2004)

ความต้านทาน  $R_m$  สามารถคำนวณได้จากฟลักซ์ของน้ำสะอาดของเมมเบรนก่อนใช้งาน ความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงที่ไม่สามารถผันกลับได้ ( $R_{fm}$ ) เป็นความต้านทานที่ติดอยู่กับเมมเบรนไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำไม่ว่าสภาวะใดๆ นอกจากนี้ใช้สารทำความสะอาด และความต้านทานเนื่องจากฟาวลิง

ที่ผันกลับได้ หรือจากชั้นคอนเซนต์เรชัน โพลาริเซชัน ( $R_{pf}$ ) ซึ่งความต้านทานนี้สามารถกำจัดออกด้วยน้ำสะอาดที่ความเร็วตามขวางที่เหมาะสม โดยอาศัยแรงเฉือนที่ผิวหน้าเมมเบรนในระหว่างการกรอง

จากการศึกษาความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงในกระบวนการกรองน้ำตาลโตนดด้วยเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน แสดงดังตารางที่ 2-5 พบว่าความต้านทาน  $R_m$  ของเมมเบรนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.26 \times 10^{12}$ ,  $1.38 \times 10^{12}$ ,  $1.67 \times 10^{12}$  และ  $1.72 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$  สำหรับเมมเบรนรูพรุน/MWCO ขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  300 และ 50 kDa ตามลำดับ

**ตารางที่ 2-5** ความต้านทานเมมเบรนและความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงของกระบวนการกรองน้ำตาลโตนดด้วยเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชัน ความดันขับ 100 และ 250 kPa ตามลำดับ ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s อุณหภูมิ  $50 \pm 1^\circ\text{C}$

**Table 2-5** Summary of fouling resistances of microfiltration (TMP 100 kPa) and ultrafiltration membrane (TMP 250 kPa) cross-flow velocity 3.5 m/s, temperature  $50 \pm 1^\circ\text{C}$

Pore size/MWCO	0.2 $\mu\text{m}$	0.1 $\mu\text{m}$	300 kDa	50 kDa
	Resistance ( $\text{m}^{-1}$ ) $\times 10^{12}$			
$R_m$	1.26 $\pm$ 0.04*	1.38 $\pm$ 0.08	1.67 $\pm$ 0.05	1.78 $\pm$ 0.05
$R_{irf}$	0.49 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	0.47 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	0.29 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.23 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
$R_{rf}$	7.37 $\pm$ 1.47 <sup>a</sup>	8.84 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	5.46 $\pm$ 0.67 <sup>b</sup>	4.99 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>

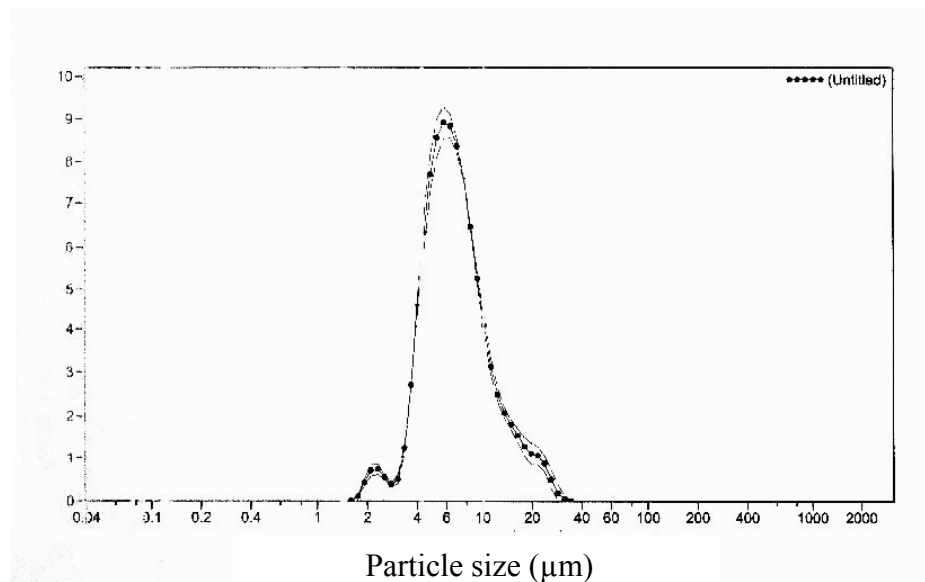
Note \* Each value is the mean of triplicate determinations  $\pm$  standard deviation

<sup>a-b</sup>, Means within row with the same superscript are not significantly different at the  $p > 0.05$

ค่าความต้านทาน  $R_{irf}$  มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.49 \times 10^{12}$ ,  $0.47 \times 10^{12}$ ,  $0.29 \times 10^{12}$  และ  $0.23 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$  สำหรับเมมเบรนรูพรุนขนาด 0.2 และ 0.1  $\mu\text{m}$  และ MWCO ขนาด 300 และ 50 kDa ตามลำดับ สังเกตได้ว่าเมมเบรนรูพรุนขนาด 0.2  $\mu\text{m}$  มีค่าความต้านทาน  $R_{irf}$  สูงกว่าเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชัน ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดการดูดซับ/อุดตันในรูพรุนได้มากกว่าเมมเบรนรูพรุนขนาดเล็ก อีกทั้งน้ำตาลโตนดประกอบด้วยอนุภาคหลายขนาดและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสูงโดยอยู่ในช่วง 0.2 – 30  $\mu\text{m}$  (ภาพที่ 2-4) และเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ก็มีโอกาสที่อนุภาคต่างๆ เข้าไปเกาะและดูดซับภายในรูพรุนได้มากและเร็วกว่า ซึ่งโดยส่วนใหญ่เกิดจากโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ การดูดซับของตัวถูกละลายขนาดเล็กจึงเกิดทั้งที่ผิวหน้าเมมเบรนและภายในรูพรุน แต่ทั้งนี้ยังขึ้นกับองค์ประกอบ

ของน้ำตาลโตนดเอง เนื่องจากองค์ประกอบที่ละลายในน้ำตาลโตนดอยู่ในรูปของคอลลอยด์และโปรตีนซึ่งมีประจุลบที่ผิว อีกทั้งเมมเบรนมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก จึงมีแรงกระทำและดึงดูดองค์ประกอบได้ดี โดยองค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้ต่อการเกิดฟาวลิ่งมากที่สุด คือ เพคตินและโปรตีน แต่ในองค์ประกอบอื่นๆ เช่นสารประเภทน้ำตาล แร่ธาตุ และกรดอินทรีย์ ก็สามารถเกิดฟาวลิ่งได้เช่นเดียวกัน (Chilukuri *et al.*, 2001; Crozes *et al.*, 1993)

ค่าความต้านทาน  $R_{fr}$  ของเมมเบรนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $7.37 \times 10^{12}$ ,  $8.84 \times 10^{12}$ ,  $5.46 \times 10^{12}$  และ  $4.99 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$  ที่เมมเบรนรูพรุน/MWCO ขนาด 0.2, 0.1  $\mu\text{m}$  และ 300, 50 kDa ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าความต้านทาน  $R_{fr}$  มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 3-7 เท่า การเกิดฟาวลิ่งแบบผันกลับได้ในระบบกรองส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมที่ผิวหน้าเมมเบรนมากกว่าในรูพรุน



ภาพที่ 2-4 การกระจายตัวของอนุภาค ในน้ำตาลโตนด

Figure 2-4 Particles size distribution of sugar palm sap

โดยทั่วไปการเกิดฟาวลิ่งจะส่งผลต่อการกักกันสารในระหว่างการกรองและสารที่ทำให้เกิดฟาวลิ่งที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกรองมาก คือ โปรตีน, โพลีแซคคาไรด์ และองค์ประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง พบว่าองค์ประกอบดังกล่าวมีประจุและสามารถเกิดการจับตัวหรือตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริก และมีการดึงดูดกันระหว่างประจุของเมมเบรนและองค์ประกอบได้ (Aoustin *et al.*, 2001) แต่อย่างไรก็ตามสามารถลดฟาวลิ่งโดยการปรับเปลี่ยนสถานะการดำเนินงานได้ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิ, การเพิ่มความเร็วมตามขวาง, การบำบัดก่อนเข้ากระบวนการกรอง และการใช้

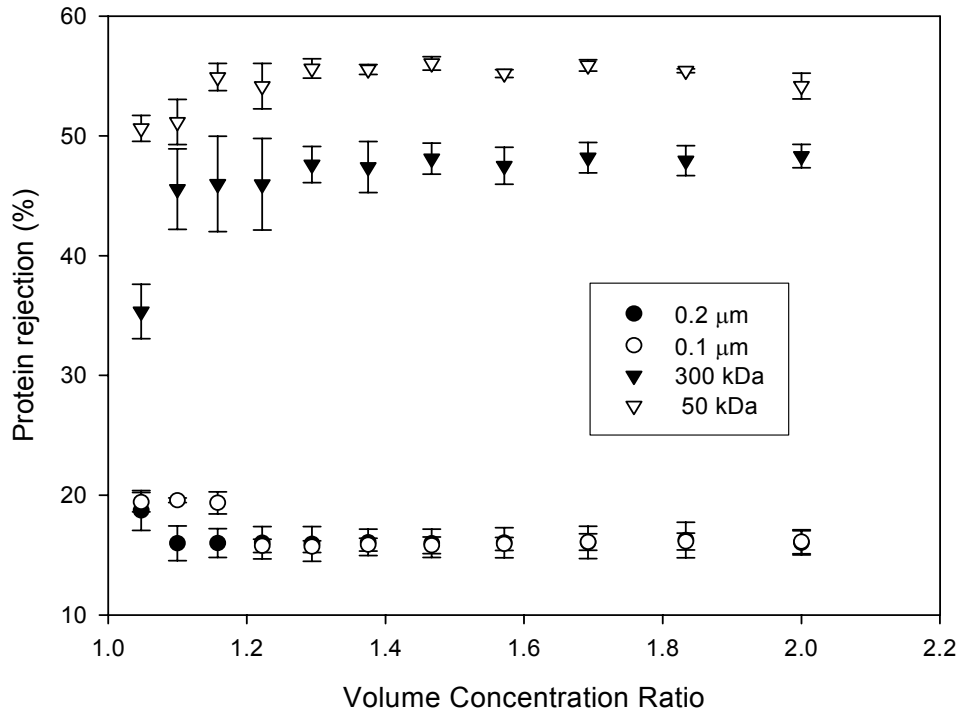
ความดันขับต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้เนื่องจากการเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนและการผสมในระหว่างการกรองได้

### 3.2) การกักกันโปรตีน

การกักกันโปรตีนในน้ำตาลโตนดเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน แสดงดังภาพที่ 2-5 พบว่าเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันขนาดรูพรุน 0.1 และ 0.2  $\mu\text{m}$  สามารถกักกันโปรตีนได้อยู่ในช่วง 10-20 % และเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันขนาด MWCO 300 และ 50 kDa การกักกันโปรตีนมีค่าเฉลี่ย 40-60 % จากการพิจารณาถึงความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงที่เกิดขึ้นในระหว่างการกรองน้ำตาลโตนด พบว่าความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าการกักกันโปรตีนในระหว่างการกรองมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากรูพรุนของเมมเบรนมีขนาดเล็กลงและมีพื้นที่การกรองลดลง ทำให้เกิดการกักเก็บองค์ประกอบต่างๆ ไว้ในส่วนของรีเทนเทต ส่งผลให้มีความเข้มข้นที่ผิวหน้าเมมเบรนเพิ่มสูงขึ้น เกิดเป็นชั้นคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันและฟาวลิงขึ้น การเคลื่อนที่ขององค์ประกอบขนาดเล็กผ่านเมมเบรนจึงเป็นได้ยาก ค่าการกักกันโปรตีนจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน พบว่ากระบวนการไมโครฟิลเตรชันอาจมีฟาวลิงเกิดทั้งรูพรุนและผิวหน้าเมมเบรน จึงทำให้มีโปรตีนผ่านในช่วงแรกของการกรองสูง แต่ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันเกิดฟาวลิงบนผิวหน้าเมมเบรนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้การกักกันองค์ประกอบโปรตีนได้สูงกว่า

นอกจากนี้การกักกันโปรตีนไว้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ในส่วนของเพอมีเอทสามารถเก็บได้นานและมีความใสคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากลดองค์ประกอบของโปรตีนไปรวมตัวกับองค์ประกอบอื่นๆ และก่อให้เกิดความขุ่นภายหลังกระบวนการเมมเบรน (Yu and Lencki, 2004)



**ภาพที่ 2-5** การเปลี่ยนแปลงการกักกันโปรตีนระหว่างการกรองน้ำตาลโตนดโดยเมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน (ขนาดรูพรุน 0.2 และ 0.1  $\mu\text{m}$ , ความดันขับ 100 kPa) และอัลตราฟิลเตรชัน (ขนาด MWCO 300 และ 50 kDa, ความดันขับ 250 kPa) ความเร็วตามขวาง 3.5 m/s, อุณหภูมิ  $50 \pm 1$   $^{\circ}\text{C}$

**Figure 2-5** Change in protein rejection (MF, 0.2 and 0.1  $\mu\text{m}$ , TMP 100 kPa and UF, 300 and 50 kDa, TMP 250 kPa) cross-flow velocity 3.5 m/s, temperature  $50 \pm 1$   $^{\circ}\text{C}$ .

## 2.4 บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชันในการกรองน้ำตาลโตนด และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองน้ำตาลโตนดเมื่อใช้เมมเบรนในระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน โดยทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ พร้อมทั้งศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ การกักกันโปรตีน และความต้านทานของฟาวลิ่งที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองและวิจารณ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำตาลโตนดมีการเปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านกระบวนการเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน โดยเพอมีเอทที่ได้มีความใสเพิ่มขึ้นและความหนืดลดลง เนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง

แต่ค่ากรด พีเอชและปริมาณโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงลดลงน้อยมากหลังจากการกรอง กระบวนการกรองสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรีย แลคติก ยีสต์ และราในส่วนของเพอมีเอทได้

2. การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันของเมมเบรนขนาดรูพรุน  $0.2 \mu\text{m}$  มีค่าต่ำกว่าเมมเบรนขนาดรูพรุน  $0.1 \mu\text{m}$  เล็กน้อยเมื่อใช้ความดันขับ  $100 \text{ kPa}$  และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันค่าฟลักซ์ของเมมเบรน MWCO ขนาด  $300 \text{ kDa}$  มีค่าสูงกว่าเมมเบรน MWCO ขนาด  $50 \text{ kDa}$  เมื่อใช้ความดันขับ  $250 \text{ kPa}$  ซึ่งฟลักซ์ของน้ำตาลโตนดมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเข้าสู่สภาวะคงตัว

3. จากการวิเคราะห์ความต้านทานเนื่องจากฟาวลิง  $R_{fr}$  และ  $R_{ir}$  พบว่าหลังจากการกรองน้ำตาลโตนดความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันมีค่าความต้านทานสูงกว่าเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชัน เพราะมีฟาวลิงที่สะสม/อุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรนได้สูงและรวดเร็วกว่าการเกิดฟาวลิงที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ค่าความต้านทาน  $R_{fr}$  สูง ซึ่งมีผลต่อการลดลงของฟลักซ์เป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามความต้านทานหลักของกระบวนการกรองเป็นความต้านทานเนื่องจากฟาวลิงที่ผันกลับได้

4. การกักกันโปรตีนของกระบวนการเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชันอยู่ในช่วง  $20\%$  และระดับอัลตราฟิลเตรชันมีการกักกันโปรตีนอยู่ในช่วง  $50-60\%$  โดยเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันกักกันโปรตีนและองค์ประกอบอื่นๆ ได้ดีกว่าเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชัน ส่งผลให้เพอมีเอทมีแนวโน้มเก็บรักษาได้ระยะเวลานานกว่าเพราะองค์ประกอบของโปรตีนลดลงและเกิดความขุ่นและตะกอนช้า



## เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานชุมชน(ออนไลน์). 2546. สืบค้นจาก:

<http://libraty.itsi.go.th/T/Fulltex/CPS/alphabetical/P1.html> (22 พฤษภาคม 2548).

สุมาลี เหลืองสกุล. 2535. จุลชีววิทยาทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ประสานมิตร. กรุงเทพฯ

Alvarez, S., Alvarez, R., Riera, F.A. and Coca, J. 1998. Influence of depectinization on apple juice ultrafiltration. *Colloids and Surfaces*. 138: 377-382.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of A.O.A.C. International. 15<sup>th</sup> ed. The Association of Official Analytical Chemists. Virginia.

Aoustin, E., Schäfer, A.I., Fane, A.G. and Waite, T.D. 2001. Ultrafiltration of natural organic matter. *Sep. Purif. Technol.* 22-23: 63-78.

Barhate, R.S., Subramanian, R., Nandini, K.E. and Umesh Hebbar, H. 2003. Processing of honey using polymeric microfiltration and ultrafiltration membranes. *J. of Food Eng.* 60: 49-54.

Bailey, A.F.G., Barbe, A.M., Hogan, P.a., Johnson, R.A. and Sheng, J. 2000. The effect of ultrafiltration on the subsequent concentration of grape juice by osmotic distillation. *J. Membrane Sci.* 164: 195-204.

Barefoot, S.F., Tai, H.Y., Brandon, S.C., and Thomas, R.L. 1989. Production of microbiologically stable apple juice by metallic membranes ultrafiltration. *J. Food Sci.* 54: 408-411.

Campos, D.C.P., Santos, A.S., Wolkoff, D.B., Matta, V.M., Corrêa, L.M. and Couri, S. 2002. Cashew apple juice stabilization by microfiltration. *Desalination*. 148: 61-65.

Carneiro, L., Irala dos Santos, S., Flávia dos Santos, G., Matta, V.M. and Cabral, L.M.C. 2002. Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. *Desalination*. 148: 93-98.

Cassano, A., Jiao, B. and Drioli, E. 2004. Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. *Food Res Inter.* 37: 139-148.

Chakraborty<sup>1</sup>, P., Gupta-Bhattacharya<sup>1</sup>, S., Roy, I and handa, S. 2004. Identification of shared allergenic components from four common and dominant pollen taxa of Arecaceae (online). Available <http://www.ias.ac.in/currsci/jun102004/1539> (12 August. 2004)

Chamchong, M. and Noomhom, A. 1991. Effect of pH and enzymatic treatment on microfiltration and ultrafiltration of tangerine juice. *J. Food Proc Eng.* 14: 21-34.

- Chilukuri, S.V.V., Marshall, A.D., Munro, P.A. and Singh, H. 2001. Effect of sodium dodecyl sulphate and cross-flow velocity on membrane fouling during cross-flow microfiltration of lactoferrin solutions. *Chem Eng and Proc.* 40: 321-328.
- Crozes, G. Anselme, C. and Mallevalle, J. 1993. Effect of adsorption of organic matter on fouling of ultrafiltration membranes. *J. Membrane Sci.*84: 61-77.
- Czekaj, P., López, F. and Güell, C. 2001. Membrane fouling by turbidity constituents of beer and wine: characterization and prevention by means of infrasonic pulsing. *J. Food Eng.* 49: 25-36.
- de Barros, S.T.D., Andrade, C.M.G., Mendes, E.S. and Peres, L. 2003. Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. *J. Membrane Sci.* 215: 213-224.
- de Carvalho, L.M.J., da Silva, C.A.B. and Pierucci, A.P.T.R. 1998. Clarification of Pineapple Juice (*Ananas comosus* L. Meryl) by Ultrafiltration and Microfiltration: Physicochemical Evaluation of Clarified Juices, Soft drink Formulation, and Sensorial Evaluation. *J. Agri. Food Chem.* 46: 2185-2189.
- Dornier, M., Petermann, R. and Deloux, M. 1995. Influence of Start-up Procedure on Crossflow Microfiltration of Raw Cane Sugar. *J. Membrane Sci.* 24: 213-224.
- Eagles, W.P. and Wakeman, R.J. 2002. Interactions between dissolved material and the fouling layer during microfiltration of a model beer solution. *J. Membrane Sci.* 206: 253-264.
- Fukumoto, L. R., Delaquis, P., & Girard, B. 1998. Microfiltration and ultrafiltration ceramic membranes for apple juice clarification. *J. Food Sci.* 63: 845–850.
- Jiratananon, R., Uttapap, D. and Tangamornsuksun, C. 1997. Self-forming dynamic membrane for ultrafiltration of pineapple juice. *J. Membrane Sci.* 129 : 135-143.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.
- López, F., Pescador, P., Güell, C., Morales, M.L., García-Parrilla, M.C. and Troncoso, A.M. 2004. Industrial vinegar clarification by cross-flow microfiltration: effect colour and polyphenol content. *J. Food Eng.* 67:137-145.
- Matta, V.M., Moretti, R.H. and Cabral, L.M.C. 2004. Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *J. Food Eng.* 61: 477-482.
- Merin, U. and Shomer, I. 1999. Ultrafiltration Performance of Heat-Treated Shamouti Orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] Juice. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2617-2622.

- Mordon, M., Girard, B. and Moresoli, C. 2000. Modeling flux behavior for membrane filtration of apple juice. *Food Res Inter.* 33: 539-548.
- Padilla, O.I. and McLellan, M.R. 1989. Molecular weight cut-off of ultrafiltration membranes and the quality and stability of apple juice. *J. Food Sci.* 54: 1250.
- Padilla-Zakour, O., and McLellan, M. R. 1993. Optimization and modeling of apple juice cross-flow microfiltration with a ceramic membrane. *J. Food Sci.* 58: 369-374.
- Pereira, C.C., Rufino, J.M., Habert, A.C, Nobrega, R., Cabral, M.C. and Borges, C.P. 2002. Membrane for processing tropical fruit juice. *Desalination.* 148: 57-60.
- Snir, R., Wicker, L., Koehler, P.E. and Sims, K. 1996. Membrane Fouling and Molecular Weight Cutoff Effects on the Partitioning of Pectinesterase. *J. Agric. Food Chem.* 44: 2091-2095.
- Vaillant, F., Millan, P., O'Brien, G., Dornier, M., Decloux, M. and Reynes, M. 1999. Cross flow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. *J. Food Eng.* 42: 215-224.
- Vladisavljević, G.T., Vukosavljević, P. and Bukvić, B. 2003. Permeate flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized apple juice using ceramic membranes. *J. Food Eng.* 60: 241-247.
- Wang, J.E., Wei, T.C. and Yu, Z.R. 2005. Effect of operating temperature on component distribution of West Indian cherry juice in a microfiltration system. *LWT.* 38: 683-689.
- Wu, M. L., Zall, R. R., & Tzeng, W. C. (1990). Microfiltration and ultrafiltration comparison for apple juice clarification. *J. Food Sci.* 55: 1162-1163.
- Youn, K.G., Hong, J.H., Bae, D.H., Kim, S.J. and Kim, S.D. 2004. Effective clarifying process of reconstituted apple juice using membrane filtration with filter-aid pretreatment. *J. Membran Sci.* 228: 179-186.
- Yu, J. and Lencki, R.W. 2004. Effect of enzyme treatments on the fouling behavior of apple juice during microfiltration. *J. Membrane Sci.* 63: 413-423.
- Zeman, L.J. and Zydney, A.L. 1996. *Microfiltration and Ultrafiltration principles and application.* Marcel Dekker, Inc. New York.