

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

#### วัสดุ

##### 1. วัสดุดิบ

- ผลฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง

##### 2. สารเคมี

- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี (AR Grade) (รายละเอียดภาคผนวก ก)
- แอลกอฮอล์

#### อุปกรณ์

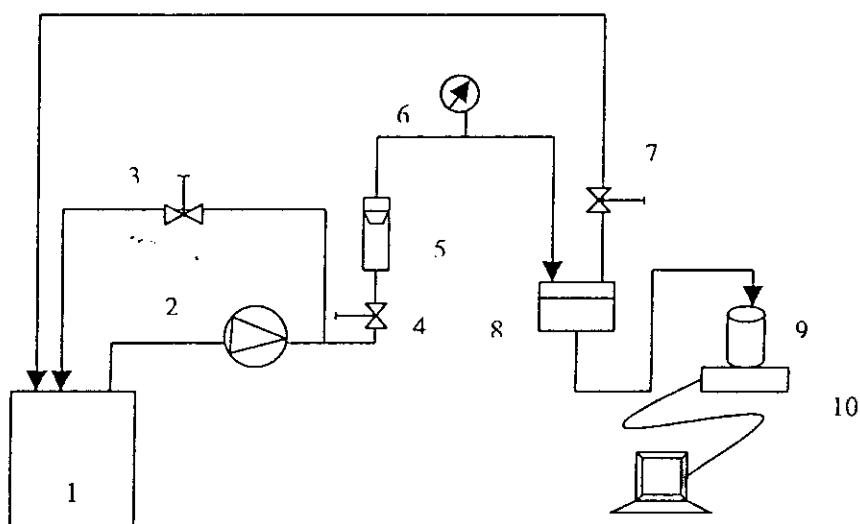
##### 1. อุปกรณ์ทั่วไป

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| - เครื่องมือวัดความชื้น      | บริษัทผู้ผลิต Palintest รุ่น 6035      |
| - เครื่องวัดความหวาน         | บริษัทผู้ผลิต ATAGO รุ่น 3T            |
| - เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง | บริษัทผู้ผลิต ORION รุ่น 420A          |
| - ตู้อบ                      | บริษัทผู้ผลิต EYELA รุ่น NDO - 600N    |
| - เครื่องสกัดน้ำผลไม้        | บริษัทผู้ผลิต Turbora รุ่น TRK 40T     |
| - เครื่องชั่งละเอียด         | บริษัทผู้ผลิต METTLER รุ่น PG 5002 - S |

##### 2. อุปกรณ์อัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน

เป็นระบบอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน ซึ่งใช้เมมเบรนสังเคราะห์แบบแผ่นและแบบท่อ โดยสารละลายจะถูกป้อนเข้าทางด้านสารป้อน และไหลผ่านผิวหน้าเมมเบรน แผนผังการจัดอุปกรณ์แสดงดังภาพประกอบ 2.1 มีลักษณะการทำงานดังนี้คือ

ปั๊ม (2) จะดูดสารละลายจากถังป้อน (1) ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลสารละลายป้อน (5) และเกจวัดความดัน (6) เข้าสู่หน่วยของเมมเบรนสังเคราะห์ (8) รีเทนททจะไหลผ่าน วาล์วควบคุมความดัน (6) กลับสู่ถังป้อน เพมิเอทที่ผ่านเมมเบรนจะไหลเข้าสู่บีกเกอร์ (9) และชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งละเอียด METTLER TOLEDO (10) และบันทึกผลโดย โปรแกรม METTLER TOLEDO ในการปรับความดันและอัตราการไหลสารละลายป้อน ของสารละลาย สามารถทำได้โดยปรับวาล์วควบคุมความดัน (3, 4 และ 7) และปรับ ความเร็วของปั๊มพร้อมๆ กัน



ภาพประกอบ 2.1 ระบบอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน

### 3. เมมเบรนสังเคราะห์

3.1 เมมเบรนสำหรับกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ดังตาราง 2.1 เป็นเมมเบรนแบบแผ่น ชนิดโพลีซัลโฟน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร พื้นที่เมมเบรน 13.2 เซนติเมตร<sup>2</sup> สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ 0-80 องศาเซลเซียส ความดัน 0-10 บาร์ และทนความเป็นกรด-ด่าง 1-13

ตาราง 2.1 เมมเบรนสำหรับกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

ชนิด	ขนาดรูพรุน (MWCO)	บริษัทผู้ผลิต
GR 40PP	100,000	DSS Company
GR 15PP	50,000	DSS Company

### 3.2 เมมเบรนสำหรับขบวนการไมโครฟิลเตรชัน รายละเอียดดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 เมมเบรนสำหรับกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

เมมเบรน	ลักษณะ	ขนาดรูพรุน (ไมโครเมตร)	บริษัทผู้ผลิต
เซลลูโลสไนเตรท	แผ่น	0.1	Sartorius, Germany
เซลลูโลสไนเตรท	แผ่น	0.45	Whatman
เซลลูโลสอะซิเตท	แผ่น	0.2	Sartorius, Germany
โพลีไวนิลลิซีน ฟลูออไรด์ (GVHP และ GVWP)	แผ่น	0.22	Millipore
เซรามิกส์	ท่อ	0.3	Envirogard products Limited, Canada

#### หมายเหตุ

เมมเบรนแบบแผ่น เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร

พื้นที่ 15.9 เซนติเมตร<sup>2</sup>

เมมเบรนแบบท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร

พื้นที่ ผิวนอก 361.4 เซนติเมตร<sup>2</sup>

## วิธีการวิจัย

### 1. การเตรียมน้ำฝรั่งและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

นำฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองแก่จัดเกือบสุกมาแยกเอาตำหนิออก ล้าง ปอกเปลือก แยกเมล็ดออก สับเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปสกัดเอาน้ำออกด้วยเครื่องแยกกากและเนื้อ ผสมน้ำกลั่น ร้อยละ 50 โดยปริมาตร หลังจากนั้นนำไปกรองหยาบด้วยผ้าขาวบางและผ้ามีสลิน แล้วกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (ขนาดรูพรุน 11 ไมโครเมตร) บรรจุถึง 10 ลิตร นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดลอง ก่อนการทดลองทุกครั้งทดสอบคุณสมบัติของน้ำฝรั่งที่ใช้เป็นสารละลายป้อนได้ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 คุณสมบัติและวิธีการวิเคราะห์น้ำฝรั่ง

คุณสมบัติ	วิธีการ/เครื่องมือ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
ปริมาณของแข็งที่ละลาย (Dissolve solid:DS)	เครื่องวัดความหวาน
ความขุ่น (Turbidity)	เครื่องวัดความขุ่น
ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity: TA)	วิธีของ AOAC*, 1980
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid: TS)	วิธีของ AOAC*, 1980

\*ย่อมาจาก Association of Official Analytical Chemist.

### 2. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนในน้ำฝรั่งด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนในน้ำฝรั่งด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในระบบการกรองแบบ dead-end

#### 2.1.1 การทดสอบฟลักซ์ของน้ำกลั่นผ่านเมมเบรน

ทำการศึกษาที่ความดัน 50, 100 และ 150 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> โดยใช้เมมเบรนชนิด โพลีซัลโฟน MWCO 100,000 ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส แต่ละความดัน บันทึกน้ำหนักรวมของเพอมีเอททุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที

### 2.1.2 ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่อเพอมีเอทฟลักซ์และรีเจคชัน

ทำศึกษาผลของความดันต่อเพอมีเอทฟลักซ์และรีเจคชัน ของการกรองน้ำฝรั้ง โดยปิดวาล์วด้านรีเทนเทท ไม่ให้มีการไหล ลักษณะการทำงาน ดังภาพประกอบ 2.1 โดยทดลองที่ อุณหภูมิ  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส มีวิธีทดลองคือ เมื่อวัดค่าฟลักซ์น้ำกลั่นแล้ว ไล่น้ำออกจากระบบ บรรจุน้ำฝรั้งลงในถังป้อน เปิดปั้ม ปรับความดัน 50 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> ดำเนินการการกรอง 5 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวคือ เพอมีเอทฟลักซ์คงที่ บันทึก น้ำหนักของเพอมีเอทเพื่อคำนวณหาค่าฟลักซ์ทุกๆ 1 นาที เก็บตัวอย่างเพอมีเอทเมื่อสิ้นสุดกระบวนการไปทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1 ปรับความดันเป็น 100 และ 150 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> ตามลำดับ โดยอุณหภูมิคงที่ บันทึกผลและเก็บตัวอย่าง

2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนในน้ำฝรั้งด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในระบบการกรองแบบการไหลแบบขวาง

ทำการศึกษาที่ความดัน 50, 100 และ 150 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> อัตราการไหลสารละลายป้อน 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, และ 2.0 ลิตร/นาที โดยใช้เมมเบรนชนิดโพลีซัลโฟนในหัวข้อ 3.1 ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส โดยปิดวาล์วด้านรีเทนเททเพื่อให้รีเทนเทท กลับสู่ถังป้อน

#### 2.2.1 ทดสอบฟลักซ์ของน้ำกลั่นผ่านเมมเบรน

ก. จัดอุปกรณ์ ดังภาพประกอบ 2.1 โดยใช้เมมเบรนโพลีซัลโฟน ขนาดรูพรุน MWCO 100,000 เดิม น้ำกลั่นในถังป้อน เติมน้ำกลั่นในถังเครื่อง ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส และ ความดัน 50 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> และอัตราการไหลสารละลายป้อน 1.5 ลิตร/นาที แล้ววัดน้ำหนักของเพอมีเอททุกๆ 1 นาที นาน 5 นาที บันทึกผล จากนั้นเพิ่มอัตราการไหลสารละลายป้อนเป็น 1.6, 1.7, 1.8 และ 2.0 ลิตร/นาที ตามลำดับ โดยควบคุมให้อุณหภูมิคงที่  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส และความดัน 50 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup>

ข. ทำซ้ำข้อ ก. โดยปรับความดันเป็น 100 และ 150 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup>

ค. ทำซ้ำข้อ ก.-ข. โดยเปลี่ยนขนาดรูพรุนของเมมเบรนเป็น MWCO 50,000

### 2.2.2 ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่อเพอมีเอทฟลักซ์และรีเจคชัน

ในการศึกษาผลกระทบของสภาวะการทำงานที่มีต่อเพอมีเอทฟลักซ์และรีเจคชัน ทำการทดลองโดยมีการนำรีเทนเททกลับสู่ถังป้อน ดังภาพประกอบ 2.1 สภาวะการทำงานที่ศึกษา คือ ความดัน 50, 100 และ 150 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> อัตราการไหลสารละลายป้อน 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 และ 2.0 ลิตร/นาที่ และขนาดรูพรุน MWCO 50,000 และ 100,000 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส ใช้น้ำฝรั่งเป็นสารละลายป้อน และทำการทดลองเช่นเดียวกับน้ำกลั่นในข้อ 2.2.1 ทดลองนาน 5 ชั่วโมง 30 นาที บันทึกผลและเก็บตัวอย่าง

### 3. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนในน้ำฝรั่งด้วยกระบวนการไมโครฟิลเตรชันในระบบการกรองแบบการไหลแบบขวาง

ทำการศึกษาที่ความดัน 10, 20, 30, ..., 80 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> ชนิดของเมมเบรนที่ใช้ ได้แก่ โพลีไวนิลิดีนฟลูออไรด์ เซลลูโลสไนเตรท และ เซลลูโลสอะซิเตท ในหัวข้อ 3.2 ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส และ อัตราการไหลสารละลายป้อน 1 ลิตร/นาที่

วิธีการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2 โดยใช้สภาวะการทำงาน คือ ความดันอุณหภูมิให้คงที่  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส และอัตราการไหลสารละลายป้อนคงที่ 1 ลิตร/นาที่ ปรับเปลี่ยนความดันและชนิดของเมมเบรนที่ใช้กรองด้วยการทำซ้ำข้อ 2.2.1 - 2.2.2 จนครบทุกความดันและทุกชนิดของเมมเบรน

### 4. ศึกษาการกำจัดตะกอนในน้ำฝรั่งโดยใช้ Module สำเร็จรูป

ทำการศึกษาที่อัตราการไหลสารละลายป้อน 1.5, 1.6, 1.7, ..., 2.0 ลิตร/นาที่ และความดัน 6, 8, 10, ..., 18 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> ตามลำดับ ที่อุณหภูมิคงที่  $28 \pm 1$  องศาเซลเซียส โดยใช้เมมเบรนชนิดเซรามิกส์แบบท่อ ขนาดรูพรุน 0.3 ไมโครเมตร จัดอุปกรณ์ดังภาพประกอบ 2.1

4.1 วัดฟลักซ์ของเมมเบรนก่อนการใช้งาน ( $J_w$ ) โดยบรรจุน้ำกลั่นลงถังป้อน ปรับความดัน 8 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> อัตราการไหลสารละลายป้อน 1.8 ลิตร/นาที่ บันทึกน้ำหนักรวมของเพอมีเอททุกๆ 1 นาที นาน 5 นาที ไล่น้ำออกจากระบบ

4.2 วัดฟลักซ์ของน้ำฝรั้ง ( $J$ ) บรรจุน้ำฝรั้งลงในถังป้อน ปรับความดัน 8 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> อัตราการไหลสารละลายป้อนคงที่ 1.8 ลิตร/นาที่ บันทึกน้ำหนักของเพอมีเอททุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (นำเพอมีเอทและรีเทนเททกลับเข้าสู่ถังป้อน เพื่อควบคุมความเข้มข้นให้คงที่) ทำการไล่น้ำฝรั้งออกจากระบบและถังป้อน

4.3 ล้างเมมเบรนด้วยน้ำกลั่นที่อัตราการไหลต่ำ ปรับอัตราการไหลสารละลายป้อน 1.2 ลิตร/นาที่ นำรีเทนเททกลับสู่ถังป้อน ล้างนาน 20 นาที ไล่น้ำออกจากระบบล้างซ้ำอีก 2 ครั้ง ล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งโดยไม่นำรีเทนเททและเพอมีเอทกลับสู่ถังป้อน

4.4 ทดสอบฟลักซ์น้ำกลั่น ( $J'_w$ ) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1

4.5 ล้างเมมเบรนด้วยน้ำกลั่นที่อัตราการไหลสูง ปรับอัตราการไหลสารละลายป้อน 2.0 ลิตร/นาที่ ด้วยสภาวะและวิธีการเดียวกับข้อ 4.3

4.6 ทดสอบฟลักซ์น้ำกลั่น ( $J''_w$ ) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1

4.7 ทำการล้างเมมเบรนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ นาน 20 นาที แล้วไล่น้ำออกจากระบบ ล้างซ้ำอีก 2 ครั้ง ล้างด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ค้างในระบบ

4.8 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 4.1 - 4.7 โดยปรับค่าความดันเป็น 10, 12, 14 และ 16 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> ตามลำดับ จนครบ

4.9 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 4.1 - 4.7 โดยปรับความดันคงที่ที่ 16 ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup> อัตราการไหลสารละลายป้อน 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 และ 2.0 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ

5. การวิเคราะห์ค่าความต้านทานการไหลผ่านเมมเบรนที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดตะกอนในน้ำฝรั้งด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันและกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

ในการศึกษาโดยนำผลที่ได้จากข้อ 2 - 4 มาทำการคำนวณค่าความต้านทานต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการกำจัดตะกอนของน้ำฝรั้ง