

การรีไซเคิลครูดเซลลูเลสและจุลินทรีย์ด้วยการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน
เพื่อการผลิตเอทานอล

**Recycling of Crude Cellulase and Microorganisms by Ultrafiltration
for Ethanol Production**

จिरพัฒน์ กิจสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การรีไซเคิลกรดซัลฟูริกและจุลินทรีย์ด้วยการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน
เพื่อการผลิตเอทานอล

จียรพัฒน์ กิจสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรีไซเคิลครูดเซลลูโลสและจุลินทรีย์ด้วยการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชั่น
เพื่อการผลิตเอทานอล
ชื่อ – นามสกุล นายจิรพัฒน์ กิจสุวรรณ
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, วศ.ม
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแยกเอนไซม์เซลลูโลสและจุลินทรีย์โดยการกรอง
ไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชั่นบนฐานของฟลักซ์เพอร์มิเอท กลไกการกรอง และความสามารถการ
กักกันสารโดยใช้สารป้อนจากสารละลายสังเคราะห์ (น้ำตาลและเอทานอล) และน้ำหมัก

การดำเนินงานใช้ชุดกรองแบบไหลขวางด้วยเมมเบรนชนิดโพลีเอเทอร์ซัลโฟเนกการค้ำ
และชุดทดลองการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ (1) การแยก
สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L และสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 30, 40
และ 50 g/L (2) การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการกรองโดยใช้สารป้อนคือน้ำหมัก
ณ ความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s และ ความเข้มข้นอาหารเหลว 0, 30 และ 40 g/L
(3) การประยุกต์เพื่อนำไปใช้โดยใช้สภาวะการกรองที่เหมาะสม พร้อมรีไซเคิลรีเทนเตดสู่ถังปฏิกรณ์
และศึกษากลไกการกรองควบคู่ไปพร้อมๆ ระหว่างกระบวนการหมัก

ผลวิจัยพบว่าการกรองด้วยเมมเบรนไม่สามารถคัดแยกสารละลายสังเคราะห์ได้
ทุกความเข้มข้นและทุกความเร็วไหลขวาง การกรองใช้ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s และความเข้มข้น
อาหารเหลว (LM-pH 5) 40 g/L มีค่าร้อยละการกักกันเอทานอล 16.76 น้ำตาลรีดิวซ์ 23.01 เซลลูโลส
แอกติวิตี 15.85 และ จุลินทรีย์ 0.98 เมื่อนำมาขยายผลการผลิตเอทานอลที่สภาวะเหมาะสมมีร้อยละ
ผลได้เอทานอลเท่ากับ 212 และ 100 สำหรับก่อนและหลังการเติมลำดับต้นสดข้าวฟ่างหวานตามลำดับ
และกลไกการเกิดฟลัวลิ่งทั้งหมดเป็นแบบ cake filtration model

คำสำคัญ: อัลตราฟิลเตรชั่น, เอทานอล, การหมักแบบเฟดแบทช์

Thesis Title Recycling of Crude Cellulase and Microorganisms by Ultrafiltration for Ethanol Production

Name-Surname Mr. Jiraprat Kitsuwon

Program Chemical Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Juraivan Ratanapisit, Ph.D.

Thesis Co-advisor Associate Professor Pongsri Siwarasak, M.Eng.

Academic Year 2014

ABSTRACT

This research aimed to study the separation of crude cellulase and microorganisms by the crossflow ultrafiltration of hydrolyzate and synthesis solution. The experimental results were discussed in terms of permeate flux, percentage of rejection and membrane fouling models.

Experiments were conducted in the crossflow filtration using commercial membranes of polyethersulfone. The experiments were composed of three parts as following: (1) the separation of ethanol solution of concentration 40, 120 and 360 g/L and sugar solution of concentration 30, 40 and 50 g/L, (2) the optimal conditions for ultrafiltration of hydrolyzate with velocities at 0.13, 0.19 and 0.25 m/s and concentration of LM-pH 5 at 0, 30 and 40 g/L, (3) the optimal conditions with recycle retentate to reactor and model of filtration.

Results showed that ultrafiltration could not separate synthesis solutions of all concentrations and the velocities. The optimal conditions for filtration with adding LM-pH5 40 g/L was at 0.13 m/s and which yielded the percentage of 16.76 ethanol rejection, 23.01 reducing sugar, 15.85 cellulase activity and 0.98 microorganisms. The further application for ethanol production by using the optimal conditions with recycling their retentate showed an increasing of ethanol 212% before adding sweet sorghum stalks and 100% after adding sweet sorghum stalks and several of model filtrations showed the agreement to the cake filtration model.

Keywords: ultrafiltration, ethanol, fed-batch fermentation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จูไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ รองศาสตราจารย์ผ่องศรี ศิวราศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ดร.ชัยภพ ศิริวารกุลและ ดร.ธีระวัฒน์ เหมือนศรีชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.นริศรา ทองบุญชู คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณทุนงบประมาณแผ่นดิน 2556 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนทุนทรัพย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุในการใช้เครื่องยิวี - วิสิเบิล สเปกโตรโฟมิเตอร์ และกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้วิชาการต่างๆ ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ และครอบครัว ที่สนับสนุนทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ทุกท่านที่มีส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

จิรพัฒน์ กิจสุวรรณ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์.....	17
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	18
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 ขั้วฟางหวาน.....	19
2.2 กระบวนการผลิตเอทานอล.....	20
2.3 กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน.....	26
2.4 ชนิดของกระบวนการเมมเบรน.....	28
2.5 วัสดุที่นำมาใช้ทำเมมเบรน.....	29
2.6 ปฏิกิริยาการคั่นคอนเซนเตรชันโพราไรเซชันและฟาล์วดีง.....	30
2.7 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของเมมเบรน.....	30
2.8 วิธีการป้องกันหรือการควบคุมการเกิดฟาล์วดีง.....	31
2.9 ฟลักซ์และการกักกัน.....	32
2.10 แบบจำลองการกรองภายใต้ความความดันคงที่.....	32
2.11 คุณสมบัติของเมมเบรน.....	34
2.12 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย.....	35
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	40
3.2 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการใช้งาน.....	42
3.3 วิธีการทดลอง.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	53
4.1 การศึกษาประสิทธิภาพเมมเบรนในการแยกสารละลายสังเคราะห์และ โมเดลการ กรองที่สภาวะความดันคงที่.....	53
4.2 การศึกษาการแยกและการกักกันของสารละลายสังเคราะห์.....	65
4.3 การศึกษาสารป้อนที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์.....	67
4.4 การหาความเร็วที่เหมาะสมในการกรองด้วยเมมเบรนในระดับอัลตราฟิลเตรชัน.....	71
4.5 การศึกษาการขยายผลของกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	80
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก.....	85
ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเหลว LM – pH 5.....	86
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์.....	89
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์เอทานอล.....	93
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์เซลล์ลูเลต แอคติวิตี.....	97
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลินทรีย์.....	100
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอร์มิเอท.....	102
ภาคผนวก ช ผลการกรองน้ำหมักและสารละลายสังเคราะห์.....	132
ภาคผนวก ซ ข้อมูลดิบของการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์.....	164
ภาคผนวก ฌ ผลงานตีพิมพ์ที่เผยแพร่.....	187
ประวัติผู้เขียน.....	195

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ข้อดีและข้อเสียของเมมเบรนชนิดปิดตายและไหลขวาง.....	28
ตารางที่ 3.1	คุณลักษณะเมมเบรนในการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชั่น.....	42
ตารางที่ 4.1	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 30 g/L.....	55
ตารางที่ 4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L.....	56
ตารางที่ 4.3	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 50 g/L.....	56
ตารางที่ 4.4	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L.....	57
ตารางที่ 4.5	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 50 g/L.....	58
ตารางที่ 4.6	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายน้ำตาลรวม.....	58
ตารางที่ 4.7	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L.....	61
ตารางที่ 4.8	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 120 g/L.....	61
ตารางที่ 4.9	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 360 g/L.....	62
ตารางที่ 4.10	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L.....	63
ตารางที่ 4.11	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 120 g/L.....	63
ตารางที่ 4.12	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั่นใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็ว ไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 360 g/L.....	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

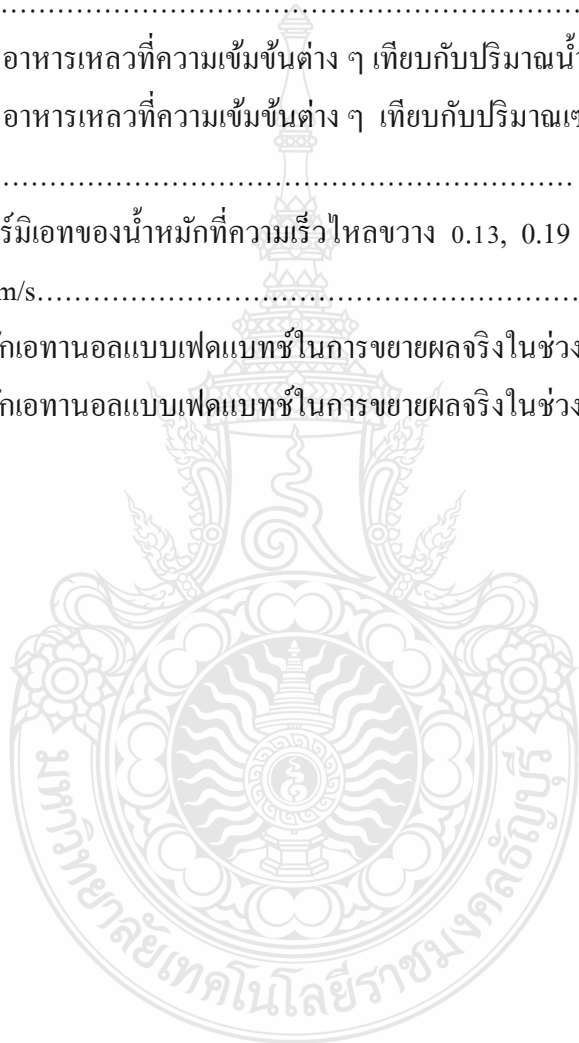
		หน้า
ตารางที่ 4.13	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจของการกรองสารละลายเอทานอลรวม.....	64
ตารางที่ 4.14	ผลการกรองของสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 และ 0.19 m/s.....	65
ตารางที่ 4.15	ผลการกรองของสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 และ 0.19 m/s	65
ตารางที่ 4.16	ผลการกรองสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและเอทานอล (ความเข้มข้นของน้ำตาลและเอทานอลเท่ากับ 60 g/L) ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s.....	66
ตารางที่ 4.17	ค่าการกักกันของสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s.....	66
ตารางที่ 4.18	ค่าการกักกันของสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s.....	67
ตารางที่ 4.19	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s.....	73
ตารางที่ 4.20	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s.....	73
ตารางที่ 4.21	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s.....	74
ตารางที่ 4.22	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 0.19 และ 0.25 m/s.....	74
ตารางที่ 4.23	ผลการกรองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองเพื่อการรีไซเคิลครูดเซลลูโลส.....	75
ตารางที่ 4.24	ผลการแยกจุลินทรีย์ของน้ำหมักเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองเพื่อการรีไซเคิลครูดเซลลูโลสในฐานเริ่มต้นเดียวกัน.....	75
ตารางที่ 4.25	ค่าการกักกันของสารในน้ำหมักในการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน.....	76

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ข้าวฟ่างหวาน.....	19
รูปที่ 2.2	เชื้อรา <i>Trichoderma reesei</i>	20
รูปที่ 2.3	เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	20
รูปที่ 2.4	แผนภาพกระบวนการหมักเอทานอลลำดับขั้นสดข้าวฟ่างหวาน.....	23
รูปที่ 2.5	การเปลี่ยนแป้งเป็นเอทานอล.....	24
รูปที่ 2.6	กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง.....	25
รูปที่ 2.7	การหมักแบบเฟดแบทช์.....	26
รูปที่ 2.8	การเจริญเติบโตของเซลล์ในกระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์.....	26
รูปที่ 2.9	การไหลของสารป้อนในกระบวนการกรองแบบปิดตาย.....	27
รูปที่ 2.10	การไหลของสารป้อนในกระบวนการกรองแบบไหลขวาง.....	27
รูปที่ 2.11	การเกิดคอนเซนเตรชันโพราไรเซชัน.....	30
รูปที่ 3.1	ลำดับขั้นสดข้าวฟ่างหวานที่ผ่านการลดขนาด.....	40
รูปที่ 3.2	ผงจุลินทรีย์ผสม RT-P3.....	41
รูปที่ 3.3	แผนภาพระบบการกรองแบบไหลขวาง.....	43
รูปที่ 3.4	ชุดการกรองแบบไหลขวางที่ใช้ในการทดลอง.....	43
รูปที่ 4.1	ฟลักซ์เพอร์มิเอตสารละลายน้ำตาลทุกสภาวะการทดลอง.....	53
รูปที่ 4.2	ฟลักซ์เพอร์มิเอตของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s.....	54
รูปที่ 4.3	ฟลักซ์เพอร์มิเอตของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s.....	57
รูปที่ 4.4	ฟลักซ์เพอร์มิเอตของสารละลายเอทานอลในภาพรวม.....	59
รูปที่ 4.5	ฟลักซ์เพอร์มิเอตของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s.....	60
รูปที่ 4.6	ฟลักซ์เพอร์มิเอตของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ผลการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณเอทานอล....	69
รูปที่ 4.8 ผลการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณความเข้มข้น จุลินทรีย์.....	70
รูปที่ 4.9 ผลการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์	70
รูปที่ 4.10 ผลการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณเซลล์เลส- แอกติวิตี้.....	72
รูปที่ 4.11 ฟลักซ์เพอร์มิเอทของน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s.....	72
รูปที่ 4.12 ผลการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการขยายผลจริงในช่วง 1- 34 วัน...	78
รูปที่ 4.13 ผลการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการขยายผลจริงในช่วง 34 -52 วัน.	79

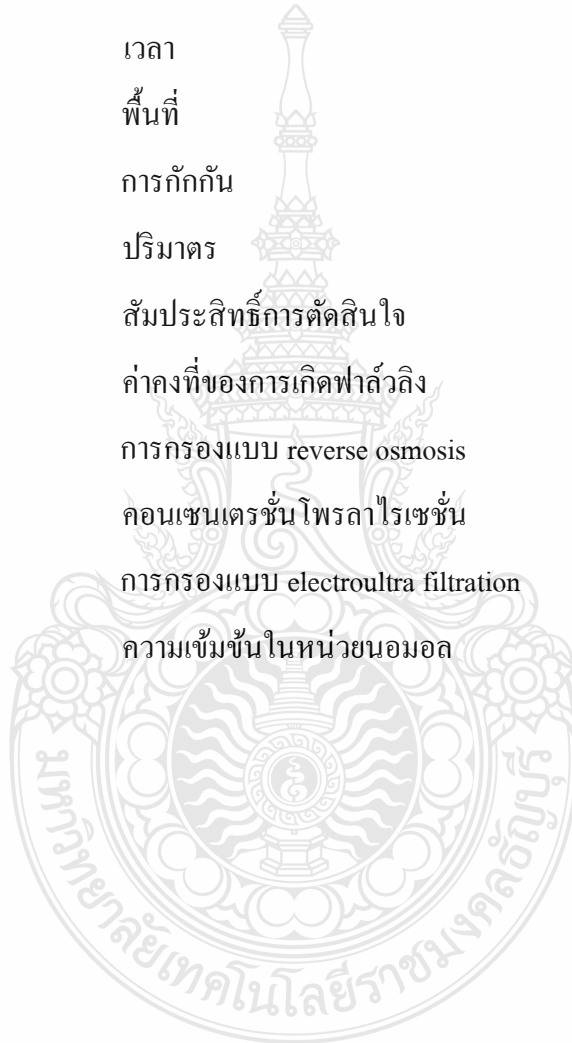


คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MF	ไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration)
UF	อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration)
NF	นาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration)
pH	ความเป็นกรดเป็นด่าง
J	ฟลักซ์ของเพอร์มิเอต ($m^3/m^2.s$ หรือ $L/m^2.h$)
R	ค่าการกักกัน (rejection coefficient)
VCR	แฟกเตอร์ความเข้มข้นเชิงปริมาตร (volume concentration ratio)
C_p	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเพอร์มิเอต (concentration of solute in permeate)
C_R	ความเข้มข้นของสารรีเทนเนทหรือสารป้อน (concentration of solute in permeate)
CBM	Complete Blocking Model
IBM	Intermediate Blocking Filtration Model
SBM	Standard Blocking Filtration Model
CFM	Cake Filtration Model
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate)
MWCO	โมเลกุลตัดการกรอง (Molecular weight cut-off)
Dead-end filtration	การกรองแบบปิดตาย
Cross-flow filtration	การกรองแบบไหลขวาง
mL	มิลลิลิตร
g/L	กรัมต่อลิตร
g/L.h	กรัมต่อลิตร.ชั่วโมง
cent/gal	เงินเซนต์ต่อแกลลอน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

rpm	รอบต่อนาที
m/s	เมตรต่อวินาที
psig	ปอนด์ต่อตารางนิ้วในความดันเกจ
t	เวลา
a	พื้นที่
R	การกักกัน
V	ปริมาตร
R ²	สัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ
K	ค่าคงที่ของการเกิดฟัลวลิง
RO	การกรองแบบ reverse osmosis
CP	คอนเซนเตรชั่น โพรลาไรเซชั่น
EUf	การกรองแบบ electroultra filtration
N	ความเข้มข้นในหน่วยนอมอล



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

ปัจจุบันความต้องการพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้น และปริมาณสำรองของแหล่งปิโตรเลียมมีแนวโน้มลดลงทั่วโลก ดังนั้นพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทนจึงได้รับความสนใจอย่างมาก ในช่วงกว่าสิบปีที่ผ่านมา พลังงานทดแทนนี้ได้รวมถึงเอทานอลซึ่งเป็นพลังงานชีวภาพที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เพราะเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชและเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยทั่วไปเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบสามประเภทใหญ่ๆ คือ แป้ง (มันสำปะหลัง; มันเทศ; มันฝรั่ง; ข้าวโพด; ข้าวเจ้า; ข้าวฟ่าง; ข้าวสาลี ฯลฯ), น้ำตาล (อ้อย; กากน้ำตาล; ข้าวฟ่างหวาน ฯลฯ) และเส้นใยหรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) จากชีวมวล เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบเป็นหลัก และชนิดวัตถุดิบมีผลต่อผลได้เอทานอล ถึงแม้ว่าการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบแป้งและน้ำตาลให้ผลได้เอทานอลที่ดี แต่วัตถุดิบกลุ่มแป้งและน้ำตาลจัดเป็นพืชอาหาร การใช้พืชอาหารเพื่อผลิตเอทานอลในระยะยาวน่าจะส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนการผลิตและวงจรการบริโภคของมนุษย์ได้ ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสหรือเส้นใยชีวมวลจึงได้รับความสนใจมากขึ้นเพราะชีวมวลมีจำนวนมากราคาถูก หาง่าย จึงมีความเป็นไปได้สูงเพื่อใช้ผลิตในอนาคต

ข้าวฟ่างหวาน (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) เป็นพืชที่มีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชตระกูลอ้อยและมีปริมาณของน้ำตาลในน้ำคั้นใกล้เคียงกับอ้อย ข้าวฟ่างหวานปลูกง่าย ทนแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีอายุการเก็บเกี่ยวเพียง 100-120 วัน เมื่อเทียบกับอ้อยที่ใช้เวลาหนึ่งปี ทำให้ผลผลิตข้าวฟ่างหวานต่อไร่ต่อปีสูงกว่าอ้อย ดังนั้นข้าวฟ่างหวานจึงเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสูงในการปลูกเพื่ออุตสาหกรรมเอทานอลและ[1] ในงานวิจัยนี้เน้นการศึกษากระบวนการหมักเบรนท์ที่เกี่ยวข้องกับเอทานอลที่ได้จากวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่เป็นชีวมวลจากลำต้นสดข้าวฟ่างหวานเป็นหลัก

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวลกลุ่มเส้นใยลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ การปรับสภาพ, การไฮโดรไลซิส, การหมัก และการแยกเอทานอล สำหรับการปรับสภาพเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนแรกและมีผลต่อความสามารถการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ต่อเซลลูโลสในชีวมวลเพื่อให้ได้กลูโคส จากนั้นกระบวนการหมักจะเปลี่ยนกลูโคสเป็นเอทานอลด้วยจุลินทรีย์ แล้วจึงแยกเอทานอลออกจากระบบ สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยเซลลูโลสในขั้นตอนการไฮโดรไลซิสเพื่อให้ได้กลูโคส เอนไซม์เซลลูเลสผลิตได้จากจุลินทรีย์ (เชื้อรา) ที่ย่อยเซลลูโลส และผลิตได้ทั้งจากการหมักแข็งหรือหมักเหลว ในงานวิจัยนี้ใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จากการผลิตแบบหมักแข็ง และใช้โดยไม่ผ่านการคัดแยกบริสุทธิ์เรียกว่า ครูดเซลลูเลส ทั้งนี้การใช้ครูดเซลลูเลสทำให้การผลิตเอทานอลง่ายขึ้นและลดต้นทุนการใช้เอนไซม์บริสุทธิ์

สำหรับการผลิตเอทานอลเพื่อให้ได้ผลได้สูงและมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำกลับคืนเซลลูเลสและจุลินทรีย์ในไฮโดรไลเซท [สารละลายไฮโดรไลซิส (หรือน้ำหมัก)] เพื่อมาใช้ใหม่ การควบคุมถึงปฏิกรณ์หมักให้มีความเข้มข้นของกลูโคสให้มีลักษณะคงที่และอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม รวมถึงการแยกเอทานอลที่ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อรักษาสมดุลของถึงปฏิกรณ์ให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลได้เอทานอลให้สูงขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา คมสัน เจริญน้อยและคณะ [2] ได้ทำการหมักเอทานอลแบบกะในถึงปฏิกรณ์ขนาด 15 ลิตร มีการกวนผสมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อวัน ทำการหมักได้เพียง 12 วัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลง จึงทำให้ระบบนี้มีข้อจำกัดในการผลิตเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูงๆ ได้ นอกจากนี้งานวิจัยของสุชาญ กิรติพรฤดีและคณะ [3] ได้ทำการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ โดยทำการเติมอาหารเหลว 500 มิลลิลิตร ทุกๆ 2 วัน และใช้เวลาการกวนผสม 3 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าเอทานอลมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก แต่ในงานวิจัยดังกล่าวไม่มีการศึกษาการนำเอาน้ำหมักนำไปกรองและนำสารที่ผ่านกระบวนการกรองป้อนเข้าสู่ถึงปฏิกรณ์ทำให้งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดเรื่องของปริมาณของน้ำหมักและระยะเวลาในการหมัก สำหรับงานวิจัยของ กัณฐมณี สุขประเสริฐและคณะ [4] ได้ศึกษาการแยกครูดเซลลูเลสด้วยระบบกรองแบบปิดตายและใช้เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันชนิดพอลิเอเทอร์ซัลโฟนพบว่าเมมเบรน ดังกล่าวสามารถคัดกรองครูดเซลลูเลสได้โดยมี

ค่าร้อยละการกักกันเท่ากับ 81.27 และร้อยละการกักกันน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 82.15% ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงใช้ผลการศึกษาเบื้องต้นดังกล่าวเพื่อปรับปรุงกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเลือกใช้การกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันแบบไหลขวางร่วมกับการผลิตเอทานอล ในกระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์ที่มีการเติมอาหารเหลวทุก 2 วันและทำการดั่งสารออกมา ทำการกรองทุกๆ 4 วัน กระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์เป็นกระบวนการที่ควบคุมปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ให้มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก จึงสามารถทำให้ผลผลิตของเอทานอล มีความเข้มข้นสูงได้อย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดต้นทุน

กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน โดยใช้ความดันเป็นแรงขับเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ และถูกนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมเพราะมีข้อเด่นหลายประการ ได้แก่ ความสามารถแยกองค์ประกอบขนาดใหญ่และเล็กโดยเฉพาะเมื่อสารป้อนมีความเข้มข้นในระดับต่ำ ได้ดี ประกอบกับเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนต่ำ จึงทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ ที่ได้มีคุณภาพเหมือนหรือใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ชีวภาพเหล่านี้มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ ค่ากรดต่าง แรงกระทำต่างๆ ซึ่งการทำให้บริสุทธิ์และนำกลับคืนผลิตภัณฑ์ มีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะในแง่ของพลังงานที่ต้องใช้เมื่อเทียบกับกระบวนการทั่วไป การกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันและนาโนฟิลเตรชันเป็นที่นิยมใช้กรองอนุภาคขนาดเล็กถึงเล็กมากได้ดี โดยการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันสามารถกักกันช่วงน้ำหนักโมเลกุล 1,000-10,000 Da ทำให้สามารถนำไปใช้กักกันจุลินทรีย์และโปรตีนได้ สำหรับการกรองระดับนาโนฟิลเตรชันนิยมใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลได้ งานวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอวิธีการแยกกรดเซลลูโลสและจุลินทรีย์ด้วยการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการหมักต่อ การแยกกรดเซลลูโลสและจุลินทรีย์ จำเป็นต้องใช้กระบวนการที่ไม่รุนแรงและลดการใช้สารเคมี เพราะเอนไซม์และจุลินทรีย์มีความไวต่อการสูญเสียความสามารถหากอยู่สภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ พีเอช เป็นต้น

การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนสามารถเพิ่มศักยภาพในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอลได้ เนื่องจากในกระบวนการแยกเอทานอลโดยทั่วไปมีส่วนทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบสูญเสีย ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้เพื่อแยกเอทานอลและนำกลับเซลล์และจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหมักได้

ในงานวิจัยนี้การกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันถูกนำมาใช้เพื่อแยกเฟสสารละลายที่ได้จากการหมัก (น้ำหมัก) เพื่อวัตถุประสงค์ในการรีไซเคิลของเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการหมักต่อไป โดยจะทำการศึกษาผลของความเร็วไหลขวางที่มีต่อการกักกัน (จุลินทรีย์, ครูดเซลลูเลส, กลูโคส และเอทานอล) ต่อน้ำหมักที่ได้ในระหว่างการกรองและน้ำหมักรีไซเคิล รวมทั้งสารละลายสังเคราะห์ของกลูโคสและสารละลายสังเคราะห์เอทานอล โปรไฟล์การหมักเอทานอลควบคู่การรีไซเคิลในระบบเฟดแบทช์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการแยกสารละลายสังเคราะห์ด้วยการกรองไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชัน พร้อมทั้งโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

1.2.1.1 ศึกษาฟลักซ์การกรองของสารละลายสังเคราะห์

1.2.1.2 ศึกษาการกักกันของสารละลายสังเคราะห์

1.2.2 ศึกษาการนำครูดเซลลูเลสและจุลินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ด้วยการกรองไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชัน พร้อมทั้งโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

1.2.2.1 ศึกษาฟลักซ์การกรองของน้ำหมัก

1.2.2.2 ศึกษาการกักกันของน้ำหมักเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรอง

1.2.3 ศึกษาโปรไฟล์การหมักเอทานอลควบคู่การรีไซเคิลในระบบเฟดแบทช์และการกรองไหลขวางในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

ศึกษาผลของการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ที่ความเข้มข้นต่างๆเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

1.2.4 ศึกษาการขยายผลผลิตเอทานอลจริงโดยใช้สภาวะการกรองที่เหมาะสมพร้อมโปรไฟล์การหมักเอทานอลควบคู่การรีไซเคิลในระบบเฟดแบทช์และโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการกรองแบบไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อแยกครูดเซลลูเลสและจุลินทรีย์ เพื่อนำกลับไปใช้ในถังปฏิกรณ์การหมักต่อ โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 ผลิตน้ำหมักโดยใช้กระบวนการควบคู่ของการแปรรูปเซลลูโลสและการหมัก (hydrolysis-fermentation) ในระบบเฟดแบทช์โดยใช้วัตถุดิบเป็นลำต้นสดข้าวฟ่างหวานในถังปฏิกรณ์ขนาด 15 L และผงจุลินทรีย์ผสม RT-P3 และควบคุมความเข้มข้นของน้ำตาลให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม

1.3.2 ทำการทดลองการกรองด้วยชุดการทดลองแบบไหลขวางระดับอัตราไหลเตรชัน และใช้เมมเบรนชนิดพอลิซัลโฟน (polysulfone, PS) ในขอบเขตดังนี้

1.3.2.1 ใช้สารละลายสังเคราะห์สองชนิดคือ สารละลายกลูโคส (30-50g/L) และ สารละลายเอทานอล (40-360g/L) เพื่อเป็นฐานข้อมูลเปรียบเทียบความสามารถการกักกัน โดยใช้ความเร็วไหลขวาง 0.13 และ 0.19 m/s

1.3.2.2 ใช้ น้ำหมักที่ได้จากข้อ 1.3.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมการกรองไหลขวาง โดยศึกษาช่วงความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s

1.3.2.3 จากสภาวะที่เหมาะสมในข้อ 1.3.2.2 นั้น ทำการขยายผลการศึกษากับการผลิตจริง ศึกษาโปรไฟล์การหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยให้มีการกรองด้วยเมมเบรนทุก 4 วัน ควบคุมปริมาตรของน้ำหมักในถังปฏิกรณ์และนำรีเทนเตดกลับมาใช้ในการหมักต่อโดยควบคุมน้ำตาลรีดิวซ์ที่ความเข้มข้น 40 g/L

1.3.3 สมบัติที่ต้องวัดจากการทดลองและนำมาใช้วิเคราะห์คือ ฟลักซ์, ค่าการกักกันในเทอมของน้ำตาลรีดิวซ์, ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และเอทานอล, เซลลูเลส แอคติวิตี และกลไกของการเกิดฟาล์วลิ่งที่เกิดในระหว่างการกรอง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเมมเบรนแยกจุลินทรีย์ผสมเพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์

1.4.2 ได้รับความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน

1.4.3 เป็นต้นแบบในระดับโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวฟ่างหวาน

ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชทางเลือกที่นิยมปลูกในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งความหวานของข้าวฟ่างหวานมีความใกล้เคียงกับอ้อย รวมถึงมีคุณสมบัติทนความแล้งได้ดี ข้าวฟ่างหวานจัดเป็นพืชที่อายุการเก็บเกี่ยวสั้นดังรูป 2.1 สามารถทำการเพาะปลูกได้ 2 – 3 ครั้งต่อปี ดังนั้นข้าวฟ่างหวานจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพนำมาผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนกลุ่มของเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และสิ่งที่น่าสนใจของข้าวฟ่างหวานคือผลผลิตของข้าวฟ่างหวานคือ 5 – 6 ตันต่อไร่ ซึ่งเมื่อเทียบกับอ้อยซึ่งมีผลผลิต 9 – 10 ตันต่อไร่ แต่เมื่อเทียบต่อปีแล้ว ข้าวฟ่างหวานจะมีผลผลิตมากกว่า ดังนั้นข้าวฟ่างหวานจึงเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงพอที่จะนำมาใช้แทนในยามขาดแคลนอ้อยได้ [5] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ลำต้นสดข้าวฟ่างหวานที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการการนึ่งด้วยไอน้ำแรงดันสูงมาหมักเพื่อทำการผลิตเอทานอลโดยตรง



รูปที่ 2.1 ข้าวฟ่างหวาน [6]

2.2 กระบวนการผลิตเอทานอล

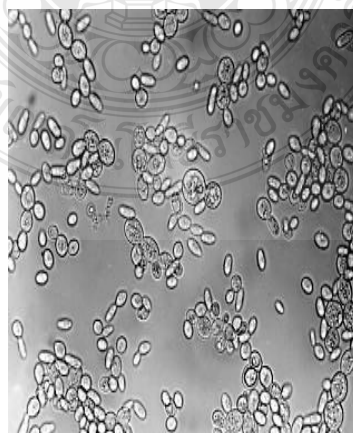
2.2.1 จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอล

2.2.1.1 *Trichoderma reesei* เป็นเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์ในการย่อยเส้นใยของพืชไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมโนแซคคาไรด์ แสดงดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 เชื้อรา *Trichoderma reesei* [7]

2.2.1.2. *Saccharomyces cerevisiae* หรืออาจจะเขียนย่อได้ว่า *S. cerevisiae* เป็นยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก แสดงดังรูป 2.3 โดยจุลินทรีย์นี้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีความคงทนต่อเอทานอล และให้ผลผลิตเอทานอลในปริมาณสูง โดยสามารถใช้น้ำตาลกลูโคส ซูโคส ฟลักโตสเป็นต้น โดยจุลินทรีย์นี้จะทำการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล



รูปที่ 2.3 เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* [8]

2.2.2 วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอล

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.2.2.1 วัตถุดิบที่เป็นน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล ซึ่งในการนำมาใช้นั้นจะต้องทำการหีบให้ได้น้ำเชื่อมก่อนแล้วจึงใช้ยีสต์ในการเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นเอทานอลได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆ

2.2.2.2 วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง และมันฝรั่งเป็นต้น โดยทั่วไปในการผลิตเอทานอลจากกลุ่มประเภทนี้จำเป็นต้องทำให้แป้งถูกย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสเสียก่อน แล้วจึงใช้ยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลได้ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1) การทำให้เหลว (liquefaction) คือ กระบวนการที่ใช้กรดหรือเอนไซม์ ในกลุ่มแอลฟาอะไมเลสในการย่อยโมเลกุลแป้งให้เป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กลง

2) การเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (saccharification) คือ กระบวนการที่ใช้เอนไซม์ กลูโคอะไมเลสในการย่อยเด็กซ์ทรินให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือน้ำตาลกลูโคส และยีสต์จะทำการเปลี่ยนน้ำตาลเหล่านี้เป็นเอทานอล

2.2.2.3 วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส ส่วนใหญ่วัตถุดิบประเภทนี้เป็นผลพลอยได้จากเกษตรกรรมเช่น อ้อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด และ ข้าวฟ่างหวานเป็นต้น ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ชนิดคือ เซลลูโลส (cellulose), เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose), ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่นๆ เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวและอยู่ในรูปผลึก มีลักษณะเป็นเส้นใยเหนียวและไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (pentose) หลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose), แมนโนส (mannose) และอะราบินโนส (arabinose) เป็นต้น ซึ่งไม่ละลายน้ำ และเสถียรน้อยกว่าเซลลูโลสมาก ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของ ฟีนิลโพรเพน (phenylpropane) ทนต่อการย่อยสลายอย่างมาก ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากวัสดุลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนดังนี้

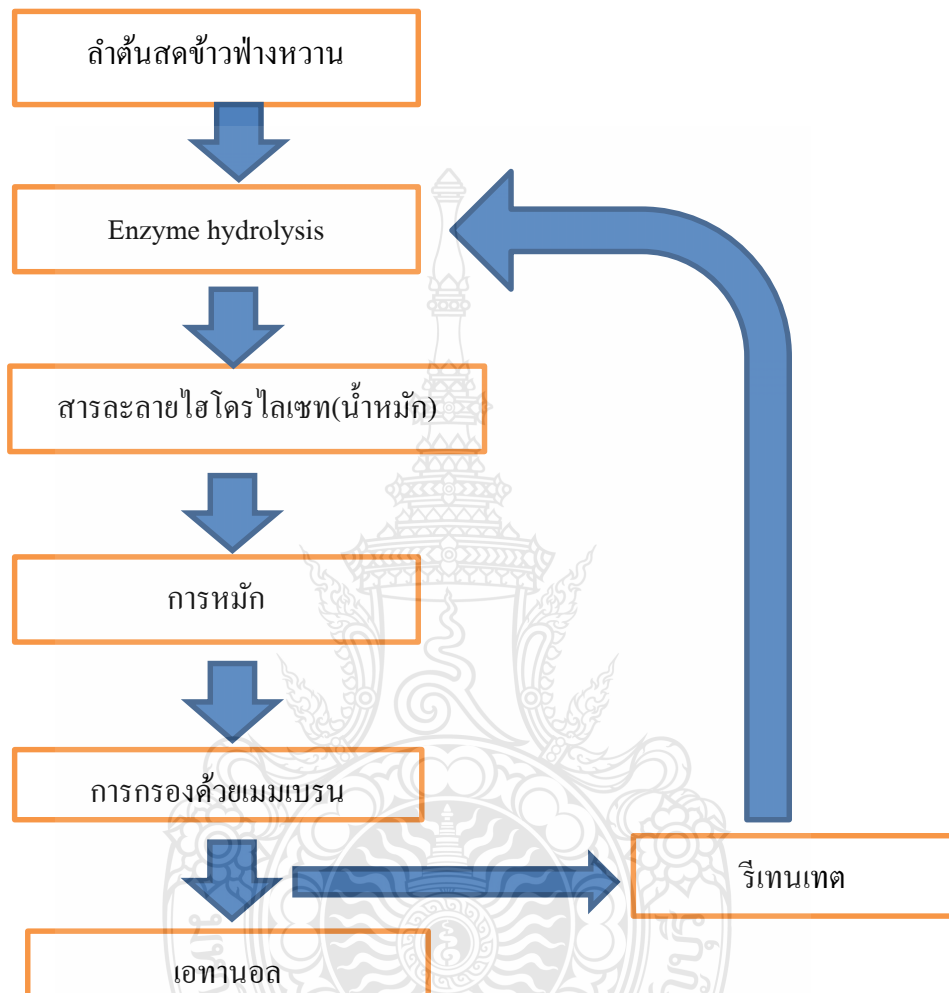
ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ (pretreatment) เป็นขั้นตอนในการทำลายความแข็งแรงของโครงสร้างเซลลูโลสเพื่อให้เอนไซม์สามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ การทำไอน้ำระเบิด และ การเจือจางด้วยกรด

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการย่อย (hydrolysis) แบ่งได้ 2 วิธีคือ กระบวนการย่อยด้วยกรดและกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ การย่อยด้วยกรดจะมี 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนที่ 1 เป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสเป็นน้ำตาลเพนโทส จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการเปลี่ยนเซลลูโลสให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส สำหรับวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์จะใช้เอนไซม์เซลลูเลสเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลกลูโคส

ขั้นตอนที่ 3 การหมักน้ำตาลที่ได้ให้เป็นเอทานอล โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนั้นๆ กระบวนการการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิดได้แก่ วัตถุดิบประเภทน้ำตาล วัตถุดิบประเภทแป้ง และวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส



สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส (ลำต้นสาค้าวฟางหวาน) มาใช้ในการผลิตเอทานอล ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภาพรวมการทดลองได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพกระบวนการหมักด้วยลำต้นสาค้าวฟางหวานของงานวิจัยนี้

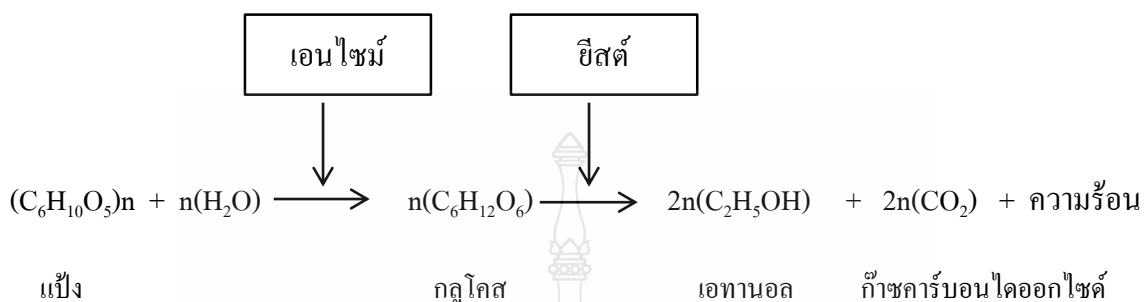
2.2.3 กระบวนการผลิตเอทานอล

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเอทานอลสามารถแบ่งออก 2 วิธีคือ การสังเคราะห์ทางเคมี และ การบวนการหมักเอทานอล

2.2.3.1 การสังเคราะห์ทางเคมี เป็นกระบวนการผลิตที่ได้จากอนุพันธ์ของสารประกอบปิโตรเลียม

2.2.3.2 กระบวนการหมักเป็นกระบวนการผลิตเอทานอลโดยอาศัยยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นเอทานอลภายใต้สภาวะของระบบที่ปราศจากออกซิเจน

หรือมีปริมาณออกซิเจนในระบบมีน้อยมาก ในทางทฤษฎี ยีสต์มีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ถึงร้อยละ 51.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนัก และ มีความร้อนเกิดขึ้นโดยสมการของการหมักเอทานอลแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแป้งเป็นเอทานอล [9]

ในทางปฏิบัติ น้ำตาลเพียงร้อยละ 95 เท่านั้น ที่จะเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ได้ นอกจากนั้นยีสต์จะใช้น้ำตาลสำหรับการเจริญเติบโตของตัวเองและเปลี่ยนเป็นผลพลอยได้อื่นๆ ได้แก่ อะซีตัลดีไฮด์ร้อยละ 0 - 0.03, กรดน้ำส้มร้อยละ 0.05 - 0.25, กลีเซอรินร้อยละ 2.5 - 3.6, กรดแลคติกร้อยละ 0 - 0.2, กรดซัคซินิกร้อยละ 0.5 - 0.77, น้ำมันฟิวเซลหรือฟิวเซลอยล์ร้อยละ 0.25 - 0.5 และ ฟิวเฟอรอลจำนวนเล็กน้อย โดยการหมักแอลกอฮอล์นั้นโดยทั่วไป จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมใช้สายพันธุ์ *S.cerevisiae* เป็นหลัก เนื่องจากเจริญเติบโตรวดเร็ว มีความทนต่อเอทานอล และให้ผลผลิตในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบว่า *S.diastaticus* และ *S.uvatum* สามารถใช้แป้งได้ ส่วนแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลที่อุณหภูมิสูงมีเพียงสายพันธุ์เดียวคือ *Z.mobilis* สามารถใช้ในการผลิตน้ำตาลกลูโคสและผลิตเอทานอลได้สูงกว่า *S.cerevisiae* โดยงานวิจัยนี้จะใช้จุลินทรีย์ผสมระหว่าง *T.reesei* และ *S.cerevisiae* ภายใต้กระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์ด้วยลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน

2.2.4 ชนิดของกระบวนการหมักเอทานอล

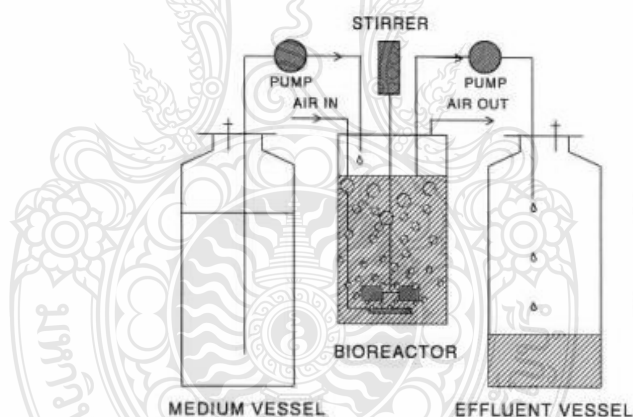
กระบวนการหมักสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

2.2.4.1 การหมักแบบแบทช์ (batch fermentation)

กระบวนการนี้เป็นการหมักในระบบปิด โดยจะมีการเติมอาหารเพียงหนึ่งครั้ง โดยเติมให้มากเกินพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเมื่อเติมจุลินทรีย์เข้าระบบแล้วจะไม่มีอาหารเติมเข้าสู่ระบบอีก สำหรับการหมักแบบแบทช์นี้ หากใช้น้ำตาลในรูปที่เหมาะสมด้วยยีสต์จะใช้เวลาการหมักประมาณ 2 - 3 วันเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 - 12 โดยปริมาตร

2.2.4.2 การหมักแบบต่อเนื่อง

กระบวนการนี้มีการเติมอาหารเข้าสู่ถังหมักในระบบตลอดเวลาและรวมถึงมีการแยกผลิตภัณฑ์ออกตลอดเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ระบบนี้ทำให้สามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุดในระยะเวลาเท่ากันเมื่อเทียบกับการหมักแบบแบทช์และการหมักแบบเฟดแบทช์

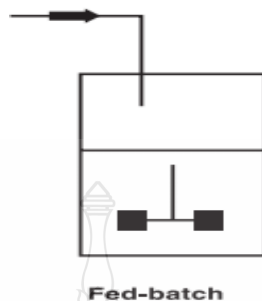


รูปที่ 2.6 กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง [10]

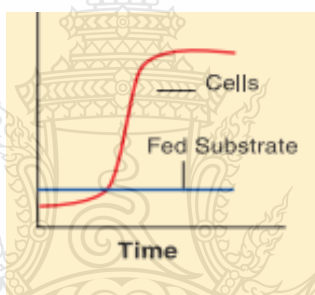
2.2.3.3 การหมักแบบเฟดแบทช์ (fed-batch fermentation)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุด โดยหลักการของกระบวนการนี้คือการเติมอาหารเข้าไปในถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมความเข้มข้นของซับสเตรตให้มีแนวโน้มของความเข้มข้นคงที่ เมื่อถึงปฏิกรณ์มีปริมาณของสารเพิ่มขึ้น จะมีการถ่ายเทสารบางส่วนหรือทั้งหมดแล้วจึงเริ่มกระบวนการใหม่ วิธีนี้เหมาะกับการผลิตที่เกิดขึ้นขณะที่เซลล์มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ซึ่งมีความต้องการอาหารน้อย ทำให้มีความเหมาะสมกับการผลิตใน

ระดับอุตสาหกรรม โดยรูปกระบวนการหมักและการเจริญเติบโตของเซลล์ในกระบวนการหมัก แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.7 การหมักแบบ fed-batch [11]



รูปที่ 2.8 การเจริญเติบโตของเซลล์ในกระบวนการหมักแบบเฟคแบทช์ [11]

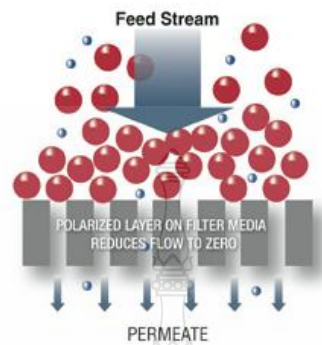
2.3 กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน

2.3.1 ลักษณะการดำเนินการกรอง

กระบวนการกรองสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นกับเกณฑ์พิจารณา ซึ่งหากใช้เกณฑ์พิจารณาเป็นลักษณะการไหลของสารป้อน จะแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

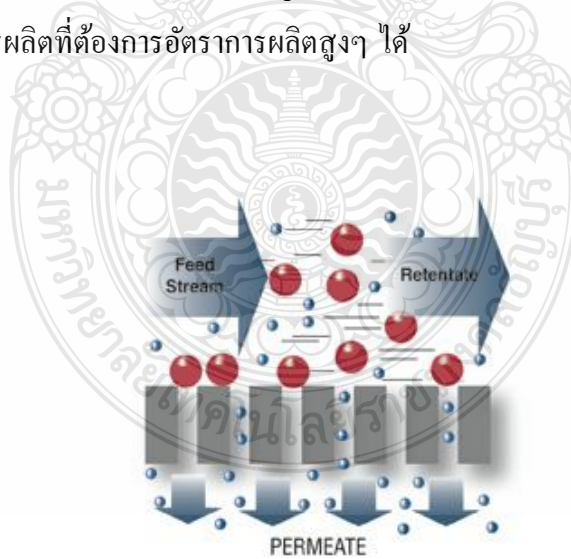
2.3.1.1 การกรองแบบปิดตาย (dead-end filtration) เป็นกระบวนการกรองที่สารป้อนมีทิศทางของการไหลตั้งฉากกับเมมเบรนดังรูปที่ 2.9 ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบริเวณหน้าเมมเบรนและเกิดเป็นชั้นเค้ก ส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์ และการเพิ่มขึ้นของความต้านทานการกรองสำหรับการปรับปรุงกระบวนการแบบปิดตายนั้น ควรให้ความสำคัญเพื่อลดความหนา

ชั้นเค้ก เพราะเกี่ยวพันโดยตรงกับความต้านทานของเมมเบรน เช่น การติดตั้งใบกวนบริเวณหน้าเมมเบรน การเพิ่มความเร็วของสารป้อน เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การไหลของสารป้อนในกระบวนการกรองแบบปิดตาย [12]

2.3.3.2 การกรองแบบไหลขวาง (crossflow filtration) เป็นกระบวนการที่สารป้อนมีทิศทางการไหลขนานกับเมมเบรนดังรูปที่ 2.10 โดยแรงเฉือนของสารป้อนสามารถลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นได้ ทำให้ค่าฟลักซ์ไม่ต่ำมากนัก จึงมีความเหมาะสมกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงและนิยมใช้กันมากในระดับอุตสาหกรรมเพราะสามารถลดคอนเซนเตรชันโพราไลเซชัน (concentration polarization) และการเกิดเค้กบนผิวหน้าเมมเบรน ระบบนี้ยังเหมาะกับการผลิตที่ต้องการอัตราการผลิตสูงๆ ได้



รูปที่ 2.10 การไหลของสารป้อนในกระบวนการกรองแบบไหลขวาง [12]

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกระบวนการเมมเบรนชนิดปิดตายและไหลขวาง
 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของเมมเบรนชนิดปิดตายและไหลขวาง [13]

กระบวนการเมมเบรนแบบปิดตาย	กระบวนการเมมเบรนแบบไหลขวาง
1. เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดเค้กหรือการสะสมของอนุภาคบนผิวหน้าเมมเบรนได้ง่าย	1. เป็นกระบวนการที่สามารถลดการสะสมของอนุภาคและการเกิดเค้กที่ผิวหน้าเมมเบรน
2. เป็นกระบวนการที่เหมาะสมกับการกรองที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายต่ำ หรือเป็นการกรองในปริมาณน้อยๆ เพื่อทดสอบเมมเบรน	2. เป็นกระบวนการที่การกรองสารในปริมาณมากๆ
3. เหมาะกับกระบวนการที่ไม่ต่อเนื่อง เพราะต้องมีการกำจัดเค้กออกจากผิวหน้าของเมมเบรน	

2.4 ชนิดกระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนสามารถแบ่งออกได้หลายแบบ ในกรณีที่ระบบการกรองเป็นเฟสของเหลวและใช้ความดันเป็นแรงขับแล้ว กระบวนการเมมเบรนสามารถแบ่งอย่างคร่าวๆ ได้ 3 ระบบคือ

2.4.1 ไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration, MF) เป็นกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนเพื่อแยกอนุภาคที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 0.1- 10 ไมโครเมตรหรือ มี MWCOมากกว่า 300,000 Daขึ้นไป และความดันที่ใช้ในกระบวนการกรองจะอยู่ในช่วง 1 – 5 atm สำหรับกระบวนการกรองในระดับไมโครฟิลเตรชันนิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เช่น ไวน์ เป็นต้น

2.4.2 อัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการกรองที่มีขนาดรูพรุนของเมมเบรนในช่วง 1-100 nm โดยสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 300-500,000 Da สำหรับกระบวนการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันนิยมใช้แยก โปรตีน เอ็นไซม์ จุลินทรีย์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้

กระบวนการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อทำการแยกเฟสของเหลวเอ็นไซม์เซลล์ จุลินทรีย์ เพื่อนำรีไซเคิลในถึงปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อทำการหมักต่อไป

2.4.3 นาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration, NF) เป็นกระบวนการกรองที่มีขนาดรูพรุนของชั้นผิว ประมาณ 2 nm และความดันที่ใช้ในการดำเนินงานอยู่ในช่วง 10-20 bar ตัวอย่างการกรองระดับ นาโนฟิลเตรชัน ได้แก่ การกรองเพื่อเอาสารเกลือแร่ (inorganics) ที่ละลายออกจากน้ำ การกรอง สารอนินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดความกระด้างออกไปจึงนิยมใช้ในการผลิตน้ำดื่ม เป็นต้น

2.5 วัสดุที่นำมาใช้ทำเมมเบรน

โดยทั่วไปเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการกรองมักผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์เป็นส่วนใหญ่ และมีการใช้เมมเบรนเซรามิกอยู่บ้าง ปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเมมเบรนอย่าง กว้างขวาง แต่มีเพียงวัสดุไม่กี่ชนิดที่นำมาสร้างเมมเบรนแล้วประสบความสำเร็จทั้งในด้านการค้าและ เทคนิค โดยตัวอย่างวัสดุพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ในการทำเมมเบรนได้แก่

2.5.1 พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (polyvinylidene fluoride) เป็นเมมเบรนที่ทนความร้อนและ สารเคมีได้เป็นอย่างดีแต่จะละลายในตัวทำละลาย aprotic เช่น dimethylformamide dimethylacetamide เมมเบรนชนิดนี้เหมาะกับงานด้านสิ่งแวดล้อม สี กระจาย โลหะเคมี เป็นต้น

2.5.2 พอลิซัลโฟน (polysulfone) เป็นเมมเบรนที่ทนความร้อน และ สารเคมีได้ดี ทนแรงดึง แรงอัดได้สูง ทนต่อกรดด่าง เมมเบรนชนิดนี้นิยมนำมาใช้งานในด้าน อาหาร ยา เทคโนโลยีชีวภาพ และด้านเคมี

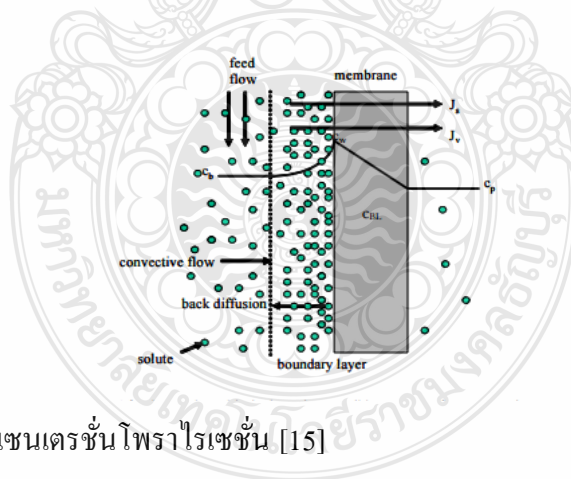
2.5.3 โพลีอีเทอร์ซัลโฟน (polyethersulfone) เป็นเมมเบรนที่ทนต่อความร้อนและสารเคมี ได้ดีคล้ายกับเมมเบรนชนิดพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ และ โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene) เมมเบรนชนิดนี้นิยมนำมาใช้งานในด้าน อาหาร ยา เทคโนโลยีชีวภาพ และด้านเคมี

2.5.4 เซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) เป็นเมมเบรนชนิด hydrophilic แต่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากมีความเป็นผลึกและมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ OH ไม่คงทนต่อความร้อน สารเคมี รวมถึงจุลินทรีย์ และถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายในสภาวะที่เป็นด่าง เมมเบรนชนิดนี้นิยมนำมาใช้งานในด้าน อาหาร ยา เทคโนโลยีชีวภาพ และด้านเคมี

2.6 ปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพราไรเซชันและฟลัวลิ่ง

คอนเซนเตรชันโพราไรเซชัน (concentration polarization) เกิดจากการที่อนุภาคของตัวถูกละลายมีการสะสมที่บริเวณหน้าแผ่นเมมเบรน จึงส่งผลให้ความเข้มข้นที่อยู่หน้าเมมเบรน สูงกว่าในส่วนของ bulk solution ดังรูปที่ 2.11 แสดงโปรไฟล์ความเข้มข้น การเกิดคอนเซนเตรชันโพราไรเซชันส่งผลให้มีการลดลงของฟลักซ์และทำให้เกิดฟลัวลิ่ง ในระยะเวลาต่อมา การดำเนินงานเพื่อลดการเกิดคอนเซนเตรชันโพราไรเซชันอาจใช้การดำเนินการกรองแบบไหลขวางและความเร็วในการกรองที่สูงมากๆ ซึ่งทำให้อนุภาคที่อยู่หน้าแผ่นเมมเบรนสามารถแพร่กลับไปในส่วนของ bulk solution

การเกิดฟลัวลิ่งเกิดจากที่อนุภาคของตัวถูกละลาย มีการอุดตันทั้งบริเวณหน้าเมมเบรนและภายในรูพรุนของเมมเบรน ส่งผลให้มีการลดลงของค่าฟลักซ์ อนุภาคที่สะสมที่อยู่หน้าแผ่นเมมเบรนอาจทำความสะอาดได้โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น อย่างไรก็ตามอนุภาคที่อุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรนจะไม่สามารถล้างด้วยน้ำกลั่นได้ จำเป็นต้องทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม เพื่อให้เมมเบรนมีสมรรถนะเหมือนเดิมหรือใกล้เคียงกับเมมเบรนใหม่ [14]



รูปที่ 2.11 การเกิดคอนเซนเตรชันโพราไรเซชัน [15]

2.7 ปัจจัยสำคัญมีผลต่อสมรรถนะของเมมเบรน

2.7.1 ความเร็วของสารป้อน เมื่อความเร็วของสารป้อนสูงขึ้น ถ้าในกรณีของกระบวนการกรองแบบปิดตายจะทำให้อนุภาคที่อยู่ของหน้าแผ่นแพร์กลับ bulk solution แต่สำหรับการกรองแบบไหลขวางแรงเฉือนของสารป้อนจะช่วยลดชั้นเค้กที่ผิวหน้าของเมมเบรน รวมถึงการลดลงฟัลลวาล์งได้

2.7.2 ความดัน เนื่องจากความเร็วของเพอมีเอทแปรผันโดยตรงกับความดันที่ใช้ในการดำเนินการกรอง ถ้าความดันในระบบสูงขึ้นจะส่งทำให้เกิดการอัดตัวของชั้นเค้กและการเกิดฟัลลวาล์งสำหรับการดำเนินงานที่ความดันสูง ๆ ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของแผ่นเมมเบรน เพราะความดันในระบบมากเกินไปอาจจะส่งผลให้เมมเบรนเสียหายได้

2.8 วิธีการป้องกันหรือการควบคุมการเกิดฟัลลวาล์ง

2.8.1 การบำบัดเบื้องต้น (pretreatment) ในกรณีสารป้อนมีสารแขวนลอยมากนั้น การป้องกันการเกิดฟัลลวาล์งจำเป็นต้องมีการบำบัดเบื้องต้น โดยทำให้สารป้อนมีการตกตะกอน หรือการกรองเบื้องต้น เป็นต้น

2.8.2 การดัดแปลงผิวหน้าของเมมเบรน (membrane surface modification) การปรับแต่งคุณสมบัติของเมมเบรนให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับสารป้อน เช่น การเติมหมู่ชอบน้ำ หรือหมู่ที่มีประจุที่ผิวหน้าของเมมเบรน เป็นต้น

2.8.3 การออกแบบอุทกพลศาสตร์ของโมดูลที่เหมาะสม (hydrodynamic optimization of the membrane module) โดยออกแบบให้เกิดแรงเฉือนเนื่องจากการไหลของสารป้อนที่ผิวหน้าของเมมเบรนสูง ๆ จะทำให้อนุภาคที่ผิวหน้าลดน้อยลง

2.8.4 การล้างเมมเบรนด้วยสารเคมี (membrane cleaning) เมื่อฟลักซ์ลดลงจนถึงระดับหนึ่งจำเป็นต้องล้างเมมเบรนเพื่อให้ค่าฟลักซ์กลับคืนมาบางส่วนหรือให้ได้เท่าเดิม สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด ได้แก่ กรดไนตริก, โซเดียมไฮดรอกไซด์, สารเชิงซ้อน EDTA (ethylene – diamine – tetra – acetic – acid), สารซักฟอก (detergent) และสารฆ่าเชื้อ (disinfectant) เป็นต้น

2.9 ฟลักซ์และการกักกัน

ฟลักซ์ หมายถึง ปริมาณของโมลหรือมวลของสารที่มีการแพร่ผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งๆ ที่ตั้งฉากกับทิศทางการแพร่ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยสามารถเทียบกับระนาบหนึ่งหรือเทียบกับระนาบที่เคลื่อนที่ โดยสมการแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$J_a = \frac{V}{a \cdot t} \quad 1$$

โดยที่ J_a คือ ฟลักซ์ของสาร a
 V คือ ปริมาตรของสาร
 a คือ พื้นที่ที่สารแพร่ผ่าน
 t คือ เวลา

ค่าการกักกัน (rejection coefficient) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของตัวถูกละลายที่ถูกเมมเบรนกักเอาไว้หรือเปอร์เซ็นต์ของสารตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ แสดงได้ดังสมการที่ 2

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_R}\right) 100 \quad 2$$

โดยที่ R คือ ค่าการกักกัน (rejection coefficient)
 C_p คือ ความเข้มข้นของสารเพอมีเอท
 C_R คือ ความเข้มข้นของสารรีเทนเททหรือสารป้อน

2.10 แบบจำลองการกรองภายใต้ความความดันคงที่ (constant pressure filtration model)

Hermia[13] เสนอแบบจำลองการกรองสำหรับสารละลายชนิดนอนนิวโตเนียน (non newtonian fluid) และ ระบบมีความดันคงที่ โดยแบบจำลองในแต่ละแบบมีแนวคิดในเรื่องการอุดตันต่างกัน

2.10.1. complete blocking filtration model (cbm)

cbm มีสมมติฐานว่าโมเลกุลหรืออนุภาคที่จะเข้าไปอุดตันรูพรุนโดยทุก ๆ โมเลกุลหรืออนุภาคมีส่วนในการอุดตันรูพรุนโดยไม่ซ้อนทับกัน สมการอัตราการผลิตของเพอมีเอทนี้แสดงได้ดังสมการที่ 3

$$\ln J_v = -k_b t + \ln J_{v,0} \quad 3$$

โดย J_v = ฟลักซ์ของเพอมีเอทที่เวลาใด ๆ (m^3/m^2h)
 $J_{v,0}$ = ฟลักซ์ของเพอมีเอทเริ่มต้น (m^3/m^2h)

t = เวลา (s)

k_0 = ค่าคงที่ของการเกิดฟัลด์ิงตามแบบจำลอง CBM (s^{-1})

2.10.2 intermediate blocking filtration model (ibm)

ibm จะมีความคล้ายคลึงกันกับ CBM คือการเกิดการอุดตันของโมเลกุลหรืออนุภาค สามารถเกิดการย้อนทับกันได้โดยสมการอัตราการไหลของเพอมีเอทนี้แสดงได้ดังสมการที่ 4

$$1/J = K_t t + 1/J_0 \quad 4$$

โดย J_v = ฟลักซ์ของเพอมีเอทที่เวลาใด ๆ (m^3/m^2h)

$J_{v,0}$ = ฟลักซ์ของเพอมีเอทเริ่มต้น (m^3/m^2h)

K_t = ค่าคงที่ของการเกิดฟัลด์ิงตามแบบจำลองของ IBM (m^{-3})

2.10.3 standard blocking filtration model (sbm)

sbm เป็นแบบจำลองที่อธิบายในการกรองสารละลายขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรน โดยอนุภาคสามารถผ่านรูพรุนไปได้และโมเลกุลบางส่วนถูกคูดซับอยู่ภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอุดตันภายในโครงสร้างของเมมเบรนเท่านั้น และไม่เกิดชั้นสะสมบนผิวหน้าของเยื่อแผ่น ดังนั้นรูพรุนของเยื่อแผ่นมีปริมาตรลดลงเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของเพอมีเอท สมการอัตราการไหลของเพอมีเอทนี้แสดงได้ดังสมการที่ 5

$$\frac{1}{J^2} = \frac{1}{J_0^2} + K_s t \quad 5$$

โดย J_v = ฟลักซ์ของเพอมีเอทที่เวลาใด ๆ (m^3/m^2h)

$J_{v,0}$ = ฟลักซ์ของเพอมีเอทเริ่มต้น (m^3/m^2h)

V = ปริมาตรของเพอมีเอท (m^3)

A_0 = พื้นที่ตัดขวางของเมมเบรน (m^2)

K_s = ค่าคงที่ของการเกิดฟัลด์ิงตามแบบจำลองของ SBM (h^{-1})

2.10.4 cake filtration model (cfm)

cfm เป็นแบบจำลองที่อธิบายการกรองอนุภาคที่มีขนาดต่าง ๆ กัน คือ 1) ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุน อนุภาคจะถูกสะสม และ เกิดเป็นเค้กที่ผิวหน้าเมมเบรน 2) ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กและใหญ่ผสมกัน อนุภาคขนาดเล็กจะถูกสะสมอยู่ภายในรูพรุนและต่อมาจะเกิดการสะสมของอนุภาคขนาดใหญ่ เกิดเป็นเค้กที่ผิวหน้าเมมเบรน จนในที่สุดเมมเบรนสามารถกักโมเลกุลหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กไว้ เกิดเป็นชั้นบางบนเมมเบรน (กรณีถ้าเป็น โมเลกุลเรียกเจล และถ้าเป็นอนุภาคเรียกเค้ก) สมการอัตราการไหลของเพอมีเอทแสดงได้ดังสมการที่ 6

$$\frac{1}{J_p^2} = \frac{1}{J_o^2} + K_c t \quad 6$$

โดย J_v = ฟลักซ์ของเพอมีเอทที่เวลาใด ๆ (m^3/m^2h)

$J_{v,o}$ = ฟลักซ์ของเพอมีเอทเริ่มต้น (m^3/m^2h)

V = ปริมาตรของเพอมีเอท (m^3)

t = เวลา (s)

K_c = ค่าคงที่ของการเกิดฟัลด์ลิ่งตามแบบจำลองของ CFM (h/m^6)

2.11 คุณสมบัติของเมมเบรน

คุณสมบัติของเมมเบรนเป็นข้อมูลสำคัญที่ผู้ซื้อต้องทราบ เพื่อใช้ในการเลือกเมมเบรนที่เหมาะสมกับการใช้งานและการเลือกใช้เมมเบรนให้เหมาะสมกับสารป้อนและสภาวะการดำเนินการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยปกติผู้ผลิตต้องให้ข้อมูลด้านคุณสมบัติเมมเบรนที่เพียงพอแก่ผู้ใช้เพื่อการใช้งานที่เหมาะสม

ขนาดของรูพรุนและความสามารถในการกักกันเกลือ เป็นคุณสมบัติของเมมเบรนอย่างแรกที่ผู้ซื้อต้องทราบ โดยทั่วไปขนาดของรูพรุนใช้บอกคุณลักษณะของเมมเบรนชนิด ของการกรองในระดับไมโครฟิลเตรชันแต่สำหรับเมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชัน จะบอกขนาดรูพรุนในรูปของค่า MWCO (molecular weight cut off) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการกักกันสารตามมวลโมเลกุลของสารขนาดรูพรุน และ MWCO ของเมมเบรนมีช่วงกว้างมากขณะที่ความสามารถ ในการ

กักกันเกลือ ใช้บอกคุณลักษณะของเมมเบรนชนิด RO และ NF คุณสมบัติอื่นๆ ของเมมเบรนที่มีความสำคัญต่อการเลือกและการใช้งานมีดังนี้

ความชอบน้ำ (hydrophobicity) และความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) เป็นคุณสมบัติที่ผู้ใช้ควรระวัง โดยทั่วไปสารปนเปื้อนประเภทอาหารซึ่งโดยส่วนใหญ่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ นิยมใช้เมมเบรนที่มีคุณสมบัติชอบน้ำทั้งนี้เพื่อลดฟาวลิงที่เกิดจากการดูดซับโปรตีน ทั้งที่ผิวของเมมเบรนทั้งในรูปพรุนและบุผนังรูพรุนของเมมเบรน หากใช้เมมเบรนที่ไม่ชอบน้ำทำให้โปรตีนซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนและมีบางส่วนที่ไม่ชอบน้ำดูดซับกับเมมเบรนได้มาก ซึ่งส่งผลต่อค่าฟลักซ์ความสามารถในการแยก ตลอดจนการกำจัดด้วยวิธีการล้าง

เมมเบรนแต่ละชนิดทนต่อสารเคมีระดับความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิไม่เหมือนกัน สำหรับเมมเบรนชนิดเซรามิกทนจะมีความทนต่อกรดต่างและอุณหภูมิได้สูงกว่าเมมเบรนที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ จึงสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยไอน้ำได้ ซึ่งเหมาะกับกระบวนการที่ต้องการความปลอดภัย การทนต่อความเป็นกรดต่างมีความสำคัญต่อการล้างเมมเบรนด้วยสารละลายต่างๆ และกรด แม้ว่าเมมเบรนชนิดเซรามิกทนต่อสภาพความเป็นกรดต่างได้ในช่วงกว้างแต่ไม่ทนต่อกรดฟอสฟอริก

2.12 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (simple regression analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัวแปร ในลักษณะเชิงเส้น (linear) โดยมีสมการถดถอยในรูป $y = \alpha + \beta X$ เมื่อนำค่า X และ Y ทั้งหมดไปพล็อตกราฟบนแกน X และ Y ซึ่งจะได้เส้นกราฟถดถอย (Regression Line) จากสมการเส้นตรงค่า α และ β เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าจึงต้องประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง วิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่า α และ β จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (The Least squares Method) โดยแทนค่าของ α และ β ในรูปของ a และ b โดยที่ค่า a เป็นค่าคงที่ที่เกิดจากจุดตัดของแกน Y ส่วน b เป็นค่าความชัน

สมการถดถอยอย่างง่ายสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 7

$$Y = a + bX$$

7

เมื่อ Y = ตัวแปรตาม (เนื่องจากค่าขึ้นกับค่า X)

- X = ตัวแปรต้น
- a = ค่าคงที่เป็นค่าที่ตัดแกน Y
- b = ความชัน

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) พิจารณาได้จากค่า b โดยสรุปเป็นกรณีได้ดังนี้

1. $b > 0$ คือ X และ Y มีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกัน
2. $b < 0$ คือ X และ Y มีความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกัน
3. b เข้าใกล้ 0 กล่าวคือ X และ Y มีความสัมพันธ์น้อยมาก
4. $b = 0$ กล่าวคือ X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์

2.12.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination)

เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ซึ่งสมการถดถอยจะสามารถพยากรณ์ได้คือเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเป็นผลมาจากอิทธิพลของตัวแปรต้นมากน้อยเพียงใด สมการถดถอยสามารถพลูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ใช้สัญลักษณ์คือ R^2 แสดงได้ดังสมการที่ 8

$$R^2 = \frac{(\sum XY - N\bar{X}\bar{Y})^2}{(\sum X^2 - N\bar{X}^2)(\sum Y^2 - N\bar{Y}^2)} \quad 8$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าใกล้เคียง 1 หมายถึงตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมาก หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าใกล้เคียง 0 กล่าวคือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Benkun Qi และ คณะ [16] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน ร่วมกับการกรองในระดับนาโนฟิลเตรชันในการรีไซเคิลเซลล์เลสและกลูโคสที่อยู่ในลิกโนเซลลูโลสที่เมมเบรน PES10 ในระดับอัลตราฟิลเตรชันดำเนินงานที่ฟลักซ์ 25.6 L/m²·h พบว่า 73.9% ของโปรตีนเซลล์เลสในสารแขวนลอยไฮโดรไลเซตที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ในขณะที่กลูโคสมีการเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นอย่างอิสระ เพอมิเอทที่ได้จากการกรองข้างต้น จะทำการกรองต่อในระดับนาโนฟิลเตรชันด้วยเมมเบรนชนิด NF270 ที่ฟลักซ์ 13.3 L/m²·h ความเข้มข้นของกลูโคสไฮโดรไลเซตในระดับอัลตราฟิลเตรชันเพิ่มขึ้นจาก 30.2 เป็น 110.2 g/L เซลล์เลสที่นำกลับมาใช้ใหม่

โดยการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันสามารถลดค่าใช้จ่ายของกระบวนการไฮโดรไลซิสของสารป้อนลิกโนเซลลูโลสในขณะที่ความเข้มข้นของกลูโคสจากการกรองในระดับนาโนฟิลเตรชันสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของการหมักของลิกโนเซลลูโลส

L.P. Ramos และ คณะ [17] ได้ศึกษาการใช้การรีไซเคิลเอนไซม์และอิทธิพลของการผสมของน้ำตาลในการย่อยสลายเซลลูโลสโดยเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อรา *Trichoderma* โดยการหมักแผ่นยูคาริปตัสที่ปรับสภาพด้วยไอน้ำระเบิดในสถานะที่เป็นค้างและเอนไซม์เซลลูเลสผสมทางการค้า *Celluclast* และการเตรียม *Novozym β -glucosidase* พบว่าการย่อยสลายเกือบทั้งหมดของซัปสเตอร์คเมื่อได้รับการย่อยสลายที่ดำเนินการที่ความเข้มข้นของสัปสเตอร์ค 6 %w/v และใช้เอนไซม์ 10 FPU/g ของเซลลูโลส เมื่อน้ำตาลที่ผสมมีความเข้มข้นสูง อัตราการย่อยสลายจะลดน้อยลง การกำจัดน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ที่ได้จากการปลดปล่อยในระหว่างการย่อยจะเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายของซัปสเตอร์คที่เหลือส่วนใหญ่ของเอนไซม์แอกติวิตี้จะเกี่ยวข้องกับสารที่ยังไม่ถูกย่อยเอนไซม์ผสมย่อยซัปสเตอร์คอย่างสมบูรณ์ที่ความเข้มข้น 2%W/V และถูกรีไซเคิลห้าขั้นตอนต่อเนื่องด้วยเวลา 48 ชั่วโมง เอนไซม์ตัวเดิมที่เกิดจากการเตรียมสามารถนำกลับมาใช้เพิ่มเติมสี่ครั้ง ถ้าช่วงเวลาของการย่อยยึดออกไป 120 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสแต่ละขั้นจะลดลงทีละน้อยของการรีไซเคิล

Ngoh Gek Cheng และ คณะ [18] ได้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคสในระบบแบทช์และเฟดแบทช์ สำหรับการหมักแบบเฟดแบทช์กลูโคสจะถูกเพิ่มเข้าไปในระบบ 16 ชั่วโมงของการหมัก ผลกระทบของอัตราการป้อนความเข้มข้นของกลูโคสที่แตกต่างกันในการหมักเอทานอลได้รับศึกษาสำหรับการหมักแบบเฟดแบทช์ อัตราการป้อนความเข้มข้นของกลูโคส 2 g/L.h ที่พบเพื่อให้ผลผลิตเอทานอลที่สูงขึ้น (2.47 กรัมเอทานอลกรัม/กลูโคส) ที่เกี่ยวกับซัปสเตอร์คที่ใช้เมื่อเทียบกับที่ความเข้มข้น 8 g/L.h (0.23 กรัมเอทานอลกรัม/กลูโคส) และ 4 g/L.h (0.20 กรัมเอทานอล/กรัมกลูโคส) ผลผลิตเอทานอลที่เกี่ยวข้องกับการที่ใช้ซัปสเตอร์คที่ได้รับในการหมักแบบแบทช์เป็น 0.81 กรัมเอทานอล/กรัมกลูโคส ในการหมักแบบเฟดแบทช์ที่ 2 g/L.h ของการป้อนน้ำตาลจะให้ผลดีว่าการหมักในระบบแบทช์

Guoqiang Chen และ คณะ [19] ได้ศึกษาการรีไซเคิลเอนไซม์เซลลูเลสจากการย่อยข้าวสาลีที่ปรับสภาพด้วยกรดโดยใช้เทคนิค *electroultra filtration* (EUF) ในระดับอัลตราฟิลเตรชันที่เพิ่มสนามไฟฟ้าภายใต้สภาพการดำเนินงานที่แตกต่างกัน (ความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น

ของกรด กระแสไฟฟ้า และ อุณหภูมิ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า EUF มีประสิทธิภาพในการลด การเกิดคอนเซนเตรชันพอรารีเซชัน (CP) และเพิ่มประสิทธิภาพของปลั๊กการกรองในการรีไซเคิล เซลลูเลส การปรับปรุงปลั๊กกระแสไฟฟ้าที่สูงคือ 150 mA ความเข้มข้นบัฟเฟอร์ต่ำ คือ 5 mM และ ใช้อุณหภูมิห้อง (23 ± 2) °C และ สภาพที่เหมาะสมในการกรองคือการกรองที่ 2% w/v ของความ เข้มข้นซับสเตรท สามารถเพิ่มลิกโนเซลลูโลสได้ 4.4 เท่าที่สนามไฟฟ้า 836 V/m ที่อุณหภูมิห้องโดย เมื่อเทียบกับไม่มีสนามไฟฟ้าพบว่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของเมมเบรน EUF สามารถนำเอนไซม์ เซลลูเลสกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากลิกโนเซลลูโลสและลดค่าใช้จ่ายในการย่อยสลาย

Mitchell Lever และ คณะ [20] ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลสโดยใช้ เอนไซม์เซลลูเลสที่ยังไม่ได้สกัดจากกระบวนการหมักแข็งด้วยเชื้อรา *T.reesei* บนฟางข้าวสาลีแทน การเตรียมเอนไซม์เกรดการค้าที่มีราคาแพงและใช้มากในการเตรียม โดยผลได้ของเอนไซม์ เซลลูเลสมีไม่สูงพอที่จะผลิตเอทานอลจากฟางข้าวสาลี ในการทำเปลี่ยนเป็นน้ำตาลและการหมักไป พร้อมกันด้วยยีส *S.cerevisiae* การเพิ่มอีก 5% ของน้ำตาลที่เปลี่ยนเป็นเอทานอลอาจจะใช้สำหรับการ ผลิตเซลลูเลส และผลวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงกระบวนการครูดเซลลูเลสที่นำมาผลิตเอทานอลโดยใช้ สารลิกโนเซลลูโลสแบบทั่วไปจะใช้งานแทนการเตรียมเอนไซม์เซลลูเลสเกรดการค้า

Jane Lindedam และ คณะ [21] ได้ศึกษาการรีไซเคิลเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิต เอทานอลจากเซลลูโลสที่มีสถานะสอดคล้องกับอุตสาหกรรม โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลสเชิงพาณิชย์ สองชนิดที่แตกต่างกันในการทำการทดสอบสำหรับการรีไซเคิลเอนไซม์เซลลูเลสของเอนไซม์- แอคติวิตี้ที่กระบวนการแห้งสูง (12% or 25% ส่วนที่แห้ง) ความสามารถในการรีไซเคิลจะวัดโดย เอนไซม์ แอคติวิตี้ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักและความสามารถของเอนไซม์ในการย่อยสลายฟางข้าวสาลีสด ที่ปรับสภาพ สภาพของอุตสาหกรรมที่ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการย่อย (40 หรือ 50 °C) และเวลาที่อยู่ถึงหมักในการรีไซเคิล การรีไซเคิลเอนไซม์ที่ 12% ส่วนที่แห้งชี้ให้เห็นการย่อยสลาย ที่ 50 °C แม้ว่าจะเหมาะสำหรับผลผลิตเอทานอล ควรจะเก็บไว้ในระยะเวลาสั้นหรือดำเนินการที่ อุณหภูมิต่ำเพื่อรักษาเอนไซม์ แอคติวิตี้ที่ดีที่สุด ผลลัพธ์การรีไซเคิลเอนไซม์ที่ 25% ส่วนที่แห้งคือ 59% และ 41% ของการเตรียมเอนไซม์แบบดั้งเดิมสำหรับของผสม *Celluclast* ชนิด *Novozyme 188* และการเตรียมเซลลูเลสที่ทันสมัยตามลำดับ

WendyD และ คณะ [22] ทำการศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างการตกตะกอนและการกรองด้วยกระบวนการเมมเบรนเพื่อการรีไซเคิลเอนไซม์เซลลูเลส ในขั้นตอนแรกลิทอนเซลลูโลสที่มีอนุภาคใหญ่กว่าประมาณ 50 ไมครอนจะถูกแยกโดยการตกตะกอน ซึ่งการกรองในระดับไมโครฟิลเตรชันถูกนำมาใช้ในการกำจัดสารแขวนลอยที่เหลือ และขั้นตอนสุดท้ายเอนไซม์ที่ละลายน้ำสามารถรีไซเคิลได้โดยใช้การกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน ฟลักซ์ของเพอมีเอทได้จากการกรองในระดับไมโครฟิลเตรชันและการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันโดยประมาณคือ 400 และ 80 L/ m² ·h ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นแสดงให้เห็นค่าใช้จ่ายของการรีไซเคิลเอนไซม์อาจมากที่สุดที่ 18 cents/gal ของเอทานอลที่ผลิตโดยมีเงื่อนไขว่า 75% ของเอนไซม์จะถูกนำกลับมาใช้



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 ลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน

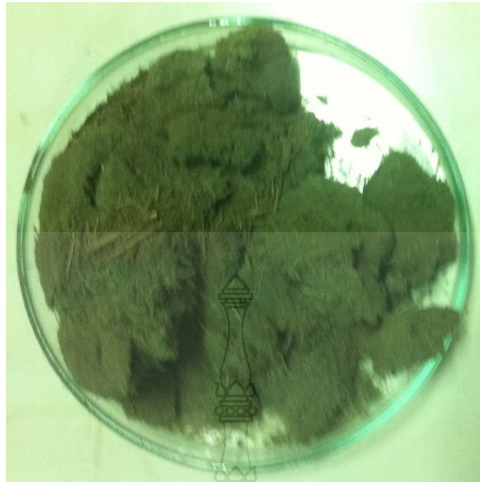
ลำต้นสดข้าวฟ่างหวานได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร สุพรรณบุรีจังหวัดสุพรรณบุรี ศึกษานาดจนมีอนุภาคอยู่ในช่วง 1 – 4.75 mm ดังรูป 3.1 จากนั้นทำการเก็บรักษาในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 3.1 ลำต้นสดข้าวฟ่างหวานที่ผ่านการลดขนาด

3.1.2 จุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ผสม RT-P3 ได้มาจากเชื้อราไตรโคเดอร์มา ริติอี RT-P1 (*T.reesei* RT-P1) และ ยีสต์แซคคาโรมายซิส ซีรีวีลีส RT-P2 (*S.cerevisiae* RT-P2) ผ่านกระบวนการหมักแข็งและอบแห้ง ได้ผลิตภัณฑ์คือผงจุลินทรีย์ผสม RT-P3 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการอนุเคราะห์ผงจุลินทรีย์ผสม RT-P3 จากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตัวอย่างของผงจุลินทรีย์ผสมแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผงจูดินทรีย์ผสม RT-P3

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดAR. บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd

3.1.3.2 กรดอะซิติกความเข้มข้น 99.8 % เกรดAR. บริษัทBHD laboratory supplies
Poole bh 15 1TD England

3.1.3.3 แอมโมเนียมซัลเฟตเกรดAR. บริษัทAjax Finechem Pty Ltd

3.1.3.4 แมกนีเซียมซัลเฟตเกรดAR. บริษัทAjax Finechem Pty Ltd

3.1.3.5 โพแทสเซียมซัลเฟตเกรดAR. บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd

3.1.3.6 กรดซัลฟูริกเกรดAR. บริษัทQReC

3.1.3.7 โซเดียมโพแทสเซียมดาร์เตรทเกรดAR. บริษัทAjax Finechem Pty Ltd

3.1.3.8 กรดไดโนโตรซาลิไซลิกเกรดAR บริษัท SIGMA-ALDRICH

3.1.3.9 โพแทสเซียมไดโครเมต เกรดAR. บริษัทAjax Finechem Pty Ltd

3.1.3.10 น้ำตาลปีบ

3.1.3.11 เอทานอลเกรด AR.บริษัท RciLabscan Limited

3.2 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการใช้งาน

3.2.1 เครื่องแก้วสำหรับการทดลอง ประกอบด้วย กระจบอกรับปริมาตร 10, 100 และ 1000 mL ปีกเกอร์ขนาด 50, 250 และ 2000 mL ขวดเก็บสารตัวอย่าง 25, 500 และ 100 mL แท่งแก้วสำหรับคนสารและปิเปตขนาด 1, 5, 10 และ 25 mL

3.2.2 เมมเบรนที่ใช้เป็นชนิดการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันเป็นเกรดการค้า Quix stand บริษัท GE Healthcare Bio-Sciences AB วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนคือ โพลีซัลโฟน (polysulphone) มีคุณลักษณะของเมมเบรนแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะเมมเบรนในการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน

เมมเบรน	อัลตราฟิลเตรชัน
น้ำหนักโมเลกุลตัดในการกรอง	30,000 NMWC
พื้นที่ผิวการกรอง	420 cm ²

สำหรับเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองนี้เก็บในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 N และก่อนการกรองจะต้องทำการล้างด้วยน้ำกลั่นจนโซเดียมไฮดรอกไซด์หมดจากเมมเบรนและใช้ค่าฟลักซ์เป็นเกณฑ์ปรับสภาพเมมเบรนก่อนใช้ทดลอง รายละเอียดการปรับสภาพแสดงในหัวข้อ 3.2.9.2 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

3.2.2.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) บริษัท KK รุ่น YCW-010.

3.2.2.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP2215

3.2.2.3 แท่งแก้วคนสาร

3.2.2.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Spectronic รุ่น

Genesy 10

3.2.2.5 คิวเวต (cuvette) ชนิดควอทซ์

3.2.2.6 กระจบอกรับขนาด 20 มิลลิลิตร

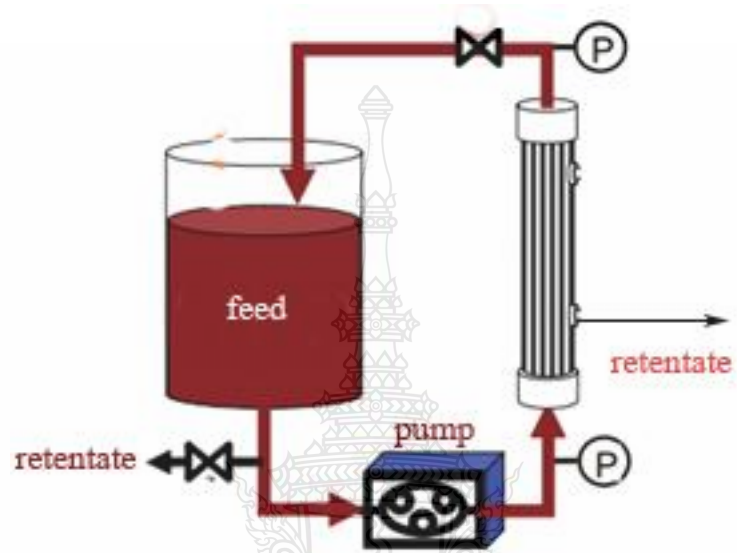
3.2.2.7 ขวดรูปหมฟู่ขนาด 1000 มิลลิลิตร

3.2.2.8 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ยี่ห้อ Sturdy รุ่น sa-300ve

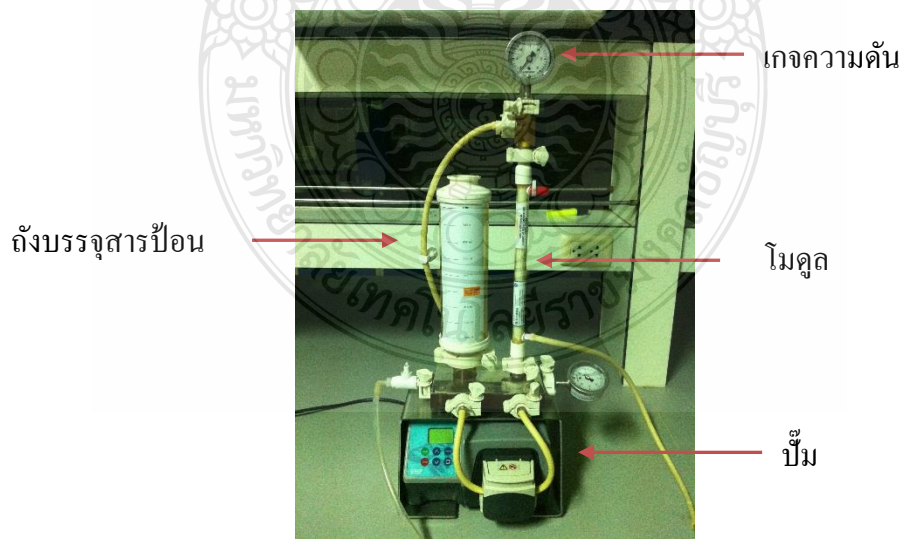
3.2.2.9 ชุดการกรอง

ระบบการกรองแบบไหลขวางของการทดลองแสดงได้ดังแผนภาพ

รูปที่ 3.3 และ ชุดการกรองจริงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3.แผนภาพระบบการกรองแบบไหลขวาง



รูปที่ 3.4 ชุดการกรองแบบไหลขวาง

3.2.2.10 การติดตั้งชุดการกรองเมมเบรนแบบไหลขวาง

ฐานของชุดการทดลองประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่ติดตั้งบรรจุสารป้อน (reservoir) และ ส่วนที่ติดตั้งเมมเบรน โดยมีวิธีการติดตั้งดังนี้

1) วางถังบรรจุสารป้อนที่มีขนาด 1 ลิตรวางบนฐานชุดการทดลอง จากนั้นปรับยัดถังบรรจุสารป้อนกับฐานเพื่อล็อกให้แน่น

2) ทำการต่อวาล์วเก็บตัวอย่างรีเทนเทต (ด้านซ้ายมือของตัวฐาน) แล้วยัดวาล์วด้วยตัวยัดให้แน่น วาล์วส่วนนี้ถูกใช้เก็บตัวอย่างของรีเทนเทต

3) ทำการเชื่อมสายยางที่ฐานของชุดการกรองเข้าสู่ปั๊มและเข้าสู่ส่วนของเมมเบรน

4) ทำการติดตั้งเกจวัดความดัน (เพอมีเอท) ที่อยู่ทางข้างฐานชุดการทดลอง และเกจวัดความดันที่ด้านบนของเมมเบรน (รีเทนเทต) แล้วทำการยัดวาล์วทั้งสองให้แน่น

3.2.2.11 การปรับสภาพเมมเบรนก่อนการใช้

ก่อนการใช้เมมเบรนทุกครั้ง เมมเบรนจะถูกล้างและปรับสภาพโดยใช้น้ำกลั่น ทั้งนี้เนื่องจากเมมเบรนถูกแช่เก็บด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 N จำเป็นต้องล้างสารละลายที่ติดค้างอยู่ในเมมเบรนออก ดังนั้นน้ำกลั่นจึงถูกนำมาใช้เพื่อล้างสารละลายดังกล่าว การล้างจะดำเนินไปจนกระทั่งได้ค่าฟลักซ์ของน้ำกลั่นเท่ากับค่าฟลักซ์ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ค้า (ค่าฟลักซ์กำหนดดังนี้ ภายใน 30 วินาที ต้องได้ปริมาตรของน้ำกลั่น 10 mL)

หมายเหตุ: จากการทดสอบระบบพบว่า การล้างเมมเบรนเพื่อให้ได้ค่าฟลักซ์ที่กำหนดนั้น จะใช้การล้างด้วยน้ำกลั่นโดยประมาณ 5 ครั้ง ครั้งละ 1 ลิตร ที่ความเร็ว 0.02 m/s

3.2.2.12 การทำความสะอาดเมมเบรนหลังการใช้งาน

หลังการทดลองการกรองทุกครั้ง ชุดเมมเบรนจะถูกล้างเพื่อกำจัดสารแขวนลอย จุลินทรีย์ และอื่นๆ ที่ติดค้างเมมเบรนโดยใช้น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้การล้างแบบการกรองทิ้งของเพอมีเอท (ไม่มีรีเทนเทต) ณ ความเร็ว 0.02 m/s โดยมีลำดับการล้างทำความสะอาดดังนี้

ครั้งที่ 1 ล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร

ครั้งที่ 2 ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 N

ปริมาตร 1 ลิตร

ครั้งที่ 3 ล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร

ครั้งที่ 4 ถ้างด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร

ครั้งที่ 5 ถ้างด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร

หมายเหตุ:สำหรับความเร็วไหลขวางที่ 0.02 m/s โดยใช้ความเร็วรอบปัมที่ 30 rpm และควบคุมความดันตกคร่อม 5 psig

3.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารป้อนจากกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ทำในถังปฏิกรณ์แก้วขนาด 15 L ที่มีใบกวน โดยใช้ ลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน 2100 g อาหารเหลว LM-pH 5 ปริมาตร 6 ลิตร และผงจุลินทรีย์ผสม RT-P3 270 g โดยความเร็วในการกวนผสมและปริมาตรของการเติมอาหาร เหลว LM-pH 5 ที่สถานะที่เหมาะสมซึ่งได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา [23] วิธีการทดลองในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

3.3.1 การเตรียมสารป้อนเพื่อใช้ในการกรองด้วยเมมเบรนในระดับอัลตราฟิลเตรชันในระบบการกรองแบบไหลขวางโดยการเตรียมสารป้อน 3 แบบ ดังต่อไปนี้

3.3.1.1 สารป้อนจากกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ที่ความเข้มข้นรวมของน้ำตาล 0 g/L

ลำต้นสดข้าวฟ่างหวานจำนวน 2100 g และอาหารเหลวปลอดเชื้อ LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลปริมาตร 6 ลิตร ใช้ผงจุลินทรีย์ผสม RT-P3 จำนวน 270 g แล้วทำการหมัก โดยผสมในถังหมักขนาด 15 ลิตร แล้วปิดถังหมัก จากนั้นทำการกวนผสมให้เข้ากันโดยใช้ความเร็วรอบของใบกวน 220-230 rpm ให้ระบบสม่ำเสมอหลังจากนั้นรอนกระทั่งสารตกตะกอนและเก็บตัวอย่างสารละลายใสด้านบน 10 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลก่อนจากนั้น บั่นกวนระบบด้วยความเร็วรอบของใบกวน 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 20 mL เพื่อวัดคุณสมบัติของน้ำหมักเริ่มต้น (ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ปริมาณเอทานอล และเซลล์ลิวส์ - แอคติวิตี) และเริ่มนับวันแรกนี้เป็นวันที่ 0 ของการหมัก ในระหว่างการหมักเอทานอลจะเติมอาหารเหลว LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาล จำนวน 500 mL ทุก ๆ 2 วัน

* หมายเหตุ:อาหารเหลวปลอดเชื้อ LM pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาล เตรียมได้โดยการนึ่งด้วยหม้อนึ่งไอน้ำที่ความดัน 15 psig ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นระยะเวลา 30 นาที รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

การหมักในขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลา 10 วันการดูแลกระบวนการหมักข้างต้น จะต้องมีการกวนผสมทุกวัน วันละ 3 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 220-230 rpm (โดยเวลาการกวนผสมและ เก็บตัวอย่างจะเป็นช่วงเวลาเดียวกันทุกวัน) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง[21]จากนั้นทำการเก็บตัวอย่าง ทุกวันเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำหมักดังนี้

1) เก็บตัวอย่างส่วนสารละลายใสด้านบน 10 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ เอทานอลก่อน

2) จากนั้นปั่นกวนระบบด้วยความเร็วรอบของใบกวน 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 20 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และ เซลลูลอส แอคติวิตี

สำหรับการเติมอาหารเหลว LM - pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลเข้าสู่ถังหมักนั้น จะ ทำทุก 2 วัน[21] โดยเติมทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการกวนผสม ความเร็วรอบ 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที จนกระทั่งระบบมีความสม่ำเสมอ จากนั้นทำการวัด ค่าพีเอชของระบบให้เป็น 5 โดยการควบคุมค่าพีเอชมีดังนี้ หากระบบเป็นกรด จะใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5N แต่หากระบบเป็นด่าง จะใช้กรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 99.8 % เกรดวิเคราะห์

3.3.1.2 สารป้อนจากกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหาร เหลว LM-pH 5 ที่ความเข้มข้นรวมของน้ำตาล 30 g/L

ในวันที่ 11 ของการหมักก่อนการกรองทำการดึงสารส่วนที่ใส 10 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลก่อน จากนั้นปั่นกวนระบบด้วยความเร็วรอบของใบกวน 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 20 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของ จุลินทรีย์ และเซลลูลอส แอคติวิตี จากนั้นทำการดึงน้ำหมัก (สารละลายใสด้านบน) ปริมาตร 1 L ออกจากถังหมักเพื่อนำเข้าสู่ระบบกรองด้วยเมมเบรนแบบไหลขวาง เพื่อหาประสิทธิภาพการกักกั้น น้ำตาล เอทานอล และจุลินทรีย์ โดยมีตัวแปรอิสระคือความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s และควบคุมอัตราส่วนการกรองของสารป้อนต่อกระแสเพอร์มิเอทเป็น 10:7 โดยปริมาตร โดยในระหว่างการกรองจะทำการเก็บค่าฟลักซ์การกรอง เมื่อสิ้นสุดการกรอง จะทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ปริมาณเอทานอล และเซลลูลอส แอคติวิตีใน กระแสเพอร์มิเอทและรีเทนเทตเนื่องด้วยผลการทดลองจากข้อ 3.1.1.1 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในน้ำหมักมีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงการหมัก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำตาล

เข้าสู่กระบวนการหมักโดยการทดลองในส่วนแรกเริ่มใช้อาหารเหลว LM - pH5 สูตรมีน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30 g/L โดยเติมในถังตั้งปฏิกรณ์ที่คงเหลืออยู่จากข้อ 3.1.1.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) จากถังปฏิกรณ์ในข้อ 3.1.1.1 ทำการเติมอาหารเหลว LM-pH5 สูตรไม่มีน้ำตาลแล้วปรับความเข้มข้นน้ำตาลรวมให้ได้ 30 g/L ในวันที่ 12 ของการหมักจากนั้นทำการเลี้ยงระบบต่ออีก 6 วัน (เป็นวันที่ 18 ของการหมัก) เพื่อปรับสภาพระบบให้มีความเสถียร โดยในระหว่างการหมักนั้น มีการตรวจสอบสถานะของระบบทุกวันและเติมอาหารเหลว LM - pH5 สูตรไม่มีน้ำตาลแล้วปรับความเข้มข้นน้ำตาลรวมให้ได้ 30 g/L ทุก 2 วัน

2) ในวันที่ 19 ทำการกรองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.1 ดั้งนี้ก่อนการกรองทำการดึงสารส่วนที่ใส 10 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลก่อนจากนั้นปั่นกวนระบบด้วยความเร็วรอบของใบกวน 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 20 mL เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และเซลล์ลิวสแอคทีวิตีจากนั้นทำการคูดน้ำหมัก (สารละลายใสด้านบน) ปริมาตร 1 ลิตรออกจากถังหมักเพื่อนำเข้าสู่ระบบกรองด้วยเมมเบรนแบบไหลขวางต่อไป เพื่อหาประสิทธิภาพการกักกันน้ำตาล เอทานอลและจุลินทรีย์ โดยมีตัวแปรอิสระคือความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s และควบคุมอัตราส่วนการกรองของสารป้อนต่อกระแสเพอร์มิเอทเป็น 10:7 โดยปริมาตร ในระหว่างการกรองจะทำการเก็บค่าฟลักซ์การกรอง

เมื่อสิ้นสุดการกรองจะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ปริมาณเอทานอลและเซลล์ลิวสแอคทีวิตีในกระแสเพอริเอทและรีเทนเตด จากนั้นผลิตภัณฑ์ทั้งสองกระแสจะถูกเก็บในตู้เย็น โดยส่วนรีเทนเตดจะถูกนำไปใช้ในการเติมเข้าสู่ถังหมักในวันถัดไป

3) จากนั้นใช้รีเทนเตด 300 mL ได้จากการกรองน้ำหมักในข้อ 2) มาผสมกับอาหารเหลว LM-pH5 สูตรไม่มีน้ำตาลปริมาตร 200 mL ที่ปลอดเชื้อทำการปรับความเข้มข้นของน้ำตาลให้มีความเข้มข้นโดยรวมทั้งหมดให้เป็น 30 g/L และทำการดูแลกระบวนการหมักต่อโดยให้มีการกวนผสมทุกวัน วันละ 3 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 220-230 rpm (โดยเวลาการกวนผสมและเก็บตัวอย่างจะเป็นช่วงเวลาเดียวกันทุกวัน) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 20 mL เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำหมัก และหลังจากการกรองครั้งที่ 2 จะทำการดึงสารมาทำการกรองทุก ๆ 4 วัน โดยในระหว่างการหมักเอทานอลจะเติมอาหารเหลว จทำการเติมอาหารทุก ๆ 2 วัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ในช่วงที่มีการกรองสารจะใช้รีเทนเตดที่ได้จากการกรอง ใช้รีเทนเตด ปริมาตร 300mL มาผสมกับอาหารเหลว LM-pH5 สูตรไม่มีน้ำตาล ปริมาตร 200mL จากนั้นทำการปรับความเข้มข้นของน้ำตาลให้มีความเข้มข้นโดยรวมทั้งหมดให้เป็น 30g/L

สำหรับในช่วงที่ไม่มีการกรองจะใช้อาหารเหลว LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลและปรับความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ 30 g/L

4) สำหรับการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 สูตรมีน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30 g/L โดยจะมีการดั่งสารออกมากรองทั้งสิ้น 7 ครั้งและหลังจากการกรองจะทำการปฏิบัติตามข้อ 2) และ 3) ทุกครั้ง โดยรวมระยะเวลาในการหมักส่วนนี้ทั้งสิ้น 27 วัน

3.3.1.3 สารป้อนจากกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ที่ความเข้มข้นรวมของน้ำตาล 40 g/L

เนื่องด้วยผลการทดลองจากข้อ 3.3.1.2 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มต่ำและค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงการหมักจึงส่งผลให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำตาลเข้าสู่กระบวนการหมักที่ความเข้มข้นโดยรวมเป็น 40 g/L ซึ่งมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

1) ทำการหมักต่อจากข้อ 3.3.1.2 โดยหลังจากการกรองในวันที่ 30 ของการหมักจะทำการตรวจสภาพถังปฏิกรณ์เดิมที่คงเหลือ (ลำต้นข้าวฟ่างหวานที่หมัก+น้ำหมัก+อาหารเหลวบางส่วน) ดังต่อไปนี้ ให้ทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 10 mL โดยไม่มีการกวนผสมในถัง เพื่อทำการวัดปริมาณเอทานอล หลังจากนั้นให้ทำการกวนผสมด้วยความเร็ว 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างปริมาตร 20 mL เพื่อทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์และเซลล์เดส แอคติวิตี

2) ใช้รีเทนเทด 300 mL ใ้จากกรองน้ำหมักในข้อ 1) มาผสมกับอาหารเหลว LM-pH5 สูตรไม่มีน้ำตาลปริมาตร 200 mL ที่ปลอดเชื้อทำการปรับความเข้มข้นของน้ำตาลให้มี ความเข้มข้นโดยรวมทั้งหมดให้เป็น 40 g/L

3) นำรีเทนเทดที่ผสมกับอาหารเหลวในข้อ 2) ใ้ลงในถังหมักเดิมที่คงเหลือไว้ในข้อ 2) จากนั้นทำการกวนผสมด้วยความเร็ว 220 - 230 rpm ให้สม่ำเสมอทั่วทั้งระบบ แล้วทำการวัดพีเอช ทั้งนี้เพื่อปรับค่าพีเอชระบบให้เป็น 5 ดังนี้ หากระบบเป็นกรด จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5N แต่หากระบบเป็นด่าง จะใช้กรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 99.8 % จากนั้นปิดฝาถังหมัก แล้วทิ้งไว้หนึ่งคืน (ช่วงเวลาโดยประมาณ 12-15 ชั่วโมง)

4) จากนั้นทำการดูแลกระบวนการหมักข้อ 3) โดยให้มีการกวนผสมทุกวัน วัน ละ 3 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 220-230 rpm (โดยเวลาการกวนผสมและเก็บตัวอย่างจะเป็นช่วงเวลาเดียวกันทุกวัน) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 20 mL เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำหมัก และหลังจากการกรองครั้งที่ 2 จะทำการดั่งสารมาทำการกรองทุก ๆ 4 วัน

ในระหว่างการหมักเอทานอลจะเติมอาหารเหลวทุก ๆ 2 วัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ในช่วงที่มีการกรองสารจะใช้รีเทนเทตที่ได้จากการกรอง ใช้รีเทนเทต ปริมาตร 300 mL มาผสมกับอาหารเหลว LM-pH5 สูตรไม่มีน้ำตาลปริมาตร 200 mL จากนั้นทำการปรับความเข้มข้นของน้ำตาลให้มีความเข้มข้นโดยรวมทั้งหมดให้เป็น 40 g/L และสำหรับในช่วงที่ไม่มีการกรองจะใช้อาหารเหลว LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลและปรับความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ 40 g/L

5) เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 35 วัน เนื่องจากข้าวฟ่างหวานถูกย่อยจนสภาพภายในถึงหมักมีสภาพภายในระบบเป็นของเหลวและตะกอนของข้าวฟ่างหวานที่มีขนาดเล็กจึงทำการเติมข้าวฟ่างเข้าสู่ถังหมักจำนวน 1050 กรัม โดยก่อนทำการเติมข้าวฟ่างจะต้องไปทำให้ปลอดเชื้อเช่นเดียวกับอาหารเหลวแล้วจึงป้อนเข้าสู่ถังหมักและกวนผสมที่ความเร็วรอบ 220-230 rpm จนสภาพภายในระบบสม่ำเสมอ และทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการเติมข้าวฟ่างหวาน

6) สำหรับการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM – pH 5 สูตรมีน้ำตาลที่ความเข้มข้น 40 g/L โดยในช่วงก่อนการเติมข้าวฟ่างหวานจะมีการดั่งสารออกมารองทั้งสิ้น 2 ครั้งและหลังจากการเติมข้าวฟ่างหวานจะมีการดั่งสารออกมารองอีก 4 ครั้ง รวมระยะเวลาในการหมักส่วนนี้ทั้งสิ้น 15 วัน และคิดเป็นระยะในการหมักรวมข้อ 3.3.1.1, 3.3.1.2 และ 3.3.1.3 ทั้งสิ้น 54 วัน

7) หลังจากนั้นให้นำหมักที่เหลือในข้อ 6) นำมาใช้ในการกรองแบบไหลขวางที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 0.19 และ 0.25 m/s ตามลำดับโดยคุณสมบัติที่ได้จากการกรองคือ ฟลักซ์, ค่าการกักกัน ในเทอมของน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และเอทานอล, เซลลูเลส-แอกติวิตี และกลไกฟาล์วที่ก่อกำเนิดในระหว่างการกรอง 3.3.2. การศึกษาการแยกกรดเซลลูเลสรวมถึงการรีไซเคิลกลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองด้วยเทคโนโลยีเมมเบรนแบบไหลขวางในระดับอัลตราฟิลเตรชัน โดยมีตัวแปรควบคุมที่ความเร็วไหลขวาง (ช่วงการศึกษา: 0.13, 0.19, 0.25 m/s) และตัวแปรตามคือน้ำตาลรีดิวซ์, เอทานอล, เซลลูเลสแอกติวิตี และความเข้มข้นของจุลินทรีย์

3.3.2. การศึกษาการใช้สภาวะของการกรองที่เหมาะสมในการแยกสารละลายควบคุมดังนี้

3.3.2.1 สารละลายเอทานอล

ตัวแปรควบคุมดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (ช่วงการศึกษา: 40 - 360g/L)
2. ความเร็วไหลขวาง (ช่วงการศึกษา: 0.13, 0.19 m/s)

ตัวแปรตาม: ปริมาณเอทานอลในเพอมีเอทและรีเทนเทด

3.3.2.2 สารละลายน้ำตาล

ตัวแปรควบคุมดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (ช่วงการศึกษา: 30-50 g/L)
2. ความเร็วไหลขวาง (ช่วงการศึกษา: 0.13, 0.19 m/s)

ตัวแปรตาม: น้ำตาลรีตเินซ์ในเพอมีเอทและรีเทนเทด

สำหรับการศึกษาโดยใช้สภาวะของการกรองที่เหมาะสมในการแยกสารละลายควบคุมโดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1) สำหรับสารละลายเอทานอล: ทำการเตรียมเอทานอลปริมาตร 50.63, 151.89 และ 455.69 mL ตามลำดับ และปรับปริมาตรให้ได้ 1000 mL โดยสารละลายที่เตรียมได้จะมีความเข้มข้น 40 120 และ 360 g/L ตามลำดับ

2) นำสารละลายในข้อที่ 1 ไปทำการกรองด้วยชุดการกรองแบบไหลขวางที่ความเร็วไหลขวางที่ 0.13 และ 0.19 m/s ตามลำดับโดยคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองคือ ฟลักซ์ ค่าการกักกันในการกรอง ความเข้มข้นของเอทานอล

3) สำหรับสารละลายน้ำตาล: ทำการเตรียมน้ำตาลปีบน้ำหนัก 30, 40 และ 50 g ตามลำดับ และปรับปริมาตรให้ได้ 1000 mL โดยสารละลายที่เตรียมได้จะมีความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L ตามลำดับ

4) นำสารละลายในข้อที่ 3 ไปทำการกรองด้วยชุดการกรองแบบไหลขวางที่ความเร็วไหลขวางที่ 0.13 และ 0.19 m/s ตามลำดับโดยคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองคือ ฟลักซ์ ค่าการกักกันในการกรอง ความเข้มข้นของเอทานอล

3.3.3 การศึกษาการนำไปใช้การผลิตจริง จะใช้สภาวะการกรองที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.1 พร้อมการรีไซเคิลรีเทนเทดเข้าสู่ถังหมักเพื่อใช้ในการหมัก โดยระยะเวลาในการหมักทั้งสิ้น 52 วัน และทำการกรองแบบไหลขวาง ตามช่วงเวลาทุก 4 วัน ดังนั้นจำนวนครั้งการกรองทั้งสิ้น 13 ครั้งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.3.1 เตรียมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานจำนวน 2100 g และอาหารเหลวปลอดเชื้อ LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลปริมาตร 6 ลิตร นำไปผสมในถังหมักขนาด 15 ลิตร โดยใช้จุลินทรีย์ผสม RT-P3 จำนวน 270 g ปิดถังหมัก จากนั้นทำการกวนผสมให้เข้ากันโดยใช้ความเร็วรอบของใบกวน 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 20 mL. เพื่อวัดคุณสมบัติของน้ำหมักเริ่มต้น (ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ปริมาณเอทานอล และเซลลูเลสแอกติวิตี) และเริ่มนับวันแรกนี้เป็นวันที่ 0 ของการหมัก

นอกจากนี้ระบบถังหมักจะถูกตรวจสอบสมบัติของน้ำหมัก (ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ปริมาณเอทานอล และเซลลูเลส แอกติวิตี) ทุก 24 ชั่วโมง โดยจะทำการเก็บตัวอย่างส่วนของสารละลายใสด้านบน 10 mL. เพื่อวัดเอทานอลก่อน จากนั้นทำการปั่นกวนระบบด้วยความเร็วรอบ 220-230 rpm เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้สม่ำเสมอ แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 20 mL. เพื่อวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และเซลลูเลสแอกติวิตี

3.3.3.2 สำหรับการกรองแบบไหลขวาง จะทำทุก 4 วัน ดังนี้ ทำการดึงสารละลายใสด้านบนของถังหมักปริมาตร 1 ลิตร เพื่อเข้าสู่กระบวนการกรองสถานะการกรองเป็นไปตามสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.1 และควบคุมอัตราส่วนการกรองของสารป้อนต่อกระแสเพอร์มิเอทเป็น 10:7 โดยปริมาตร โดยในระหว่างการกรองจะทำการเก็บค่าฟลักซ์การกรอง

เมื่อสิ้นสุดการกรอง จะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ปริมาณเอทานอลและเซลลูเลสแอกติวิตีในกระแสเพอร์มิเอทและรีเทนเนต จากนั้นผลิตภัณฑ์ทั้งสองกระแสจะถูกเก็บในตู้เย็น โดยส่วนรีเทนเนตจะถูกนำไปใช้ในการเติมเข้าสู่ถังหมักในวันถัดไป

3.3.3.3 ในระหว่างการหมักเอทานอลตั้งแต่วันเริ่มต้น จะเติมอาหารเหลวปลอดเชื้อ LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาล จำนวน 500 mL และทำการปรับความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ 40 g/L ทุกๆ 2 วัน

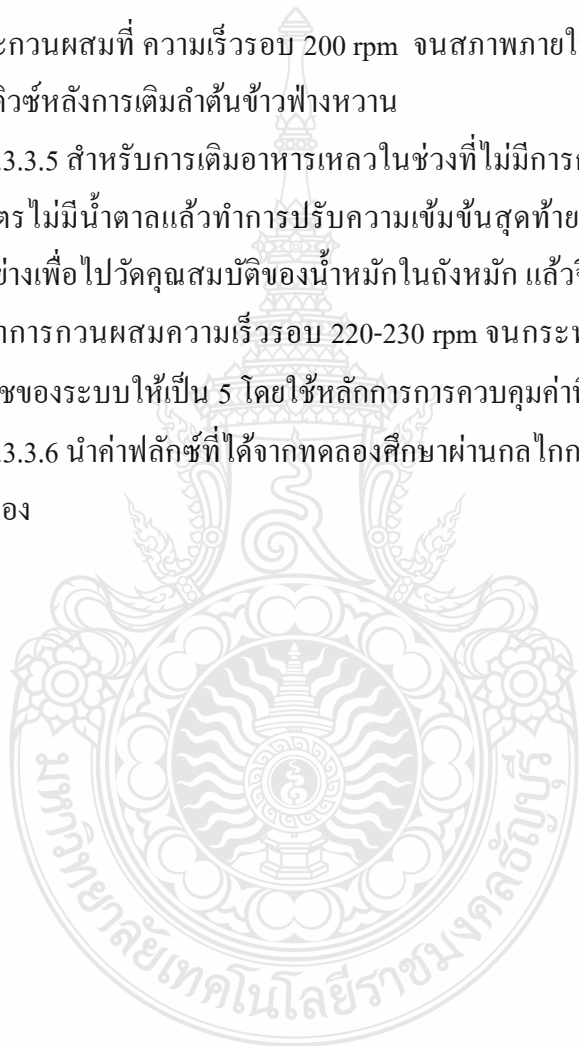
สำหรับช่วงที่มีการกรองก่อนหน้าการเติมอาหารเหลวนั้น จะใช้รีเทนเนตที่ได้จากการกรองปริมาตร 300 mL นำมาผสมกับอาหารเหลวปลอดเชื้อ LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาล ปริมาตร 200 mL แล้วทำการปรับความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ 40 g/L โดยก่อนเติมอาหารเหลวที่มีการผสมรีเทนเนตนั้น จะทำการสุ่มเก็บสารตัวอย่างเพื่อไปวัดคุณสมบัติของน้ำหมักในถังหมัก แล้วจึงเติมอาหารเหลวที่มีการผสมรีเทนเนตทันที หลังจากนั้นจึงทำการกวนผสมความเร็วรอบ 220 - 230 rpm จนกระทั่งระบบมีความสม่ำเสมอประมาณ 15 นาทีจากนั้นทำการปรับค่าพีเอชของระบบให้เป็น 5

โดยการควบคุมค่าพีเอชมีดังนี้ หากระบบเป็นกรด จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 N แต่หากระบบเป็นด่างจะใช้กรดอะซิติก

3.3.3.4 เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 35 วันแล้ว ลำต้นข้าวฟ่างหวานภายในถังหมักถูกย่อยจนมีสภาพตะกอนเหลวข้าวฟ่างหวานขนาดเล็กจึงทำการเติมข้าวฟ่างเข้าสู่ถังหมักจำนวน 1050 กรัมโดยก่อนทำการเติมข้าวฟ่างจะต้องไปทำให้ปลอดเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำที่ความดัน 15 psig อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้ที่เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงป้อนเข้าสู่ ถังหมักและกวนผสมที่ ความเร็วรอบ 200 rpm จนสภาพภายในระบบสม่ำเสมอ และทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังการเติมลำต้นข้าวฟ่างหวาน

3.3.3.5 สำหรับการเติมอาหารเหลวในช่วงที่ไม่มีการกรองนั้นจะใช้อาหารเหลวปลอดเชื้อ LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลแล้วทำการปรับความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ 40 g/L โดยก่อนเติมจะต้องสุ่มเก็บสารตัวอย่างเพื่อไปวัดคุณสมบัติของน้ำหมักในถังหมัก แล้วจึงเติมอาหารเหลวดังกล่าวทันที หลังจากนั้นจึงทำการกวนผสมความเร็วรอบ 220-230 rpm จนกระทั่งระบบมีความสม่ำเสมอ จากนั้นทำการวัดค่าพีเอชของระบบให้เป็น 5 โดยใช้หลักการการควบคุมค่าพีเอชในข้อ 3.4.3

3.3.3.6 นำค่าฟลักซ์ที่ได้จากทดลองศึกษาผ่านกลไกการเกิดฟาวล์ลิงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการกรอง



บทที่ 4

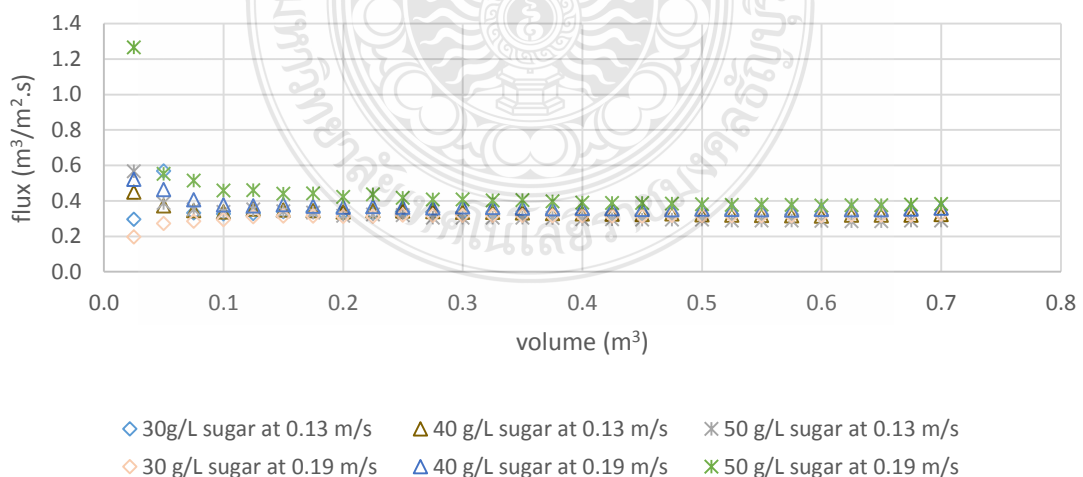
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1. การศึกษาประสิทธิภาพเมมเบรนในการแยกสารละลายสังเคราะห์และโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

สารละลายสังเคราะห์ที่ทำการศึกษาประกอบด้วย สารละลายน้ำตาลปีบที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L โดยทำการศึกษาผ่าน โมเดลการกรองของเซอร์เมียร์ที่สภาวะความดันคงที่ซึ่งประกอบด้วย 4 โมเดลคือ complete blocking model, standard blocking model, intermediate blocking model และ cake filtration model โดยการนำข้อมูลมาพล็อตกราฟตามโมเดลข้างต้นและใช้เทคนิคปรับเส้นโค้งและทำการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยเลือกค่าที่มากที่สุดเช่นเดียวกับงานวิจัยของ D.Vasanth และ คณะ [24] และงานวิจัยของ M. Said และ คณะ [25] มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ฟลักซ์สารละลายน้ำตาลในภาพรวม

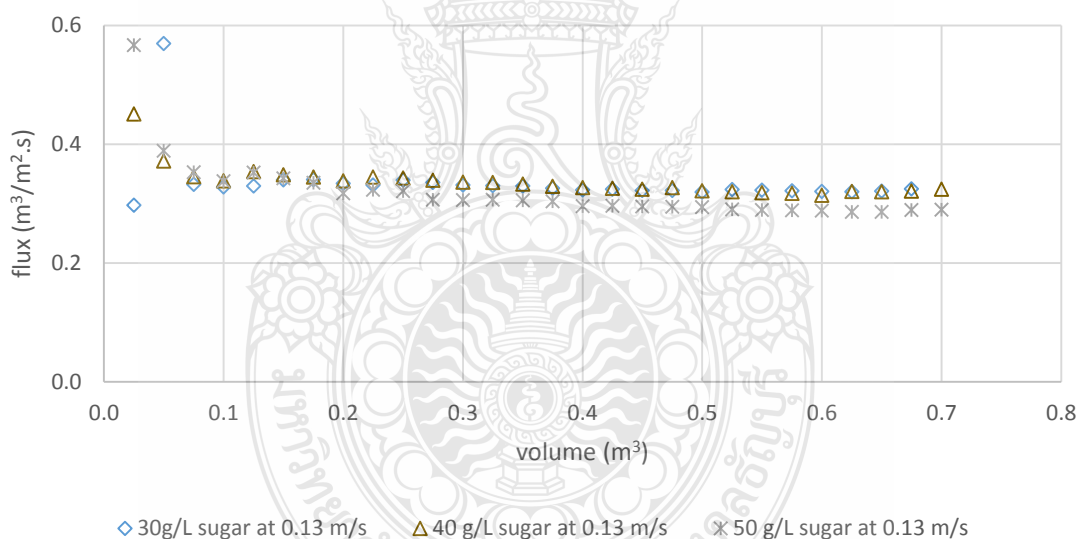
จากรูปที่ 4.1 พบว่าฟลักซ์ที่ความเร็วไหลขวางสูงกว่า ให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟลักซ์ที่ความเร็วไหลขวางต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแรงเฉือนของความเร็วไหลขวางสูงกว่ามีค่ามากกว่า ทำให้สามารถกวาดอนุภาคที่ผิวหน้าเมมเบรนได้มากกว่า ความต้านทานการไหลที่ผิวหน้าเมมเบรนจึงลดลง



รูปที่ 4.1 ฟลักซ์เพอร์มิเอตสารละลายน้ำตาลทุกสภาวะการทดลอง

4.1.1.1 ฟลักซ์สารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายน้ำตาลที่ 30 g/L พบว่าในช่วงแรกฟลักซ์มีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็วเข้าสู่ค่าคงที่ ในขณะที่ฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายน้ำตาลที่ 40 และ 50 g/L ให้ค่าฟลักซ์สูงสุดที่ตอนเริ่มต้น แล้วลดลงอย่างอย่างรวดเร็วเข้าสู่ค่าคงที่เช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าฟลักซ์ของสารละลายน้ำตาลที่ 30 g/L มีค่าสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงผกผันกับความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นหลัก นอกจากนี้ความชอบ-ไม่ชอบของวัสดุเมมเบรนต่อสารละลายน้ำตาลอาจมีผลต่อความสามารถการคัดกรอง [26] สำหรับการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าฟลักซ์เพอร์มิเอทน่าจะมีผลจากการเกิดคอนเซนเทรชันโพราไรเซชัน ซึ่งมีผลต่อการสะสมตัวที่บริเวณผิวหน้าเมมเบรน



รูปที่ 4.2 ฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30, 40, 50 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สำหรับการศึกษาโมเดลการกรองของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L จะพิจารณาการศึกษาออกเป็นช่วงๆ กล่าวคือ ช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 0–100 mL ช่วงกลางที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 100–600 mL และช่วงสุดท้ายของการกรองที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 600–700 mL เนื่องจากพฤติกรรมฟลักซ์มีความเป็นเชิงเส้นที่แตกต่างกัน ซึ่งในการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 40 และ 50 g/L และการกรองที่ความเข้มข้น 30 g/L

แบ่งช่วงออกเป็น 50 – 100 mL เนื่องจากที่จุดแรกของการกรองเมื่อนำมาพิจารณาผ่านโมเดลการกรองพบว่าการเบี่ยงเบนสูงจึงทำการตัดจุดแรกทิ้ง สำหรับช่วงกลางและช่วงสุดท้ายของการทดลองเหมือนกับที่ความเข้มข้น 40 และ 50 g/L โดยผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า R^2 , ค่า R^2 เฉลี่ยรวมถึงค่า R^2 ในภาพรวม และ ค่า R^2 ในลักษณะของฟลักซ์ที่สภาวะคงที่พบว่ามีความเกิดกลไกการเกิด ฟาล์วลิ้งในภาพรวมเป็นแบบ cake filtration model อย่างไรก็ตามพบว่ามีแนวโน้มเกิดกลไกการเกิด ฟาล์วลิ้งแบบ complete blocking model อาจเป็นผลจากการเบี่ยงของจุด ฟลักซ์ในการทดลอง อย่างไรก็ตามในภาพรวมค่า R^2 แบบ cake filtration model มีค่าสูงกว่าแบบอื่นๆ

จากที่ได้กล่าวข้างต้นนั้น เนื่องจากสารละลายความเข้มข้น 30 g/L มีความหนืดต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 40 และ 50 g/L จึงน่าจะส่งผลให้ช่วงแรกของฟลักซ์เพอมีอเทมีค่าสูงสุด เพราะความต้านทานการซึมผ่านเมมเบรนมีค่าต่ำสุด ผลการทดลองจึงแสดงการเพิ่มค่าฟลักซ์ได้อย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งจึงมีแนวโน้มลดลงและเข้าสู่ค่าคงที่เพราะมีการสะสมในรูพรุนและผิวหน้าของเมมเบรนมากขึ้นและมีผลจากแรงเฉือนจากการไหลขวางของสารป้อนทำให้ชั้นของอนุภาคไม่สูงขึ้น สำหรับที่ 40 และ 50 g/L มีความหนืดสูงกว่า 30 g/L โดยฟลักซ์ในช่วงแรกสูงสุดและลดลงอย่างรวดเร็วเป็นเพราะเมมเบรนยังคงสภาพสะอาดในตอนเริ่มต้น การซึมผ่านของฟลักซ์เพอมีอเทจึงทำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาการกรองนานขึ้นเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน ก่อให้เกิดฟาล์วลิ้ง จึงมีการสะสมของอนุภาคภายในรูพรุนและผิวของเมมเบรนทำให้ ฟลักซ์ลดลงและมีแนวโน้มคงที่เช่นเดียวกับความเข้มข้น 30 g/L

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง

0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 30 g/L

Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	sbm	ibm	cfm
50-675	0.6797	0.6911	0.6927	0.6959
50-675 of average R ²	0.8853	0.8860	0.9001	0.9116
50-100	0.9457	0.9468	0.9479	0.9746
100-600	0.8540	0.8551	0.8456	0.8582
600-675	0.8562	0.8562	0.9069	0.9021
R ² linear (200-600)	0.8006	0.8020	0.8033	0.8099

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L

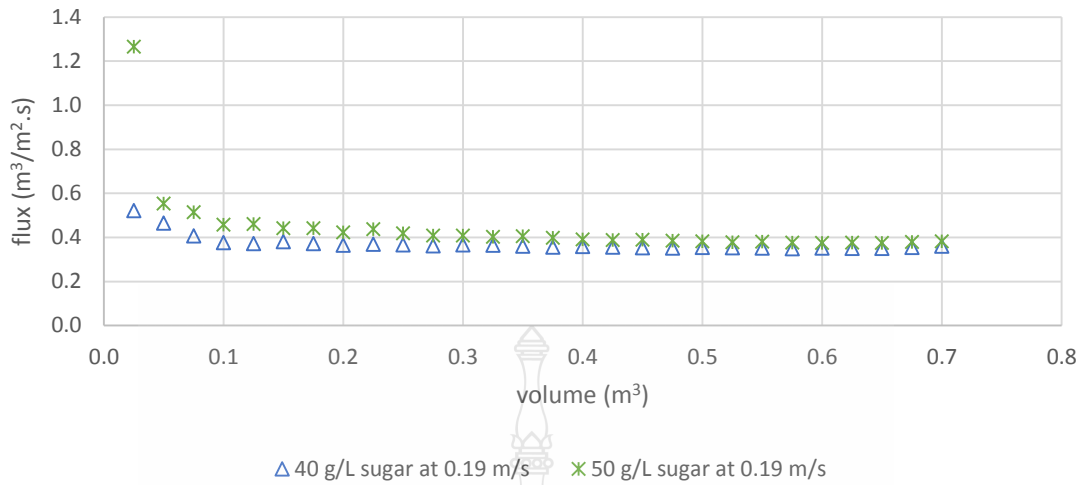
Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.5509	0.5778	0.6040	0.6539
0-700 of average R ²	0.8978	0.8957	0.8997	0.9205
0-100	0.8529	0.8634	0.8736	0.8933
100 – 600	0.9667	0.9494	0.9506	0.9459
600-700	0.8740	0.8745	0.8749	0.9225
R ² linear (200-600)	0.9566	0.9575	0.9584	0.9599

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 50 g/L

Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.5272	0.5820	0.6347	0.7276
0-700 of average R ²	0.8302	0.8398	0.8492	0.8655
0-100	0.8100	0.8302	0.8503	0.8894
100-600	0.8558	0.8645	0.8728	0.8885
600-700	0.8249	0.8247	0.8245	0.8241
R ² linear (200-600)	0.9104	0.9143	0.9180	0.9251

4.1.1.2 ฟลักซ์สารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 g/L

จากรูปที่ 4.3 แสดงสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 40 และ 50 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s พบว่าพฤติกรรมของฟลักซ์คล้ายคลึงกับการกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s



รูปที่ 4.3 ฟลักซ์เพอร์มิเทของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30, 40, 50 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

สำหรับการศึกษาโมเดลการกรองของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้น 40 และ 50 g/L พิจารณาการศึกษาออกเป็นช่วงๆ เช่นกัน กล่าวคือ ช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 0–100 mL ช่วงกลางที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 100–600 mL และช่วงสุดท้ายของการกรองที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 600–700 mL เนื่องจากพฤติกรรมของฟลักซ์มีความเป็นเชิงเส้นที่แตกต่างกัน โดยผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งพบว่าค่า R^2 ในภาพรวมมีกลไกการเกิดฟลัวลิ่งแบบ cake filtration model รวมถึงมีพฤติกรรมของฟลักซ์คล้ายคลึงกับข้อ 4.1.1.1 ตามที่ได้วิเคราะห์ผลไว้แล้ว

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L

Filtered volume (cm ³)	R^2 (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.4593	0.4790	0.4988	0.5380
0-700 of average R^2	0.9483	0.9097	0.9262	0.9301
0-100	0.9763	0.9817	0.9863	0.9928
100-600	0.8784	0.8768	0.8790	0.8832
600-700	0.9902	0.8707	0.9134	0.9144
R^2 linear (200-600)	0.8742	0.8749	0.8755	0.8378

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 50 g/L

Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	Cfm
0-700	0.3955	0.4765	0.5579	0.6991
0-700 of average R ²	0.9100	0.9148	0.9148	0.9510
0-125	0.8496	0.8648	0.8806	0.9104
125-600	0.9303	0.9354	0.9403	0.9492
600-700	0.9503	0.9442	0.9515	0.9935
R ² linear (200-600)	0.9237	0.9288	0.9336	0.9425

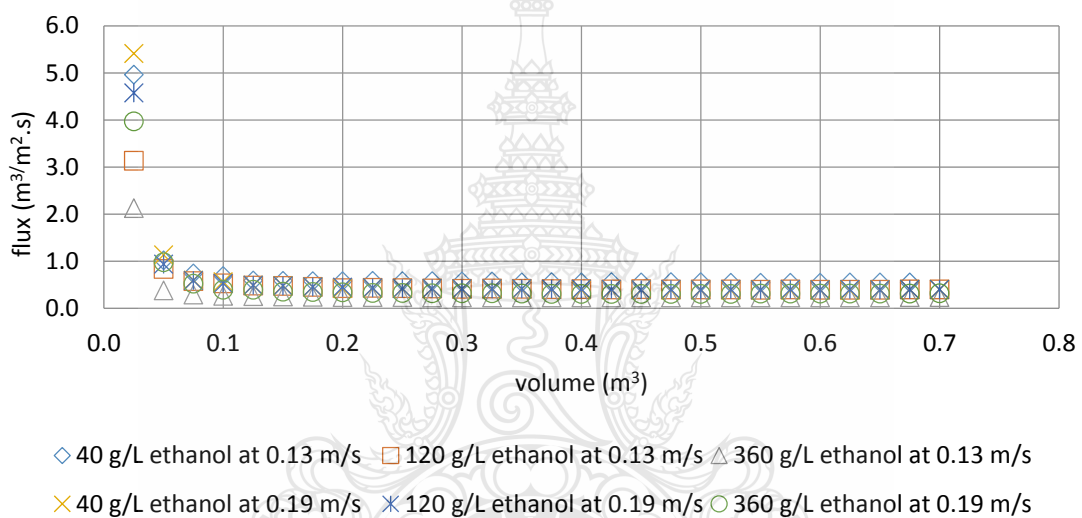
จากตารางที่ 4.6 โดยภาพรวมของการกรองน้ำตาลมีกลไกการเกิดฟอสฟอรัสแบบ cake filtration model และที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 ให้ค่า R² สูงกว่าที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าโมเดลการกรองสามารถทำนายที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 ได้ดีกว่าความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายน้ำตาลรวม

Cross flow velocity (m/s)	Concentration (g/L)	R ² (model of membrane filtration)			
		cbm	ibm	sbm	cfm
0.13	30	0.8853	0.8860	0.9001	0.9116
0.13	40	0.8978	0.8957	0.8997	0.9205
0.13	50	0.8302	0.8398	0.8492	0.8655
0.19	40	0.9483	0.9097	0.9262	0.9301
0.19	50	0.9100	0.9148	0.9148	0.9510

4.1.2 ฟลักซ์สารละลายเอทานอลในภาพรวม

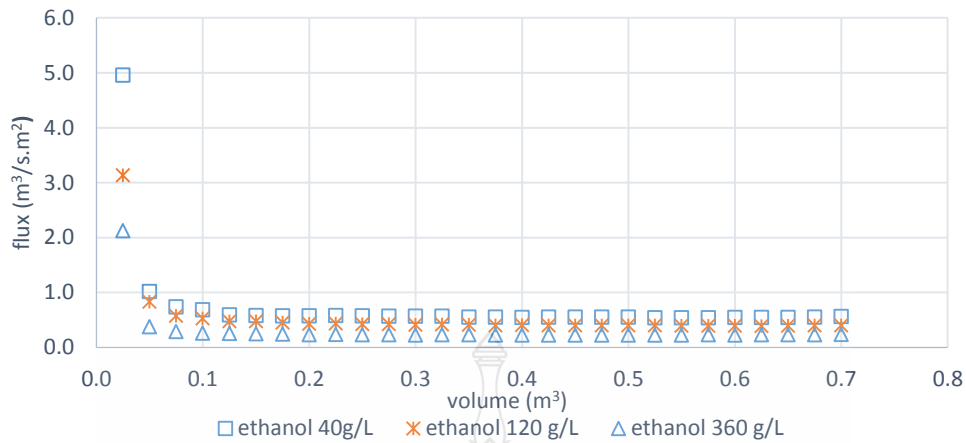
ผลการทดลองของฟลักซ์สารละลายเอทานอลคล้ายคลึงกับสารละลายน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อความเร็วไหลขวางสูงขึ้น ค่าฟลักซ์เพอร์มิเอทมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากความเร็วไหลขวางให้ค่าแรงเฉือนสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็วไหลขวางต่ำ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ความเร็วเดียวกัน พบว่าที่ความเข้มข้นสูงจะให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่าอาจเป็นเพราะที่ความเข้มข้นสูงเกิดชั้นอนุภาคได้มากกว่า สำหรับในแต่ละความเร็วไหลขวางมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 ฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายเอทานอลในภาพรวม

4.1.2.1 ฟลักซ์สารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13m/s ที่ความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายเอทานอลที่ 30, 40 และ 50 g/L ให้ค่าฟลักซ์สูงสุดที่ตอนเริ่มต้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วเข้าสู่ค่าคงที่เช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าฟลักซ์แปรผกผันกับความเข้มข้นสารละลายเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลมีผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นหลัก นอกจากนี้ความชอบ-ไม่ชอบของวัสดุเมมเบรนต่อสารละลายน้ำตาลอาจมีผลต่อความสามารถการคัดกรอง สำหรับการทดลองอย่างรวดเร็วของค่าฟลักซ์เพอร์มิเอทน่าจะมีผลจากการเกิดคอนเซนเทรชันโพราไรเซชัน ซึ่งมีผลต่อการสะสมตัวที่บริเวณผิวหน้าเมมเบรน



รูปที่ 4.5 ฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 40, 120, 360 g/L ที่

ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

การศึกษาโมเดลการกรองของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L นั้น การพิจารณาเพื่อศึกษาผลได้แบ่งกราฟออกเป็นช่วงๆ เช่นเดียวกับสารละลายน้ำตาล โดยช่วงเริ่มต้นที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 0– 100 mL ช่วงกลางที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 100 -600 mL และช่วงสุดท้ายของการกรองที่ปริมาตรการกรองเท่ากับ 600– 700 mL เนื่องจากพฤติกรรมฟลักซ์มีความเป็นเชิงเส้นที่แตกต่างกัน และมีการตัดจุดช่วงเริ่มต้นและช่วงสุดท้ายของการทดลองบางส่วนซึ่งเป็นส่วนที่มีการเบี่ยงเบนข้อมูลที่สูง โดยผลการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 , 4.8 และ 4.9 ค่า R^2 เหลือและค่า R^2 ในลักษณะของฟลักซ์ที่สภาวะคงที่ มีลักษณะกลไกการเกิดฟัลด์ิงแบบ cake filtration model อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของเอทานอล 360 g/L มีบางช่วงที่เป็นกลไกการเกิดฟัลด์ิงแบบ complete blocking model อาจเกิดจากจุดของฟลักซ์ที่มีการเบี่ยงเบนบ้างเล็กน้อย ซึ่งในช่วงแรกของการกรองการกรองอาจมีการผ่านของอนุภาคได้อย่างรวดเร็วหลังจากนั้นจึงเกิดการสะสมของอนุภาคมามากขึ้นทำให้ฟลักซ์ลดลงและมีแนวโน้มคงที่เพราะผลของแรงเฉือนของการไหลขวาง และที่ความสูงจะมีค่าฟลักซ์ต่ำกว่าทั้งนี้เพราะผลของความหนืด

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L

Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.2431	0.3125	0.3833	0.4962
0-700 of average R ²	0.9029	0.9061	0.9051	0.9369
25-100	0.9112	0.9195	0.9278	0.9591
125-600	0.9040	0.9048	0.8930	0.8939
625-700	0.8936	0.8941	0.8945	0.9579
R ² linear (200-600)	0.8638	0.8646	0.8654	0.8668

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 120 g/L

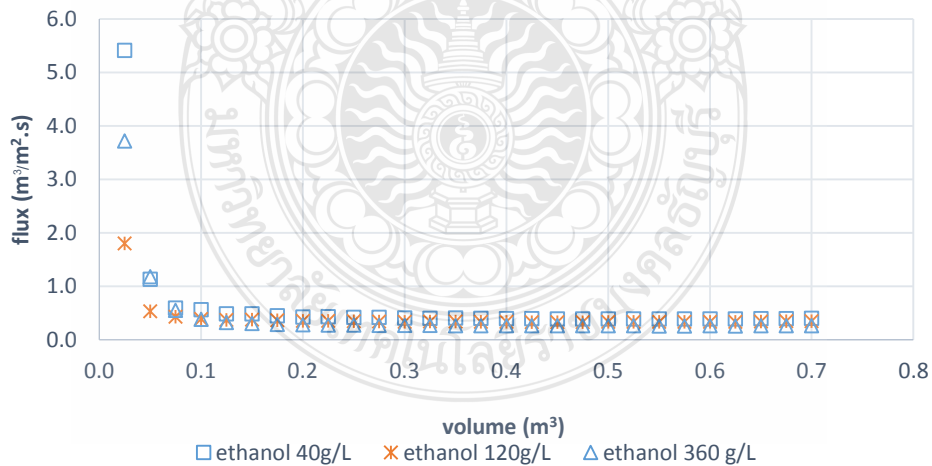
Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.3095	0.4029	0.4945	0.6360
0-700 of average R ²	0.8946	0.9003	0.8874	0.9247
25-100	0.9228	0.9336	0.8861	0.9702
125-600	0.8011	0.8194	0.8288	0.8470
625-700	0.9600	0.9481	0.9473	0.9570
R ² linear (200-600)	0.8970	0.8999	0.9026	0.9080

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ที่ความเข้มข้น 360 g/L

Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	sbm	ibm	cfm
25-700	0.2792	0.3774	0.4629	0.5762
0-700 of average R ²	0.8361	0.8315	0.8497	0.9113
25-125	0.8057	0.8542	0.9048	0.9661
150-525	0.8810	0.8325	0.8440	0.8534
550-700	0.8217	0.8079	0.8003	0.9146
R ² linear (125-500)	0.7213	0.7256	0.7298	0.7452

4.1.2.2 ฟลักซ์สารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 40, 120 และ 360 g/L

จากรูปที่ 4.6 ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 40, 120 และ 360 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s มีพฤติกรรมของฟลักซ์คล้ายคลึงการกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ดังข้อที่ 4.1.2.1



รูปที่ 4.6 ฟลักซ์เพอร์มิเอทของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 40, 120, 360 g/L ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

จากตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 ค่า R^2 ในภาพรวมมีกลไกการเกิดฟลัวลิ่งแบบ cake filtration model และ พฤติกรรมของฟลักซ์มีลักษณะเช่นเดียวกับการกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้น 40 g/L ในภาพรวมมีแนวโน้มกลไกการเกิดฟลัวลิ่งแบบ complete blocking model อาจเป็นเพราะจุดของฟลักซ์ที่มีการเบี่ยงเบนเล็กน้อย

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 40 g/L

Filtered volume (cm ³)	R^2 (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.3018	0.4067	0.5032	0.6386
0-700 of average R^2	0.9214	0.9252	0.9304	0.9186
25-100	0.9286	0.9349	0.9425	0.9589
125-600	0.8399	0.8457	0.8513	0.8031
625-700	0.9953	0.9951	0.9949	0.9946
R^2 linear (200-600)	0.8658	0.8712	0.8739	0.8790

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 120 g/L

Filtered volume (cm ³)	R^2 (model of membrane filtration)			
	cbm	ibm	sbm	cfm
0-700	0.2925	0.3951	0.4938	0.6372
0-700 of average R^2	0.9108	0.9136	0.9170	0.9383
25-100	0.9165	0.9312	0.9478	0.9782
125-600	0.8162	0.8112	0.8349	0.8380
625-700	0.9999	0.9986	0.9685	0.9989
R^2 linear (200-600)	0.8319	0.8376	0.8431	0.8536

ตารางที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ที่ความเข้มข้น 360 g/L

Filtered volume (cm ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	sbm	ibm	cfm
25-700	0.2792	0.3774	0.4629	0.5762
0-700 of average R ²	0.8361	0.8315	0.8497	0.9113
25-125	0.8057	0.8542	0.9048	0.9661
150-525	0.8810	0.8325	0.8440	0.8534
550-700	0.8217	0.8079	0.8003	0.9146
R ² linear (200-550)	0.8371	0.8401	0.8387	0.8427

จากตารางที่ 4.13 พบว่าในภาพรวมการกรองมีกลไกการเกิดฟอสเฟตแบบ cake filtration model โดยที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ให้ค่า R² สูงกว่าที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าที่โมเดลการกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s โมเดลการกรองทำนายพฤติกรรมกรองได้ดีกว่าที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองสารละลายเอทานอลรวม

Cross flow velocity (m/s)	Concentration (g/L)	R ² (model of membrane filtration)			
		cbm	ibm	sbm	cfm
0.13	40	0.9029	0.9061	0.9051	0.9369
0.13	120	0.8946	0.9003	0.8874	0.9247
0.13	360	0.8361	0.8315	0.8497	0.9113
0.19	40	0.9214	0.9252	0.9304	0.9186
0.19	120	0.9108	0.9136	0.9170	0.9383
0.19	360	0.8361	0.8315	0.8497	0.9113

4.2 การศึกษาการแยกและการกักกันของสารละลายสังเคราะห์

การแยกสารละลายสังเคราะห์ทำการศึกษาสารละลายน้ำตาลปีบ สารละลายเอทานอล และ สารละลายระหว่างน้ำตาลปีบและเอทานอลเมื่อคิดความเข้มข้นในฐานร้อยละแสดง ได้ดังตารางที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าเมมเบรนชนิดโพลีเอทเธอร์ซัลโฟนในระดับอัลตราฟิลเตรชันไม่สามารถกักกันน้ำตาล และเอทานอลได้ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลและเอทานอลมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าเมมเบรนทำให้อนุภาคผ่านเมมเบรน โดยจะเห็นจากความเข้มข้นของกระแสเพอร์มิเอทรีเทนเทต และสารป้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.14 ผลการกรองของสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 และ 0.19 m/s

concentration (g/L)	Cross –flow velocity (m/s)	Feed (g/L)	Permeate (g/L)	Retentate (g/L)
40	0.13	40	40	35
	0.19	40	40	35
120	0.13	120	115	115
	0.19	120	115	115
360	0.13	360	340	335
	0.19	360	340	335

ตารางที่ 4.15 ผลการกรองของสารละลายน้ำตาลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 และ 0.19 m/s

concentration (g/L)	Cross –flow velocity (m/s)	Feed (g/L)	Permeate (g/L)	Retentate (g/L)
30	0.13	30	28	26
	0.19	30	28	26
40	0.13	40	38	38
	0.19	40	38	38
50	0.13	50	50	50
	0.19	50	50	50

จากตารางที่ 4.16 เนื่องจากวิธีวิเคราะห์น้ำตาลไม่สามารถหาค่าที่ถูกต้องที่แท้จริงของปริมาณน้ำตาลได้ ดังนั้นผลการทดลองในที่นี้จึงบอกได้เพียงแนวโน้มความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสรีเทนเทตมีค่าสูงกว่าเพอร์มิเอท สำหรับวิธีการวิเคราะห์เอทานอลให้ความถูกต้องที่ยอมรับได้ โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในรีเทนเทตสูงกว่าในเพอร์มิเอทเช่นกัน

ตารางที่ 4.16 ผลการกรองของสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลและเอทานอล (ความเข้มข้นของน้ำตาลและเอทานอลเท่ากับ 60 g/L) ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

concentration (g/L)	Cross –flow velocity (m/s)	Feed (g/L)	Permeate (g/L)	Retentate (g/L)
ethanol	0.13	60.18	50.94	56.41
sugar	0.13	60	66.93	76.56

จากตารางที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าค่าการกักกันที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 และ 0.19 m/s มีค่าการกักกันที่ใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่าความเร็วไหลขวางไม่มีผลต่อการกักกันของสาร สำหรับสารละลายเอทานอลพบว่าเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นมีค่าการกักกันของเอทานอลมากขึ้นเนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงมีความหนืดสูงทำให้อนุภาคสามารถในการกักกันสูง สำหรับสารละลายน้ำตาลพบว่าที่ความเข้มข้นสูง ๆ ความสามารถในการกักกันน้อยลงเนื่องจากความชอบ-ไม่ชอบของวัสดุเมมเบรนต่อสารละลายน้ำตาลอาจมีผลต่อความสามารถการคัดกรอง

ตารางที่ 4.17 ค่าการกักกันของสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

Solution	Cross –flow velocity (m/s)	Concentration (g/L)	Rejection (%)
ethanol	0.13	40	0
	0.13	120	0
	0.13	360	0
sugar	0.13	30	7.14
	0.13	40	0
	0.13	50	0

ตารางที่ 4.18 ค่าการกักกันของสารละลายเอทานอลที่ความเร็วไหลขวาง 0.19m/s

Solution	Cross –flow velocity (m/s)	Concentration (g/L)	Rejection (%)
ethanol	0.19	40	0
	0.19	120	0
	0.19	360	1.44
sugar	0.19	30	7.14
	0.19	40	0
	0.19	50	0

4.3 การศึกษาสารป้อนที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการผลิตสารป้อนด้วยกระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์โดยศึกษาผลของการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นรวมของน้ำตาลที่ 0, 30 และ 40 g/L ต่อผลได้ของความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์, เอทานอล, เซลลูโลส แอคติวิตี และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ รวมถึงผลของการเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานเมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่เติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานในช่วงที่มีการรีไซเคิล ที่กระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์เริ่มจากเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ใหม่ที่ไม่เติมน้ำตาล (ความเข้มข้นน้ำตาลรวม 0 g/L) ทุกๆ 2 วัน ที่สถานะนี้ไม่มีการรีไซเคิลจุลินทรีย์และเอ็นไซม์ เซลลูโลสกลับสู่ถังหมักโดยทำการหมักเป็นระยะเวลา 10 วันและปริมาตรของน้ำหมักที่ได้เท่ากับ 8.5 L หลังจากนั้นจึงเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ให้ได้ความเข้มข้นน้ำตาลรวมในถังหมักประมาณ 30 g/L ทุกๆ 2 วันเพื่อให้มีการปรับเสถียรภาพถังหมัก 8 วันจึงไม่ได้ทำการรีไซเคิลปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 10.5 L ใน 18 วัน ของการหมักจากนั้นทำการเติมอาหารเหลวในความเข้มข้นใหม่ทุกๆ 2 วัน และทำการกรองทุกๆ 4 วันและรีไซเคิลกระแสรีเทนเทตปริมาตร 300 mL ร่วมกับเติมอาหารเหลว LM-pH5 ที่เตรียมใหม่อีก 200 mL ทำการควบคุมให้ปริมาตรของน้ำหมักและความเข้มข้นรวมของน้ำตาลในถังหมักให้คงที่เท่ากับ 9.5 L และ 30 g/L (นาน 27 วัน), 40 g/L (นาน 15 วัน) ตามลำดับดังรายละเอียดต่อไป

4.3.1 ผลของเอทานอลที่ได้จากการเติมอาหารเหลวใหม่ไม่มีน้ำตาล (0 g/L)

ในช่วง 10 วันแรกพบว่า ความเข้มข้นเอทานอลเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 g/L ดังแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งในช่วง 2 วันแรกของการหมักแนวโน้มความเข้มข้นของจุลินทรีย์ลดลงเนื่องจากเกิดการดูดซับของจุลินทรีย์เข้าสู่ลำต้นสาค้าวฟางหวาน [15] เซลลูเลส แอคติวิตี เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.8 และ 4.10 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญเติบโต ดังรูปที่ 4.9 หลังจากนั้นตลอด 10 วันของการหมัก น้ำตาลรีดิวซ์และเซลลูเลส แอคติวิตี ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตและการผลิตเอทานอล โดยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ยและเซลลูเลส แอคติวิตี เฉลี่ยตลอด 10 วันประมาณ 41.69 g/L และ 24.15 g/L

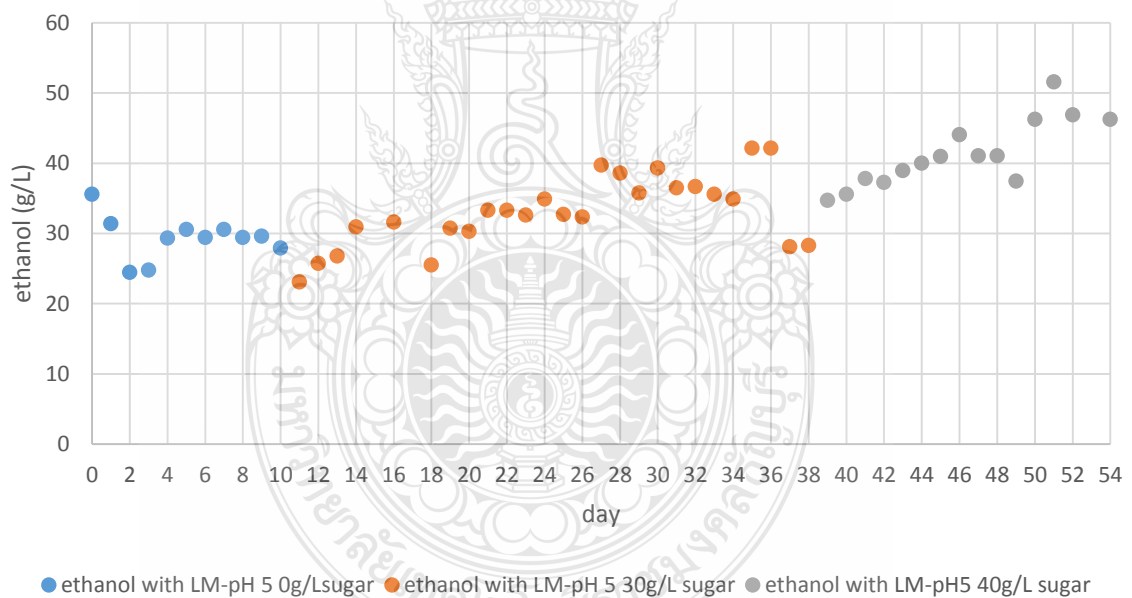
4.3.2 ผลของเอทานอลที่ได้จากการเติมอาหารเหลวใหม่ควบคุมความเข้มข้นน้ำตาลรวม 30 g/L

หลังจาก 10 วันถึง 38 วันของการหมักพบว่าความเข้มข้นเอทานอลเฉลี่ยเท่ากับ 32.36 g/L ดังแสดงดังรูปที่ 4.7 แนวโน้มของความเข้มข้นจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญเติบโตและการผลิตเอทานอลซึ่งสังเกตได้จากแนวโน้มของความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นดังรูป 4.7 สำหรับบางช่วงที่มีการลดลงของเอทานอลอาจเกิดจากการเติมอาหารเหลว อาจทำให้เอทานอลเกิดการเจือจางและระเหยออกจากถังหมักได้ แนวโน้มของเซลลูเลส แอคติวิตี คงที่ ดังรูปที่ 4.10 ประมาณ 8.84 g/L เนื่องจากเอ็นไซม์เซลลูเลสที่ถูกผลิตจากการหมักของจุลินทรีย์ ถูกดูดซับในข้าวฟางหวานและมีการปลดปล่อยในปริมาณที่ต่ำดังรูปที่ 4.9 แนวโน้มของความเข้มข้นน้ำตาลคงที่ตลอดช่วงของการหมักเนื่องจากจุลินทรีย์ผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสในการย่อยเซลลูโลสเป็นน้ำตาล อย่างไรก็ตามการเติมอาหารเหลวที่ควบคุมความเข้มข้นน้ำตาลรวม 30 g/L ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ตลอด 28 วันมีค่าเฉลี่ย 20.17 g/L ดังรูปที่ 4.9 สำหรับการรีไซเคิลจุลินทรีย์และเติมอาหารเหลวใหม่ทั้งหมด 7 ครั้ง

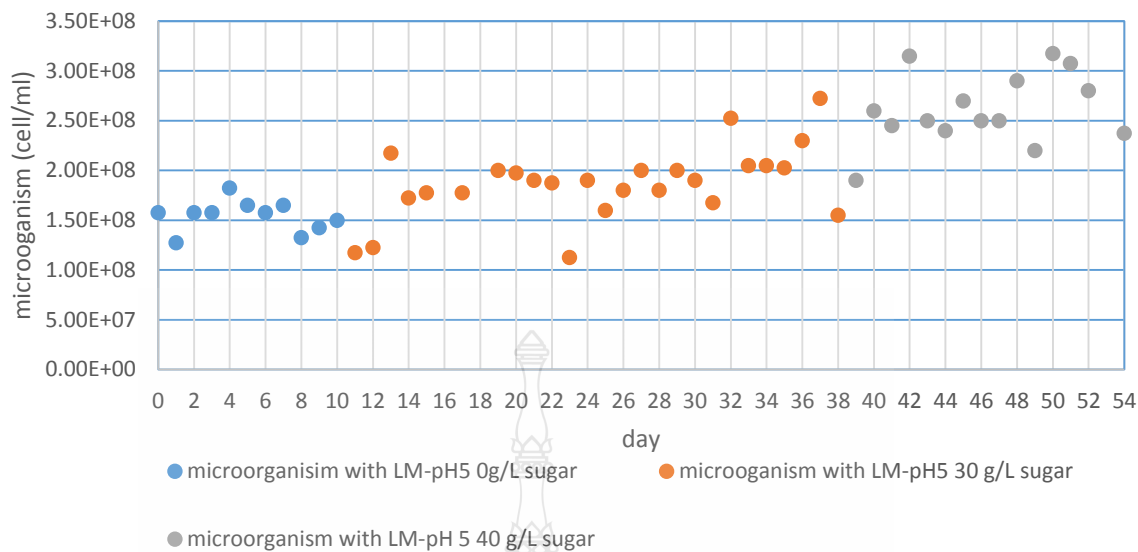
4.3.3 ผลของเอทานอลที่ได้จากการเติมอาหารเหลวใหม่ควบคุมความเข้มข้นน้ำตาลรวม 40 g/L

ที่ระยะ 39 ถึง 54 วันของการหมักพบว่าความเข้มข้นเอทานอลเฉลี่ยเท่ากับ 41.35 g/L ดังรูปที่ 4.7 แนวโน้มของจุลินทรีย์สูงขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญเติบโตและปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ในช่วง 38 – 43 วันของการหมักเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากจุลินทรีย์ผลิต

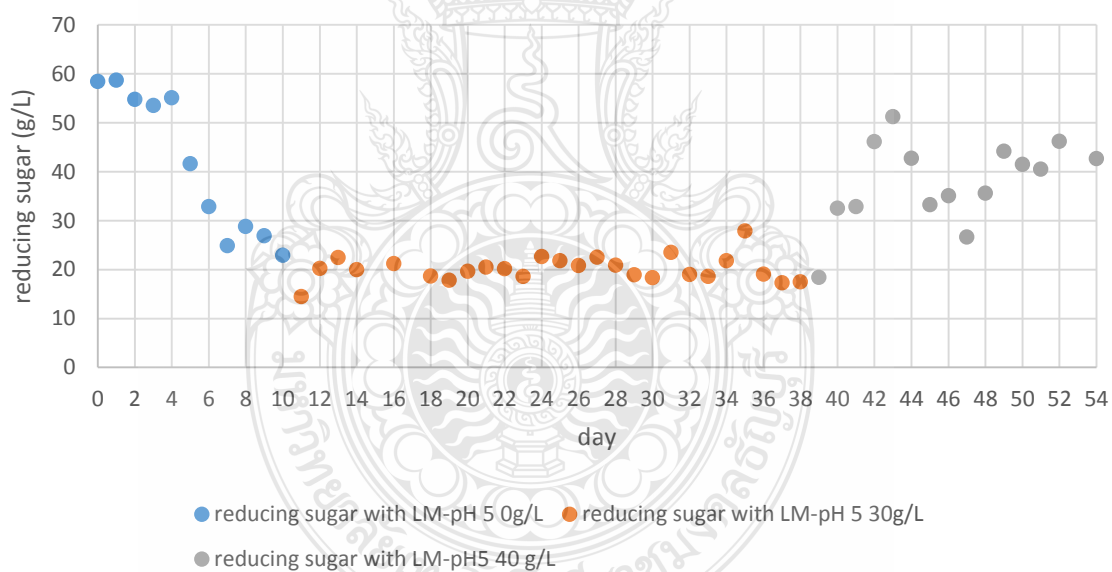
เอ็นไซม์เซลลูเลสในการย่อยเซลลูโลสเป็นน้ำตาลและผลของการเติมลำดับน้ำตาลฟางหวาน รวมถึงจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลในการผลิตเอทานอลทำให้เอทานอลสูงขึ้นดังรูปที่ 4.7 หลังจากนั้นน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงในช่วง 43 – 46 วันของการหมักดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลเพื่อความอยู่รอด ทำให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์คงที่ดังรูปที่ 4.8 และใช้ในการผลิตเอทานอลทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงขึ้นดังรูปที่ 4.7 ในช่วง 48 – 54 วัน ของการหมักความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์คงที่ดังรูปที่ 4.9 แต่เซลลูเลส แอคติวิตี เพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากจุลินทรีย์ผลิตเอ็นไซม์ในการย่อยเซลลูโลสเป็นน้ำตาล รวมถึงมีการควบคุมความเข้มข้นน้ำตาล 40 g/L และจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลเมื่อปริมาณเอทานอลสูงอาจเป็นตัวยับยั้งทำให้ความเข้มข้นจุลินทรีย์ลดลงดังรูปที่ 4.7 โดยความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ และ เซลลูเลส แอคติวิตีเฉลี่ยประมาณ 37.98 g/L และ 17.65 g/L ตามลำดับ



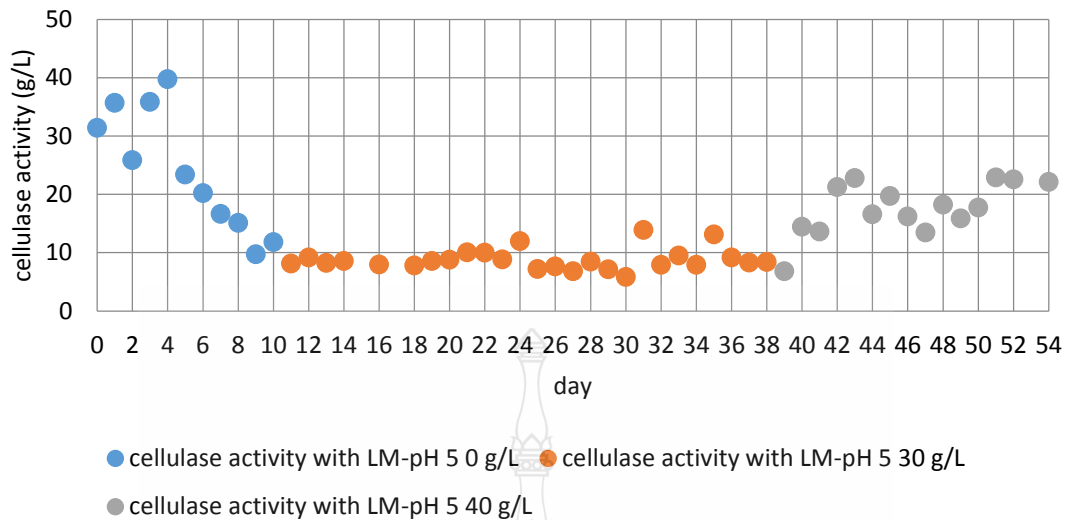
รูปที่ 4.7 ผลของการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณของเอทานอล



รูปที่ 4.8 ผลของการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์



รูปที่ 4.9 ผลของการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

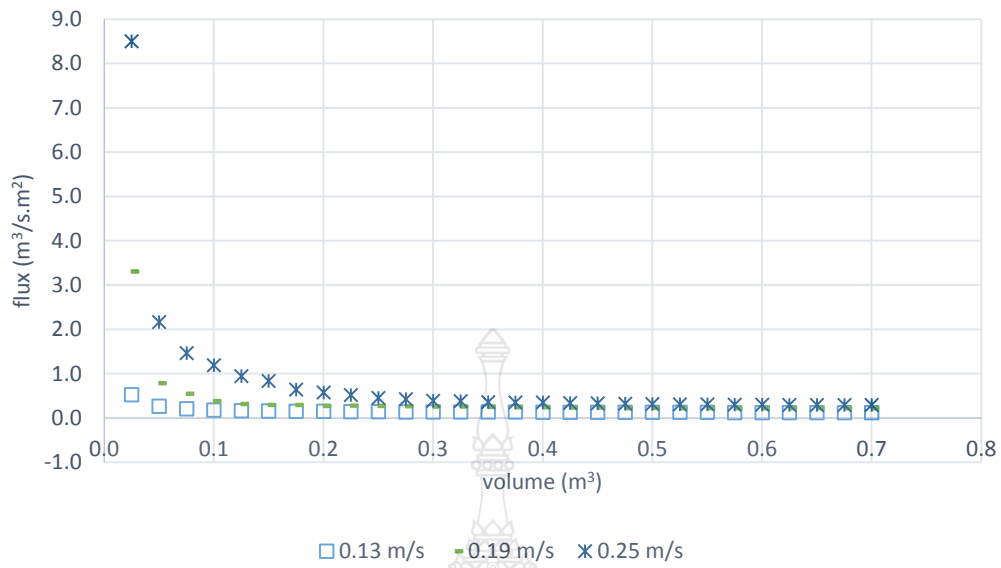


รูปที่ 4.10 ผลของการเติมอาหารเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เทียบกับปริมาณเซลลูเลส แอคติวิตี้

4.4 การหาความเร็วที่เหมาะสมในกระบวนการด้วยเมมเบรนในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

4.4.1 ค่าฟลักซ์ของการกรองน้ำหมักด้วยเมมเบรนในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

จากรูปที่ 4.11 พบว่าฟลักซ์เพอร์มิเอชันน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวางสูง ๆ มีค่าฟลักซ์สูงกว่าที่ความเร็วไหลขวางต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากแรงเฉือนจากการไหลขวางที่กระทำต่อผิวหน้าของเมมเบรนสูง ส่งผลให้การฟอรัมตัวเค้กผิวหน้าของเมมเบรนลดลงทำให้ฟลักซ์การกรองสูงค่าฟลักซ์ที่ความเร็วไหลขวางที่ 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s มีลักษณะแนวโน้มเหมือนกันในช่วงแรกของการกรอง นั่นคือมีค่าสูงสุดเมื่อตอนเริ่มต้น จากนั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็วและเข้าสู่ค่าคงที่โดยรายละเอียดการศึกษากลไกการกรองมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.11 ฟลักซ์เพอร์มิเอทของน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s

จากตารางที่ 4.19 – 4.21 มีค่า R^2 ในภาพรวมและ ค่า R^2 ที่สภาวะคงตัวมีกลไกการเกิดฟลักซ์แบบ cake filtration model ในความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s พฤติกรรมของฟลักซ์คล้ายกัน โดยในช่วงแรกของการกรองมีค่าฟลักซ์สูงหลังจากนั้นเกิดการสะสมของอนุภาคเป็นชั้นเตี้ยทำให้ฟลักซ์ลดลงในเวลาต่อมาและมีลักษณะเข้าสู่ค่าคงที่เป็นผลจากแรงเฉือนด้วยการไหลขวาง

ตารางที่ 4.19 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

Filtered volume	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	sbm	ibm	cfm
0-700	0.4756	0.5672	0.6522	0.7867
0-700 of average R ²	0.8737	0.8923	0.9085	0.9304
25-100	0.8425	0.8912	0.9333	0.9872
125-425	0.9253	0.9329	0.9401	0.9530
450-700	0.8533	0.8528	0.8522	0.8510
R ² linear (200-600)	0.9742	0.9707	0.9763	0.9812

ตารางที่ 4.20 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

Filtered volume (m ³)	R ² (model of membrane filtration)			
	CBM	SBM	IBM	cfm
25-700	0.3907	5361	0.6594	0.8201
0-700 of average R ²	0.8615	0.8834	0.9213	0.9267
25-100	0.8415	0.8963	0.9459	0.9979
125-325	0.8911	0.8991	0.9605	0.9195
350-700	0.8521	0.8549	0.8576	0.8628
R ² linear (200-600)	0.9581	0.9620	0.9655	0.9713

ตารางที่ 4.21 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

Filtered volume	R ² (model of membrane filtration)			
	cbm	sbm	ibm	cfm
25-700	0.5562	0.7307	0.8374	0.9416
0-700 of average R ²	0.9029	0.9367	0.9644	0.9793
25-75	0.8448	0.9022	0.9523	0.9964
100-325	0.9005	0.9402	0.9694	0.9632
350-700	0.9636	0.9678	0.9717	0.9785
R ² linear (200-600)	0.8533	0.8844	0.9045	0.9516

จากตารางที่ 4.22 พบว่าที่ความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s มีกลไกการเกิดฟอสฟอรัสแบบ cake filtration model เป็นหลัก หากพิจารณาค่า R² ทุกค่าความเร็ว พบว่า R² มีค่ามากกว่า 85% โดยเฉพาะที่ความเร็วไหลขวาง 0.1 m/s มีค่า R² สูงสุดถึง 98.19% แสดงความสอดคล้องของผลการทดลองกับแบบจำลองได้ดี

ตารางที่ 4.22 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการกรองน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s

cross-flow velocity (m/s)	R ² average (model of membrane filtration)			
	cbm	sbm	ibm	cfm
0.13	0.8737	0.8923	0.9085	0.9304
0.19	0.8615	0.8834	0.9213	0.9267
0.25	0.8521	0.8549	0.8576	0.8628

4.4.2 การหาสถานะที่เหมาะสมของการกรองแบบไหลขวางในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

จากการทดลองการกรองน้ำหมักในระดับอัลตราฟิลเตรชันที่ความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของเอทานอล น้ำตาลรีดิวิซ์ เซลลูโลส-แอกติวิตี และ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลการกรองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองเพื่อการรีไซเคิลครูดเซลลูเลส

Cross –flow velocity (m/s)	ethanol (%)		reducing sugar (%)		cellulase activity (%)	
	permeate	retentate	permeate	retentate	permeate	retentate
0.13	83.24	99.81	76.97	114.92	91.05	113.02
0.19	94.73	106.25	71.46	130.80	81.60	125.92
0.25	88.84	99.47	72.13	94.73	91.59	101.99

จากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s เป็นความเร็วไหลขวางที่เหมาะสมในการกรองแบบไหลขวางในระดับอัลตราฟิลเตรชัน เนื่องจากปริมาณสารที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พบว่าปริมาณเอทานอลมีปริมาณน้อย ซึ่งหากปริมาณเอทานอลสูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อปริมาณของจุลินทรีย์ และเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วไหลขวางที่ 0.25 m/s แล้ว พบว่าปริมาณเอทานอลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s เป็นความเร็วไหลขวางที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาบนฐานของเอทานอล สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์ที่ความเร็ว 0.13 m/s มีปริมาณไม่สูงและไม่ต่ำเกินไปเมื่อเทียบความเร็วไหลขวาง 0.19 และ 0.25 m/s ตามลำดับ ซึ่งถ้าปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์สูง จะทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและไม่มีการผลิตเอทานอล ถึงแม้ว่าปริมาณเซลลูเลส แอคติวิตีในความเร็วไหลขวางที่ 0.13 m/s จะไม่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบ 0.19 และ 0.25 m/s ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ผลของการแยกจุลินทรีย์ของน้ำหมักเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองเพื่อการรีไซเคิลครูดเซลลูเลสในฐานเริ่มต้นเดียวกัน

Cross –flow velocity (m/s)	Feed (cell/ml)	Permeate (cell/ml)	Retentate (cell/ml)	Washing water (cell/ml)
0.13	1.03E+08	1.20E+06	1.88E+08	3.18E+06
0.19	1.03E+08	9.96E+05	1.92E+08	9.82E+06
0.25	1.03E+08	7.98E+05	1.44E+08	5.85E+06

จากตารางที่ 4.24 เมื่อเทียบปริมาณจุลินทรีย์ในฐานเดียวกันพบว่าที่ความเร็ว 0.13 m/s ปริมาณจุลินทรีย์มีการหลุดไปในกระแสเพอร์เมทน้อยที่สุด และจุลินทรีย์ถูกกักในกระแสรีเทน

แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีการหลุดในน้ำล้างที่ต่ำทำให้ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s นี้เป็นความเร็วที่เหมาะสมในการกรอง

4.4.3 การศึกษาการกักกันของสารในน้ำหมักในการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน

จากตารางที่ 4.25 การศึกษาการกักกันของน้ำหมักในช่วงความเร็วไหลขวาง 0.13, 0.19, 0.25 m/s พบว่าเมื่อความเร็วไหลขวางเพิ่มขึ้นมีบางช่วงลดลงและบางช่วงเพิ่มขึ้นกล่าวคือความเร็วไหลขวางไม่มีผลต่อค่าการกักกันทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมการกรองที่แตกต่างกันและเมมเบรนชนิดนี้สามารถกักกันจุลินทรีย์ได้ดีแสดงได้ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.25 ค่าการกักกันของสารในน้ำหมักในการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน

Cross –flow velocity (m/s)	% Rejection ethanol	% Rejection reducing sugar	% Rejection cellulase activity	%Rejection microorganism
0.13	16.76	23.01	15.85	0.98
0.19	5.29	28.53	20.86	0.99
0.25	11.15	27.86	8.40	0.99

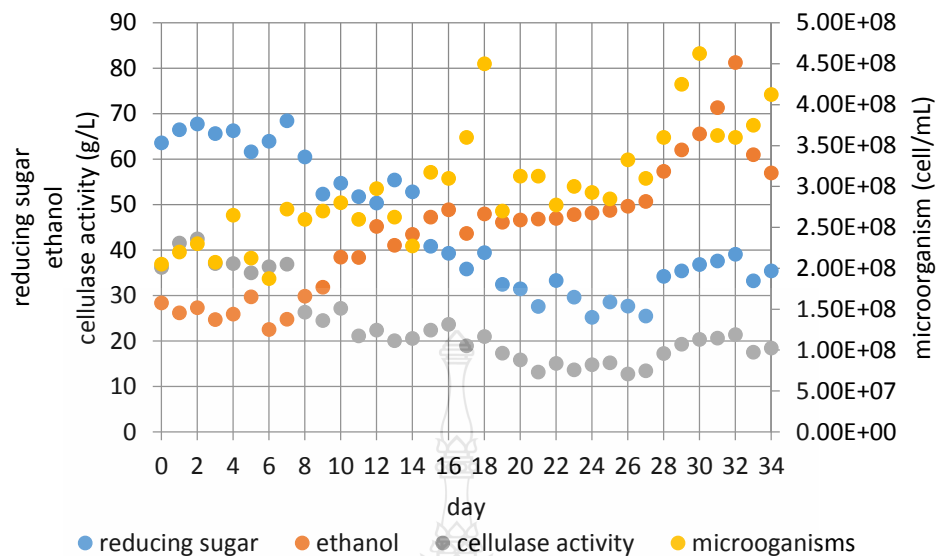
สำหรับการศึกษาโปรไฟล์การกักกันของน้ำหมักทำการศึกษาที่ความเร็วไหลขวางเท่ากับ 0.13, 0.19 และ 0.25 m/s โดยพิจารณาช่วงปริมาตรการกรอง 0.1 – 0.7 m³ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5 การศึกษาการขยายผลของกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์

การศึกษาการขยายผลของกระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์ทำการหมักโดยมีการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ใหม่ทุก ๆ 2 วัน เติมอาหารเหลว LM-pH5 สูตรมีน้ำตาลและควบคุมความเข้มข้นรวมในถังหมัก 40 g/L นำน้ำหมักเพื่อกรองแยกจุลินทรีย์ด้วยความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s และนำจุลินทรีย์ที่กรองได้มารีไซเคิลทุก ๆ 4 วัน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วงคือก่อนการเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน และ หลังเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1 ก่อนการเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานในถังหมัก

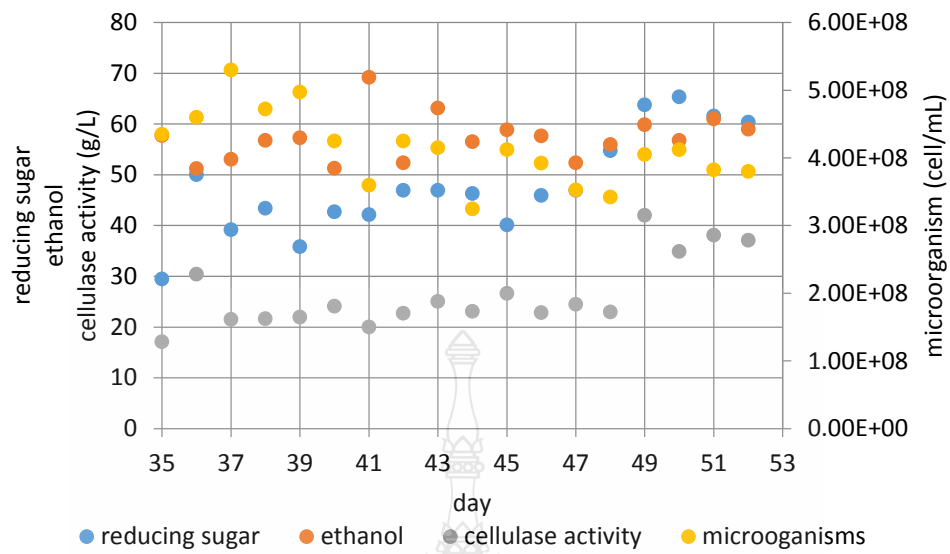
เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 4.12 เนื่องจากผงจุลินทรีย์ผสมที่นำมาใช้หมักเอทานอลจากลำต้นสดข้าวฟ่างหวานมีเอทานอลอยู่จึงทำให้พบเอทานอลเริ่มต้นในถังหมัก ในระยะ 4 วันแรกของการหมัก ความเข้มข้นของเอทานอล, จุลินทรีย์, น้ำตาลรีดิวซ์ และ เซลลูโลส แอคติวิตี เนื่องจากเป็นช่วงของการปรับตัวของระบบ ในช่วง 6-18 วันของการหมัก เอทานอลมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้ย่อยเซลลูโลสเป็นน้ำตาลเพิ่มขึ้นและน้ำตาลถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลจึงส่งผลให้ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 18 – 27 วันของการหมักเนื่องจากความเข้มข้นของจุลินทรีย์ค่อนข้างคงที่ให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของเอทานอล, น้ำตาลรีดิวซ์ และ เซลลูโลส แอคติวิตี มีค่าคงที่ประมาณ 47.96, 30.09 และ 15.22 g/L ตามลำดับ ที่สภาวะนี้ น้ำตาลรีดิวซ์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จึงปลดปล่อยเอ็นไซม์เซลลูโลสทำการย่อยเซลลูโลสเป็นน้ำตาลเพื่อการเจริญเติบโตและเปลี่ยนเป็นเอทานอล หลังจากนั้นถูกยับยั้งโดยความเข้มข้นเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 81.37 g/L ทำให้จุลินทรีย์ลดลงและความเข้มข้นของเอทานอลลดลง



รูปที่ 4.12 ผลการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการขยายผลจริงในช่วง 1 –34 วัน

4.5.2 หลังเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานในถังหมัก

จากรูปที่ 4.13 เนื่องจากความเข้มข้นน้ำตาลน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าคงที่ประมาณ 30.09 g/L ถึงแม้ว่าจะมีการเติมอาหารเหลวใหม่ที่มีน้ำตาลลงในถังหมักเพื่อให้ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 40 g/L ก็ตามดังนั้นจึงทำการเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานในถังหมักที่ระยะเวลา 35 วันของการหมักปริมาณ 2100 g และทำการหมักแบบเฟดแบทช์ครั้งเดิมเป็นระยะเวลา 17 วัน พบว่าความเข้มข้นของเอทานอลเฉลี่ย 57.24 g/L และความเข้มข้นเอทานอลสูงสุด 69.22 g/L อย่างไรก็ตามการหมักแบบเฟดแบทช์ 34 วันมีประสิทธิภาพสูงกว่าการหมักแบบเฟดแบทช์ที่มีการเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวานโดยร้อยละผลได้เอทานอลเท่ากับ 212%, 100% ตามลำดับและในช่วงสุดท้ายของการทดลองน้ำตาลรีดิวซ์ เอทานอล เซลลูเลส แอคติวิตี และ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์มีการปลดปล่อยออกจากลำต้นสดข้าวฟ่างหวานเทียบเท่ากับวันเริ่มต้นของการทดลอง



รูปที่ 4.24 ผลการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการขยายผลจริงในช่วง 34– 52 วัน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ศึกษาการแยกสารละลายสังเคราะห์ด้วยการกรองไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชัน พร้อมทั้งโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

1) ฟลักซ์เพอร์มิเอท: โดยสภาวะที่เหมาะสมบนฐานของความเร็วไหลขวางในการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน สำหรับการแยกสารละลายสังเคราะห์ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ให้ฟลักซ์ที่ดีกว่าความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

2) การกักกันสารละลายสังเคราะห์: ชุดเมมเบรนการกรองแบบไหลขวางในระดับอัลตราฟิลเตรชันไม่สามารถแยกสารละลายสังเคราะห์ได้ เนื่องจากโมเลกุลของสารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนทำให้อนุภาคสามารถรูพรุนของเมมเบรนได้

3) กลไกการกรอง: กลไกการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันสำหรับสารละลายสังเคราะห์แบบ cake filtration model เป็นหลัก

5.1.2 ศึกษาการนำกรดเซลลูเลสและจุลินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ด้วยการกรองไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชัน พร้อมทั้งโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

1) ฟลักซ์เพอร์มิเอท: สำหรับน้ำหมักที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s มีฟลักซ์สูงสุดและความเร็วไหลขวางที่เหมาะสมคือ 0.13 m/s

2) กลไกการกรอง: กลไกการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันสำหรับน้ำหมักเกิดกลไกการกรองแบบ cake filtration model เป็นหลัก

3) การกักกันน้ำหมัก: เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันชนิดโพลีเอเทอร์ซัลโฟนสามารถกักจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี เพื่อรีไซเคิลในระหว่างกระบวนการหมัก แต่ไม่สามารถกักกันเอทานอลได้ รวมถึงมีการกักน้ำตาลรีดิวิซ์และเอ็นไซม์ แอคติวิตีได้เล็กน้อย โดยมีค่าการกักกันของเอทานอล 16.76, น้ำตาลรีดิวิซ์ 23.01, เซลลูเลส แอคติวิตี 15.85 และ จุลินทรีย์ 0.98 ตามลำดับ

5.1.3 ศึกษาโปรไฟล์การหมักเอทานอลควบคู่การรีไซเคิลในระบบเฟดแบทช์และการกรองไหลขวางในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการรีไซเคิล: การเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ความเข้มข้น 40 g/L มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากให้ผลได้ของเอทานอลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ความเข้มข้น 30 และ 0 g/L

5.1.4 ศึกษาการขยายผลผลิตเอทานอลจริงโดยใช้สภาวะการกรองที่เหมาะสมพร้อมโปรไฟล์การหมักเอทานอลควบคู่การรีไซเคิลในระบบเฟดแบทช์และโมเดลการกรองที่สภาวะความดันคงที่

1) การหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์: เมื่อใช้สภาวะที่เหมาะสมในการหมักและการรีไซเคิลพบว่าสามารถผลิตเอทานอลได้อย่างต่อเนื่องโดยผลได้เอทานอลเท่ากับ 212% และหลังการเติมข้าวฟ่างหวานเท่ากับ 100 %

2) กลไกการกรอง: กลไกการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันสำหรับน้ำหมักเกิดกลไกการกรองแบบ cake filtration model เป็นหลัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การนำเทคโนโลยีเมมเบรนไปใช้ร่วมกับกระบวนการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้เมมเบรนในการแยกเอทานอลเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

5.2.2 การศึกษาการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อผ่านการเติมลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน

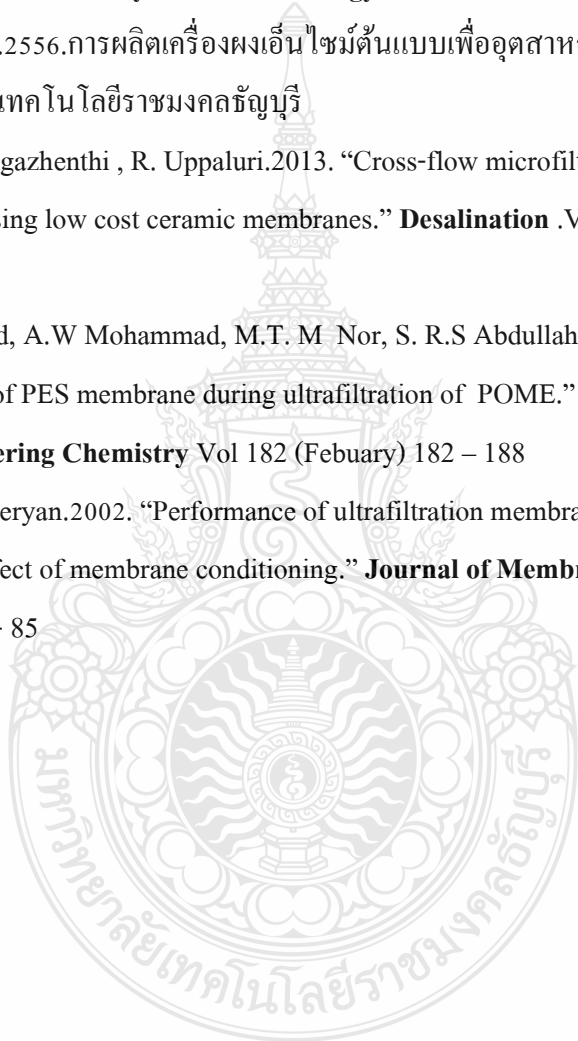
5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้เทคโนโลยีเมมเบรนในการแยกเอทานอลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

บรรณานุกรม

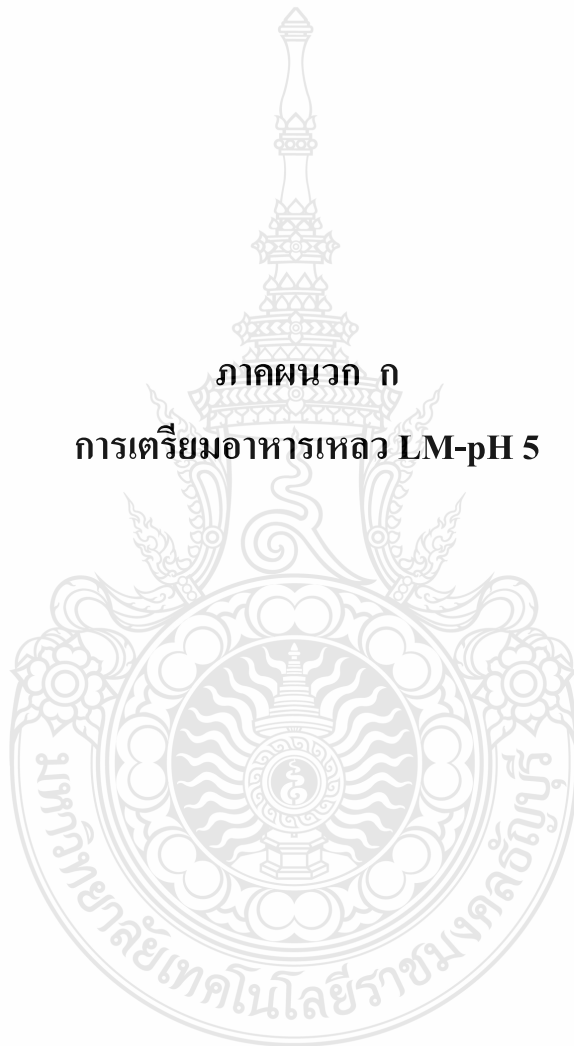
- [1] พีรเดช ทองอำไพ; สำนักงานพัฒนาการวิจัยเกษตร (องค์การมหาชน) [Online] .Available www.arda.or.th/easyknowledge/easy-articles-detail.php?id=1. (12 october 2014)
- [2] คมสัน เขียนน้อย และ ัญญา วสุวัชร.2557. การหมักเอทานอลจากลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน โดยใช้จุลินทรีย์ผสม RT-P3.ปริญญาานิพนธ์บัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] กัลยา แก้วทิม และ สุชาญ กิรติพรฤดี.2557. การหมักเอทานอลจากลำต้นสดข้าวฟ่างหวานแบบ เฟดแบทช์โดยใช้ผงเอนไซม์ผสม RT-P3 . ปริญญาานิพนธ์บัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [4] กัณทมาณี สุขประเสริฐ และ จิตติมา ศรีหวัธ .2556. การแยกกรดเซลลูเลสด้วยการกรองระดับ ไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน.ปริญญาานิพนธ์บัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [5] ข้าวฟ่างหวาน, สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร องค์การมหาชน[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.arda.or.th/easyknowledge/easy-articles-detail.php?id=116> (วันที่ค้นข้อมูล : 10 ตุลาคม 2557).
- [6] ข้าวฟ่างหวาน พืชผลิตเอทานอลทางเลือกใหม่. 2554. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.thailandindustry.com>. (10 ตุลาคม 2557).
- [7] Trichoderma reesei. 2014. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.thailandindustry.com> .(10 ตุลาคม 2557).
- [8] Budding Yeast: Saccharomyces cerevisiae .2014. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://users.rcn.com>. (10 ตุลาคม2557).
- [9] การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรในประเทศไทย.2014. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://users.rcn.com>. (10 ตุลาคม 2557).
- [10] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตเอทานอลครั้งที่ 7 ม.ป.ป. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default> (10 ตุลาคม 2557).
- [11] การผลิตและการควบคุมคุณภาพ มปป.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก www.np.edu.sg/~dept-bio (10 ตุลาคม 2557).

- [12] การผลิตและการควบคุมคุณภาพ ม.ป.ป. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
www.gmu.edu/departments/biology (10 ตุลาคม 2557).
- [13] รัตนา จิระรัตนานนท์. 2541. กระบวนการแยกเยื่อแผ่นสังเคราะห์. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า
ธนบุรี
- [14] ฐปนีย์ ฤทธิไพโรจน์. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าฟลักซ์ ค่าการกักเก็บ และฟาวลิงระหว่างกระบวนการ
กรองน้ำตาลโตนดด้วยเมมเบรน วิทยานิพนธ์ (วท.ม.เทคโนโลยีอาหาร)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก
<http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2533/2491>
- [15] นายโกสินทร์ สุวัชรังกุล การประยุกต์ใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชันแบบความดันต่ำสำหรับ
บำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารปราบศัตรูพืช วิทยานิพนธ์ (วท.ม.สิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก
<http://research.rdi.ku.ac.th>
- [16] Q. Benkun , L. Jianquan, G. Chen, X. Chen and Y. Wan. 2011. “Application of
ultrafiltration and nanofiltration for recycling cellulose and concentration glucose from
enzymatic hydrolyzate of steam explode wheat straw.” **Bioresource Technology**. Vol
104 on.1 (September – October) 466-472
- [17] L.P. Ramos, C. Breuil and J.N. Saddler. 1993. “The use of enzyme recycling and the influence
of sugar accumulation on cellulose hydrolysis by *Trichoderma* cellulases.” **Enzyme
Microb. Technol.** Vol. 15, January
- [18] N. G. Cheng, M. Hasan, A.C. Kumoro, C.F. Ling, and M. Tham. 2009. “ Production of
Ethanol by Fed-Batch Fermentation.”
Pertanika J. Sci. & Technol. Vol7 (February - May) 399 – 408
- [19] G. Chen , W. Song , Q. Benkun , L. Jianren , and Y. Wan. 2013. “Recycling cellulase from
enzymatic hydrolyzate of acid treated wheat straw by electroultrafiltration.”
Bioresource Technology. Vol 144 (March – June) 186-193
- [20] M. Lever , G. Ho , and R.C Ruwisch .2010. “Ethanol from lignocellulose using crude
unprocessed cellulose from solid-state fermentation.” **Bioresource Technology**. Vol
101 (December – April) 7083–7087

- [21] J. Lindedam , M. Østergaard Haven , P. Chylenski , H. Jørgensen , and C. Felby.2013. “Recycling cellulases for cellulosic ethanol production at industrial relevant conditions: Potential and temperature dependency at high solid processes.” **Bioresource Technology**. Vol 148 (June – August) 180 - 188
- [22] W D Mores, JS Knutsen,and, RH Davis .2001. “ Cellulase recovery via membrane filtration.” **Biochemistry and Biotechnology**. Vol 91–93 (January) 297-309
- [23] ฟ่องศรี ศิวราชักดิ์.2556.การผลิตเครื่องผงเอ็นไซม์ต้นแบบเพื่ออุตสาหกรรมเอทานอล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [24] D. Vasanth, G. Pugazhenthii , R. Uppaluri.2013. “Cross-flow microfiltration of oil-in-water emulsions using low cost ceramic membranes.” **Desalination** .Vol 320 (April - May) 86-95
- [25] M. Said , A Ahmad, A.W Mohammad, M.T. M Nor, S. R.S Abdullah.2015. “Blocking mechanism of PES membrane during ultrafiltration of POME.” **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** Vol 182 (Febuary) 182 – 188
- [26] R. Shukla1, M. Cheryan.2002. “Performance of ultrafiltration membranes in ethanol–water solutions: effect of membrane conditioning.” **Journal of Membrane Science** Vol 75 (August) 75 - 85



ภาคผนวก ก
การเตรียมอาหารเหลว LM-pH 5



ภาคผนวก ก

การเตรียมอาหารเหลว LM - pH 5

1. อุปกรณ์

ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 mL

2. สารเคมี

2.1. แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

2.2. แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

2.3. ปุ๋ยยูเรีย (46 % NH_4SO_4)

2.4. ปุ๋ยฟอสเฟต (N-P-K:0-52-34)

2.5. น้ำกลั่น

3. วิธีการเตรียม

3.1. เติมแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตจำนวน 0.5 g แมกนีเซียมซัลเฟตจำนวน 0.5 g ปุ๋ยยูเรียจำนวน 4 g และ ปุ๋ยฟอสเฟต 7.5 g ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 mL

3.2. อาหารเหลวสูตรไม่มีน้ำตาลจะใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 500 mL ก่อนการเติมเข้าถังปฏิกรณ์ต้องทำให้ปลอดเชื้อ

3.3. อาหารเหลวสูตรมีน้ำตาล

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการเตรียมอาหารเหลวสูตรมีน้ำตาลเป็น 2 กรณีดังนี้

3.3.1. อาหารเหลว Im pH 5 สูตรมีน้ำตาล ในกรณีไม่ได้ทำการรีไซเคิลรีเทนเททเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

3.3.3.1. เติมแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตจำนวน 0.5 g แมกนีเซียมซัลเฟตจำนวน 0.5 g ปุ๋ยยูเรียจำนวน 4 g และ ปุ๋ยฟอสเฟต 7.5 g ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 mL

3.3.3.2. เติมน้ำตาลปีบและปรับปริมาตรให้ได้ 500 mL รวมทั้งควบคุมความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ตามต้องการ (30 g/L หรือ 40 g/L) แล้วทำให้ปลอดเชื้อก่อนการเติมเข้าถังปฏิกรณ์

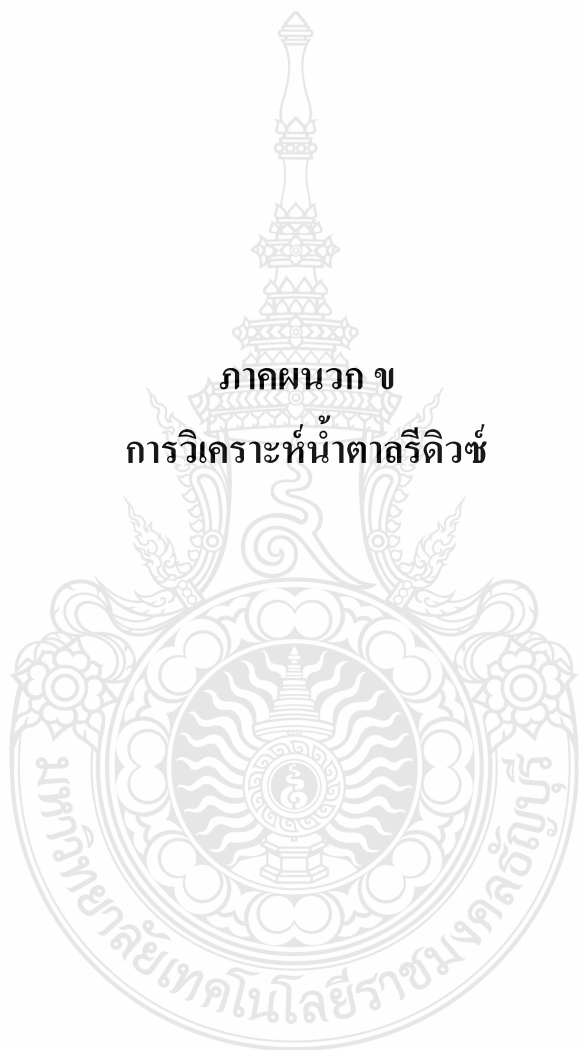
3.3.2. อาหารเหลว LM- pH 5 สูตรมีน้ำตาล ในกรณีทำการรีไซเคิลรีเทนเททเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

3.3.2.1. เติมแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตจำนวน 0.5 g แมกนีเซียมซัลเฟตจำนวน 0.5 g ปุ๋ยยูเรียจำนวน 4 g และปุ๋ยฟอสเฟต 7.5 g ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 mL

3.3.2.2 ปรับปริมาตรให้ได้ 200 mL และทำให้ปลอดเชื้อ หลังจากนั้นทำการ
ผสมรีเทนแทนท์ปริมาตร 300 mL แล้วเติมน้ำตาลให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ (30 g/L หรือ 40 g/L)



ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์น้ำตาสดิวซ์



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ใช้วิเคราะห์ด้วยสารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิกซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 0.4 กรัมต่อลิตรของสารละลาย

1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร
- 1.2 คิวเวต (cuvette)
- 1.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
- 1.4 ขวดปรับปริมาตร 250 และ 1000 มิลลิลิตร
- 1.5 ปิเปตขนาด 1.5 และ 10 มิลลิลิตร
- 1.6 หลอดทดลองขนาดกลางที่มีฝาปิด
- 1.7 ขวดสีชา
- 1.8 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง

2. สารเคมีและวิธีการเตรียม

- 2.1 สารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid: $C_7H_4N_2O_7$)

ละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก 1.00 กรัมกับโซเดียมโพแทสเซียมเตตระเตรท 300 กรัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตรโดยทำที่อุณหภูมิ 50 °C รอจนกระทั่งให้สารละลายหมดหลังจากนั้นทำการปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ 1 ถึง 2 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้

- 2.2 โซเดียมโพแทสเซียมเตตระเตรท (sodium potassium tartate : $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$)

- 2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2 โมลาร์

ซึ่งเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์

40 กรัมลงในขวดปรับปริมาตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

3. การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายน้ำตาลในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 0.4 กรัมต่อลิตร

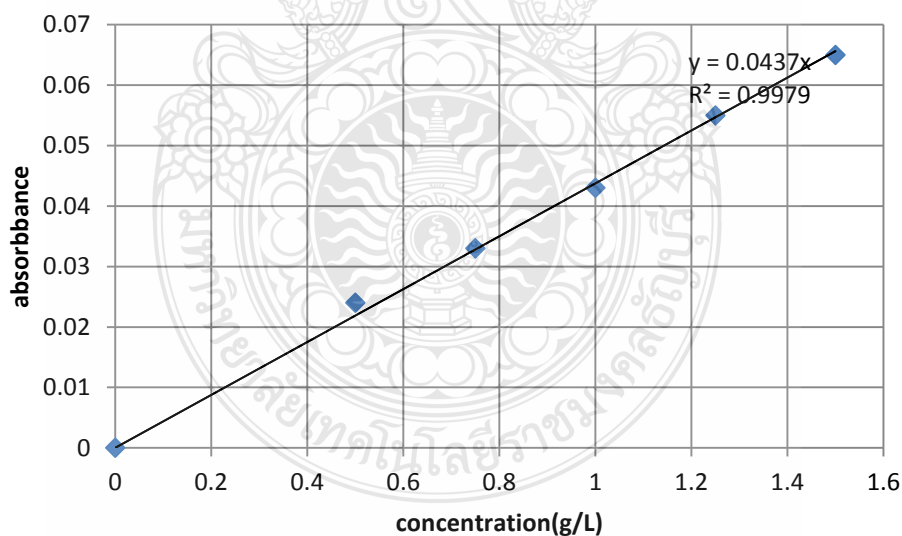
เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

- 3.1 ชั่งกลูโคส 0.25 g ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 mL เติมน้ำจนได้สารละลาย 50 mL เรียกว่าสารละลายเริ่มต้นหรือสารละลายสต็อก (stock solution)

3.2 เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 50 mL จำนวน 7 ขวด เรียงลำดับการเตรียมความเข้มข้นสารละลายกลูโคส โดยเปิดปริมาตรสารละลายสต็อก และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 mL ดังตารางที่ ข1

ตารางที่ ข1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร

ความเข้มข้น สารละลายกลูโคส (g/L)	ปริมาตร(mL)		abs
	สารละลายสต็อก	ปรับปริมาตร	
0(blank)	-	-	0.000
0.50	5.0	50	0.024
0.75	7.5	50	0.033
1.00	10.0	50	0.043
1.25	12.5	50	0.055
1.50	15.0	50	0.065



รูปที่ ข 1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำตาล

4. วิธีการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

4.1 สำหรับ blank ปิเปตน้ำกลั่น 0.5 mL แล้วจึงปิเปตสารละลายเดิม DNS ปริมาตร 5 mL ปิดฝา ผสมด้วยเครื่อง Vortex นาน 1 นาที แล้วจึงนำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และแช่ในน้ำเย็น 5 นาที

4.2 สำหรับสารละลายตัวอย่างปิเปตสารตัวอย่าง 0.5 mL แล้วจึงปิเปตสารละลาย DNS ปริมาตร 5 mL ลงในหลอดทดลองขนาดกลางปิดฝาผสมด้วยเครื่อง Vortex นาน 1 นาที แล้วจึงนำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และแช่ในน้ำเย็น 5 นาที

4.3 นำสารละลายในข้อ 1 และ 2 มาวางที่อุณหภูมิห้องให้ฝ้าที่หลอดหมดแล้วจึงนำไปวัดค่า ABS ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 570 nm

4.4 นำข้อมูลจากข้อที่ 3 มาวิเคราะห์ผลโดยการคำนวณหาค่าน้ำตาลรีดิวซ์จากสูตรซึ่งได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลายน้ำตาล





ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์เอทานอล

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 1.2 คิวเวตควอทซ์
- 1.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
- 1.4 ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 และ 1000 มิลลิลิตร
- 1.5 ปิเปตขนาด 1.0, 5.0, 50 มิลลิลิตร
- 1.6 หลอดทดลองขนาดกลางชนิดฝาปิดเกลียว
- 1.7 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง

2. สารเคมีและวิธีการเตรียม

2.1 โปแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์
ใส่น้ำกลั่นลงไปประมาณครึ่งขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร หลังจากนั้น ชั่ง
โปแทสเซียมไดโครเมต 29.4 กรัม ใส่ลงไปในขวดปรับปริมาตร ทำการปิเปตกรดซัลฟิวริกความ
เข้มข้น 98% ปริมาตร 26.58 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรและทำการปรับปริมาตรให้เป็น 1000
มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้วทำการเก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาและเก็บสารละลายไว้ที่มีด

2.2 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98 %

2.3 น้ำกลั่น

3. การวิเคราะห์เอทานอล

3.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองข้อที่ 1 ทำการปิดฝาเกลียวให้
แน่นนำไปผสมด้วยเครื่อง vortex

3.2 สำหรับ blank สามารถเตรียมได้โดยทำการปิเปตน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร ตามด้วย
สารละลายโปแทสเซียมไดโครเมต 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาดกลางฝาปิดเกลียวปิดฝาให้สนิท
นำไปผสมด้วยเครื่อง vortex

3.3 นำสารละลายข้อ 1 และ 2 ไปทำปฏิกิริยาเคมีโดยการต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศา
เซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที

3.4 นำสารละลายข้อที่ 4 วางไว้ในที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งฝ้าที่หลอดหมด จากนั้นนำไป
วัดค่า absorbance ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 nm

3.5 ถ้าสารละลายมีค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) เกิน 1 ให้ทำการเจือจางที่อัตราส่วน 1:10 โดยทำการปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมน้ำ 9 มิลลิลิตรและจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 nm

หมายเหตุ หลังจากทำปฏิกิริยาเคมีสารละลายที่ได้ต้องใส ไม่ขุ่นมัว หรือมีตะกอน

4. วิธีทำกราฟมาตรฐานเอทานอล

เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 กรัมต่อลิตร หรือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ดังนี้

4.1 เติมน้ำกลั่นประมาณครึ่งขวดของขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

4.2 ปิเปตเอทานอลบริสุทธิ์ความเข้มข้น 99.99 % ที่ความเข้มข้น ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดจากข้อที่ 1

4.3 ปิเปตน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาดกลางฝาปิดเกลียว

4.4 ปิเปตสารละลายในข้อที่ 3 จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองข้อที่ 1 ทำการปิดฝาเกลียวให้แน่น นำไปผสมด้วยเครื่อง vortex

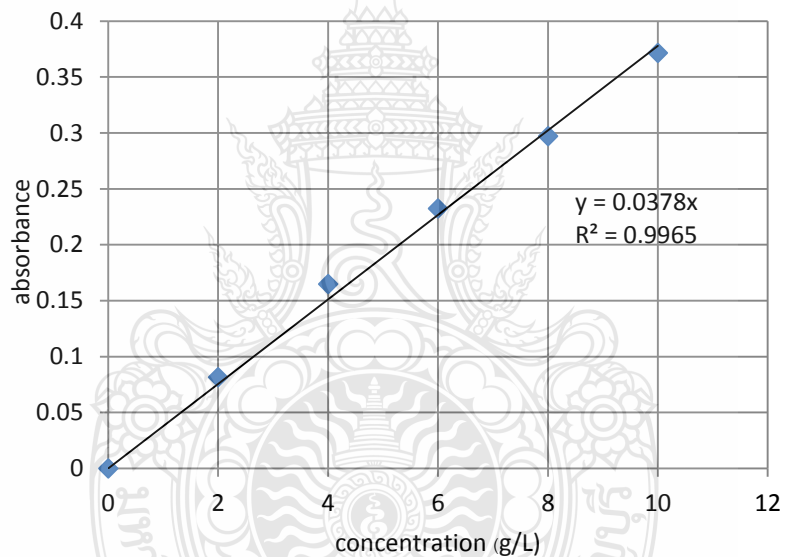
4.5 สำหรับ blank สามารถเตรียมได้โดยทำการปิเปตน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาดกลางฝาปิดเกลียวปิดฝาให้สนิท นำไปผสมด้วยเครื่อง vortex

4.6 นำสารละลายข้อ 4 และ 5 ไปทำปฏิกิริยาเคมีโดยการต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที

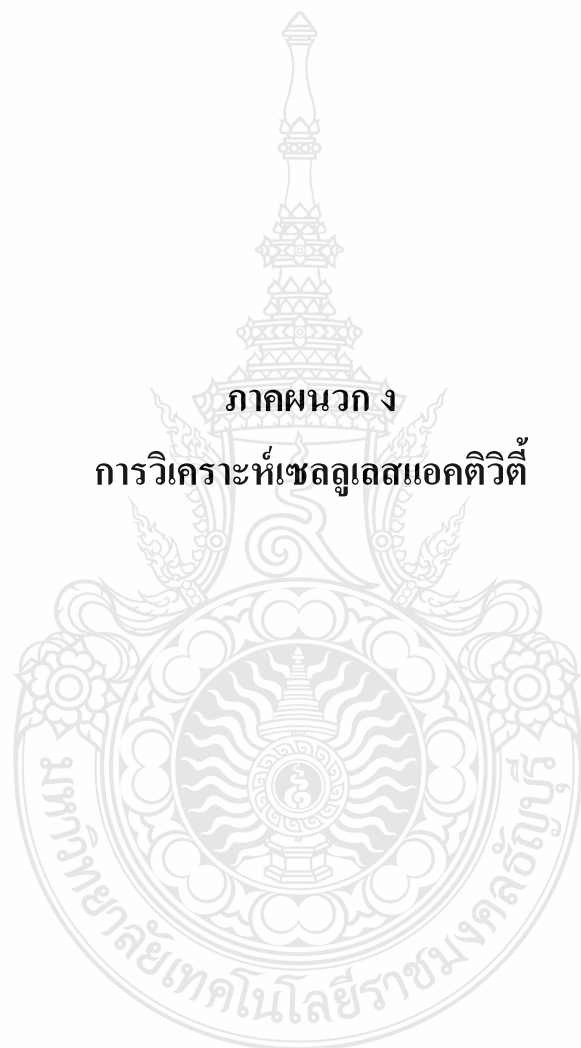
4.7 นำสารละลายข้อที่ 4.4 วางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งฝ้าที่หลอดหมด จากนั้นนำไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 nm ได้ดังตารางที่ ก 1

ตารางที่ ค 1 ค่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารละลาย เอทานอล (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร
0	0.000
2	0.018
4	0.165
6	0.232
8	0.297
10	0.371



รูปที่ ค 1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล



ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์เขตอุตสาหกรรมแอคติวิตี

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์เซลล์เลสแอกติวิตี้

1. อุปกรณ์

- 1.1 กระจกกรองเบอร์ 1
- 1.2 อ่างควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- 1.3 หลอดทดลองขนาดกลางชนิดฝาเกลียวปิด
- 1.4 ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร

2. สารเคมีและวิธีการเตรียม

- 2.1 สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH เท่ากับ 5
- 2.2 สารละลายกรดไดโนโตรซาลิไซลิก

3. วิธีวิเคราะห์เซลล์เลสแอกติวิตี้

- 3.1 ตัดกระจกกรองเบอร์ 1 ขนาด 1×6 cm พับใส่ในหลอดทดลองขนาดเล็กหลอดละ 1 แผ่น
- 3.2 สำหรับ blank ปิเปตโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 5 ปริมาตร 2 mL ใส่ลงในหลอดทดลองข้อ 3.1
- 3.3 สำหรับสารละลายปิเปตโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 5 ปริมาตร 1 mL ใส่ลงในหลอดทดลองข้อ 1 แล้วตามด้วยสารตัวอย่างปริมาตร 1 mL
- 3.4 นำสารละลายในข้อ 2 และ 3 ไปต้มในอ่างควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3.5 นำสารละลายในข้อที่ 4 ไปปั่นแยกด้วยเครื่อง centrifuge เป็นเวลา 10 นาทีที่ความเร็วรอบ 4500 rpm
- 3.6 เมื่อปั่นเหวี่ยงเสร็จแล้ว ปิเปตสารละลายจากข้อที่ 5 ปริมาตร 0.5 mL ลงในหลอดทดลองขนาดกลางฝาปิดเกลียว แล้วเติม DNS ปริมาตร 5 mL ปิดฝา ผสมด้วยเครื่อง Vortex นาน 1 นาที แล้วจึงนำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และแช่ในน้ำเย็น 5 นาที
- 3.7 นำสารละลายในข้อ 3.6 มาวางที่อุณหภูมิห้องให้ฝ้าที่หลอดหมดแล้วจึงนำไปวัดค่า ABS ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 570 nm

3.8. นำข้อมูลจากข้อที่ 3.7 มาวิเคราะห์ผล โดยการคำนวณหาค่าเซลล์แลส แอคติวิตี้ จากสูตร
ซึ่งได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลายน้ำตาล

- หมายเหตุ 1. หลังจากทำปฏิกิริยาเคมีสารละลายที่ได้ต้องใส ไม่ขุ่นมัว หรือมีตะกอน
2. ถ้าสารละลายมีค่าการดูดกลืนแสงเกิน 1 ให้ทำการเจือจางที่อัตราส่วน 1:10 โดยทำการ
ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมน้ำ 9 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตร
โฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 570 nm



ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลินทรีย์



ภาคผนวก จ

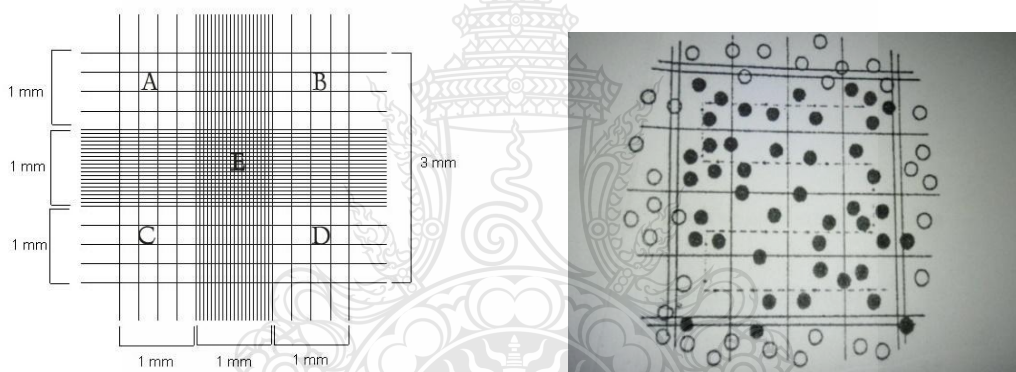
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลินทรีย์

1. วิธีการนับจุลินทรีย์

1.1 นำแผ่นสไลด์ไปส่องกล้องในกรณีทีสไลด์ไม่สะอาดต้องทำความสะอาด Counting Chamber ให้สะอาด

1.2 ปิดให้สนิทด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass)

1.3 ใช้หลอดคูลูสารตัวอย่างลงใน Chamber จากนั้นนำไปวัดจำนวนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์และตรวจนับจำนวนเซลล์ดังรูป 1 (A) และ รูป 2 (B)

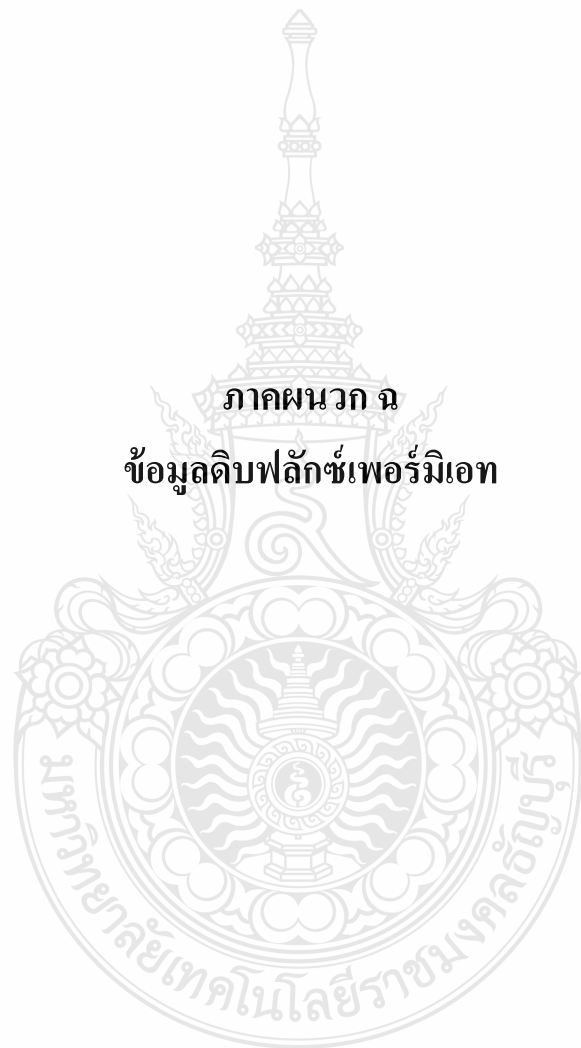


รูปที่ 1 (A) แสดงตารางของ Counting Chamber รูปที่ 2 (B) แสดงตำแหน่งเซลล์ที่ตรวจนับ

• เซลล์ที่ต้องนับ o เซลล์ที่ไม่ต้องนับ

2. การคำนวณความเข้มข้นของจุลินทรีย์

ปริมาณ 5 ช่องที่นับ	$(1/5 \times 1/5 \times 1/10) \times 5 = 1/50$	มม ³
เซลล์ในปริมาณ 1/50 มิลลิลิตร	ค่าเฉลี่ย	เซลล์
หรือในปริมาณ 1 มิลลิลิตร	50000	เซลล์
จำนวนเซลล์ทั้งหมด	$50 \times 1000 \times \text{dilution} \times \text{จำนวนจุลินทรีย์เฉลี่ย}$	เซลล์/มิลลิลิตร



ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลดิบฟลักซ์เฟอร์มิออน

ตัวอย่างการคำนวณค่าฟลักซ์

ทำการจับเวลาตั้งแต่เพอมีเอทหยดแรกหยดออกมา แล้วทำการบันทึกเวลาตามปริมาตรการกรองทุก ๆ 25 mL และหยุดทำการกรองเมื่อปริมาตรเพอมีเอทเท่ากับ 700 mL

$$\text{ฟลักซ์} = \frac{\text{ปริมาตรของเพอมีเอท}}{\text{เวลา} \times \text{พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน}}$$

โดยที่ ปริมาตรเพอมีเอท มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร (mL) เวลาที่ใช้ในการกรอง มีหน่วยเป็น นาที (min) และพื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน เท่ากับ 0.0420 ตารางเมตร (m²)

ตัวอย่างการคำนวณ

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตรการกรอง (g)
2.000	0.025
2.090	0.050

$$\begin{aligned}\text{ฟลักซ์} &= \frac{0.025}{2 \times 420 \times 10^{-4}} \\ &= 0.298 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}\end{aligned}$$

ภาคผนวก จ.1 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 30 g/L ที่

ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
2.000	0.025	0.298		27.400	0.375	0.326
2.090	0.050	0.570		29.460	0.400	0.323
5.370	0.075	0.333		31.170	0.425	0.325
7.260	0.100	0.328		33.250	0.450	0.322
9.020	0.125	0.330		35.070	0.475	0.322
10.510	0.150	0.340		37.280	0.500	0.319
12.240	0.175	0.340		38.580	0.525	0.324
14.260	0.200	0.334		40.570	0.550	0.323
16.170	0.225	0.331		42.580	0.575	0.322
17.540	0.250	0.339		44.540	0.600	0.321
19.500	0.275	0.336		46.460	0.625	0.320
21.540	0.300	0.332		48.220	0.650	0.321
23.430	0.325	0.330		49.480	0.675	0.325
25.250	0.350	0.330		51.220	0.700	0.325

ภาคผนวก จ.2 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 40 g/L ที่

ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.320	0.025	0.451		27.100	0.375	0.329
3.200	0.050	0.372		29.100	0.400	0.327
5.170	0.075	0.345		31.040	0.425	0.326
7.040	0.100	0.338		33.040	0.450	0.324
8.410	0.125	0.354		34.570	0.475	0.327
10.240	0.150	0.349		37.010	0.500	0.322
12.080	0.175	0.345		39.020	0.525	0.320
14.070	0.200	0.338		41.110	0.550	0.319
15.540	0.225	0.345		43.150	0.575	0.317
17.340	0.250	0.343		45.480	0.600	0.314
19.280	0.275	0.340		46.400	0.625	0.321
21.250	0.300	0.336		48.360	0.650	0.320
23.040	0.325	0.336		50.060	0.675	0.321
25.030	0.350	0.333		51.390	0.700	0.324

ภาคผนวก จ.3 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 g/L ที่

ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.050	0.025	0.567		29.370	0.375	0.304
3.060	0.050	0.389		32.170	0.400	0.296
5.060	0.075	0.353		34.120	0.425	0.297
7.050	0.100	0.338		36.280	0.450	0.295
8.440	0.125	0.353		38.370	0.475	0.295
10.420	0.150	0.343		40.470	0.500	0.294
12.430	0.175	0.335		43.030	0.525	0.290
15.000	0.200	0.317		45.230	0.550	0.290
16.580	0.225	0.323		47.400	0.575	0.289
18.530	0.250	0.321		49.570	0.600	0.288
21.350	0.275	0.307		52.000	0.625	0.286
23.350	0.300	0.306		54.110	0.650	0.286
25.250	0.325	0.306		55.510	0.675	0.290
27.270	0.350	0.306		57.470	0.700	0.290

ภาคผนวก ก.4 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 40 g/L ที่

ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.140	0.025	0.522		25.090	0.375	0.356
2.560	0.050	0.465		26.550	0.400	0.359
4.390	0.075	0.407		28.390	0.425	0.356
6.310	0.100	0.377		30.320	0.450	0.353
8.000	0.125	0.372		32.160	0.475	0.352
9.380	0.150	0.381		33.560	0.500	0.355
11.210	0.175	0.372		35.370	0.525	0.353
13.050	0.200	0.365		37.250	0.550	0.352
14.510	0.225	0.369		39.160	0.575	0.350
16.260	0.250	0.366		40.530	0.600	0.352
18.070	0.275	0.362		42.410	0.625	0.351
19.470	0.300	0.367		44.100	0.650	0.351
21.230	0.325	0.364		45.300	0.675	0.355
23.100	0.350	0.361		46.260	0.700	0.360

ภาคผนวก จ.5 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 50 g/L ที่

ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.470	0.025	1.266		22.430	0.375	0.398
2.150	0.050	0.554		24.350	0.400	0.391
3.470	0.075	0.515		26.060	0.425	0.388
5.190	0.100	0.459		27.500	0.450	0.390
6.450	0.125	0.461		29.330	0.475	0.386
8.090	0.150	0.441		31.170	0.500	0.382
9.410	0.175	0.443		33.000	0.525	0.379
11.240	0.200	0.424		34.390	0.550	0.381
12.250	0.225	0.437		36.280	0.575	0.377
14.230	0.250	0.418		38.090	0.600	0.375
16.040	0.275	0.408		39.530	0.625	0.376
17.470	0.300	0.409		41.190	0.650	0.376
19.180	0.325	0.403		42.310	0.675	0.380
20.570	0.350	0.405		43.490	0.700	0.383

ภาคผนวก ก.6 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 40 g/L ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.120	0.025	4.960		16.050	0.375	0.556
1.170	0.050	1.018		17.290	0.400	0.551
2.420	0.075	0.738		18.230	0.425	0.555
3.460	0.100	0.688		19.400	0.450	0.552
5.010	0.125	0.594		20.400	0.475	0.554
6.110	0.150	0.585		21.510	0.500	0.553
7.210	0.175	0.578		23.120	0.525	0.541
8.250	0.200	0.577		24.090	0.550	0.544
9.210	0.225	0.582		25.150	0.575	0.544
10.260	0.250	0.580		26.190	0.600	0.545
11.400	0.275	0.574		27.190	0.625	0.547
12.550	0.300	0.569		28.180	0.650	0.549
13.590	0.325	0.569		29.090	0.675	0.552
15.100	0.350	0.552		29.530	0.700	0.564

ภาคผนวก ก.7 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 120 g/L

ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.190	0.025	3.133		22.040	0.375	0.405
1.430	0.050	0.833		23.480	0.400	0.406
3.100	0.075	0.576		25.160	0.425	0.402
4.500	0.100	0.529		26.530	0.450	0.404
6.200	0.125	0.480		28.230	0.475	0.401
7.470	0.150	0.478		29.550	0.500	0.403
9.210	0.175	0.452		31.260	0.525	0.400
11.060	0.200	0.431		33.100	0.550	0.396
12.250	0.225	0.437		34.400	0.575	0.398
14.030	0.250	0.424		36.140	0.600	0.395
15.450	0.275	0.424		38.050	0.625	0.391
17.190	0.300	0.416		39.070	0.650	0.396
18.400	0.325	0.421		40.160	0.675	0.400
20.170	0.350	0.413		41.430	0.700	0.402

ภาคผนวก ก.8 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 360 g/L

ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.280	0.025	2.126		39.100	0.375	0.228
3.130	0.050	0.380		41.370	0.400	0.230
6.130	0.075	0.291		44.250	0.425	0.229
9.100	0.100	0.262		46.570	0.450	0.230
11.540	0.125	0.258		49.300	0.475	0.229
14.240	0.150	0.251		52.050	0.500	0.229
17.180	0.175	0.243		54.290	0.525	0.230
20.330	0.200	0.234		57.090	0.550	0.229
22.560	0.225	0.237		59.310	0.575	0.231
25.350	0.250	0.235		62.100	0.600	0.230
28.260	0.275	0.232		64.270	0.625	0.232
31.140	0.300	0.229		66.360	0.650	0.233
33.260	0.325	0.233		68.350	0.675	0.235
36.070	0.350	0.231		70.270	0.700	0.237

ภาคผนวก ก.9 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 40 g/L ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.110	0.025	5.411		22.290	0.375	0.401
1.050	0.050	1.134		24.100	0.400	0.395
3.000	0.075	0.595		25.490	0.425	0.397
4.200	0.100	0.567		27.270	0.450	0.393
6.110	0.125	0.487		29.050	0.475	0.389
7.370	0.150	0.485		30.370	0.500	0.392
9.220	0.175	0.452		32.110	0.525	0.389
11.100	0.200	0.429		33.400	0.550	0.392
12.430	0.225	0.431		35.150	0.575	0.389
14.200	0.250	0.419		36.550	0.600	0.391
15.580	0.275	0.420		38.220	0.625	0.389
17.450	0.300	0.409		39.290	0.650	0.394
19.140	0.325	0.404		40.450	0.675	0.397
20.410	0.350	0.408		41.520	0.700	0.401

ภาคผนวก จ.10 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 120 g/L
ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.130	0.025	4.579		22.100	0.375	0.404
1.270	0.050	0.937		23.530	0.400	0.405
3.010	0.075	0.593		25.290	0.425	0.400
4.480	0.100	0.531		27.030	0.450	0.396
6.060	0.125	0.491		28.450	0.475	0.398
7.560	0.150	0.472		30.140	0.500	0.395
9.230	0.175	0.451		31.440	0.525	0.398
10.560	0.200	0.451		33.090	0.550	0.396
12.330	0.225	0.434		34.460	0.575	0.397
14.130	0.250	0.421		36.230	0.600	0.394
15.500	0.275	0.422		37.390	0.625	0.398
17.180	0.300	0.416		39.020	0.650	0.397
18.550	0.325	0.417		40.170	0.675	0.400
20.250	0.350	0.412		41.310	0.700	0.403

ภาคผนวก จ.11 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 360 g/L
ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.150	0.025	3.968		29.070	0.375	0.307
1.220	0.050	0.976		31.010	0.400	0.307
3.430	0.075	0.521		33.040	0.425	0.306
6.010	0.100	0.396		35.060	0.450	0.306
7.530	0.125	0.395		37.000	0.475	0.306
10.040	0.150	0.356		39.280	0.500	0.303
12.130	0.175	0.344		41.010	0.525	0.305
14.160	0.200	0.336		42.310	0.550	0.310
16.360	0.225	0.327		44.230	0.575	0.310
18.230	0.250	0.327		46.200	0.600	0.309
20.340	0.275	0.322		48.060	0.625	0.310
22.410	0.300	0.319		49.460	0.650	0.313
24.380	0.325	0.317		51.160	0.675	0.314
26.430	0.350	0.315		52.460	0.700	0.318

ภาคผนวก จ.12 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่1

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.130	0.025	0.527		67.220	0.375	0.133
4.440	0.050	0.268		72.330	0.400	0.132
8.560	0.075	0.209		77.500	0.425	0.131
13.540	0.100	0.176		83.220	0.450	0.129
18.250	0.125	0.163		88.180	0.475	0.128
23.060	0.150	0.155		93.040	0.500	0.128
27.480	0.175	0.152		98.140	0.525	0.127
32.420	0.200	0.147		104.320	0.550	0.126
37.030	0.225	0.145		111.260	0.575	0.123
42.090	0.250	0.141		117.270	0.600	0.122
47.220	0.275	0.139		122.540	0.625	0.121
52.440	0.300	0.136		126.410	0.650	0.122
56.420	0.325	0.137		131.220	0.675	0.122
61.580	0.350	0.135		136.140	0.700	0.122

ภาคผนวก จ.13 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 2

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.440	0.025	0.413		43.150	0.375	0.207
4.260	0.050	0.279		46.420	0.400	0.205
7.400	0.075	0.241		49.540	0.425	0.204
10.320	0.100	0.231		53.180	0.450	0.201
13.030	0.125	0.228		56.110	0.475	0.202
16.040	0.150	0.223		59.220	0.500	0.201
19.150	0.175	0.218		63.000	0.525	0.198
22.320	0.200	0.213		66.040	0.550	0.198
25.170	0.225	0.213		69.160	0.575	0.198
28.120	0.250	0.212		72.520	0.600	0.197
31.110	0.275	0.210		78.530	0.625	0.189
34.290	0.300	0.208		78.430	0.650	0.197
37.310	0.325	0.207		81.190	0.675	0.198
40.180	0.350	0.207		83.400	0.700	0.200

ภาคผนวก จ.14 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 3

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.330	0.025	0.448		42.270	0.375	0.211
3.050	0.050	0.390		45.240	0.400	0.211
6.270	0.075	0.285		49.050	0.425	0.206
9.310	0.100	0.256		52.000	0.450	0.206
12.370	0.125	0.241		55.280	0.475	0.205
15.240	0.150	0.234		58.420	0.500	0.204
18.320	0.175	0.227		61.090	0.525	0.205
21.240	0.200	0.224		65.170	0.550	0.201
24.510	0.225	0.219		68.360	0.575	0.200
27.360	0.250	0.218		71.490	0.600	0.200
30.410	0.275	0.215		75.130	0.625	0.198
33.410	0.300	0.214		78.340	0.650	0.198
36.450	0.325	0.212		81.420	0.675	0.197
39.180	0.350	0.213		84.130	0.700	0.198

ภาคผนวก จ.15 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 4

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.200	0.025	0.496		48.350	0.375	0.185
4.130	0.050	0.288		53.070	0.400	0.179
7.240	0.075	0.247		56.190	0.425	0.180
11.040	0.100	0.216		59.500	0.450	0.180
14.170	0.125	0.210		63.330	0.475	0.179
17.110	0.150	0.209		67.020	0.500	0.178
20.400	0.175	0.204		70.460	0.525	0.177
24.370	0.200	0.195		73.550	0.550	0.178
28.050	0.225	0.191		77.530	0.575	0.177
31.410	0.250	0.190		81.440	0.600	0.175
34.350	0.275	0.191		84.530	0.625	0.176
38.470	0.300	0.186		88.040	0.650	0.176
41.530	0.325	0.186		91.140	0.675	0.176
44.540	0.350	0.187		94.230	0.700	0.177

ภาคผนวก จ.16 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ครั้งที่ 1

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.180	0.025	3.307		36.480	0.375	0.245
1.520	0.050	0.783		39.110	0.400	0.244
3.260	0.075	0.548		42.560	0.425	0.238
6.250	0.100	0.381		45.340	0.450	0.236
9.330	0.125	0.319		50.110	0.475	0.226
12.240	0.150	0.292		52.060	0.500	0.229
14.220	0.175	0.293		55.300	0.525	0.226
17.400	0.200	0.274		58.300	0.550	0.225
19.320	0.225	0.277		61.240	0.575	0.224
21.540	0.250	0.276		64.230	0.600	0.222
24.470	0.275	0.268		66.540	0.625	0.224
27.580	0.300	0.259		69.170	0.650	0.224
30.100	0.325	0.257		72.560	0.675	0.221
33.340	0.350	0.250		75.040	0.700	0.222

ภาคผนวก จ.17 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ครั้งที่ 2

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.200	0.025	2.976		37.260	0.375	0.240
1.590	0.050	0.749		40.120	0.400	0.237
4.500	0.075	0.397		43.100	0.425	0.235
7.270	0.100	0.328		46.000	0.450	0.233
9.470	0.125	0.314		48.490	0.475	0.233
12.280	0.150	0.291		51.550	0.500	0.231
15.060	0.175	0.277		54.390	0.525	0.230
17.590	0.200	0.271		57.290	0.550	0.229
20.230	0.225	0.265		60.190	0.575	0.227
22.530	0.250	0.264		64.020	0.600	0.223
25.440	0.275	0.257		66.330	0.625	0.224
28.570	0.300	0.250		69.110	0.650	0.224
31.300	0.325	0.247		71.060	0.675	0.226
34.220	0.350	0.244		73.050	0.700	0.228

ภาคผนวก จ.18 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s ครั้งที่ 3

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.180	0.025	3.307		35.400	0.375	0.252
1.040	0.050	1.145		39.000	0.400	0.244
3.400	0.075	0.525		42.300	0.425	0.239
5.530	0.100	0.431		46.000	0.450	0.233
7.000	0.125	0.425		49.200	0.475	0.230
9.310	0.150	0.384		53.200	0.500	0.224
11.300	0.175	0.369		56.400	0.525	0.222
13.100	0.200	0.364		60.000	0.550	0.218
16.180	0.225	0.331		64.000	0.575	0.214
19.250	0.250	0.309		68.000	0.600	0.210
22.060	0.275	0.297		71.100	0.625	0.209
25.100	0.300	0.285		73.000	0.650	0.212
28.300	0.325	0.273		75.400	0.675	0.213
32.050	0.350	0.260		77.000	0.700	0.216

ภาคผนวก จ.19 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s ครั้งที่ 1

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.070	0.025	8.503		25.140	0.375	0.355
0.550	0.050	2.165		27.290	0.400	0.349
1.220	0.075	1.464		30.120	0.425	0.336
2.000	0.100	1.190		32.070	0.450	0.334
3.150	0.125	0.945		35.130	0.475	0.322
4.260	0.150	0.838		37.560	0.500	0.317
6.480	0.175	0.643		40.100	0.525	0.312
8.280	0.200	0.575		42.250	0.550	0.310
10.370	0.225	0.517		45.180	0.575	0.303
13.020	0.250	0.457		47.310	0.600	0.302
15.500	0.275	0.422		50.500	0.625	0.295
18.480	0.300	0.387		52.310	0.650	0.296
20.360	0.325	0.380		55.130	0.675	0.292
23.390	0.350	0.356		57.210	0.700	0.291

ภาคผนวก จ.20 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมใน
การกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s ครั้งที่ 2

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.070	0.025	8.503		28.130	0.375	0.317
0.540	0.050	2.205		31.430	0.400	0.303
1.580	0.075	1.130		34.480	0.425	0.293
3.190	0.100	0.746		36.500	0.450	0.294
4.360	0.125	0.683		39.100	0.475	0.289
6.450	0.150	0.554		42.040	0.500	0.283
8.160	0.175	0.511		44.300	0.525	0.282
11.060	0.200	0.431		47.260	0.550	0.277
13.130	0.225	0.408		49.320	0.575	0.278
16.410	0.250	0.363		52.230	0.600	0.274
18.070	0.275	0.362		54.330	0.625	0.274
21.450	0.300	0.333		57.140	0.650	0.271
23.430	0.325	0.330		59.140	0.675	0.272
26.070	0.350	0.320		62.270	0.700	0.268

ภาคผนวก จ.21 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักในช่วงการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s ครั้งที่ 3

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.070	0.025	14.881		29.100	0.375	0.307
0.550	0.050	2.381		32.400	0.400	0.294
1.220	0.075	1.109		35.250	0.425	0.287
2.000	0.100	1.185		38.100	0.450	0.281
3.150	0.125	0.771		40.100	0.475	0.282
4.260	0.150	0.535		42.230	0.500	0.282
6.480	0.175	0.436		44.390	0.525	0.282
8.280	0.200	0.414		46.300	0.550	0.283
10.370	0.225	0.352		48.390	0.575	0.283
13.020	0.250	0.346		51.360	0.600	0.278
15.500	0.275	0.321		53.340	0.625	0.279
18.480	0.300	0.323		55.090	0.650	0.281
20.360	0.325	0.321		57.290	0.675	0.281
23.390	0.350	0.319		59.190	0.700	0.282

ภาคผนวก จ.22 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 1

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.580	0.025	1.026		57.500	0.375	0.155
4.360	0.050	0.273		62.570	0.400	0.152
8.070	0.075	0.221		67.560	0.425	0.150
11.530	0.100	0.207		72.250	0.450	0.148
15.040	0.125	0.198		76.460	0.475	0.148
19.000	0.150	0.188		81.330	0.500	0.146
23.120	0.175	0.180		86.300	0.525	0.145
27.450	0.200	0.173		91.190	0.550	0.144
31.540	0.225	0.170		96.240	0.575	0.142
35.470	0.250	0.168		101.100	0.600	0.141
40.280	0.275	0.163		105.020	0.625	0.142
44.580	0.300	0.160		109.140	0.650	0.142
49.190	0.325	0.157		114.040	0.675	0.141
53.250	0.350	0.156		119.050	0.700	0.140

ภาคผนวก จ.23 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 2

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.040	0.025	0.572		58.340	0.375	0.153
4.060	0.050	0.293		63.120	0.400	0.151
8.180	0.075	0.218		68.070	0.425	0.149
12.240	0.100	0.195		72.390	0.450	0.148
16.260	0.125	0.183		77.220	0.475	0.146
19.550	0.150	0.183		81.240	0.500	0.147
23.420	0.175	0.178		86.510	0.525	0.144
27.540	0.200	0.173		92.050	0.550	0.142
31.540	0.225	0.170		96.530	0.575	0.142
36.030	0.250	0.165		101.430	0.600	0.141
40.240	0.275	0.163		106.180	0.625	0.140
45.170	0.300	0.158		110.280	0.650	0.140
48.470	0.325	0.160		114.290	0.675	0.141
53.190	0.350	0.157		118.050	0.700	0.141

ภาคผนวก จ.24 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 3

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.300	0.025	1.984		64.100	0.375	0.139
4.170	0.050	0.285		69.000	0.400	0.138
7.580	0.075	0.236		73.430	0.425	0.138
11.560	0.100	0.206		79.250	0.450	0.135
16.180	0.125	0.184		83.510	0.475	0.135
20.140	0.150	0.177		89.150	0.500	0.134
25.010	0.175	0.167		96.210	0.525	0.130
30.170	0.200	0.158		101.260	0.550	0.129
35.000	0.225	0.153		107.110	0.575	0.128
39.230	0.250	0.152		113.110	0.600	0.126
44.040	0.275	0.149		120.390	0.625	0.124
49.280	0.300	0.145		126.230	0.650	0.123
54.200	0.325	0.143		131.580	0.675	0.122
59.440	0.350	0.140		136.020	0.700	0.123

ภาคผนวก จ.25 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 4

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.250	0.025	2.381		63.090	0.375	0.142
4.130	0.050	0.288		68.550	0.400	0.139
8.340	0.075	0.214		73.240	0.425	0.138
12.370	0.100	0.192		78.280	0.450	0.137
16.400	0.125	0.181		83.310	0.475	0.136
20.510	0.150	0.174		89.090	0.500	0.134
25.060	0.175	0.166		93.450	0.525	0.134
29.440	0.200	0.162		99.040	0.550	0.132
34.440	0.225	0.156		104.190	0.575	0.131
39.110	0.250	0.152		109.510	0.600	0.130
44.170	0.275	0.148		115.170	0.625	0.129
48.520	0.300	0.147		119.570	0.650	0.129
53.310	0.325	0.145		124.120	0.675	0.129
58.270	0.350	0.143		128.070	0.700	0.130

ภาคผนวก จ.26 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 5

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.250	0.025	2.381		75.470	0.375	0.118
4.170	0.050	0.285		82.520	0.400	0.115
8.380	0.075	0.213		88.200	0.425	0.115
14.040	0.100	0.170		95.420	0.450	0.112
20.060	0.125	0.148		100.380	0.475	0.113
24.480	0.150	0.146		106.340	0.500	0.112
29.590	0.175	0.141		113.190	0.525	0.110
36.060	0.200	0.132		119.270	0.550	0.110
41.170	0.225	0.130		125.570	0.575	0.109
46.400	0.250	0.128		132.190	0.600	0.108
52.410	0.275	0.125		139.150	0.625	0.107
58.010	0.300	0.123		144.530	0.650	0.107
63.510	0.325	0.122		149.550	0.675	0.107
69.410	0.350	0.120		156.010	0.700	0.107

ภาคผนวก จ.27 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 6

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
1.440	0.025	0.413		77.350	0.375	0.115
7.160	0.050	0.166		84.520	0.400	0.113
12.050	0.075	0.148		91.060	0.425	0.111
17.180	0.100	0.139		96.410	0.450	0.111
22.210	0.125	0.134		101.580	0.475	0.111
28.040	0.150	0.127		107.150	0.500	0.111
34.160	0.175	0.122		113.180	0.525	0.110
39.190	0.200	0.122		119.560	0.550	0.110
44.300	0.225	0.121		126.060	0.575	0.109
49.540	0.250	0.120		134.130	0.600	0.107
54.560	0.275	0.120		138.420	0.625	0.108
61.410	0.300	0.116		144.460	0.650	0.107
66.170	0.325	0.117		150.100	0.675	0.107
71.460	0.350	0.117		156.150	0.700	0.107

ภาคผนวก จ.28 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 7

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.400	0.025	1.488		75.270	0.375	0.119
4.010	0.050	0.297		81.110	0.400	0.117
9.290	0.075	0.192		86.350	0.425	0.117
14.380	0.100	0.166		92.460	0.450	0.116
19.400	0.125	0.153		98.230	0.475	0.115
24.060	0.150	0.148		104.040	0.500	0.114
30.060	0.175	0.139		110.470	0.525	0.113
35.550	0.200	0.134		116.050	0.550	0.113
40.550	0.225	0.132		122.420	0.575	0.112
46.410	0.250	0.128		130.200	0.600	0.110
52.100	0.275	0.126		136.080	0.625	0.109
58.280	0.300	0.123		141.100	0.650	0.110
63.200	0.325	0.122		146.200	0.675	0.110
69.400	0.350	0.120		151.100	0.700	0.110

ภาคผนวก จ.29 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 8

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.400	0.025	1.488		81.170	0.375	0.110
4.440	0.050	0.268		87.160	0.400	0.109
9.530	0.075	0.187		92.110	0.425	0.110
14.480	0.100	0.164		97.470	0.450	0.110
20.210	0.125	0.147		103.020	0.475	0.110
26.080	0.150	0.137		109.370	0.500	0.109
31.020	0.175	0.134		117.170	0.525	0.107
38.160	0.200	0.125		125.420	0.550	0.104
44.170	0.225	0.121		132.300	0.575	0.103
49.290	0.250	0.121		139.460	0.600	0.102
56.300	0.275	0.116		146.560	0.625	0.102
63.550	0.300	0.112		152.465	0.650	0.102
70.180	0.325	0.110		158.320	0.675	0.102
75.180	0.350	0.111		164.180	0.700	0.102

ภาคผนวก จ.30 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 9

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.360	0.025	1.653		77.370	0.375	0.115
5.360	0.050	0.222		84.220	0.400	0.113
11.180	0.075	0.160		89.480	0.425	0.113
16.060	0.100	0.148		96.470	0.450	0.111
21.560	0.125	0.138		103.040	0.475	0.110
26.540	0.150	0.135		109.200	0.500	0.109
31.270	0.175	0.133		115.490	0.525	0.108
38.290	0.200	0.124		121.410	0.550	0.108
43.110	0.225	0.124		129.090	0.575	0.106
48.390	0.250	0.123		136.100	0.600	0.105
54.360	0.275	0.120		142.050	0.625	0.105
61.340	0.300	0.116		147.210	0.650	0.105
65.480	0.325	0.118		153.330	0.675	0.105
70.480	0.350	0.118		159.360	0.700	0.105

ภาคผนวก จ.31 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 10

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
3.320	0.025	0.179		82.340	0.375	0.108
8.420	0.050	0.141		89.230	0.400	0.107
14.180	0.075	0.126		94.360	0.425	0.107
19.540	0.100	0.122		102.330	0.450	0.105
25.130	0.125	0.118		107.490	0.475	0.105
30.010	0.150	0.119		114.300	0.500	0.104
36.030	0.175	0.116		121.260	0.525	0.103
41.560	0.200	0.115		127.510	0.550	0.103
46.240	0.225	0.116		135.490	0.575	0.101
51.410	0.250	0.116		143.360	0.600	0.100
56.090	0.275	0.117		150.020	0.625	0.099
63.030	0.300	0.113		156.130	0.650	0.099
69.240	0.325	0.112		163.420	0.675	0.098
76.110	0.350	0.109		168.470	0.700	0.099

ภาคผนวก จ.32 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 11

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
6.130	0.025	0.097		91.470	0.375	0.098
12.170	0.050	0.098		98.050	0.400	0.097
17.550	0.075	0.102		106.180	0.425	0.095
22.370	0.100	0.106		112.090	0.450	0.096
28.220	0.125	0.105		120.510	0.475	0.094
33.190	0.150	0.108		128.470	0.500	0.093
39.320	0.175	0.106		136.020	0.525	0.092
44.460	0.200	0.107		143.380	0.550	0.091
50.570	0.225	0.106		153.100	0.575	0.089
56.420	0.250	0.106		162.200	0.600	0.088
63.090	0.275	0.104		169.130	0.625	0.088
69.270	0.300	0.103		176.390	0.650	0.088
75.270	0.325	0.103		184.560	0.675	0.087
81.510	0.350	0.102		189.110	0.700	0.088

ภาคผนวก จ.33 ข้อมูลดิบฟลักซ์เพอมีเอทของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสม ณ
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s ครั้งที่ 12

เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)		เวลาการกรอง (min)	ปริมาตร การกรอง(m ³)	ฟลักซ์ (m ³ /m ² .s)
0.330	0.025	1.804		90.000	0.375	0.099
5.230	0.050	0.228		97.210	0.400	0.098
10.470	0.075	0.171		104.320	0.425	0.097
17.530	0.100	0.136		111.090	0.450	0.096
23.360	0.125	0.127		119.200	0.475	0.095
29.280	0.150	0.122		126.180	0.500	0.094
34.370	0.175	0.121		133.590	0.525	0.094
41.250	0.200	0.115		142.040	0.550	0.092
47.590	0.225	0.113		149.110	0.575	0.092
54.380	0.250	0.109		157.270	0.600	0.091
61.140	0.275	0.107		165.110	0.625	0.090
68.190	0.300	0.105		171.280	0.650	0.090
74.440	0.325	0.104		178.430	0.675	0.090
81.340	0.350	0.102		185.290	0.700	0.090



ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์

ภาคผนวก ข.1 ข้อมูลดิบของน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อหา
สภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.258	0.251	0.254	0.254	58.467
1	0.250	0.257	0.259	0.255	58.697
2	0.225	0.244	0.246	0.238	54.789
3	0.234	0.233	0.232	0.233	53.563
4	0.231	0.248	0.240	0.239	55.095
5	0.170	0.188	0.185	0.181	41.609
6	0.144	0.143	0.142	0.143	32.873
7	0.105	0.110	0.110	0.108	24.904
8	0.119	0.119	0.138	0.125	28.812
9	0.116	0.117	0.118	0.117	26.896
10	0.104	0.101	0.094	0.0998	22.950
11	0.640	0.690	0.560	0.630	14.482
12	0.081	0.101	0.082	0.088	20.229
13	0.971	0.973	0.988	0.977	22.467
14	0.876	0.894	0.837	0.869	19.977
15					
16	0.851	0.997	0.924	0.924	21.241
17					
18	0.821	0.807	0.81	0.812	18.681
19	0.736	0.794	0.795	0.775	17.816
20	0.858	0.853	0.85	0.853	19.624
21	0.886	0.894	0.898	0.892	20.521
22	0.849	0.925	0.860	0.878	20.183
23	0.827	0.800	0.805	0.810	18.636

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
24	0.980	0.99	0.987	0.985	22.659
25	0.943	0.948	0.959	0.950	21.839
26	0.83	0.919	0.966	0.905	20.804
27	0.973	0.987	0.978	0.979	22.513
28	0.106	0.084	0.083	0.091	20.919
29	0.080	0.087	0.08	0.082	18.927
30	0.752	0.753	0.887	0.797	18.329
31	0.102	0.102	0.103	0.102	23.524
32	0.083	0.083	0.082	0.082	19.003
33	0.081	0.081	0.081	0.081	18.620
34	0.961	0.944	0.940	0.948	21.800
35	0.121	0.122	0.121	0.121	27.892
36	0.083	0.084	0.082	0.083	19.080
37	0.075	0.076	0.075	0.075	17.318
38	0.075	0.077	0.076	0.076	17.471
39	0.081	0.08	0.079	0.080	18.390
40	0.142	0.142	0.141	0.141	32.567
41	0.148	0.138	0.143	0.143	32.873
42	0.199	0.200	0.203	0.200	46.130
43	0.241	0.229	0.199	0.223	51.264
44	0.188	0.187	0.183	0.186	42.758
45	0.149	0.142	0.143	0.144	33.256
46	0.149	0.149	0.160	0.152	35.095
47	0.117	0.123	0.108	0.116	26.666
48	0.147	0.167	0.151	0.155	35.632
49	0.184	0.202	0.191	0.192	44.214
50	0.179	0.183	0.180	0.180	41.532

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
51	0.174	0.177	0.178	0.176	40.536
52	0.212	0.200	0.191	0.201	46.206
53					
54	0.182	0.190	0.185	0.185	42.681



ภาคผนวก ข.2 ข้อมูลดิบของเอทานอลจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อหา
สภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.130	0.136	0.138	0.134	35.626
1	0.117	0.119	0.120	0.118	31.393
2	0.85	0.944	0.981	0.925	24.470
3	0.937	0.936	0.940	0.937	24.806
4	0.113	0.113	0.107	0.111	29.365
5	0.124	0.11	0.113	0.115	30.599
6	0.110	0.105	0.119	0.111	29.453
7	0.112	0.115	0.12	0.115	30.599
8	0.111	0.111	0.112	0.111	29.453
9	0.108	0.111	0.117	0.112	29.629
10	0.104	0.104	0.109	0.105	27.954
11	0.092	0.080	0.090	0.087	23.104
12	0.100	0.094	0.098	0.097	25.749
13	0.098	0.104	0.102	0.101	26.807
14	0.093	0.137	0.121	0.117	30.952
15					
16	0.118	0.118	0.123	0.119	31.657
17					
18	0.969	0.962	0.965	0.965	25.537
19	0.124	0.115	0.110	0.116	30.776
20	0.111	0.124	0.109	0.114	30.335
21	0.126	0.124	0.128	0.126	33.333
22	0.125	0.125	0.128	0.126	33.333
23	0.129	0.120	0.121	0.123	32.627

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
24	0.134	0.128	0.134	0.132	34.920
25	0.123	0.125	0.123	0.123	32.716
26	0.126	0.120	0.121	0.122	32.363
27	0.153	0.148	0.150	0.150	39.770
28	0.147	0.146	0.145	0.146	38.624
29	0.135	0.136	0.135	0.135	35.802
30	0.149	0.149	0.148	0.148	39.329
31	0.138	0.137	0.139	0.138	36.507
32	0.139	0.138	0.139	0.138	36.684
33	0.135	0.132	0.137	0.134	35.626
34	0.129	0.137	0.130	0.132	34.920
35	0.168	0.150	0.160	0.159	42.151
36	0.167	0.157	0.154	0.159	42.151
37	0.110	0.104	0.105	0.106	28.130
38	0.107	0.107	0.107	0.107	28.306
39	0.131	0.133	0.130	0.131	34.744
40	0.133	0.13	0.141	0.134	35.626
41	0.148	0.138	0.143	0.143	37.830
42	0.136	0.144	0.143	0.141	37.301
43	0.154	0.140	0.148	0.147	38.977
44	0.147	0.155	0.152	0.151	40.035
45	0.155	0.154	0.156	0.155	41.005
46	0.165	0.168	0.167	0.1666	44.091
47	0.156	0.154	0.156	0.155	41.093
48	0.156	0.154	0.156	0.155	41.093
49	0.14	0.145	0.140	0.141	37.477
50	0.172	0.174	0.179	0.175	46.296

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
51	0.196	0.194	0.195	0.195	51.587
52	0.176	0.182	0.174	0.177	46.913
53					
54	0.174	0.175	0.176	0.175	46.296



ภาคผนวก ข.3 ข้อมูลดิบของจุลินทรีย์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
0	1.58E+08	23	1.13E+08
1	1.28E+08	24	1.90E+08
2	1.58E+08	25	1.60E+08
3	1.58E+08	26	1.80E+08
4	1.83E+08	27	2.00E+08
5	1.65E+08	28	1.80E+08
6	1.58E+08	29	2.00E+08
7	1.65E+08	30	1.90E+08
8	1.33E+08	31	1.68E+08
9	1.43E+08	32	2.53E+08
10	1.50E+08	33	2.05E+08
11	1.18E+08	34	2.05E+08
12	1.23E+08	35	2.03E+08
13	2.18E+08	36	2.30E+08
14	1.73E+08	37	2.73E+08
15	1.78E+08	38	1.55E+08
16		39	1.90E+08
17	1.78E+08	40	2.60E+08
18		41	2.45E+08
19	2.00E+08	42	3.15E+08
20	1.98E+08	43	2.50E+08
21	1.90E+08	44	2.40E+08
22	1.88E+08	45	2.70E+08
46	2.50E+08	50	3.18E+08

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
47	2.50E+08	51	3.08E+08
48	2.90E+08	52	2.80E+08
49	2.20E+08	53	
		54	2.38E+08



ภาคผนวก ข.4 ข้อมูลดิบของเซลลูโลส แอคติวิตีจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อ

หาสภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0.000	0.135	0.138	0.137	0.137	31.418
1.000	0.148	0.168	0.150	0.155	35.709
2.000	0.100	0.118	0.120	0.113	25.900
3.000	0.156	0.157	0.155	0.156	35.862
4.000	0.173	0.176	0.170	0.173	39.770
5.000	0.996	1.060	0.997	1.018	23.395
6.000	0.880	0.881	0.880	0.880	20.238
7.000	0.721	0.728	0.725	0.725	16.659
8.000	0.641	0.686	0.650	0.659	15.149
9.000	0.424	0.415	0.430	0.423	9.724
10.000	0.480	0.537	0.530	0.516	11.854
11.000	0.345	0.358	0.359	0.354	8.138
12.000	0.395	0.407	0.398	0.400	9.195
13.000	0.361	0.355	0.360	0.359	8.245
14.000	0.371	0.377	0.375	0.374	8.605
15.000					
16.000	0.342	0.359	0.345	0.349	8.015
17.000					
18.000	0.336	0.343	0.340	0.340	7.808
19.000	0.371	0.377	0.375	0.374	8.605
20.000	0.384	0.382	0.383	0.383	8.805
21.000	0.446	0.432	0.440	0.439	10.100
22.000	0.431	0.439	0.435	0.435	10.000

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23.000	0.382	0.391	0.385	0.386	8.874
24.000	0.513	0.530	0.520	0.521	11.977
25.000	0.299	0.334	0.310	0.314	7.226
26.000	0.320	0.351	0.330	0.334	7.670
27.000	0.301	0.292	0.298	0.297	6.828
28.000	0.378	0.363	0.370	0.370	8.513
29.000	0.320	0.308	0.310	0.313	7.188
30.000	0.253	0.259	0.255	0.256	5.877
31.000	0.615	0.600	0.603	0.606	13.931
32.000	0.337	0.357	0.345	0.346	7.962
33.000	0.404	0.427	0.410	0.414	9.510
34.000	0.342	0.349	0.345	0.345	7.939
35.000	0.564	0.581	0.570	0.572	13.142
36.000	0.400	0.402	0.401	0.401	9.218
37.000	0.354	0.370	0.360	0.361	8.307
38.000	0.365	0.367	0.365	0.366	8.406
39.000	0.297	0.299	0.298	0.298	6.851
40.000	0.610	0.651	0.630	0.630	14.490
41.000	0.608	0.585	0.590	0.594	13.663
42.000	0.909	0.951	0.915	0.925	21.264
43.000	0.095	0.102	0.101	0.099	22.835
44.000	0.719	0.724	0.725	0.723	16.613
45.000	0.835	0.893	0.850	0.859	19.755
46.000	0.685	0.720	0.710	0.705	16.207
47.000	0.590	0.585	0.587	0.587	13.502
48.000	0.780	0.810	0.790	0.793	18.238
49.000	0.690	0.690	0.695	0.692	15.900

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50.000	0.750	0.790	0.780	0.773	17.778
51.000	0.998	0.997	0.996	0.997	22.920
52.000	0.978	0.997	0.976	0.984	22.613
53.000					
54.000	0.977	0.954	0.960	0.964	22.153



ภาคผนวก ข.5 ข้อมูลดิบของน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการ

ขยายผล

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.275	0.278	0.277	0.276	63.601
1	0.289	0.290	0.289	0.289	66.513
2	0.293	0.296	0.295	0.294	67.739
3	0.283	0.287	0.287	0.285	65.670
4	0.288	0.292	0.285	0.288	66.283
5	0.27	0.266	0.268	0.268	61.609
6	0.278	0.279	0.278	0.278	63.984
7	0.297	0.298	0.298	0.297	68.429
8	0.263	0.264	0.263	0.263	60.536
9	0.228	0.227	0.228	0.227	52.337
10	0.236	0.241	0.237	0.238	54.712
11	0.225	0.226	0.225	0.225	51.800
12	0.22	0.217	0.22	0.219	50.344
13	0.242	0.240	0.241	0.241	55.402
14	0.230	0.228	0.231	0.229	52.796
15	0.178	0.177	0.178	0.177	40.842
16	0.178	0.163	0.172	0.171	39.310
17	0.161	0.145	0.162	0.156	35.862
18	0.175	0.168	0.172	0.171	39.463
19	0.146	0.141	0.137	0.141	32.490
20	0.139	0.137	0.135	0.137	31.494
21	0.126	0.116	0.118	0.120	27.586
22	0.159	0.136	0.140	0.145	33.333

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.133	0.129	0.125	0.129	29.655
24	0.116	0.108	0.105	0.109	25.210
25	0.135	0.12	0.118	0.124	28.582
26	0.125	0.113	0.123	0.120	27.662
27	0.112	0.112	0.109	0.111	25.517
28	0.155	0.142	0.15	0.149	34.252
29	0.158	0.156	0.148	0.154	35.402
30	0.166	0.155	0.16	0.160	36.858
31	0.164	0.165	0.162	0.163	37.624
32	0.178	0.16	0.172	0.170	39.080
33	0.154	0.137	0.143	0.144	33.256
34	0.157	0.149	0.156	0.154	35.402
35	0.135	0.128	0.122	0.128	29.501
36	0.223	0.208	0.222	0.217	50.038
37	0.191	0.167	0.154	0.170	39.233
38	0.198	0.186	0.183	0.189	43.448
39	0.168	0.145	0.155	0.156	35.862
40	0.202	0.188	0.168	0.186	42.758
41	0.182	0.186	0.182	0.183	42.145
42	0.197	0.207	0.209	0.204	46.973
43	0.198	0.202	0.213	0.204	46.973
44	0.203	0.218	0.184	0.201	46.360
45	0.154	0.187	0.183	0.174	40.153
46	0.213	0.192	0.195	0.200	45.977
47	0.197	0.207	0.209	0.204	46.973
48	0.24	0.246	0.229	0.238	54.789
49	0.286	0.277	0.27	0.277	63.831

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.276	0.294	0.283	0.284	65.363
51	0.283	0.27	0.251	0.268	61.609
52	0.279	0.261	0.248	0.262	60.383



ภาคผนวก ข.6 ข้อมูลดิบของเอทานอลจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการ

ขยายผล

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.107	0.107	0.108	0.107	28.395
1	0.100	0.098	0.099	0.099	26.190
2	0.103	0.104	0.103	0.103	27.336
3	0.934	0.934	0.937	0.935	24.735
4	0.099	0.097	0.098	0.098	25.925
5	0.11	0.114	0.113	0.112	29.717
6	0.844	0.861	0.85	0.851	22.530
7	0.936	0.936	0.938	0.936	24.779
8	0.114	0.115	0.110	0.113	29.894
9	0.119	0.122	0.120	0.120	31.834
10	0.143	0.148	0.145	0.145	38.447
11	0.146	0.145	0.144	0.145	38.359
12	0.170	0.176	0.167	0.171	45.238
13	0.155	0.155	0.156	0.155	41.093
14	0.169	0.164	0.16	0.164	43.474
15	0.181	0.177	0.178	0.178	47.266
16	0.186	0.188	0.18	0.184	48.853
17	0.168	0.162	0.165	0.165	43.650
18	0.181	0.185	0.178	0.181	47.971
19	0.181	0.169	0.173	0.174	46.119
20	0.185	0.178	0.166	0.176	46.649
21	0.183	0.173	0.175	0.177	46.825
22	0.175	0.181	0.177	0.177	47.001

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.182	0.18	0.180	0.180	47.795
24	0.204	0.175	0.167	0.182	48.148
25	0.190	0.182	0.181	0.184	48.765
26	0.191	0.187	0.185	0.187	49.647
27	0.205	0.183	0.187	0.191	50.705
28	0.219	0.215	0.216	0.216	57.319
29	0.259	0.232	0.213	0.234	62.081
30	0.254	0.247	0.243	0.248	65.608
31	0.288	0.256	0.265	0.269	71.340
32	0.316	0.307	0.299	0.307	81.305
33	0.233	0.222	0.237	0.230	61.022
34	0.22	0.221	0.205	0.215	56.966
35	0.218	0.217	0.220	0.218	57.760
36	0.200	0.191	0.190	0.193	51.234
37	0.211	0.194	0.197	0.200	53.086
38	0.218	0.218	0.208	0.214	56.790
39	0.225	0.225	0.200	0.216	57.319
40	0.201	0.19	0.191	0.194	51.322
41	0.268	0.261	0.256	0.261	69.223
42	0.203	0.195	0.196	0.198	52.380
43	0.248	0.23	0.238	0.238	63.139
44	0.226	0.206	0.209	0.213	56.525
45	0.228	0.224	0.216	0.222	58.906
46	0.223	0.214	0.217	0.218	57.671
47	0.203	0.196	0.195	0.198	52.380
48	0.211	0.210	0.214	0.211	55.996
49	0.230	0.223	0.226	0.226	59.876

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.220	0.213	0.211	0.214	56.790
51	0.236	0.228	0.228	0.230	61.022
52	0.231	0.218	0.220	0.223	58.994



ภาคผนวก ข.7 ข้อมูลดิบของจุลินทรีย์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการ
ขยายผล

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
0	2.05E+08	23	3.00E+08
1	2.20E+08	24	2.93E+08
2	2.30E+08	25	2.85E+08
3	2.08E+08	26	3.33E+08
4	2.65E+08	27	3.10E+08
5	2.13E+08	28	3.60E+08
6	1.88E+08	29	4.25E+08
7	2.73E+08	30	4.63E+08
8	2.60E+08	31	3.63E+08
9	2.70E+08	32	3.60E+08
10	2.80E+08	33	3.75E+08
11	2.60E+08	34	4.13E+08
12	2.98E+08	35	4.35E+08
13	2.63E+08	36	4.60E+08
14	2.28E+08	37	5.30E+08
15	3.18E+08	38	4.73E+08
16	3.10E+08	39	4.98E+08
17	3.60E+08	40	4.25E+08
18	4.50E+08	41	3.60E+08
19	2.70E+08	42	4.25E+08
20	3.13E+08	43	4.15E+08
21	3.13E+08	44	3.25E+08
22	2.78E+08	45	4.13E+08
46	3.93E+08	50	4.13E+08

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
47	3.53E+08	51	3.83E+08
48	3.43E+08	52	3.80E+08
49	4.05E+08		



ภาคผนวก ข.8 ข้อมูลดิบของเซลลูโลส แอคติวิตีจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ใน

การขยายผล

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.158	0.157	0.157	0.157	36.168
1	0.185	0.177	0.180	0.180	41.532
2	0.177	0.189	0.188	0.184	42.452
3	0.164	0.159	0.160	0.161	37.011
4	0.173	0.175	0.174	0.161	37.011
5	0.148	0.159	0.150	0.152	35.019
6	0.156	0.160	0.158	0.158	36.321
7	0.159	0.163	0.160	0.160	36.934
8	0.116	0.113	0.115	0.114	26.360
9	0.105	0.108	0.107	0.106	24.521
10	0.118	0.119	0.118	0.118	27.203
11	0.092	0.091	0.093	0.092	21.149
12	0.976	0.970		0.973	22.367
13	0.087	0.088	0.087	0.087	20.076
14	0.086	0.085	0.097	0.089	20.574
15	0.977	0.974		0.975	22.425
16	0.103	0.103		0.103	23.678
17	0.829	0.816		0.822	18.908
18	0.916	0.911		0.913	21.000
19	0.759	0.745		0.752	17.287
20	0.673	0.704		0.688	15.827
21	0.570	0.578		0.574	13.195
22	0.691	0.621		0.656	15.080

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.586	0.603		0.594	13.666
24	0.625	0.661		0.643	14.781
25	0.646	0.68		0.663	15.241
26	0.551	0.56		0.555	12.770
27	0.574	0.594		0.584	13.425
28	0.738	0.764		0.751	17.264
29	0.816	0.863		0.839	19.298
30	0.894	0.877		0.885	20.356
31	0.894	0.903		0.898	20.655
32	0.932			0.932	21.425
33	0.722	0.803		0.762	17.528
34	0.808	0.797		0.802	18.448
35	0.75	0.743		0.746	17.160
36	0.132	0.133		0.132	30.459
37	0.917	0.96		0.938	21.574
38	0.944	0.94		0.942	21.655
39	0.974	0.939		0.956	21.988
40	0.106	0.104		0.105	24.137
41	0.893	0.849		0.871	20.022
42	0.989			0.989	22.735
43	0.107	0.111		0.109	25.057
44	0.0993	0.102		0.100	23.137
45	0.127	0.105		0.116	26.666
46	0.093	0.106		0.099	22.873
47	0.107	0.106		0.106	24.482
48	0.104	0.096		0.100	22.988
49	0.184	0.182		0.183	42.068

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.154	0.150		0.152	34.942
51	0.165	0.167		0.166	38.160
52	0.158	0.165		0.1615	37.126





ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลดิบการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์

ภาคผนวก ณ.1 ข้อมูลดิบของน้ำตาสรีดิวซ์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อหา
สภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.258	0.251	0.254	0.254333	58.46743
1	0.25	0.257	0.259	0.255333	58.69732
2	0.225	0.244	0.246	0.238333	54.78927
3	0.234	0.233	0.232	0.233	53.56322
4	0.231	0.248	0.24	0.239667	55.09579
5	0.17	0.188	0.185	0.181	41.6092
6	0.144	0.143	0.142	0.143	32.87356
7	0.105	0.11	0.11	0.108333	24.90421
8	0.119	0.119	0.138	0.125333	28.81226
9	0.116	0.117	0.118	0.117	26.89655
10	0.104	0.101	0.0945	0.099833	22.95019
11	0.64	0.69	0.56	0.63	14.48276
12	0.081	0.101	0.082	0.088	20.22989
13	0.971	0.973	0.988	0.977333	22.46743
14	0.876	0.894	0.837	0.869	19.97701
15					
16	0.851	0.997	0.924	0.924	21.24138
17					
18	0.821	0.807	0.81	0.812667	18.68199
19	0.736	0.794	0.795	0.775	17.81609
20	0.858	0.853	0.85	0.853667	19.62452
21	0.886	0.894	0.898	0.892667	20.52107
22	0.849	0.925	0.86	0.878	20.18391

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.827	0.8	0.805	0.810667	18.63602
24	0.98	0.99	0.987	0.985667	22.659
25	0.943	0.948	0.959	0.95	21.83908
26	0.83	0.919	0.966	0.905	20.8046
27	0.973	0.987	0.978	0.979333	22.51341
28	0.106	0.084	0.083	0.091	20.91954
29	0.08	0.087	0.08	0.082333	18.9272
30	0.752	0.753	0.887	0.797333	18.3295
31	0.102	0.102	0.103	0.102333	23.5249
32	0.083	0.083	0.082	0.082667	19.00383
33	0.081	0.081	0.081	0.081	18.62069
34	0.961	0.944	0.94	0.948333	21.80077
35	0.121	0.122	0.121	0.121333	27.89272
36	0.083	0.084	0.082	0.083	19.08046
37	0.075	0.076	0.075	0.075333	17.31801
38	0.075	0.077	0.076	0.076	17.47126
39	0.081	0.08	0.079	0.08	18.3908
40	0.142	0.142	0.141	0.141667	32.56705
41	0.148	0.138	0.143	0.143	32.87356
42	0.199	0.2	0.203	0.200667	46.13027
43	0.241	0.229	0.199	0.223	51.26437
44	0.188	0.187	0.183	0.186	42.75862
45	0.149	0.142	0.143	0.144667	33.2567
46	0.149	0.149	0.16	0.152667	35.09579
47	0.117	0.123	0.108	0.116	26.66667
48	0.147	0.167	0.151	0.155	35.63218
49	0.184	0.202	0.191	0.192333	44.21456

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.179	0.183	0.18	0.180667	41.53257
51	0.174	0.177	0.178	0.176333	40.5364
52	0.212	0.2	0.191	0.201	46.2069
53					
54	0.182	0.19	0.185	0.185667	42.68199



ภาคผนวก ฅ.2 ข้อมูลดิบของเอทานอลจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อหา
สภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.13	0.136	0.138	0.134667	35.6261
1	0.117	0.119	0.12	0.118667	31.3933
2	0.85	0.944	0.981	0.925	24.4709
3	0.937	0.936	0.94	0.937667	24.806
4	0.113	0.113	0.107	0.111	29.36508
5	0.124	0.11	0.113	0.115667	30.59965
6	0.11	0.105	0.119	0.111333	29.45326
7	0.112	0.115	0.12	0.115667	30.59965
8	0.111	0.111	0.112	0.111333	29.45326
9	0.108	0.111	0.117	0.112	29.62963
10	0.104	0.104	0.109	0.105667	27.95414
11	0.092	0.08	0.09	0.087333	23.10406
12	0.1	0.094	0.098	0.097333	25.74956
13	0.098	0.104	0.102	0.101333	26.80776
14	0.093	0.137	0.121	0.117	30.95238
15					
16	0.118	0.118	0.123	0.119667	31.65785
17					
18	0.969	0.962	0.965	0.965333	25.53792
19	0.124	0.115	0.11	0.116333	30.77601
20	0.111	0.124	0.109	0.114667	30.3351
21	0.126	0.124	0.128	0.126	33.33333
22	0.125	0.125	0.128	0.126	33.33333

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.129	0.12	0.121	0.123333	32.62787
24	0.134	0.128	0.134	0.132	34.92063
25	0.123	0.125	0.123	0.123667	32.71605
26	0.126	0.12	0.121	0.122333	32.36332
27	0.153	0.148	0.15	0.150333	39.77072
28	0.147	0.146	0.145	0.146	38.62434
29	0.135	0.136	0.135	0.135333	35.80247
30	0.149	0.149	0.148	0.148667	39.32981
31	0.138	0.137	0.139	0.138	36.50794
32	0.139	0.138	0.139	0.138667	36.6843
33	0.135	0.132	0.137	0.134667	35.6261
34	0.129	0.137	0.13	0.132	34.92063
35	0.168	0.15	0.16	0.159333	42.15168
36	0.167	0.157	0.154	0.159333	42.15168
37	0.11	0.104	0.105	0.106333	28.13051
38	0.107	0.107	0.107	0.107	28.30688
39	0.131	0.133	0.13	0.131333	34.74427
40	0.133	0.13	0.141	0.134667	35.6261
41	0.148	0.138	0.143	0.143	37.83069
42	0.136	0.144	0.143	0.141	37.30159
43	0.154	0.14	0.148	0.147333	38.97707
44	0.147	0.155	0.152	0.151333	40.03527
45	0.155	0.154	0.156	0.155	41.00529
46	0.165	0.168	0.167	0.166667	44.09171
47	0.156	0.154	0.156	0.155333	41.09347
48	0.156	0.154	0.156	0.155333	41.09347
49	0.14	0.145	0.14	0.141667	37.47795

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.172	0.174	0.179	0.175	46.2963
51	0.196	0.194	0.195	0.195	51.5873
52	0.176	0.182	0.174	0.177333	46.91358
53					
54	0.174	0.175	0.176	0.175	46.2963



ภาคผนวก ณ.3 ข้อมูลดิบของจุลินทรีย์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
0	1.58E+08	23	1.13E+08
1	1.28E+08	24	1.90E+08
2	1.58E+08	25	1.60E+08
3	1.58E+08	26	1.80E+08
4	1.83E+08	27	2.00E+08
5	1.65E+08	28	1.80E+08
6	1.58E+08	29	2.00E+08
7	1.65E+08	30	1.90E+08
8	1.33E+08	31	1.68E+08
9	1.43E+08	32	2.53E+08
10	1.50E+08	33	2.05E+08
11	1.18E+08	34	2.05E+08
12	1.23E+08	35	2.03E+08
13	2.18E+08	36	2.30E+08
14	1.73E+08	37	2.73E+08
15	1.78E+08	38	1.55E+08
16		39	1.90E+08
17	1.78E+08	40	2.60E+08
18		41	2.45E+08
19	2.00E+08	42	3.15E+08
20	1.98E+08	43	2.50E+08
21	1.90E+08	44	2.40E+08
22	1.88E+08	45	2.70E+08
46	2.50E+08	50	3.18E+08

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
47	2.50E+08	51	3.08E+08
48	2.90E+08	52	2.80E+08
49	2.20E+08	53	
		54	2.38E+08



ภาคผนวก ณ.4 ข้อมูลดิบของเซลล์เลส แอคติวิตีจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์เพื่อ
หาสภาวะที่เหมาะสม

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0.000	0.135	0.138	0.137	0.137	31.418
1.000	0.148	0.168	0.150	0.155	35.709
2.000	0.100	0.118	0.120	0.113	25.900
3.000	0.156	0.157	0.155	0.156	35.862
4.000	0.173	0.176	0.170	0.173	39.770
5.000	0.996	1.060	0.997	1.018	23.395
6.000	0.880	0.881	0.880	0.880	20.238
7.000	0.721	0.728	0.725	0.725	16.659
8.000	0.641	0.686	0.650	0.659	15.149
9.000	0.424	0.415	0.430	0.423	9.724
10.000	0.480	0.537	0.530	0.516	11.854
11.000	0.345	0.358	0.359	0.354	8.138
12.000	0.395	0.407	0.398	0.400	9.195
13.000	0.361	0.355	0.360	0.359	8.245
14.000	0.371	0.377	0.375	0.374	8.605
15.000					
16.000	0.342	0.359	0.345	0.349	8.015
17.000					
18.000	0.336	0.343	0.340	0.340	7.808
19.000	0.371	0.377	0.375	0.374	8.605
20.000	0.384	0.382	0.383	0.383	8.805
21.000	0.446	0.432	0.440	0.439	10.100
22.000	0.431	0.439	0.435	0.435	10.000

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23.000	0.382	0.391	0.385	0.386	8.874
24.000	0.513	0.530	0.520	0.521	11.977
25.000	0.299	0.334	0.310	0.314	7.226
26.000	0.320	0.351	0.330	0.334	7.670
27.000	0.301	0.292	0.298	0.297	6.828
28.000	0.378	0.363	0.370	0.370	8.513
29.000	0.320	0.308	0.310	0.313	7.188
30.000	0.253	0.259	0.255	0.256	5.877
31.000	0.615	0.600	0.603	0.606	13.931
32.000	0.337	0.357	0.345	0.346	7.962
33.000	0.404	0.427	0.410	0.414	9.510
34.000	0.342	0.349	0.345	0.345	7.939
35.000	0.564	0.581	0.570	0.572	13.142
36.000	0.400	0.402	0.401	0.401	9.218
37.000	0.354	0.370	0.360	0.361	8.307
38.000	0.365	0.367	0.365	0.366	8.406
39.000	0.297	0.299	0.298	0.298	6.851
40.000	0.610	0.651	0.630	0.630	14.490
41.000	0.608	0.585	0.590	0.594	13.663
42.000	0.909	0.951	0.915	0.925	21.264
43.000	0.095	0.102	0.101	0.099	22.835
44.000	0.719	0.724	0.725	0.723	16.613
45.000	0.835	0.893	0.850	0.859	19.755
46.000	0.685	0.720	0.710	0.705	16.207
47.000	0.590	0.585	0.587	0.587	13.502
48.000	0.780	0.810	0.790	0.793	18.238
49.000	0.690	0.690	0.695	0.692	15.900

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50.000	0.750	0.790	0.780	0.773	17.778
51.000	0.998	0.997	0.996	0.997	22.920
52.000	0.978	0.997	0.976	0.984	22.613
53.000					
54.000	0.977	0.954	0.960	0.964	22.153



ภาคผนวก ฅ.5 ข้อมูลดิบของน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการ

ขยายผล

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.275	0.278	0.277	0.276667	63.60153
1	0.289	0.29	0.289	0.289333	66.51341
2	0.293	0.296	0.295	0.294667	67.73946
3	0.283	0.287	0.287	0.285667	65.6705
4	0.288	0.292	0.285	0.288333	66.28352
5	0.27	0.266	0.268	0.268	61.6092
6	0.278	0.279	0.278	0.278333	63.98467
7	0.297	0.298	0.298	0.297667	68.42912
8	0.263	0.264	0.263	0.263333	60.5364
9	0.228	0.227	0.228	0.227667	52.33716
10	0.236	0.241	0.237	0.238	54.71264
11	0.225	0.226	0.225	0.225333	51.80077
12	0.22	0.217	0.22	0.219	50.34483
13	0.242	0.24	0.241	0.241	55.4023
14	0.23	0.228	0.231	0.229667	52.79693
15	0.178	0.177	0.178	0.177667	40.84291
16	0.178	0.163	0.172	0.171	39.31034
17	0.161	0.145	0.162	0.156	35.86207
18	0.175	0.168	0.172	0.171667	39.4636
19	0.146	0.141	0.137	0.141333	32.49042
20	0.139	0.137	0.135	0.137	31.49425
21	0.126	0.116	0.118	0.12	27.58621
22	0.159	0.136	0.14	0.145	33.33333

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.133	0.129	0.125	0.129	29.65517
24	0.116	0.108	0.105	0.109667	25.21073
25	0.135	0.12	0.118	0.124333	28.58238
26	0.125	0.113	0.123	0.120333	27.66284
27	0.112	0.112	0.109	0.111	25.51724
28	0.155	0.142	0.15	0.149	34.25287
29	0.158	0.156	0.148	0.154	35.4023
30	0.166	0.155	0.16	0.160333	36.85824
31	0.164	0.165	0.162	0.163667	37.62452
32	0.178	0.16	0.172	0.17	39.08046
33	0.154	0.137	0.143	0.144667	33.2567
34	0.157	0.149	0.156	0.154	35.4023
35	0.135	0.128	0.122	0.128333	29.50192
36	0.223	0.208	0.222	0.217667	50.03831
37	0.191	0.167	0.154	0.170667	39.23372
38	0.198	0.186	0.183	0.189	43.44828
39	0.168	0.145	0.155	0.156	35.86207
40	0.202	0.188	0.168	0.186	42.75862
41	0.182	0.186	0.182	0.183333	42.14559
42	0.197	0.207	0.209	0.204333	46.97318
43	0.198	0.202	0.213	0.204333	46.97318
44	0.203	0.218	0.184	0.201667	46.36015
45	0.154	0.187	0.183	0.174667	40.15326
46	0.213	0.192	0.195	0.2	45.97701
47	0.197	0.207	0.209	0.204333	46.97318
48	0.24	0.246	0.229	0.238333	54.78927
49	0.286	0.277	0.27	0.277667	63.83142

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.276	0.294	0.283	0.284333	65.36398
51	0.283	0.27	0.251	0.268	61.6092
52	0.279	0.261	0.248	0.262667	60.38314



ภาคผนวก ณ.6 ข้อมูลดิบของเอทานอลจากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการ

ขยายผล

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.107	0.107	0.108	0.107333	28.39506
1	0.1	0.098	0.099	0.099	26.19048
2	0.103	0.104	0.103	0.103333	27.33686
3	0.934	0.934	0.937	0.935	24.73545
4	0.099	0.097	0.098	0.098	25.92593
5	0.11	0.114	0.113	0.112333	29.71781
6	0.844	0.861	0.85	0.851667	22.53086
7	0.936	0.936	0.938	0.936667	24.77954
8	0.114	0.115	0.11	0.113	29.89418
9	0.119	0.122	0.12	0.120333	31.83422
10	0.143	0.148	0.145	0.145333	38.44797
11	0.146	0.145	0.144	0.145	38.35979
12	0.17	0.176	0.167	0.171	45.2381
13	0.155	0.155	0.156	0.155333	41.09347
14	0.169	0.164	0.16	0.164333	43.47443
15	0.181	0.177	0.178	0.178667	47.26631
16	0.186	0.188	0.18	0.184667	48.85362
17	0.168	0.162	0.165	0.165	43.65079
18	0.181	0.185	0.178	0.181333	47.97178
19	0.181	0.169	0.173	0.174333	46.11993
20	0.185	0.178	0.166	0.176333	46.64903
21	0.183	0.173	0.175	0.177	46.8254
22	0.175	0.181	0.177	0.177667	47.00176

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.182	0.18	0.18	0.180667	47.79541
24	0.204	0.175	0.167	0.182	48.14815
25	0.19	0.182	0.181	0.184333	48.76543
26	0.191	0.187	0.185	0.187667	49.64727
27	0.205	0.183	0.187	0.191667	50.70547
28	0.219	0.215	0.216	0.216667	57.31922
29	0.259	0.232	0.213	0.234667	62.08113
30	0.254	0.247	0.243	0.248	65.60847
31	0.288	0.256	0.265	0.269667	71.34039
32	0.316	0.307	0.299	0.307333	81.30511
33	0.233	0.222	0.237	0.230667	61.02293
34	0.22	0.221	0.205	0.215333	56.96649
35	0.218	0.217	0.22	0.218333	57.76014
36	0.2	0.191	0.19	0.193667	51.23457
37	0.211	0.194	0.197	0.200667	53.08642
38	0.218	0.218	0.208	0.214667	56.79012
39	0.225	0.225	0.2	0.216667	57.31922
40	0.201	0.19	0.191	0.194	51.32275
41	0.268	0.261	0.256	0.261667	69.22399
42	0.203	0.195	0.196	0.198	52.38095
43	0.248	0.23	0.238	0.238667	63.13933
44	0.226	0.206	0.209	0.213667	56.52557
45	0.228	0.224	0.216	0.222667	58.90653
46	0.223	0.214	0.217	0.218	57.67196
47	0.203	0.196	0.195	0.198	52.38095
48	0.211	0.21	0.214	0.211667	55.99647
49	0.23	0.223	0.226	0.226333	59.87654

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.22	0.213	0.211	0.214667	56.79012
51	0.236	0.228	0.228	0.230667	61.02293
52	0.231	0.218	0.22	0.223	58.99471



ภาคผนวก ฅ.7 ข้อมูลดิบของจุลินทรีย์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ในการขยายผล

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
0	2.05E+08	23	3.00E+08
1	2.20E+08	24	2.93E+08
2	2.30E+08	25	2.85E+08
3	2.08E+08	26	3.33E+08
4	2.65E+08	27	3.10E+08
5	2.13E+08	28	3.60E+08
6	1.88E+08	29	4.25E+08
7	2.73E+08	30	4.63E+08
8	2.60E+08	31	3.63E+08
9	2.70E+08	32	3.60E+08
10	2.80E+08	33	3.75E+08
11	2.60E+08	34	4.13E+08
12	2.98E+08	35	4.35E+08
13	2.63E+08	36	4.60E+08
14	2.28E+08	37	5.30E+08
15	3.18E+08	38	4.73E+08
16	3.10E+08	39	4.98E+08
17	3.60E+08	40	4.25E+08
18	4.50E+08	41	3.60E+08
19	2.70E+08	42	4.25E+08
20	3.13E+08	43	4.15E+08
21	3.13E+08	44	3.25E+08
22	2.78E+08	45	4.13E+08
46	3.93E+08	50	4.13E+08

วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)	วันที่หมัก (day)	ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (cell/ml)
47	3.53E+08	51	3.83E+08
48	3.43E+08	52	3.80E+08
49	4.05E+08		



ภาคผนวก ฅ.8 ข้อมูลดิบของเซลล์แสงอาทิตย์จากการหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์ใน

การขยายผล

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
0	0.158	0.157	0.157	0.157333	36.16858
1	0.185	0.177	0.18	0.180667	41.53257
2	0.177	0.189	0.188	0.184667	42.45211
3	0.164	0.159	0.16	0.161	37.01149
4	0.173	0.175	0.174	0.161	37.01149
5	0.148	0.159	0.15	0.152333	35.01916
6	0.156	0.16	0.158	0.158	36.32184
7	0.159	0.163	0.16	0.160667	36.93487
8	0.116	0.113	0.115	0.114667	26.36015
9	0.105	0.108	0.107	0.106667	24.52107
10	0.118	0.119	0.118	0.118333	27.20307
11	0.092	0.091	0.093	0.092	21.14943
12	0.976	0.97		0.973	22.36782
13	0.087	0.088	0.087	0.087333	20.07663
14	0.086	0.085	0.0975	0.0895	20.57471
15	0.977	0.974		0.9755	22.42529
16	0.103	0.103		0.103	23.67816
17	0.829	0.816		0.8225	18.90805
18	0.916	0.911		0.9135	21
19	0.759	0.745		0.752	17.28736
20	0.673	0.704		0.6885	15.82759
21	0.57	0.578		0.574	13.1954
22	0.691	0.621		0.656	15.08046

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
23	0.586	0.603		0.5945	13.66667
24	0.625	0.661		0.643	14.78161
25	0.646	0.68		0.663	15.24138
26	0.551	0.56		0.5555	12.77011
27	0.574	0.594		0.584	13.42529
28	0.738	0.764		0.751	17.26437
29	0.816	0.863		0.8395	19.29885
30	0.894	0.877		0.8855	20.35632
31	0.894	0.903		0.8985	20.65517
32	0.932			0.932	21.42529
33	0.722	0.803		0.7625	17.52874
34	0.808	0.797		0.8025	18.44828
35	0.75	0.743		0.7465	17.16092
36	0.132	0.133		0.1325	30.45977
37	0.917	0.96		0.9385	21.57471
38	0.944	0.94		0.942	21.65517
39	0.974	0.939		0.9565	21.98851
40	0.106	0.104		0.105	24.13793
41	0.893	0.849		0.871	20.02299
42	0.989			0.989	22.73563
43	0.107	0.111		0.109	25.05747
44	0.0993	0.102		0.10065	23.13793
45	0.127	0.105		0.116	26.66667
46	0.093	0.106		0.0995	22.87356
47	0.107	0.106		0.1065	24.48276
48	0.104	0.096		0.1	22.98851
49	0.184	0.182		0.183	42.06897

วันที่หมัก (day)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น g/l
50	0.154	0.15		0.152	34.94253
51	0.165	0.167		0.166	38.16092
52	0.158	0.165		0.1615	37.12644





ภาคผนวก ด
ผลงานตีพิมพ์ที่เผยแพร่

ภาคผนวก ข
ผลการร่อนน้ำหมักและสารละลายตั้งเคราะห์



ภาคผนวก ข.1 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.822	0.828	0.822	0.824	21.799
0.200	0.884	0.890	0.903	0.892	23.607
0.300	0.926	0.920	0.918	0.921	24.374
0.400	0.928	0.932	0.927	0.929	24.577
0.500	0.920	0.918	0.929	0.922	24.400
0.600	0.925	0.921	0.921	0.922	24.400
0.700	0.930	0.932	0.927	0.930	24.594
รีเทนเทด	0.111	0.11	0.118	0.113	29.890
สารป้อน	0.114	0.113	0.113	0.113	29.980

ภาคผนวก ข.2 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.446	0.456	0.452	0.451	10.375
0.200	0.544	0.542	0.548	0.545	12.521
0.300	0.572	0.567	0.569	0.569	13.088
0.400	0.578	0.577	0.580	0.578	13.295
0.500	0.570	0.573	0.581	0.575	13.211
0.600	0.569	0.566	0.570	0.568	13.065
0.700	0.581	0.584	0.579	0.581	13.364
รีเทนเทด	0.853	0.858	0.854	0.855	19.655172
สารป้อน	0.734	0.732	0.733	0.733	16.851

ภาคผนวก ข.3 ผลของการกรองสารละลายเซลล์แอส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.243	0.242	0.240	0.242	5.556
0.200	0.262	0.275	0.274	0.270	6.215
0.300	0.276	0.270	0.279	0.275	6.322
0.400	0.272	0.272	0.273	0.272	6.261
0.500	0.297	0.290	0.302	0.296	6.812
0.600	0.310	0.309	0.310	0.310	7.119
0.700	0.319	0.314	0.317	0.317	7.280
รีเทนเทด	0.424	0.345	0.425	0.423	9.724
สารป้อน	0.336	0.343	0.340	0.340	7.808

ภาคผนวก ข.4 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	6	9	7.5	1	7	5	6
2	8	10	9	2	7	8	7.5
3	8	10	9	3	10	8	9
4	7	11	9	4	10	8	9
5	9	6	7.5	5	7	7	7
		sum	42			sum	38.5
	จำนวนเซลล์ทั้งหมด		2.10x10 ⁷		จำนวนเซลล์ทั้งหมด		1.93E+0 ⁸

ภาคผนวก ข.5 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.088	0.093	0.097	0.093	24.515
0.200	0.089	0.088	0.087	0.880	23.280
0.300	0.093	0.093	0.094	0.933	24.691
0.400	0.093	0.093	0.091	0.923	24.427
0.500	0.095	0.095	0.096	0.953	25.220
0.600	0.106	0.108	0.111	1.083	28.660
0.700	0.105	0.109	0.104	1.060	28.042
รีเทนเทด	0.117	0.115	0.117	0.116	30.780
สารป้อน	0.117	0.117	0.116	0.116	30.860

ภาคผนวก ข.6 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.503	0.502	0.507	0.504	11.586
0.200	0.509	0.509	0.510	0.509	11.709
0.300	0.521	0.505	0.510	0.512	11.770
0.400	0.523	0.513	0.518	0.518	11.908
0.500	0.526	0.523	0.524	0.524	12.054
0.600	0.531	0.532	0.532	0.532	12.222
0.700	0.536	0.530	0.533	0.533	12.253
รีเทนเทด	0.863	0.865	0.867	0.865	19.885057
สารป้อน	0.695	0.697	0.694	0.695333	15.984674

ภาคผนวก ข.7 ผลของการกรองสารละลายเซลล์เนส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.249	0.262	0.279	0.263	6.054
0.200	0.255	0.255	0.263	0.258	5.923
0.300	0.265	0.259	0.262	0.262	6.023
0.400	0.273	0.274	0.274	0.274	6.291
0.500	0.285	0.286	0.287	0.286	6.575
0.600	0.272	0.282	0.279	0.278	6.383
0.700	0.286	0.306	0.287	0.293	6.736
รีเทนเทด	0.369	0.366	0.365	0.367	8.429
สารป้อน	0.410	0.434	0.425	0.423	9.724

ภาคผนวก ข.8 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	3	4	1	7	7	7
2	3	3	3	2	5	6	5.5
3	2	5	3.5	3	8	5	6.5
4	3	2	2.5	4	9	9	9
5	2	3	2.5	5	9	8	8.5
sum			15.5	sum			36.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			7.75E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.83E+08

ภาคผนวก ข.9 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.173	0.174	0.174	0.174	45.944
0.200	0.177	0.186	0.192	0.185	48.942
0.300	0.185	0.180	0.181	0.182	48.148
0.400	0.177	0.170	0.180	0.176	46.473
0.500	0.177	0.182	0.177	0.179	47.266
0.600	0.187	0.181	0.180	0.183	48.325
0.700	0.181	0.182	0.189	0.184	48.677
รีเทนเทด	0.205	0.203	0.211	0.206	54.586
สารป้อน	0.197	0.203	0.199	0.200	52.822

ภาคผนวก ข.10 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.139	0.138	0.132	0.136	31.341
0.200	0.153	0.153	0.151	0.152	35.019
0.300	0.172	0.177	0.164	0.171	39.310
0.400	0.179	0.180	0.182	0.180	41.456
0.500	0.172	0.166	0.165	0.168	38.544
0.600	0.172	0.170	0.178	0.173	39.847
0.700	0.153	0.155	0.152	0.153	35.249
รีเทนเทด	0.236	0.235	0.237	0.236	54.253
สารป้อน	0.186	0.185	0.198	0.190	43.602

ภาคผนวก ข.11 ผลของการกรองสารละลายเซลล์ลูเลส แอคทีวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.821	0.820	0.821	0.821	18.866
0.200	0.981	0.950	0.960	0.964	22.153
0.300	0.994	0.994	0.995	0.994	22.858
0.400	0.980	0.976	0.977	0.978	22.475
0.500	0.998	0.978	0.973	0.983	22.598
0.600	0.101	0.101	0.100	0.101	23.126
0.700	0.102	0.101	0.100	0.101	23.218
รีเทนเทต	0.151	0.153	0.159	0.154	35.479
สารป้อน	0.123	0.128	0.125	0.125	28.812

ภาคผนวก ข.12 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน			รีเทนเทต				
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	3	6	4.5	1	8	8	8
2	6	3	4.5	2	9	6	7.5
3	2	3	2.5	3	8	7	7.5
4	6	5	5.5	4	7	7	7
5	3	4	3.5	5	9	6	7.5
sum			20.5	sum			37.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.03E+08	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.88E+08

ภาคผนวก ข.13 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.747	0.747	0.756	0.750	19.841
0.200	0.854	0.861	0.860	0.858	22.707
0.300	0.917	0.901	0.913	0.910	24.083
0.400	0.930	0.929	0.929	0.929	24.586
0.500	0.935	0.947	0.942	0.941	24.903
0.600	0.961	0.949	0.957	0.956	25.282
0.700	0.956	0.956	0.951	0.954	25.247
รีเทนเทด	0.125	0.118	0.128	0.124	32.716
สารป้อน	0.131	0.119	0.119	0.124	32.716

ภาคผนวก ข.14 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสภาวะ
 เหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.520	0.499	0.505	0.508	11.678
0.200	0.578	0.585	0.589	0.584	13.425
0.300	0.605	0.636	0.619	0.620	14.253
0.400	0.664	0.666	0.665	0.665	15.287
0.500	0.713	0.714	0.712	0.713	16.391
0.600	0.708	0.711	0.710	0.710	16.314
0.700	0.695	0.699	0.696	0.697	16.015
รีเทนเทด	0.103	0.102	0.090	0.098	22.605
สารป้อน	0.905	0.932	0.936	0.924	21.249

ภาคผนวก ข.15 ผลของการกรองสารละลายเซลล์ลูเลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.276	0.272	0.282	0.277	6.360
0.200	0.323	0.321	0.320	0.321	7.387
0.300	0.344	0.331	0.332	0.336	7.716
0.400	0.362	0.353	0.342	0.352	8.100
0.500	0.358	0.350	0.376	0.361	8.307
0.600	0.364	0.347	0.347	0.353	8.107
0.700	0.364	0.365	0.360	0.363	8.345
รีเทนเทด	0.322	0.345	0.342	0.336	7.732
สารป้อน	0.322	0.349	0.348	0.340	7.808

ภาคผนวก ข.16 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 4 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	1	4	2.5	1	7	7	7
2	6	2	4	2	6	6	6
3	2	3	2.5	3	6	9	7.5
4	4	2	3	4	10	7	8.5
5	4	4	4	5	4	12	8
sum			16	sum			37
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			8.00E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.85E+08

ภาคผนวก ข.17 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
สถานะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.106	0.107	0.106	0.106	28.131
0.200	0.109	0.110	0.109	0.109	28.924
0.300	0.110	0.111	0.112	0.111	29.365
0.400	0.114	0.113	0.114	0.114	30.071
0.500	0.114	0.113	0.114	0.114	30.071
0.600	0.113	0.115	0.114	0.114	30.159
0.700	0.113	0.114	0.115	0.114	30.159
รีเทนเทด	0.205	0.203	0.211	0.206	54.586
สารป้อน	0.123	0.128	0.123	0.125	32.981

ภาคผนวก ข.18 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสถานะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.503	0.502	0.507	0.504	11.586
0.200	0.509	0.509	0.510	0.509	11.709
0.300	0.521	0.505	0.510	0.512	11.770
0.400	0.523	0.513	0.518	0.518	11.908
0.500	0.526	0.523	0.524	0.524	12.054
0.600	0.531	0.532	0.532	0.532	12.222
0.700	0.536	0.530	0.533	0.533	12.253
รีเทนเทด	0.863	0.865	0.867	0.865	19.885
สารป้อน	0.683	0.729	0.718	0.710	16.322

ภาคผนวก ข.19 ผลของการกรองสารละลายเซลลูเลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.264	0.269	0.268	0.267	6.138	0.264
0.268	0.267	0.284	0.273	6.276	0.268
0.274	0.272	0.287	0.278	6.383	0.274
0.304	0.284	0.302	0.297	6.820	0.304
0.286	0.296	0.297	0.293	6.736	0.286
0.308	0.306	0.305	0.306	7.042	0.308
0.311	0.310	0.311	0.311	7.142	0.311
รีเทนเทด	0.477	0.454	0.460	0.464	10.659
สารป้อน	0.350	0.375	0.360	0.362	8.314

ภาคผนวก ข.20 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	3	4	1	6	8	7
2	3	3	3	2	4	6	5
3	6	4	5	3	8	6	7
4	5	3	4	4	6	7	6.5
5	1	1	1	5	5	7	6
sum			17	sum			31.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			8.50E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.58E+08

ภาคผนวก ข.21 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
สถานะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.111	0.105	0.121	0.112	29.718
0.200	0.114	0.112	0.123	0.116	30.776
0.300	0.123	0.116	0.115	0.118	31.217
0.400	0.123	0.122	0.117	0.121	31.922
0.500	0.120	0.120	0.127	0.122	32.363
0.600	0.117	0.118	0.127	0.121	31.922
0.700	0.130	0.125	0.125	0.127	33.510
รีเทนเทด	0.132	0.131	0.133	0.132	34.921
สารป้อน	0.124	0.132	0.133	0.130	34.303

ภาคผนวก ข.22 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสถานะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.359	0.360	0.376	0.365	8.391
0.200	0.379	0.378	0.378	0.378	8.697
0.300	0.390	0.403	0.394	0.396	9.096
0.400	0.396	0.395	0.411	0.401	9.211
0.500	0.404	0.406	0.401	0.404	9.280
0.600	0.404	0.410	0.401	0.405	9.310
0.700	0.432	0.430	0.452	0.438	10.069
รีเทนเทด	0.880	0.887	0.885	0.884	20.322
สารป้อน	0.632	0.645	0.655	0.644	14.805

ภาคผนวก ข.23 ผลของการกรองสารละลายเซลลูเลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.236	0.210	0.210	0.219	5.027
0.200	0.218	0.229	0.224	0.224	5.142
0.300	0.221	0.252	0.240	0.238	5.464
0.400	0.230	0.244	0.261	0.245	5.632
0.500	0.243	0.239	0.232	0.238	5.471
0.600	0.249	0.253	0.248	0.250	5.747
0.700	0.245	0.249	0.252	0.249	5.716
รีเทนเทต	0.506	0.504	0.503	0.504	11.594
สารป้อน	0.381	0.386	0.385	0.384	8.828

ภาคผนวก ข.24 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	3	4	1	8	5	6.5
2	4	3	3.5	2	5	6	5.5
3	4	2	3	3	5	4	4.5
4	5	3	4	4	7	7	7
5	2	2	2	5	6	7	6.5
sum			16.5	sum			30
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			8.25E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.50E+08

ภาคผนวก ข.25 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
สถานะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.103	0.108	0.095	0.102	26.984
0.200	0.119	0.115	0.116	0.117	30.864
0.300	0.121	0.119	0.120	0.120	31.746
0.400	0.119	0.115	0.118	0.117	31.041
0.500	0.116	0.118	0.118	0.117	31.041
0.600	0.119	0.119	0.119	0.119	31.481
0.700	0.118	0.119	0.118	0.118	31.305
รีเทนเทด	0.144	0.138	0.135	0.139	36.772
สารป้อน	0.129	0.134	0.111	0.125	32.981

ภาคผนวก ข.26 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสถานะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.415	0.444	0.451	0.437	10.038
0.200	0.435	0.445	0.427	0.436	10.015
0.300	0.458	0.470	0.463	0.464	10.659
0.400	0.497	0.453	0.461	0.470	10.812
0.500	0.497	0.460	0.458	0.472	10.843
0.600	0.499	0.463	0.448	0.470	10.805
0.700	0.493	0.446	0.466	0.468	10.766
รีเทนเทด	0.864	0.905	0.882	0.884	20.314
สารป้อน	0.679	0.658	0.641	0.659	15.157

ภาคผนวก ข.27 ผลของการกรองสารละลายเซลล์ลูเลส แอคทีวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.236	0.234	0.232	0.234	5.379
0.200	0.245	0.242	0.244	0.244	5.602
0.300	0.256	0.251	0.263	0.257	5.900
0.400	0.282	0.270	0.255	0.269	6.184
0.500	0.274	0.274	0.272	0.273	6.284
0.600	0.267	0.280	0.305	0.284	6.529
0.700	0.278	0.283	0.274	0.278	6.398
รีเทนเทด	0.349	0.395	0.350	0.365	8.383
สารป้อน	0.306	0.315	0.314	0.312	7.165

ภาคผนวก ข.28 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.19 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	3	4	1	6	6	6
2	4	2	3	2	7	6	6.5
3	4	2	3	3	4	5	4.5
4	4	2	3	4	5	4	4.5
5	2	2	2	5	7	6	6.5
sum			15	sum			28
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			7.50E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.40E+08

ภาคผนวก ข.29 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
สถานะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.118	0.117	0.122	0.119	31.481
0.200	0.127	0.128	0.129	0.128	33.862
0.300	0.134	0.133	0.132	0.133	35.185
0.400	0.132	0.128	0.130	0.130	34.392
0.500	0.130	0.133	0.132	0.132	34.832
0.600	0.133	0.135	0.132	0.133	35.273
0.700	0.131	0.133	0.133	0.132	35.009
รีเทนเทด	0.154	0.158	0.156	0.156	41.270
สารป้อน	0.159	0.163	0.163	0.162	42.769

ภาคผนวก ข.30 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสถานะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.508	0.498	0.495	0.500	11.502
0.200	0.534	0.529	0.541	0.535	12.291
0.300	0.545	0.562	0.552	0.553	12.713
0.400	0.577	0.560	0.558	0.565	12.989
0.500	0.573	0.574	0.578	0.575	13.218
0.600	0.567	0.582	0.580	0.576	13.249
0.700	0.588	0.567	0.565	0.573	13.180
รีเทนเทด	0.765	0.768	0.791	0.775	17.808
สารป้อน	0.096	0.098	0.102	0.987	22.682

ภาคผนวก ข.31 ผลของการกรองสารละลายเซลลูเลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.241	0.242	0.243	0.242	5.563
0.200	0.279	0.257	0.261	0.266	6.107
0.300	0.262	0.265	0.267	0.265	6.084
0.400	0.290	0.321	0.264	0.292	6.705
0.500	0.265	0.264	0.282	0.270	6.215
0.600	0.264	0.326	0.298	0.296	6.805
0.700	0.310	0.268	0.292	0.290	6.667
รีเทนเทด	0.379	0.388	0.350	0.383	8.805
สารป้อน	0.378	0.371	0.370	0.373	8.575

ภาคผนวก ข.32 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

สารป้อน			รีเทนเทด				
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	6	5.5	1	8	6	7
2	2	6	4	2	8	4	6
3	5	4	4.5	3	7	6	6.5
4	4	3	3.5	4	5	6	5.5
5	2	4	3	5	3	2	2.5
sum			20.5	sum			27.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.03E+08	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.38E+08

ภาคผนวก ข.33 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
สถานะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.119	0.121	0.120	0.120	31.746
0.200	0.135	0.135	0.132	0.134	35.450
0.300	0.134	0.137	0.135	0.135	35.802
0.400	0.137	0.138	0.137	0.137	36.332
0.500	0.140	0.139	0.134	0.138	36.420
0.600	0.138	0.142	0.145	0.142	37.478
0.700	0.141	0.137	0.137	0.138	36.596
รีเทนเทด	0.156	0.155	0.156	0.156	41.182
สารป้อน	0.154	0.152	0.154	0.153	40.564

ภาคผนวก ข.34 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสถานะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.122	0.124	0.120	0.122	28.046
0.200	0.138	0.142	0.142	0.141	32.337
0.300	0.146	0.144	0.146	0.145	33.410
0.400	0.143	0.144	0.157	0.148	34.023
0.500	0.161	0.153	0.156	0.157	36.015
0.600	0.159	0.159	0.158	0.159	36.475
0.700	0.159	0.160	0.159	0.159	36.628
รีเทนเทด	0.210	0.213	0.212	0.212	48.659
สารป้อน	0.209	0.199	0.200	2.027	46.590

ภาคผนวก ข.35 ผลของการกรองสารละลายเซลลูโลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.076	0.077	0.077	0.077	17.625
0.200	0.078	0.079	0.078	0.078	18.008
0.300	0.859	0.858	0.859	0.859	19.739
0.400	0.905	0.887	0.890	0.894	20.552
0.500	0.979	0.969	0.990	0.979	22.513
0.600	0.954	0.981	0.970	0.968	22.261
0.700	0.995	0.994	0.996	0.995	22.874
รีเทนเทต	0.101	0.103	0.112	0.105	24.215
สารป้อน	0.104	0.107	0.105	0.105	24.215

ภาคผนวก ข.36 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	5	5	1	9	10	9.5
2	5	2	3.5	2	6	4	5
3	6	2	4	3	5	4	4.5
4	5	3	4	4	3	3	3
5	5	2	3.5	5	7	5	6
sum			20	sum			28
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.00E+08	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.40E+08

ภาคผนวก ข.37 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหา
สถานะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.162	0.160	0.161	0.161	42.593
0.200	0.160	0.159	0.164	0.161	42.593
0.300	0.151	0.156	0.158	0.155	41.005
0.400	0.161	0.160	0.159	0.160	42.328
0.500	0.162	0.161	0.163	0.162	42.857
0.600	0.161	0.161	0.160	0.161	42.504
0.700	0.172	0.171	0.172	0.172	45.414
รีเทนเทด	0.186	0.183	0.182	0.184	48.589
สารป้อน	0.181	0.187	0.181	0.183	48.413

ภาคผนวก ข.38 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลของน้ำหมักที่ได้จากหมักในช่วงการหาสถานะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.092	0.101	0.097	0.097	22.222
0.200	0.106	0.101	0.103	0.103	23.755
0.300	0.109	0.115	0.105	0.110	25.211
0.400	0.110	0.111	0.111	0.111	25.441
0.500	0.109	0.109	0.110	0.109	25.134
0.600	0.113	0.114	0.108	0.112	25.670
0.700	0.107	0.110	0.109	0.109	24.981
รีเทนเทด	0.158	0.158	0.159	0.158	36.398
สารป้อน	0.148	0.152	0.149	1.497	34.406

ภาคผนวก ข.39 ผลของการกรองสารละลายเซลลูโลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะ
เหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.662	0.668	0.667	0.666	15.303
0.200	0.677	0.678	0.672	0.676	15.533
0.300	0.712	0.691	0.745	0.716	16.460
0.400	0.714	0.707	0.694	0.705	16.207
0.500	0.757	0.720	0.724	0.734	16.866
0.600	0.734	0.761	0.751	0.749	17.211
0.700	0.757	0.747	0.747	0.750	17.249
รีเทนเทด	0.821	0.843	0.825	0.830	19.073
สารป้อน	0.818	0.782	0.787	0.796	18.291

ภาคผนวก ข.40 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมักที่สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่
ความเร็วไหลขวาง 0.25 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	3	4	1	8	6	7
2	6	7	6.5	2	8	6	7
3	5	3	4	3	5	6	5.5
4	6	2	4	4	4	5	4.5
5	4	2	3	5	4	5	4.5
sum			21.5	sum			28.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.08E+08	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.43E+08

ภาคผนวก ข.41 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.796	0.796	0.800	0.797	21.667
0.200	0.724	0.725	0.826	0.758	20.607
0.300	0.855	0.857	0.856	0.856	23.261
0.400	0.860	0.869	0.964	0.898	24.393
0.500	0.873	0.872	0.873	0.873	23.714
0.600	0.875	0.876	0.870	0.874	23.741
0.700	0.886	0.887	0.885	0.886	24.076
รีเทนเทด	0.934	0.939	0.936	0.936	25.444
สารป้อน	0.918	0.916	0.921	0.918	24.955

ภาคผนวก ข.42 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.237	0.239	0.241	2.390	54.943
0.200	0.247	0.250	0.245	2.473	56.858
0.300	0.249	0.250	0.249	2.493	57.318
0.400	0.248	0.248	0.249	2.483	57.088
0.500	0.250	0.249	0.248	2.490	57.241
0.600	0.254	0.251	0.252	2.523	58.008
0.700	0.258	0.257	0.255	2.567	59.004
รีเทนเทด	0.273	0.273	0.273	2.730	62.759
สารป้อน	0.269	0.271	0.268	2.693	61.916

ภาคผนวก ข.43 ผลของการกรองเซลล์เลส แอคทีวี่ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.170	0.170	0.168	1.693	38.927
0.200	0.178	0.179	0.178	1.783	40.996
0.300	0.187	0.187	0.186	1.867	42.912
0.400	0.175	0.182	0.175	1.773	40.766
0.500	0.188	0.190	0.188	1.887	43.372
0.600	0.206	0.201	0.205	2.040	46.897
0.700	0.193	0.194	0.189	1.920	44.138
รีเทนเทด	0.204	0.207	0.205	2.053	47.203
สารป้อน	0.198	0.197	0.199	1.980	45.517

ภาคผนวก ข.44 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	6	9	7.5	1	15	19	17
2	8	10	9	2	17	17	17
3	8	10	9	3	20	16	18
4	7	11	9	4	20	22	21
5	9	6	7.5	5	20	18	19
sum			42	sum			92
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			2.10E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			4.60E+07

ภาคผนวก ข.45 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.118	0.116	0.118	1.173	31.884
0.200	0.123	0.121	0.122	1.220	33.152
0.300	0.124	0.123	0.125	1.240	33.696
0.400	0.126	0.125	0.126	1.257	34.149
0.500	0.131	0.133	0.132	1.320	35.870
0.600	0.135	0.133	0.129	1.320	35.870
0.700	0.133	0.132	0.133	1.327	36.051
รีเทนเทด	0.140	0.144	0.147	1.437	39.040
สารป้อน	0.140	0.138	0.140	1.393	37.862

ภาคผนวก ข.46 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.153	0.154	0.150	1.523	35.019
0.200	0.167	0.168	0.167	1.673	38.467
0.300	0.176	0.174	0.176	1.753	40.307
0.400	0.174	0.174	0.173	1.737	39.923
0.500	0.162	0.170	0.170	1.673	38.467
0.600	0.172	0.170	0.173	1.717	39.464
0.700	0.176	0.176	0.178	1.767	40.613
รีเทนเทด	0.245	0.245	0.248	2.460	56.552
สารป้อน	0.226	0.225	0.226	2.257	51.877

ภาคผนวก ข.47 ผลของการกรองเซลล์เลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
0.100	0.089	0.088	0.089	0.887	20.383
0.200	0.091	0.092	0.092	0.917	21.073
0.300	0.094	0.095	0.095	0.947	21.762
0.400	0.092	0.095	0.095	0.940	21.609
0.500	0.104	0.098	0.100	1.007	23.142
0.600	0.110	0.111	0.111	1.107	25.441
0.700	0.114	0.118	0.118	1.167	26.820
รีเทนเทด	0.120	0.118	0.119	1.190	27.356
สารป้อน	0.111	0.110	0.110	1.103	25.364

ภาคผนวก ข.48 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ
 สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	10	8	9	1	18	17	17.5
2	11	9	10	2	19	16	17.5
3	9	8	8.5	3	20	18	19
4	8	10	9	4	18	21	19.5
5	9	8	8.5	5	15	12	13.5
sum			45	sum			87
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			2.25E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			4.35E+07

ภาคผนวก ข.49 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.219	0.216	0.213	0.216	49.655
เพอมีเอท	0.203	0.182	0.190	0.192	44.061
รีเทนเทต	0.211	0.217	0.215	0.214	49.272

ภาคผนวก ข.50 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.108	0.114	0.112	0.111	29.453
เพอมีเอท	0.966	0.973	0.970	0.970	22.291
รีเทนเทต	0.182	0.161	0.192	0.178	40.996

ภาคผนวก ข.51 ผลของการกรองเซลลูโลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.566	0.573	0.570	15.066	0.566
เพอมีเอท	0.534	0.538	0.536	12.322	0.534
รีเทนเทต	0.719	0.693	0.706	16.230	0.719

ภาคผนวก ข.52 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	15	15	15	1	20	36	28
2	14	18	16	2	22	31	26.5
3	17	17	17	3	26	36	31
4	19	13	16	4	33	27	30
5	18	14	16	5	26	32	29
sum			80	sum			144.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			4.00E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			7.23E+07

ภาคผนวก ข.53 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.210	0.191	0.180	0.194	44.521
เพอมีเอท	0.182	0.187	0.183	0.184	42.299
รีเทนเทด	0.195	0.180	0.195	0.190	43.678

ภาคผนวก ข.54 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.169	0.162		0.166	43.783
เพอมีเอท	0.147	0.146	0.136	0.143	32.874
รีเทนเทด	0.180	0.185	0.175	0.180	41.379

ภาคผนวก ข.55 ผลของการกรองเซลล์เลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.948	0.947	0.948	25.066	0.948
เพอมีเอท	0.925	0.943	0.934	24.709	0.925
รีเทนเทด	0.925	0.943	0.934	24.709	0.925

ภาคผนวก ข.56 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 4 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	14	15	14.5	1	18	19	18.5
2	12	17	14.5	2	20	20	20
3	15	14	14.5	3	18	24	21
4	11	12	11.5	4	20	23	21.5
5	16	11	13.5	5	19	23	21
sum			68.5	sum			102
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			3.43E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			5.10E+07

ภาคผนวก ข.57 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 5 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.182	0.181	0.181	0.181	41.686
เพอมีเอท	0.164	0.169	0.163	0.165	38.008
รีเทนเทด	0.183	0.184	0.182	0.183	42.069

ภาคผนวก ข.58 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 5 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.205	0.219	0.210	0.211	55.908
เพอมีเอท	0.180	0.191	0.174	0.182	41.762
รีเทนเทต	0.230	0.231	0.242	0.234	53.870

ภาคผนวก ข.59 ผลของการกรองเซลล์เอส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 5 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.108	0.107		0.108	28.439
เพอมีเอท	0.093	0.094		0.094	24.735
รีเทนเทต	0.116	0.117		0.117	30.820

ภาคผนวก ข.60 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 5 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	15	16	15.5	1	19	25	22
2	12	8	10	2	20	19	19.5
3	16	12	14	3	24	21	22.5
4	11	11	11	4	28	18	23
5	15	15	15	5	17	20	18.5
sum			65.5	sum			105.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			3.28E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			5.28E+07

ภาคผนวก ข.61 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 6 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.261	0.255	0.246	0.254	58.391
เพอมีเอท	0.238	0.231	0.231	0.233	53.640
รีเทนเทด	0.249	0.243	0.274	0.255	58.697

ภาคผนวก ข.62 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 6 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.149	0.146	0.148	0.148	39.065
เพอมีเอท	0.093	0.099	0.093	0.095	25.132
รีเทนเทด	0.099	0.187	0.208	0.165	37.854

ภาคผนวก ข.63 ผลของการกรองเซลล์ูเลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 6 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.860	0.898	0.879	0.879	20.207
เพอมีเอท	0.732	0.821	0.777	0.777	17.851
รีเทนเทด	0.102	0.106	0.104	0.104	23.908

ภาคผนวก ข.64 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 6 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	18	22	20	1	30	32	31
2	20	24	22	2	31	30	30.5
3	16	17	16.5	3	26	34	30
4	21	27	24	4	32	32	32
5	15	19	17	5	31	31	31
sum			99.5	sum			154.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			4.98E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			7.73E+07

ภาคผนวก ข.65 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 7 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.216	0.199	0.208	0.208	47.739
เพอมีเอท	0.198	0.191	0.195	0.195	44.751
รีเทนเทต	0.239	0.209	0.212	0.220	50.575

ภาคผนวก ข.66 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 7 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.163	0.159	0.157	0.160	42.240
เพอมีเอท	0.126	0.115	0.120	0.120	31.834
รีเทนเทต	0.210	0.213	0.204	0.209	55.291

ภาคผนวก ข.67 ผลของการกรองเซลล์เลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 7 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.951	0.987		0.969	25.635
เพอมีเอท	0.880	0.933		0.907	23.981
รีเทนเทด	0.143	0.151		0.147	38.889

ภาคผนวก ข.68 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 7 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน			รีเทนเทด		
ครั้งที่	จำนวนเซลล์	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์	ค่าเฉลี่ย
1	17	16	1	24	25
2	19	23	2	27	28
3	23	17	3	20	25
4	20	23	4	23	27
5	16	21	5	18	23
	sum	97.5		sum	120
	จำนวนเซลล์ทั้งหมด	4.88E+07		จำนวนเซลล์ทั้งหมด	6.00E+07

ภาคผนวก ข.69 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 8 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.304	0.289	0.296	0.296	68.123
เพอมีเอท	0.259	0.271	0.268	0.266	61.149
รีเทนเทด	0.238	0.229	0.235	0.234	53.793

ภาคผนวก ข.70 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 8 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.209	0.209	0.197	0.205	54.233
เพอมีเอท	0.162	0.156	0.168	0.162	42.857
รีเทนเทด	0.249	0.241	0.262	0.251	66.310

ภาคผนวก ข.71 ผลของการกรองเซลล์แอสเพอร์จิลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 7 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.094	0.084		0.089	23.54
เพอมีเอท	0.068	0.078		0.073	16.78
รีเทนเทด	0.080	0.082		0.081	18.62

ภาคผนวก ข.72 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 8 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทด			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	6	8	7	1	18	32	25
2	9	5	7	2	21	21	21
3	11	6	8.5	3	27	23	25
4	6	10	8	4	32	27	29.5
5	7	7	7	5	27	30	28.5
sum			37.5	sum			129
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.88E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			6.45E+07

ภาคผนวก ข.73 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 9 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.294	0.279	0.279	0.284	65.287
เพอมีเอท	0.268	0.267	0.267	0.267	61.456
รีเทนเทด	0.261	0.285	0.282	0.276	63.448

ภาคผนวก ข.74 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 9 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.172	0.171	0.162	0.168	44.533
เพอมีเอท	0.132	0.130	0.135	0.132	35.009
รีเทนเทด	0.190	0.198	0.195	0.194	51.410

ภาคผนวก ข.75 ผลของการกรองเซลล์แลส แอคทีวี่ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 9 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.100	0.100	0.100	0.100	26.455
เพอมีเอท	0.884	1.050	0.967	0.967	25.582
รีเทนเทด	0.184	0.177	0.181	0.181	47.751

ภาคผนวก ข.76 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 9 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	5	6	5.5	1	20	32	26
2	7	8	7.5	2	22	29	25.5
3	4	7	5.5	3	30	26	28
4	8	7	7.5	4	24	23	23.5
5	4	9	6.5	5	29	24	26.5
sum			32.5	sum			129.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.63E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			6.48E+07

ภาคผนวก ข.77 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 10 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.257	0.249	0.249	0.252	57.854
เพอมีเอท	0.237	0.238	0.238	0.238	54.636
รีเทนเทต	0.246	0.250	0.253	0.250	57.395

ภาคผนวก ข.78 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิฟของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 10 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.186	0.174	0.158	0.173	45.679
เพอมีเอท	0.119	0.127	0.130	0.125	33.157
รีเทนเทต	0.218	0.203	0.224	0.215	56.878

ภาคผนวก ข.79 ผลของการกรองเซลล์เลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 10 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.100	0.101		0.101	26.587
เพอมีเอท	0.847	0.837		0.842	19.356
รีเทนเทด	0.115	0.116		0.116	26.552

ภาคผนวก ข.80 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 10 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน			รีเทนเทด				
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	16	19	17.5	1	23	23	23
2	13	15	14	2	25	22	23.5
3	21	25	23	3	22	22	22
4	17	18	17.5	4	18	23	20.5
5	12	19	15.5	5	23	27	25
	sum		87.5		sum		114
	จำนวนเซลล์ทั้งหมด		4.38E+07		จำนวนเซลล์ทั้งหมด		5.70E+07

ภาคผนวก ข.81 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 11 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.231	0.221	0.226	0.226	51.954
เพอมีเอท	0.206	0.215	0.212	0.211	48.506
รีเทนเทด	0.232	0.227	0.230	0.230	52.797

ภาคผนวก ข.82 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 11 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.263	0.272	0.248	0.261	69.048
เพอมีเอท	0.195	0.211	0.200	0.202	53.439
รีเทนเทต	0.284	0.297	0.311	0.297	78.660

ภาคผนวก ข.82 ผลของการกรองเซลล์แอส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 11 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.136	0.139		0.138	36.376
เพอมีเอท	0.107	0.117		0.112	29.630
รีเทนเทต	0.150	0.157		0.154	40.608

ภาคผนวก ข.83 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 11 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	6	5	5.5	1	18	17	17.5
2	5	4	4.5	2	16	15	15.5
3	7	4	5.5	3	18	19	18.5
4	6	5	5.5	4	20	22	21
5	8	6	7	5	17	18	17.5
sum			28	sum			90
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.40 E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			4.50E+07

ภาคผนวก ข.84 ผลของการกรองสารละลายเอทานอลของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 12 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.221	0.206	0.234	0.220	50.651
เพอมีเอท	0.199	0.211	0.211	0.207	47.586
รีเทนเทด	0.214	0.214	0.221	0.216	49.732

ภาคผนวก ข.85 ผลของการกรองสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 12 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.254	0.254	0.252	0.253	67.019
เพอมีเอท	0.238	0.224	0.227	0.230	60.758
รีเทนเทด	0.274	0.281	0.280	0.278	73.633

ภาคผนวก ข.86 ผลของการกรองเซลลูโลส แอคติวิตีของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 12 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

ปริมาตรการกรอง (m ³)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย	ความเข้มข้น (g/L)
สารป้อน	0.168	0.174		0.171	45.238
เพอมีเอท	0.141	0.138		0.140	36.905
รีเทนเทด	0.140	0.149		0.145	38.228

ภาคผนวก ข.87 ผลของการกรองจุลินทรีย์ของน้ำหมักที่ได้จากหมัก ณ

สภาวะเหมาะสมครั้งที่ 11 ที่ความเร็วไหลขวาง 0.13 m/s

สารป้อน				รีเทนเทต			
ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	จำนวนเซลล์		ค่าเฉลี่ย
1	8	7	7.5	1	15	16	15.5
2	9	8	8.5	2	18	15	16.5
3	6	7	6.5	3	19	22	20.5
4	7	8	7.5	4	19	24	21.5
5	8	8	8	5	16	23	19.5
sum			38	sum			93.5
จำนวนเซลล์ทั้งหมด			1.90 E+07	จำนวนเซลล์ทั้งหมด			4.68E+07



การผลิตเอทานอลด้วยกระบวนการหมักจากชีวมวลข้าวฟ่างหวานร่วมกับการรีไซเคิลครูดเซลลูเลสและ
จุลินทรีย์ด้วยการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน

Fermentation of Sweet Sorghum Biomass for Ethanol Production Coupling with the Recycling
of Crude Cellulase and Microorganisms by Ultrafiltration

จิรพัฒน์ กิจสุวรรณ^{1*} จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ² และ พงศ์ศรี ศิวราชศักดิ์

Jiraprat Kitsuwat^{1*} Juraivan Ratanapisit² and Pongsri Siwarasak²

^{1*} นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

² อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

^{1*} Graduate student in Master of Engineering (Chemical Engineering) of Engineering Faculty,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rangsit-Nakhonnayok Rd., Thanyaburi, Pathum Thani 12110

² Lecturer in Master of Engineering (Chemical Engineering) of Engineering Faculty,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rangsit-Nakhonnayok Rd., Thanyaburi, Pathum Thani 12110

* Corresponding author, E-mail: jiraprat.kit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมักของชีวมวลข้าวฟ่างหวานร่วมกับเทคโนโลยีเมมเบรนระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อการรีไซเคิลครูดเซลลูเลสและจุลินทรีย์กลับมาใช้ในกระบวนการหมักเพื่อเพิ่มระยะเวลาการหมักและผลได้ของเอทานอลการกรองใช้เมมเบรนชนิดโพลีเอเทอร์ซัลโฟนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตัดการกรอง 30 kDa กระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์เพื่อผลิตเอทานอลใช้ข้าวฟ่างหวาน 2,100 g จุลินทรีย์ผสม RT-P3 270 g และอาหารเหลว LM-pH 5 สูตรไม่มีน้ำตาลปริมาตร 6 L เวลา 10 วันพบว่าจุลินทรีย์มีการใช้น้ำตาลรีดิคซ์เพื่อการผลิตเอทานอลตลอดระยะเวลาการหมัก 10 วันโดยร้อยละผลได้ของเอทานอลเท่ากับ 21 การทดลองการกรองแบบไหลขวางเพื่อการรีไซเคิลครูดเซลลูเลสและจุลินทรีย์ ณ ความเร็วไหลขวาง 0.1 m/s นั้น ใช้สารป้อนเป็นน้ำหมักจากกระบวนการหมักแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM-pH5 สูตรมีน้ำตาลความเข้มข้น 30 g/L ผลการทดลองพบว่า การหมักเฟดแบทช์ขยายเวลาการหมักได้ถึง 29 วันร้อยละผลได้ของเอทานอลมีค่าสูงกว่าสืบท่าเมื่อเทียบ

กับการหมักที่ไม่มีการใช้เชื้อ ร้อยละการกักกันของเมมเบรนต่อน้ำตาลรีดิวซ์ เอทานอล เซลลูเลส แอคติวิตี และ จุลินทรีย์ เท่ากับ 0.25, 23.34, 20.07 และ 98.43 ตามลำดับ

คำสำคัญ: อัลตราฟิเตรชันครูดเซลลูเลส เอทานอล

Abstract

This research aimed to study the ethanol production from fermentation of sweet sorghum biomass coupling with ultrafiltration for recycling crude cellulase and microorganisms to increase periods of fermentation and ethanol yields. The polyethersulfone membrane with MWCO 30 kDa was used. The fed-batch fermentation conditions for ethanol production were as follows: sweet sorghum 2100 g and co-microorganisms of RT-P3 270 g with the volume of LM-pH 5(no-sugar) 6 L for 10 days. The results showed that the reducing sugar was used by microorganisms to produce ethanol for the whole fermentation time which finally provided the ethanol yield of 21, based on the reducing sugar concentration. The results of membrane filtration of hydrolyzate from fed batch fermentation with addition of the Lm-pH 5 with sugar concentration of 30 g /L was also used for recycling crude cellulase and microorganisms at cross flow velocity of 0.1 m/s. It was shown that the significant increase in ethanol yield was more than 10 folds when compared to the fermentation without recycle and also provided the longer fermentation time. The percentage of rejection of reducing sugar, ethanol, cellulase activity and microorganisms were 0.25, 23.34, 20.07 and 98.43, respectively. These results showed high potential for the application of the membrane technology for recycling retentate to the fermentation reactor.

Keywords: ultrafiltration, crude cellulose, ethanol

1. บทนำ

พลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทนได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงกว่าสิบปีที่ผ่านมาพลังงานทดแทนนี้ได้รวมถึงเอทานอลซึ่งเป็นพลังงานชีวภาพที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เพราะเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชและเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยทั่วไปเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบสามประเภทใหญ่ๆ คือ แป้ง น้ำตาล

และเส้นใยหรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส(lignocellulose) จากชีวมวล เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบเป็นหลัก และชนิดวัตถุดิบมีผลต่อผลได้เอทานอล ถึงแม้ว่าการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบแป้งและน้ำตาลให้ผลได้เอทานอลที่ดี แต่วัตถุดิบกลุ่มแป้งและน้ำตาลจัดเป็นพืชอาหาร การใช้พืชอาหารเพื่อผลิตเอทานอลในระยะยาวน่าจะส่งผลกระทบต่อราคาค้นทุนการผลิตและวงจรการบริโภคของมนุษย์ได้ ดังนั้นการผลิต

เอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสจึงได้รับความสนใจ เพราะชีวมวลมีราคาถูกหาง่ายมีความเป็นไปได้สูงเพื่อใช้ผลิตในอนาคต

ข้าวฟ่างหวาน (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) เป็นพืชตระกูลอ้อยและมีปริมาณของน้ำตาลในน้ำคั้นใกล้เคียงกับอ้อย ปลูกง่าย ทนแล้ง และมีอายุการเก็บเกี่ยว 100-120 วัน เมื่อเทียบกับอ้อยที่ใช้เวลาหนึ่งปีทำให้ผลผลิตข้าวฟ่างหวานต่อไร่ต่อปีสูงกว่าอ้อยดังนั้นข้าวฟ่างหวานจึงเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสูงในการปลูกเพื่ออุตสาหกรรมเอทานอลในอนาคต

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวลกลุ่มเส้นใยลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การปรับสภาพ การไฮโดรไลซิส การหมัก และการแยกเอทานอล สำหรับการปรับสภาพเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนแรกและมีผลต่อความสามารถไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ต่อเซลลูโลสในชีวมวลเพื่อให้ได้กลูโคส จากนั้นกระบวนการหมักจะเปลี่ยนกลูโคสเป็นเอทานอลด้วยจุลินทรีย์แล้วจึงแยกเอทานอลออกจากระบบ สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยเซลลูโลส ในขั้นตอนการไฮโดรไลซิสเพื่อให้ได้กลูโคส เอนไซม์เซลลูเลสผลิตได้จากจุลินทรีย์เชื้อราที่ย่อยเซลลูโลส และผลิตได้ทั้งจากการหมักแข็งหรือหมักเหลว ในงานวิจัยนี้ใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จากการผลิตแบบหมักแข็ง และใช้โดยไม่ผ่านการคัดแยกบริสุทธิ์ เรียกว่าครูดเซลลูเลส ทั้งนี้การใช้ครูดเซลลูเลสทำให้การผลิตเอทานอลง่ายขึ้นและลดต้นทุนการใช้เอนไซม์บริสุทธิ์ (Lever, 2010) สำหรับการผลิตเอทานอลให้มีผลได้สูงและมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์นั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำกลับคืนเซลลูเลสและจุลินทรีย์ในไฮโดรไลเซต [สารละลายไฮโดรไลซิส (หรือน้ำหมัก)] เพื่อมาใช้ใหม่ การควบคุมถึงปฏิกรณ์หมักให้มีความเข้มข้นของกลูโคสให้มีลักษณะคงที่และอยู่ในช่วงค่าที่

เหมาะสม รวมถึงการแยกเอทานอลที่ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตเพื่อรักษาสมดุลของถึงปฏิกรณ์ให้เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลได้เอทานอล

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา (Cheng, 2009) ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยการหมักแบบเฟดแบทช์โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลที่ป้อน 2g/L.h, 4g/L.h และ 8 g/L.hพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลที่ป้อน 2 g/L.hให้ผลได้ของเอทานอลสูงที่สุด และได้ดีกว่าการหมักแบบแบทช์ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาการรีไซเคิลเซลลูเลส จึงอาจทำให้ระยะเวลาในการหมักเป็นข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการศึกษาการรีไซเคิลเซลลูเลสจากการย่อยด้วยเอนไซม์ฟางข้าวสาลีที่ปรับสภาพด้วยกรดด้วยวิธีอิเล็กโตรอัลตราฟิลเตรชัน (electro ultrafiltration) เป็นการใช้สนามไฟฟ้าเพื่อช่วยลดความต้านทานการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (Chen, 2013)

กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนโดยใช้ความดันเป็นแรงขับเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและถูกนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายเพราะมีข้อเด่นหลายประการ ได้แก่ ความสามารถแยกองค์ประกอบขนาดใหญ่และเล็กโดยเฉพาะเมื่อสารป้อนมีความเข้มข้นในระดับต่ำได้ดี ประกอบกับเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนต่ำ จึงทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพเหมือนหรือใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ชีวภาพเหล่านี้มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ ค่ากรดต่าง แรงกระทำต่างๆ ซึ่งการทำให้บริสุทธิ์และนำกลับคืนผลิตภัณฑ์มีค่าใช้จ่ายสูงโดยเฉพาะในแง่ของพลังงานที่ต้องใช้เมื่อเทียบกับกระบวนการทั่วไป สำหรับการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันเป็นที่นิยมใช้กรองอนุภาคขนาดเล็กสามารถนำไปใช้เพื่อสกัดกันจุลินทรีย์และโปรตีนได้

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันเพื่อแยกเฟสสารละลายที่ได้จากการหมัก (น้ำหมัก) เพื่อรีไซเคิลเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการหมักต่อ โดยทำการศึกษาผลของความเร็วไหลขวางที่มีต่อการกักกัน (จุลินทรีย์ ทรูดเซลลูเลส กลูโคส และเอทานอล) ต่อน้ำหมักที่ได้ในระหว่างการกรองและน้ำหมักรีไซเคิล

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาการนำทรูดเซลลูเลสและจุลินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ด้วยการกรองไหลขวางระดับอัลตราฟิลเตรชัน

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 จุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ผสม RT-P3 ได้จากเชื้อราไตรโคเดอ์มาริลี RT-P1 (*T.reesei*, RT-P1) และ ยีสต์แซคคาโรมายซิส ซีรีวีลี RT-P2 (*S.cerevisiae*, RT-P2) ซึ่งอยู่ในของผงและถูกเก็บรักษาในถุงที่ทำกรห่อฝอยและบรรจุในถังพลาสติกที่ปิดฝาที่อุณหภูมิห้องและมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น 1.59×10^8 cell/ml โดยมีอายุของจุลินทรีย์ไม่เกิน 1 ปีจากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.2 วัตถุดิบและอาหารเหลว

ข้าวฟ่างหวานจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี อำเภอดู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ลำต้นสดข้าวฟ่างหวานถูกย่อยให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-5 mm

อาหารเหลว LM-pH 5 (ไม่เติมน้ำตาล) ประกอบด้วย $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 1g/L, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ 1g/L, ปุ๋ยยูเรีย (46 % NH_4SO_4) 8 g/L, ปุ๋ยฟอสเฟต (N-P-K:0-

52-34) 15 g/L และน้ำสะอาด 1 L ปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5

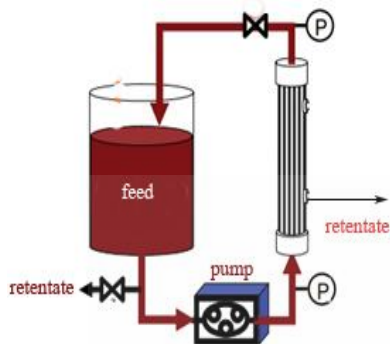
3.3 การหมัก

กระบวนการหมักเอทานอลใช้ลำต้นสดข้าวฟ่างหวาน 2100 g จุลินทรีย์ผสม RT-P3 270 g และอาหารเหลว LM-pH 5 ปริมาตร 6 ลิตร ในถังปฏิกรณ์ขนาด 15 ลิตร โดยใช้ความเร็วใบกวนเท่ากับ 220-230 rpm โดยนับวันแรกของการหมักเป็นวันที่ 0 และทำการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 ปริมาตร 500 ml ทุกๆ 2 วัน และทำการกวนผสมทุกวันๆละ 3 ชั่วโมงและตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมงหลังจากวันที่ 10 ของการหมักจะทำการดึงสารออกมทำการกรองและทำการรีไซเคิลรีเทนเททเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ซึ่งหลังจากนั้นจะทำการกรองทุกๆ 4 วัน โดยใน 10 วันแรกจะเป็นการหมักเอทานอลโดยการเติมอาหารเหลวสูตรไม่มีน้ำตาล และหลังจากนั้นจะเป็นการหมักเอทานอลโดยการเติมอาหารเหลวสูตรมีน้ำตาลที่ 30 g/L

3.4 เมมเบรนและการกรอง

เมมเบรนในการทดลองการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชันเป็นเกรดคาร์บ (Quix stand, บริษัท GE Medical Systems (Thailand) จำกัด) วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนคือ โพลีเอเทอร์ซัลโฟน (polyethersulphone) มีน้ำหนักโมเลกุลตัดการกรอง 30kDa และมีพื้นที่การกรอง 420 cm^2 โดยแผนภาพชุดการกรองแสดงได้ดังรูปที่ 1

กระบวนการกรองใช้ปริมาตรของสารป้อนคือ 1 ลิตร โดยใช้ปั๊มเป็นแรงขับเมมเบรนมีพื้นที่การกรองเท่ากับ 420 cm^2 โดยการทดลองจะควบคุมอัตราส่วนการกรองของสารป้อนต่อกระแสเพอร์มิเอทเป็น 10:7 โดยปริมาตรที่ความดันตกคร่อม 5 psig และควบคุมความเร็วไหลขวาง 0.1 m/s



รูปที่ 1 แผนภาพชุดการกรองในงานวิจัย

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลระบบมีดังนี้ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ผสมได้จากการนับจำนวนเซลล์บนสไลด์ฮีโมไซโตมิเตอร์ (Hemocytometer) ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า (สิรินดา ยุ่นฉลาด, 2540) ความเข้มข้นน้ำคาลรีดิวิซ์ได้จากวิธี DNS (Miller, 1959) โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (uv-visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 570 nm สำหรับค่าเซลล์ลูเลส แอคติวิตี้ได้จากวิธีกระดาษกรอง (filter paper) (Ghose, 1987) และค่าความเข้มข้นเอทานอลใช้วิธีของ (William and Reese, 1950) โดยให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต จากนั้นวัดการเปลี่ยนแปลงสีโดยใช้ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 nm

ค่าร้อยละการกักกันสารของกระบวนการกรองสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

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

โดยที่ R คือ ค่าร้อยละการกักกัน

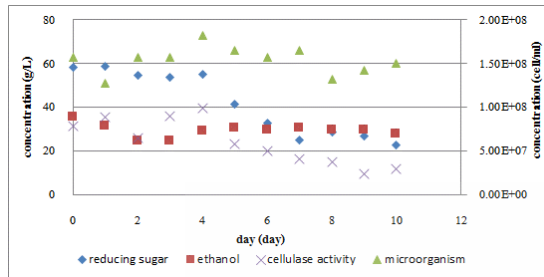
C_p คือ ความเข้มข้นของสารในกระแสเพอร์มิเอต

C_f คือ ความเข้มข้นของสารในกระแสรีเทนเทต

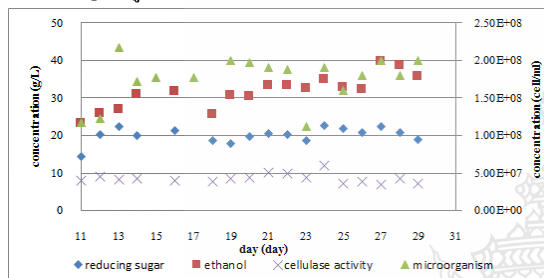
4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลการวิจัยพบว่าน้ำคาลรีดิวิซ์มีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก 10 วันดังแสดงในรูปที่ 1 โดยช่วง 3 วันแรกของการหมัก ปริมาณน้ำคาลรีดิวิซ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้น้ำคาลรีดิวิซ์เพื่อความอยู่รอดและไม่มีการเจริญเติบโต ส่งผลต่อปริมาณของเอทานอลลดลงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ การที่เอทานอลลดลงในช่วง 2 วันแรกของการหมัก เนื่องจากเกิดการดูดซับของเอทานอลที่ผิวของข้าวฟ่างหวาน หลังจากนั้นปริมาณน้ำคาลรีดิวิซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 4 และลดลงในวันที่ 5 แสดงถึงจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและมีการผลิตเอทานอลทำให้ปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นและสูงในวันที่ 5 และน้ำคาลรีดิวิซ์วันที่ 6 จนถึงวันที่ 7 ของการหมักมีลักษณะแนวโน้มลดลงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 8 และลดลงในวันที่ 10 ของการหมัก แสดงให้เห็นถึงจุลินทรีย์มีการใช้การเจริญเติบโตทำให้ช่วงวันที่ 9-10 มีแนวโน้มของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและไม่มีการผลิตเอทานอลซึ่งสังเกตได้จากปริมาณของเอ็นไซม์ลดลงทำให้ปริมาณของเอทานอลมีแนวโน้มคงที่ สำหรับเอ็นไซม์แอคติวิตี้มีแนวโน้มลดลงในช่วง 2 วันของกระบวนการหมักอาจเกิดการสะสมที่ผิวของข้าวฟ่างหวาน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 3-4 เนื่องจากจุลินทรีย์มีการปลดปล่อยเอ็นไซม์เปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล หลังจากนั้นเอ็นไซม์แอคติวิตี้มีแนวโน้มลดลงจนถึงวันสุดท้ายในการหมักช่วงแรกทั้งนี้เป็นเพราะจุลินทรีย์ไม่มีการปลดปล่อยเอทานอลทำให้เอ็นไซม์ที่เหลือเกิดการสะสมบนข้าวฟ่างหวานเพิ่มขึ้นจึงมีแนวโน้มลดลง

จากรูปที่ 2 เมื่อทำการกรองในวันที่ 10 จะทำการรีไซเคิลในวันที่ 11 ของการหมักโดยใช้รีเทนเทต ปริมาตร 300 mL และ อาหารเหลว LM- pH 5 ปริมาตร 200 mL และควบคุมความเข้มข้นสุดท้ายให้ได้ 30g/L



รูปที่ 2 การหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM-pH5 สูตรไม่มีน้ำตาล



รูปที่ 3 การหมักเอทานอลแบบเฟดแบทช์โดยการเติมอาหารเหลว LM-pH 5 สูตรมีน้ำตาลที่ความเข้มข้น 30 g/L

โดยทำการเติมอาหารเหลวทุก ๆ 2 วัน ทำให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 11 – 13 และลดลงในวันที่ 14 ของการหมัก และแนวโน้มของจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสูงสุดในวันที่ 13 ของการหมักแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีการใช้ไนโตรเจนเพื่อเจริญเติบโตและผลิตเอทานอลทำให้แนวโน้มของเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 11 – 16 ของการหมัก

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารที่ผ่านการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

Solution	Feed	Permeate	Retentate
Ethanol (g/L)	30.86	28.04	30.78
Reducing sugar (g/L)	15.98	12.25	19.88
cellulase activity (g/L)	8.42	6.73	9.72
Microorganism (cell/ml)	7.75E+07	1.21E+06	1.83E+08

หลังจากนั้นแนวโน้มของน้ำตาลรีดิวซ์จะค่อนข้างคงที่เนื่องจากการควบคุมความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ และจุลินทรีย์มีการใช้เพื่อการเจริญเติบโตและมีการผลิตเอทานอล ซึ่งจากกราฟพบว่าจุลินทรีย์มีแนวโน้มสูงขึ้น และปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นตลอดช่วงการหมักในระยะเวลา 11 -28 วันของการหมัก และเนื่องจากการรีไซเคิลรีเทนเททเข้าสู่ถึงปฏิกรณ์จึงมีส่วนในการสะสมของเอทานอลทำให้แนวโน้มเอทานอลเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่าร้อยละการกักกันของเอทานอลเป็น 0.25 เนื่องจากโมเลกุลของเอทานอลมีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนมากทำให้โมเลกุลของเอทานอลส่วนใหญ่ผ่านเมมเบรนได้ สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์และเซลลูเลส แอคติวิตี มีร้อยละการกักกันอยู่ที่ 23.34 และ 20.07 ตามลำดับด้วยเหตุผลจากสารละลายมีขนาดโมเลกุลของสารที่แตกต่างกันมาก จึงอาจทำให้เกิดการฟอรัมตัวของชั้นเค้กทำให้สามารถกักกันน้ำตาลรีดิวซ์และเซลลูเลส แอคติวิตีได้บ้าง

ตารางที่ 2 ค่าการกักกันของสารที่ผ่านการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน

solution	Rejection (%)
ethanol	0.25
Reducing sugar	23.34
cellulase activity	20.07
microorganism	98.43

สำหรับการกักกันจุลินทรีย์พบว่าเมมเบรนชนิดนี้สามารถกักกันได้อย่างดีมากโดยมีค่าร้อยละการกักกันคือ 98.43 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qi และคณะ (2011) และงานวิจัยของ Mores et al. (2001) ซึ่งใช้กระบวนการกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชันในการแยกเซลลูเลสในน้ำหมัก

5. การอภิปรายผล

จากการศึกษาควรต่อยอดการกรองที่ความเร็วไหลขวางอื่นๆ และความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ในการรีไซเคิลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองและทำการขยายผลโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำการหมักเอทานอลต่อไป

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้พบว่าเมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชันชนิดโพลีเอเทอร์ซัลโฟนสามารถกักจุลินทรีย์เพื่อรีไซเคิลในระหว่างกระบวนการหมัก แต่ไม่สามารถกักกันเอทานอลได้ รวมถึงมีการกักน้ำตาลรีดิวซ์และเอ็นไซม์ แอคติวิตี้ได้เล็กน้อย ซึ่งเมื่อนำมาใช้รีไซเคิลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์สามารถทำการหมักต่อและผลิตเอทานอลต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี อำเภอรุ่มทอง จังหวัดสุพรรณบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ลำต้นสัดข้าวฟ่างหวานสำหรับการผลิตเอทานอล

8. เอกสารอ้างอิง

สิรินดา ชุ่นฉลาด. (2540). ปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ

1. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 46-53.

Cheng N., Hasan M., Chahyo A. Chew F.K., Ling and Tham M.(2009). Production of Ethanol by Fed-Batch Fermentation. *Pertanika J. Sci. & Technol*,vol.7, p.399 – 408.

Chen G. , Song W. , Qi B. , Lu J.,and Wan Y.

(2013). “Recycling cellulase from

enzymatic hydrolyzate of acid treated wheat straw by electroultrafiltration.” *Bioresource Technology*. Vol 144 (March – June) 186-193.

Ghose T. K. (1987). *Measurement of Cellulase Activities*, Biochemical Engineering Research Centre, Indian Institute of Technology.

Lever M., Ho G.,and Cord-Ruwisch R. (2010). Ethanol from Lignocellulose Using Crude Unprocessed Cellulose from Solid-state fermentation. *Bioresource Technology*. Res.7083–7087. vol 101.

Mores D.W.,Knutsen, J. and Davis R.H.(2001). Cellulase recovery via membrane filtration. *Biochemistry and Biotechnology*. P 91–93.

Miller G. L.(1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Journal of Analytical Chemistry - ANAL CHEM* (online).Available from:<http://libra.msra.cn/>.

Qi B., Luo J.,ChenG., ChenX.andWanY. (2011) Application of Ultrafiltration and Nanofiltration for Recycling Cellulose and Concentration Glucose from Enzymatic Hydrolyzate of Steam Explode Wheat Straw. *Bioresource Technology*, vol.104, p.466-472.

William M.B., and Reese D. (1950). Colorimetric determination of ethyl alcohol, *Analytical Chemistry* 22: 1556.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

นายจิรพัฒน์ กิจสุวรรณ

วัน เดือน ปี

2 เมษายน 2532

ที่อยู่

2/331 หมู่ 13 ตำบลวัดไทร อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์

การศึกษา

ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เบอร์โทรศัพท์

088-2930307

อีเมล

jirapat.kit@gmail.com

