

การศึกษาเครื่องหมายแบบคอลัมน์ ในการผลิตยีสต์ (*Candida utilis*)  
เอทานอล และกรดอะซิติกจากน้ำสับปะรด



นายนิคม ทิปะวาโร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2523

001227

A STUDY OF FERMENTER COLUMN IN THE PRODUCTIONS OF  
CANDIDA UTILIS YEAST, ETHANOL AND ACETIC ACID  
FROM PINEAPPLE JUICE

Mr. Nikom Tipavaro

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

1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเครื่องหมายแบบคอดมันน์ ในการผลิตยีสต์ (*Candida utilis*) เอทานอล และกรดอะซิติกจากน้ำสับปะรด

โดย

นายนิคม ทิปะวาโร

ภาควิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนคุรวงศ์วรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....*สุวิมล วรรณ*..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....*ประสม สถาปิตานนท์*..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสม สถาปิตานนท์)

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

.....*มรกต คันทิเจริญ*..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.มรกต คันทิเจริญ)

.....*สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์*..... กรรมการ  
(อาจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวขั้ววิทยานิพนธ์

การศึกษาเครื่องหมักแบบคอลลัมน์ ในการผลิตยีสต์

(Candida utilis) เอทานอล และกรกอะซีติก

จากน้ำส้มปรุกรด

ชื่อนิสิต

นายนิคม ทิปะวาโร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนคุ้มสุวรรณ

ภาควิชา

เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา

2523

บทคัดย่อ



ในการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องหมักคอลลัมน์ (อำนาจ สุขเหมือน, 2521) ในการผลิตยีสต์ (Candida utilis) เอทานอล และกรกอะซีติก จากน้ำส้มปรุกรดแบบไม่ต่อเนื่อง การผลิตยีสต์ได้น้ำส้มปรุกรดมีน้ำตาลความเข้มข้น 2.0 % น้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสารอาหารและอาหารเสริมประกอบด้วยโปแตสเซียม ไคโอโรเจน ฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟต อย่างละ 0.5 % น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของยีสต์ที่ดีที่สุด เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้วพอร์ซัน โคปริมาตรโปรตีนของยีสต์ 55.95 % โดยน้ำหนัก (น้ำหนักของเซลล์ยีสต์แห้ง 9.49 กรัม/ลิตร และน้ำหนักของโปรตีนจากยีสต์เป็น 5.31 กรัม/ลิตร) ปริมาณการใช้น้ำตาล 96.47 % ปริมาณการลดลงของซีไอที 86.67%

การผลิตเอทานอลได้ใช้เชื้อ S. ellipsoideus มีน้ำส้มปรุกรดความเข้มข้นน้ำตาล 20.0 องศาบริกซ์ เป็นสารอาหารและสารอาหารเสริมประกอบด้วยไคโปแตสเซียม ไคโอโรเจน ฟอสเฟต และแอมโมเนียมซัลเฟตอย่างละ 0.5% น้ำหนัก/ปริมาตร พบว่าอัตรา

การเจริญเติบโตที่ดีและเหมาะสมของเชื้อ เมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/  
 ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่ ที่ชั่วโมงที่สี่ จากหัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะขนาด 40 ตา  
 (ของค่อนัว) อัตราการผลิตเอทานอลเพิ่มตามอัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำส้มปรุคและเมื่อใช้น้ำส้มปรุค  
 ล้วน ๆ ได้ให้ปริมาณเอทานอลที่สูงคือ 10.65% โดยปริมาตรในเวลาการหมักทั้งหมด 22 ชั่วโมง  
 และปริมาณการใช้น้ำตาล 97.83 % และพบว่าได้ปริมาณเอทานอลที่สูงคือ 11.28% ภายใน  
 เวลา 22 ชั่วโมง ปริมาณการใช้น้ำตาล 96.15 % เมื่อใช้วิธีไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ กับสาร  
 อาหารและสารอาหารเสริมที่ใช้

การผลิตกรดอะซิติก ได้ใช้เชื้อ Acetobacter aceti สารอาหารเป็น  
 น้ำหมักส้มปรุคที่มีเอทานอล 6.0 % อาหารเสริมประกอบด้วยยีสต์ เอ็กแทรกต์ เปปโตน แมนนิทอล  
 และโคโคทส์ซีเมียไฮโครเจนฟอสเฟต 0.05, 0.03, 0.25 และ 0.50 % น้ำหนักต่อปริมาตร  
 ตามลำดับ พบว่าได้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่  
 คือได้กรดอะซิติก 2.88% น้ำหนักต่อปริมาตร ภายในเวลา 84 ชั่วโมง จากการใช้อเอทานอล  
 ไป 91.52 %

Thesis Title                    A Study of Fermenter Column in the Productions  
of Candida utilis Yeast, Ethanol and Acetic  
Acid from Pineapple Juice.  
Name                                Mr. Nikom Tipavaro  
Thesis Advisor                    Associate Professor Vicha Vanadurongwan, Ph.D.  
Department                        Chemical Technology  
Academic Year                    1980

#### ABSTRACT

Fermenter Column (Amnuay, 1978) is operated in the batch process study of the production of Candida utilis Yeast, Ethanol and of Acetic Acid from pineapple juice. In the yeast production, pineapple juice of 2.0% w/v initial sugar concentration used as substrate and 0.5% w/v each of Potassium Dihydrogen Phosphate and Ammonium Sulfate as supplements. The best growth of the yeast was obtained using Sintered Glass Plate type air distributor. The protein content of C. utilis was 55.95% by weight (Weight of dry yeast cell was 9.49 gram/litre and the protein from yeast was 5.31 gram/litre), 96.47% sugar consumption and 86.67% COD reduction.

In the production of Ethanol using Saccharomyces ellipsoideus Yeast, 20.0 degree Brix initial sugar concentration of pineapple juice

as substrate and 0.5% w/v each of Dipotassium Hydrogen Phosphate and Ammonium Sulfate as supplements. The best, suitable growth rate of the yeast using 40 mesh Metallic Grill type air distributor with 0.5 vvm. (Volume of air/volume of fermented liquid/minute) aeration rate at 4<sup>th</sup> hour. The increasing rate of Ethanol production depended on increasing pineapple juice sugar ratio and the best given result was of pure pineapple juice at 10.65% by volume of Ethanol in 22 hours and 97.83% sugar consumption. The best given result of the Ethanol production was of nonpasteurization process of the substrate and supplements at 11.28% of Ethanol in 22 hours and 96.15% sugar consumption.

In the production of Acetic Acid using Acetobacter aceti, fermented pineapple juice of 6% Ethanol as substrate and Yeast Extract, Peptone, Mannitol, Dipotassium Hydrogen Phosphate 0.05, 0.03, 0.25, 0.5% w/v respectively as supplements. The best given result was of Metallic Grill type air distributor with 0.5 vvm. aeration rate at 2.88% w/v Acetic Acid in 84 hours and 91.52% Ethanol consumption.

## กิติกรรมประกาศ



ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนคุรวงศ์วรรณ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ทางด้านวิชาการเป็นอย่างดี และให้ความสะดวก ในการใช้สถานที่ทำงานของภาควิชาเคมีเทคนิค ตลอดจนได้กรุณาขอทุนสนับสนุนการวิจัย จากบริษัท เอชโซเคมี (ประเทศไทย) จำกัด ขอขอบคุณ อาจารย์สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือเพิ่มเติมทางด้านจุลชีววิทยา ขอขอบคุณสถาบันค้นคว้า และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกองวิจัยโรคพืช กระทรวง เกษตรและสหกรณ์ ที่เอื้อเพื่อให้เช่าต่าง ๆ มาใช้ในการทดลอง

ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง ที่อาจารย์ เพื่อน ๆ เจ้าหน้าที่ และ นิสิต ภาควิชาเคมีเทคนิคได้ให้การสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังกาย กำลังใจ ทำให้งาน การศึกษาวิจัยสำเร็จลงด้วยดี



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
รายการตารางประกอบ .....	ฉ
รายการรูปประกอบ .....	ค
บทที่	



1.      บทนำ .....	1
2.      วารสารปริทัศน์	
2.1   เครื่องมือ .....	5
2.2   หลักการถ่ายเทมวลสาร .....	7
2.3   การให้อากาศและการกวน .....	21
2.4   ชนิดของเครื่องมือ .....	30
3.      อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1   เครื่องมือ .....	43
3.2   การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาอัตราการผลิตของ ออกซิเจนจากฟองอากาศลงสู่ น้ำ .....	47
3.3   การผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ) .....	48
3.4   การผลิตเอทานอล .....	57
3.5   การผลิตกรดอะซิติก .....	60

บท

4. ผลการทดลอง

4.1	การหาอัตราการตายเหของออกซิเจน จากฟองอากาศที่ละลายลงสู่น้ำ	64
4.2	การผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> )	65
4.2.1	เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแกวรูปวง	65
4.2.2	เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบทรงกลมรูปวง	65
4.2.3	เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรู	65
4.2.4	เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ	66
4.2.5	เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรู บรรจุลูกแก้ว	66
4.2.6	เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะ บรรจุลูกแก้ว	66
4.3	การผลิตเอทานอล	
4.3.1	การทดลองเพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตของ เชื้อ <i>S. ellipsoideus</i>	78
4.3.2	การทดลองผลิตเอทานอล เมื่อใช้อัตราส่วน ของน้ำตาลจากน้ำสับปะรด น้ำตาลทราย ต่าง ๆ กัน	80

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

4.3.3	การทดลองผลิตเอทานอล เมื่อสารอาหาร และสารอาหารเสริมผ่านกรรมวิธีการเตรียมต่าง ๆ กัน.....	81
4.4	การผลิตกรดอะซิติก	
4.4.1	เมื่อใช้อากาศในอัตรา 0.2 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	98
4.4.2	เมื่อใช้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	98
4.4.3	เมื่อใช้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	98
5.	วิจารณ์.....	108
6.	สรุปผลและเสนอแนะ.....	117
	เอกสารอ้างอิง.....	121
	ภาคผนวก.....	126
	ประวัติ.....	162

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
4-0	แสดงอัตราการผลิตของออกซิเจนจากฟองอากาศลงสู่พื้นน้ำ.....	137
4-1	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาลและการลดลงของบีโอดี เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบแผ่นแก้วรูปวงในการผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	138
4-2	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาลและการลดลงของบีโอดี เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบทรงกลมรูปวง ในการผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	139
4-3	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาลและการลดลงของบีโอดี เมื่อใช้น้ำกระจาย อากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรู ในการผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	140
4-4	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาลและการลดลงของบีโอดี เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบตะแกรงโลหะในการผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	141
4-5	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาล และการลดลงของบีโอดี เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุแก้ว ในการผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	142
4-6	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ น้ำหนักเซลล์แห้ง ปริมาณโปรตีน ปริมาณการใช้น้ำตาล และการลดลงของบีโอดี เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบตะแกรงโลหะบรรจุแก้ว ในการผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	143

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-7	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบแผ่นแก้วรูปทูน ให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	144
4-8	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบแผ่นแก้วรูปทูน ให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	145
4-9	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบแผ่นแก้วรูปทูน ให้อากาศในอัตรา 1.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	146
4-10	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบทรงกลมรูปทูน ให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	147
4-11	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบทรงกลมรูปทูน ให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	148

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-12	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบทรงกลมรูปพวง ให้อากาศในอัตรา 1.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	149
4-13	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบตะแกรงโลหะ ให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	150
4-14	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบตะแกรงโลหะ ให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	151
4-15	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญ เติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจาย อากาศแบบตะแกรงโลหะ ให้อากาศในอัตรา 1.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	152
4-16	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล และปริมาณ เอทานอล ในการผลิตเอทานอล เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจาก น้ำสับประพ : น้ำตาลทราย เท่ากับ 2.5 : 17.5 องศาบริคัม ตามลำดับ.....	153

## รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-17	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาล จากน้ำตาลสับปะรด : น้ำตาลทรายเท่ากับ 5.0 : 15.0 องศาบริกซ์ ตามลำดับ.....	154
4-18	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอลเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาลจากน้ำตาลสับปะรด : น้ำตาลทรายเท่ากับ 7.5 : 12.5 องศาบริกซ์ ตามลำดับ.....	155
4-19	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล และปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำตาล จากน้ำตาลสับปะรด : น้ำตาลทรายเท่ากับ 14.0 : 6.0 องศาบริกซ์ ตามลำดับ.....	156
4-20	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล และปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอล เมื่อสารอาหารและอาหารเสริม ผ่านการมาเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์.....	157
4-21	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ปริมาณการใช้น้ำตาล และปริมาณเอทานอล ในการผลิตเอทานอลเมื่อสารอาหารและอาหารเสริม ไม่ได้ผ่านการมาเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้น.....	158

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-22	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ของ <u>A. aceti</u> ปริมาณ การใช้เอทานอลและปริมาณกรดอะซิติก ในการผลิตกรดอะซิติก เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.2 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่	159
4-23	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ของ <u>A. aceti</u> ปริมาณ การใช้เอทานอล และปริมาณกรดอะซิติก ในการผลิตกรดอะซิติก เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่	160
4-24	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ ของ <u>A. aceti</u> ปริมาณ การใช้เอทานอล และปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตกรดอะซิติก เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่	161



## รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2-1	แบบของจุลินทรีย์ เชลล์ เคียว.....	5
2-2	แบบพื้ลัมจุลินทรีย์และกอนจุลินทรีย์.....	12
2-3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราที่สารอาหารผ่านเข้าสู่จุลินทรีย์กับ ความเข้มข้นของสารอาหารที่ผิวสัมผัสของจุลินทรีย์และน้ำหมัก.....	16
2-4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเคลื่อนขึ้นและขนาดของฟองอากาศ ในน้ำ.....	29
2-5	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักชนิดถังกวน.....	32
2-6	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักชนิดถังกวนของ Waldhof-Mannheim.....	33
2-7	แสดงลักษณะการไหลเวียนของของเหลวในเครื่องหมักแอร์ลิปท์.....	40
3-1	แสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักชนิดคอกซ์มัน.....	42
3-2	แสดงหัวกระจ่ายอากาศแบบตะแกรงโลหะและแบบตะแกรงโลหะ บรรจุลูกแก้ว.....	43
3-3	แสดงหัวกระจ่ายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรู.....	44
3-4	แสดงหัวกระจ่ายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุนและแบบทรงกลมรูพรุน.....	45
4-1	ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจ่ายอากาศแบบแผ่นแก้วรูพรุนในการ ผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	68
4-2	ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจ่ายอากาศแบบทรงกลมรูพรุนในการผลิต ยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	69
4-3	ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจ่ายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรูในการ ผลิตยีสต์ ( <i>C. utilis</i> ).....	70

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-4	ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> )	71
4-5	ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นโลหะเจาะรูบรรจุลูกแก้วในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> )	72
4-6	ผลการทดลองเมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรงโลหะบรรจุลูกแก้วในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> )	73
4-7	ผลการทดลองแสดงสภาพการกุกกลืนแสงในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> ) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ	74
4-8	ผลการทดลองแสดงเปรียบเทียบน้ำหนักของเซลล์แห้งในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> ) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ	75
4-9	ผลการทดลองแสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำตาลในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> ) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ	76
4-10	ผลการทดลองแสดงเปรียบเทียบการลดลงของซีโอทีในการผลิตยีสต์ ( <u>C. utilis</u> ) เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบต่าง ๆ	77
4-11	แสดงค่าปริมาณของน้ำตาล ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้ว	82
4-12	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบแผ่นแก้ว	83

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-13	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบ ทรงกลมรูปพวง.....	84
4-14	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาล ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบ ทรงกลมรูปพวง.....	85
4-15	แสดงค่าความเข้มข้นของเซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบตะแกรง โลหะ.....	86
4-16	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>S. ellipsoideus</u> เมื่อใช้หัวกระจายอากาศแบบ ตะแกรงโลหะ.....	87
4-17	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ในการ ผลิตเอทานอล เมื่อใช้น้ำตาลจากน้ำสับปะรด : น้ำตาลทราย เท่ากับ 2.5 : 17.5 องศาบริคซ์ตามลำดับ.....	88
4-18	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำตาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ในการ ผลิตเอทานอล เมื่อใช้น้ำตาลจากน้ำสับปะรด : น้ำตาลทราย เท่ากับ 5.0 : 15.0 องศาบริคซ์ตามลำดับ.....	89

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-19	แสดงค่าปริมาณการใช้ <sup>๑</sup> น้ำศาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ในการผลิตเอทานอล เมื่อใช้น้ำศาลจากน้ำส้ม <sup>๑</sup> ประรด : น้ำศาลทรายเท่ากับ 7.5 : 12.5 องศาบริตซ์ ตามลำดับ.....	90
4-20	แสดงค่าปริมาณการใช้ <sup>๑</sup> น้ำศาลและปริมาณเอทานอลที่ได้ในการผลิตเอทานอล เมื่อใช้น้ำศาลจากน้ำส้ม <sup>๑</sup> ประรด : น้ำศาลทรายเท่ากับ 14.0 : 6.0 องศาบริตซ์ ตามลำดับ.....	91
4-21	แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ได้ในการผลิตเอทานอลเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำศาลจากน้ำส้ม <sup>๑</sup> ประรดและน้ำศาลทรายต่าง ๆ กัน	92
4-22	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้ <sup>๑</sup> น้ำศาลในการผลิตเอทานอลเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำศาลจากน้ำส้ม <sup>๑</sup> ประรดและน้ำศาลทรายต่าง ๆ กัน	93
4-23	แสดงค่าปริมาณการใช้ <sup>๑</sup> น้ำศาลและปริมาณเอทานอลในการผลิตเอทานอล เมื่อสารอาหารและสารอาหารเสริม <sup>๑</sup> ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรซ์.....	94
4-24	แสดงค่าปริมาณการใช้ <sup>๑</sup> น้ำศาลและปริมาณเอทานอลในการผลิตเอทานอล เมื่อสารอาหารและสารอาหารเสริม <sup>๑</sup> ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อใด ๆ ทั้งสิ้น.....	95
4-25	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้ <sup>๑</sup> น้ำศาลในการผลิตเอทานอลเมื่อสารอาหารและสารอาหารเสริม <sup>๑</sup> ผ่านกรรมวิธีการเตรียมต่าง ๆ กัน.....	96

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-26	แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ได้ ในการผลิตเอทานอล เมื่อสารอาหารและสารอาหารเสริมผ่านกรรมวิธีการเตรียม ต่าง ๆ กัน.....	๕๗
4-27	แสดงค่าความเข้มข้นของ เซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>A. aceti</u> เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.2 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	๙๙
4-28	แสดงค่าปริมาณกรดอะซิติกและปริมาณการใช้อเอทานอล ในการ ผลิตกรดอะซิติก เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.2 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	1๐๐
4-29	แสดงค่าความเข้มข้นของ เซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>A. aceti</u> เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	1๐1
4-30	แสดงค่าปริมาณกรดอะซิติกและปริมาณการใช้อเอทานอลในการผลิต กรดอะซิติก เมื่อให้อากาศในอัตรา 0.5 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	1๐๒
4-31	แสดงค่าความเข้มข้นของ เซลล์ในการเจริญเติบโตของเชื้อ <u>A. aceti</u> เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	1๐3

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-32	แสดงค่าปริมาณกรดอะซีติกและปริมาณการใช้เอทานอล ในการผลิตกรดอะซีติก เมื่อให้อากาศในอัตรา 1.0 ปริมาตรอากาศ/ ปริมาตรน้ำหมัก/นาที่.....	104
4-33	แสดงเปรียบเทียบความเข้มข้นของเซลล์ ในการผลิตกรดอะซีติกเมื่อให้อากาศในอัตราต่าง ๆ กัน.....	105
4-34	แสดงเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซีติกในการผลิตกรดอะซีติกเมื่อให้อากาศในอัตราต่าง ๆ กัน.....	106
4-35	แสดงเปรียบเทียบปริมาณการใช้เอทานอลในการผลิตกรดอะซีติกเมื่อให้อากาศในอัตราต่าง ๆ กัน.....	107