

การศึกษา เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อ เนื่องในการผลิต เอทานอลจากน้ำสับประด



นางสาวศจี สุวรรณศรี

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-340-8

009685

A STUDY OF THE CONTINUOUS COLUMN FERMENTOR  
FOR PRODUCTION OF ETHANOL FROM PINEAPPLE JUICE

Miss Sajee Suwansri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
Department of Food Technology  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษา เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่องในการผลิต เอทานอล  
จากน้ำสับปะรด

โดย      นางสาวศจี สุวรรณศรี

ภาควิชา      เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... *สุประดิษฐ์ มุนนาค* ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ มุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... *พัชรี ปานกุล* ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พัชรี ปานกุล)

..... *สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์* ..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

..... *วิชา วนดุรงค์วรรณ* ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ)

..... *มรกต ดันดีเจริญ* ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มรกต ดันดีเจริญ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษา เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง ในการผลิต เอทานอลจาก  
น้ำสับประรด  
ชื่อนิติกร                      นางสาวศจี สุวรรณศรี  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์  
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนตรงค์วรรณ  
ภาควิชา                        เทคโนโลยีทางอาหาร  
ปีการศึกษา                    2527



บทคัดย่อ

การศึกษา เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง ในการผลิตเอทานอล โดยใช้เชื้อยีสต์  
บริสุทธิ์ S. ellipsoideus หมักกับน้ำสับประรดซึ่งเป็นสารอาหาร ใช้สภาวะการหมักและ  
อาหารเสริมจากงานที่มีผู้วิจัยไว้ก่อนแล้ว (วิชาพงษ์, 2525) ระบบการหมักแบบต่อเนื่องนี้  
แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คอลัมน์ส่วนที่มีการให้อากาศ และไม่ให้อากาศ ส่วนที่ให้อากาศเป็น  
แบบเดียวกับที่ใช้ในการศึกษาการผลิตเอทานอลในระบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนที่ไม่ให้อากาศประกอบด้วย  
คอลัมน์ต่อกันแบบอนุกรม จำนวนคอลัมน์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับสภาวะของการหมัก เพื่อให้การหมัก  
อยู่ในสภาวะเสถียร ได้ทำการศึกษาอัตราการให้อากาศในระบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าปริมาณการ  
ให้อากาศที่เหมาะสมหลังการหมัก 4 ชั่วโมง คือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตร  
น้ำหมัก ต่อนาที ตลอดการทดลอง การศึกษาเบื้องต้นของการหมักในระบบต่อเนื่อง โดยใช้  
อัตราการเจือจางน้ำหมัก  $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  พบว่าได้ผลผลิตเอทานอลร้อยละ 7 และ 10  
(โดยปริมาตร) เมื่อปริมาณเอทานอลเริ่มต้นก่อนทำการถ่ายเทน้ำหมักมีค่าร้อยละ 2.6 และ 7  
(โดยปริมาตร) ตามลำดับ จะให้ผลผลิตดังกล่าวในคอลัมน์ที่ 5 สภาวะการหมักนี้ผลผลิตจะมี  
แนวโน้มลดลง เพื่อเป็นการยืนยันสภาวะในการให้อากาศที่เหมาะสมที่ได้จากระบบกึ่งต่อเนื่อง  
จึงทำการทดลองโดยใช้อัตราการเจือจางน้ำหมัก  $0.17 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  พบว่าได้ผลผลิตเอทานอล  
ร้อยละ 8 และ 10 (โดยปริมาตร) เมื่อปริมาณเอทานอลเริ่มต้นก่อนทำการถ่ายเทน้ำหมักมี  
ค่าร้อยละ 7 และ 9 (โดยปริมาตร) ซึ่งจะให้ผลผลิตดังกล่าวในคอลัมน์ที่ 9 และ 5 ตามลำดับ  
ดังนั้นสภาวะการหมักที่เหมาะสมในการศึกษานี้ คือ อัตราการเจือจางน้ำหมัก  $0.17 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$

การให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้น  
ลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที ตลอดการทดลอง และ  
ปริมาณเอทานอลเริ่มต้นก่อนทำการถ่ายเทน้ำหมักเป็นร้อยละ 9 (โดยปริมาตร) ซึ่งจะให้  
ผลผลิตเอทานอลร้อยละ 10 (โดยปริมาตร) ที่คอลัมน์ 5

Thesis Title            A Study of the Continuous Column Fermentor for  
Production of Ethanol from Pineapple juice  
Name                    Miss Sajee Suwansri  
Thesis Advisor        Assistant Professor Suttisak Suknaisilp, M.S.  
Associate Professor Vicha Vanadurongwan, Ph.D.  
Department            Food Technology  
Academic Year        1984

#### Abstract

This work has been studied of the continuous column fermentor for production of ethanol. Pure culture of S. ellipsoideus was used to ferment with the pineapple juice as substrate using fermentation condition and supplement from the previous work (วิฑูรย์, 2525). The continuous system consists of 2 parts, aerated and non-aerated columns. The aerated column is the same as in batch type while the non-aerated columns consist of series of columns. The number of the non-aerated columns used depend on the fermentation condition. To maintain the steady state of the fermentation condition the aeration rate has been studied in semicontinuous process. It was found that a suitable condition was 0.04-0.06 vvm after the 4th hours which 8% (by volume) of ethanol was obtained every 4 hours of 25% transference. Preliminary study was done on the continuous condition with dilution rate of  $0.11 \text{ h}^{-1}$ . It was found that the final ethanol concentration were 7% and 10% (by volume) with the initial ethanol concentration 2.6% and 7% (by volume), respectively, both were obtained from the column.

number 5 and the aeration rate of 0.5 vvm for 4 hours. This fermentation condition cannot be maintain at steady state and the system has a trend to decrease. To confirm the suitable aeration condition as studied in semicontinuous process, the dilution rate of  $0.17 \text{ h}^{-1}$  was used with the initial ethanol concentration 7% and 9% (by volume). It was found that the final ethanol concentration were 8% and 10% (by volume) obtained from the column number 9 and 5, respectively.

The best fermentation condition in this study was the dilution rate of  $0.17 \text{ h}^{-1}$  with the aeration rate of 0.5 vvm for 4 hours, after that reduce to 0.04-0.06 vvm all the time of the fermentation. The initial ethanol concentration was 9% (by volume) and 10% (by volume) of ethanol was obtained from the column number 5.



### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาก และขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนตรงค์วรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทางด้านวิชาการและควบคุมการวิจัยอย่างใกล้ชิด ตลอดจนได้กรุณาขอทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศักรินทร์ ภูมิรัตน์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์วิทยา , เทพไพฑูรย์ อาจารย์นิสิต บัณฑิตโยธิน อาจารย์ละเอียด เพ็งโสภา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ที่ได้กรุณาให้ความสะดวกในการใช้สถานที่ทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสมพร เอี่ยมสำอางค์ เจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาและบริการเครื่องมือ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้กรุณาสร้างและติดตั้ง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณนิสิตภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี





สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูป .....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. วารสารปริทัศน์ .....	3
ทฤษฎีของกระบวนการหมักด้วยระบบต่อเนื่อง .. <i>continuous productivity</i>	12
การเปรียบเทียบความสามารถของการหมัก .....	18
การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง .....	26
ชนิดของ เครื่องหมักในระบบต่อเนื่อง .....	30
การนำ เซลล์ยีสต์กลับมาใช้งานใหม่ .....	32
3. การทดลอง .....	33
อุปกรณ์ .....	33
การเตรียมการหมัก .....	34
การทดลองหมัก .....	36
1. ศึกษาการผลิตเอทานอลด้วย เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดไม่ต่อเนื่อง . . .	37
2. ศึกษาการผลิตเอทานอลด้วยการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง .....	38
3. ศึกษา เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง .....	39
การกำหนดวิธีวิเคราะห์ .....	40

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ .....	41
ผลการผลิต เอทานอลใน เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดไม่ต่อ เนื่อง .....	41
ทดสอบการผลิต เอทานอลด้วยวิธีการหมักแบบกึ่งต่อ เนื่อง .....	43
ผลการศึกษา เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อ เนื่อง .....	54
การ เปรียบ เทียบความสามารถของการหมัก .....	73
5. สรุปและข้อ เสนอแนะ .....	76
เอกสารอ้างอิง .....	78
ภาคผนวก .....	82
ประวัติผู้ เขียน .....	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักด้วยระบบต่อเนื่อง .....	10
2-2	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักด้วยระบบต่อเนื่อง .....	11
2-3	การเปรียบเทียบผลผลิตในการหมักไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบต่อเนื่อง ....	23
2-4	การเปรียบเทียบผลผลิตในการหมักไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ..	25
3-1	สภาวะการผลิตเอทานอลในคอลัมน์ชนิดไม่ต่อเนื่อง .....	37
4-1	อัตราการผลิตเอทานอลต่อชั่วโมงในกระบวนการผลิตเอทานอลแบบต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง .....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ .....	5
2-2 ตำแหน่งต่าง ๆ ของรูที่เจาะบนฝาปิด .....	6
2-3 แสดงถึงเครื่องหมัก n ตัว .....	12
2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเซลล์กับเวลาที่ใช้ในการหมักไม่ต่อเนื่อง .....	19
2-5 การเปรียบเทียบการหมักไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบต่อเนื่อง .....	25
2-6 การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในระบบเปิด .....	27
2-7 การจัดจำแนกกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในระบบปิด .....	28
2-8 เครื่องหมักระบบชั้นบันได หรือระบบไหลล้น .....	30
2-9 เครื่องหมักระบบทอสูง .....	31
3-1 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดต่อเนื่อง .....	35
4-1 แสดงปริมาณเอทานอล จำนวนเซลล์ที่นับได้ และปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท ที่เหลืออยู่ในน้ำหมัก ในการผลิตเอทานอลจากการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง .....	42
4-2 แสดงปริมาณเอทานอล จำนวนเซลล์ที่นับได้ และปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที ใน 4 ชั่วโมงแรกของการ ทดลองการถ่ายเทน้ำหมักร้อยละ 25 ทุก 3 และ 4 ชั่วโมง .....	44
4-3 แสดงปริมาณเอทานอล จำนวนเซลล์ที่นับได้ และปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที ใน 4 ชั่วโมงแรกของการ ทดลอง เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มให้อากาศในอัตราเดิมจนได้ปริมาณเซลล์ 300 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร และศึกษาช่วงเวลาในการถ่ายเทน้ำหมักทุก 4 และ 5 ชั่วโมง .....	47

4-4	แสดงปริมาณเอทานอล จำนวนเซลล์ที่นับได้ และปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที ใน 4 ชั่วโมงแรก แล้วลด ปริมาณเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที ตลอดการทดลอง .....	50
4-5	แสดงปริมาณเอทานอล จำนวนเซลล์ที่นับได้ และปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ท ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อใช้สภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 2-3 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะการผลิตที่สม่ำเสมอแล้ว จึงเปลี่ยนอัตราการให้อากาศเป็น 0.16-0.18 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตร น้ำหมัก ต่อนาที และทดลองหมักโดยไม่ให้อากาศเลย .....	52
4-6	แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง .....	56
4-7	แสดงจำนวน เซลล์ที่นับได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อ เวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง .....	57
4-8	แสดงปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ทที่เหลือในน้ำหมักจากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมี การให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสาร อาหารเมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง .....	58
4-9	แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อ เวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง .....	59

รูปที่

หน้า

4-10	แสดงจำนวนเซลล์สัตว์ที่นับได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง .....	60
4-11	แสดงปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ทที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.11 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง .....	61
4-12	แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที อัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.17 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง .....	63
4-13	แสดงจำนวนเซลล์สัตว์ที่นับได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที อัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.17 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง .....	64
4-14	แสดงปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ทที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที อัตราการเจือจางน้ำหมัก $0.17 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง .....	65

รูปที่

หน้า

4-15	แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที อัตราการเจือจางน้ำหมัก 0.17 ชั่วโมง <sup>-1</sup> เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง .....	66
4-16	แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้จากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที อัตราการเจือจางน้ำหมัก 0.17 ชั่วโมง <sup>-1</sup> เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง .....	67
4-17	แสดงปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ทที่เหลืออยู่ในน้ำหมักจากการหมักแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วลดเหลือ 0.04-0.06 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อนาที อัตราการเจือจางน้ำหมัก 0.17 ชั่วโมง <sup>-1</sup> เริ่มปล่อยสารอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง .....	68
4-18	แสดงปริมาณเอทานอล เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล จนกระทั่งสิ้นสุดสภาวะสมดุล .....	69
4-19	แสดงจำนวนเซลล์ที่นับได้ เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล จนกระทั่งสิ้นสุดสภาวะสมดุล .....	70
4-20	แสดงปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ทที่เหลืออยู่ในน้ำหมัก เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล จนกระทั่งสิ้นสุดสภาวะสมดุล .....	71