กระบวนการสมบูรณ์แบบผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องจากน้ำสับปะรด

นางสาวอัมพาวดี ศรีสัจจะเลิศวาจา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2534

ISBN 974-578-911-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017450 I10313102

COMPLETE CONTINUOUS PROCESS OF VINEGAR PRODUCTION FROM PINEAPPLE JUICE

Miss. Ampawadee Srisajjalertwaja

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

1991

ISBN 974-578-911-9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการสมบูรณ์แบบผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องจากน้ำสับปะรด
โดย	นางสาวอัมพาวดี ศรีสัจจะเลิศวาจา
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร)

---------- กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)

---------- กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ)

---------- กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

---------- กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อัมพาวดี ศรีสัจจะเลิศวาจา : กระบวนการสมบูรณ์แบบผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องจากน้ำสับปะรด (COMPLETE CONTINUOUS PROCESS OF VINEGAR PRODUCTION FROM PINEAPPLE JUICE) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. สมชาย โอสุวรรณ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ. 200 หน้า. ISBN 974-578-911-9

ในงานวิจัยศึกษากระบวนการสมบูรณ์แบบผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องจากน้ำสับปะรดนี้ได้เน้นการศึกษาในขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำส้มสายชู ประเมินผลการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับและจำนวนชุดของเครื่องหมักต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมักน้ำส้มสายชู ระบบหมักนี้ประกอบด้วยเครื่องหมักย่อย 4 ชุดต่ออนุกรมกัน เครื่องหมักแต่ละชุดประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ คอลัมน์หมัก และถังเก็บน้ำหมัก ทำการหมักน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องโดยการป้อนไวน์สับปะรดที่ยังไม่ผ่านการพาสเจอไรซ์ และมีความเข้มข้นของเอธานอลประมาณร้อยละ 7

จากการทดลองพบว่า อัตราการเจือจางที่เหมาะสมเป็น 0.0250 ชม.$^{-1}$ โดยได้น้ำส้มสายชูประมาณวันละ 7.20 ลิตร มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกอยู่ในช่วงร้อยละ 3.9-4.3 การนำเอาผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 และ 3 มาป้อนย้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ และประสิทธิภาพยังคงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักที่ไม่มีการป้อนย้อนกลับ ดังนั้นการนำเอาผลิตภัณฑ์บางส่วนมาป้อนย้อนกลับไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำส้มสายชูสูงขึ้นแต่อย่างใด และยังพบว่าจำนวนชุดของเครื่องหมักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบหมักน้ำส้มสายชูนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต อัมพาวดี ศรีสัจจะเลิศวาจา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

AMPAWADEE SRISAJJALERTWAJA : COMPLETE CONTINUOUS PROCESS OF VINEGAR PRODUCITON FROM PINEAPPLE JUICE. THESIS ADVISOR : PROF.SOMCHAI OSUWAN,Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSO.PROF.VICHA VANADURONGWAN,Ph.D. 200 PP. ISBN 974-578-911-9

In this experimental study, an emphasis was on vinegar conversion from the pineapple wine. The main objectives were to determine optimum conditions in producing vinegar from the pineapple wine and to evaluate the effects of recycle, and the number of stage on the process performance of the vinegar fermentation system. The acetic acid fermentation system consisted of 4 identical units of fermenters connected in series. Each of fermenter unit comprised of a packed-bed column and a storage tank. This vinegar fermentation system was fed by the pineapple wine without pasteurization and having ethanol concentration of approximately 7%.

From the experimental results, it was found that under the optimum dilution rate of 0.0250 h^{-1}, the system could produce 7.20 litre per day of vinegar containing acetic acid concentration of 3.9-4.3 %. The system operated with product recycle from either the 3rd or 4th tank showed no significant effects on the process efficiency. In comparison with the system operated without recycle, the system operated with recycling had slightly lower process efficiency. Hence, it can be concluded that, recycling do not enhance the efficiency in vinegar production. An increase in the number of stage the fermentation units did not affect the process efficiency.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต อัมพวดี ศรีสัชชาลเวิศวาจา

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย โอสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนตุรงค์วรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช อาจารย์ ดร.เพียรพรรค ทัศคร และอาจารย์เก็จวลี พฤกษาทร ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ คุณสังข์ ชมชื่น คุณสนิท ปรีนคร ที่ให้ความช่วยเหลือในการซ่อมแซมเครื่องมือ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และบุคคลใกล้ชิดทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณสมาน คิริภัทร รองกรรมการผู้จัดการบริษัท สยามอุตสาหกรรมการเกษตร (สับปะรด) จำกัด ที่กรุณาเอื้อเฟื้อน้ำสับปะรด ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในงานวิจัย ทำให้บรรลุจุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฑ

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ..... น

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์..... 2

2.1 ต้นกำเนิดของการผลิตน้ำส้มสายชู..... 2

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชู..... 5

2.3 การหมักอัลกอฮอล์..... 8

2.4 การหมักกรดอะซิติก..... 10

2.5 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู..... 12

2.5.1 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูแบบเชื้อเจริญที่ผิวหน้า..... 12

2.5.2 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูแบบทริคกลิง..... 15

2.5.3 กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูแบบซับเมิร์จ..... 25

2.5.4 การผลิตกรดอะซิติกเข้มข้น..... 30

2.5.5 การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู..... 30

2.6 องค์ประกอบของน้ำส้มสายชู..... 36

2.6.1 องค์ประกอบของสารละลายอัลกอฮอล์..... 36

2.6.2 องค์ประกอบของน้ำส้มสายชู..... 37

2.7 มาตรฐาน และการวิเคราะห์น้ำส้มสายชู..... 39

2.8 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำส้มสายชู..... 44

2.8.1 ยีสต์..... 44

2.8.2 แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก..... 46

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.9	ขั้นตอนการผลิตน้ำส้มสายชู	53
2.10	เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ	55
2.11	การถ่ายโอนออกซิเจนและการวัดค่า $k_L a$	56
2.12	การพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องหมักน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่อง	59
	2.12.1 วัสดุบรรจุ	60
	2.12.2 ระบบการไหลเวียนของน้ำหมักภายในเครื่องหมัก	61
	2.12.3 ระบบการให้อากาศ และระบบการกระจายของน้ำหมัก	61
2.13	การหมักแบบต่อเนื่อง	64
	2.13.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบหมักแบบเคโมสแตท	67
	2.13.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจือจางกับความเข้มข้นของเซล	67
	2.13.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจือจางกับความเข้มข้นของสารอาหาร	69
	2.13.4 สมการพื้นฐานสำหรับการหมักแบบต่อเนื่อง	71
	2.13.5 อัตราการเจือจางวิกฤต	72
	2.13.6 กำลังการผลิต	72
	2.13.7 การหาค่าผลิตผลและค่าคงที่อัตราเร็ว	73
	2.13.8 การปรับปรุงระบบเคโมสแตทพื้นฐาน	74
	2.13.9 ข้อดีของการหมักแบบต่อเนื่องเทียบกับการหมักแบบเป็นครั้ง	79
	2.13.10 ข้อเสียเปรียบของการหมักแบบต่อเนื่องกับการหมักแบบเป็นครั้ง	80
3	อุปกรณ์ วัสดุ และการทดลอง	81
3.1	อุปกรณ์ และวัสดุ	81
	3.1.1 เครื่องพาสเจอไรซ์	81
	3.1.2 เครื่องหมักที่ใช้ในการผลิตเอธานอลแบบต่อเนื่อง	82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3 เครื่องหมักที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่อง..... 82

3.2 ขั้นตอน และวิธีดำเนินงานวิจัย..... 83

3.2.1 การเตรียมการหมักเอธานอลแบบต่อเนื่อง..... 83

3.2.2 การเตรียมการหมักน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่อง..... 86

3.2.3 ขั้นตอนการทดลองผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่อง..... 87

3.2.4 วิธีการวิเคราะห์..... 90

4 ผลการทดลอง และวิจารณ์..... 91

5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... 143

เอกสารอ้างอิง..... 146

ภาคผนวก

ก การผลิตเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการหมักดองอาหาร..... 159

ข ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง..... 162

ค วิธีการวิเคราะห์..... 187

ง การเปรียบเทียบกำลังการผลิตของกระบวนการหมักน้ำส้มสายชูแบบเป็นครั้งแบบกึ่งต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง..... 193

จ วิธีวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์..... 196

ฉ ตารางแสดงรายละเอียดวิธีการคำนวณหาน้ำหนักเซลเปียกและแห้งของจุลินทรีย์... 198

ประวัติ..... 200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชู.....	7
2.2	ลักษณะเฉพาะของแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก.....	48
2.3	แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มต่าง ๆ.....	50
2.4	แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ.....	57
4.1	สรุปค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลดิบสำหรับเมื่อสภาวะการทดลองต่าง ๆ กัน.....	102
4.2	เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบหมักน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องที่สภาวะคงที่ของประพนธ์และงานปัจจุบัน.....	103
4.3	เปรียบเทียบผลการทดลองที่มีการทำซ้ำเมื่ออัตราการเจือจางเป็น 0.0225 และ 0.0250 ชม.$^{-1}$.....	107
4.4	แสดงน้ำหนักเซลเปียกและแห้งของจุลินทรีย์ในแต่ละคอลัมน์หมัก.....	138
4.5	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณกรดอะซิติก ปริมาณอัลกอออล์ที่เหลืออยู่ในน้ำหมักเมื่อเทียบกับเวลา.....	141
ข.1	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0225 ชม.$^{-1}$.....	163
ข.2	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0225 ชม.$^{-1}$ (ทำการทดลองซ้ำ).....	164
ข.3	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$.....	165

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.4	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ (ทำการทดลองซ้ำ).....	166
ข.5	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0350 ชม.$^{-1}$.....	167
ข.6	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยในชั่วโมงที่ 0-343 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ จากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 343 เป็นต้นไป มีการนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	168
ข.7	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยในชั่วโมงที่ 0-284 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ จากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 284 เป็นต้นไป มีการนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนการการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	169

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.8	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อน กลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	170
ข.9	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0310 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.81.....	171
ข.10	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	172
ข.11	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0350 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.71.....	173

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.12	แสดงอุณหภูมิ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณเชื้อ ร้อยละของกรดอะซิติก และร้อยละของเอธานอลต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0395 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.54.....	174
ค.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอธานอล (ร้อยละโดยปริมาตร) กับค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน.....	188
ฉ.1	แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาน้ำหนักเซลแห้งและเปียกของจุลินทรีย์ในแต่ละคอลัมน์หมัก โดยทำการวิเคราะห์หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองเมื่อทำการหมักแบบต่อเนื่องและไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	198
ฉ.2	แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาน้ำหนักเซลแห้งและเปียกของจุลินทรีย์ในแต่ละคอลัมน์หมัก โดยทำการวิเคราะห์หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1.....	199

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนผังแสดงการผลิตน้ำส้มสายชู.....	4
2.2	การผลิตกรดอะซิติกโดยกระบวนการแบบออร์ลีน.....	14
2.3	เจนเนอเรเตอร์ผลิตน้ำส้มสายชูอย่างง่าย.....	18
2.4	เจนเนอเรเตอร์ผลิตน้ำส้มสายชูแบบหมุนเวียน.....	18
2.5	เจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูแบบเร็ว.....	19
2.6	เจนเนอเรเตอร์ของฟริงช์.....	20
2.7	เครื่องหมักแบบอะซิเตเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูแบบซับเมิร์จ.....	27
2.8	เครื่องหมักแบบแพคเบดคอลัมน์หนึ่งชั้น.....	33
2.9	เครื่องหมักอนุกรม 4 ชั้นแบบรวมคอลัมน์.....	34
2.10	เครื่องหมักแบบหลายคอลัมน์ต่ออนุกรมกัน.....	35
2.11	ปรากฏการณ์การถ่ายเทมวลสารจากฟองอากาศสู่เซลของเชื้อจุลินทรีย์.....	62
2.12	(ก) ระบบหัวกระจายอากาศจุดเดียว (ข) ระบบหัวกระจายอากาศหลายจุด.....	62
2.13	แสดงระบบการหมักแบบต่อเนื่องชนิด (ก) เคโมสแตท (ข) เทอร์บิโดสแตท.....	66
2.14	แสดงการไหลของสารอาหารและเซลในระบบหมักแบบเคโมสแตทขั้นตอนเดียว.....	68
2.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซล, สารอาหาร, กำลังการผลิต และอัตราการเจือจางที่สภาวะคงที่.....	68
2.16	แสดงการหาค่าผลิตผลการเจริญจริง, Y_g และพลังงานที่ต้องการในการบำรุงรักษาเซล.....	75
2.17	แสดงระบบหมักเคโมสแตทที่มีการนำเซลมาป้อนย้อนกลับ.....	75
2.18	แสดงกำลังการผลิต (productivity, P) และจำนวนเซล (X) สำหรับระบบหมักเคโมสแตทขั้นตอนเดียว.....	78
2.19	ระบบหมักเคโมสแตท 2 ขั้นตอน.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	เครื่องหมักที่ใช้ในกระบวนการสมบูรณ์แบบผลิตน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องจากน้ำสับปะรด.....	84
4.1	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องโดยใช้อัตราการเจือจาง 0.0225 ชม.$^{-1}$.....	94
4.2	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องโดยใช้อัตราการเจือจาง 0.0225 ชม.$^{-1}$ (ทำการทดลองซ้ำ).....	95
4.3	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องโดยใช้อัตราการเจือจาง 0.0250 ชม.$^{-1}$.....	96
4.4	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องโดยใช้อัตราการเจือจาง 0.0250 ชม.$^{-1}$ (ทำการทดลองซ้ำ).....	97
4.5	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องโดยใช้อัตราการเจือจาง 0.0350 ชม.$^{-1}$.....	98
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงประสิทธิภาพของระบบหมักน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องที่อัตราการเจือจางต่าง ๆ ภายใต้สภาวะคงที่.....	100
4.7	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่องโดยในชั่วโมงที่ 0-343 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0250 ชม.$^{-1}$ จากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 343 เป็นต้นไปมีการนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1โดยใช้อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	109

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยในชั่วโมงที่ 0-284 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0250 ชม.$^{-1}$ จากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 284 เป็นต้นไปมีการนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	110
4.9	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0250 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	112
4.10	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0310 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.81.....	113
4.11	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0250 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	114
4.12	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0350 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.71.....	115

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	แสดงปริมาณเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3,4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจาง 0.0395 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.54.....	116
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงประสิทธิภาพของระบบหมักน้ำส้มสายชูแบบต่อเนื่องที่อัตราส่วนการป้อนย้อนกลับต่าง ๆ ภายใต้สภาวะคงที่.....	117
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดอะซิติกที่ได้ กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ...	121
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอธานอลที่ถูกใช้ไป กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ...	122
4.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิต กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1,2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	123
4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสร้างกรดอะซิติก กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1,2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	124
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดอะซิติกที่ได้ กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	125

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอธานอลที่ถูกใช้ไป กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	126
4.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิต กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	127
4.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสร้างกรดอะซิติก กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และไม่มีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ...	128
4.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดอะซิติกที่ได้ กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	129
4.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอธานอลที่ถูกใช้ไป กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	130
4.25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิต กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1,2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	131
4.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสร้างกรดอะซิติก กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อปริมาตรน้ำหมักในเครื่องหมัก เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1,2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	132
4.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดอะซิติกที่ได้ กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	133

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอธานอลที่ถูกใช้ไป กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	134
4.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิต กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	135
4.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสร้างกรดอะซิติก กับอัตราการป้อนเอธานอลต่อพื้นที่ผิววัสดุบรรจุ เมื่อมีเครื่องหมักจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชุดต่ออนุกรมกัน และมีการนำผลิตภัณฑ์มาป้อนย้อนกลับ.....	136
4.31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอธานอลที่เหลืออยู่ในน้ำหมักเมื่อเทียบกับเวลา.....	142
ข.1	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0225 ชม.$^{-1}$.....	175
ข.2	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0225 ชม.$^{-1}$ (ทำการทดลองซ้ำ).....	176
ข.3	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$.....	177
ข.4	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ (ทำการทดลองซ้ำ).....	178

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.5 แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0350 ชม.$^{-1}$..... 179

ข.6 แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยในชั่วโมงที่ 0-343 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ จากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 343 เป็นต้นไป มีการนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00..... 180

ข.7 แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยในชั่วโมงที่ 0-284 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ จากนั้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 284 เป็นต้นไป มีการนำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 มาป้อนกลับสู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 โดยใช้อัตราส่วนการการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00..... 181

ข.8 แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00..... 182

ข.9 แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0310 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 4 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.81..... 183

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.10	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0250 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 1.00.....	184
ข.11	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0350 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.71.....	185
ข.12	แสดงปริมาณของเอธานอลและกรดอะซิติกต่อเวลาของถังเก็บไวน์ และถังเก็บน้ำหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง โดยกำหนดให้จุดที่เริ่มทำการป้อนย้อนกลับเป็นชั่วโมงที่ 0 ใช้อัตราการเจือจางเท่ากับ 0.0395 ชม.$^{-1}$ อัตราส่วนการป้อนกลับจากถังเก็บน้ำหมักที่ 3 สู่ถังเก็บน้ำหมักที่ 1 เป็น 0.54.....	186
ค.1	ลักษณะของเอมาไซโตมิเตอร์ด้านหน้าและภาคตัด.....	191
ค.2	รูปขยายตารางของเอมาไซโตมิเตอร์.....	192
ง.1	แสดงการเปรียบเทียบกำลังการผลิตของกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู (ก) แบบเป็นครั้ง (ข) แบบกึ่งต่อเนื่อง (ค) แบบต่อเนื่อง โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของกรดอะซิติกกับเวลา.....	195

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ

a = พื้นที่ผิวของฟองอากาศต่อปริมาตร, ตร.เมตรต่อลบ.เมตร

C = ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลว, กิโลโมลต่อลบ.เมตร

C_g = ถังเก็บไวน์

$C1$ = ถังเก็บน้ำหมักที่ 1

$C2$ = ถังเก็บน้ำหมักที่ 2

$C3$ = ถังเก็บน้ำหมักที่ 3

$C4$ = ถังเก็บน้ำหมักที่ 4

C^o = ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวที่ผิวสัมผัส, กิโลโมลต่อลบ.เมตร

C^* = ความเข้มข้นของออกซิเจนในของเหลวที่สมมูลกับความดันย่อยของกาซ, กิโลโมลต่อลบ.เมตร

C' = แฟคเตอร์ความเข้มข้นของน้ำหมักก่อนนำไปป้อนย้อนกลับสู่ระบบ

ΔC = ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัส, กิโลโมลต่อลบ.เมตร

d_B = เส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ, มิลลิเมตร

D = อัตราการเจือจาง, ชม.$^{-1}$

D_c = อัตราการเจือจางวิกฤต, ชม.$^{-1}$

D_m = อัตราการเจือจางที่ทำให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด, ชม.$^{-1}$

D_2 = อัตราการเจือจางในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, ชม.$^{-1}$

F = อัตราการไหลของสารอาหารที่ป้อนเข้ามา, ลิตรต่อชม.

F_a = อัตราการป้อนอากาศ, ลบ.ซม.ต่อนาที

F' = อัตราการไหลของสารอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, ลิตรต่อชม.

H = ค่าคงที่ของเฮนรี

H_L = ความลึกของของเหลว, เมตร

k = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร, กิโลโมลต่อตร.เมตรต่อวินาทีต่อบาร์

k_g = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลทางด้านกาซ, กิโลโมลต่อตร.เมตรต่อวินาทีต่อบาร์

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ(ต่อ)

k_L = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลทางด้านของเหลว, กิโลโมลต่อตร.เมตรต่อวินาทีต่อบาร์

k_La = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลทั้งหมดร่วมกับพื้นที่ผิวของฟองกาซ, กิโลโมลต่อลบ.เมตรต่อวินาทีต่อบาร์

m = ความต้องการพลังงานในการบำรุงรักษา, กรัมสารอาหารที่ใช้ต่อกรัมน้ำหนักแห้งของเซลต่อชม.

N_a = ออกซิเจนฟลักซ์, กิโลโมลต่อตร.เมตรต่อวินาที

p = ความดันย่อยของออกซิเจนในกาซทั้งหมด, บาร์

p = ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะคงที่, กรัมต่อลิตร

p^o = ความดันย่อยของออกซิเจนที่ผิวสัมผัส, บาร์

P = กำลังการผลิต

P_p = กำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับการเจริญ

q_p = อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์จำเพาะ, กรัมผลิตภัณฑ์ที่เกิดต่อลิตรต่อชม.

R^2 = สัมประสิทธิ์การตรวจสอบ

S = ความเข้มข้นของสารอาหารในระบบเคโมสแตท, กรัมต่อลิตร

S_R = ความเข้มข้นของสารอาหารในถังเก็บ, กรัมต่อลิตร

S' = ความเข้มข้นของสารอาหารที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, กรัมต่อลิตร

$\overline{S}$ = ความเข้มข้นของสารอาหารในระบบเคโมสแตทที่สภาวะคงที่, กรัมต่อลิตร

S_2 = ความเข้มข้นของสารอาหารในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, กรัมต่อลิตร

$\overline{S}_2$ = ความเข้มข้นของสารอาหารในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 ที่สภาวะคงที่, กรัมต่อลิตร

t = เวลา

v_B = ความเร็วของฟองอากาศ, เมตรต่อวินาที

V = ปริมาตรของน้ำหมักในเครื่องปฏิกรณ์, ลิตร

V' = ค่าคงที่

V_2 = ปริมาตรของน้ำหมักในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, ลิตร

X = ความเข้มข้นของเซลในเครื่องปฏิกรณ์, กรัมต่อลิตร

X_o = ความเข้มข้นของเซลในสารอาหารที่ป้อนเข้ามา, กรัมต่อลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ(ต่อ)

X_2 = ความเข้มข้นของเซลในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, กรัมต่อลิตร

$\overline{X}$ = ความเข้มข้นของเซลในสารอาหารที่สภาวะคงที่, กรัมต่อลิตร

$\overline{X}_2$ = ความเข้มข้นของสารอาหารในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 ที่สภาวะคงที่, กรัมต่อลิตร

Y = สัมประสิทธิ์ผลิตผล

Y_G = ผลิตผลการเจริญจริง

$Y_{X/S}$ = สัมประสิทธิ์ผลิตผลของเซล, กรัมน้ำหนักแห้งของเซลต่อกรัมสารอาหารที่ใช้

$Y_{P/S}$ = สัมประสิทธิ์ผลิตผลของผลิตภัณฑ์, กรัมผลิตภัณฑ์ที่เกิดต่อกรัมสารอาหารที่ใช้

ϕ = ค่าคงที่

β = ค่าคงที่

μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์, ชม.$^{-1}$

μ_m = อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด, ชม.$^{-1}$

μ_2 = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2, ชม.$^{-1}$

α = อัตราการตายจำเพาะ, ชม.$^{-1}$

δ = อัตราส่วนการป้อนกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย