



# โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

**ชื่อโครงการ** การทำน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

**ชื่อนิสิต** นาย ธนกร ตีรอังคณา  
น.ส. ณัฐกานต์ ทภัยเปี่ยมสุข  
น.ส. ศุภิศรา ประสิทธิ์ไศกิน

**ภาควิชา** เทคโนโลยีทางอาหาร  
**ปีการศึกษา** 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การทำน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

โดย

นายธนกร ศิริอังคณา

นางสาวณัฐกานต์ หทัยเปี่ยมสุข

นางสาวศุภิศรา ประสิทธิ์ไศภิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

รายงานนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2563

# Concentration of Orange juice by reverse osmosis technique

Tanakorn Siriaungkana

Nutthakarn Hataipiemsuk

Supissara Prasittisopin

Project Advisor

Asst. Prof. Chidphong Pradistsuwana

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

หัวข้องานวิจัย การทำน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

โดย นาย ธนกร ศิริอังคณา

นางสาว ณิชกานต์ หทัยเปี่ยมสุข

นางสาว ศุภิสรา ประสิทธิ์ไศภิน

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร  
ประจำปีการศึกษา 2563

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

**หัวข้องานวิจัย** การทำน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

**โดย** นาย ธนกร ศิริอังคณา

นางสาว ญัฐกานต์ หทัยเปี่ยมสุข

นางสาว ศุภิศรา ประสิทธิ์ไศภิน

**สาขาวิชา** เทคโนโลยีทางอาหาร

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ

**ปีการศึกษา** 2563

### บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบัน การทำน้ำผลไม้เข้มข้นขึ้นนั้นมักใช้กระบวนการที่ผ่านการให้ความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ที่ได้สูญเสียคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ โครงการนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการออสโมซิสแบบย้อนกลับ (Reverse osmosis) ซึ่งเป็นกระบวนการทำเข้มข้นน้ำผลไม้โดยไม่ใช้ความร้อนในการทดลองใช้น้ำส้มเป็นตัวแทนของน้ำผลไม้ กระบวนการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับในโครงการนี้เป็นเครื่องกรองระบบหมุนเวียน รูปแบบการกรองเป็นแบบไหลขวาง (Cross flow filtration) ซึ่งกรองผ่านเมมเบรนท่อกลวงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.15 เซนติเมตร (พื้นที่หน้าตัดขวางการไหลของกระแสรีเทนเทต (Retentate) เป็น 1.04 ตารางเซนติเมตร) เมมเบรนทำขึ้นจากอะเซทิลเซลลูโลส มีพื้นที่การกรองเท่ากับ 110 ตารางเซนติเมตร และใช้ความดันในการกรองเท่ากับ 2.5 เมกะปาสคาล และอัตราเร็วไหลผ่านขวางผิวหน้าเมมเบรนของรีเทนเทตที่ไหลผ่านขวางหน้าเมมเบรนเท่ากับ 1.6 เมตรต่อวินาที ควบคุมอุณหภูมิของรีเทนเทตตลอดเวลารองให้ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส จากการติดตามอัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรต (Filtrate) และร้อยละรีเจคชัน (%Rejection) ตลอดระยะเวลาทดลองเป็นเวลา 180 นาที พบว่า อัตราเร็วการซึมผ่านได้ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ลดลงด้วยอัตราที่ต่ำลง โดยที่ช่วงเวลา 150 ถึง 180 นาทีมีอัตราเร็วการซึมผ่านเป็น 0.0009 มิลลิเมตรต่อวินาที ในขณะที่ %Rejection มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 91 ถึง 95 ในช่วงแรก และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาการกรองนานขึ้นเป็นร้อยละ 96 ถึง 97 ที่ระยะเวลาการซึมผ่านที่เวลาการกรอง 90 นาที แสดงให้เห็นว่า กระบวนการนี้สามารถทำเข้มข้นได้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC) ของน้ำส้มหลังกรองมีค่าเป็นร้อยละ 56.3 และสารที่ให้อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำส้มหลังกรองมีค่าเป็นร้อยละ 33.0 และ 49.7 ตามลำดับเมื่อเทียบกับก่อนกรอง นอกจากนี้ เพื่อจุดประสงค์ในการกำจัดชั้นความต้านทานการกรองที่คาดว่าได้ก่อสะสมตัวมากขึ้นที่ผิวหน้าเมมเบรนในระหว่างการกรองซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราเร็วการซึมผ่านลดลง ได้ปรับภาวะที่ใช้ในภายหลังการกรองเป็นระยะเวลา 60 นาที โดยปรับลดความดันในการกรองให้เป็น 0 เมกะปาสคาล ในขณะที่เพิ่มอัตราเร็วของรีเทนเทตที่ไหลผ่านหน้าเมมเบรนมีค่าเป็น 1.8 เมตรต่อวินาทีเป็นระยะเวลา 5 นาที พบว่าสามารถเพิ่มอัตราเร็วการซึมผ่านขึ้นได้ร้อยละ 35.4 เมื่อเทียบกับอัตราเร็วการซึมผ่านสุดท้ายก่อนการกำจัดชั้นความต้านทานการกรองบนผิวเมมเบรน แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถยืดประสิทธิภาพการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับนี้ได้

**Project Title** Concentration of Orange juice by reverse osmosis technique  
**Student** Tanakorn Siriaungkana  
Nutthakarn Hataipiemasuk  
Supissara Prasittisopin  
**Study Program** Bachelor of Science in Food Technology  
**Advisor** Asst. Prof. Chidphong Pradistsuwana  
**Academic Year** 2020

---

### ABSTRACT

Nowadays, heat treatment is often used to concentrate fruit juice. Many studies have shown that the heat evaporation of fruit juice has a detrimental effect on its chemical and physical properties. The aim of this work is to study the possibility of using reverse osmosis in concentrating fruit juice without using heat. Orange juice was used as a model fruit juice. The reverse osmosis process in this work was a recirculation filter system. Cross-flow filtration was used, and the water orange juice was filtered into through a tubular membrane module with a diameter of 1.15 cm (a retentate flow cross-sectional area is of 1.04 cm<sup>2</sup>). Membrane was made of Acetylcellulose acetylcellulose. The filtration area was 110 cm<sup>2</sup>, the filtration pressure was 2.5 MPa, the retention velocity through the membrane was 1.6 m/s, and the filtration was performed at a temperature below 30 °C. The filtration rate of the filtrate and percent rejection were monitored for 180 minutes, and it was found that the filtration rate decreased rapidly at first, then steadily decreased. After 150-180 minutes of filtration, the filtering rate was 0.0009 mm/s. The percent rejection was 91-95% at the beginning, increased with filtration time and reached 96-97% at 90 minutes). It can be seen that this process can concentrate orange juice. After filtration, the total phenolic content decreased to 56.3%, while the antioxidant activity of concentrated fruit juices determined by DPPH and FRAP methods decreased to 33.0% and 49.7% respectively, as compared to the pre-filtered one. Furthermore, removing the gel layer that was supposed to be formed on the membrane surface during filtration, which is considered to be the main reason of the reduction in filtration rate. Therefore, after the filter was set for a duration of filtration was conducted for 60 minutes, the filter pressure was reduced to 0 MPa while the velocity of the retentate flowing through the membrane was increased to 1.8 m/s for 5 minutes, it was found that the filtration rate was increased by 35.4% as compared to the final filtration rate before the removal of the gel layer on the membrane surface. The study revealed that the filtration efficiency can be extended by reverse osmosis process.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยการสนับสนุนจากทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2563 และได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.ชิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา งานวิจัย ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการวิจัย ตลอดจนแก้ไขปรับปรุง ข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ความเข้าใจแก่คณะผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถที่ทำการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ ประจำห้องปฏิบัติการ ได้แก่ คุณสรารุณี แดลงกิจ (หัวหน้าห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร) คุณทสร บุญยะกาญจนา (หัวหน้าห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร) คุณจุฑาทิพย์ พุ่มเจริญ (หัวหน้าห้องปฏิบัติการ QA และ PD) ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจสำคัญ คอยช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนตลอดมาจนสามารถสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือต่าง ๆ

คณะผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย และหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธนกร ศิริอังคณา  
ณัฐกานต์ หทัยเปี่ยมสุข  
ศุภิศรา ประสิทธิ์โสภิน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขต/กรอบความคิดการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	4
2.1 สัม	4
2.2 น้ำส้ม	4
2.2.1 คุณสมบัติของน้ำส้ม	4
2.2.2 กระบวนการแปรรูปน้ำส้ม	5
2.3 การกรองด้วยเมมเบรน	6
2.3.1 ประเภทของการกรองด้วยเมมเบรน	6
2.3.2 โมดูลชนิดต่าง ๆ ของเมมเบรน	6
2.3.2.1 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ (Plate and Frame module)	7



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.2 โมดูลแบบท่อกลาง (Tubular module)	7
2.3.2.3 โมดูลแบบเส้นใยกลาง (Hollow Fiber module)	7
2.3.2.4 โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral Wound Module)	7
2.3.3 รูปแบบการกรองสารด้วยเมมเบรน	8
2.3.3.1 การกรองแบบปิดตาย (Dead-end Filtration)	8
2.3.3.2 การกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow Filtration)	8
2.3.4 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้	8
2.4 ร้อยละ Rejection และร้อยละ Passage	9
2.5 การทำให้เข้มข้น	9
2.5.1 การทำให้เข้มข้นโดยการระเหย (Evaporation)	9
2.5.2 การทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)	10
2.5.3 การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane filtration)	10
2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำสัมผัสเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	10
2.6.1 พารามิเตอร์สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของน้ำสัมผัสเข้มข้น	10
2.6.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำสัมผัสเข้มข้น	11
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย	13
3.1 วัสดุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	13
3.1.1 วัสดุดิบ	13
3.1.2 สารเคมี	13
3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.2.1 การออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	15
3.2.1.1 ศึกษาข้อมูลเมมเบรนที่จะใช้	15
3.2.1.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องมือสำหรับการกรอง	17
3.2.2 การหาประสิทธิภาพการกักกันไอออนของเมมเบรน	19
3.2.2.1 การเตรียมน้ำเกลือสำหรับเป็นสารละลายมาตรฐาน	19
3.2.2.2 การหาประสิทธิภาพการกักกันไอออนของเมมเบรนโดยการกรอง น้ำเกลือด้วยกระบวนการกรองแบบออสโมซิสแบบย้อนกลับ	20
3.2.3 การเตรียมน้ำส้มเพื่อทำการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	20
3.2.4 การทำเข้มข้นน้ำส้มด้วยกระบวนการกรองด้วยออสโมซิสแบบย้อนกลับ	20
3.2.5 เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการกรองโดยการชะชั้นความต้านทานการกรอง หรือชั้นความเข้มข้นบนผิวเมมเบรนระหว่างกระบวนการ	21
3.2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรอง ด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	21
3.2.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	21
3.2.6.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids, TSS)	21
3.2.6.3 ค่าการยอมให้แสงส่องผ่าน	21
3.2.6.4 ค่าความหนืด	21
3.2.7 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.7.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-ciocalteu	22
3.2.7.2 การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	24
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	24
4.1.1 ความเข้มข้นอ้างอิงของสารละลายน้ำเกลือ	24
4.1.2 อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของสารละลายน้ำเกลือตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วย วิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	25
4.2 การกรองน้ำส้มตัวอย่างด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	26
4.2.1 อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรท	26
4.2.2 ร้อยละ Passage และร้อยละ Rejection จากการกรองน้ำส้มตัวอย่างด้วยวิธี ออสโมซิสแบบย้อนกลับ	27
4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิส แบบย้อนกลับ	28
4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิส แบบย้อนกลับ	28
4.3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำส้ม ตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการกรองโดยการชะล้างความต้านทานการกรองหรือชั้นความเข้มข้น บนผิวเบรนระหว่างกระบวนการ	30
4.4.1 อัตราเร็วการซึมผ่านน้ำส้มหรืออัตราการซึมผ่านของฟิลเตรท เมื่อกำจัดชั้นความ ต้านทานการกรองบนผิวหน้าเมมเบรน	30
4.4.2 ร้อยละ Passage และร้อยละ Rejection จากการกรองน้ำส้มตัวอย่างเมื่อกำจัด ชั้นความต้านทานการกรองบนผิวหน้าเมมเบรน	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร	4
ตารางที่ 2 ประเภทของเมมเบรนในกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน	6
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเนื้อเยื่อส้ม (Citrus sinensis)	10
ตารางที่ 4 ปริมาณ Total phenolic, Total flavonoid content และค่า Antioxidant activity โดยวิธี DPPH ในส้ม Mandarins (Citrus reticulata Blanco) 19 สายพันธุ์	11
ตารางที่ 5 แสดง อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทที่ได้ในช่วง 30 นาที ของสารละลายน้ำเกลือตัวอย่าง จากการเก็บปริมาตรฟิลเตรทที่ได้ทุก ๆ 30 นาที	25
ตารางที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรท และรีเทนเทท	27
ตารางที่ 7 แสดงค่าร้อยละการยอมให้แสงส่องผ่าน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนืดของน้ำส้ม ตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	28
ตารางที่ 8 แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมด้วยวิธี Folin-ciocalteu และสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	29
ตารางที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรท และรีเทนเทท เมื่อกำจัดชั้นความต้านทานการกรองบนผิวหน้าเมมเบรน	32

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 การกรองแบบปิดตายและแบบไหลขวาง	8
ภาพที่ 2 รายละเอียดการออกแบบห้องกรองและเมมเบรนสำหรับการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบ ย้อนกลับ	16
ภาพที่ 3 เครื่องกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ	18
ภาพที่ 4 ไดอะแกรมของการไหลเวียนของระบบการกรองที่สามารถใช้ได้ทั้งออสโมซิสแบบย้อนกลับ	19
ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายน้ำเกลือ (% โดยน้ำหนัก) กับความ ต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)	24
ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของน้ำส้มตัวอย่าง(มิลลิเมตร ต่อวินาที) กับเวลา (นาที)	26
ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างน้ำส้มก่อนและหลังการกรองตามลำดับ	28
ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของน้ำส้มตัวอย่าง(มิลลิเมตร ต่อวินาที) กับเวลา (นาที)	31

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ส้มเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุหลายชนิด โดยจัดเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงในบรรดาผลไม้ ทั้งยังอุดมไปด้วยวิตามินต่าง ๆ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของเรา อาทิ วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินดี ธาตุแคลเซียม ธาตุโพแทสเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก และคอลลาเจน นอกจากนี้ยังมีใยอาหารที่ช่วยในระบบขับถ่ายอีกด้วย สำหรับสรรพคุณของส้มยังช่วยในเรื่องรักษาเลือดออกตามไรฟัน ช่วยล้างสารพิษในร่างกายด้วยสารต่อต้านอนุมูลอิสระ สำหรับการกินส้มนั้นสามารถกินได้ทุกเพศทุกวัยไม่ว่าจะเด็กหรือผู้ใหญ่

ในประเทศไทยที่เป็นเขตเมืองร้อน ทำให้ส้มสามารถออกผลผลิตได้มาก ทั้งยังมีคุณสมบัติสูงจึงเหมาะแก่การนำมาทำน้ำส้ม ซึ่งการจะได้น้ำส้มเข้มข้นนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำส้มมีความเข้มข้นมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการผ่านกรรมวิธีให้ความร้อนก็จะทำให้น้ำส้มเสียคุณสมบัติหรือสมบัติทางเคมีที่สำคัญอย่างวิตามินและแร่ธาตุตามไปด้วย จึงใช้กระบวนการออสโมซิสแบบย้อนกลับในการทำน้ำส้มให้เข้มข้นขึ้นเพื่อไม่ให้เสียคุณค่าทางอาหาร และรักษาคุณค่าทางอาหารที่สำคัญไว้ได้ ซึ่งดีกว่าวิธีอื่นที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำส้มมีความเข้มข้นมากขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลของส้มและกระบวนการกรองโดยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่ากระบวนการกรองวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับที่ใช้การกรองสารละลายผ่านเยื่อกรองที่มีขนาดเล็กมากทำให้แร่ธาตุและสารอาหารอื่น ๆ ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองออกไปได้ ทั้งยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาคุณภาพ คุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้ได้น้ำส้มที่ปลอดภัย เป็นที่พึงพอใจและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่า ต่อยอดให้แก่ส้มและช่วยเหลือเกษตรกร เนื่องจากมีผลผลิตเป็นจำนวนมาก แต่ไม่สามารถปล่อยส้มสดสู่ท้องตลาดได้ตามต้องการ และทางผู้วิจัยค่าน้ำส้มที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการกรองวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับจะมีความหวานเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเติมน้ำตาลเพิ่ม หรือเพิ่มสารให้ความหวานจากการคั้นน้ำส้ม และยังมีกลิ่นที่ชัดเจนขึ้นเป็นผลจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเราอาจสามารถควบคุมปริมาณน้ำและความหวานที่ต้องการได้ตามความต้องการ จึงเป็นการทำให้ผู้บริโภคไม่จำเป็นต้องรับประทานน้ำผลไม้ในปริมาณที่มากก็สามารถได้รับสารอาหารและคุณประโยชน์ที่เพียงพอแก่ร่างกาย ทำให้สามารถรับประทานได้ง่ายและสะดวกขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพเครื่องกรองที่ใช้เมมเบรนแบบ Tubular module ด้วยกระบวนการออสโมซิสแบบย้อนกลับ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำส้มที่เป็นตัวแทนของอาหารเหลว ทั้งก่อนและหลังการกรอง สำหรับนำมาใช้ทำเข้มข้นน้ำผลไม้แทนการใช้กระบวนการอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความร้อน

## 1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดการวิจัย

1. ศึกษาการกรองทำเข้มข้นน้ำส้มโดยใช้การกรองโดยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ ในการทำให้น้ำส้มมีความเข้มข้นมากขึ้น จากการกรองน้ำออกไป ได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้น คือ รีเทนเทท (retentate) หรือส่วนที่ถูกกักไว้บนเมมเบรน ไม่สามารถผ่านไป

2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำส้มก่อนผ่านกระบวนการกรอง และรีเทนเททน้ำส้มหลังผ่านกระบวนการกรองโดยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับโดย

2.1 ศึกษาค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Rotational viscometer

2.2 ศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์การยอมให้แสงผ่าน (Transmittance, %T) โดยใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร (Tetra Pak®, 2020)

2.3 ศึกษาหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็นค่า °Brix โดยใช้รีแฟรกโทมิเตอร์แบบพกพา (Hand refractometer)

3. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำส้มก่อนผ่านกระบวนการกรอง และส่วนรีเทนเททของน้ำส้มหลังผ่านกระบวนการกรองโดยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับโดย

3.1 ศึกษาค่าความเป็นกรดต่างของน้ำส้ม

3.2 ศึกษาวิเคราะห์สารให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay, Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay และตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวม (Total phenolic contents, TPC)



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ต่อยอดและพัฒนากระบวนการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับในการทำเข้มข้นน้ำส้ม
2. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นอื่น ๆ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและแปรรูป
3. ยืดอายุการเก็บรักษาน้ำผลไม้ ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลไม้เสื่อมเสีย รวมทั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogens)
4. พัฒนาทักษะและกระบวนการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการวางแผนการทำงานอย่างเป็นระบบทำให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 ส้ม

ส้มเป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็กหลายชนิด เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ในสกุล Citrus วงศ์ Rutaceae มีด้วยกันนับร้อยชนิด มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นที่นิยมปลูกกันมากในหลายประเทศ ส้มที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ส่วนมากส้มหลายชนิดรับประทานได้ มีคุณประโยชน์และสรรพคุณทางยาหลายอย่าง มีปริมาณสารอาหารจำเป็นค่อนข้างสูง สามารถนำมาประกอบอาหารเมนูต่าง ๆ มากมาย ผลมีรสเปรี้ยวหรือหวาน โดยมากจะมีน้ำมันหอมระเหยในใบ ดอก และผล และมีกลิ่นฉุน หากนำไปขึ้นสอกับแสงแดด จะเห็นจุดเล็ก ๆ เต็มใบ ซึ่งจุดเหล่านั้นก็คือแหล่งสะสมน้ำมัน (Thai-thaifood, 2561)

#### 2.2 น้ำส้ม

น้ำส้ม คือ เครื่องดื่มชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำผลส้มสด น้ำส้มที่ผ่านกรรมวิธีได้จากการคั้นโดยตรงจากส่วนที่บริโภคได้ของผลส้มที่แก่สุกและสด ซึ่งส้มหลากหลายสายพันธุ์สามารถนำมาทำน้ำส้มได้ ขึ้นกับเหมาะสมลักษณะพร้อมบริโภคโดยทั่วไปของน้ำส้มคั้น คือ มีสี กลิ่น รสตามธรรมชาติของส้ม ไม่มีสีติดปกติ และปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์

##### 2.2.1 คุณสมบัติของน้ำส้ม

น้ำส้มเป็นน้ำผลไม้ที่ประกอบไปด้วยแร่ธาตุ และวิตามินต่าง ๆ ที่สำคัญต่อร่างกายมากมาย ให้พลังงานและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ทั้งยังรับประทานง่าย เหมาะสำหรับดื่มแก้ดับกระหาย คุณค่าทางอาหารสูง

ตารางที่ 1: แสดงปริมาณสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร

Name	Amount
Energy	46 Kcal
Protein	0.83 g
Total lipid (fat)	0 g
Carbohydrate, by difference	11.25 g
Fiber, total dietary	0 g

Sugars, total including NLEA	10 g
Calcium, Ca	146 mg
Iron, Fe	0 mg
Potassium, K	188 mg
Sodium, Na	6 mg
Vitamin C, total ascorbic acid	30 mg
Vitamin A, IU	0 IU
Fatty acid, total saturated	0 g
Fatty acid, total trans	0 g
Cholesterol	0 mg

ที่มา: USDA (2018)

### 2.2.2 กระบวนการแปรรูปน้ำส้ม

กระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ที่มีความจำเป็นต่อการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำผลไม้ สำหรับส้มที่สามารถรับประทานได้ทั้งสดและแปรรูปอย่างหลากหลาย ซึ่งมีคุณสมบัติทางโภชนาการมากมายที่ควรเก็บรักษาไว้หากจะแปรรูปเพื่อการบริโภคในอนาคต การยืดอายุการเก็บรักษาโดยใช้ความร้อนเป็นเทคนิคการถนอมอาหารแบบดั้งเดิมและใช้กันมากที่สุดแม้กระทั่งในอุตสาหกรรมปัจจุบัน โดยตัวอย่างของเทคนิคที่ต้องใช้กระบวนการให้ความร้อน เช่น การพาสเจอร์ไรส์และการฆ่าเชื้อเพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (Changchuk *et al.*, 2019)

ในอุตสาหกรรม การทำน้ำผลไม้ให้มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดน้ำส่วนเกินออกและเพิ่มความเสถียรของผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนการขนส่ง สำหรับเทคโนโลยีเมมเบรนมักใช้ในการแยกและวิธีการผลิตน้ำผลไม้และเครื่องดื่มต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการ Reverse osmosis (RO) สามารถนับว่าเป็นกระบวนการที่ประสบความสำเร็จในเรื่องของการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ เนื่องจากยังสามารถคงรสชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นขึ้นโดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิและพลังงานสูง (Alvarez *et al.*, 1997; Kozak *et al.*, 2008) การศึกษาและการทดลองจำนวนมากพบว่ากระบวนการระเหยของน้ำผลไม้มีผลเสียต่อรสชาติ โดยสามารถสูญเสียสารประกอบอะโรมาที่ระเหยได้ถึง 90% (Olsson and Tragårdh, 1999; Pozderovic *et al.*, 2006) เป็นเหตุผลทำให้เทคโนโลยี RO เป็นวิธีที่เหมาะสมในการผลิตน้ำผลไม้ให้มีความเข้มข้นมากขึ้นในขณะที่ยังคงรักษาประสาทสัมผัส กลิ่น และคุณลักษณะทางโภชนาการไว้ได้

(Cassano et al., 2007; Jesus et al., 2007) นอกจากนี้ กระบวนการนี้ยังช่วยลดความเสียหายขององค์ประกอบต่าง ๆ และช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำ (4-50 C) (Merson et al., 1980; Girard และ Fukumoto, 2000)

## 2.3 การกรองด้วยเมมเบรน

เมมเบรน หรือเยื่อกรอง (Membrane) คือวัสดุที่สามารถคัดกรองหรือเลือกผ่านของเหลวที่มีการรวมกันขององค์ประกอบหลายอย่าง โดยอาศัยการกรองและกลไกการแพร่ สามารถแยกอนุภาคและโมเลกุลจากขนาดอนุภาคและน้ำหนักโมเลกุล

การกรองด้วยเมมเบรน คือ การกรองโดยใช้เยื่อเมมเบรนบาง เพื่อการแยกสารหรือตัวถูกละลายออกจากสารละลาย โดยใช้ผลต่างของความดัน ให้สารโมเลกุลเล็กเคลื่อนที่ผ่านแผ่นเมมเบรน โดยส่วนที่ถูกกักด้วยเมมเบรนไม่สามารถผ่านไปได้ เรียกว่า รีเทนเตท (Retentate) และส่วนที่ผ่านเมมเบรนไปได้ เรียกว่า เพอมีเอท (Permeate) หรือฟิลเตรท (Filtrate) (Baker, 2000)

### 2.3.1 ประเภทของการกรองด้วยเมมเบรน

ประเภทการกรองด้วยเมมเบรน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลัก ๆ คือ ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration) และออสโมซิสแบบย้อนกลับ (Reverse osmosis) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่

ตารางที่ 2: ประเภทของเมมเบรนในกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน

Membrane type	Pore size	Pressure	Smallest particles removed
Microfiltration (MF)	0.1 – 5 $\mu\text{m}$	0.01 MPa to 0.5 MPa	Colloid, Bacteria
Ultrafiltration (UF)	1 - 100 nm	0.1 MPa to 1 MPa	Large organic molecule, Virus
Nanofiltration (NF)	0.5 – 10 nm	0.8 to 4 MPa	Small organic molecule, Divalent ion
Reverse osmosis (RO)	<0.5 nm	3 to 8.5 MPa	All dissolved species

ที่มา: Cui and Muralidhara (2010)

### 2.3.2 โมดูลชนิดต่าง ๆ ของเมมเบรน

การนำเมมเบรนไปใช้งานจริงจำเป็นต้องบรรจุแผ่นเมมเบรนลงในวัสดุรองรับที่เรียกว่าโมดูล โดยโมดูลของเมมเบรนที่นิยมใช้กันในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่

#### 2.3.2.1 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ (Plate and frame module)

เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนที่ง่ายที่สุด โดยการวางเมมเบรนบนแผ่นรองรับที่มีรูพรุน (Porous plate) สลับกัน สารที่ป้อนจะถูกบังคับให้ซึมผ่านแผ่นเมมเบรนแล้วไหลออกจากโมดูล

#### 2.3.2.2 โมดูลแบบท่อกลาง (Tubular module)

วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอด หรือท่อขนาดเล็กมามัดรวมกันเป็นมัด ๆ และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลสหรือไฟเบอร์กลาส สารที่ป้อนจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อด้วยความดันจะทำให้โมเลกุลของสารสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับ เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่ายเพราะมีการไหลตามขวาง (Cross flow) จึงนิยมใช้ในกรณีที่อาจมีการอุดตัน ชนิดนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ทำจากวัสดุอินทรีย์

#### 2.3.2.3 โมดูลแบบเส้นใยกลาง (Hollow fiber module)

เมมเบรนแบบเส้นใยกลาง จะมีผิวคล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน (ซึ่งมีความหนาเพียง 0.1 ไมครอน) ทำโดยการนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลางมามัดรวมกันเป็นมัด ๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้าหรือด้วยสารที่ป้อนจะเข้าทางด้านนอกซึมผ่านเข้าไปภายในเส้นใย สิ่งที่สำคัญของโมดูลแบบเส้นใยกลาง คือ สารที่ป้อนเข้าป้อนนั้นควรสะอาด เพื่อป้องกันการเกิดการอุดตันที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดฟาวลิง (Fouling) หรือการอุดตันของเมมเบรน

#### 2.3.2.4 โมดูลแบบท่อม้วน (Spiral wound module)

ประกอบด้วยเมมเบรนแบบแผ่นวางซ้อนกันม้วนรอบแกนที่เป็นท่อเพอมีเอท แผ่นกั้นของสารที่ป้อนที่อยู่ระหว่างแผ่นเมมเบรนจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดความกว้างของช่องป้อนสารซึ่งจะมีความหนา 0.1 มิลลิเมตร มีการไหลตามขวาง (Cross flow) แผ่นเมมเบรนสองชั้นหรือหลายชั้นต้องมีความเหมาะสมและสามารถรองรับความดันที่อยู่ในห้องบรรจุ (Housing) ที่มีการป้อนสารเข้าไปภายใน และยอมให้รีเทนเททออกมาได้

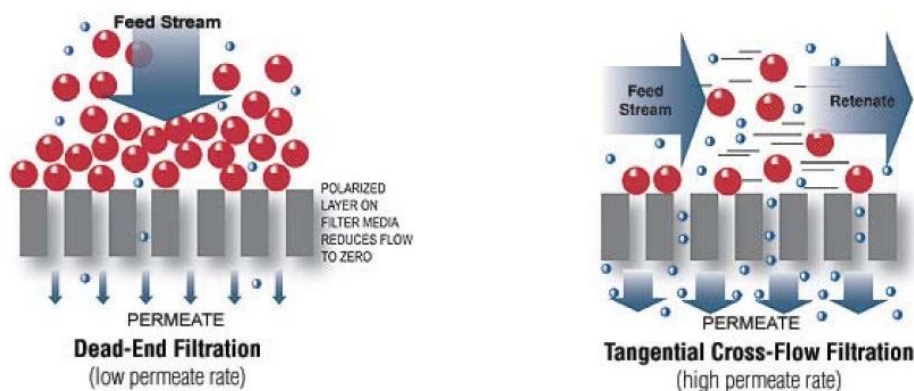
## 2.3.3 รูปแบบการกรองสารด้วยเมมเบรน

### 2.3.3.1 การกรองแบบปิดตาย (Dead-end filtration)

เป็นการป้อนสารเข้าในทิศทางที่ตั้งฉากกับเมมเบรน ตัวถูกละลายหรือสารที่ไม่ผ่านเมมเบรน จะถูกสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรนทั้งหมด มีเพียงส่วนเพอมีเอทที่ไหลออกจากระบบ จึงมีการสะสมของอนุภาคที่ถูกกักบริเวณผิวหน้าของเมมเบรนซึ่งจะเกิดเป็นชั้นเค้ก (Filter cake) หรือชั้นความต้านทานการกรอง (Gel layer) ที่หนา ทำให้ความต้านทานการไหลของเพอมีเอทเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของเพอมีเอทลดลง

### 2.3.3.2 การกรองแบบไหลขวาง (Cross Flow filtration)

การกรองด้วยวิธีนี้ สารที่ป้อนจะไหลในทิศทางที่ขนานกับแผ่นเมมเบรน หรือตั้งฉากกับทิศทาง การไหลของฟิลเตรท ซึ่งจะทำให้อนุภาคที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้นั้น ยังคงเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง ป้องกันการเกิดชั้นเค้กที่หนาบริเวณผิวหน้าของเมมเบรน การกรองแบบไหลขวางจึงสามารถลดการอุดตัน ดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1: การกรองแบบปิดตายและแบบไหลขวาง (Ballew *et al.*, 2002)

### 2.3.4 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้

กระบวนการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ สามารถใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการทำเข้มข้นน้ำผลไม้เนื่องจากไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสาร และสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้อง (25-27 องศาเซลเซียส) (จึงช่วยประหยัดพลังงาน) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพดีกว่า เมื่อเทียบกับกระบวนการที่ใช้ความร้อนแบบดั้งเดิม เพราะความร้อนจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทาง

โภชนาการของผลิตภัณฑ์ (Alvarez *et al.*, 2000) น้ำผลไม้ที่ถูกทำเข้มข้นมีข้อดีทางเศรษฐศาสตร์ในการเก็บ การขนส่ง การกระจายสินค้าตลอดจนการเก็บรักษาเนื่องจากมีแอกติวิตีของน้ำลดลง (Echavarria *et al.*, 2012)

## 2.4 ร้อยละ Rejection และร้อยละ Passage

ในระหว่างกระบวนการออสโมซิสแบบย้อนกลับ องค์ประกอบต่าง ๆ ในตัวอย่างน้ำส้มที่ป้อนเข้าไปจะสามารถพบได้ในกระแสของทั้งส่วนฟิลเตรทและรีเทนเทท โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบที่ผ่านชั้นของผิวเมมเบรน คิดเป็นสัดส่วนสารประกอบในฟิลเตรทต่อสารประกอบในน้ำส้มตัวอย่างเริ่มต้น จะอธิบายว่าเป็น %Passage ส่วนสารประกอบที่ไม่ผ่านชั้นของผิวเมมเบรน และพบในส่วนรีเทนเทท ถือว่าเป็นส่วนที่ถูกปฏิเสธ สามารถอธิบายเป็น %Rejection คือ จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เมมเบรนชนิดออสโมซิสแบบย้อนกลับสามารถสกัดเอาสารละลายไว้ได้

- %Passage: เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบที่ผ่านชั้นของเมมเบรนชนิดออสโมซิสแบบย้อนกลับ และพบสารประกอบนี้ในเพอมีเอทหรือฟิลเตรท

$$\text{Passage (\%)} = (\text{Permeate or filtrate concentration} / \text{Feed concentration}) \times 100$$

- %Rejection: อธิบายสารประกอบที่ไม่สามารถผ่านชั้นของผิวเมมเบรนชนิดออสโมซิสแบบย้อนกลับ และพบในรีเทนเทท

$$\text{Rejection (\%)} = 100 - \% \text{Passage}$$

## 2.5 การทำให้เข้มข้น

เป็นการแยกน้ำออกทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้น ปริมาณน้ำลดลง การทำให้เข้มข้นจะทำให้ปริมาณค่าแอกติวิตีของน้ำ (Water activity) ลดลงซึ่งเป็นการควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เกิดความสะดวกในการจัดเก็บรักษา ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

### 2.5.1 การทำให้เข้มข้นโดยการระเหย (Evaporation)

เป็นการระเหยตัวทำละลายออกไป จึงเป็นการเพิ่มความเข้มข้นให้กับตัวถูกละลาย โดยจะใช้เครื่องระเหย ซึ่งประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับถัง โดยมักใช้สภาพสุญญากาศควบคู่ไปกับการระเหย

ด้วย เพราะจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง จึงช่วยรักษาสารประกอบที่ระเหยง่ายอื่น ๆ ไว้ได้ โดยการสัมผัสกับความร้อนในเครื่องระเหยอาจส่งผลต่อกลิ่น รส และคุณค่าทางอาหารได้

### 2.5.2 การทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)

เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ซึ่งทำให้ตัวทำละลายเปลี่ยนสถานะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งกระจายอยู่ร่วมกับส่วนที่เป็นของเหลว แล้วแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลาย มักใช้เครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพราะ ความหนาแน่นของผลึกน้ำแข็งต่ำกว่า ความหนาแน่นของอาหารเหลวเข้มข้น

### 2.5.3 การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane filtration)

เป็นการเคลื่อนที่ของสารละลายผ่านเมมเบรน โดยอาศัยแรงดันขับแยกส่วนที่เป็นตัวทำละลายและตัวถูกละลายออกจากกันโดยสามารถแยกเป็นส่วนสารละลายเข้มข้น และส่วนที่ผ่านเมมเบรนไปได้ซึ่งเป็นพวกตัวทำละลาย หรือตัวถูกละลายบางส่วน กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนไม่ต้องอาศัยความร้อน ประหยัดพลังงาน สามารถแยกได้โดยไม่เปลี่ยนเฟส

## 2.6 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำส้มสกัดเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

การตรวจสอบ และวิเคราะห์คุณภาพน้ำส้มสกัดเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำส้มสกัดเข้มข้นที่ได้จากวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ กับน้ำส้มสกัดเข้มข้นที่สกัดด้วยวิธีอื่นตามท้องตลาด

### 2.6.1 พารามิเตอร์สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของน้ำส้มสกัดเข้มข้น

พารามิเตอร์สำคัญดังที่แสดงในตารางที่ 5 ที่นำมาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำส้มสกัดเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ โดยเทียบทั้งคุณภาพน้ำส้มทั้งก่อนและหลังทำเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ รวมถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นที่สกัดด้วยวิธีอื่น

ตารางที่ 3: คุณสมบัติของเนื้อเยื่อส้ม (Citrus sinensis)

Parameters	Observation
pH	3.8
TSS	11
Total acidity percent	0.51



Total sugar percent	8.36
Ascorbic acid (mg/100mL)	46.5
Moisture percent	88.5

ที่มา: Shravan R. *et al.* (2018)

## 2.6.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มสกัดเข้มข้น

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีบางชนิดในน้ำส้มสกัดเข้มข้น ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณสูงในผลส้ม ดังที่ระบุในแต่ละหัวข้อ เพื่อใช้อ้างอิงและนำมาเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีน้ำส้มสกัดเข้มข้นด้วยวิธี ออสโมซิสแบบย้อนกลับ กับน้ำส้มเข้มข้นที่สกัดด้วยวิธีอื่น

(1.) Potassium: โพแทสเซียม เป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณสูงถึง 166 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมส้ม

(2.) Calcium: แคลเซียม เป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณสูงถึง 43 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมส้ม

(3.) Phosphorus: ฟอสฟอรัส เป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณสูง 23 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมส้ม

ตารางที่ 4: ปริมาณ Total phenolic, Total flavonoid content และค่า Antioxidant activity โดยวิธี DPPH ในส้ม Mandarins (*Citrus reticulata* Blanco) 19 สายพันธุ์

Genotype	Pulp residues			Juices		
	Phenolic content (mg GAE g <sup>-1</sup> )	Flavonoid content (mg RE g <sup>-1</sup> )	DPPH (VCEAC, mg g <sup>-1</sup> DW)	Phenolic content (mg GAE g <sup>-1</sup> )	Flavonoid content (mg RE g <sup>-1</sup> )	DPPH (VCEAC,mg g <sup>-1</sup> DW)
Avanaapireno	8.25 <sup>eC</sup> ±0.21	6.38 <sup>eC</sup> ±2.21	2.30 <sup>hC</sup> ±0.79	20.85 <sup>hB</sup> ±0.92	23.34 <sup>JB</sup> ±0.78	17.26 <sup>dA</sup> ±0.16
Chazhigan	12.16 <sup>aB</sup> ±1.19	10.54 <sup>cC</sup> ±4.39	3.35 <sup>dC</sup> ±0.24	22.64 <sup>fA</sup> ±2.55	23.64 <sup>JB</sup> ±2.28	16.09 <sup>eB</sup> ±0.49
Shagan	10.76 <sup>bB</sup> ±1.31	6.88 <sup>dB</sup> ±0.67	2.64 <sup>fB</sup> ±0.37	7.28 <sup>JC</sup> ±2.37	9.88 <sup>IB</sup> ±0.05	5.84 <sup>JB</sup> ±4.07
Parson's special mandarin	12.84 <sup>aB</sup> ±2.80	9.58 <sup>cB</sup> ±2.92	3.43 <sup>cC</sup> ±0.91	27.25 <sup>cA</sup> ±2.60	38.39 <sup>cA</sup> ±4.95	27.09 <sup>aA</sup> ±0.66
Zaoju 79-6	11.96 <sup>bC</sup> ±1.83	9.93 <sup>cC</sup> ±2.81	2.57 <sup>gC</sup> ±0.43	21.14 <sup>hB</sup> ±0.98	32.28 <sup>eB</sup> ±0.41	9.51 <sup>iB</sup> ±0.47
Cleopatramandarin	10.49 <sup>bC</sup> ±2.31	7.22 <sup>dC</sup> ±2.24	3.33 <sup>dC</sup> ±0.46	25.01 <sup>dB</sup> ±1.55	30.55 <sup>fB</sup> ±4.64	16.84 <sup>dB</sup> ±0.39
Jinju	9.97 <sup>dC</sup> ±1.13	7.04 <sup>dC</sup> ±1.33	2.57 <sup>gB</sup> ±0.62	21.64 <sup>gB</sup> ±0.57	31.28 <sup>eB</sup> ±2.86	13.88 <sup>gA</sup> ±0.61
Yuanhongxianggan	12.73 <sup>aC</sup> ±1.22	10.89 <sup>cC</sup> ±1.58	4.24 <sup>aC</sup> ±0.07	22.77 <sup>fB</sup> ±1.35	26.76 <sup>hB</sup> ±4.49	9.80 <sup>iC</sup> ±0.27
Hayaka	13.52 <sup>aC</sup> ±0.90	16.54 <sup>aB</sup> ±0.76	3.76 <sup>aC</sup> ±0.18	25.89 <sup>dB</sup> ±1.34	35.64 <sup>dA</sup> ±1.01	12.68 <sup>hB</sup> ±0.33

Daxianggan	11.40 <sup>bb</sup> ±2.86	8.62 <sup>cc</sup> ±3.29	3.58 <sup>bc</sup> ±0.42	28.02 <sup>ca</sup> ±3.71	30.10 <sup>gb</sup> ±0.75	18.77 <sup>cb</sup> ±1.39
Shihuidahongju	11.98 <sup>bb</sup> ±1.12	8.76 <sup>cc</sup> ±1.06	3.67 <sup>bc</sup> ±0.23	24.85 <sup>da</sup> ±0.73	26.44 <sup>hb</sup> ±0.56	13.82 <sup>gb</sup> ±0.45
Parsonspecial mandarin	10.35 <sup>cb</sup> ±2.12	8.44 <sup>cc</sup> ±1.41	3.53 <sup>bb</sup> ±0.44	33.80 <sup>aa</sup> ±3.91	36.22 <sup>ca</sup> ±1.60	28.84 <sup>aa</sup> ±0.91
Manju	13.43 <sup>ac</sup> ±1.36	10.18 <sup>cd</sup> ±0.85	3.47 <sup>bc</sup> ±0.12	24.07 <sup>eb</sup> ±1.17	25.10 <sup>ib</sup> ±1.20	14.90 <sup>fb</sup> ±0.47
Baiju	11.02 <sup>bc</sup> ±0.06	9.14 <sup>cd</sup> ±1.17	2.13 <sup>ic</sup> ±0.04	31.53 <sup>aa</sup> ±1.51	35.90 <sup>da</sup> ±1.07	21.49 <sup>bb</sup> ±1.30
Shinamanatsu (Japan-No. 1)	15.15 <sup>ac</sup> ±0.51	16.74 <sup>ab</sup> ±1.21	4.47 <sup>ac</sup> ±0.13	27.11 <sup>da</sup> ±1.34	35.75 <sup>da</sup> ±5.45	17.13 <sup>cd</sup> ±1.13
Tankantangor	13.29 <sup>ac</sup> ±1.07	12.28 <sup>bb</sup> ±0.07	4.23 <sup>ab</sup> ±0.22	30.60 <sup>ba</sup> ±1.69	44.55 <sup>aa</sup> ±5.65	20.03 <sup>ba</sup> ±0.41
Karamandarin	13.54 <sup>ac</sup> ±0.93	15.68 <sup>ac</sup> ±1.58	4.45 <sup>ac</sup> ±0.13	34.03 <sup>aa</sup> ±0.90	48.13 <sup>aa</sup> ±1.86	17.45 <sup>db</sup> ±0.83
Miho-core	11.48 <sup>bb</sup> ±1.44	14.71 <sup>ac</sup> ±3.13	3.05 <sup>db</sup> ±0.59	27.92 <sup>ca</sup> ±0.34	41.03 <sup>ba</sup> ±0.22	17.89 <sup>da</sup> ±0.93
Page	10.92 <sup>bc</sup> ±1.80	6.91 <sup>dc</sup> ±1.10	2.70 <sup>ec</sup> ±0.33	18.18 <sup>ib</sup> ±1.53	20.08 <sup>kb</sup> ±1.51	14.76 <sup>fa</sup> ±0.48
Average	12.33	10.34	3.34	24.98	31.32	16.53

ที่มา: Zhang Hua *et al.* (2018)

จากสารอาหารที่กล่าวมาในตารางที่ 4 ใช้บ่งชี้คุณภาพของน้ำส้มสกัดเข้มข้นที่ได้จากการทดลอง โดยเปรียบเทียบปริมาณของสารอาหารดังกล่าว ทั้งก่อนและหลังทำเข้มข้นด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ สำหรับตรวจสอบผลกระทบของการใช้วิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ ในการทำเข้มข้น กับน้ำส้มเข้มข้นที่สกัดด้วยวิธีอื่น

### บทที่ 3

#### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุดิบ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 วัสดุดิบ

1. น้ำส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง (ยังอยู่ในขั้นตอนเปรียบเทียบเครื่อง)

##### 3.1.2 สารเคมี

1. เกลือแกง (Sodium chloride)
2. น้ำกลั่น (Distilled water)
3. Liquid hyperchlorite solution
4. Folin–Ciocalteu reagent
5. Sodium acetate
6. Glacial acetic acid
7. Ethanol
8. Methanol
9. Sodium carbonate
10. 0.04 M Hydrochloric acid
11. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
12.  $\text{FeCl}_3$
13. 2,4,6-Tripyridyl-S-triazine (TPTZ)
14. Trolox
15. Gallic acid

### 3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ขนาด 50, 100, 250, 600 และ 1000 มิลลิลิตร
2. ครอบดวง (Cylinder) 100 และ 250 มิลลิลิตร
3. กะละมัง
4. ขวดแก้วสีชา ขนาด 30 และ 100 มิลลิลิตร
5. ตู้อุ่น
6. ถังพลาสติกกรอง
7. Thermometer
8. ชุดประแจ ขนาด 10, 11, 12 และ 15 mm (STANLEY)
9. ประแจ ขนาด 200 mm Heavy (APEX)
10. Multi - tester (Sanwa รุ่น YX360TRF)
11. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (KERN รุ่น PLE, Germany)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น PB3002S/ FACT, Switzerland)
13. ถังพลาสติก
14. ซ้อนตักสาร
15. เครื่องมือกรองแบบที่สามารถใช้ได้ทั้งออสโมซิสแบบย้อนกลับ (เครื่องมือที่ออกแบบและจัดสร้าง)
16. ปิเปตขนาด 1, 5, 10 มิลลิลิตร
17. ไมโครปิเปต
18. ครอบปิเปตสแตนเลส ขนาด 40 เซนติเมตร
19. คิวเวต (Cuvette)

20. Hand Refractometer
21. Spectrophotometer
22. pH meter
23. Rotational viscometer
24. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

### 3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.2.1 การออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

##### 3.2.1.1 ศึกษาข้อมูลเมมเบรนที่จะใช้

โมดูลแบบท่อ (Tubular module) สำหรับการกรองด้วยออสโมซิสแบบย้อนกลับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทำจากวัสดุที่เป็นแอสีทิลเซลลูโลส (Acetyl cellulose) โดยความดันขั้นต่ำที่ต้องใช้จะเป็น 3.0 เมกะปาสคาลสำหรับการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ และมีโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่ถักทอ (polyester non-woven fabric) เป็นแผ่นรองเนื่องจากความดันที่สูงที่ใช้ในการกรองจะทำให้เยื่อผิวหน้าของเมมเบรนรั่วหรือฉีกขาดและจะทำให้ใช้งานไม่ได้ เมมเบรนมีความยาว 30.8 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.15 เซนติเมตร มีพื้นที่การกรอง 110 ตารางเซนติเมตร เมมเบรนจะบรรจุอยู่ในห้องกรอง (Housing) ที่ทำจากโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate หรือ PC) ซึ่งจะสามารถถอดเพื่อเปลี่ยนเมมเบรนได้ ทั้งโมดูลนี้ผลิตโดยบริษัท Daicen Membrane-systems Ltd., Japan ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2

## Tubular membrane test module Type: TB2 mini module (for UF/RO lab test)

Specification		
Membrane category		Tubular membrane
Membrane material	RO type 1	Acetylcellulose
	UF type 2	Modified PVA (Polyvinyl alcohol) (p.n. 20100 membrane)
Membrane support		Polyester non woven fabric
RO Type 1 (P.N. 90C1 CA) performance	NaCl Rejection	>90%
	NaCl Flux	20 ± 5 L/m <sup>2</sup> hour at 2.5 MPa
	Max Pressure	3.0 MPa
	Max temperature	40 °C
	pH range	4-8
UF Type 1 (P.N. 20100 membrane) performance spec	Molecular Cut-off	100,000 dalton
	Pure water flux	80 ± 20 L/m <sup>2</sup> hour at 0.1 MPa
	Max pressure	1.0 MPa
	Max temperature	40 °C
	pH range	3-11
Recommended circulation flow	15-30 L/min (1000-2000 L/H)	
Membrane: length/diameter	308 mm / 11.5 mm	
Membrane number	One tube	
Membrane area	0.0111 m <sup>2</sup> /one tube	
Weight	1 kg	

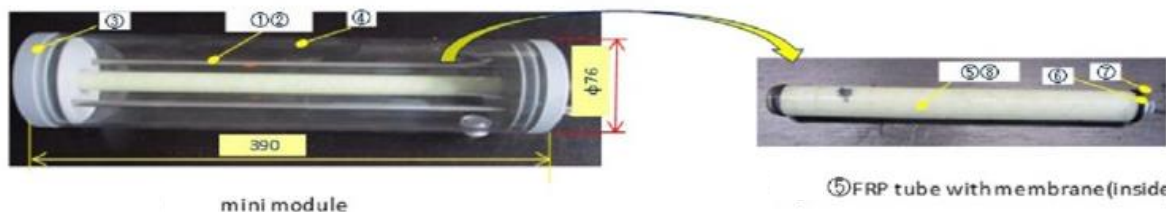
Test condition: NaCl 2,000 ppm 2.5 MPa 25 °C

Part/Material/Number			
No	Item	Material	Number
①	Stayvolt	SUS 304	2
②	Nut	SUS 304	2
③	Header	Nylon	2
④	Case	PC	1
⑤	FRP tube with membrane	FRP, membrane	1
⑥	C-packing	NBR	2
⑦	H1-adapter	PES	2
⑧	Membrane	CA & modified PVA	Each 2
⑨	Connectioning adopter for coupler (option)	SUS 304	2

Connecting size	
Connecting size on headerA	PT 1/2 x 2 (inlet&outlet)
Connecting adopter for coupler (option part)	4TSH coupler of Nitto-Kohki Co., Ltd. Available (option)



piping portion with ⑨couplar adapter(option)



ภาพที่ 2: รายละเอียดการออกแบบห้องกรองและเมมเบรนสำหรับการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

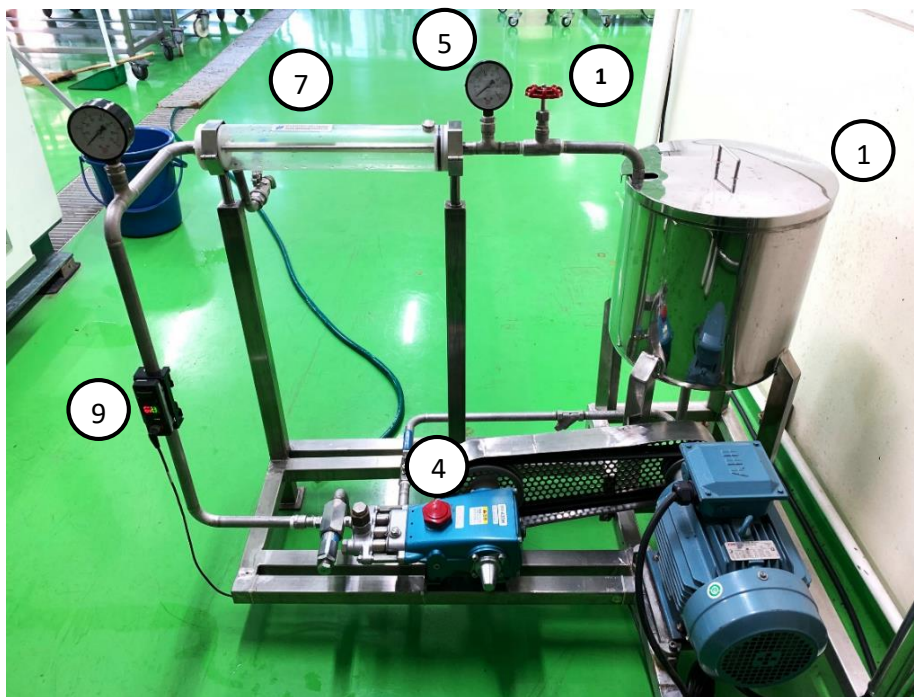
### 3.2.1.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องมือสำหรับการกรอง

ในการออกแบบระบบเครื่องกรอง ได้ออกแบบเพื่อให้สามารถเปลี่ยนเมมเบรนสำหรับการกรองแบบออสโมซิสแบบย้อนกลับเป็นการกรองรูปแบบอื่นได้ เช่น เมมเบรนแบบ Ultrafiltration นอกจากนี้ต้องมีปั๊มที่สามารถให้อัตราการไหลที่เพียงพอแก่การสร้างกระแสไหลผ่านที่จะช่วยในการชะลอการเกิดความต้านในการกรองอันเนื่องมาจากชั้นตะกอนที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าเมมเบรน พร้อมทั้งให้ความดันไม่ต่ำกว่า 3.0 เมกะปาสคาล มีตัวห้องบรรจุและระบบที่รองรับความดันนี้ได้ โดยออกแบบระบบให้เป็นไปตามภาพที่ 3 มีส่วนประกอบที่ต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ถังสแตนเลสสำหรับใส่สารที่ต้องการป้อนเข้าไปในระบบ (Feed) ซึ่งใช้จะบรรจุตัวอย่างที่ต้องการกรอง
- 2) อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดของระบบ
- 3) อินเวอร์เตอร์ (Invertor) เพื่อปรับรอบของมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนปั๊ม เพื่อช่วยในการควบคุมอัตราการไหล (Flow rate) ของสารที่ป้อน
- 4) ปั๊ม ทำหน้าที่ให้ความดันแก่ระบบ ซึ่งต้องสามารถให้ความดันสูงได้มากกว่า 3 เมกะปาสคาล เพื่อให้ใช้ได้กับการกรองแบบออสโมซิสแบบย้อนกลับที่ต้องการความดันสูงและต้องมีอัตราการไหลประมาณ 20 ลิตรต่อนาที เพื่อให้มีการไหลตามขวางที่เพียงพอแก่การกำจัดชั้นความต้านทานการกรองหรือชั้นแตกที่ผิวหน้าของเมมเบรน โดยปั๊มที่ใช้ คือ ปั๊มของบริษัท MARUYAMA EXCELL Co, Ltd. รุ่น MW430H แบบ 3 Stoke uniflow แนวนอน อัตราการไหลสูงสุด 2.4 เมตรต่อวินาที ความดันสูงสุด 5.6 เมกะปาสคาล
- 5) เกจวัดความดัน (Pressure gauge) สำหรับวัดความดันขาเข้า
- 6) ข้อต่อที่สามารถถอดเพื่อเปลี่ยนชนิดของเมมเบรน ระหว่างการกรองออสโมซิสแบบย้อนกลับและเมมเบรนชนิดอื่น สามารถทนความดันสูงได้
- 7) ห้องกรอง (Housing) เป็นส่วนที่มีเมมเบรนบรรจุอยู่ภายใน ซึ่งจะมีท่อสำหรับถ่ายเทเพอมีเอทออกจากห้องกรองได้
- 8) เกจวัดความดัน สำหรับวัดความดันในการกรอง

9) เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow gauge) สำหรับวัดอัตราการไหลของสารละลาย โดยจะใช้เครื่องมือที่วัดโดยไม่สัมผัสกับของไหลเนื่องจากภายในระบบมีแรงดันสูงมาก จึงเลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลที่เป็นเลเซอร์เซนเซอร์ รุ่น L R-7B240CB ของบริษัท Keyence ประเทศญี่ปุ่น

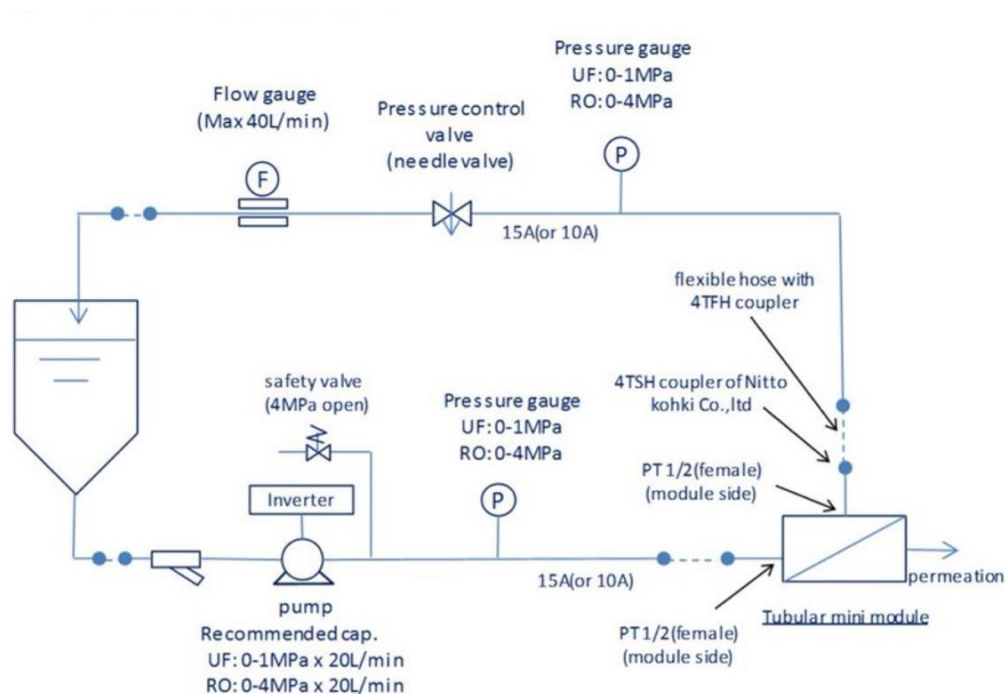
10) วาล์ว สำหรับปรับความดันในระบบ



ภาพที่ 3: เครื่องกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

รูปแบบการไหลของสารป้อน (Feed) เป็นดังที่แสดงในภาพที่ 4 สารป้อนจะถูกปั๊มออกจากถังสแตนเลสด้วยปั๊มที่สามารถปรับกำลังได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมมอเตอร์ของปั๊ม ดังนั้นอัตราการไหล (อัตราเร็วการไหลผ่านขวาง; crossflow velocity) และความดันที่ใช้ในการทดลองจะถูกกำหนดได้ด้วยได้ด้วยการปรับอินเวอร์เตอร์นี้และวาล์วที่อยู่ทางปลายน้ำของห้องกรอง สารป้อนที่ถูกป้อนจะไหลผ่านระบบท่อสแตนเลสที่มีเกจวัดความดันขาเข้าห้องกรอง และมาตรวัดอัตราการไหลติดตั้งอยู่ไปสู่ห้องกรอง ห้องกรองนี้ออกแบบมาให้สามารถเปลี่ยนเมมเบรนจากเมมเบรนแบบออสโมซิสแบบย้อนกลับ เป็นเมมเบรนชนิดอื่น ๆ ได้ สารป้อนที่ผ่านห้องกรอง (รีเทนเทท) จะถูกส่งกลับไปยังถังสแตนเลส และจะถูกปั๊มหมุนเวียนเข้าสู่ระบบกรองต่อไป สำหรับฟิลเตรทที่กรองผ่านเมมเบรนจะไหลออกมาสู่แจคเก็ตที่ครอบเมมเบรนอยู่ แล้วไหลผ่านปากทางออกที่จะเก็บฟิลเตรทที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาและนำฟิลเตรทที่ได้ดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก (ติดตามการเปลี่ยนแปลงของฟิลเตรทที่ได้ต่อเวลา) เพื่อนำไปหาอัตราเร็วการซึมผ่านที่ได้ ในกรณีที่เป็นเมมเบรนสำหรับอัลตราฟิลเตรชันจะได้อพเมทเป็นผลิตภัณฑ์ และในกรณีที่ให้เมมเบรนสำหรับออสโมซิสแบบย้อนกลับจะให้รีเทนเททเป็นผลิตภัณฑ์





ภาพที่ 4: ไดอะแกรมของการไหลเวียนของระบบการกรองด้วยออสโมซิสแบบย้อนกลับ

### 3.2.2 การหาประสิทธิภาพการกักกันไอออนของเมมเบรน

#### 3.2.2.1 การเตรียมน้ำเกลือสำหรับเป็นสารละลายมาตรฐาน

เตรียมน้ำเกลือที่ความเข้มข้นเป็น 160, 80, 40, 20 และ 10 ppm และ 2900 และ 625 ppb โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์จากการคำนวณน้ำหนักแต่ละระดับความเข้มข้น ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ก่อนจะนำไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistance) ด้วย Multimeter เพื่อสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (calibration curve) ที่จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของน้ำเกลือ

#### 3.2.2.2 การหาประสิทธิภาพการกักกันไอออนของเมมเบรนโดยการกรองน้ำเกลือด้วยกระบวนการกรองแบบออสโมซิสแบบย้อนกลับ

เตรียมน้ำเกลือที่ความเข้มข้นเป็น 5000 ppm หรือ 0.5% โดยน้ำหนัก จากการชั่งโซเดียมคลอไรด์มา 75 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 15 ลิตร สำหรับใช้เป็นสารป้อนในการทดสอบการหาประสิทธิภาพการกักกันไอออนของเมมเบรน นำสารป้อนนี้บรรจุลงในถังสแตนเลส

ในการทดสอบนี้ใช้เครื่องมือการกรองที่ได้จัดสร้างขึ้นตามที่อธิบายในตอน 3.2.1 โดยก่อนทดลองกรองจะกรองน้ำกลั่นปลอดเชื้อผ่านเมมเบรนที่ความดันต่าง ๆ ได้แก่ 2.0, 2.5 และ 3.0 เมกะปาสกาล ทุกครั้งก่อนเริ่มการกรอง เพื่อเป็นการตรวจสอบสภาพของเมมเบรนว่ามีการฉีกขาด รั่ว หรือมีการอุดตัน อัน

เนื่องจากการทำความสะอาดที่ไม่เพียงพอหรือไม่ โดยพิจารณาเปรียบเทียบอัตราเร็วการซึมผ่านน้ำกลั่นในแต่ละครั้งของการทดลอง ซึ่งหากเมมเบรนยังคงสามารถใช้งานได้ ในการกรองแต่ละครั้งควรมีอัตราเร็วการซึมผ่านของน้ำกลั่นที่ความดันในการกรองเท่ากันไม่แตกต่างกัน

หลังจากนั้นกรองสารป้อนข้างต้นด้วยภาวะการกรองที่ให้ความดันภายในเมมเบรน (ความดันในการกรอง) ตลอดการทดสอบที่ 2.5 เมกะปาสคาล (25 บาร์) และความเร็วของกระแสสารป้อนภายในท่อเป็น 1.6 เมตรต่อวินาที และควบคุมอุณหภูมิภายในถังป้อนสแตนเลสให้ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส จากนั้นบันทึกข้อมูลปริมาตรฟิลเตรททุก ๆ 30 นาที ตลอดช่วงทำการทดลอง (3 ชั่วโมง) และเก็บตัวอย่างฟิลเตรทในการกรองเพื่อนำไปหาความเข้มข้นของน้ำเกลือที่กรองได้ หาประสิทธิภาพการกักกันไอออนของเมมเบรนแบบออสโมซิสแบบย้อนกลับในเชิง อัตราเร็วการซึมผ่าน และ %rejection

### 3.2.3 การเตรียมน้ำส้มเพื่อทำการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

ในกระบวนการนี้จะเตรียมน้ำส้มคั้นปริมาตร 10.0 ลิตร ต่อการทดลอง 1 ครั้ง นำมาผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกสารแขวนลอยขนาดใหญ่ เช่น กากส้ม, เนื้อส้ม เป็นต้น ก่อนนำเข้าสู่เครื่องกรอง

### 3.2.4 การทำเข้มข้นน้ำส้มด้วยกระบวนการกรองด้วยออสโมซิสแบบย้อนกลับ

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือการกรองที่ได้จัดสร้างขึ้นตามที่อธิบายในตอน 3.2.1 โดยขั้นตอนแรกก่อนจะเริ่มกรองจะกรองน้ำกลั่นปลอดเชื้อผ่านเมมเบรนที่ความดันต่าง ๆ ได้แก่ 2.0, 2.5 และ 3.0 เมกะปาสคาลทุกครั้งก่อนเริ่มการกรอง เพื่อเป็นการตรวจสอบสภาพของเมมเบรนว่ามีการฉีกขาด รั่ว หรือมีการอุดตันอันเนื่องจากการทำความสะอาดที่ไม่เพียงพอหรือไม่ โดยพิจารณาเปรียบเทียบอัตราเร็วการซึมผ่านน้ำกลั่นในแต่ละครั้งของการทดลอง ซึ่งจะเลือกใช้เมมเบรนที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ไม่แตกต่างกันเกินกว่าร้อยละ 10 ของเมมเบรนใหม่ และล้างเครื่องอีกรอบโดยใช้สารละลาย hyperchlorite ความเข้มข้น 2000 ppm โดยเปิดเครื่องให้สารละลายดังกล่าวไหลผ่าน เซลล์เมมเบรนและท่อนก่อนทำการทดลองเป็นระยะเวลา 5 นาที เมื่อทำการล้างเครื่องเสร็จแล้ว ถ่ายสารละลายดังกล่าวออก แล้วกรองด้วยน้ำกลั่นซ้ำอีกครั้งเพื่อเป็นการล้างสารละลาย hyperchlorite ออกจากระบบกรอง จากนั้นเติมน้ำส้มซึ่งได้เตรียมในหัวข้อ 3.2.3 ที่ทำการปั่นเหวี่ยงเรียบร้อยแล้ว ลงในถังสแตนเลส เปิดเครื่องปั๊มตั้งค่ามอเตอร์ไว้ที่ 30.00 Hz อัตราเร็วการไหลผ่านขวงเมมเบรนเฉลี่ยในระบบจะมีค่าประมาณ 9.8 ลิตรต่อนาที หรือ 1.6 เมตรต่อวินาที ปรับความดันที่ Pressure gauge เป็น 2.5 เมกะปาสคาล และควบคุมอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 30 องศาเซลเซียสด้วยการหล่อเย็นน้ำส้มตัวอย่างจากน้ำแข็งที่ถูกบรรจุหมักอยู่ในกระบอกสแตนเลสที่ได้นำลงไปแช่ในถังสแตนเลส และเก็บตัวอย่าง

ปริมาณของฟิลเตรทและรีเทนเททที่ได้ทุก ๆ 30 นาที ตลอดช่วงทำการทดลอง (180 นาที) เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติที่ระบุในหัวข้อ 3.2.6 พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของฟิลเตรทที่ได้ทุก 30 นาทีเพื่อนำไปหา อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรท

### 3.2.5 เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการกรองโดยการชะชั้นความต้านทานการกรองหรือชั้นความเข้มข้นบนผิวเบรนระหว่างกระบวนการ

ในการทดสอบนี้เป็นการทำเพื่อชะตะกอนที่อยู่บนผิวหน้าเมมเบรน เพื่อให้ประสิทธิภาพการกรองดีขึ้น โดยเริ่มกระบวนการทำการทดลองเช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2.4 แต่เมื่อกรองได้เป็นระยะเวลา 60 นาที จะหยุดการกรองเป็นระยะเวลา 5 นาทีโดยได้ปรับความดันต่ำลงจากการเปิดวาล์วด้านขาออกห้องกรองให้สุด และปรับเพิ่มค่าอินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ของปั๊มเป็นที่ 40.00 Hz ซึ่งจะทำให้มีอัตราเร็วการไหลผ่านขวงเมมเบรนเฉลี่ยในระบบจะมีค่าประมาณ 1.8 เมตรต่อ และในขณะนี้ยังได้ทำการควบคุมอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 30 องศาเซียลเซียสด้วยการหล่อเย็นน้ำส้มตัวอย่างจากน้ำแข็งที่ถูกบรรจุฉนวนอยู่ในกระบอกสแตนเลสดังที่ได้ทำในหัวข้อที่ผ่านมา จากนั้นกลับมาดำเนินการกรองน้ำส้มขี้ใหม่ด้วยภาวะเดียวกับที่ทำในหัวข้อ 3.2.4 ในการเก็บตัวอย่างและติดตามปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของฟิลเตรทต่อเวลานั้นกระทำในลักษณะเดียวกับหัวข้อ 3.2.4 แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจะเป็น 15 นาที

### 3.2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

#### 3.2.6.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter โดยเตรียมตัวอย่างน้ำส้มใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 2 ซ้ำ บันทึกค่า

#### 3.2.6.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids, TSS)

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้ Hand refractometer และบันทึกค่า

#### 3.2.6.3 ค่าการยอมให้แสงส่องผ่าน

นำตัวอย่างน้ำส้มที่ได้มาวัดค่าการยอมให้แสงส่องผ่าน ด้วย Spectrophotometer ใช้ความยาวคลื่นที่ 650 nm และ set blank ด้วยน้ำกลั่น ทำการทดลอง 2 ซ้ำ บันทึกค่า

#### 3.2.6.4 ค่าความหนืด

วัดค่าความหนืดของน้ำส้มตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Rotational viscometer ขนาดหัว R2 ค่า RPM ที่ 100 จับเวลาวัดที่ 3 นาที ทำการวัด 2 ซ้ำ บันทึกค่า

### 3.2.7 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

#### 3.2.7.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-ciocalteu

เตรียมน้ำส้มตัวอย่างปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (ทดลอง 2 ซ้ำ) จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่เตรียมน้ำส้มไว้ แล้วทำการ vortex จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 เมื่อครบเวลา เติม 10% Sodium carbonate 2 มิลลิลิตร แล้วทำการ vortex จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 10 นาที จากนั้นทำการ set blank เครื่อง Spectrophotometer ด้วยน้ำกลั่น เมื่อครบเวลา นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยทุกหลอดต้องวัดที่เวลาเท่า ๆ กัน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบหาความเข้มข้นจากสมการสารละลายมาตรฐาน Gallic acid

#### 3.2.7.2 การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay

วิธี Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay ใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระคืออนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วง การเตรียมสารละลาย DPPH โดยชั่ง DPPH 0.024 กรัม ละลายในเมทานอล 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเจือจางด้วยเมทานอล เพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.1 (อัตราส่วนโดยประมาณของ สารละลาย DPPH: เมทานอล = 10 : 15) ทำการทดสอบสารตัวอย่าง โดยปิเปตสารละลาย DPPH ที่ทำการเจือจางแล้ว ปริมาตร 4.75 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำส้ม ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ที่เตรียมใส่หลอดทดลองไว้แล้ว เขย่าเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที สีจากการทำปฏิกิริยาจะอ่อนลง เกิดจากการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยเครื่อง Spectrophotometer (ใช้เมทานอลเป็นสารละลาย blank) ทดลอง 2 ซ้ำ โดยทุกหลอดต้องวัดที่เวลาเท่า ๆ กัน ใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเทียบหาความเข้มข้นจากสมการสารละลายมาตรฐาน และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสมการ  $\%Inhibition = [(A_{DPPH} - A_{สารตัวอย่าง}) / (A_{DPPH} - A_{สารอ้างอิง})] \times 100$

### 3.2.7.3 การวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing ability power (FRAP)

ผสมสารละลาย FRAP (Acetate buffer 50 มิลลิลิตร,  $\text{FeCl}_3$  5 มิลลิลิตร และ TPTZ 5 มิลลิลิตร) ในบีกเกอร์ เขย่าให้เข้ากัน ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปแช่ใน water bath อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลา นำสารละลาย FRAP ออกจาก water bath แล้วเปิดสารละลาย FRAP ปริมาตร 2.85 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำส้มปริมาตร 150 ไมโครลิตร ที่เตรียมใส่หลอดทดลองไว้แล้ว เขย่าให้เข้ากัน เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยเครื่อง Spectrophotometer (ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวอย่างอ้างอิง) นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างได้มาเทียบหาความเข้มข้นจากสมการสารละลายมาตรฐาน Trolox

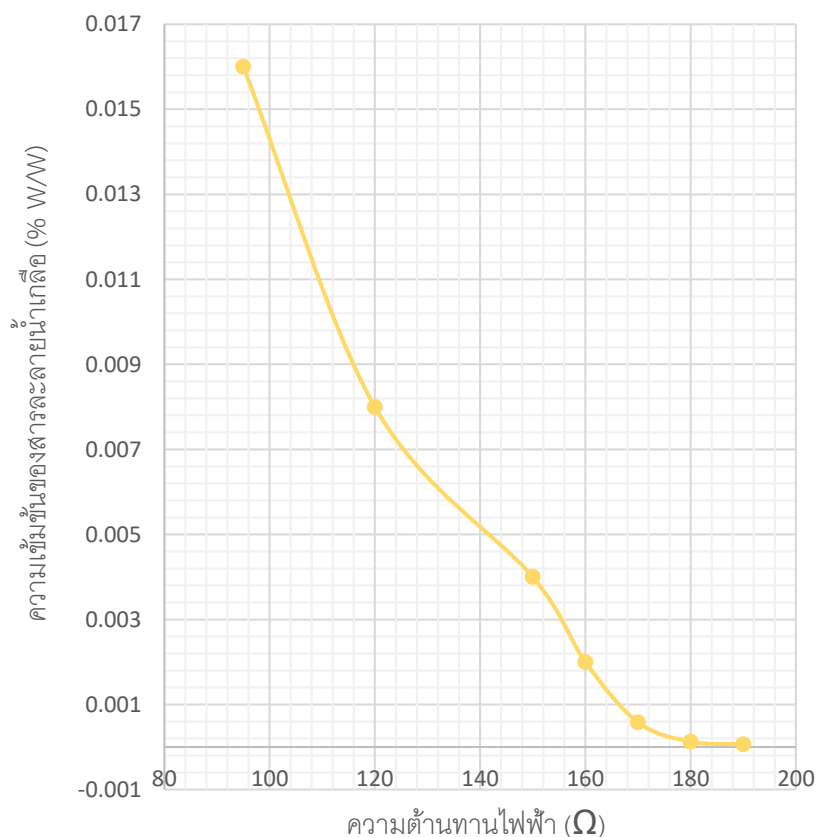
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

##### 4.1.1 ความเข้มข้นอ้างอิงของสารละลายน้ำเกลือมาตรฐาน

จากการเตรียมสารละลายน้ำเกลือมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วนำไปหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของความเข้มข้นเกลือที่แตกต่างกันนั้น ได้ผลตามภาพที่ 5 ทั้งนี้ความสัมพันธ์ที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการหาความเข้มข้นของน้ำเกลือที่กรองได้เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำเกลือของสารละลายเริ่มต้นที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ Salt passage และ Salt rejection สำหรับการพิจารณาสมรรถนะของเยื่อแผ่นกรองก่อนนำมาใช้งาน จากข้อมูลของความเข้มข้นของเกลือและความต้านทานไฟฟ้าที่ได้นี้ พบว่าระหว่างค่าความเข้มข้นของเกลือที่ 0.00006 ถึง 0.016 % (W/W) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้



ภาพที่ 5: แสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายน้ำเกลือมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก) กับความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)

#### 4.1.2 อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของสารละลายน้ำเกลือตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของฟิลเตรทที่ผ่านเมมเบรนออกมาแต่ละช่วงเวลา พบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าตลอด 180 นาทีของฟิลเตรทมีอยู่ที่ 100 โอห์ม ดังนั้นจากภาพที่ 5 ได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเกลือในฟิลเตรทเป็น 0.014% (โดยน้ำหนัก) หรือประมาณ 140 ppm ซึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของน้ำเกลือตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากับ 5000 ppm แล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าไอออนในฟิลเตรทต่ำลงซึ่งทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (การนำไฟฟ้าในสารละลายมีค่าน้อยลง) จากข้อมูลข้างต้นได้อัตราส่วนความเข้มข้นของฟิลเตรทต่อความเข้มข้นสารละลายน้ำเกลือเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 0.03 หรือหมายความว่ามีความ Salt passage เท่ากับ 3% และ Salt rejection เป็น 97% ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของเมมเบรนที่ใช้ถือว่าสามารถป้องกันไม่ให้ Total dissolved solid (TDS) ผ่านไปได้ถึง 97% และมีค่าไม่ต่ำกว่า 90% (Fravel *et al.*, 2014)

นอกจากนี้ จากการเก็บปริมาตรฟิลเตรทที่ได้ทุก ๆ 30 นาที เพื่อติดตาม อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรท (มิลลิลิตรต่อนาที) ของสารละลายน้ำเกลือตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา (นาที) ตามตารางที่ 5 พบว่าที่ความดันในการกรอง 2.5 เมกะปาสคาลมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.0029 มิลลิเมตรต่อนาที

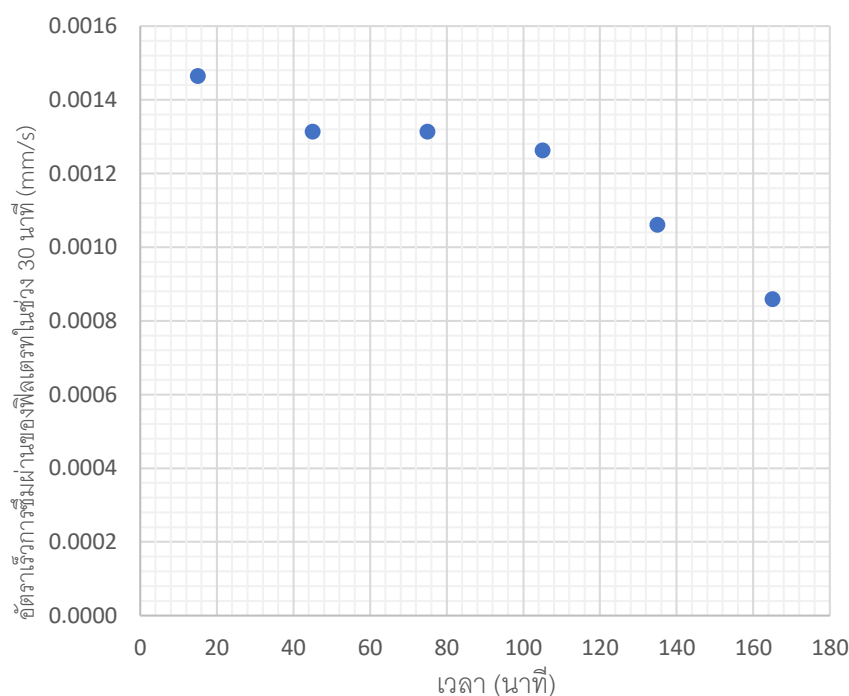
ตารางที่ 5: อัตราเร็วการซึมผ่านของสารละลายน้ำเกลือ

เวลา (min)	ปริมาตรของฟิลเตรท ที่ได้ (mL)	ปริมาตรโดยรวม ของฟิลเตรทที่ได้ (mL)	อัตราเร็วการซึมผ่านของ ฟิลเตรทเฉลี่ยในช่วง 30 นาที (mm/s)
0	0	0	-
30	50	50	0.0025
60	61	111	0.0028
90	61	172	0.0029
120	71	243	0.0031
150	66	309	0.0031
180	65	374	0.0032

## 4.2 การกรองน้ำส้มตัวอย่างด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

### 4.2.1 อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรท

เมื่อเริ่มดำเนินการกรองน้ำส้มตัวอย่างด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับเป็นเวลา 180 นาที พบว่า อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาในการทำทดลองดังที่แสดงในภาพที่ 6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของน้ำส้มตัวอย่าง (มิลลิเมตรต่อวินาที) กับ เวลา (นาที) โดยเป็นการแสดง อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทโดยเฉลี่ยของช่วงระยะเวลา 30 นาทีนั้น ๆ โดยเมื่อเวลาการกรองผ่านไปจนถึงนาทีที่ 180 อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทลดลงคิดเป็นร้อยละ 40 เมื่อเทียบอัตราเร็วการซึมผ่านเฉลี่ยในช่วง 30 นาทีแรก เนื่องจากการสะสมของสารแขวนลอยในน้ำส้มตัวอย่างจนเกิดเป็นชั้นความต้านทานการกรองบนผิวด้านในท่อกลางของเมมเบรน ส่งผลให้อัตราเร็วการซึมผ่านเฉลี่ยของระบบมีค่าลดลง ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้ได้อาศัยหลักการ cross flow ที่จะให้กระแสของรีเทนเรตที่ไหลวนอยู่ในระบบผ่านผิวหน้าเมมเบรนช่วยพัฒนาจัดชั้นความต้านทานการกรองหรือตะกอนที่ก่อตัวบนผิวหน้าเมมเบรนขณะดำเนินการกรองออกไป เป็นการลดความต้านทานในการกรองนั้น แต่อิทธิพลของ cross flow นี้ยังไม่ปรากฏให้เห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะอัตราเร็วการไหลผ่านขวางเมมเบรนมีไม่เพียงพอ หรือระยะเวลาในการทำการกรองอาจสั้นไป



ภาพที่ 6: แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของน้ำส้มตัวอย่าง (มิลลิเมตรต่อวินาที) กับ เวลา (นาที)



#### 4.2.2 ร้อยละ Passage และร้อยละ Rejection จากการกรองน้ำส้มตัวอย่างด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

ในตารางที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรท และรีเทนเทท โดยในรีเทนเททพบว่า ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) มีค่าสูงขึ้น จึงอนุมานได้ว่าน้ำส้มตัวอย่างที่ได้หลังการกรองมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจริง แต่ในช่วงแรกของการทดลอง ค่า TSS มีค่าต่ำกว่าน้ำส้มตัวอย่าง (11.6 °Brix) คาดว่าเกิดจากน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างแผ่นกรองก่อนทำการทดลองที่หลงเหลืออยู่ภายในท่อเมมเบรน และระบบกรองได้เจือจางน้ำส้มตัวอย่าง ในขณะที่ฟิลเตรทที่ได้จากการกรอง เมื่อเวลากรองผ่านไปค่า TSS มีค่าลดลง อาจเกิดจากการสะสมของสารแขวนลอยในน้ำส้มตัวอย่างที่เป็นชั้นความต้านทานการกรองบนผิวหน้าด้านในเมมเบรน เกิดเป็นความต้านทานในการกรองที่ช่วยยับยั้งการผ่านของของแข็งที่ละลายน้ำได้ เมื่อนำมาคำนวณค่า %Passage และ %Rejection จะเห็นว่า %Rejection ยังคงมีค่าไม่ต่ำกว่า 90% แสดงให้เห็นว่าระบบการกรองนี้มีความเป็นไปได้ในการใช้ทำเข้มข้นน้ำส้ม

ตารางที่ 6: แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรท และรีเทนเทท

เวลา (min)	ค่าปริมาณของแข็ง	ค่าปริมาณของแข็ง	ร้อยละ Passage (%)	ร้อยละ Rejection (%)
	รีเทนเทท (°Brix)	ที่ละลายได้ของ ฟิลเตรท (°Brix)		
0	11.6	-	-	-
30	11.0	1.0	8.62	91.38
60	11.1	0.6	5.17	94.83
90	11.4	0.5	4.31	95.69
120	11.6	0.4	3.45	96.55
150	11.7	0.4	3.45	96.55
180	11.9	0.3	2.59	97.41

### 4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

#### 4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

ตารางที่ 7 แสดงค่าร้อยละการยอมให้แสงส่องผ่าน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนืดของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่า ค่าร้อยละการยอมให้แสงส่องผ่านของน้ำส้มตัวอย่างหลังกรองมีค่าน้อยกว่าน้ำส้มตัวอย่างก่อนกรองดังที่สามารถเห็นได้จากภาพที่ 7 ในขณะที่ความหนืดของน้ำส้มตัวอย่างหลังกรองมีค่ามากกว่าน้ำส้มตัวอย่างก่อนกรอง ยืนยันให้เห็นว่าน้ำส้มตัวอย่างหลังกรองมีความเข้มข้นมากขึ้น ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากน้ำส้มมีความเป็นบัฟเฟอร์สูง (Jesus *et al.*, 2007)

ตารางที่ 7: แสดงค่าร้อยละการยอมให้แสงส่องผ่าน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนืดของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

คุณสมบัติทางกายภาพ	น้ำส้มตัวอย่างก่อนกรอง	น้ำส้มตัวอย่างหลังกรอง
ร้อยละการยอมให้แสงส่องผ่าน, %T	3.48±0.11 <sup>a</sup>	1.65±0.20 <sup>b</sup>
ค่าความเป็นกรด-ด่าง, pH	3.03±0.02	3.02±0.01
ค่าความหนืด (cP)	12.1±0.4 <sup>b</sup>	12.9±0.3 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a-b คือ ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างน้ำส้มก่อนและหลังการกรองตามลำดับ

#### 4.3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

ตารางที่ 8 แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมด้วยวิธี Folin-ciocalteu และสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ พบว่าการทดสอบทั้งสามวิธีให้ค่าที่ลดลงกว่าตัวอย่างก่อนกรอง ซึ่งผลที่ได้แปรผกผันกับปริมาณ TSS ที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมลดลงร้อยละ 56.3 เทียบกับก่อนกรอง ปริมาณสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH ลดลงร้อยละ 33.0 เทียบกับก่อนกรอง และปริมาณสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP ลดลงร้อยละ 19.7 เทียบกับก่อนกรอง แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จะสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ดังนั้นเมื่อมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระก็จะน้อยลงตามไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกิดจากสภาวะแวดล้อมในการทดลองที่ไม่เหมาะสมต่อการรักษาสารประกอบฟีนอลิก เช่น ไม่มีการบังแสงในระหว่างการทดลองซึ่งมีเวลานาน หรือการควบคุมอุณหภูมิการกรองที่ยังมีประสิทธิภาพไม่มากพอ และระบบกรองที่ไม่ใช่ระบบปิดซึ่งทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่สลายตัวได้ง่ายสูญเสียไประหว่างการทดลอง เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สามารถเกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามคาดว่าน่าจะหลงเหลือมากกว่าการทำเข้มข้นด้วยความร้อน

ตารางที่ 8: แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมด้วยวิธี Folin-ciocalteu และสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

การวิเคราะห์ทางเคมี	น้ำส้มตัวอย่างก่อนกรอง	น้ำส้มตัวอย่างหลังกรอง
สารประกอบฟีนอลิกโดยรวม, TPC ( $\mu\text{mol GAE/L}$ )	360.61 $\pm$ 1.57 <sup>a</sup>	203.28 $\pm$ 1.03 <sup>b</sup>
DPPH ( $\mu\text{mol TE/L}$ )	711.54 $\pm$ 1.54 <sup>a</sup>	211.60 $\pm$ 0.95 <sup>b</sup>
FRAP ( $\mu\text{mol TE/L}$ )	1651.38 $\pm$ 1.14 <sup>a</sup>	819.52 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>

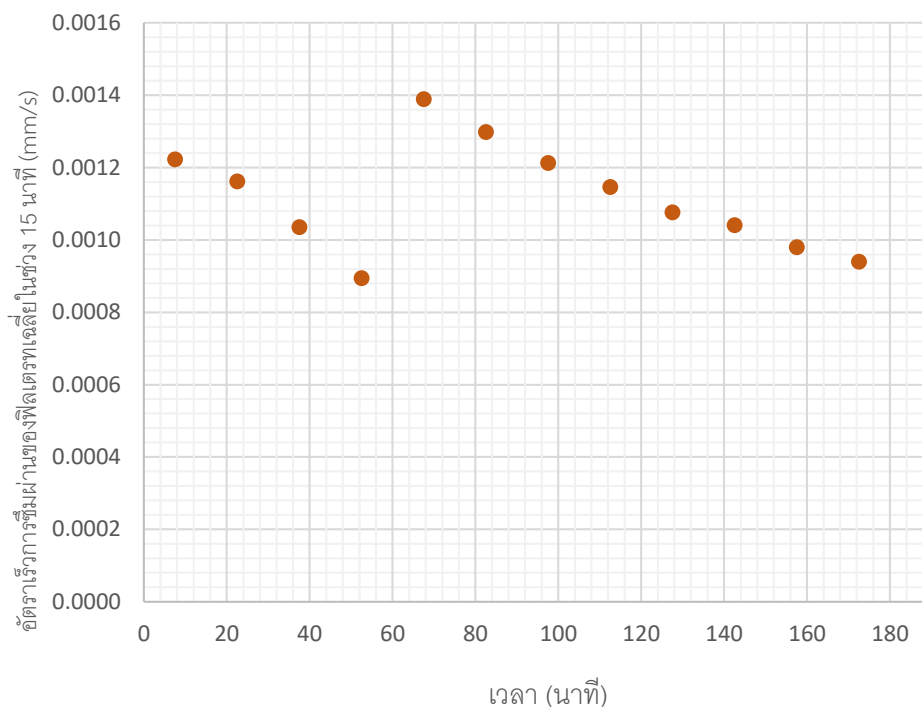
หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

a-b คือ ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการกรองโดยการชะล้างความต้านทานการกรองหรือขึ้นความเข้มข้นบนผิวเบรนระหว่างกระบวนการ

##### 4.4.1 อัตราเร็วการซึมผ่านน้ำส้มหรืออัตราการซึมผ่านของฟิลเตรท เมื่อกำจัดขึ้นความต้านทานการกรองบนผิวเมมเบรน

ในการทดลองกำจัดขึ้นความต้านทานการกรองสะสมบนผิวด้านในของเมมเบรน ผู้วิจัยได้เก็บผลและบันทึกค่าเป็นทุก ๆ 15 นาทีเพื่อสังเกตแนวโน้มของอัตราเร็วการซึมผ่านให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากภาพที่ 8 ที่แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของน้ำส้มตัวอย่าง (มิลลิเมตรต่อวินาที) กับเวลา (นาที) ซึ่งใน 1 ชั่วโมงแรกได้ทำการกรองในลักษณะเดียวกับการทดลองที่ได้ทำข้างต้น และได้ลดความดันในการกรองเป็นระยะเวลา 5 นาทีโดยเปิดวาล์วด้านขาออกของห้องกรองให้สุด ดังนั้นอัตราเร็วการซึมผ่านในขณะนี้จะลดลงเป็น 0 แต่ในขณะนี้ อัตราการไหลผ่านกระแสน้ำไหลผ่านขวาง (cross flow velocity) จะสูงทำให้ตะกอนหรือขึ้นความต้านทานการกรองถูกพัดพาออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่นตลอดเวลาที่ลดความดันหรือพักการกรองนี้ ทำให้ความต้านทานในการกรองลดลง ซึ่งคาดได้ว่าเมื่อกลับมาทำการกรองอีกครั้ง อัตราเร็วการซึมผ่านจะกลับมาคืนมาสู่อัตราเร็วการซึมผ่านที่สูงขึ้นกว่า อัตราเร็วการซึมผ่านก่อนการพักการกรอง จากภาพที่ 9 จะเห็นได้อย่างชัดเจนในการกรองช่วงแรก (0 ถึง 60 นาที) พบว่า อัตราเร็วการซึมผ่านจะลดลงในลักษณะเดียวกับที่ได้ในหัวข้อที่ 4.2.1 แต่เมื่อพักการกรอง 60 ถึง 65 เป็นระยะเวลา 5 นาที เพื่อทำการกำจัดขึ้นความต้านทานการกรองที่เกาะอยู่บนผิวเมมเบรน และกลับมากรองใหม่ พบว่า อัตราเร็วการซึมผ่านจะกลับมามีค่าสูงขึ้น ดังที่สามารถสังเกตได้ ณ นาทีที่ 65 ถึง 80 คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับ อัตราเร็วการซึมผ่านสุดท้ายก่อนการกำจัดขึ้นความต้านทานการกรองบนผิวเมมเบรน และเมื่อขึ้นความต้านทานการกรองเกิดขึ้น อัตราเร็วการซึมผ่านก็จะลดลง ดังนั้นถ้านำเทคนิคนี้มาใช้ในระหว่างการกรองก็จะสามารถเพิ่ม อัตราเร็วการซึมผ่านเฉลี่ยตลอดกระบวนการกรองได้ แต่อย่างไรก็ตามช่วงระยะเวลาที่ปล่อยให้การกรองดำเนินและช่วงระยะเวลาในการลดความดัน (สัดส่วนที่เหมาะสมของช่วงกรองและช่วงกำจัดขึ้นกรอง) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกรองที่สุคนั้นควรที่จะได้ศึกษาต่อไป



ภาพที่ 8: แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการซึมผ่านของฟิลเตอร์ของน้ำส้มตัวอย่าง (มิลลิเมตรต่อวินาที) กับเวลา (นาที)

#### 4.4.2 ร้อยละ Passage และร้อยละ Rejection จากการกรองน้ำส้มตัวอย่างเมื่อกำจัดชั้นความต้านทานการกรองบนผิวหน้าเมมเบรน

ในส่วนของคุณค่า %Passage และ %Rejection การกำจัดชั้นความต้านทานการกรองบนผิวเมมเบรนไม่ส่งผลต่อค่าค่า %Passage และ %Rejection ที่ได้ดังที่แสดงในตารางที่ 9 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรท และรีเทนเทท เมื่อกำจัดชั้นความต้านทานการกรองบนผิวหน้าเมมเบรนพบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ของรีเทนเททมีค่าเพิ่มขึ้น คาดว่าน้ำส้มตัวอย่างที่ได้หลังการกรองมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจริง เมื่อเทียบกับน้ำส้มตัวอย่างก่อนการกรอง แต่ในช่วงแรกของการทดลอง ค่า TSS มีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเป็นเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.2

เมื่อนำมาคำนวณค่า %Passage และ %Rejection จะเห็นว่า %Rejection มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 และสอดคล้องกับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองในหัวข้อที่ 4.1 และสามารถยืนยันได้ว่าเมมเบรนยังคงมีประสิทธิภาพการใช้งานได้จริง

ตารางที่ 9: แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรท และรีเทนเทท เมื่อกำจัดชั้นความต้านทานการกรองบนผิวหน้าเมมเบรน

เวลา (min)	ค่าปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ของ	ค่าปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ของ	ร้อยละ	ร้อยละ
	รีเทนเทท (°Brix)	ฟิลเตรท (°Brix)	Passage (%)	Rejection (%)
0	11.3	0.0	0.00	100.00
15	10.5	0.5	4.39	95.61
30	10.5	0.3	2.63	97.37
45	10.5	0.2	1.97	98.03
60	10.5	0.2	1.97	98.03
75	10.5	0.2	1.75	98.25
90	10.5	0.2	1.75	98.25
105	10.6	0.2	1.33	98.67
120	10.7	0.2	1.33	98.67
135	10.7	0.1	0.88	99.12
150	10.9	0.1	0.88	99.12
165	10.9	0.1	0.88	99.12
180	11.0	0.1	0.88	99.12

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การประเมินความเป็นไปได้ที่ใช้เครื่องกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ ด้วยเมมเบรนชนิดทอกลวง รูปแบบการกรองเป็นแบบไหลขวางที่มีอัตราเร็วไหลผ่านขวางผิวหน้าเมมเบรนเป็น 1.6 เมตรต่อวินาที และให้ความดันในการกรองเป็น 2.5 เมกะปาสคาล พบว่าสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำส้มตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการกรองหรืออัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตอร์ทดลองอันเนื่องมาจากชั้นความต้านทานการกรองที่ก่อตัวขึ้น การใช้กำจัดชั้นความเข้มข้นโดยลดความดันในการกรองลงและปรับอัตราการไหลผ่านขวางผิวหน้าเมมเบรนของน้ำส้มตัวอย่างให้สูงขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ สามารถเพิ่มอัตราเร็วการซึมผ่านได้อย่างเห็นได้ชัด นอกจากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ สามารถยืนยันได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป รีเทนเทมมีความเข้มข้นสูงขึ้น อีกทั้งค่าร้อยละ Rejection มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 90

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการตรวจคุณลักษณะทางโภชนาการ และจุลชีววิทยา รวมถึงการศึกษาเรื่องอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกรองด้วยเครื่องกรองที่จัดสร้างขึ้น อีกทั้งหากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจริง ควรมีขั้นตอนการทำเข้มข้นในระบบปิดหรือปลอดเชื้อ และสามารถควบคุมอุณหภูมิการกรองด้วยการหล่อเย็นที่มีคุณภาพมากขึ้นเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลง หรือสูญหายไปของคุณสมบัติทางเคมีอันเนื่องมาจากความร้อน ควรเพิ่มจำนวนเมมเบรนและใช้เมมเบรนขนาดใหญ่ขึ้น รวมถึงออกแบบห้องกรองใหม่ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการกรองและลดเวลาในการกรอง และการกำจัดชั้นความต้านทานการกรองในระหว่างกระบวนการทำออสโมซิสแบบย้อนกลับควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของช่วงกรองและช่วงกำจัดชั้นกรองที่จะทำให้ได้ประสิทธิภาพการกรองที่สูงสุด

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- กิตติพัฒน์ ไสภิตธรรมคุณ และปานทิพย์ รัตนศิลป์กัลชาญ. (2560). การสกัดและวิธีวัดความสามารถการต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร Extraction and determination of antioxidant activity in herbal plant. วารสารวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 3: 86-94
- การกรองด้วยกระบวนการเมมเบรน (ม.ป.ป.). ค้นเมื่อ 14 กันยายน 2563. จาก [http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2941/8/270056\\_ch1.pdf](http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2941/8/270056_ch1.pdf)
- นงนุช เมธิยนต์พิริยะ. (2546). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในน้ำส้ม 100% เมื่อเก็บในขวดแก้วใสและขวดสีชา. เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรง. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- นุจรินทร์ ศิริวาลย์. (ม.ป.ป.). การหาปริมาณธาตุอาหารบางชนิดในผักพื้นบ้าน จังหวัดสกลนคร. ค้นเมื่อ 8 เมษายน 2563. จาก <http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/data51/KC4605082.pdf>
- นฤมล วชิรปัทมา, ทิตติธิดา ศรีภุมมา, และสุทธีณี ไมตรีสรสันต์. (2554). การหาปริมาณโพแทสเซียมแคลเซียมแมกนีเซียม และคลอไรด์ในน้ำมะพร้าวด้วยเทคนิค Capillary Electrophoresis. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 19(4): 54-60
- เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. (2557). การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในเครื่องดื่มน้ำผลไม้ Determination of Phenolic Compounds and Antioxidant Potential in Fruit Beverages. KRU Res J (GS). 14(4): 69-79
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2554). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. ประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 1660: 1-6
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2550). ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 3435: 1-7
- อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. (2545). การทำน้ำส้มให้ใสโดยวิธีทางเคมีและชีวเคมี. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 12(3): 57-64

### ภาษาอังกฤษ

- Aneja, K.R., Dhiman, R., Aggarwal, N.K., Kumar, V., and Kaur, M. (2014). Microbes Associated with Freshly Prepared Juices of Citrus and Carrots. International Journal of Food Science. 2014: 1-7. Article ID 408085. From <https://doi.org/10.1155/2014/408085>



- Degradation of vitamins, probiotics and other active ingredients caused by exposure to heat, water and sunlight.* (2018). Retrieved September 13, 2020. From [https://www.nutraceuticalbusinessreview.com/news/article\\_page/Degradation\\_of\\_vitamins\\_probiotics\\_and\\_other\\_active\\_ingredients\\_caused\\_by\\_exposure\\_to\\_heat\\_water\\_and\\_sunlight/145924](https://www.nutraceuticalbusinessreview.com/news/article_page/Degradation_of_vitamins_probiotics_and_other_active_ingredients_caused_by_exposure_to_heat_water_and_sunlight/145924)
- Fravel, H.G., and Lindsey, K. (2014). Understanding Salt Passage Vs. Salt Rejection In Reverse Osmosis Systems. American Membrane Technology Association. Retrieved February 2, 2021. From <https://www.amtaorg.com/understanding-salt-passage-vs-salt-rejection-in-reverse-osmosis-systems>
- Jamil, L.A., and Rahim, S.A. (2018). Spectrophotometric Determination of Calcium with 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol Sensitized By Tween 80 Application to Various Samples. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 454: 1-10
- Madaeni, S.S., and Zereshki, S. (2010). Energy consumption for sugar manufacturing. Part I: Evaporation versus reverse osmosis. *Energy Conversion and Management*. 55-6: 1270-1276
- M.A.Al-Obaidi, C. Kara-Zaitri, I.M. Mujtaba. (2017). Optimum design of a multi-stage reverse osmosis process for the production of highly concentrated apple juice. *Journal of Food Engineering*. 214: 47-59
- Shravan, R., Shere, DM., and Joshi Monali, M. (2018). Study of physico-chemical characteristics of sweet orange (*Citrus sinensis*) fruit. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(6): 1687-1689.
- Tetrapak®. (2020). Orange book. Retrieved February 2, 2021. From <https://orangebook.tetrapak.com/chapter/orange-juice-quality-and-categories>
- ZHANG, H., YANG, Y., and ZHOU, Z. (2018). Phenolic and flavonoid contents of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit tissues and their antioxidant capacity as evaluated by DPPH and ABTS methods. *Journal of Integrative Agriculture*. 17(1): 256-263.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์

#### ภาคผนวก ก.1 วิธีใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

1. เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เลือกแหล่งกำเนิดแสง และกำหนดความยาวคลื่นแสงที่ต้องการ โดยควรเปิดเครื่องก่อนการใช้งานไม่น้อยกว่า 15 นาที
2. เลือก cuvette ให้เหมาะสมกับสารตัวอย่าง ใส่สารตัวอย่างใน cuvette เช็ดด้านข้างของ cuvette ให้แห้งสะอาด
3. วาง cuvette ในช่องสำหรับใส่ในเครื่อง ปิดฝาเครื่อง และอ่านค่าการดูดกลืนแสงจากจอแสดงผล ในกรณีที่เป็นเครื่องแบบ double beam จะใช้ cuvette 2 อัน คือ blank และสารตัวอย่าง เครื่องจะทำการหักลบค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างและ blank ให้ อ่านผลได้จากจอแสดงผล
4. หลังจากการใช้งาน ทำความสะอาดเครื่อง ล้าง cuvette ให้สะอาด ปิดเครื่อง

#### ภาคผนวก ก.2 วิธีใช้รีแฟรกโตมิเตอร์แบบพกพา (Hand Refractometer)

1. ก่อนจะเริ่มใช้งานทุกครั้งต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) โดยหยดน้ำกลั่นลงบนแผ่นปริซึม อ่านสเกลดูสีที่ตัดกันให้อยู่ในตำแหน่ง 0 ถ้าไม่ได้ให้ใช้ไขควงปรับให้ตรงอย่าหมุนไขควงแรงจนเกินไป เพราะอาจทำให้ตัวเครื่องเสียหายได้ จากนั้นซับน้ำกลั่นออกด้วยทิชชู
2. เริ่มวัดโดยหยดสารตัวอย่าง 1 หรือ 2 หยด ลงบนแผ่นปริซึม



3. ปิดแผ่นกันแสงลงเบา ๆ โดยพยายามไม่ให้มีฟองอากาศ

4. อ่านสเกลที่ได้ผ่านทางเลนส์ตา (Eyepiece)
5. ทำความสะอาดแผ่นปริซึมด้วยกระดาษทิชชูชุบน้ำและซับให้แห้งอีกรอบหนึ่ง

#### ภาคผนวก ก.3 วิธีใช้พีเอชมิเตอร์ (pH meter)

1. ก่อนนำอิเล็กโทรด (Electrode) มาใช้งานควรล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นจากนั้นซับให้แห้งด้วยทิชชู
2. เปิดเครื่องพีเอชมิเตอร์
3. ก่อนทำการใช้พีเอชมิเตอร์ควรทำการสอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 2 จุดขึ้นไป ขึ้นอยู่กับช่วงที่เราทำการวัดและโปรแกรมในเครื่อง โดยปกติจะเลือกช่วงของสารละลายบัฟเฟอร์ให้ครอบคลุมค่าที่ทำการวัด เช่น ช่วงความเป็นกรดระหว่าง pH 4 ถึง 7 หรือช่วง pH 7 ถึง 10 เป็นต้น
4. ทำการวัดค่า pH ของตัวอย่าง และจดบันทึกค่าที่ได้ หลังจากเปลี่ยนตัวอย่างให้ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นและซับอิเล็กโทรดให้แห้งก่อนที่จะทำการวัดตัวอย่างถัดไป
5. หลังจากใช้งานเสร็จ ให้ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วปิดด้วยจุกที่มีสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

#### ภาคผนวก ก.4 วิธีการใช้มัลติมิเตอร์ (Analog multimeter)

1. เลือกตำแหน่งที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้า และตรวจสอบทิศทางกระแสไฟฟ้า
2. เสียบสายวัดมิเตอร์สีดำที่ขั้วลบ (-COM) และสายวัดสีแดงที่ขั้วบวก (+) เข้ากับมัลติมิเตอร์
3. ตั้งช่วงการวัดที่เหมาะสม ในกรณีที่ทราบค่ากระแสในวงจร ควรตั้งช่วงการวัดให้สูงกว่าค่ากระแสที่ทราบ แต่ในกรณีที่ไม่ทราบค่ากระแสในวงจร ควรตั้งช่วงการวัดที่สูง ๆ (0-0.25A) ไว้ก่อน แล้วค่อยปรับช่วงการวัดใหม่ ก่อนปรับช่วงการวัดใหม่ต้องเอาสายวัดออกจากวงจรทุกครั้ง และต้องแน่ใจว่าค่าที่จะวัดได้นั้นมีค่าไม่เกินช่วงการวัดที่ปรับตั้งใหม่
4. นำสายวัดมิเตอร์ไปต่อแทรกหรือต่อแบบอนุกรม โดยใช้หัววัดตะบิบริเวณที่ต้องการวัด และต้องให้กระแส ไฟฟ้าไหลเข้าทางขั้วบวกของมัลติมิเตอร์ หากเข็มวัดตีเกินสเกลต้องรีบเอาสายวัดมิเตอร์ออกจากวงจรทันที แล้วเลือกช่วงการวัดที่สูงขึ้นจากนั้นทำการวัดค่าใหม่
5. อ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ซึ่งการอ่านต้องสัมพันธ์กับช่วงที่ตั้งไว้

## ภาคผนวก ข

### วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

ภาคผนวก ข.1 การวิเคราะห์สารที่ให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. ขวดปรับปริมาตร
4. Cuvette
5. ปีกเกอร์
6. ไมโครปิเปตต์ 1 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร

#### สารเคมี

1. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox)
2. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
3. Methanol (CH<sub>3</sub>OH)
4. Trolox

#### วิธีการเตรียมสารละลาย DPPH

1. เตรียม stock solution โดยชั่ง DPPH มา 0.024 กรัม ละลายในเมทานอล 50 มิลลิลิตร แล้วนำไป vortex ให้ของแข็งสีม่วงละลาย แล้วเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วย เมทานอลจนถึง 100 มิลลิลิตร แล้วทำการ vortex เพื่อให้แน่ใจว่าละลายหมด จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของ DPPH เท่ากับ  $6 \times 10^{-5}$  M ห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วเก็บสารละลาย DPPH ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 5 วัน
2. เตรียม daily solution โดยปิเปตสารละลาย DPPH จากข้อ 1 มาเจือจางด้วยเมทานอล เพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ 1.1 (แนะนำอัตราส่วนโดยประมาณของ สารละลาย DPPH : เมทานอล =

10 : 15) และเมื่อเจือจางแล้วต้องมีปริมาตร 70 มิลลิลิตรขึ้นไป โดยคนให้สารละลายเข้ากันให้ดีก่อน วัดค่าการดูดกลืนแสง (ค่าการดูดกลืนแสง: daily solution ( $A_{\text{initial}}$ ) ควรมีค่าประมาณ 1.1 หากค่าการดูดกลืนแสงมากหรือน้อยกว่า 1.1 ให้เติมเมทานอลหรือสารละลาย DPPH จากข้อ 1 ตามลำดับ เพื่อปรับค่า  $A_{\text{initial}}$ )

### วิธีการวิเคราะห์

1. เติมสารละลาย daily solution ปริมาณ 4.75 มิลลิลิตร โดยใช้ไมโครปิเปตต์ 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำส้ม ปริมาตร 250 ไมโครลิตรที่เตรียมใส่หลอดทดลองไว้แล้ว (ทดลอง 2 ซ้ำ) เขย่าให้เข้ากัน เก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที สีจากการทำปฏิกิริยาจะอ่อนลง เกิดจากการลดลงของความเข้มข้นของ DPPH โดยให้เริ่มจับเวลา 15 นาที เมื่อเติมหลอดที่ 1 เสร็จ แล้วเติมหลอดต่อไปให้ความเร็วพอกัน ๆ จนครบ 14 หลอด
2. เมื่อครบ 15 นาทีนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยเครื่อง Spectrophotometer (ใช้เมทานอลเป็นตัวอย่างอ้างอิง) โดยเริ่มวัดจากหลอดที่ 1 ให้ความเร็วพอก ๆ กับการเติมสารในข้อ 2 ทดลอง ใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งรายงานค่าเป็น  $\mu\text{mol TE/L}$  จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{\text{DPPH}} - A_{\text{สารตัวอย่าง}}) / (A_{\text{DPPH}} - A_{\text{สารอ้างอิง}})] \times 100$$

### วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox

1. ชั่ง Trolox มา 25 มิลลิกรัม ละลายในเมทานอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10000 ไมโครโมลาร์
2. นำสารละลาย Trolox ความเข้มข้น 10000 ไมโครโมลาร์มาเจือจาง ดังแสดงในตารางที่ ข.1 ในการสร้างกราฟมาตรฐานจะใช้สารละลายมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้น 82-417 ไมโครโมลาร์

### ตารางที่ ข.1.1 วิธีเตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox

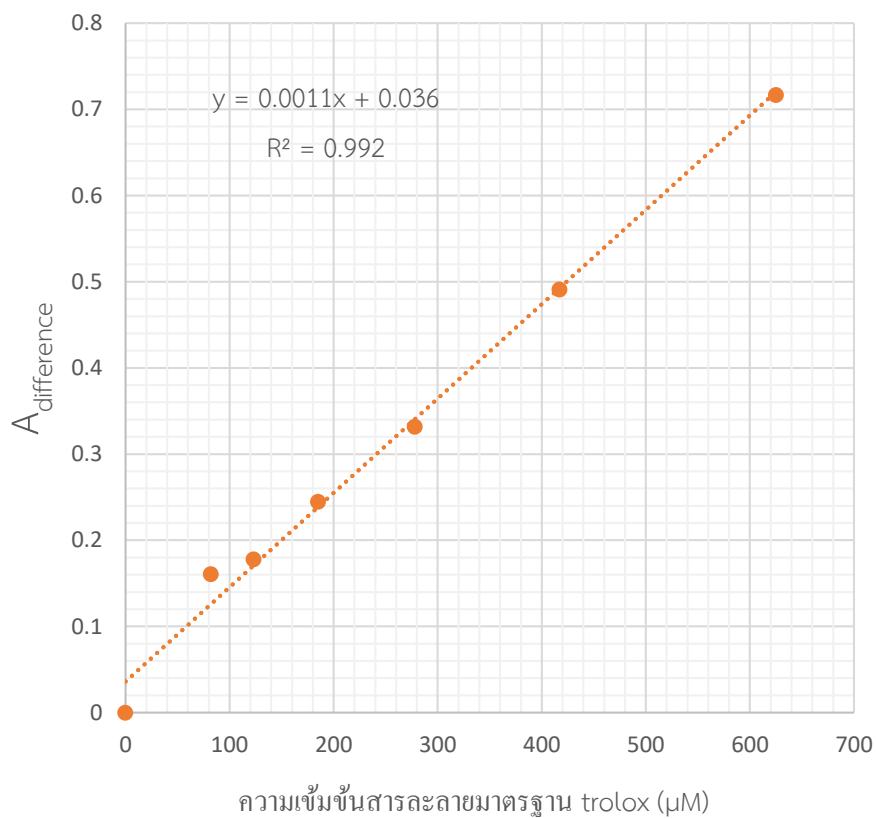
ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $\mu\text{M}$ )	ปริมาตร Trolox (mL)	ปริมาตรเมทานอล (mL)	ความเข้มข้นสุดท้าย ( $\mu\text{M}$ )
10000	5	5	5000
5000	5	5	2500
2500	5	5	1250
1250	5	5	625
625	4	2	417
417	4	2	278
278	4	2	185
185	4	2	123
123	4	2	82

### วิธีวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตตัวอย่าง (ในการสร้างกราฟมาตรฐานจะใช้ Trolox แทนตัวอย่าง) มา 20 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH 950 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นแสง 515 นาโนเมตร ใช้เมทานอลเป็นตัวอย่างอ้างอิง (เพื่อปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0)
3. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ( $A_{\text{initial}}$  ควรมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 1.1) จะนำมาหักลบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง ( $A_{\text{final}}$  ควรมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.6-0.7) ได้เป็นผลต่างของค่าการดูดกลืนแสง ( $A_{\text{difference}}$ )

$$A_{\text{difference}} = A_{\text{initial}} - A_{\text{final}}$$

4. นำ  $A_{\text{difference}}$  ได้จากตัวอย่างไปคำนวณหาค่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยเทียบกับ  $A_{\text{difference}}$  ของกราฟมาตรฐานของ Trolox รายงานค่าเป็น  $\mu\text{mol TE/L}$



ภาพ ข.1.1 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox (µM) สัมพันธ์กับผลต่างค่าการดูดกลืนแสง (A<sub>difference</sub>) ของสารละลายมาตรฐาน Trolox

ภาคผนวก ข.2 การวิเคราะห์สารที่ให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี Ferric reducing ability power (FRAP)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. ขวดกำหนดปริมาตร
4. Cuvette
5. ปีกเกอร์
6. ไมโครปิเปตต์ 1 มิลลิลิตร

### สารเคมี

1. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox)



2. Acetate buffer
3. Ferric Chloride ( $\text{FeCl}_3$ )
4. 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ)
5. Trolox

### วิธีการเตรียมสารละลาย FRAP

1. เตรียม Acetate Buffer โดยชั่ง Sodium Acetatetrihydrate 0.3 กรัม ละลายใน Glacial Acetic Acid 1.6 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียม  $\text{FeCl}_3$  โดย ชั่ง  $\text{FeCl}_3$  มา 0.54 กรัม ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น
3. เตรียม TPTZ โดยชั่ง TPTZ 0.0312 กรัม ผสมกับ 0.04M HCl ปริมาตร 188 มิลลิลิตร
4. ผสมสารละลาย FRAP (Acetate buffer 50 มิลลิลิตร +  $\text{FeCl}_3$  5 มิลลิลิตร + TPTZ 5 มิลลิลิตร) ในบีกเกอร์ เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปแช่ใน water bath อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 10 นาที โดยให้ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์

### วิธีการวิเคราะห์

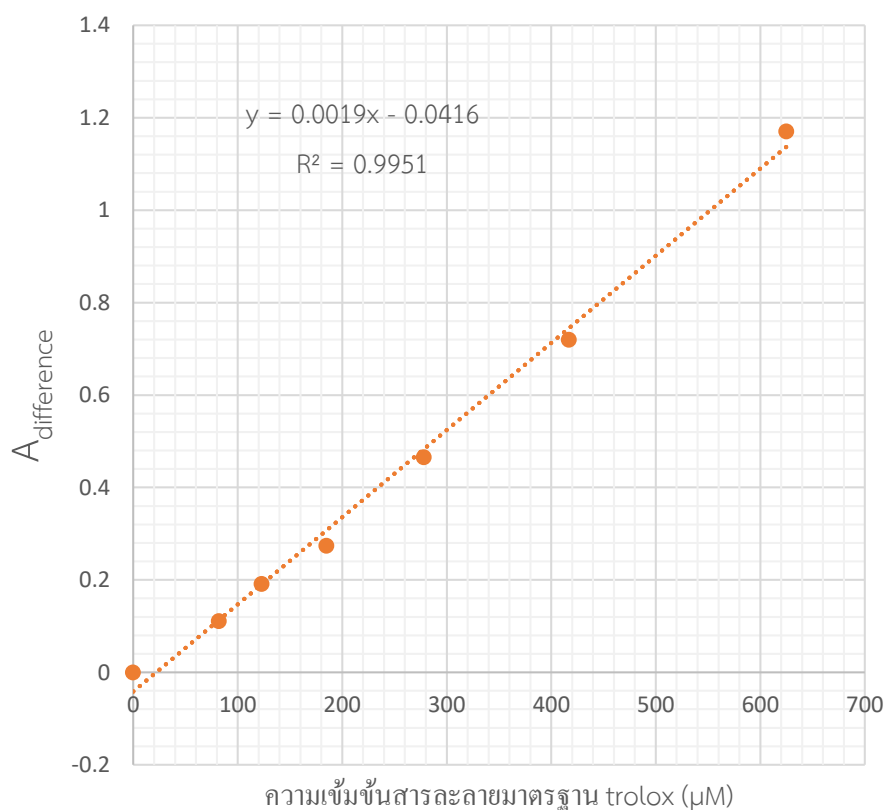
1. เมื่อครบเวลา นำสารละลาย FRAP ออกจาก water bath แล้วปิเปตสารละลาย FRAP ปริมาตร 2.85 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำส้มปริมาตร 150 ไมโครลิตร ที่เตรียมใส่หลอดทดลองไว้แล้ว (ทดลอง 2 ซ้ำ) เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลาย เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 นาที ให้เริ่มจับเวลา 4 นาที หลังจากเติมหลอดที่หนึ่งเสร็จ แล้วเติมหลอดต่อไปโดยให้เว้นระยะเวลาการเติมให้พอดีกัน จนครบทุกหลอด
2. เมื่อครบเวลา 4 นาที ให้เริ่มวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวอย่างอ้างอิง) จากหลอดที่ 1 โดยกะเวลาให้พอดีกับการใส่ตัวอย่าง กล่าวคือ ทุกหลอดทดลองต้องรอจนครบ 4 นาทีแล้ววัดค่า ห้ามเกินเวลาหรือขาดไป แล้วบันทึกผล นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างโดยอาศัยการคำนวณจากสมการมาตรฐาน Trolox

### วิธีวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตตัวอย่าง (ในการสร้างกราฟมาตรฐานจะใช้ Trolox แทนตัวอย่าง) มา 50 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP 950 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นแสง 593 นาโนเมตร ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวอย่างอ้างอิง (เพื่อปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เท่ากับ 0)
3. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ( $A_{\text{initial}}$  ควรมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 1.1) จะนำมาหักลบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่าง ( $A_{\text{final}}$  ควรมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.6-0.7) ได้เป็นผลต่างของค่าการดูดกลืนแสง ( $A_{\text{difference}}$ )

$$A_{\text{difference}} = A_{\text{initial}} - A_{\text{final}}$$

4. นำ  $A_{\text{difference}}$  ได้จากตัวอย่างไปคำนวณหาค่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยเทียบกับ  $A_{\text{difference}}$  ของกราฟมาตรฐานของ Trolox รายงานค่าเป็น  $\mu\text{mol TE/L}$



ภาพ ข.2.1 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Trolox ( $\mu\text{M}$ ) สัมพันธ์กับผลต่างค่าการดูดกลืนแสง ( $A_{\text{difference}}$ ) ของสารละลายมาตรฐาน Trolox

ภาคผนวก ข.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

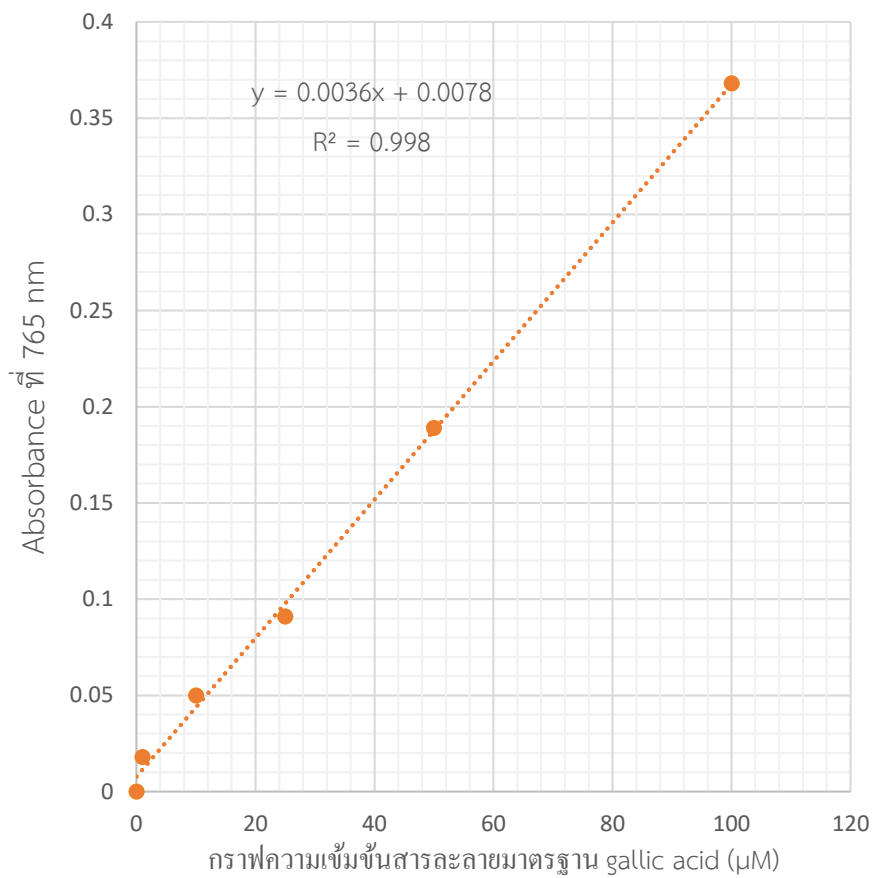
1. เครื่อง UV-visible spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. ขวดกำหนดปริมาตร
4. Cuvette
5. Beaker
6. auto pipette 1 mL

### สารเคมี

1. Folin-Ciocalteu reagent
2. 10% Sodium Carbonate
3. Gallic acid

### วิธีการวิเคราะห์

1. เติม Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่เตรียมตัวอย่างน้ำส้มไว้แล้ว 0.5 มิลลิลิตร (ทดลอง 2 ซ้ำ) แล้ว vortex ทุกหลอด แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
2. หลังจากครบเวลา 5 นาที เติม 10% Sodium Carbonate ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ทำการ vortex ทุกหลอด แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที จากนั้นทำการ set blank เครื่อง Spectrophotometer ด้วยน้ำกลั่น
3. เมื่อครบเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากหลอดที่ 1 โดยกะเวลาให้พอดีกับการใส่ 10% Sodium Carbonate นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยอาศัยการคำนวณจากสมการมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) รายงานค่าเป็น  $\mu\text{mol GA/L}$



ภาพ ข.3.1 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Gallic acid (µM) สัมพันธ์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้ม  
ตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 before - after	.01250	.01258	.00629	-.00752	.03252	1.987	3	.141

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการเปรียบเทียบค่าการยอมให้แสงส่องผ่านของ  
น้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 before - after	1.82500	.67020	.33510	.75856	2.89144	5.446	3	.012

**ตารางที่ ค.3** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำส้มตัวอย่างก่อน และหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

**Paired Samples Test**

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair before - 1 after	-.82500	.56199	.28100	-1.71925	.06925	-2.936	3	.061

**ตารางที่ ค.4** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

**Paired Samples Test**

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair before 1 - after	498.18000	12.85520	9.09000	382.68060	613.67940	54.805	1	.012

ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณสารที่มีฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair before 1 - after	830.26500	65.13161	46.05500	245.08074	1415.44926	18.028	1	.035

ตารางที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำส้มตัวอย่างก่อนและหลังกรองด้วยวิธีออสโมซิสแบบย้อนกลับ

#### Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair before 1 - after	156.94500	16.89278	11.94500	5.16938	308.72062	13.139	1	.048

## ภาคผนวก ง

## อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทของน้ำส้มตัวอย่าง

ตารางที่ ง แสดงปริมาณของฟิลเตรทที่ได้ของน้ำส้มตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที

เวลา (min)	ปริมาณของ ฟิลเตรทที่ได้ (mL)	ปริมาณของฟิลเตรท โดยรวม (mL)	อัตราเร็วการซึมผ่าน ของฟิลเตรทเฉลี่ย (mL/min)	อัตราเร็วการซึมผ่านของ ฟิลเตรทเฉลี่ยในช่วง 30 นาที (mL/min)
0	0.0	0.0	-	-
30	29.0	29.0	0.97	0.97
60	26.0	55.0	0.92	0.87
90	26.0	81.0	0.90	0.87
120	25.0	106.0	0.88	0.83
150	21.0	127.0	0.85	0.70
180	17.0	144.0	0.80	0.57

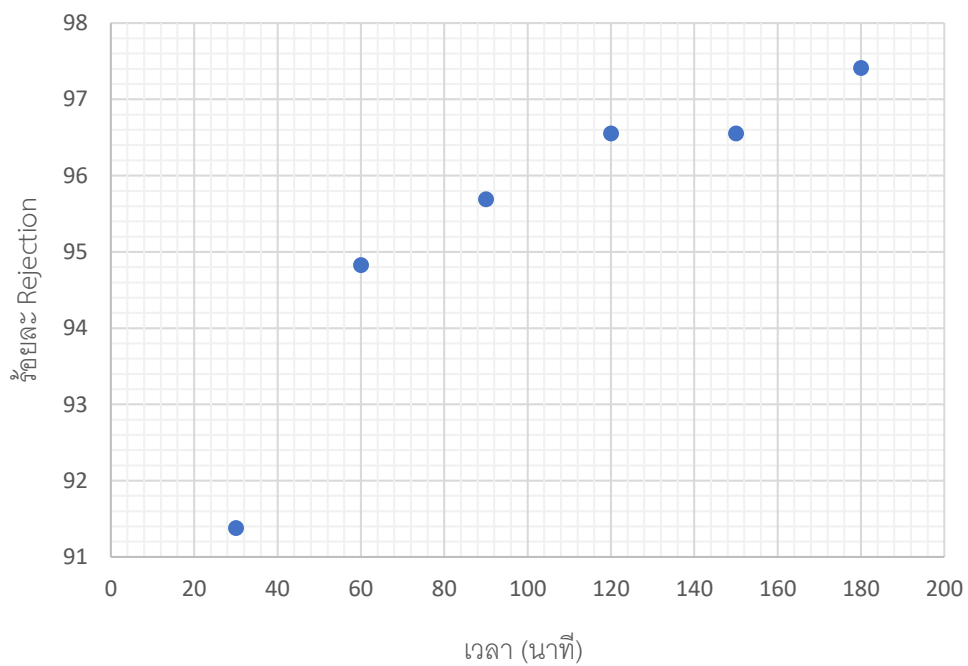
หมายเหตุ สัมพันธ์กับภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทเฉลี่ย (มิลลิลิตรต่อ นาที) ของน้ำส้มตัวอย่างกับเวลา (นาที)



## ภาคผนวก จ

## ความสัมพันธ์ของร้อยละ Rejection กับเวลาของน้ำส้มตัวอย่าง

ภาพที่ จ แสดงความสัมพันธ์ของร้อยละ Rejection กับเวลา (นาที)



หมายเหตุ สัมพันธ์กับตารางที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของฟิลเตรทและรีเทนเทท

## ภาคผนวก ฉ

## ปริมาณของฟิลเตรทที่ได้ของน้ำส้มตัวอย่าง

ตารางที่ ฉ แสดงปริมาณของฟิลเตรทที่ได้ของน้ำส้มตัวอย่างทุก ๆ 15 นาที

เวลา (min)	ปริมาณของ ฟิลเตรทที่ได้ (mL)	ปริมาณของ ฟิลเตรทโดยรวม (mL)	อัตราเร็วการซึมผ่าน ของฟิลเตรทเฉลี่ย (mL/min)	อัตราเร็วการซึมผ่าน ของฟิลเตรทเฉลี่ย ในช่วง 15 นาที (mL/min)
0	0.0	0.0	-	-
15	12.1	12.1	0.807	0.81
30	11.5	23.6	0.787	0.77
45	10.3	33.9	0.752	0.68
60	8.9	42.7	0.712	0.59
75	13.8	56.5	0.753	0.92
90	12.9	69.3	0.770	0.86
105	12.0	81.3	0.774	0.80
120	11.4	92.7	0.772	0.76
135	10.7	103.3	0.765	0.71
150	10.3	113.6	0.757	0.69
165	9.7	123.3	0.747	0.65
180	9.3	132.6	0.737	0.62

หมายเหตุ สัมพันธ์กับภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราเร็วการซึมผ่านของฟิลเตรทในช่วง 15 นาที (มิลลิลิตรต่อนาที) ของน้ำส้มตัวอย่างกับเวลา (นาที)

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นาย ชนกร ศิริอังคณา  
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ  
 วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)  
 ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร  
 คณะ วิทยาศาสตร์  
 มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563  
 โทรศัพท์ 091-040-0929  
 Email tanakornsiri.bbts@gmail.com



ชื่อ-สกุล นางสาว ณัฐกานต์ หทัยเปี่ยมสุข  
 ตำแหน่ง ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย  
 วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)  
 ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร  
 คณะ วิทยาศาสตร์  
 มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563  
 โทรศัพท์ 081-300-9308  
 Email poommy.hatai@gmail.com



ชื่อ-สกุล	นางสาว ศุภิสรา ประสิทธิ์ไศภิน
ตำแหน่ง	ผู้ร่วมดำเนินการวิจัย
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	088-598-9264
Email	supissara@gmail.com

