

6/126/55

6

การศึกษา เครื่องหมักแบบหลายชั้นในการผลิตน้ำตาลมึล่ายจากไวน์สับปะรด



นางสาวศิริวรรณ จงสิระศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

IBBN 974-563-207-4

009891

i17478918

A STUDY OF MULTISTAGE COLUMN FERMENTER FOR VINEGAR
PRODUCTION FROM PINEAPPLE WINE

Miss Siriwan Chongchirasiri

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

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษา เครื่องหมักแบบหลายชั้นในการผลิตน้ำส้มสายชู
จากไวน์สับปะรด

โดย

นางสาว ศิริวรรณ จงจิระศิริ

ภาควิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนตรงค์วรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

สมชาย งาม
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ส.ย.
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ รัญพิทยากุล)

วิชา วนตรงค์วรรณ
.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนตรงค์วรรณ)

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

มรกต ตันติเจริญ
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มรกต ตันติเจริญ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษา เครื่องหมักแบบหลายชั้นในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์ สับปะรด
ชื่อผู้ผลิต	นางสาวศิริวรรณ จงศิริศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนตรงค์วรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ ลุขโนศิลป์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	2526



บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษา เครื่องหมักแบบหลายชั้น ในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด โดยใช้เชื้อบริสุทธิ์ A. aceti และมียีสต์แอกแทรกท์ เปปโตน แมนนิทอล และโตแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ร้อยละ 0.05, 0.03, 0.05 และ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรตามลำดับ เป็นสารอาหารเสริม โดยมีอัตราการไหลของน้ำหมัก 2.85 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.02 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที เครื่องหมักที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.2 เซนติเมตร และ มีความสูงเป็น 25, 50 และ 100 เซนติเมตร ตามลักษณะของการประกอบใช้ระบบกาสักน้ำเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก วัสดุที่ใช้เป็นแพคเกจมีลักษณะทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และมีจำนวน 90 ลูกต่อความสูงของเครื่องหมัก 25 เซนติเมตร จากการศึกษาเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้เป็นแพคเกจทั้งในขวดเขย่าและเครื่องหมักแบบชั้นเดียว พบว่าไม้มะค่าจะให้ผลในการผลิตน้ำส้มสายชูดีที่สุด และอัตราส่วนความเข้มข้นของเอทานอลต่อกรดอะซิติกเริ่มต้นที่เหมาะสมเป็น 7:1 จากการเปรียบเทียบอัตราการเกิดน้ำส้มสายชูโดยการประกอบเครื่องหมักแบบต่าง ๆ พบว่า เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอส้มจะให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือเครื่องหมักสี่ชั้นแบบขนาน เครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอส้ม เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้นและ เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอส้มตามลำดับ

๓

Thesis Title A Study of Multistage Column Fermenter for Vinegar
Production from Pineapple Wine

Name Miss Siriwan Chongchirasiri

Thesis Advisor Associate Professor Vicha Vanadurongwan, Ph.D.
Assistant Professor Suttisak Suknaisilp

Department Chemical Technology

Academic Year 1983



ABSTRACT

This work has been done on a multistage packed column fermenter in the production of vinegar from pineapple wine. Pure culture of A. aceti was used to ferment with yeast extract, peptone, mannitol and diammonium hydrogen phosphate 0.05 %, 0.03 % 0.05 % and 0.3 % w/v respectively as supplement. The liquid flow rate of 2.85 liter/min and aeration rate of 0.02 VVM were supplied. The fermenter has 7.2 centimeters inside diameter with 25, 50 or 100 centimeter in height depend on the type of construction. The siphoning system was used to drain off the wort from the column. The packed bed contain 90 spherical particles with 1.5 centimeters in diameter to each column height of 25 centimeters. From the preliminary studied both in shaken flask and fermenter on the packing material it was found that the *Azelaia xylocarpa* Craib gave the best result. The most suitable ratio of alcohol to acetic acid ratio was 7:1. The comparison on the rate of vinegar production using various types of fermenters it was found that a series four-stages common-column fermenter gave the best follow by a parallel four stages separate-column, a series of two-stages separate-column, a single stage column and a series of four-stages separate-column respectively.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วีระเดช ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ตลอดจนได้กรุณาขอทุนในการสนับสนุนการวิจัย กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือเพิ่มเติม ทางด้านจุลชีววิทยา เป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณอวยพร สัพลากร ที่ได้กรุณาสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งท่านอาจารย์ เพื่อน ๆ และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทำให้งานการศึกษารวบรวมสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
รายการตารางประกอบ.....	ฎ-ฅ
รายการรูปประกอบ.....	ณ-ถ
บทที่	
1 บทนำ	1-2
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ชนิดของน้ำส้มสายชู	3-4
2.2 วิวัฒนาการของ เครื่องหมัก	4-7
2.3 ปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดการหมักที่ดี.....	7
2.3.1 คุณสมบัติของ วัตถุดิบ.....	7-9
2.3.2 การเลือกชนิดของจุลินทรีย์.....	10-11
2.3.3 ปริมาณผลผลิตสูงจนเป็นที่ยอมรับ	11
2.3.4 สามารถหมักได้รวดเร็ว	11
2.3.5 สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใช้ได้ง่าย.....	12-16
2.4 ชนิดของ เครื่องหมัก.....	16
2.4.1 เครื่องหมักแบบธรรมดา.....	16
2.4.2 เครื่องหมักแบบธรรมดาที่ดัดแปลง.....	16
2.4.3 เครื่องหมักแบบฟลูอิดเบดคอสัมน์.....	16
2.4.4 เครื่องหมักคอสัมน์แบบตั้งขึ้น	16
2.4.5 เครื่องหมักคอสัมน์แบบหลายชั้น.....	16
2.5 ประสิทธิภาพของ เครื่องหมักที่มีผลต่อการหมัก	17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.2.3.5 การศึกษา เครื่องหมักสีคอสัมน์ แบบขนาน	51
	3.2.3.6 การศึกษา เครื่องหมักอนุกรมสีชั้น แบบรวมคอสัมน์.....	51
	3.2.3.7 การศึกษาการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง	51
4	ผลการทดลอง.....	52
	4.1 ศึกษาถึงวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแพคเบด.....	52
	4.1.1 ศึกษาในขวดเขย่า.....	52-53
	4.1.2 ศึกษาใน เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น.....	53
	4.2 ศึกษาถึงอัตราส่วนของ เอทานอลและกรดอะซิติก เริ่มต้นที่เหมาะสม	53
	4.3 การศึกษา เครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบแยกคอสัมน์.....	54-55
	4.4 การศึกษา เครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบแยกคอสัมน์.....	56-57
	4.5 การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของ เครื่องหมัก.....	58
	4.6 การศึกษา เครื่องหมักสีคอสัมน์แบบขนาน.....	59
	4.7 การศึกษา เครื่องหมักอนุกรมสีชั้นแบบรวมคอสัมน์.....	59
	4.8 การศึกษาการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง.....	60
5	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	89-95
6	สรุปและเสนอแนะ	96-97
	เอกสารอ้างอิง	98-100
	ภาคผนวก	101-159
	ประวัติ	160

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1	แสดงการเปรียบเทียบผลผลิตในการหมักแบบไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบต่อเนื่อง.....	34
2	แสดงการเปรียบเทียบผลผลิตในการหมักแบบไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง.....	36
ค-1	แสดงผลการทดลองในขวดเขย่า เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กัน คือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้ตะเคียน ไม้แดง และพลาสต์ติก	105
ค 2-6	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้ตะเคียน ไม้ไผ่ ไม้แดง ไม้สัก ไม้มะค่า	106-110
ค 6-9	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น เมื่อใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของเอทานอลต่อกรดอะซิติก 7:1, 8:1, 6:2, 7:2.....	110-113
ค 10-11	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอกสัมน์ เมื่อใช้ระบบท่อน้ำล้น และระบบกาสักน้ำเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก.....	114-115
ค 12-13	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอกสัมน์ เมื่ออัตราส่วนของปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบต 1:0.95, 1:1.85.....	116-117
ค 14-17	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอกสัมน์ เมื่ออัตราการให้อากาศ 0, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อหน้าที่.....	118-121
ค 17-18	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอกสัมน์ เมื่อใช้ระบบกาสักน้ำและระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก	121-122
ค 18-19	แสดงผลการทดลองในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอกสัมน์ เมื่อเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นในคอกสัมน์ร้อยละ 50 กับร้อยละ 100.....	122-123

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค 20-21	แสดงผลการทดลอง เมื่อใช้เครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมันน์ กับ เครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมันน์	124-125
ค 22	แสดงผลการทดลอง เมื่อใช้เครื่องหมักลือคอสมันน์แบบขนาน	126
ค 23	แสดงผลการทดลอง เมื่อใช้เครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบรวมคอสมันน์	127
ค 24	แสดงผลการทดลอง เมื่อทำการหมักน้ำตาลละลายแบบชนิดกึ่งต่อเนื่อง โดย ดึงออกร้อยละ 50	128
ง 1	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิติก เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำ จากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้ไผ่ ไม้แดง และพลาสติก ศึกษาในขวดเขย่า	129
ง 2	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิติก เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจาก วัสดุชนิดต่าง ๆ กัน ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้ไผ่ ไม้แดง ศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	130
ง 3	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิติก เมื่อใช้อัตราส่วนเริ่มต้น ของเอทานอลต่อกรดอะซิติกต่าง ๆ กัน คือ 7:1, 8:1, 6:2, 8:2 ศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	130
ง 4	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิติก เมื่อใช้ระบบกาสักน้ำ และระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก ศึกษาในเครื่องหมัก อนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมันน์	131
ง 5	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิติก เมื่ออัตราส่วนของปริมาตร ช่องว่างเหนือแพคเบตต่างกันคือ 1:0.95 และ 1:1.85 ศึกษาใน เครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมันน์	131
ง 6	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิติก เมื่ออัตราการให้อากาศ ต่าง ๆ กัน คือ 0.00, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศ ต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยก คอสมันน์	132

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ 7	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิดิก เมื่อใช้ระบบกาสก์น้ำ และระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	132
จ 8	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิดิก เมื่อเตรียมเชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสมน์ร้อยละ 50 และ 100 ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	133
จ 9	แสดงข้อมูลดิบของอัตราการเกิดกรดอะซิดิก เมื่อใช้เครื่องหมักแบบต่าง ๆ กันคือ แบบหนึ่งชั้นอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์ ล่องชั้นแบบขนานและอนุกรมล่องชั้นแบบรวมคอสมน์	133
จ 1	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้ไผ่ ไม้แดง และ พลาสติก ศึกษาในขวดเยย่า	139
จ 2	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ตะเคียน ไม้สัก ไม้ไผ่ ไม้แดง ศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	140
จ 3	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์เมื่อใช้อัตราส่วน เริ่มต้นของเอทานอลต่อกรดอะซิดิกต่าง ๆ กันคือ 7:1, 8:1, 6:2, 8:2 ศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	141
จ 4	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์เมื่อใช้ระบบกาสก์น้ำและระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมักศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	142
จ 5	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ เมื่ออัตราส่วนของปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบตต่างกันคือ 1:0.95 และ 1:1.85 ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	142

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ 6	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ เมื่ออัตราการให้อากาศต่าง ๆ กันคือ 0.00, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมัก ต่อหน้าที่ ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	143
จ 7	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ เมื่อใช้ระบบกาลักน้ำและระบบท่อน้ำล้นเป็น ระบบการไหลของน้ำหมักศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	144
จ 8	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์เมื่อเตรียมเชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสมน์ ร้อยละ 50 และ 100 ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์	144
จ 9	แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์เมื่อใช้เครื่องหมักแบบ ต่าง ๆ กันคือ แบบหนึ่งชั้นอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์ ลี่ชั้นแบบขนานและอนุกรมล่องชั้นแบบรวมคอสมน์	143
ฉ 1	แสดงการวิเคราะห์ค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิติก โดยใช้แพคเน็ตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ศึกษาในขวดเขย่า	148
ฉ 2	แสดงการวิเคราะห์ค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิติกโดยใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	149
ฉ 3	แสดงการวิเคราะห์ค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิติกโดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลต่อกรดอะซิติก เริ่มต้นในปริมาณต่าง ๆ กัน ในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	150
ฉ 4	แสดงการวิเคราะห์ค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิติก โดยใช้ระบบการไหลของน้ำหมักต่างกัน ในเครื่องหมักต่างกัน ในเครื่องหมักอนุกรมล่องชั้นแบบแยกคอสมน์ ...	151

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
น 5	แสดงการวิเคราะห์หาค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิดิก โดยใช้อัตราส่วนของปริมาตรแพคเบต ต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบตต่างกัน ในเครื่องหมักอนุกรมสี่ขั้น แบบแยกคอสมันน์	152
น 6	แสดงการวิเคราะห์หาค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิดิกโดยใช้อัตราภากรให้อากาศต่างกัน ในเครื่อง หมักอนุกรมสองขั้นแบบแยกคอสมันน์	153
น 7	แสดงการวิเคราะห์หาค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิดิกโดยใช้ระบบการไหลของน้ำหมักต่างกัน ในเครื่องหมักอนุกรมสองขั้นแบบแยกคอสมันน์	154
น 8	แสดงการวิเคราะห์หาค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิดิกเมื่อปริมาณการเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นใน คอสมันน์ต่างกัน ศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสองขั้นแบบแยกคอสมันน์	155
น 9	แสดงการวิเคราะห์หาค่าแปรปรวน (variance) เพื่อหาความแตกต่าง ในด้านการผลิตกรดอะซิดิกเมื่อใช้เครื่องหมักแบบต่าง ๆ กัน	156

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1	แสดงระบบการไหลของน้ำหมัก	19
2	แสดงลักษณะของเครื่องหมักแบบหลายชั้น.....	21
3	แสดงถึงความแตกต่างของความดันที่เกิดจากการไหลของของเหลวกับอากาศ ในเครื่องหมัก	23
4	แสดงถึงเครื่องหมัก n ตัว	24
5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหมักเซลล์กับเวลาที่ใช้ในการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง	30
6	แสดงการเปรียบเทียบการหมักแบบไม่ต่อเนื่องกับการหมักแบบต่อเนื่อง	33
7	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักเอทานอล.....	40
8	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแบบแพคเบตคอสัมผัสหนึ่งชั้น	41
9	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักสี่คอสัมผัสแบบขนาน.....	42
10	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสัมผัส.....	43
11	แสดงระบบการไหลหมุนเวียนของน้ำหมัก ก. ระบบกาลักน้ำ (siphoning system).....	44
	ข. ระบบท่อน้ำล้น (overflow system).....	44
12	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสัมผัส.....	45
13	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสัมผัส.....	46
14	แสดงขั้นตอนในการผลิตน้ำส้มสายชูจากไวน์สับปะรด.....	49
15	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกเมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิด ต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้ตะเคียน ไม้แดง และพลาสติก โดยศึกษาในขวดเขย่า.....	61
16	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกเมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้แดง ไม้ตะเคียน โดยศึกษาในเครื่องหมัก แบบหนึ่งชั้น	62

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
17	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาที่ต่าง ๆ กัน เมื่อใช้แพคเบตซึ่งทำจากวัสดุต่าง ๆ กันคือ ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ไม้สัก ไม้แดง และ ไม้ตะเคียน โดยศึกษาในเครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น	63
18	แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกเมื่อใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของเอทานอลต่อกรดอะซิติก 7:1 8:1 6:2 และ 7:2	64
19	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาที่ต่าง ๆ กัน เมื่อใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของเอทานอลต่อกรดอะซิติก 7:1 8:1 6:2 และ 7:2	65
20	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติก เมื่อใช้ระบบกาสักน้ำ และระบบท่อน้ำล้น เป็นระบบการไหลของน้ำหมัก โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอกผสม	66
21	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาที่ต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ระบบกาสักน้ำและระบบท่อน้ำล้น เป็นระบบการไหลของน้ำหมัก	67
22	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติก เมื่ออัตราส่วนของปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบตเป็น 1:0.95 และ 1:1.85 โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอกผสม	68
23	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาที่ต่าง ๆ กัน เมื่ออัตราส่วนของปริมาตรแพคเบตต่อปริมาตรช่องว่างเหนือแพคเบตเป็น 1:0.95 และ 1:1.85	69
24	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติก เมื่ออัตราการให้อากาศ 0.00, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมสองชั้นแบบแยกคอกผสม	70
25	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาที่ต่าง ๆ กัน เมื่ออัตราการให้อากาศ 0.00, 0.02, 0.04 และ 0.21 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที	71

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
26	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิดิก เมื่อใช้ระบบกาสก์น้ำและระบบ ท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก โดยศึกษาในเครื่องหมักอนุกรมล่องขึ้น แบบแยกคอสมน์.....	72
27	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ ระบบกาสก์น้ำและระบบท่อน้ำล้นเป็นระบบการไหลของน้ำหมัก.....	73
28	แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิดิก เมื่อเตรียมเชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสมน์ ทั้งหมดกับเตรียมเชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสมน์ร้อยละ 50 โดยศึกษาในเครื่องหมัก อนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์.....	74
29	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อเตรียม เชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสมน์ทั้งหมดกับเตรียมเชื้อหมัก เริ่มต้นในคอสมน์ร้อยละ 50	75
30	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิดิกเมื่อใช้ เครื่องหมักอนุกรมล่องขึ้นแบบแยก คอสมน์กับ เครื่องหมักอนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์	76
31	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ เครื่องหมักอนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์กับ เครื่องหมักอนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์	77
32	แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิดิกเมื่อใช้ เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อนุกรม ล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์.....	78
33	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น เครื่องหมักอนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์ เครื่องหมัก อนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์	79
34	แสดงปริมาณการเกิดกรดอะซิดิก และการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน โดยศึกษาในเครื่องหมักล่องขึ้นแบบขนาน.....	80
35	แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิดิก เมื่อใช้ เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อนุกรม ล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมล่องขึ้นแบบแยกคอสมน์ และล่องขึ้นแบบขนาน...	81

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
36	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กันเมื่อใช้เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมน์และสี่ชั้นแบบขนาน.....	82
37	แสดงปริมาณการเกิดกรดอะซิติกแลสมการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน โดยศึกษาในอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมน์.....	83
38	แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติก เมื่อใช้เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมน์ สี่ชั้นแบบขนาน และอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมน์.....	84
39	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อใช้เครื่องหมักแบบหนึ่งชั้น อนุกรมสองชั้นแบบแยกคอสมน์ อนุกรมสี่ชั้นแบบแยกคอสมน์ สี่ชั้นแบบขนาน และอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมน์.....	85
40	แสดงปริมาณการผลิตกรดอะซิติกแบบชนิดกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอสมน์.....	86
41	แสดงปริมาณการลดลงของเอทานอลในการผลิตน้ำตาลมัลล่ายูแบบชนิดกึ่งต่อเนื่อง	87
42	แสดงค่าสภาพการดูดกลืนแสงในการผลิตน้ำตาลมัลล่ายูแบบชนิดกึ่งต่อเนื่อง....	88