4

การขยายขนาดของเครื่องหมักแบบตริงชั้นชนิดหลายชั้นในการผลิตน้ำส้มสายชู

นาย ไพจิตร สถาพรธีระ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2531

ISBN 974-568-739-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014415

1174097X3

SCALE-UP OF MULTISTAGE PACKED COLUMN FERMENTER IN VINEGAR PRODUCTION

Mr. Paichit Staporntеera

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Patial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-568-739-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การขยายขนาดของเครื่องหมักแบบตริงชั้นชนิดหลายชั้นในการผลิตน้ำส้มสายชู
โดย	นายไพจิตร สถาพรธีระ
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)

_____ กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ)

_____ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นพดล เจียมสวัสดิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพจิตร สถาพรธีระ : การขยายขนาดของเครื่องหมักแบบตรึงชั้นชนิดหลายชั้นในการผลิตน้ำส้มสายชู (SCALE-UP OF MULTISTAGE PACKED-COLUMN FERMENTER IN VINEGAR PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์, 134 หน้า.

การศึกษาการขยายขนาดของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้น จากเครื่องหมักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.2 เซนติเมตร ไปเป็นเครื่องหมักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร จากการศึกษาหาตัวแปรที่จำเป็นและมีผลกระทบต่อการหมักอันได้แก่ อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศในแต่ละชั้น พบว่า สภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดน้ำส้มสายชูในอัตราที่ใกล้เคียงกับเครื่องหมักขนาดเล็กคือ อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ นอกจากนั้น การศึกษาชนิดของน้ำหมักและอัตราส่วนผสม พบว่า ไวน์น้ำอ้อยและไวน์สับปะรดสามารถใช้ทดแทนกันได้ และจากการคำนวณค่า k_La พบว่า ค่า k_La ของเครื่องหมักขนาดเล็กและเครื่องหมักขนาดใหญ่มีค่าเป็น 2.73×10^{-3} และ 2.63×10^{-3} กรัมต่อตารางเซนติเมตร-ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เป็นบรรทัดฐานในการขยายขนาดของคอลัมน์แบบสี่ชั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต ไพจิตร สถาพรธีระ

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PAICHIT STAPORNTEERA : SCALE-UP OF MULTISTAGE PACKED-COLUMN FERMENTER IN VINEGAR PRODUCTION THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VICHA VANADURONGWAN,Ph.D. THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF. SUTTISAK SUKNAISILP, 134 PP.

The scale-up of sery of four stages packed column fermenter from 7.2 centimeters in diameter to 20 centimeters in diameter was studied. The necessary parameters which affect the venegar fermentation such as aeration rates in each packed column , flow rates of wort were studied. It was found that the flow rate of wort was 72 lit/min and the aeration rate were 3.2 and 1.6 lit/min in the first and the third packed column respectively. In addition to this study it was found that the wine from sugar cane juice and from pine apple juice gave no different in the rate of production. From the calculation of k_La of the two columns , the small and the large , it was found that the k_La values were 2.73×10^{-3} and 2.63×10^{-3} gm/cm^3-hour respectively. These values will be used as a standard in scaling up a sery of fourstages packed column.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา **วนดุรงค์วรรณ** ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ตลอดจนได้กรุณาขอทุนในการสนับสนุนการวิจัย กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตร์ตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือเพิ่มเติมทางด้านจุลชีววิทยาเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณสังข์ ชมชื่น คุณสนิท ปรีนคร คุณอวยพร ลีพลากร ที่ได้สร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งท่านอาจารย์ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทำให้งานการศึกษาวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ โรงงานเกียรติฟ้า และโรงงานมาลี ที่กรุณาเอื้อเฟื้อน้ำสับปะรดโครงการส่วนพระองค์ วังสวนจิตรดา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อไวน์น้ำอ้อย ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในงานวิจัย ทำให้บรรลุจุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ปกครอง ที่สนับสนุนในด้านการเงินและกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาตลอดจนจบการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

รายการตารางประกอบ..... ฌ

รายการรูปประกอบ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์..... 3

2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการหมักน้ำส้มสายชู..... 3

2.1.1 ปัจจัยที่เกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์..... 3

2.1.2 ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมภายนอก..... 4

2.1.3 ปัจจัยที่เกี่ยวกับเครื่องหมัก..... 6

2.1.4 คุณลักษณะของเครื่องหมักแบบหลายชั้น..... 9

2.1.5 การถ่ายเทมวลสารภายในแพคเบด..... 11

2.2 หลักเกณฑ์ในการขยายขนาดเครื่องหมัก..... 13

3 วิธีการขยายขนาด อุปกรณ์และวิธีการ..... 21

3.1 วิธีการขยายขนาด..... 21

3.1.1 การพิจารณาในการขยายขนาดปริมาณการหมัก..... 21

3.1.2 การพิจารณาในการขยายขนาดของเครื่องหมัก..... 21

3.2 อุปกรณ์ 26

3.2.1 ชุดเครื่องหมักเอทานอล..... 26

3.2.2 ชุดเครื่องหมักน้ำส้มสายชู..... 26

3.2.1.1 คอลัมน์..... 26

3.2.1.2 หัวกระจายอากาศและหัวกระจายน้ำหมัก.. 29

4.1.2.3 ระบบการไหลหมุนเวียนและถังเก็บ..... 29

3.3 วิธีการทดลอง..... 29

3.3.1 การเตรียมวัสดุตัวกลางที่ยึดเกาะของเชื้อ..... 29

3.3.2 การเตรียมไวน์สับปะรด..... 29

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.3.3 การเตรียมน้ำส้มสายชู	30
	3.4 การเดินเครื่องหมัก	30
	3.4.1 การปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก	30
	3.4.2 การปรับอัตราการให้อากาศ	30
	3.5 ขั้นตอนการทดลอง	31
	3.5.1 ศึกษาผลของส่วนผสมของไวน์ผลไม้ที่ใช้ในการหมักกรดอะซิติก	31
	3.5.2 ศึกษาผลของท่อทางออกของอากาศ	31
	3.5.3 ศึกษาผลของการให้อากาศ	32
	3.5.4 ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก	32
	3.5.5 การศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสม	32
	3.5.6 ศึกษาการเพิ่มปริมาตรของการหมัก	34
	3.6 วิธีการวิเคราะห์	34
4	ผลการทดลอง	35
	4.1 ศึกษาส่วนผสมของไวน์ผลไม้	35
	4.2 ศึกษาผลของท่อทางออกของอากาศ	41
	4.3 ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศ	45
	4.3.1 ศึกษาผลของการให้อากาศ	45
	4.3.2 ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก	47
	5.3.3 การศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสม	52
	4.4 ศึกษาการเพิ่มปริมาตรในการหมัก	56
5	วิจารณ์ผลการทดลอง	60
6	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง		72
ภาคผนวก		74
ประวัติ		134

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสามารถในการผลิตกรดอะซิติกของเชื้อ Acetobactor แต่ละสายพันธุ์	4
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติที่ใช้สำหรับการขยายขนาดของเครื่องหมักแบบถังกวน	14
2.3	การขยายขนาดของเครื่องหมักแบบถังกวนโดยกำหนดให้ความเร็วของปลายใบพัดกวนเท่ากัน	16
2.4	การขยายขนาดของเครื่องหมักแบบถังกวนโดยกำหนดให้ความเร็วของปลายใบพัดกวนและอัตราการกวนเท่ากัน	17
2.5	การขยายขนาดของ RDC จากขนาดกำลังการผลิต 550 ตันต่อวัน เป็น 1000 ตันต่อวัน	19
3.1	ผลของการขยายขนาดของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้น	25
3.2	ลักษณะของการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ต่าง ๆ	31
3.3	ลักษณะการเพิ่มอัตราการให้อากาศครั้งละ 1.6 ลิตรต่อนาที จาก 1.6 ไปถึง 6.4 ลิตรต่อนาที โดยหัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ต่าง ๆ	32
3.4	ลักษณะการเพิ่มอัตราการให้อากาศครั้งละ 1.6 ลิตรต่อนาที จาก 8.0 ไปถึง 9.6 ลิตรต่อนาที โดยหัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ต่าง ๆ	33
3.5	ลักษณะการเพิ่มอัตราการให้อากาศครั้งละ 1.6 ลิตรต่อนาที จาก 3.2 ไปถึง 6.4 ลิตรต่อนาที โดยหัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ต่าง ๆ	33
ค1	ผลการทดลองเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นไวน์สับปะรดทั้งหมด	86
ค2	ผลการทดลองเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง ที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที	87
ค3	ผลการทดลองเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร	88
ค4	ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียว อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที	89

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค5 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 90

ค6 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียว อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 91

ค7 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 และ 4 เท่ากับ 1.6 ,1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 92

ค8 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียว อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 และ 4 เท่ากับ 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 93

ค9 ผลการทดลองเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 1.6 ,1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที 91

ค10 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 60 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที.. 95

ค11 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที.. 95

ค12 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 60 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 97

ค13 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 ลิตรต่อนาทีอัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 98

ค14 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 60 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 และ 4 เท่ากับ 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 99

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค15 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 และ 4 เท่ากับ 1.6 ,1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 100

ค16 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 60 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 1.6 , 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 101

ค17 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 1.6 , 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 102

ค18 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 3.2 , 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ 103

ค19 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 3.2 , 3.2 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ 104

ค20 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 3.2 , 1.6 , 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ 105

ค21 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 3.2 , 1.6 , 1.6 และ 3.2 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ 106

ค22 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 4.8 , 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ 107

ค23 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 3.2 ลิตรต่อนาที..... 108

ค24 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 4.8 ลิตรต่อนาที..... 109

ค25 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ..... 110

ค26 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 3.2 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ..... 111

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค27 ผลการทดลองเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 และ 4 เท่ากับ 3.2 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ..... 112

ค28 ผลการทดลองเมื่อใช้ปริมาตรในการหมัก 240 ลิตร..... 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบการไหลของน้ำหมัก	8
2.2	ลักษณะของเครื่องหมักแบบหลายชั้น	9
2.3	ความแตกต่างของความดันที่เกิดจากการไหลของของเหลวกับอากาศในเครื่องหมักแบบคอลัมน์	10
2.4	ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแบบถังกวน	14
2.5	รูปร่างของ Rotating Disk Contactor	18
3.1	ขั้นตอนในการขยายขนาดปริมาณการหมัก	22
3.2	ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้นขนาดเล็ก	23
3.3	ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักเอทานอล	27
3.4	ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้นที่ได้จากการขยายขนาด	28
4.1	ปริมาณการเกิดกรดอะซิติก และการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อทำการทดลองโดยใช้วัตถุดิบเป็นไวน์สับปะรดทั้งหมด	36
4.2	ปริมาณการเกิดกรดอะซิติก และการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อทำการทดลองโดยใช้วัตถุดิบเป็นไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร	37
4.3	ปริมาณการเกิดกรดอะซิติก และการลดลงของเอทานอลในเวลาต่าง ๆ กัน เมื่อทำการทดลองโดยใช้วัตถุดิบเป็นไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร	38
4.4	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติก ระหว่างการใช้น้ำหมักเป็นไวน์สับปะรดทั้งหมด ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร	39
4.5	การเปรียบเทียบการลดลงของเอทานอล ระหว่างการใช้น้ำหมักเป็นไวน์สับปะรดทั้งหมด ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร	40

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง และเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียว ที่อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 42

4.7 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง และเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียว ที่อัตราการให้อากาศ 3.2 ลิตรต่อนาที..... 43

4.8 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง และเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงอันเดียว ที่อัตราการให้อากาศ 4.8 ลิตรต่อนาที..... 44

4.9 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 1.6 , 3.2 ,4.8 และ 6.4 ลิตรต่อนาที..... 46

4.10 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 , 60 และ 72 ลิตรต่อนาที ที่อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาที..... 48

4.11 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 , 60 และ 72 ลิตรต่อนาที ที่อัตราการให้อากาศ 3.2 ลิตรต่อนาที..... 49

4.12 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 , 60 และ 72 ลิตรต่อนาที ที่อัตราการให้อากาศ 4.8 ลิตรต่อนาที..... 50

4.13 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 50 , 60 และ 72 ลิตรต่อนาที ที่อัตราการให้อากาศ 6.4 ลิตรต่อนาที..... 51

4.14 การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 , 4 และ 5 เท่ากับ 3.2 , 1.6 , 1.6 และ 1.6 3.2 , 3.2 , 1.6 และ 1.6 3.2 , 1.6 , 3.2 และ 1.6 3.2 , 1.6 , 1.6 และ 3.2 4.8 , 1.6 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ..... 53

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้อัตราการให้อากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 , 3 และ 4 เท่ากับ 3.2 , 0.0 และ 0.0 4.8 , 0.0 และ 0.0 3.2 , 3.2 และ 0.0 3.2 , 1.6 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ.....	55
4.16	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชูเมื่อใช้ปริมาตรในการหมัก 80 และ 240 ลิตร.....	57
4.17	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติในการผลิตน้ำส้มสายชูของเครื่องหมักขนาดใหญ่กับเครื่องหมักขนาดเล็ก.....	58
4.18	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกในการผลิตน้ำส้มสายชู เมื่อใช้ท่อทางออกของน้ำหมักระบบกาลักน้ำ และเมื่อใช้ท่อทางออกของน้ำหมักระบบไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรง.....	59
ข.1	ลักษณะของ Heamacytometer ด้านหน้าและภาคตัด.....	80
ข.2	รูปขยายจากตารางของ Heamacytometer.....	81
ง.1	ขบวนการผลิตน้ำส้มสายชูแบบกึ่งต่อเนื่อง.....	119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย