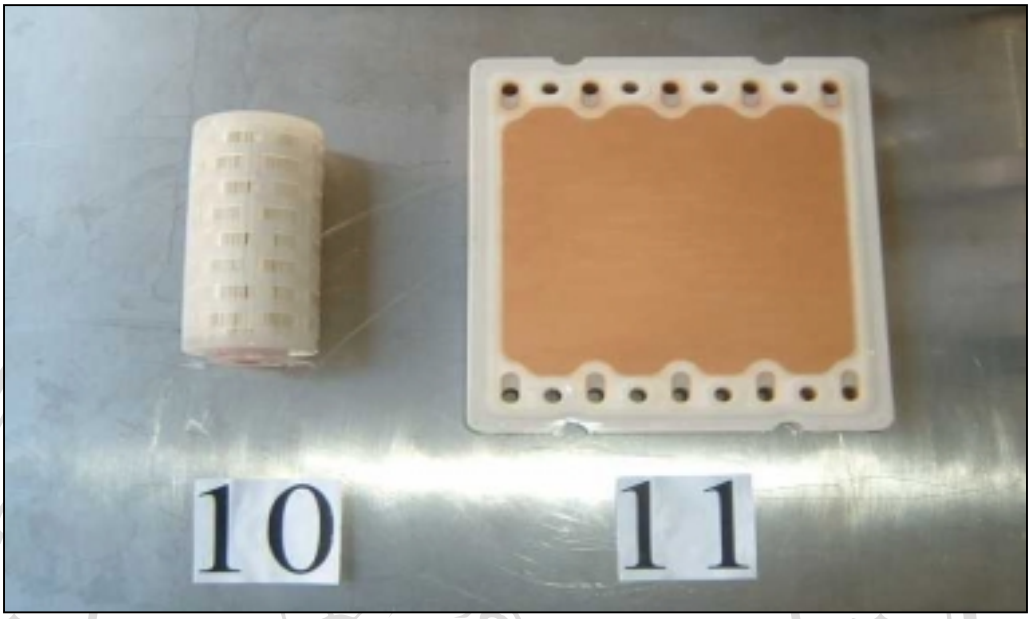
บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 **ระบบการกรองโดยเยื่อแผ่นสังเคราะห์** ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ประกอบด้วย

รูปที่ 3.1 ระบบการกรองโดยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.2 prefilter และเยื่อแผ่นสังเคราะห์

1. ถังป้อนสารละลาย
2. ปั๊มทนกรด-เบสแบบ rotary lobe pump ขนาด 1.5 kW ปั๊มของเหลวได้สูงสุด 2,200 ลิตรต่อชั่วโมง ที่แรงดัน 4 bar สามารถปรับอัตราการไหลได้ด้วยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ผ่าน inverter
3. มาตรวัดอัตราการไหลแบบ rotameter สามารถวัดอัตราการไหลได้สูงสุด 2.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
4. prefilter holder ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม มีวาล์วระบายอากาศ ทนความดันได้ 10 bar และทนอุณหภูมิได้ 180 องศาเซลเซียส
5. เกจวัดความดันก่อนเข้าเยื่อแผ่น และหลังออกจากเยื่อแผ่น วัดความดันในช่วง 1-4 bar ความละเอียด 0.1 bar
6. diaphragm valve 2 ตัว เพื่อใช้ควบคุมความดันของเพอร์มิเอทและรีเทนเทต
7. แท่นยึดแผ่นกรอง ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม วางแผ่นกรองได้ 10 แผ่นในแนวตั้ง
8. ถังรีเทนเทต
9. ถังเพอร์มิเอท
10. prefilter พื้นที่การกรอง 0.2 ตารางเมตร ทำจากโพลีโพรพิลีน ขนาดรูพรุน 20 ไมครอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

11.เยื่อแผ่น MF (hydrosart) ใช้ modified cellulose acetate เป็นวัสดุ ขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน มีพื้นที่การกรองแผ่นละ 0.6 ตารางเมตร นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสได้ ทนสภาพความเป็นกรด-ด่างในช่วง 2-14

ก่อนทำการกรองทุกครั้งจะต้องทำเยื่อแผ่นให้เปียก โดยใช้น้ำดีไอออไนซ์ (de-ionized water) ไหลหมุนเวียนผ่านเยื่อแผ่นอย่างน้อย 10 ลิตรต่อพื้นที่การกรอง 0.1 ตารางเมตร

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์

1. เครื่องมือวัดค่าความหนืด แบบ rotating cylinder (Cannon รุ่น LV-2000F series II, USA)
2. เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (HACH รุ่น 2100A, Germany)
3. เครื่องวัดสี (Hunterlab รุ่น ColorQuest II sphere, USA)
4. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Hanna รุ่น HI 9321, Portugal)
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Shimadzu รุ่น UV-160A, Japan)
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น A120S, Germany)
7. Hand refractometer (Atago รุ่น N-1E, Japan)
8. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (GFL รุ่น D1004, Germany)
9. เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Bibby รุ่น HB 502, UK)
10. เครื่องผสมแบบหมุนวน (Vertex genie2 รุ่น G-560E, USA)
11. หม้อนึ่งความดัน (Hirayama รุ่น HA-300MIV, Japan)
12. ตู้บ่มเชื้อ (Heraeus รุ่น D-6450 Hanau, Germany)
13. เตาเผาเถ้า (Gallenkamp, Netherland)
14. เครื่องแยกน้ำผลไม้ (National รุ่น MJ-68M, Malaysia)
15. นาฬิกาจับเวลา
16. เครื่องแก้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำฝรั่ง

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่แก่จัด *Psidium guajava* L. cv. Klomsalee นำมาคั้นน้ำโดยไม่ปอกเปลือกด้วยเครื่องแยกน้ำผลไม้ แล้วเก็บรักษาน้ำฝรั่งไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส ก่อนทดลอง นำตัวอย่างมาละลาย (thawing) แล้วจึงนำน้ำฝรั่งไปผ่านกระบวนการทำให้ใสโดยใช้เยื่อแผ่น MF และวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำฝรั่งทั้ง 2 แบบ ซึ่งมีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงวิธีการทำน้ำฝรั่งให้ใสด้วยกระบวนการ MF และวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1 กระบวนการทำให้น้ำฝรั่งใสด้วยเยื่อแผ่น MF

นำตัวอย่างน้ำฝรั่งที่ได้จากเครื่องแยกน้ำผลไม้มากรองเบื้องต้นด้วยตะแกรงขนาด 45 ไมครอน เพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอย ผสมน้ำฝรั่งกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 (น้ำฝรั่ง:น้ำกลั่น) แล้วจึงนำไปกรองผ่าน prefilter ขนาดรูพรุน 20 ไมครอน และเยื่อแผ่น MF ขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน ตามลำดับ

3.2.2 กระบวนการทำให้น้ำฝรั่งใสด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม

ตกตะกอนน้ำฝรั่งด้วยสารละลายเบนโทไนท์ความเข้มข้น 5%w/v แยกน้ำฝรั่งส่วนใสที่ได้มาผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 (น้ำฝรั่ง:น้ำกลั่น) กรองผ่านกระดาษกรองขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน แล้วพาสเจอร์ไรส์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (Fellows, 1990)

3.3 วิธีการทดลอง ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ส่วน

ส่วนที่ 1 การหาฟลักซ์ของน้ำกลั่นผ่านเยื่อแผ่นก่อนการใช้งาน เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานของเยื่อแผ่น (R_m) และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวัดประสิทธิภาพการล้างทำความสะอาดเยื่อแผ่น

ส่วนที่ 2 การทดลองหาความดันที่เหมาะสมในการกรองด้วยเยื่อแผ่นโดยพิจารณาเลือกจากค่าฟลักซ์ที่กรองได้ในเวลาที่เท่ากัน โดยทำการทดลองศึกษาที่ความดัน 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 bar

ส่วนที่ 3 การพักทำความสะอาดเยื่อแผ่นระหว่างการกรอง เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองแบบมีและไม่มีการพักทำความสะอาด โดยพิจารณาจากค่าฟลักซ์ที่กรองได้ในเวลาที่เท่ากัน

ส่วนที่ 4 การหาสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคาดคะเนค่าฟลักซ์

ส่วนที่ 5 ศึกษากระบวนการทำให้น้ำฝรั่งใสด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม โดยหาปริมาณการใช้สารละลายเบนโทไนท์ และ diatomaceous earth ที่เหมาะสม

ส่วนที่ 6 เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำฝรั่งที่ผ่านกระบวนการทำให้ใสโดยการกรองผ่านเยื่อแผ่น MF และวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.1 การหาค่าฟลักซ์ของน้ำกลั่นผ่านเยื่อแผ่น MF

ทำการศึกษาที่ความดัน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.25 bar (ชุดเครื่องมือการกรองนี้สามารถปรับให้ทำงานได้ที่ความดันก่อนเข้าเยื่อแผ่นได้ไม่เกิน 2 bar)

1. วัดค่าฟลักซ์ของน้ำกลั่น ทำการเติมน้ำกลั่นลงในถังป้อน เดินเครื่องปรับตำแหน่งวาล์วให้ได้ความดันต้นทาง (P_i) 0.4 bar ความดันของเพอร์มิเอท (P_p) และรีเทนเทต (P_o) 0 bar ทำให้ได้ความดันคร่อมเยื่อแผ่น (P_t) 0.2 bar วัดอัตราการไหลของเพอร์มิเอท (โดยวัดปริมาตรต่อเวลา) บันทึกผล

2. ทำซ้ำข้อ 1 แต่ปรับความดันต้นทาง (P_i) เป็น 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 และ 2.0 bar เพื่อให้ได้ P_t เป็น 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.25 bar ตามลำดับ กรณีสุดท้ายได้เพิ่มความดัน P_o เป็น 0.5 bar

3.3.2 การหาความดันที่เหมาะสมในการกรองด้วยเยื่อแผ่น

1. วัดค่าฟลักซ์ของน้ำฝรั่ง ทำการเติมน้ำฝรั่งลงในถังป้อน เดินเครื่องปรับตำแหน่งวาล์วให้ได้ความดัน (P_t) 0.2 bar เหมือนขั้นตอน 3.3.1 วัดอัตราการไหลของเพอร์มิเอททันที บันทึกผลเป็นเวลาที่ 0 นาที หลังจากนั้นจับเวลาทุก 15 นาที บันทึกผล ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยทำงานที่อุณหภูมิของสารละลายประมาณ 25±2 องศาเซลเซียส ในการทดลองส่วนนี้มีการนำรีเทนเทตกลับเข้าสู่ถังป้อน เพื่อให้สภาวะการทดลองเหมือนกับการทำงานจริงในอุตสาหกรรม

2. ทำความสะอาดตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้เครื่องดังนี้

ก. ไล่น้ำฝรั่งออกจากระบบโดยใส่น้ำกลั่นในถังป้อน เดินเครื่องทำงานที่ P_i = 2 bar, P_o = 0.5 bar และ P_p = 0 bar ในส่วนนี้จะใช้น้ำกลั่น 60 ลิตร

ข. หยุดเครื่อง เปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1M เดินเครื่องที่ P_i = 2 bar, P_o = 0 bar และปิดวาล์วเพอร์มิเอท เป็นการล้างที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นและป้องกันไม่ให้สารอุดตัน (fouling) ที่ถูกย่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปอุดตันในรูพรุน ในช่วงแรกรีเทนเทตที่ออกมาจะเป็นสีน้ำตาลแดงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับตะกอนของน้ำฝรั่ง จะต้องทิ้งรีเทนเทตช่วงนี้ไป หลังจากที่รีเทนเทตมีสีจางลงมากแล้ว ให้หมุนเวียนเอารีเทนเทตกลับไปถังป้อนได้เลย เมื่อรีเทนเทตมีสีเข้มมากขึ้นให้ทิ้งไปและเปลี่ยนเป็นสารละลาย NaOH ใหม่ ทำการล้างต่อไปจนกระทั่งรีเทนเทตไม่มีสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. หยุดเครื่องเปลี่ยนจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1M เป็นน้ำกลั่น เดินเครื่องที่ P_i = 2 bar, P_o = 0.5 bar และ P_p = 0 bar เพื่อไล่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากระบบ ในส่วนนี้จะใช้น้ำกลั่นอีก 60 ลิตร

ง. เช็คฟลักซ์น้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกับข้อ ค. ถ้าได้ฟลักซ์น้อยกว่า 70% ของฟลักซ์น้ำกลั่นที่หาไว้ในขั้นตอน 3.3.1 แสดงว่าเยื่อแผ่นยังไม่สะอาด ให้เริ่มทำจากข้อ ข.ซ้ำ

จ. เมื่อทำความสะอาดเยื่อแผ่นแล้ว นำเยื่อแผ่นออกจากระบบ เก็บรักษาโดยแช่เยื่อแผ่นในภาชนะปิดสนิทที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1M จนท่วม เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ ในกรณีที่เก็บรักษาไม่เกิน 3 วันไม่ต้องถอดเยื่อแผ่นออก แต่ผ่านสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1M เข้าสู่ระบบที่ความดันเดียวกับการทำความสะอาด

3. ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่ปรับความดันเป็น 0.4, 0.6 และ 0.8 bar ตามลำดับ

3.3.3 การพักทำความสะอาดเยื่อแผ่นระหว่างการกรอง

เมื่อได้สภาวะการกรองที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 แล้วจึงทำการทดลอง

1. เดินเครื่องปรับให้ได้ความดันที่เลือกจากข้อ 3.3.2 วัดอัตราการไหลของเพอร์มิเอททุก 15 นาที ทำการทดลองต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง

2. ล้างด้วยน้ำกลั่น 60 ลิตร จากนั้นล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1M ที่สภาวะ P_i=2, P_o=0 และปิดวาล์วเพอร์มิเอท เป็นเวลา 30 นาที แล้วตามด้วยน้ำกลั่นอีก 60 ลิตร

3. ทำการกรองน้ำฝรั่งอีกครั้งหนึ่ง จนได้เวลาครบ 4 ชั่วโมง

4. เปรียบเทียบฟลักซ์ที่ได้กับข้อ 3.3.2 ที่สภาวะการกรองเดียวกัน

3.3.4 การหาสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคาดคะเนค่าฟลักซ์ โดยคำนวณจากข้อมูลที่ได้จาก 3.3.2

3.3.5 ศึกษากระบวนการทำให้น้ำฝรั่งใสด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม

1.หาปริมาณการใช้สารละลายเบนโทไนท์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำฝรั่งโดยพิจารณาจากปริมาณที่ทำให้น้ำฝรั่งใสมากที่สุด ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ก. เตรียมสารละลายเบนโทไนท์ให้ได้ความเข้มข้น 5% w/v เก็บสารละลายนี้ไว้ 2-3 วัน เพื่อให้ผงเบนโทไนท์กระจายตัวได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. ผสมสารละลายเบนโทไนท์กับน้ำฝรั่งในปริมาณ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6% v/v เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ค. แยกน้ำฝรั่งส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าความขุ่น

2. หาปริมาณ diatomaceous earth ที่เหมาะสม เมื่อได้ปริมาณสารละลายเบนโทไนท์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำฝรั่งจากข้อ 1 แล้วจึงทำการทดลอง ดังต่อไปนี้

ก. เตรียมสารละลาย diatomaceous earth ให้ได้ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8% w/v

ข. ผ่านสารละลาย diatomaceous earth 0.2% w/v ปริมาณ 10 ลิตร เข้าไปในฟิลเตอร์เพรส (filter press) ที่มีกระดาษกรองขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน เพื่อให้ผง diatomaceous earth เคลือบอยู่บนผิวของกระดาษกรอง จากนั้นทำการกรองน้ำฝรั่ง

ค. เก็บตัวอย่างน้ำฝรั่งที่กรองได้ไปวัดค่าความขุ่น

ง. ทำซ้ำตามข้อ ข. และ ค. แต่เปลี่ยนความเข้มข้นเป็น 0.4, 0.6 และ 0.8% w/v ตามลำดับ

3.3.6 เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำฝรั่งที่ผ่านกระบวนการทำให้ใสโดยการกรองผ่านเยื่อแผ่น MF และวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1.1 สี โดยใช้เครื่องวัดสี ตามวิธีของ Hunterlab Co.,Ltd.

1.2 ความขุ่น โดยใช้เครื่องวัดค่าความขุ่น ตามวิธีของ HACH Co.,Ltd.

1.3 ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดค่าความหนืด ตามวิธีของ Cannon Co.,Ltd.

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีของ AOAC, 2000

2.2 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (total titratable acidity) ในรูปของกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC, 2000

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids) ตามวิธีของ AOAC, 2000

2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก่อนและหลังอินเวอร์ชัน (reducing sugars) ตามวิธีของ AOAC, 2000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 ปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) ตามวิธีของ AOAC, 2000

2.6 ปริมาณเถ้า (ash) ตามวิธีของ AOAC, 2000

2.7 ปริมาณเพคติน (pectin) ตามวิธีของ IFJU (International Federation of Fruit Juice Producer, 1964)

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

3.1 เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ตามวิธีของ APHA, 1992

3.2 เชื้อยีสต์และรา (yeast and mold) ตามวิธีของ APHA, 1992

3.3 coliforms และ *E.coli* ตามวิธีของ AOAC, 1998

4. เปรียบเทียบการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของน้ำฝรั่งที่ผ่านกระบวนการ MF และวิธีการแบบดั้งเดิมทางอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการให้คะแนนแบบ scoring ระดับคะแนน 1 ถึง 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกแล้วจำนวน 20 คน ลักษณะที่ทำการทดสอบได้แก่ สีที่ปรากฏ ความใส กลิ่น รสเปรี้ยว รสหวาน และการยอมรับโดยรวม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved