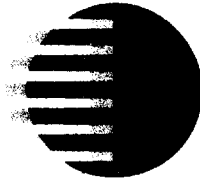


ศูนย์บริการเอกสารวิจัยฯ



RP2002/1199

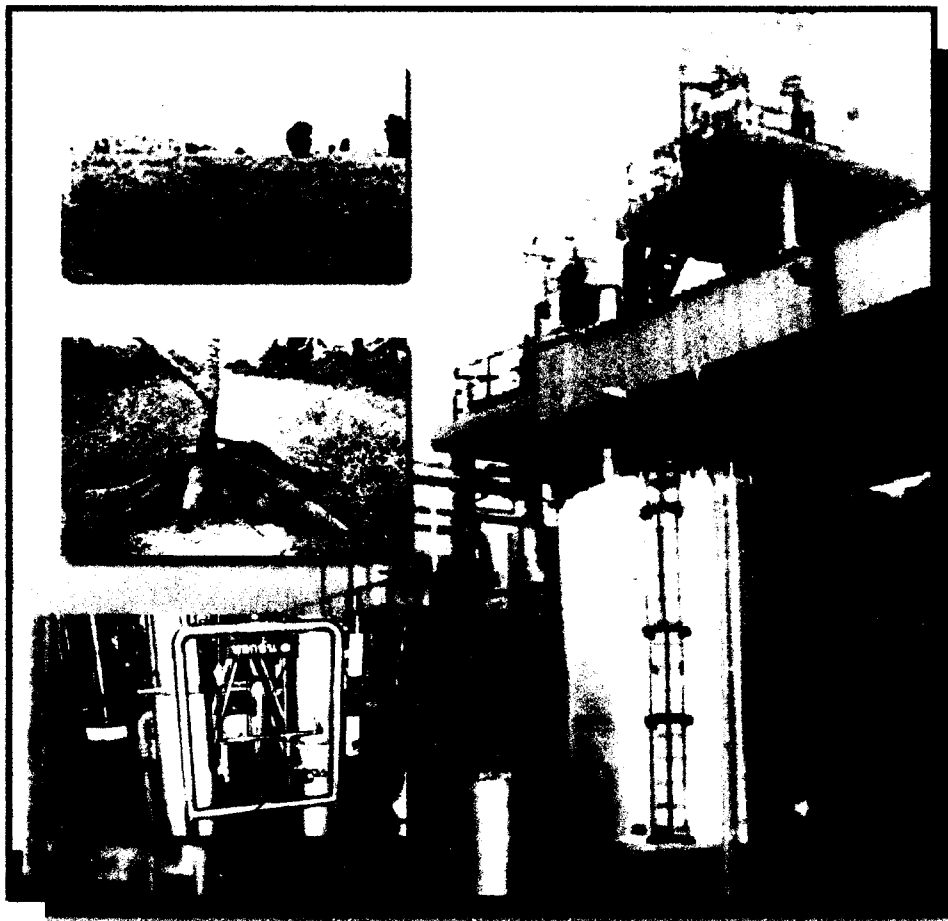
Improvement of alcohol product in
Royal Jitralada Project =โครงการ



วท.

โครงการวิจัยที่ อ.-น. 43-02 / รายงานฉบับที่ 1

โครงการพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ อ.-น. 43-02

โครงการพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

รายงานฉบับที่ 1

โครงการพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

โดย

ธีรภัทร ศรีนรคุตร

วิศิษฐ์พร เผื่อนพิภพ	จุฬารัตน์ คุ้มรัตน์เจริญ
จารุวรรณ สิทธิพล	ขนิษฐา นีวาตะบุตร
เปรมสุดา สมาน	ไชยยันต์ เวียงแก้ว
ประสิทธิ์ มาลัยเลิศ	อรเพ็ญ หนูสุวรรณ
ไพพรรณ บุตตะ	ชุมพร ถาวร
พรศ วิจารย์รัฐพันธ์	ประกายเพชร พัฒนขจร

บรรณาธิการ
วัลย์ลดา หงส์ทอง
บุญเรียม น้อยชุมแพ
ปฐมสุดา อินทุประภา

วท., กรุงเทพฯ 2545
สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(ดร. พิรศักดิ์ วรสุนทรโรสด)
ผู้ว่าการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยโครงการพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้เงินสนับสนุนการวิจัย, ดร.จรูญ คำนวมตา (ผู้อำนวยการฝ่ายอุตสาหกรรม สกว.) และคณะ, ดร.วรุณี ภิรมงคล (ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ กรมวิทยาศาสตร์บริการ และผู้อำนวยการโครงการพัฒนาคุณภาพและผลิตภัณฑ์จากแอลกอฮอล์) และคณะ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ทำให้โครงการประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี.

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการส่วนพระองค์ และคณะเจ้าหน้าที่ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการดำเนินงานในโครงการนี้.

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ที่อนุญาตให้คณะวิจัยดำเนินโครงการนี้ และให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย.

ท้ายที่สุดคณะผู้วิจัยขอขอบคุณท่านที่ไม่มีชื่อร่วมในโครงการแต่ได้ให้ความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดี ได้แก่ คุณสุรพงษ์ น้อยไพโรจน์ (อดีตที่ปรึกษาบริษัท สุราทิพย์ จำกัด ซึ่งได้ลี้ลับไปแล้ว), คุณอนันต์ พิมพินิจ, คุณบุญเดือน มงคลแดง, คุณจักรกฤษณ์ บุญแก้ว, คุณวรรณลักษณ์ อ่อนพลัด และอีกหลายท่านที่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	4
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	4
1.2 วัตถุประสงค์	6
1.3 ขอบเขตการศึกษา	6
1.4 พื้นที่การศึกษา	7
2. การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ (fusel oils และ volatiles) ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล	8
2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ จุลินทรีย์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	8
2.2 วิธีการทดลอง	10
2.3 ผลการทดลองและวิจารณ์	14
2.4 สรุปผลการทดลอง	87
2.5 ข้อเสนอแนะ	87
3. การกำจัด FUSEL OILS ในแอลกอฮอล์ 95% ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยใช้วิธีทางเคมี	88
3.1 วิธีการทดลอง	88
3.2 ผลการทดลอง	93
3.3 สรุปผลการทดลอง	99
4. การศึกษาการกำจัดสารเจือปนต่างๆ ในน้ำหมักสำโดยวิธีการกลั่น	100
4.1 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ	100
4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์	113
4.3 สรุปผลการทดลอง ปัญหา อุปสรรค	114
บรรณานุกรม	117

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก 1 DEHYDRATION OF ETHANOL BY MOLECULAR SIEVE BEDS	118
ภาคผนวก 2 ผลกระทบต่อระดับน้ำมันและสารเคมี	120
ภาคผนวก 3 รายการและราคาอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดสำหรับการปรับปรุงหอกถัน	121
ภาคผนวก 4 ข้อมูลการถันแอลกอฮอล์	122
ภาคผนวก 5 รายการคำนวณการออกแบบหอกถัน	128

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางกายภาพของ fusel oil	5
ตารางที่ 2. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15% โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง	16
ตารางที่ 3. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15% Brix	17
ตารางที่ 4. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง	24
ตารางที่ 5. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix	25
ตารางที่ 6. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง	33
ตารางที่ 7. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% Brix	34
ตารางที่ 8. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5092 ที่อุณหภูมิห้อง	45
ตารางที่ 9. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5092 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นต่างๆ กัน	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 10. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้น ต่างๆ โดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้อง	48
ตารางที่ 11. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นต่างๆ กัน	49
ตารางที่ 12. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix มี pH เริ่มต้น ต่างๆ กัน โดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5092 ที่อุณหภูมิห้อง	68
ตารางที่ 13. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5092 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix มี pH เริ่มต้น ต่างๆ กัน	69
ตารางที่ 14. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix มี pH เริ่มต้น ต่างๆ กันโดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้อง	70
ตารางที่ 15. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix มี pH เริ่มต้นต่างๆ กัน	71
ตารางที่ 16. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix โดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน	73
ตารางที่ 17. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ทำการหมัก ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน	74
ตารางที่ 18. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลโดย <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 (SC90) ณ โรงงานแอลกอฮอล์ส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา	75
ตารางที่ 19. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลโดย <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 (SC90) ณ โรงงานแอลกอฮอล์ส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา	76
ตารางที่ 20. แสดงปริมาณ fusel oils ในแอลกอฮอล์ที่ลดลงหลังผ่านคาร์บอนชนิดเกร็ด	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 21. ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลงในแอลกอฮอล์ที่ผ่านคาร์บอนชนิดเกร็ด	94
ตารางที่ 22. แสดงปริมาณ fusel oils ในแอลกอฮอล์ที่ลดลงหลังผ่านคาร์บอนชนิดผง	95
ตารางที่ 23. แสดงปริมาณของ fusel oils ในแอลกอฮอล์ที่ลดลงหลังผ่านคาร์บอน 5%	95
ตารางที่ 24. แสดงผลการใช้แผ่นดูดซับ ในการกำจัด fusel oils จากแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา	96
ตารางที่ 25. ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลงในแอลกอฮอล์ที่ผ่านซิลิกา เจล	97
ตารางที่ 26. ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลงในแอลกอฮอล์ที่ผ่าน zeolite	98
ตารางที่ 27. ตารางเปรียบเทียบปริมาณ fusel oils ในแอลกอฮอล์ 99.5% (v/v) ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ที่ลดลงเมื่อใช้วิธีการทางเคมีที่แตกต่างกัน	98
ตารางที่ 28. การทดลองผลิตแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา	104
ตารางที่ 29. ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และสารปนเปื้อน (fusel oil) จากการกลั่นครั้งที่ 1	104
ตารางที่ 30. ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และสารปนเปื้อน (fusel oil) จากการกลั่นครั้งที่ 2	104
ตารางที่ 31. ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และสารปนเปื้อน (fusel oil) จากการกลั่นครั้งที่ 3	104
ตารางที่ 32. ผลวิเคราะห์น้ำกากส่าที่ออกจากก้นหมักจากการกลั่นแอลกอฮอล์ครั้งที่ 1	105
ตารางที่ 33. แสดงจุดเดือดของ fusel oil	111

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5013	18
รูปที่ 2. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5013	18
รูปที่ 3. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5092	19
รูปที่ 4. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5092	19
รูปที่ 5. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5596	20
รูปที่ 6. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5596	20
รูปที่ 7. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5606	21
รูปที่ 8. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5606	21
รูปที่ 9. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์	26
รูปที่ 10. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์	26

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 11. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5013	27
รูปที่ 12. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5013	27
รูปที่ 13. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5092	28
รูปที่ 14. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5092	28
รูปที่ 15. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5596	29
รูปที่ 16. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5596	29
รูปที่ 17. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5606	30
รูปที่ 18. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5606	30
รูปที่ 19. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์	31
รูปที่ 20. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์	31
รูปที่ 21. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5013	36

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 22. ปริมาณสารเจือปนต่างๆที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5013	36
รูปที่ 23. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5092	37
รูปที่ 24. ปริมาณสารเจือปนต่างๆที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5092	37
รูปที่ 25. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5596	38
รูปที่ 26. ปริมาณสารเจือปนต่างๆที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5596 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง	38
รูปที่ 27. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5606	39
รูปที่ 28. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง	39
รูปที่ 29. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์	40
รูปที่ 30. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก แอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์	40
รูปที่ 31. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	41

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 32. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	41
รูปที่ 33. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	42
รูปที่ 34. ปริมาณสารเจือปนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	42
รูปที่ 35. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	43
รูปที่ 36. ปริมาณสารเจือปนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	43
รูปที่ 37. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	44
รูปที่ 38. ปริมาณสารเจือปนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	44
รูปที่ 39. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ % (NH ₃) ₂ SO ₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	50
รูปที่ 40. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ % (NH ₃) ₂ SO ₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	50
รูปที่ 41. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	51

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 42. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	51
รูปที่ 43. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	52
รูปที่ 44. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	52
รูปที่ 45. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	53
รูปที่ 46. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	53
รูปที่ 47. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	54
รูปที่ 48. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH ₃) ₂ SO ₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	54
รูปที่ 49. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix % (NH ₃) ₂ SO ₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	55
รูปที่ 50. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวมทั้งที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix % (NH ₃) ₂ SO ₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	55
รูปที่ 51. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	58

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 52. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	58
รูปที่ 53. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	59
รูปที่ 54. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	59
รูปที่ 55. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	60
รูปที่ 56. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	60
รูปที่ 57. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	61
รูปที่ 58. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	61
รูปที่ 59. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	62
รูปที่ 60. กราฟเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5092	62
รูปที่ 61. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	63

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 62. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	63
รูปที่ 63. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	64
รูปที่ 64. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	64
รูปที่ 65. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	65
รูปที่ 66. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	65
รูปที่ 67. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	66
รูปที่ 68. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	66
รูปที่ 69. กราฟเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่าง การหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	67
รูปที่ 70. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH ต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	67
รูปที่ 71. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิห้อง	77

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 72. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิห้อง	77
รูปที่ 73. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20%Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 25 ^o ซ.	78
รูปที่ 74. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 25 ^o ซ.	78
รูปที่ 75. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20%Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 30 ^o ซ.	79
รูปที่ 76. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 30 ^o ซ.	79
รูปที่ 77. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20%Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 35 ^o ซ.	80
รูปที่ 78. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 35 ^o ซ.	80
รูปที่ 79. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20%Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 40 ^o ซ.	81
รูปที่ 80. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 40 ^o ซ.	81
รูปที่ 81. กราฟเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	82

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 82. กราฟเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เชื้อ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> TISTR 5606	82
รูปที่ 83. การหมักแอลกอฮอล์ในพลาสติกขนาด 5 ลิตร ในห้องปฏิบัติการ	83
รูปที่ 84. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus Cx40) ที่ใช้ในการนับจำนวนเซลล์	83
รูปที่ 85. เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Sorvall RC-58X, Dupont) ใช้ในการแยกเซลล์	84
รูปที่ 86. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectromic 3000, Miltonroy)	84
รูปที่ 87. ชุดกลั่นแอลกอฮอล์	85
รูปที่ 88. ขวดสำหรับบรรจุตัวอย่างหมักเพื่ออบตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ด้วย GC	85
รูปที่ 89. ตู้อบ (incubator) สำหรับอบตัวอย่าง Model 600 ของ Memmert	86
รูปที่ 90. เครื่อง gas chromatography (5890 series II, Hewlett Packard)	86
รูปที่ 91. การใช้คาร์บอนชนิดเกร็ด	89
รูปที่ 92. การใช้คาร์บอนชนิดผง	90
รูปที่ 93. การกรองผงคาร์บอนโดยใช้กระดาษกรอง	90
รูปที่ 94. การกรองโดยใช้แผ่นดูดซับ	91
รูปที่ 95. ตัวอย่างแผ่นดูดซับชนิด PC และ PP	90
รูปที่ 96. การใช้สาร silica gel	92
รูปที่ 97. หอกกลั่นแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ก่อนดำเนินการปรับปรุง	102
รูปที่ 98. ชนิดของชั้นแบบรังผึ้งในหอกกลั่นที่ 1	103
รูปที่ 99. ชนิดของชั้นแบบถ้วย (bubble cap) ในหอกกลั่นที่ 2	103
รูปที่ 100. การปรับปรุงหอกกลั่นด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดการทำระบบท่อใหม่	107
รูปที่ 101. การเชื่อมประกอบท่อเสตนเลสในส่วนที่ปรับปรุงใหม่ของหอกกลั่นโครงการส่วนพระองค์	108
รูปที่ 102. การติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของหอกกลั่นที่ดำเนินการปรับปรุงแล้ว โดยเจ้าหน้าที่ วท.	108

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 103. การติดตั้งวาล์วนิรภัย (safety valve) ด้านบนสุดของหม้อกลั่น	109
รูปที่ 104. การออกแบบระบบกำจัด fusel oil โดยคุณสมบัติของ น้อยไพโรจน์	110
รูปที่ 105. การปรับปรุงระบบท่อและระบบ fusel oils	112

IMPROVEMENT OF ALCOHOL PRODUCT IN ROYAL JITRALADA PROJECT

**Teerapatr Srinorakutara, Wisitporn Puenpipob, Chulaporn Kuwaranunchareon,
Jarawan Sittipon, Khanitta Niwasabut, Preamsuda Saman,
Chaiyan Wiengkaew, Prasit Malailert, Orapen Nhusuwan, Paipan Butka,
Chumporn Thavorn, Parot Wijanrattakhan and
Praguypet Pattanakhajon**

ABSTRACT

The effective factors of ethanol production process from molasses had been investigated by comparing 10 microorganism strains (consisting of 8 strains of *Saccharomyces cerevisiae* and 2 strains of *Zymomonas* sp.), molasses concentration, supplemented nutrient, pH and temperature ranges. To control fermented broth at a high ethanol concentration and small amount of fusel oils, these factors were therefore optimized. Experimental result showed that the best ethanol producing strain was *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC 90) and optimum conditions for fermentation were 20% Brix of molasses concentration, 0.03% (v/v) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 30°C, and pH 4.5 with a maximum yield at 8% v/v of ethanol concentration and 1474 ppm of fusel oils at 36th hour of fermentation.

Using chemical method to separate fusel oils from 95% v/v of ethanol, 4 types of absorbent consisting of carbon powder, absorbent paper, silica gel and zeolite were used for comparison. It was found that the best absorbent in this study was silica gel. It could absorb impurities and reduce the amounts of methanol, 1-propanol, iso-butanol and iso-amyl alcohol up to 61.9%, 89.6%, 90.5% and 94.1% respectively.

To get rid of impurities from fermented broth in distillation step, the distillation tower of Jitralada Royal Project was improved by installing some equipment, piping and reflux systems. Connecting of new piping and refuse system with test-run were not completed due to lack of time to stop column operation for modification. These tasks will be completed later on. To reduce alcohol of Jitralada Royal Project, 3,000 litres of 95% v/v alcohol was transferred to TISTR for dehydration to 99.5% v/v and returned to Jitralada Royal Project without any charge. Besides, the researcher group presented a blue print of distillation tower to Her Royal Highness Princess Maha Jakri Sirindhorn since 16 May, 2001.

โครงการพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

ธีรภัทร ศรีนรคุตร¹, วิศิษฐ์พร เผื่อนพิภพ², จุฬพพร คุ้มรัตน์เจริญ⁴, จารุวรรณ สิทธิพล¹,
ขนิษฐา นิวาสะบุตร¹, เปรมสุดา สมาน¹, ไชยยันต์ เวียงแก้ว³, ประสิทธิ์ มลัยเลิศ³,
อรเพ็ญ หนูสุวรรณ⁵, ไพพรรณ บุตกะ⁶, ชุมพร ถาวร⁷, พรศ วิจารย์รัฐพันธ์⁴
และ ประกายเพชร พัฒนขจร²

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลต่อการเกิดสาร
เจือปนต่างๆ โดยเปรียบเทียบสายพันธุ์ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* 8 สายพันธุ์ และแบคทีเรีย
Zymomonas sp. 2 สายพันธุ์ ความเข้มข้นของกากน้ำตาล, อาหารเสริม, pH และอุณหภูมิ ซึ่งส่งผล
กระทบต่อกระบวนการหมักแอลกอฮอล์และการเกิดสารเจือปนต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมใน
กระบวนการผลิต. พบว่าสายพันธุ์ยีสต์ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแอลกอฮอล์ คือ *Saccharomyces*
cerevisiae TISTR 5606 (SC90) โดยมีสภาวะในการหมักที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของกากน้ำตาลใน
อาหาร 20% Brix, อาหารเสริม (NH₄)₂ SO₄ 0.03% (v/v) ค่าความเป็นกรด - ด่าง ไม่ต้องปรับ pH
(ประมาณ 4.5), อุณหภูมิ 30^oซ. โดยจะผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงสุด 8% v/v ในชั่วโมงที่ 36 ของการหมัก
และเกิดสารเจือปนต่างๆ 1474.07 ppm.

ส่วนการศึกษาการใช้วิธีทางเคมีในการกำจัด fusel oils (ส่วนที่ห้ามเพิ่มไม่ได้เสนอใน
ข้อเสนอโครงการ) โดยใช้ผงคาร์บอน, แผ่นดูดซับ ซิลิกา เจล (silica gel) และ ซีโอไลต์ (zeolite).
พบว่าการใช้ silica gel สามารถลดปริมาณ fusel oils ได้มากที่สุด โดยมีปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่
ลดลงดังนี้ methanol 61.90%, 1-propanol 89.64%, iso-butanol 90.52% และ iso-amyl alcohol 94.12%.

¹ ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (อท.)

² โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

³ ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร, วท.

⁴ ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ, วท.

⁵ หป.เคมีวิเคราะห์, ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา, วท.

⁶ ศูนย์จุลินทรีย์, วท.

⁷ ฝ่ายบริการอุตสาหกรรมและที่ปรึกษา, วท.

ในส่วนของการกำจัดสารเจือปนต่างๆ ในขั้นตอนการกลั่น คณะผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุง หอกกลั่นโดยติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และทำระบบท่อ/ระบบรีฟลักซ์เกือบสมบูรณ์แล้ว แต่ไม่สามารถ ติดตั้งระบบท่อซึ่งต้องเชื่อมติดกับตัวหอกกลั่น รวมถึงการทดลองกลั่นได้ เนื่องจากยังไม่สามารถจัด เวลาหยุดเดินเครื่องเพื่อเชื่อมต่อระบบท่อใหม่ได้ ซึ่งจะ ได้จัดทำพร้อมทั้งทดสอบการเดินเครื่อง และปรับปรุงอีกเล็กน้อยต่อไป. คณะผู้วิจัยได้ทำการขนย้ายแอลกอฮอล์ 95% v/v จำนวน 3,000 ลิตร จากโครงการส่วนพระองค์ไปกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ 99.5% v/v ที่โรงงานต้นแบบของ วท. และส่งคืนให้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย. นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ ทูลเกล้าถวายแบบพิมพ์เขียวของ หอกกลั่น (แบบหอกกลั่นเดิมซึ่งผู้ออกแบบเดิมไม่ได้เขียนไว้ แบบที่ปรับปรุงระบบท่อ/ระบบรีฟลักซ์ และแบบระบบกำจัด fusel oils ในหอกกลั่นพร้อมสำหรับให้ โครงการส่วน พระองค์นำไปดำเนินการ ได้ทันที แต่ในโครงการนี้มีข้อจำกัดด้านงบประมาณจึงไม่สามารถดำเนินการได้) แต่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาสยามบรมราชกุมารี เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2544.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องด้วยแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากโรงงานแอลกอฮอล์ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ในปัจจุบัน หลังจากได้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง “Gasohol” ในรถยนต์ และผลิตเป็นแอลกอฮอล์แข็งส่งออกจำหน่ายแล้ว ยังมีส่วนที่เหลืออยู่อีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลไปยังแผนการผลิตไม่สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีสถานที่สำหรับเก็บไม่เพียงพอ, รวมทั้งเมื่อเก็บไว้นานจะทำให้ความเข้มข้นหรือเปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์เปลี่ยนไป. ปัญหาต่างๆ เหล่านี้จะหมดไปหากสามารถนำไปจำหน่ายโดยส่งออกขายให้กับหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน หรือนำไปใช้ในการจัดทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งนอกจากช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวแล้วยังส่งผลดี เนื่องจากก่อให้เกิดรายได้ขึ้นมาสามารถนำไปใช้จ่ายในงานวิจัยในอนาคตต่อไป.

อย่างไรก็ตาม คุณภาพของแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากโรงงานแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา หากจะพิจารณานำไปใช้ผลิตเครื่องสำอาง ก็อาจถือเป็นทางเลือกทางหนึ่ง เนื่องจากเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทางด้านคุณภาพกับ specification ของ denatured alcohol ที่นำเข้าจากบริษัท Hayman จำกัด ประเทศอังกฤษ โดย บริษัท โอสดสภา จำกัด แล้วนั้น แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากทางโรงงานแอลกอฮอล์ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ยังจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นอีก, โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่มีอยู่ในส่วนผสมของแอลกอฮอล์ เช่น fusel oil และ ester หรือ สาร volatiles อื่นๆ เป็นต้น.

Fusel alcohols หรือ higher alcohols หรือ fusel oils เป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 ตัว มีจุดเดือดและน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าเอทานอล, เป็นกลุ่มที่สำคัญของแอลกอฮอล์ซึ่งมีผลต่อการเกิดกลิ่นและมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในไวน์ (2-phenethyl alcohol โดยทั่วๆ ไปจะไม่ถูกจัดเป็น fusel oils เนื่องจากความเข้มข้นที่ต่ำและกลิ่นที่คล้ายกลิ่นกุหลาบ). คุณสมบัติของ fusel oils แสดงในตารางที่ 1, fusel oils ถูกผลิตจากยีสต์ในกระบวนการหมักด้วยปฏิกิริยา decarboxylation และ reduction ของ precursor α -oxycarboxylic acid ตัวอย่างเช่น iso-butanol เกิดมาจาก α -ketoisovaleric acid โดยผ่าน iso-butylaldehyde (α -oxycarboxylic acids เป็นส่วนของ anabolic pathway ของการรวมตัวกันของ amino acids ในกรณีนี้ α -ketoisovaleric acid ถูก transaminated ไปยัง valine).

Isovaleraldehyde และ isobutylaldehyde เป็นสาร intermediate ของการสังเคราะห์ isoamyl alcohol และ isobutanol ตามลำดับ.

Fusel oils มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ isoamyl (3-methyl-1-butanol), “active amyl” (2-methyl-1-butanol), isobutyl (2-methyl-1-propanol), และ n-propyl alcohols โดยมี isoamyl alcohol เป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่า 50%. แม้ว่า fusel oils ประกอบด้วยสารหลายๆ ตัวแต่ปริมาณความเข้มข้นในไวน์จะต่ำมาก, อย่างไรก็ตาม สัดส่วนความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการกลั่นซึ่งจะไปมีผลต่อการผลิตบรันดี (Weinheim : VCH 1996).

Higher alcohols อาจเกิดขึ้นได้จาก corresponding amino acids โดยใช้ enzymatic pathways เดียวกัน ตัวอย่างเช่น isobutanol เกิดจาก valine โดยปฏิกิริยา Eshlich.

ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางกายภาพของ fusel oil*

สูตรทางเคมี	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$
น้ำหนักโมเลกุล	88.15
จุดเดือดที่ 101.13 kPa	133.2°ซ.
จุดเยือกแข็ง	-90°ซ.
ความถ่วงจำเพาะ (20/20°ซ.)	0.8155
ความหนืดที่ 20°ซ.	4.3 cP
ความดันไอที่ 20°ซ.	0.27 kPa
จุดวาบไฟ	45°ซ.

* ที่มา : 1. Union Carbide Chemicals and Plastics Corp.,1984. *UCAR Alcohols for Coatings Applications, Brochure F-48588*, Solvents and Coatings Materials Division, Danbury, Conn., Sept.

2. Union Carbide Chemicals and Plastics Corp 1957. *Tables of Azeotropic Data*, unpublished.

สำหรับแนวทางการดำเนินงานในส่วนนี้ของโครงการจะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของแอลกอฮอล์ที่ผลิตจากโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยจะทำการควบคุมกระบวนการหมักให้ปริมาณของสารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีปริมาณที่เหมาะสมหรือน้อยที่สุดที่จะยอมรับได้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลัก (main product) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์เหมาะสมที่จะนำไปใช้ทางด้านการค้า โดยการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน :

ขั้นตอนแรก “การป้องกัน” โดยจะหาทางควบคุมปริมาณการเกิดของ fusel oils และ volatiles อื่นๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักให้น้อยที่สุด โดยจะพิจารณาศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณ fusel oils และ volatiles อื่นๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก (Zoecklein *et al.* 1995) ได้แก่ :

- สายพันธุ์ของยีสต์ (yeast strains).
- ส่วนประกอบและความเข้มข้นของสารอาหาร (medium composition).
- ปริมาณอาหารเสริม.
- pH.
- ปริมาณหัวเชื้อและความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้น.
- อุณหภูมิ.

ขั้นตอนที่สอง “การกำจัด” สาร fusel oils และ volatiles อื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำสำจะถูกกำจัดออก โดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันในหอกลั่น โดยเริ่มต้นจะทดลองใช้หอกลั่นของโรงงานต้นแบบผลิตแอลกอฮอล์ของ วท. ในการกำจัด fusel oils (เคยทดลองใช้มาแล้วในอดีตซึ่งเป็น “know-how” จากประเทศญี่ปุ่น), หลังจากนั้นจะทำการคิดแปลงเพื่อปรับปรุงหอกลั่นของโรงงานแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ทำการทดลองใช้กำจัด fusel oils และ volatiles อื่นๆ ต่อไป.

วท. ได้จัดทำข้อเสนอโครงการและได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยมีระยะเวลาดำเนินงาน 24 เดือน.

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ให้มีคุณภาพดีเทียบเท่ากับ denatured alcohol เหมาะแก่การจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ.

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ (fusel oils และ volatiles) ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล.
2. การศึกษาการกำจัดสารเจือปนต่างๆ ที่อยู่ในน้ำสำโดยวิธีการกลั่น.
3. ศึกษาทดลองวิธีการกำจัดสารเจือปนที่อยู่ในแอลกอฮอล์ 95%.

4. ศึกษาทดลองการหมักและกลั่นในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา.

5. ศึกษาออกแบบปรับปรุงหอกลั่นของโรงงานแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา.

1.4 พื้นที่ศึกษา

1.4.1 ห้องปฏิบัติการ และ โรงงานต้นแบบผลิตแอลกอฮอล์ของ วท.

1.4.2 โรงงานผลิตแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา.

2. การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ (fusel oils และ volatiles) ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล

การพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา เพื่อให้มีคุณภาพดีเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับ denatured alcohol ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศสำหรับใช้ผลิตเครื่องสำอางและเครื่องอุปโภคอื่นๆ นั้น การศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน :

ส่วนแรก เป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆ เพื่อจะหาสภาวะที่เหมาะสมและนำไปใช้ในการควบคุมในกระบวนการผลิตต่อไป, โดยในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษาทดลองปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยตามหัวข้อข้างล่าง ประกอบด้วย วัสดุ, อุปกรณ์, สารเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง, ผลการทดลอง วิจารณ์และสรุปผล รวมทั้งข้อเสนอแนะ.

ส่วนที่สอง เป็นการศึกษาการกำจัดสารเจือปนต่างๆ ที่อยู่ในน้ำสาโดยวิธีการกลั่น ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป.

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ ในระบบการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่จะศึกษาในครั้งนี้ 5 ปัจจัย ประกอบด้วย :

1. การศึกษาผลของสายพันธุ์ยีสต์ที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ.
2. การศึกษาผลของความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่มีต่อสารเจือปนต่างๆ.
3. การศึกษาผลของอาหารเสริมที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ.
4. การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ.
5. การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ.

2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ จุลินทรีย์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 เชื้อจุลินทรีย์

1. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) สายพันธุ์ที่ใช้ในโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา.

2. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5596 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).

3. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
4. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
5. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5339 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
6. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
7. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5729 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
8. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5728 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
9. *Zymomonas mobilis* 405 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).
10. *Zymomonas sp.* 548 (ศูนย์จุลินทรีย์ วท.).

2.1.2 สารเคมี

1. กากน้ำตาล (สวนจิตรลดา).
2. น้ำตาลปี๊ป (สวนจิตรลดา).
3. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Fluka – Garautie).
4. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck).
5. KH_2PO_4 (Merck).
6. Alkaline copper reagent (Merck).
7. Nelson reagent (Merck).
8. สารละลายเอทานอล 99.7% (Polyscience).
9. Acetaldehyde (Polyscience).
10. Acetone (Polyscience).
11. 1- Propanol (Polyscience).
12. Iso – Butanol (Polyscience).
13. 2 – Pentanol (Polyscience).
14. 1 – Butanol (Polyscience).
15. Iso – Amyl alcohol (Polyscience).
16. 1 – Pentanol (Polyscience).

2.1.3 เครื่องมือ อุปกรณ์

1. Gas chromatography (5890 series).
2. Spectrophotometer (Spectronic 3000 , Miltonroy).
3. เครื่องนับเซลล์ซีสต์ (Haemacytometer).

4. เครื่องวัดความเป็นกรด – ค่า (pH meter model 500 , Eutech instruments).
5. ชุดกลั่นแอลกอฮอล์ (Regnault pycnometer).
6. Alcohol meter.
7. เครื่องวัดปริมาณน้ำตาล (hand refractometer).
8. เครื่องแก้ว.

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล

โดยทำการศึกษาเชื้อทั้งหมด 10 สายพันธุ์ ดังนี้ :

1. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) สายพันธุ์ที่ใช้ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา.

2. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5596.

3. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013.

4. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.

5. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5339.

6. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049.

7. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5729.

8. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5728.

9. *Zymomonas mobilis* 405.

10. *Zymomonas sp.* 548.

ทำการเพาะเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces sp.* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ YM medium ที่ 30°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง, ส่วนเชื้อแบคทีเรีย *Zymomonas sp.* 2 สายพันธุ์ เลี้ยงในอาหาร nutrient broth ในสภาวะไร้อากาศที่ 30°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง, หลังจากนั้นนำเชื้อทั้ง 10 สายพันธุ์ เพาะเลี้ยงในอาหารแข็ง molasses agar โดยเลี้ยงที่ 30°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตดูลักษณะโคโลนีที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งดูลักษณะรูปร่างเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์.

2.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่เหมาะสมต่อการผลิตแอลกอฮอล์

จากการคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์ในข้อ 2.1 สรุปได้ว่า สายพันธุ์ที่เหมาะสมจะทำการศึกษาต่อ มี 4 สายพันธุ์ คือ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013 , 5092, 5596 และ 5606 (SC90).

2.2.2.1 การเตรียมเชื้อ (starter)

นำเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* จำนวน 4 สายพันธุ์ คือ TISTR 5013, 5092, 5596 และ 5606 ไปเลี้ยงในหลอดอาหารวุ้นเอียง (slant agar) ที่อุณหภูมิ 30°C. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง. หลังจากนั้นนำเชื้อยีสต์ทั้ง 4 สายพันธุ์ มาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักแอลกอฮอล์ โดยเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที (rpm) ที่อุณหภูมิ 30°C. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง.

2.2.2.2 การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15, 20 และ 25% Brix

เตรียมอาหารที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ โดยมีส่วนประกอบของกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15, 20 และ 25% Brix ปริมาณ 3 ลิตร ในพลาสติกขนาด 5 ลิตร, นำไปฆ่าเชื้อในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C., 15 psi เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็น, จากนั้นถ่ายเชื้อยีสต์แต่ละสายพันธุ์ ลงในอาหารเหลวทั้งสามความเข้มข้นโดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ 3.5% โดยปริมาตร. เพาะเลี้ยงยีสต์ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่อุณหภูมิห้องในสภาวะไร้อากาศ เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง, นำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณเซลล์ยีสต์, ปริมาณน้ำตาล โดยใช้วิธีของ Somagi (1952) – Nelson (1944), ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้ Regnault pycnometer (AOAC 1975; 1995) และ alcohol – meter และสารเจือปนต่างๆ (impurities) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักโดยตรวจสอบด้วยเครื่อง gas chromatography.

2.2.3 การศึกษาผลของปัจจัยด้านอาหารเสริมที่มีผลต่อการเกิด fusel oils

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของกากน้ำตาลและสายพันธุ์ยีสต์ในหัวข้อ 2.1 และ 2.2 พบว่าที่ความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่ 20% Brix เมื่อนำมาหมักกับเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092 และ TISTR 5606 (SC90) มีความเหมาะสมกว่าสภาวะเปรียบเทียบกับอื่นจึงถูกเลือกมาใช้ในการศึกษาผลของปัจจัยอื่นต่อไป.

2.2.3.1 การเตรียมหัวเชื้อ (starter)

นำเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ TISTR 5092, TISTR 5606 ไปเลี้ยงในหลอดวุ้นเอียง (slant agar) ที่อุณหภูมิ 30°C. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง. หลังจากนั้นนำเชื้อยีสต์ทั้ง 2 สายพันธุ์ มาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักแอลกอฮอล์ โดยเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที (rpm) ที่อุณหภูมิ 30°C. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.

2.2.3.2 การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix โดยใช้อาหารเสริม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่มีความเข้มข้น 0%, 0.03%, 0.05% และ 0.1% w/v

เตรียมอาหารที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ โดยมีส่วนประกอบของกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ซึ่งไม่ต้องปรับ pH, โดยที่ pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.5 – 4.8 ปริมาตร medium 3,000 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 5 ลิตร จำนวน 8 พลาสติก โดยเติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ความเข้มข้น 0%, 0.03%, 0.05% และ 0.1% w/v ตามลำดับ. นำไปฆ่าเชื้อในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C ., 15 psi เป็นเวลา 15 นาที, ทิ้งให้เย็น จากนั้นถ่ายเชื้อยีสต์ 2 สายพันธุ์ลงในอาหารเหลวแต่ละความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ 10% โดยปริมาตร. ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อยีสต์ทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิห้องในสภาวะไร้อากาศ, เก็บตัวอย่างทุกๆ 12 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH), ปริมาณเซลล์ยีสต์, ปริมาณน้ำตาลโดยใช้วิธีของ Somogi (1952) – Nelson (1944), ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้ alcohol meter และปริมาณสารเจือปนต่างๆ (impurities) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักโดยตรวจสอบด้วยเครื่อง gas chromatography.

2.2.4 การศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อการเกิด fusel oils ทำการศึกษาที่ค่า pH ต่างๆ 4 ค่า

ได้แก่ pH 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5

เตรียมอาหารที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ โดยมีส่วนประกอบของกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix, เติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ปริมาณ 0.03% w/v (สภาวะเหมาะสมได้จากการศึกษาข้อ 2.3) ปริมาตร medium 3,000 มิลลิลิตร ในพลาสติก ขนาด 5 ลิตร จำนวน 4 พลาสติก ที่มีค่า pH ต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ pH 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5 ตามลำดับ. นำไปฆ่าเชื้อในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C ., 15 psi เป็นเวลา 15 นาที, ทิ้งให้เย็น จากนั้นถ่ายเชื้อยีสต์ทั้ง 2 สายพันธุ์ ลงในอาหารเหลวแต่ละค่า pH โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ 10% โดยปริมาตร. ทำการเพาะเลี้ยงยีสต์ที่อุณหภูมิห้องในสภาวะไร้อากาศ เก็บตัวอย่างทุก 12 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับข้อ 2.3.2.

2.2.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิด fusel oils โดยศึกษาที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ 4 ค่า

ได้แก่ 25°C ., 30°C ., 35°C ., และ 40°C ..

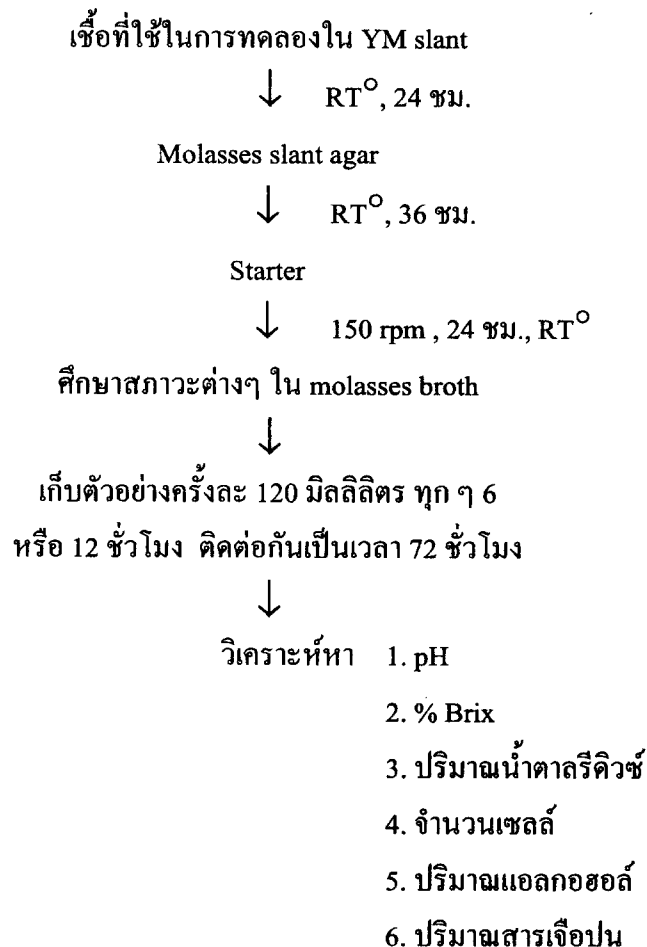
เตรียมอาหารที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ โดยมีส่วนประกอบของกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix, เติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ปริมาณ 0.03% w/v โดยไม่มีการปรับ pH ซึ่ง pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.5–4.8 ปริมาตร medium 3,000 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 5 ลิตร จำนวน 5 พลาสติก และควบคุมอุณหภูมิการหมักที่ค่าต่างๆ คือ 25°C ., 30°C ., 35°C ., และ 40°C .. และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ. นำไปฆ่าเชื้อในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C ., 15 psi เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็น จากนั้นถ่ายเชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ลงในอาหารเหลวแต่ละอุณหภูมิโดยใช้ปริมาณหัวเชื้อ 10%

โดยปริมาตร, เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องในสภาวะไร้อากาศ เก็บตัวอย่างทุก 12 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับ ข้อ 2.3.2.

2.2.6 การหมักและกลั่นในโรงแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

เพื่อเก็บข้อมูลในระหว่างการหมัก โดยใช้สภาวะการหมักที่ใช้ในปัจจุบันของโรงงานแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา สำหรับเป็นข้อมูลเปรียบเทียบหลังมีการใช้สภาวะใหม่ที่เหมาะสมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้ว และปรับปรุงหอกลับแล้ว.

2.1.6.1 ทำการหมักแอลกอฮอล์ด้วยสภาวะเดิมโดยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) เพื่อทำการเก็บข้อมูลระหว่างการหมักโดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 12 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนเชื้อ, pH, ปริมาณน้ำตาล, ปริมาณแอลกอฮอล์และสารเจือปนต่างๆ โดยมีรายละเอียดของการหมัก ดังนี้ :



หมายเหตุ : ทำการทดลอง 2 ซ้ำเป็นอย่างน้อยในทุกๆ การทดลอง

2.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

2.3.1 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลจากผลการทดลองโดยเปรียบเทียบเชื้อจุลินทรีย์ 10 สายพันธุ์ คือ :

1. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) สายพันธุ์ที่ใช้ในโครงการ ส่วนพระองค์สวนจิตรลดา.

2. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5596.

3. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013.

4. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.

5. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5339.

6. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049.

7. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5729.

8. *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5728.

9. *Zymomonas mobilis* 405.

10. *Zymomonas* sp. 548.

จากการทดลองพบว่ายีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606, 5596, 5013 และ 5092 สามารถเจริญได้ดีในอาหารแข็งกากน้ำตาล ซึ่งการเจริญบนอาหารแข็งจะได้ลักษณะโคโลนีที่มีขนาดใหญ่ มีกลิ่นแอลกอฮอล์ และเจริญเติบโตได้เร็วกว่าสายพันธุ์อื่น. ส่วนยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5339, 5049, 5729 และ 5728 เจริญได้ไม่ดีในอาหารแข็งกากน้ำตาล, สังเกตได้จากโคโลนีที่เจริญในอาหารและระยะเวลาในการเจริญ จึงเปลี่ยนถ่ายเชื้อลงในอาหารเหลวกากน้ำตาล 20% Brix เชื้อเจริญได้น้อย จากการตรวจนับจำนวนเซลล์เพื่อติดตามการเจริญพบว่าโตช้ามาก และมีจำนวนเซลล์น้อย. สำหรับเชื้อ *Zymomonas* sp. ทั้ง 2 สายพันธุ์ เจริญน้อยมากในอาหารแข็งกากน้ำตาล 20% Brix ถ่ายเชื้อ ครั้งที่ 2 ในอาหารเหลวกากน้ำตาล 20% Brix เชื้อไม่เจริญจึงไม่ศึกษาต่อ.

สรุปได้ว่าสายพันธุ์ที่เหมาะสมจะทำการศึกษาต่อ 4 สายพันธุ์ คือ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5013, 5092, 5596 และ 5606 (SC90).

2.3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ

ในการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของกากน้ำตาล 3 ค่า ได้แก่ 15%, 20% และ 25% Brix.

2.3.2.1 กรณีใช้กากน้ำตาลที่ความหวาน 15% Brix

จากผลการทดลองผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15% Brix ในตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักของยีสต์ 4 สายพันธุ์ คือ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง, ปรากฏว่าสายพันธุ์ที่ผลิตเอทานอลสูงที่สุด คือ สายพันธุ์ TISTR 5596 และสายพันธุ์ TISTR 5606 หมักแอลกอฮอล์ได้ 5% v/v ที่ชั่วโมงที่ 69 และ 48 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 7 ตามลำดับ. รองลงมาคือสายพันธุ์ TISTR 5092 หมักแอลกอฮอล์ได้ 4.8% v/v ที่ชั่วโมงที่ 69 และสายพันธุ์ TISTR 5013 หมักแอลกอฮอล์ได้ 4.6% v/v ที่ชั่วโมงที่ 75 ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 1 ตามลำดับ.

ในระหว่างกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของยีสต์ 4 สายพันธุ์ พบว่าค่า pH จะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 4.5 – 4.65 ดังแสดงในตารางที่ 2.

การวัดปริมาณสารเจือปนต่างๆ (impurities) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักของยีสต์ 4 สายพันธุ์ ผลแสดงใน ตารางที่ 3. พบว่าสายพันธุ์ TISTR 5606 สร้าง acetaldehyde สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 57 และสายพันธุ์ TISTR 5596 สร้าง acetaldehyde สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 69 ซึ่งทั้ง 2 สายพันธุ์จะมีแนวโน้มสร้างสารนี้ลดลงในเวลาต่อมา ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 6 ตามลำดับ. ส่วน 2 สายพันธุ์คือ TISTR 5013 และ TISTR 5092 จะสร้างสารนี้ในปริมาณน้อยกว่า 2 สายพันธุ์แรก ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 4 ตามลำดับ. ส่วนสาร impurities อื่นๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก ได้แก่ acetone และ ethylacetate จะเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ acetaldehyde ที่เกิดขึ้น ทั้ง 4 สายพันธุ์.

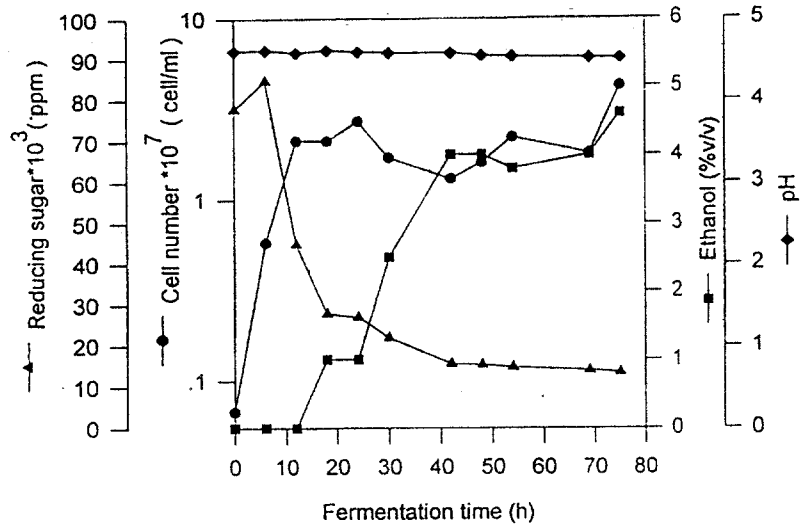
จากการตรวจนับปริมาณเซลล์ในระหว่างกระบวนการหมักโดยใช้ปริมาณหัวเชื้อใกล้เคียงกันคือ 10^8 cell/ml ภายหลังเติมหัวเชื้อลงในกระบวนการหมักวัดปริมาณเซลล์ตั้งต้นของเชื้อ ทั้ง 4 สายพันธุ์ จะอยู่ในช่วง 10^7 cell/ml โดยเชื้อที่เจริญดีที่สุดคือ TISTR 5606, รองลงมาคือ TISTR 5596, TISTR 5092 และ TISTR 5013 ตามลำดับที่ชั่วโมงที่ 24 ดังแสดงในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15% โดยใช้สตัลสายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง

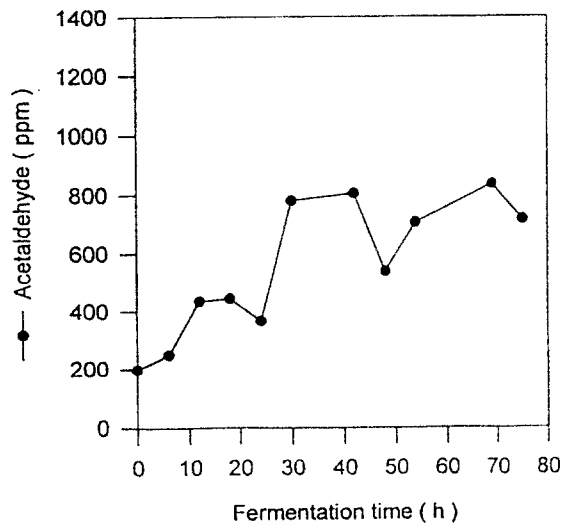
เวลา(ชม.)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ³ ppm)				pH				ปริมาณน้ำตาล(%Brix)				จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)				%Alcohol			
	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606
0	77.62	81.98	77.43	83.37	4.6	4.63	4.61	4.59	15	15	15	15	0.068	0.61	0.44	0.48	0	0	0	0
6	84.55	92.27	89.8	84.36	4.61	4.6	4.63	4.65	15	15	15	15	0.58	0.94	0.82	1.1	0	0	0	0
12	44.85	32.77	58.71	49.31	4.58	4.62	4.61	4.55	15	15	15	14	2.1	3.1	1.9	4.1	0	0.5	0.5	0.5
18	27.82	21.88	40.99	28.22	4.61	4.6	4.6	4.54	13	13	13.5	13	2.1	4	4.2	4.9	1	2	1.8	2
24	27	13.96	25.54	23.07	4.59	4.6	4.61	4.54	13	12	13	12	2.7	4.1	4.7	5.7	1	2.5	2.5	2.8
30	21.88	12.67	18.12	10.89	4.58	4.59	4.59	4.53	12.2	10.8	12	11	1.7	4	3.8	5.4	2.5	4	2.5	4
42	15.54	9.5	13.86	8.02	4.57	4.55	4.58	4.54	11.2	10.4	10	10	1.3	3.8	4.3	5.6	4	4	4.1	4
48	15.34	14.46	22.28	16.63	4.54	4.52	4.56	4.51	11	10	10	10	1.6	3.5	3.9	5.3	4	4.5	1.2	5
54	14.7	17.72	16.14	17.72	4.53	4.53	4.54	4.51	10.6	9.6	10	10	2.2	3.9	3.8	5.1	3.8	4.6	4	4.4
69	14	14.85	14.95	14.85	4.51	4.53	4.53	4.51	10	9.8	9.4	9.4	1.8	4.7	4.3	5.3	4	4.8	5	5
75	13.47	15.58	13.18	13.69	4.51	4.53	4.54	4.52	10	9.8	9.4	9.4	4.2	4.5	5.2	6.1	4.6	4.8	5	5

ตารางที่ 3. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ TISTR 5013, 5092, 5596 และ 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 15% Brix

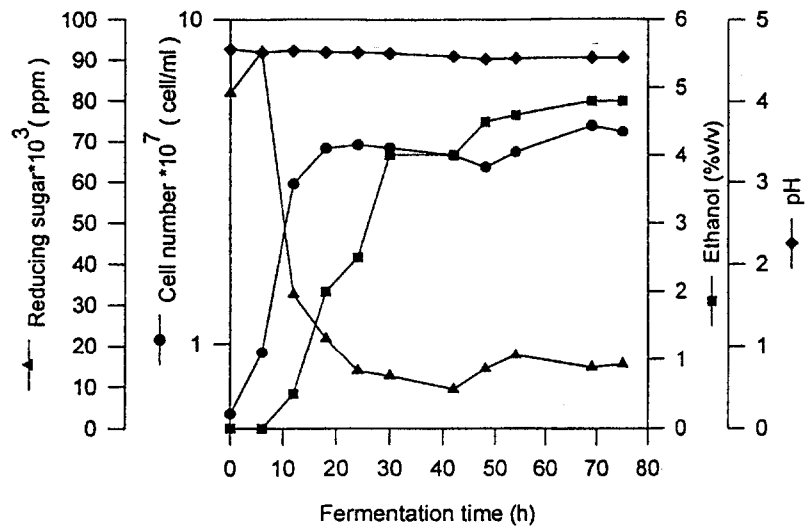
5013-0	198.12	5.24	6.77
5013-6	248.58	5.38	0.59
5013-12	434.31	5.39	2.04
5013-18	443.83	4.76	6.63
5013-24	364.65	24.83	
5013-30	780.14	5.04	
5013-45	803.93	7.83	
5013-51	536.7	3.5	
5013-57	705.52	4.62	
5013-69	834.59	5.62	
5013-75	714.21	1.74	3.59
5092-0	342.29	7.17	0.68
5092-6	272.55	4.03	0.74
5092-12	469.12	7.04	1.12
5092-18	492.72	3.29	
5092-24	733.52	4.83	
5092-30	457.05	2.44	
5092-45	580.53	3.57	
5092-51	758.38	4.85	
5092-57	606.91	3.53	
5092-69	2051.37	13.78	
5092-75	463.85	2.83	
5596-0	283.81	4.36	
5596-6	361.11	4.38	0.79
5596-12	433.91	5.87	1.28
5596-18	681.29	5.63	0.73
5596-24	790.85	3.69	
5596-30	569.44	2.92	1.58
5596-45	832.75	4.83	
5596-51	635.44	4.14	
5596-57	644.83	3.93	
5596-69	875.37	5.45	
5596-75	331.63	2.02	
5606-0	303.04	6.52	0.54
5606-6	386.74	5.81	0.88
5606-12	608.48	5.50	0.96
5606-18	740.99	3.29	
5606-24	826.22	5.14	
5606-30	953.47	5.29	
5606-45	1311.91	3.57	
5606-51	1349.69	3.25	
5606-57	1369.49	8.36	
5606-69	1132.94	7.20	
5606-75	568.48	3.50	



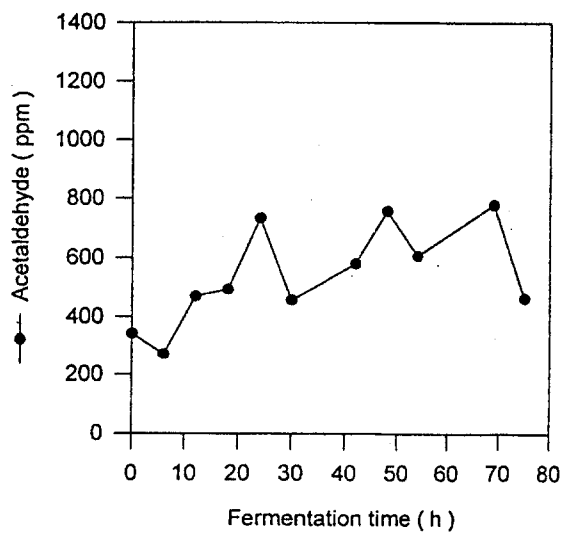
รูปที่ 1. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013.



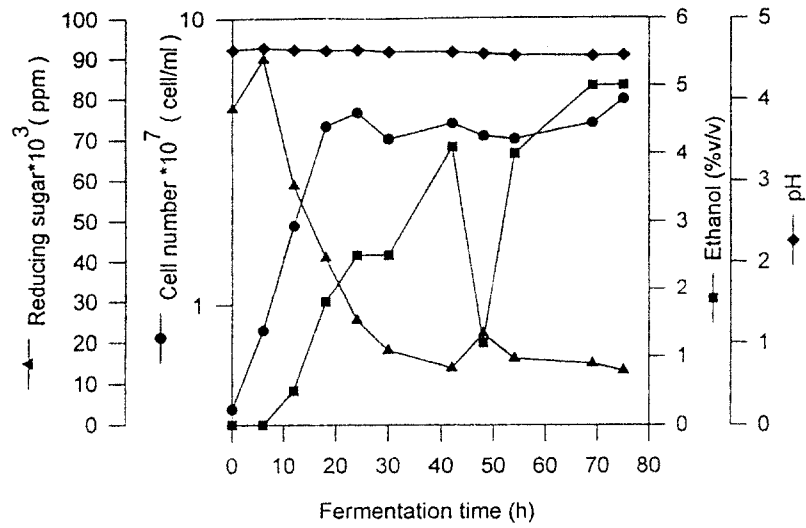
รูปที่ 2. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013.



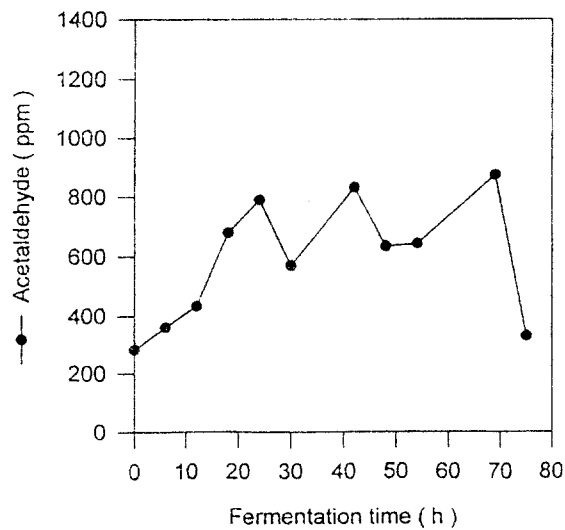
รูปที่ 3. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5092.



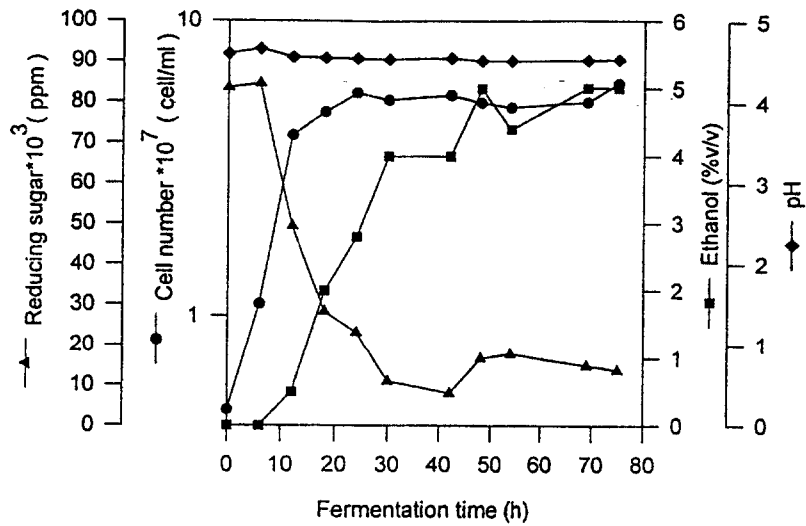
รูปที่ 4. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5092.



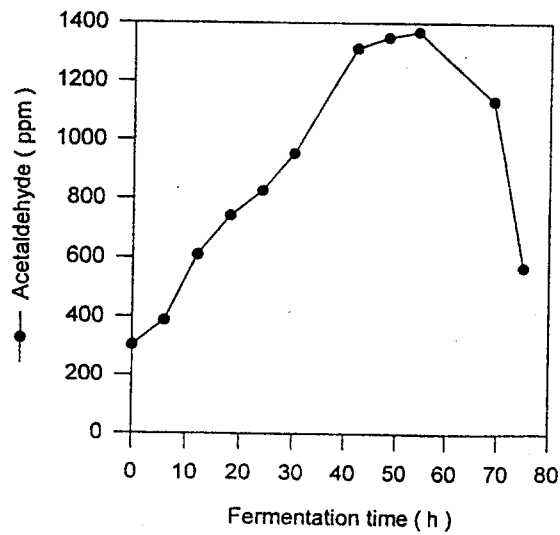
รูปที่ 5. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5596.



รูปที่ 6. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5596.



รูปที่ 7. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5606.



รูปที่ 8. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5606.

เมื่อพิจารณาการใช้กากน้ำตาลที่ความหวาน 15% Brix ของยีสต์ 4 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ TISTR 5606 สามารถใช้กากน้ำตาลได้ดีที่สุดคือ เหลือปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ 8.02×10^3 ppm, รองลงมาคือสายพันธุ์ TISTR 5092 วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ได้ 9.5×10^3 ppm, สายพันธุ์ TISTR 5596 วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ได้ 13.86×10^3 ppm และสายพันธุ์ TISTR 5013 วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ได้ 15.54×10^3 ppm ที่ชั่วโมงที่ 42 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2.

ส่วนรูปที่ 9 และ 10 แสดงเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล และปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นของสายพันธุ์ยีสต์ทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวข้างต้น.

2.3.2.2 กรณีใช้กากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix

จากผลการทดลองผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ในตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักของยีสต์ 4 สายพันธุ์ คือ TISTR 5013, 5092, 5596 และ 5606 ผลปรากฏว่าสายพันธุ์ที่ผลิตเอทานอลได้สูงที่สุดคือ สายพันธุ์ TISTR 5092 หมักแอลกอฮอล์ ได้ 6.5% ที่ชั่วโมงที่ 54 ดังแสดงในรูปที่ 13. รองลงมาคือสายพันธุ์ TISTR 5013 และ TISTR 5606 วัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ 5% ที่ชั่วโมงที่ 42 และชั่วโมงที่ 54 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11 และ 17, ส่วนสายพันธุ์ TISTR 5596 หมักแอลกอฮอล์ได้ต่ำกว่า 3 สายพันธุ์แรก คือ ผลิตได้สูงสุด 4% ที่ชั่วโมงที่ 69 ดังแสดงในรูปที่ 15, ซึ่งอาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ TISTR 5596 ไม่สามารถใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการหมักแอลกอฮอล์ (สายพันธุ์ TISTR 5596 ปกติใช้ในการวิจัยการผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังซึ่งสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงจึงนำมาเปรียบเทียบกับการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล).

เมื่อพิจารณาค่า pH ในระหว่างกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของยีสต์ 4 สายพันธุ์ พบว่าค่า pH ก่อนข้างคกที่ ทั้ง 4 สายพันธุ์ค่าจะต่ำลงเล็กน้อยในระยะปลายของกระบวนการหมัก โดย pH จะอยู่ในช่วง 4.5 – 4.7 ดังแสดงในตารางที่ 4.

ในการวัดปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักกากน้ำตาลที่ความหวาน 20% Brix ของยีสต์ 4 สายพันธุ์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5. พบว่าสายพันธุ์ TISTR 5092 ผลิต acetaldehyde สูงสุดที่ชั่วโมงที่ 69 และลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น, เช่นเดียวกับสาร iso-butanol, 1-propanol และ iso-amylalcohol สร้างสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 30 และลดลงเมื่อช่วงปลายการหมักแอลกอฮอล์ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 14.

ส่วนสายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5596 และ TISTR 5606 จะสร้างสาร acetaldehyde, iso-butanol, 1-propanol และ iso-amylalcohol มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการหมัก และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนช่วงท้ายของการหมักค่าที่วัดได้จะเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 12, 16 และ 18.

จากการตรวจนับปริมาณเซลล์ในระหว่างกระบวนการหมักของเชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์ โดยใช้หัวเชื้อที่มีปริมาณเซลล์ใกล้เคียงกัน คือ 10^8 cell/ml ภายหลังเติมหัวเชื้อในกระบวนการหมักแล้วปริมาณเซลล์เริ่มต้นที่นับได้ของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ จะอยู่ในช่วง 10^7 cells/ml โดยเชื้อที่เจริญได้ดีที่สุดคือ TISTR 5606, รองลงมาคือ TISTR 5596, TISTR 5092 และ TISTR 5013 ตามลำดับ ผลดังแสดงใน ตารางที่ 4.

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาการใช้กากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ของยีสต์ 4 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์ TISTR 5013 สามารถใช้กากน้ำตาลเพื่อผลิตเป็นแอลกอฮอล์ได้ดีที่สุด คือจะเหลือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 5.27×10^3 ppm, รองลงมาคือสายพันธุ์ TISTR 5092 วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ได้ 5.36×10^3 ppm (ดังแสดงในรูปที่ 11, 13). ส่วนสายพันธุ์ TISTR 5596 วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ได้ 8.18×10^3 ppm (รูปที่ 15) และสายพันธุ์ TISTR 5606 จะใช้กากน้ำตาลได้น้อยที่สุดโดยวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือในการหมักมากที่สุดคือ 11.36×10^2 ppm ผลแสดงในรูปที่ 17. เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์ คือ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ได้แก่ acetaldehyde, 1-propanol, iso-butanol, iso-amylalcohol จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มลดลงหรือคงที่เมื่อเข้าสู่ช่วงปลายของระยะการหมักแอลกอฮอล์. เชื้อยีสต์ที่สร้างสาร impurities สูงที่สุดคือ สายพันธุ์ TISTR 5606, รองลงมาคือ TISTR 5013 และ TISTR 5092 และตัวที่ผลิตน้อยที่สุดคือ TISTR 5596 (รูปที่ 19) ในขณะที่รูป 20 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากเชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์ ดังกล่าวมาแล้ว.

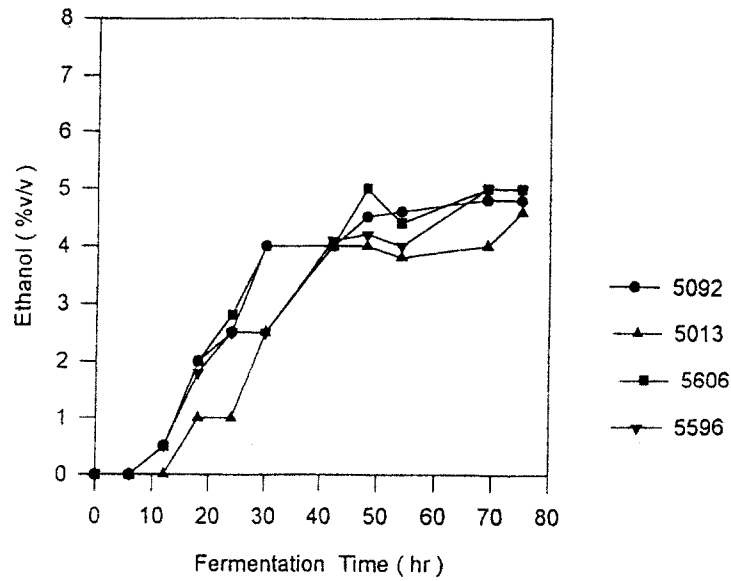
ตารางที่ 4. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง

เวลา(ชม.)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ppm)				pH				ปริมาณน้ำตาล(%Brix)				จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)				%Alcohol			
	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606
0	91.81	88.1	115	84.54	4.66	4.65	4.58	4.64	20	20	19	20	0.14	0.41	1.5	0.5	0	0	0	0
6	82.27	85.6	110.72	76.36	4.67	4.65	4.58	4.66	20	20	19	20	0.19	0.46	1.52	0.52	0.1	0.5	0	0
12	70	80.45	105.92	71.18	4.6	4.51	4.59	4.61	19	19	19	19	0.74	1.15	1.55	1.43	1	0.5	0	0.5
18	38.63	75.9	95.45	38.11	4.67	4.76	4.58	4.65	18	18	19	18	0.93	2.03	2.1	1.59	1.5	1	0	1
24	38.63	41.36	93.18	35.9	4.71	4.72	4.59	4.72	17	17	18	17	1.3	5.5	4.4	6	2.2	3	0	2
30	26.81	31.81	56.81	31.36	4.7	4.76	4.61	4.7	16	16.5	18	16	2.4	5.3	4.5	6.4	3	3	1	3.5
42	24.09	23.63	32.72	21.36	4.66	4.7	4.64	4.61	15.5	16	16	16	3.6	6	5.8	6.7	4	4.5	3.2	4.8
48	23.63	19.54	26.36	20.9	4.5	4.7	4.64	4.66	15	14	15	14	3.6	6	5.86	6.8	4.5	4.5	3.5	4.5
54	9.5	5.9	17.27	18	4.54	4.62	4.66	4.62	14	14	14	14	3.6	6	6.7	7.4	5	6	4	4.5
69	5.45	5.45	16.81	11.36	4.54	4.55	4.67	4.52	14	13.4	14	13	3.3	6.4	6.7	7.4	5	6.5	4	4.5
75	5.27	5.36	8.18	11.36	4.45	4.6	4.64	4.56	14	13	14	13	3.1	6.4	6.74	7.4	3.2	4	5	5

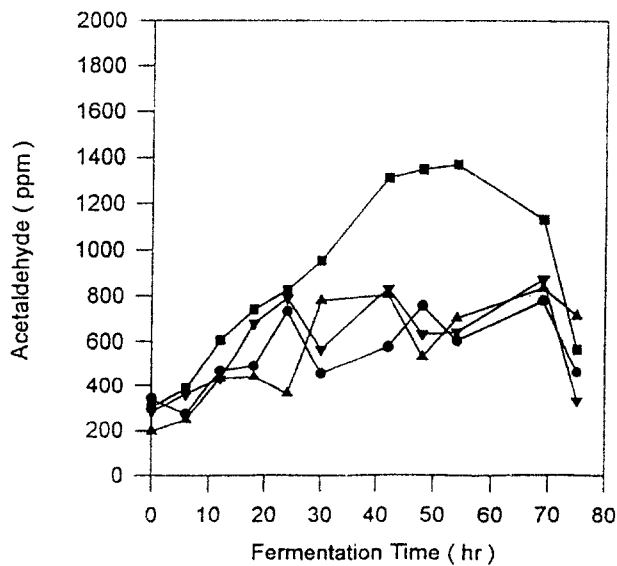
ตารางที่ 5. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ TISTR 5013, 5092, 5596 และ 5606

ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix

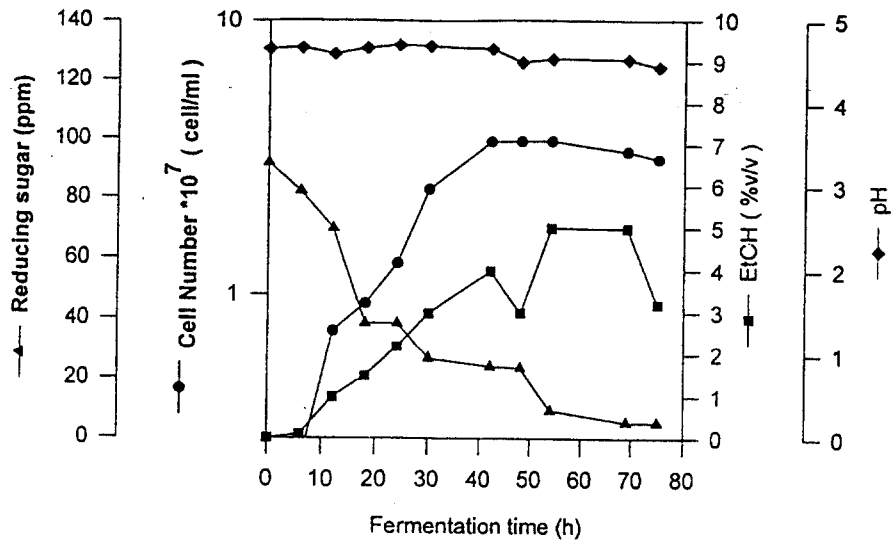
5013-0	561.68	11.98	0.00	0.00	4.33	6.39	19.64
5013-6	812.18	5.19	1.52	5.23	10.50	16.78	41.55
5013-12	1624.22	16.06	1.70	13.00	16.88	23.49	48.58
5013-18	1614.42	16.54	2.76	13.27	16.32	21.19	43.58
5013-24	1641.70	14.92	2.71	7.80	17.47	21.10	72.51
5013-30	1178.95	11.22	4.52	10.29	17.79	21.75	74.56
5013-42	1456.45	9.06	6.99	2.42	17.73	23.88	74.28
5013-48	1199.41	6.97	4.95	0.00	18.71	24.07	92.56
5013-54	1356.91	12.62	10.35	5.23	15.44	24.60	84.75
5013-69	1413.67	12.54	9.93		15.30	22.77	80.63
5013-75	1688.43	14.98	12.91		23.69	22.17	65.56
5092-0	449.34	27.16	1.25	7.20	1.71	6.81	16.59
5092-6	938.66	7.37	1.23	6.72	12.61	28.65	60.97
5092-12	955.32	16.65	2.43	16.05	16.66	28.08	65.00
5092-18	1151.24	10.30	2.25	11.35	18.20	28.08	69.00
5092-24	1153.23	9.23	2.38	13.95	28.19	25.30	64.00
5092-30	1286.21	9.93	4.53	5.23	31.94	25.46	75.44
5092-42	1436.45	10.04	10.17	37.26	31.60	23.36	72.58
5092-48	1225.22	12.34	9.15	0.00	24.97	22.46	70.61
5092-54	1086.53	11.47	10.40		18.70	21.94	65.27
5092-69	1071.69	6.91	7.75		18.14	20.08	62.25
5092-75	816.01	10.66	11.33		11.57	14.10	38.63
5596-0	647.37	12.93	1.30	5.23	0.00	4.37	23.23
5596-6	732.85	6.80	0.91	13.16	5.65	6.12	24.24
5596-12	746.29	19.13	0.74	12.08	5.69	5.67	28.19
5596-18	766.26	10.44	0.91	9.50	5.45	5.69	28.29
5596-24	815.44	11.41	1.04	10.14	11.00	11.38	32.12
5596-30	1326.83	11.22	3.24	8.70	15.98	21.74	46.86
5596-42	1756.62	15.08	5.04	5.23	15.93	18.45	48.16
5596-48	1764.95	11.28	7.00	5.23	15.94	18.29	48.89
5596-54	2006.68	17.93	10.13	12.17	16.99	18.21	49.43
5596-69	1019.44	10.33	11.48	0.00	15.17	17.41	51.36
5596-75	816.01	8.30	11.07	0.00	11.57	14.10	38.63
5606-0	666.00	18.69	1.21	9.33	4.04	4.58	15.94
5606-6	662.00	8.04	1.06	5.23	4.67	5.56	16.19
5606-12	661.11	11.10	1.32	11.44	9.12	10.94	30.04
5606-18	1242.00	14.07	2.23	14.03	23.93	24.07	48.45
5606-24	1768.00	12.59	4.39	29.44	25.80	24.32	53.21
5606-30	1758.00	10.77	4.69		25.54	23.41	58.45
5606-42	1535.67	13.47	12.61	42.72	25.35	23.47	51.50
5606-48	1536.38	6.02	7.40		27.07	26.99	69.21
5606-54	1955.18	15.09	17.34		39.66	30.05	94.48
5606-69	1685.00	10.48	13.41		29.38	24.48	67.50
5606-75	1688.43	16.45	22.81		23.69	22.17	65.56



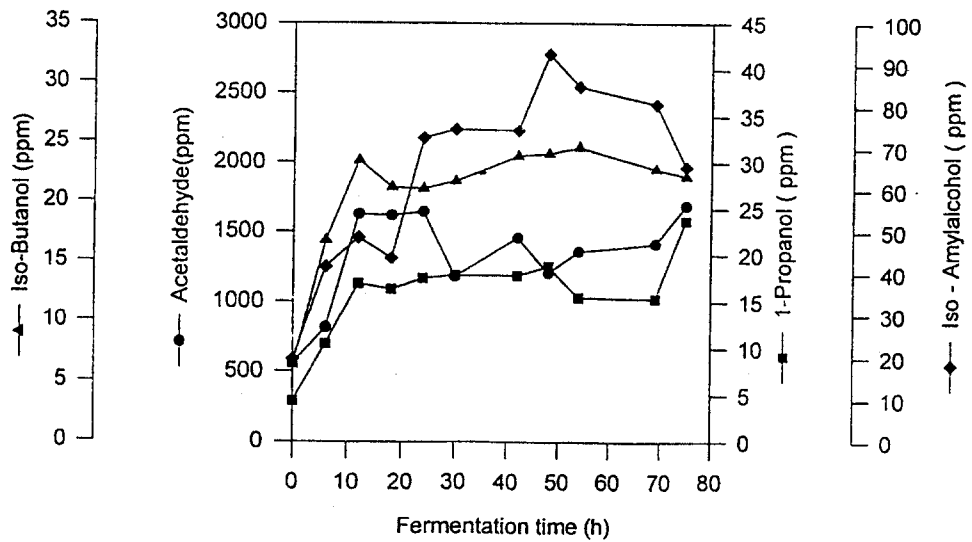
รูปที่ 9. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์.



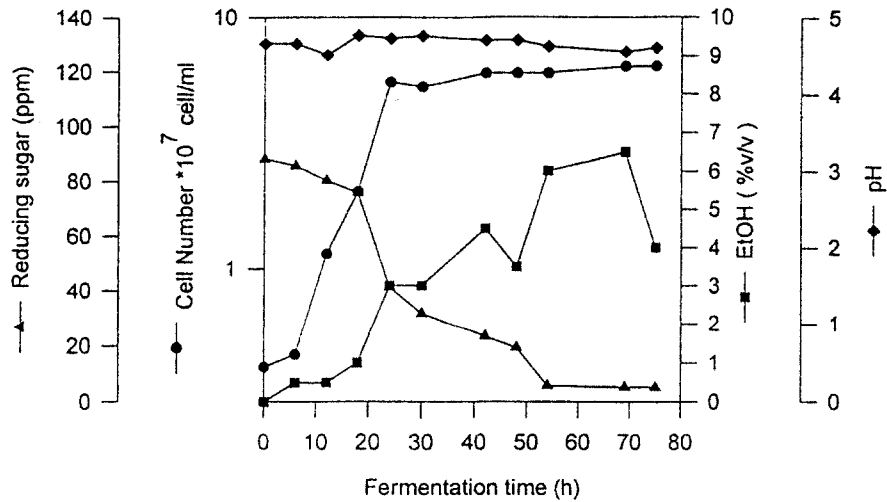
รูปที่ 10. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก แอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 15% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์.



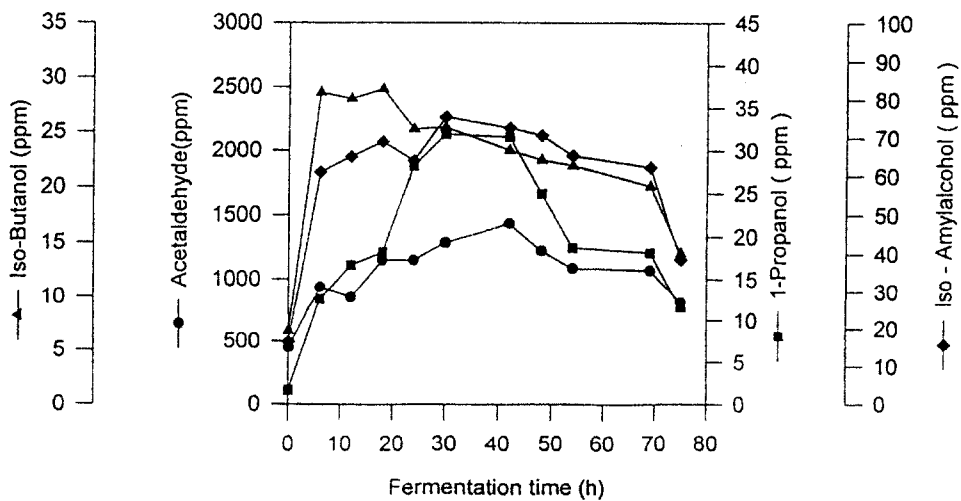
รูปที่ 11. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013.



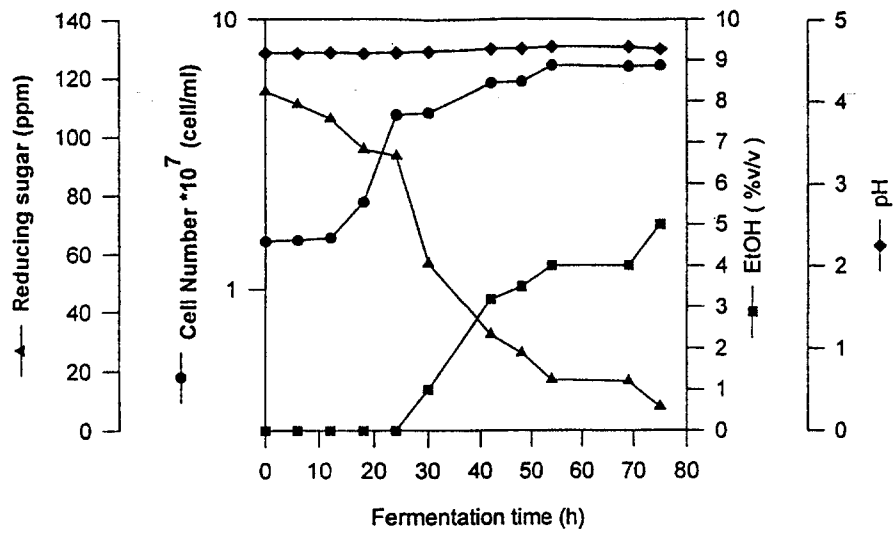
รูปที่ 12. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013.



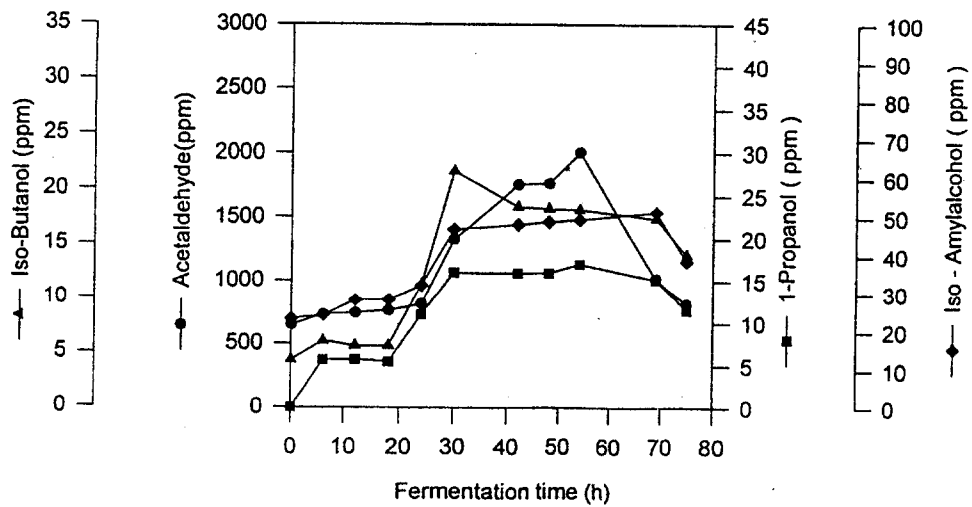
รูปที่ 13. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5092.



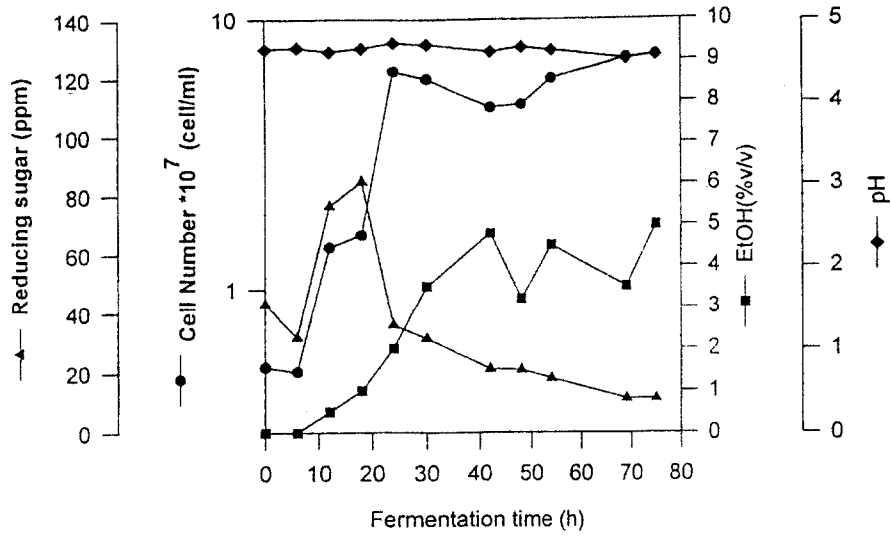
รูปที่ 14. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5092.



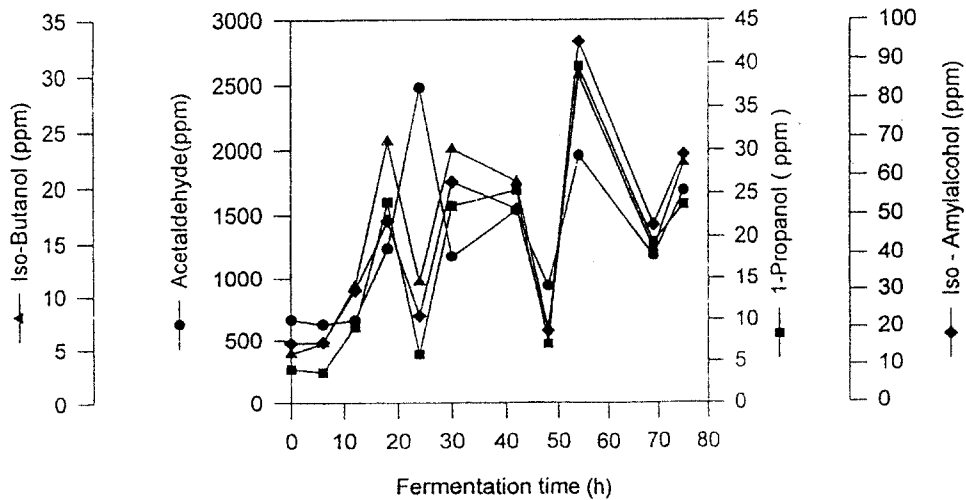
รูปที่ 15. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5596.



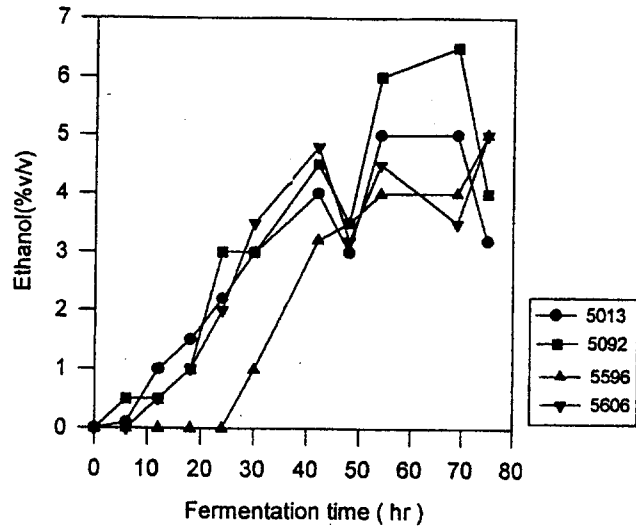
รูปที่ 16. ปริมาณสารเจือปน (acetaldehyde) ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5596.



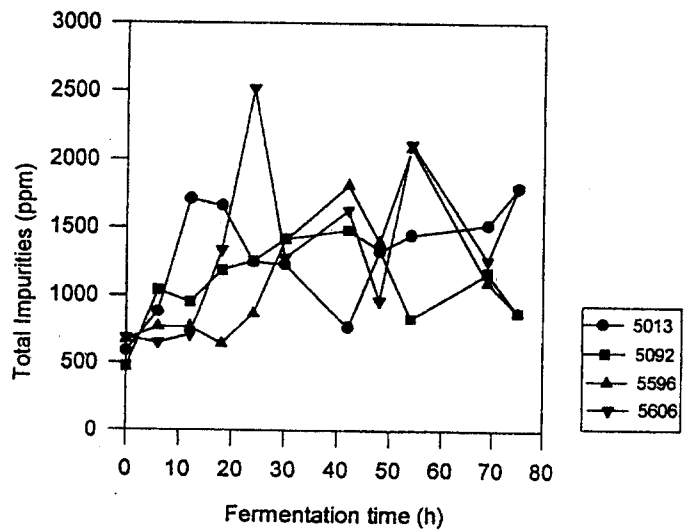
รูปที่ 17. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5606.



รูปที่ 18. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5606.



รูปที่ 19. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์.



รูปที่ 20. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์.

2.3.2.3 กรณีใช้กากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% Brix

ผลการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% Brix ในตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ในระหว่างการหมักของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง. พบว่ายีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ผลิตเอทานอลได้สูงสุด เท่ากับ 7.2% v/v ที่ชั่วโมงที่ 69 ดังแสดงในรูปที่ 27, รองลงมาคือ สายพันธุ์ TISTR 5013 และ TISTR 5092 วัดปริมาณ (เอทานอล) ชั่วโมงที่ 69 ได้ 7 และ 5.2% ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 21 และ 23) ส่วนสายพันธุ์ TISTR 5596 ผลิตเอทานอลได้ 4.5% ที่ชั่วโมงที่ 75 ของการหมัก.

ส่วนค่า pH ในระหว่างกระบวนการหมักของยีสต์ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าค่าก่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 4.5-4.8 ดังแสดงในตารางที่ 6.

จากการตรวจปริมาณเชื้อระหว่างกระบวนการหมักของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ เชื้อที่เจริญดีที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ TISTR 5606 รองลงมาคือ TISTR 5092, TISTR 5013 และ TISTR 5596 ตามลำดับ โดยเชื้อทั้งหมดเจริญเข้าสู่ stationary phase ในระยะ 24 - 30 ชั่วโมง ของการหมัก (ผลแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 27, 23, 21 และ 25).

จากการวัดปริมาณน้ำตาลที่เหลือในชั่วโมงสุดท้ายของการหมัก สายพันธุ์ TISTR 5013 สามารถใช้กากน้ำตาลได้ดีที่สุด โดยเหลือ 23.2×10^3 ppm, รองลงมาคือ สายพันธุ์ TISTR 5606 วัดปริมาณน้ำตาลที่เหลือได้ 30.45×10^3 ppm (ดังแสดงในรูปที่ 21 และ 27). ส่วนสายพันธุ์ TISTR 5092 และ 5596 วัดปริมาณที่เหลือได้ 39.23×10^3 และ 56.81×10^3 ppm ตามลำดับ (ผลแสดงในรูปที่ 23 และ 25). เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการผลิตสาร impurities ต่างๆ ได้แก่ acetaldehyde, 1-propanol, iso-butanol และ iso-amylalcohol ในระหว่างการหมักของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% Brix (ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7) พบว่าเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ จะผลิตสารต่างๆ เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงประมาณชั่วโมงที่ 30-40 ของการหมักและหลังจากนั้นจะลดลงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ในช่วงท้ายๆ ของการหมักโดยเชื้อสายพันธุ์ TISTR 5596 ผลิตสาร impurities มากที่สุด, รองลงมาคือ สายพันธุ์ TISTR 5606, TISTR 5092 และ TISTR 5013 ตามลำดับ. สำหรับสายพันธุ์ TISTR 5013 ในระหว่างช่วง 30 ชั่วโมงของการหมัก ผลิตสาร impurities ได้มากใกล้เคียงกับ TISTR 5606 แต่ช่วงหลังๆ จะผลิตได้น้อยกว่าเชื้ออื่นๆ.

ตารางที่ 6. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5013, TISTR 5092, TISTR 5596 และ TISTR 5606

ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง

เวลา(ชม.)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ³ ppm)				pH				ปริมาณน้ำตาล(%Brix)				จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)				%Alcohol			
	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606	5013	5092	5596	5606
0	162.9	204	205.45	201.36	4.59	4.7	4.73	4.82	24	25	25	25	1.6	0.3	0.3	0.3	0	0	0	0
6	162.72	199	204.54	186.81	4.62	4.7	4.72	4.81	24	25	25	25	1.6	0.3	0.5	0.3	0	0	0	0
12	160.45	174	194.54	116.36	4.69	4.69	4.72	4.78	24	25	25	25	2.6	0.5	0.7	1	0	0	0	0
18	115	150.45	151.81	102.27	4.59	4.66	4.7	4.8	23.5	23	25	23	2.8	2.8	1.2	2.7	0	0	0	0
24	75.72	86.81	117.72	67.27	4.58	4.68	4.69	4.75	23	22	24	22	5	6.9	1.8	6.1	1	1	0	1.5
30	72.72	70.45	108.63	55	4.59	4.7	4.69	4.73	22	21	23	21	5.4	7.9	5.1	8	2.5	2.2	0.8	1.2
42	35.45	49.54	101.81	55	4.63	4.71	4.69	4.74	20	19	23	20	5.4	8.4	5.3	10.3	3	2	0.8	3.8
48	32.72	43.18	91.81	40	4.7	4.71	4.71	4.75	19	19	21	19	5.7	7.3	5	9	5.8	4	3	5
54	30	43	66.36	38.18	4.65	4.71	4.71	4.75	18.5	18	20	18	6.4	7.6	5.5	8	6.2	5	2.5	7
69	23.63	42.23	57.27	37.27	4.65	4.7	4.71	4.76	18	18	19	17	6.6	7.3	5.7	8.3	7	5.2	2.5	7.2
75	23.2	39.23	56.81	30.45	4.65	4.7	4.7	4.76	18	18	19	16.5	6.6	7.1	6.9	8.3	7	5	4.5	7.2

ตารางที่ 7. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ TISTR 5013, 5092, 5596 และ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 25% Brix

5013-0	697.48	13.06	2.01	12.91	6.34	7.03	40.07
5013-6	678.00	10.42	1.26	9.59	6.65	7.70	33.12
5013-12	648.02	11.25	1.09	8.51	6.30	9.71	31.19
5013-18	793.15	7.89	1.08	8.13	6.65	9.93	36.29
5013-24	1213.01	11.22	2.18	11.65	15.52	19.66	43.70
5013-30	1566.00	44.11	8.00	15.14	15.60	16.03	44.56
5013-42	1354.88	11.65	6.78	8.98	17.15	15.80	44.30
5013-48	1099.58	12.21	9.20	5.23	20.18	13.76	43.67
5013-54	1156.75	12.95	7.61	5.23	15.50	12.50	33.99
5013-69	1046.50	12.38	14.23	0.00	15.40	12.10	34.03
5013-75	1089.41	13.27	15.67	0.00	16.79	12.37	36.57
5092-0	506.71	16.66	2.49	21.32	6.64	11.35	30.63
5092-6	610.25	16.70	3.16	5.23	8.05	11.38	30.26
5092-12	809.52	15.23	3.18	5.23	8.45	14.57	32.87
5092-18	1416.07	23.94	3.09	5.23	18.82	19.28	53.86
5092-24	1262.10	8.80	4.38	5.23	17.74	19.51	55.83
5092-30	1298.95	11.91	4.60	5.23	18.60	19.63	55.43
5092-42	1299.49	8.44	7.28	5.23	22.62	20.53	72.81
5092-48	1266.15	12.12	12.11	5.23	24.11	25.00	102.43
5092-54	1289.00	12.11	8.92	0.00	24.10	26.22	159.63
5092-69	1224.00	9.29	16.25	0.00	24.70	27.70	158.88
5092-75	1202.95	22.94	15.04	17.54	24.10	31.77	134.54
5596-0	484.01	17.64	0.89	11.41	3.91	5.06	30.63
5596-6	620.62	10.41	0.95	5.23	4.00	5.59	30.83
5596-12	1013.93	21.21	1.19	4.13	4.00	5.81	39.45
5596-18	1275.74	17.84	1.69	5.74	5.06	13.32	40.53
5596-24	1925.33	16.81	2.39	5.23	21.50	28.16	65.26
5596-30	2333.32	21.15	3.47	5.23	21.77	22.98	64.00
5596-42	2428.74	18.04	3.32	5.23	27.00	24.78	64.05
5596-48	1980.33	14.84	5.16	5.23	29.40	24.96	64.54
5596-54	1988.84	12.92	6.53	5.23	35.15	24.40	60.92
5596-69	1969.39	11.92	10.59	0.00	37.50	23.96	46.42
5596-75	1913.52	15.44	11.00	5.23	24.45	18.78	45.67
5606-0	66.25	20.63	1.43	30.22	3.28	4.65	5.75
5606-6	750.07	43.49	1.22	8.01	3.00	4.79	6.64
5606-12	1509.64	16.59	2.10	2.43	9.30	13.41	32.58
5606-18	1436.95	28.00	4.50	5.23	9.80	13.96	33.23
5606-24	1430.00	6.77	3.03	5.23	17.68	14.70	38.92
5606-30	1565.92	11.78	7.46	0.00	22.50	19.92	51.88
5606-42	1585.00	11.53	4.16	0.00	25.00	19.99	55.35
5606-48	1491.10	16.47	12.93	5.23	25.20	20.44	73.91
5606-54	1285.00	14.96	16.81	56.10	25.78	28.55	78.74
5606-69	1241.74	18.31	18.92	120.98	26.00	30.99	100.66
5606-75	1269.00	16.42	26.25	0.00	13.89	17.11	61.79

สำหรับสายพันธุ์ TISTR 5606 และ TISTR 5092 ผลิตสาร impurity ได้ใกล้เคียงกัน โดยในช่วง 30-50 ชั่วโมงของการหมักหรือ TISTR 5606 จะผลิตมากกว่า TISTR 5092 ประมาณ 40% แต่หลังจากชั่วโมงที่ 50 ไปแล้ว ผลิตได้ใกล้เคียงกันมาก.

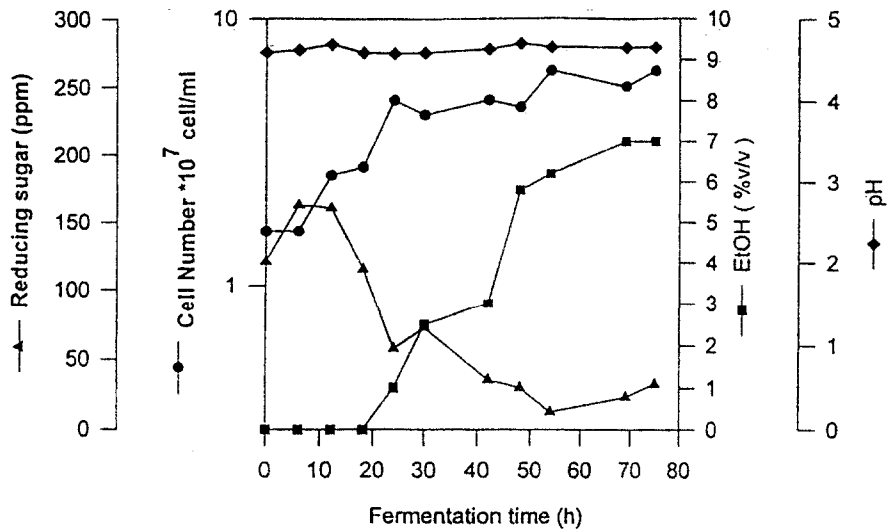
ในการวิเคราะห์หาสารที่เกิดขึ้น (impurity) ในกระบวนการหมัก โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ค่าที่ได้มักไม่ค่อยคงที่ เนื่องจากตัวอย่างน้ำหมักยังมีสารปนเปื้อนอยู่มากเป็นสาเหตุทำให้ liner และ column สกปรกและอุดตันง่าย ค่าที่วัดได้จึงไม่ใช่ค่าที่แท้จริง อีกทั้งมีผลให้การวิเคราะห์ล่าช้ามีปัญหา. เนื่องจากสาเหตุดังกล่าวจึงตัดแปลงวิธีการวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยนำเอาวิธีใกล้เคียงกับระบบ head space มาใช้กับน้ำหมักตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์โดยนำตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร ใส่ขวด head space อบที่ 100°C. เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างที่ได้มาฉีดเข้าเครื่อง GC ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วขึ้นถึง 3 เท่า โดยมี Recovery 72-96%.

รูปที่ 29 และ 30 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลและปริมาณสารเจือปนรวมที่เกิดจากยีสต์ 4 สายพันธุ์ดังกล่าวข้างต้น ตามลำดับ.

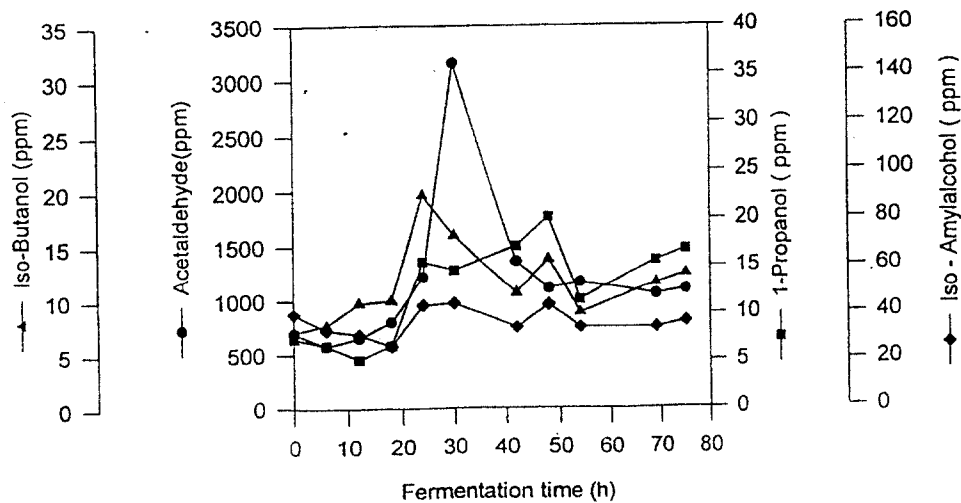
2.3.3 ผลของอาหารเสริม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ ในการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092 และ TISTR 5606

ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความหวาน 20% Brix (ตารางที่ 8) โดยแปรผันความเข้มข้น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่เติมในอาหารเลี้ยงปริมาณ 0, 0.03, 0.05 และ 0.1% ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03% ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5092 สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงสุดเท่ากับ 7% ที่ชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก (รูปที่ 33), และในอาหารที่เติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เพิ่มขึ้นเป็น 0.05-0.1% ไม่มีผล ให้เชื้อผลิตแอลกอฮอล์ได้มากกว่า 7% (ดังแสดงในรูปที่ 31, 35, 37).

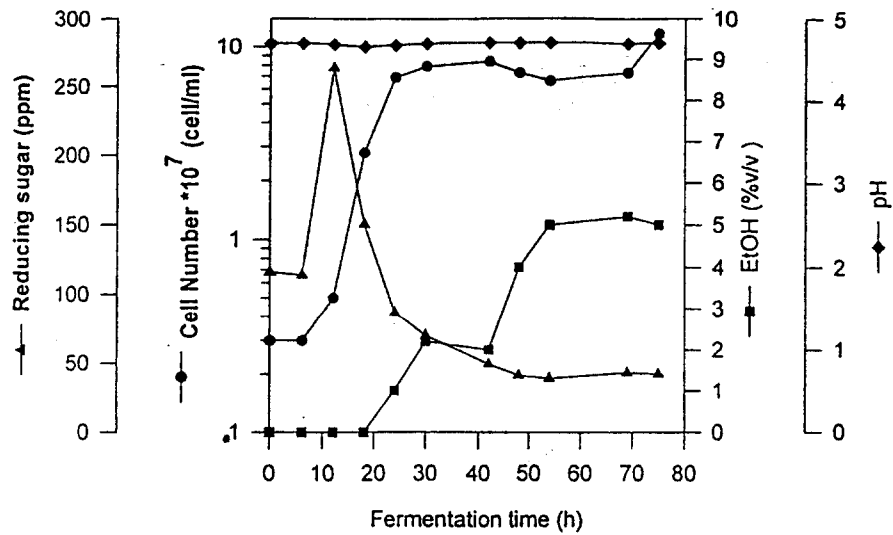
ในระหว่างกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของสายพันธุ์ 5092 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการแปรผันความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ทุกระดับ พบว่าค่าความเป็น กรด - ด่าง (pH) มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง pH 4.2-4.5 (ดังแสดงในตารางที่ 8 และรูปที่ 31 ถึง 37). จะเห็นว่าเชื้อใช้น้ำตาลอย่างรวดเร็วใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก หลังจากนั้นจะมีการใช้น้ำตาลน้อยมาก, และจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น $(1.1-1.5) \times 10^7$ cell/ml เชื้อเจริญเข้าสู่ stationary phase ในชั่วโมงที่ 36 ของการหมักโดยความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในช่วง 0-0.1% ไม่มีผลให้เชื้อเจริญแตกต่างกัน ปริมาณสูงสุดของเชื้อ เท่ากับ $5.2-6.4 \times 10^7$ cell/ml.



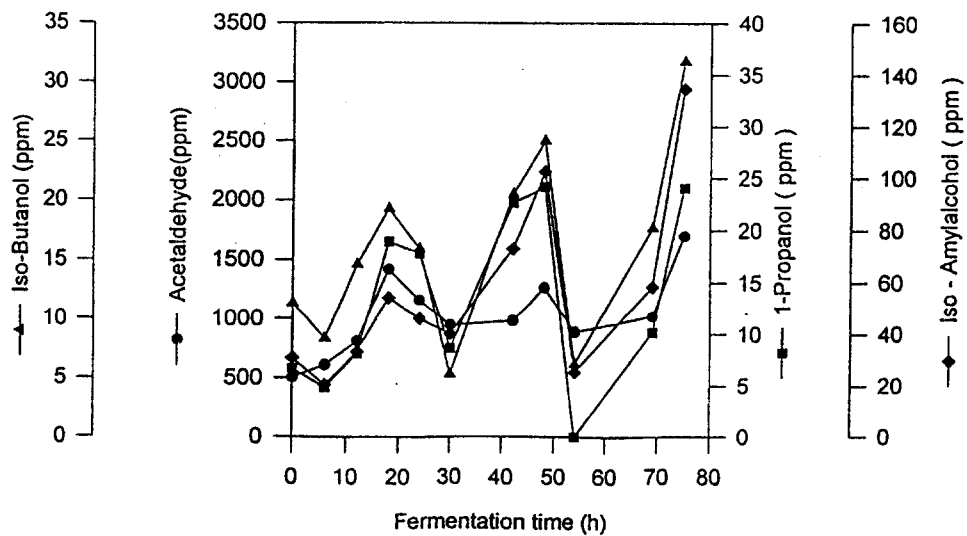
รูปที่ 21. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013.



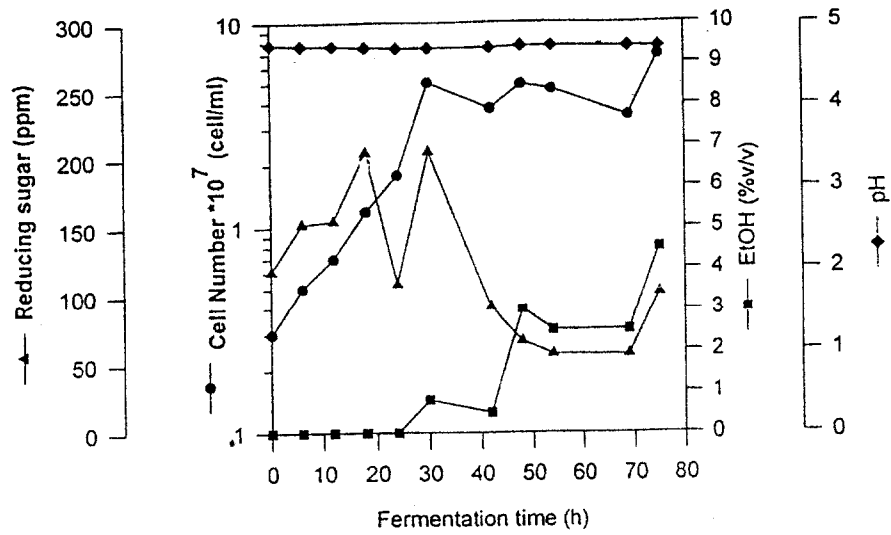
รูปที่ 22. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013.



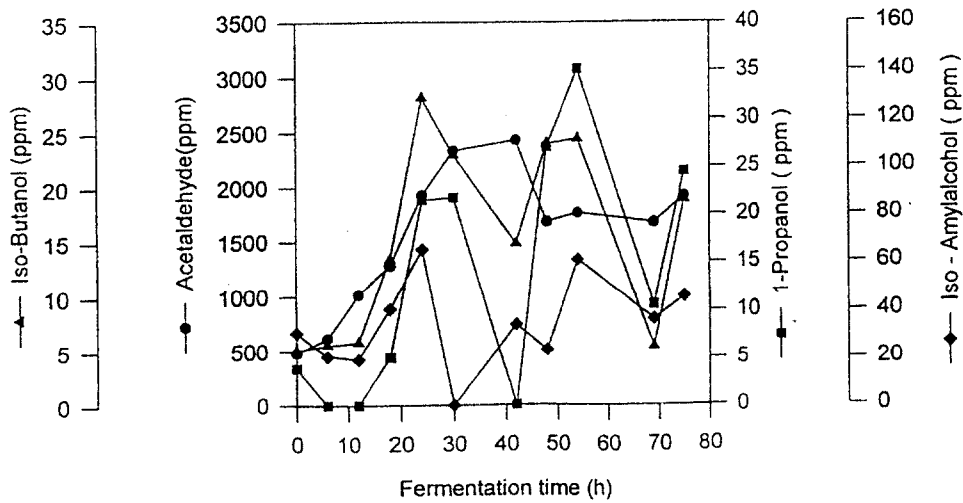
รูปที่ 23. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5092.



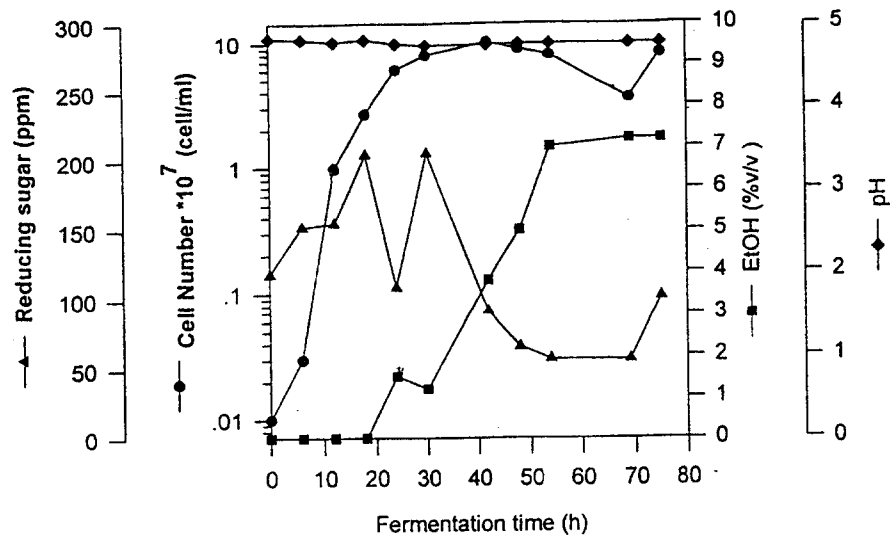
รูปที่ 24. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5092.



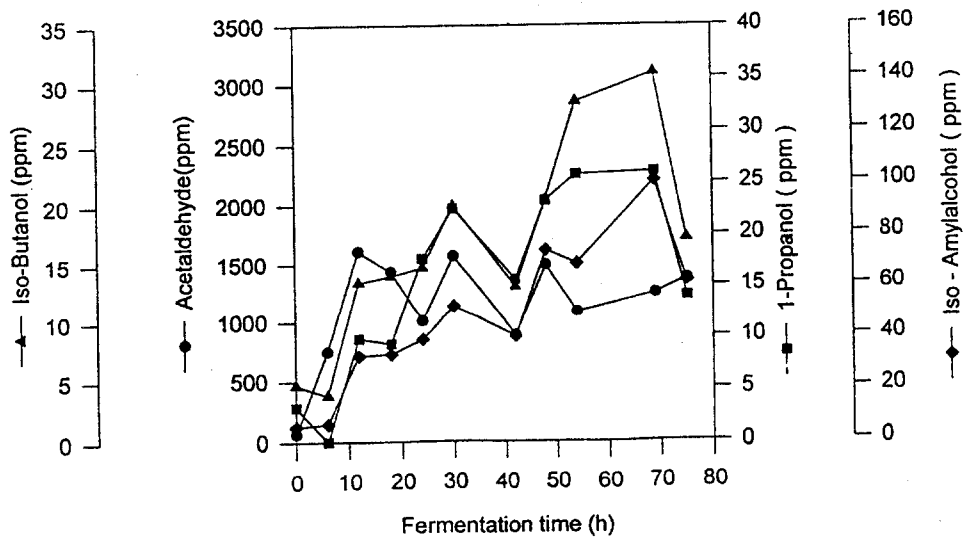
รูปที่ 25. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5596.



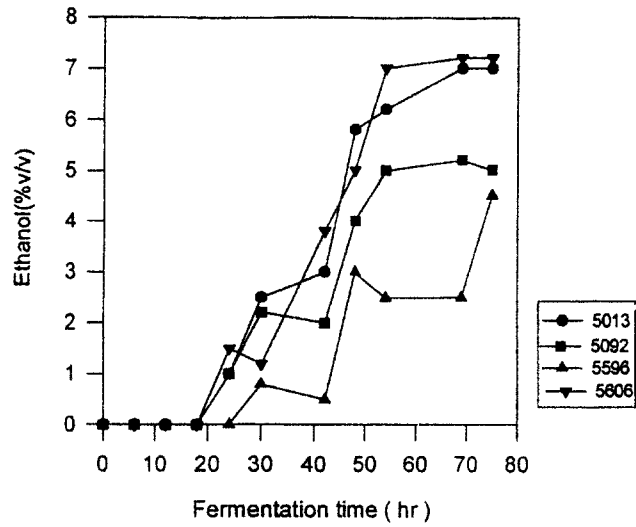
รูปที่ 26. ปริมาณสารเจือปนต่างๆที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5596 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 75 ชั่วโมง.



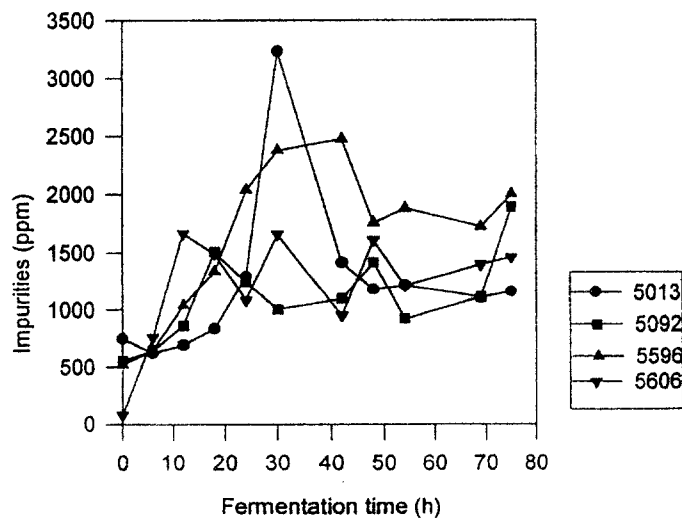
รูปที่ 27. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5606.



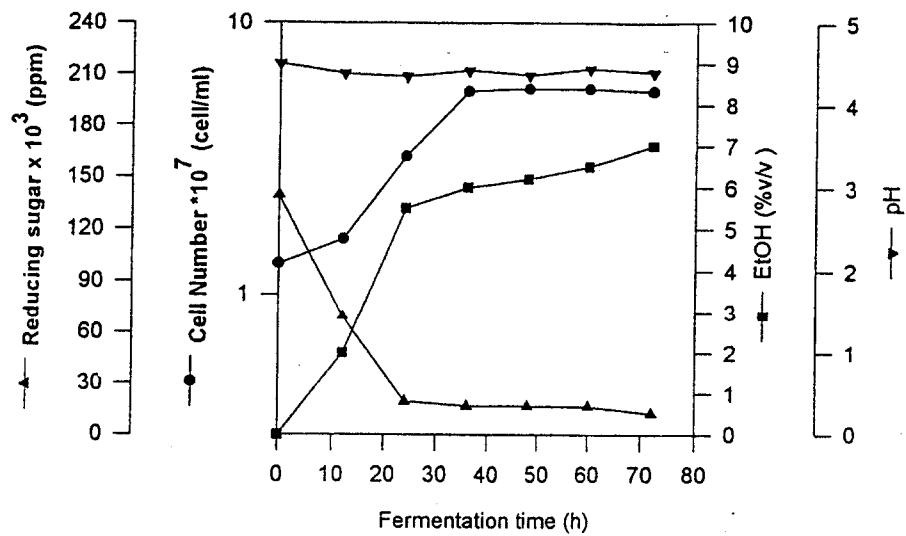
รูปที่ 28. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 75 ชั่วโมง.



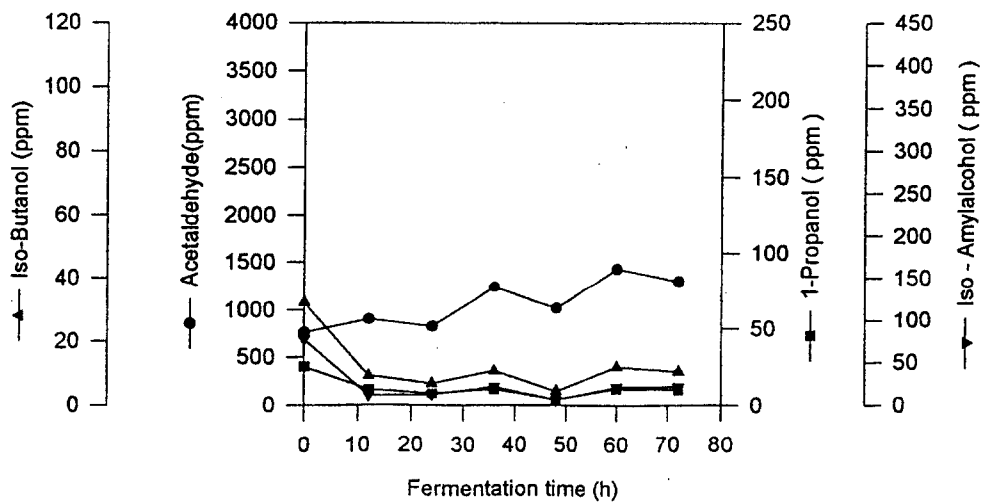
รูปที่ 29. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์.



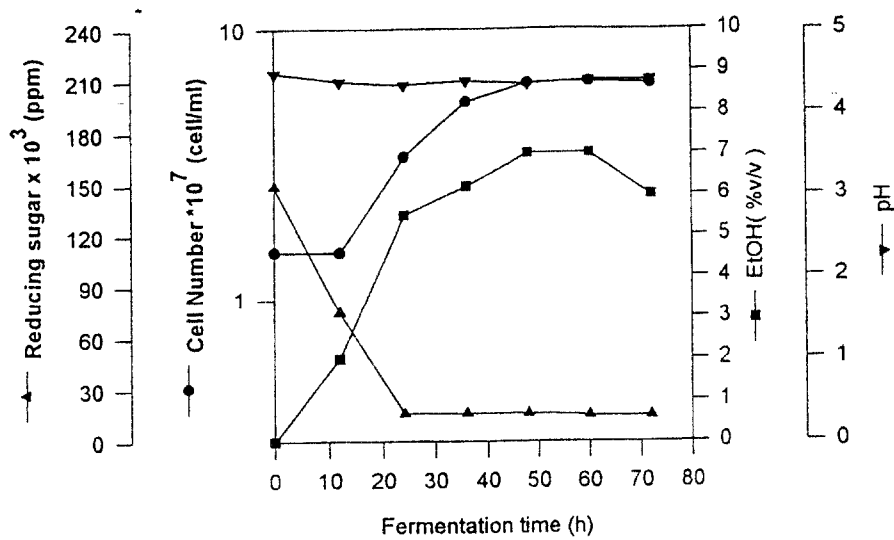
รูปที่ 30. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 25% โดยใช้เชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์.



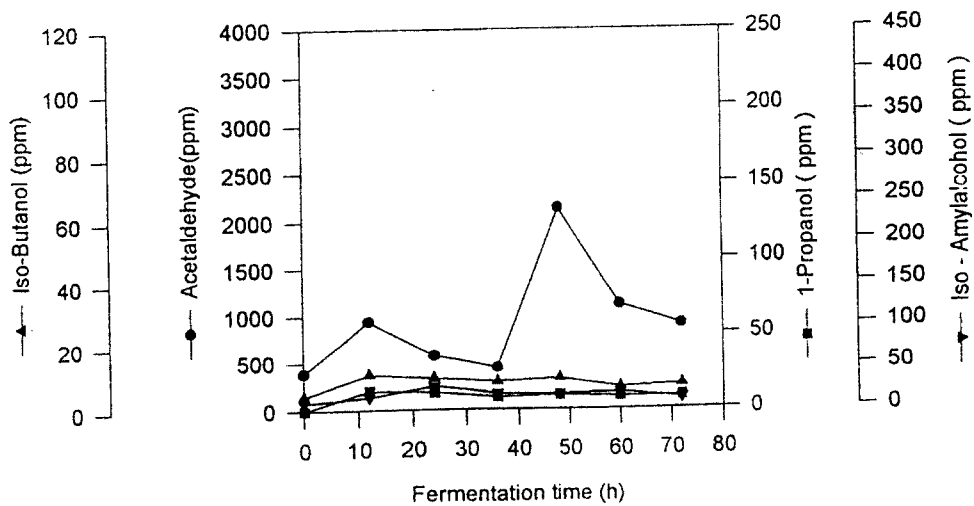
รูปที่ 31. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₄)₂SO₄ 0% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



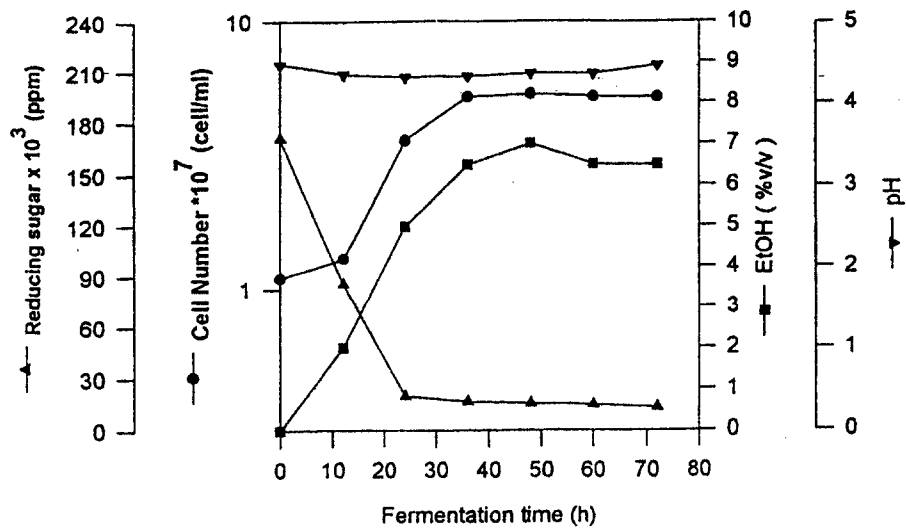
รูปที่ 32. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₄)₂SO₄ 0% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



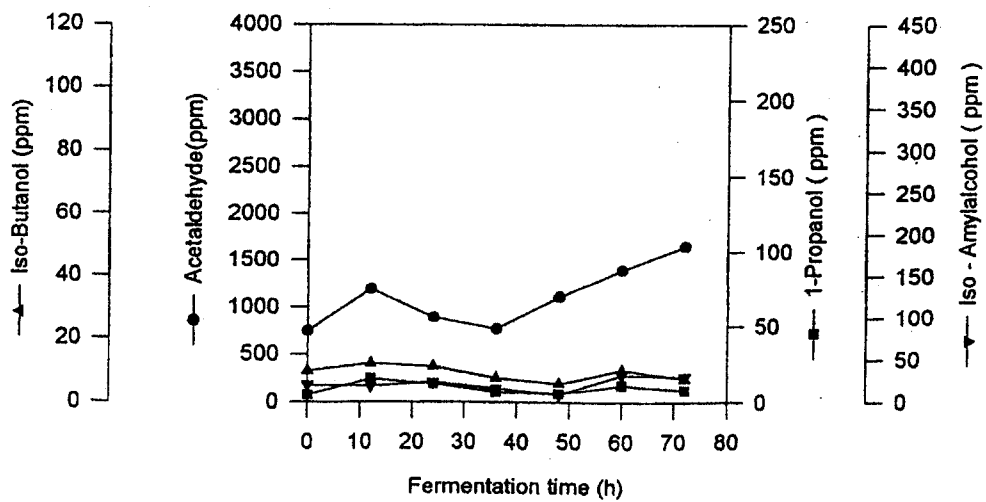
รูปที่ 33. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₄)₂SO₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



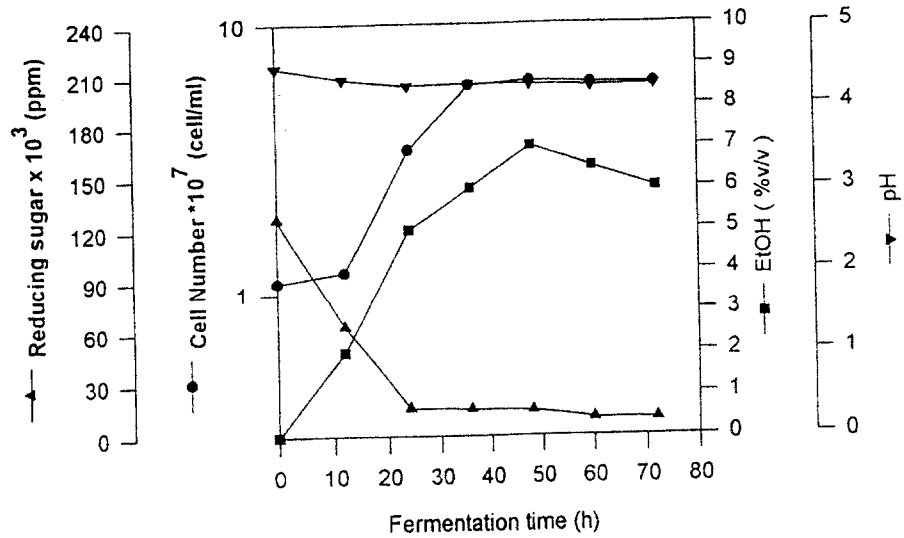
รูปที่ 34. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₄)₂SO₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



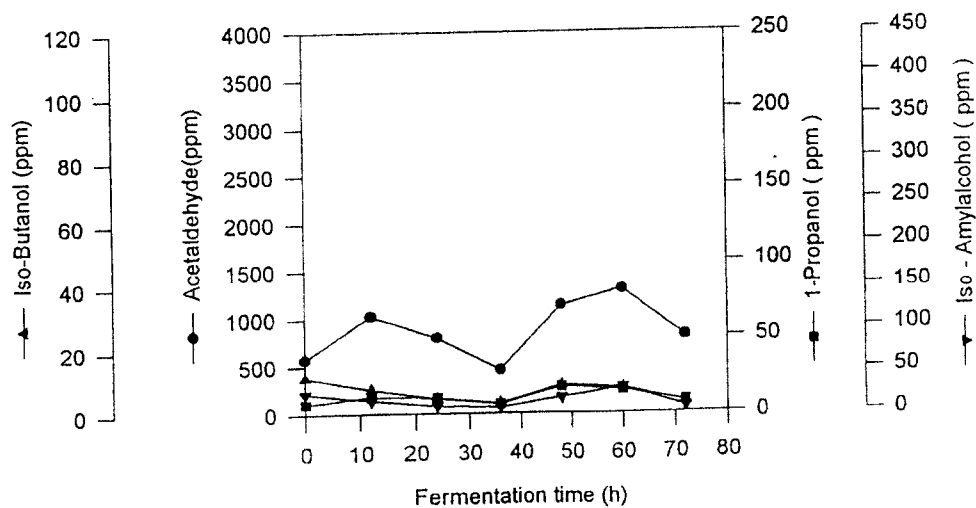
รูปที่ 35. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₄)₂SO₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



รูปที่ 36. ปริมาณสารเอ็ปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₄)₂SO₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



รูปที่ 37. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



รูปที่ 38. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.

ตารางที่ 8. ผลการหมักแอมกอลอดส์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นต่างๆ โดยยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5092 ที่อุณหภูมิห้อง

ท.ม./ชื่อ	pH				ปริมาณน้ำตาล(Brix)				ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ppm)				จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)				Alcohol (%)			
	AQ	AR	AS	AT	AQ	AR	AS	AT	AQ	AR	AS	AT	AQ	AR	AS	AT	AQ	AR	AS	AT
0	4.49	4.47	4.46	4.47	20	19.5	19.5	19.5	139.31	148.46	170.7	126.34	1.3	1.5	1.1	1.1	0	0	0	0
12	4.39	4.37	4.35	4.33	18.5	18	18	18	69.31	74.46	85.35	63.17	1.6	1.5	1.3	1.2	2	2	2	2
24	4.35	4.32	4.31	4.24	16	16.5	16	16	19.21	16.04	19.8	15.84	3.2	3.4	3.6	3.4	5.5	5.5	5	5
36	4.42	4.37	4.32	4.27	14	14	14.5	14	16.63	16.24	16.63	15.21	5.6	5.4	5.2	5.9	6	6.2	6.5	6
48	4.36	4.33	4.35	4.25	12	12	12	12.5	16.53	16.04	15.45	14.25	5.7	6.3	5.3	6.1	6.2	7	7	7
60	4.44	4.38	4.35	4.23	12	12	12	12	16.44	15.03	14.85	9.9	5.7	6.4	5.2	6	6.5	7	6.5	6.5
72	4.4	4.39	4.46	4.25	12	12	12	12	12.44	14.85	13.26	9.5	5.6	6.3	5.2	6	7	6	6.5	6

หมายเหตุ : A = *Sac. cerevisiae* TISTR 5092

Q = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0%

R = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03%

S = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05%

T = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1%

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักในอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่มีปริมาณ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับ พบว่าสารเจือปนต่างๆ ได้แก่ acetaldehyde, 1-propanol, iso-butanol, iso-amylalcohol จะสร้างเพิ่มมากขึ้นในช่วงปลายกระบวนการหมัก ในปริมาณใกล้เคียงกัน (ดังแสดงในตารางที่ 9 และ รูปที่ 40).

สำหรับการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลของสายพันธุ์ TISTR 5092 เมื่อเปรียบเทียบผลการผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงและการสร้างสารเจือปนต่างๆ ในปริมาณต่ำพบว่าในอาหารที่มีการเติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03% เหมาะสมที่สุดต่อการหมักแอลกอฮอล์ จึงเลือกระดับความเข้มข้นนี้เพื่อทำการศึกษาต่อไป (ดังแสดงในรูปที่ 39 และ 40).

ส่วนผลของความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่มีต่อการหมักแอลกอฮอล์ของสายพันธุ์ TISTR 5606 (แสดงในตารางที่ 10) พบว่าระดับความเข้มข้น 0.03% สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงที่สุดคือ 7% ที่ชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก (รูปที่ 43), รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0%, 0.05% และ 1% โดยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ 6.5, 6.5 และ 6% ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 41, 45 และ 47).

เมื่อพิจารณาในระหว่างกระบวนการหมักของสายพันธุ์ TISTR 5606 ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยจะอยู่ในช่วง pH 4.2-4.5 เชื้อมีการใช้น้ำตาลอย่างรวดเร็วใน 24 ชั่วโมง แรกและจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น $(1.1-1.5) \times 10^7$ cell/ml เจริญเข้าสู่ stationary phase หลังจาก 36 ชั่วโมง ของการหมัก โดยปริมาณสูงสุดเท่ากับ $(5.2-6.3) \times 10^7$ cell/ml และพบว่า $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในช่วง 0-0.05% ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ (ดังแสดงในรูปที่ 41 ถึงรูปที่ 47).

เมื่อวัดปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของอาหารกากน้ำตาลและมี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ 4 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 0.03, 0.05 และ 0.1% พบว่ามีปริมาณสารเจือปนต่างๆ เกิดขึ้นสูงสุดที่ชั่วโมง 36 ของการหมัก (ดังแสดงในรูปที่ 50) โดยมีการสร้างสารเจือปนอยู่ในช่วง 0.10-0.16%. ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงสุด โดยมีการเติม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในปริมาณน้อยที่สุด มีสารเจือปนอื่นๆ น้อยเมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่นๆ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.03% เหมาะสมที่สุด ในการศึกษาขั้นต่อไป ดังแสดงการเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล และปริมาณสารอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากเชื้อยีสต์ TISTR 5606 (ดังแสดงในรูป 49 และ 50).

ตารางที่ 9. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเชื้อยีสต์ TISTR 5092 ในกาน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นต่างๆ กัน

จำนวนที่	AQ (ppm)				AR (ppm)				AS (ppm)				AT (ppm)			
	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH
0	762.03	25.16	32.41	77.58	388.48	0.00	4.42	8.96	748.86	4.93	9.79	20.66	574.48	6.71	11.46	24.55
12	896.60	10.21	9.13	11.60	936.48	12.18	11.08	15.01	1190.02	14.95	12.03	18.22	1022.1	10.84	7.53	15.11
24	824.42	7.76	6.78	12.89	568.78	11.23	9.84	27.28	885.63	12.01	11.22	23.42	792.65	10.11	4.65	9.29
36	1234.42	10.33	10.67	21.62	434.53	7.84	8.66	18.83	768.36	6.7	7.51	16.13	458.06	6.16	3.27	6.94
48	1020.08	3.96	4.50	6.14	1126.24	9.11	9.75	17.56	1113.45	5.67	5.81	9.39	1132.16	17.23	8.84	18.35
60	1427.74	10.87	12.09	21.53	1107.93	8.20	6.80	19.86	1393.11	10.91	10.13	32.03	1298.65	15.02	7.8	29.89
72	1295.58	10.07	10.07	22.02	896.94	8.23	7.65	12.58	1653.37	7.74	7.24	29.74	808.46	7.85	3.37	7.37

หมายเหตุ :

A = *Sac. cerevisiae* TISTR 5092

Q = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0%

R = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03%

S = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05%

T = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1%

ตารางที่ 10. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้อง

ช.ม./เชื้อ	pH				ปริมาณน้ำตาล(Brix)				ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ppm)				จำนวนเซลล์(*10 cell/ml)				Alcohol (%)			
	BQ	BR	BS	BT	BQ	BR	BS	BT	BQ	BR	BS	BT	BQ	BR	BS	BT	BQ	BR	BS	BT
0	4.51	4.5	4.46	4.47	20	19.5	19.5	20	157.62	165.94	137.22	144.96	1.1	1.5	1.5	1.3	0	0	0	0
12	4.4	4.4	4.32	4.33	18	18.5	18.5	18	78.81	82.97	45.74	48.32	1.7	1.2	1	1.2	1.5	1	2	1
24	4.37	4.35	4.3	4.22	16.5	16.5	16	16	24.75	30.69	22.77	19	3.2	3.5	3.4	3.2	4.5	5	6	5.5
36	4.4	4.36	4.31	4.24	14.5	14.5	14.5	14	16.24	16.83	17.82	17.62	5.3	5.6	5.2	4.9	6.5	6.5	6.5	5.5
48	4.38	4.35	4.3	4.2	12.5	12	12	12	15.64	16.43	17.5	12.08	5.2	5.7	6.3	5.6	6.5	7	6.5	6
60	4.4	4.39	4.33	4.27	12	12	12	12	10.89	14.26	16.63	9.9	5.2	5.5	6.2	5.6	6.5	7	7	6.5
72	4.4	4.39	4.35	4.27	12	12	12	12	7.33	11.09	16.1	8.71	5.2	5.4	6.1	5.6	6.5	6	7	6

หมายเหตุ :

B = *Sac. cerevisiae* TISTR 5606

Q = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0%

R = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03%

S = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05%

T = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1%

ตารางที่ 11. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ TISTR 5606 ในกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

ความเข้มข้นต่างๆ กัน

ชั่วโมงที่	BQ (ppm)				BR (ppm)				BS (ppm)				BT (ppm)			
	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH
0	965.16	6.35	9.40	30.02	565.29	3.10	5.28	15.39	1039.44	6.87	11.9	35.89	486.77	4.07	6.28	20.18
12	1016.80	8.60	12.31	12.15	886.78	9.47	14.24	17.37	1041.53	13.91	8.86	11.4	1210.2	16.97	10.1	14.57
24	1239.33	9.24	10.53	28.70	1287.82	10.02	9.88	25.03	1252.42	11.85	9.66	26.59	1350.1	11.33	5.3	11.19
36	1626.85	9.63	9.86	33.85	1519.67	7.61	7.35	19.76	1537.57	9.37	8.46	24.21	1168.43	24.69	11.33	29.4
48	1347.70	9.07	11.62	32.82	1143.72	9.92	9.51	26.73	1017.79	14.45	13.68	43.66	1096.85	16.76	7.21	14.92
60	1024.99	3.13	3.53	6.92	1224.58	2.82	3.10	6.13	993.79	4.94	3.95	15.89	1038.7	23.06	10.1	36.9
72	400.86	0.00	1.35	3.19	1042.37	7.47	7.31	18.60	1305.54	5.92	5.63	15.53	1028.07	3.09	1.29	2.78

หมายเหตุ :

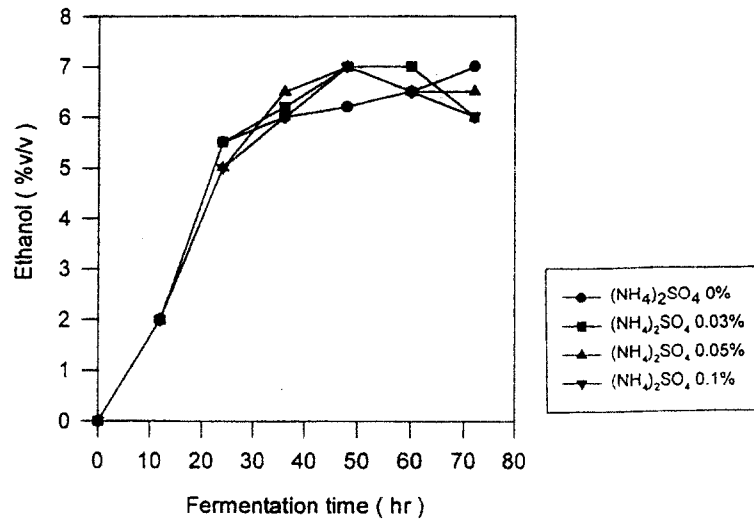
B = *Sac. cerevisiae* TISTR 5606

Q = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0%

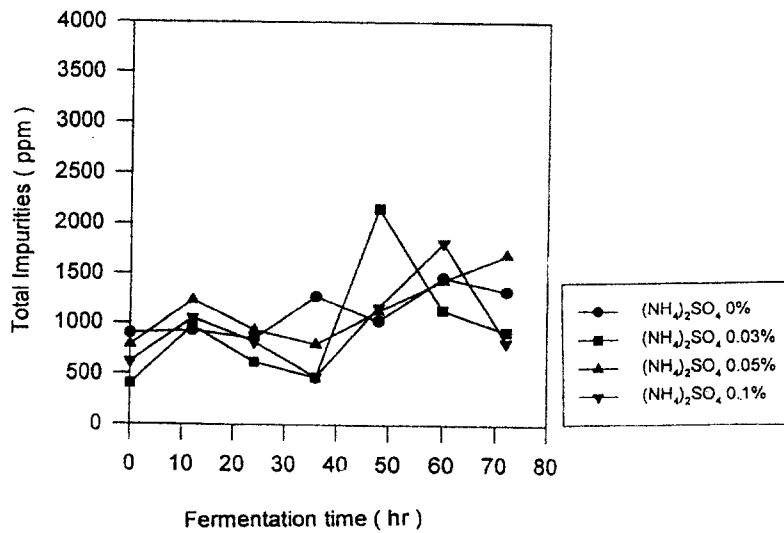
R = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03%

S = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05%

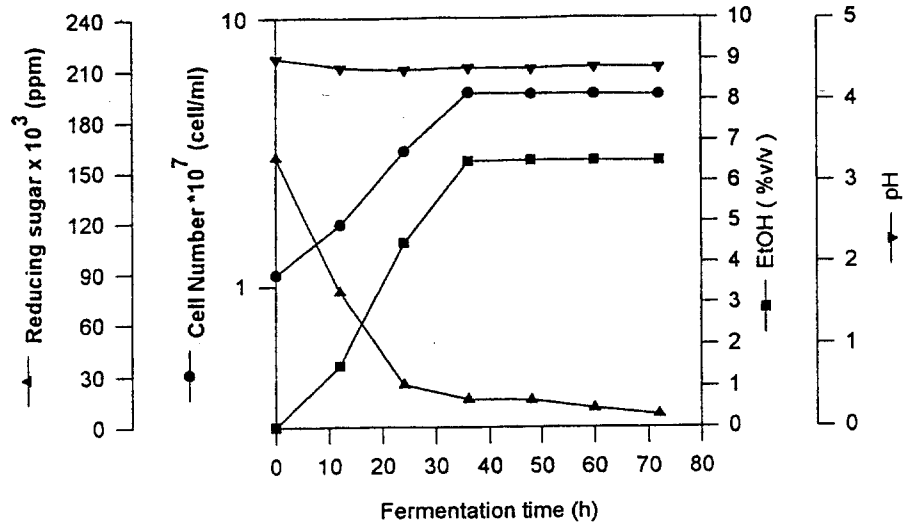
T = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1%



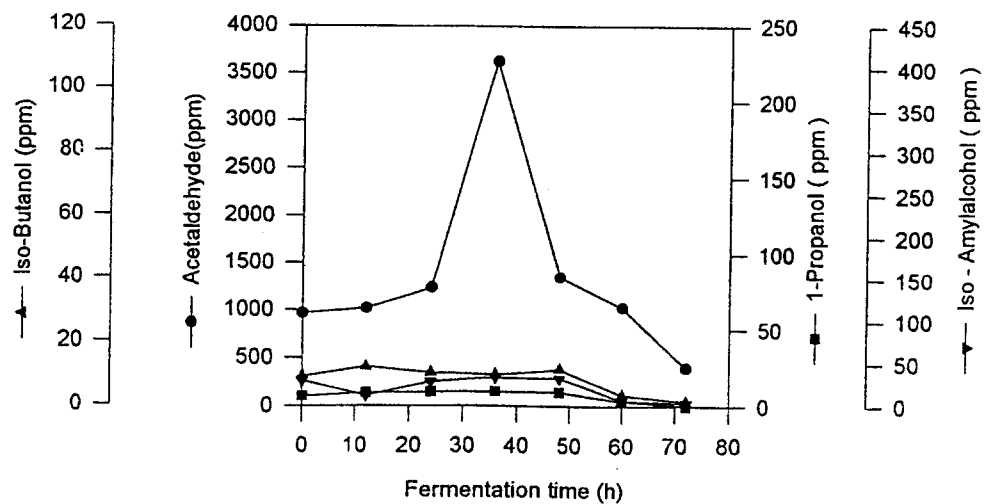
รูปที่ 39. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ % (NH₃)₂SO₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



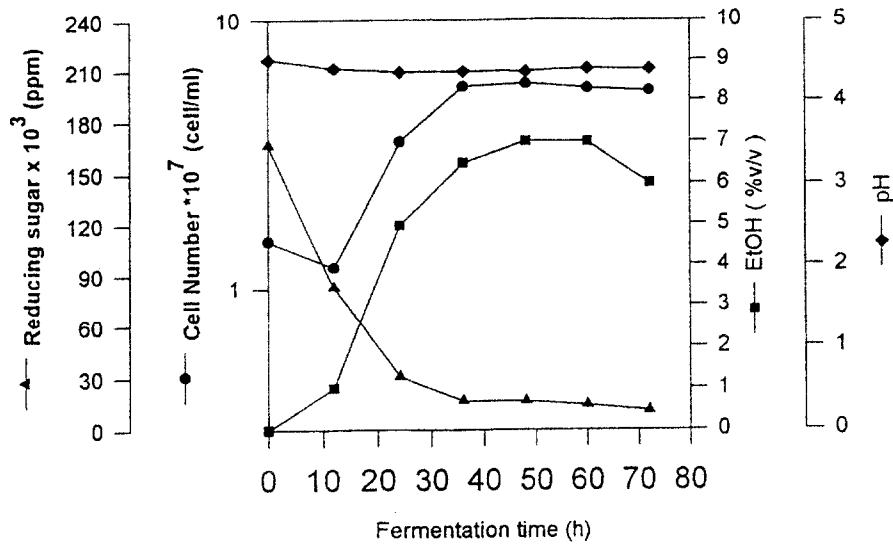
รูปที่ 40. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ % (NH₃)₂SO₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



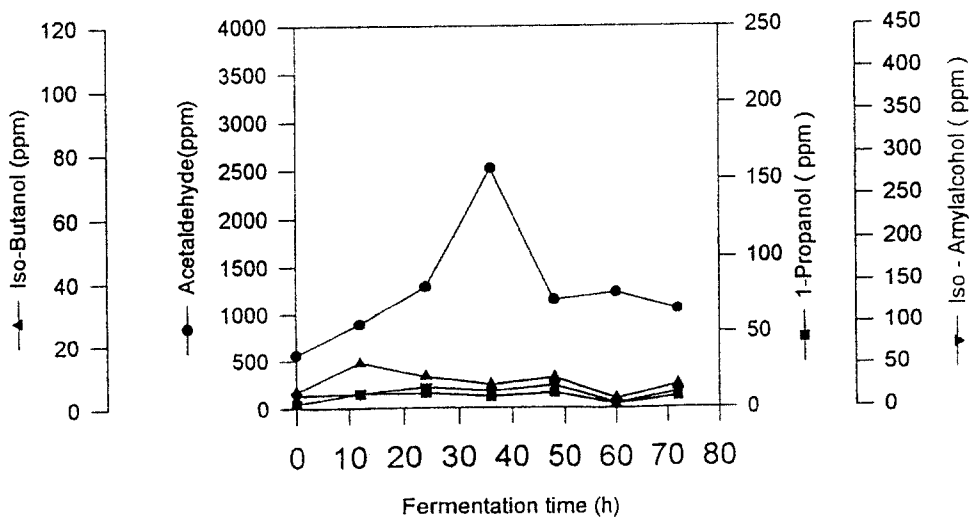
รูปที่ 41. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



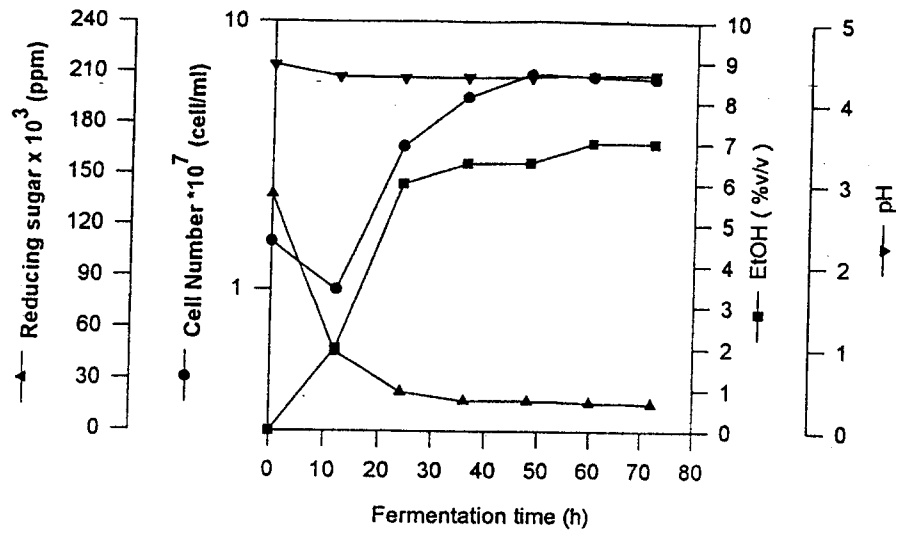
รูปที่ 42. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



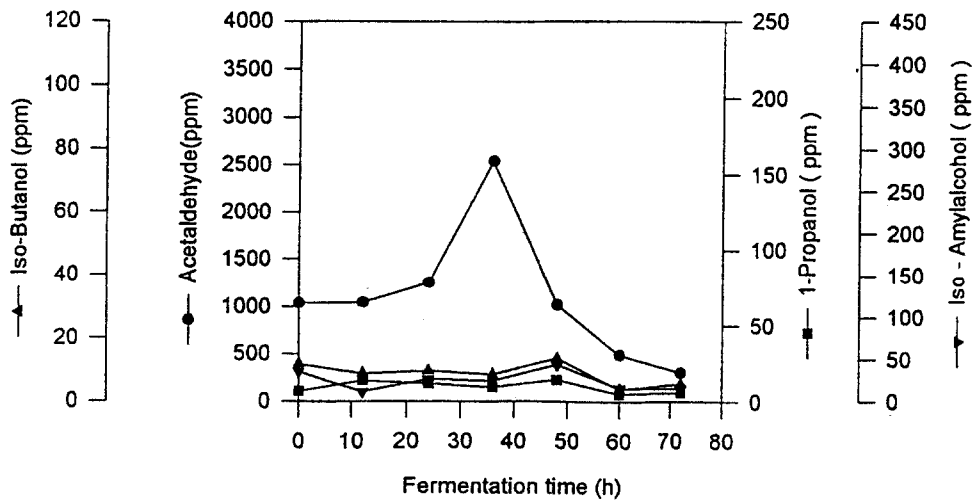
รูปที่ 43. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



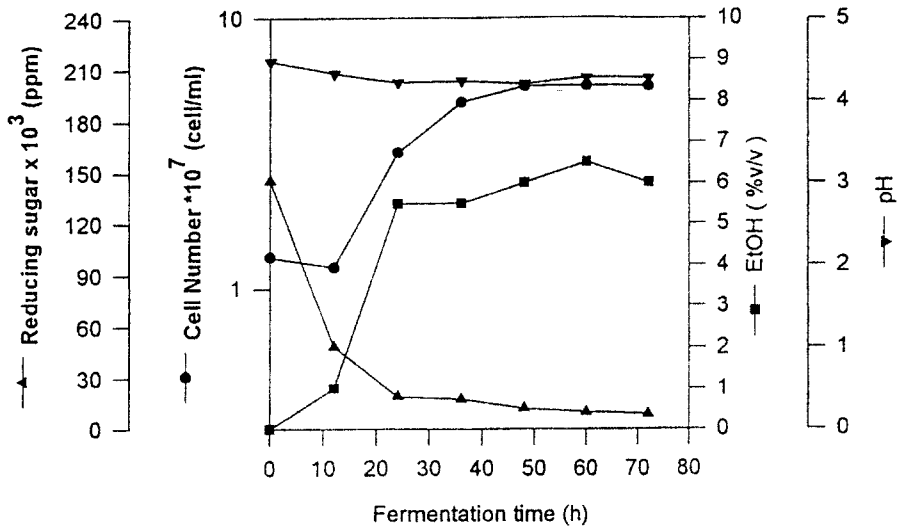
รูปที่ 44. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.03% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



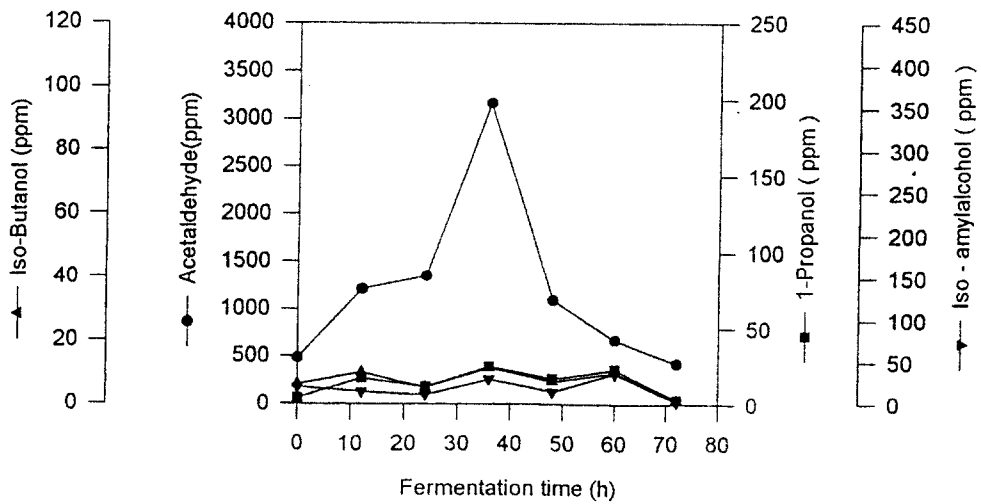
รูปที่ 45. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



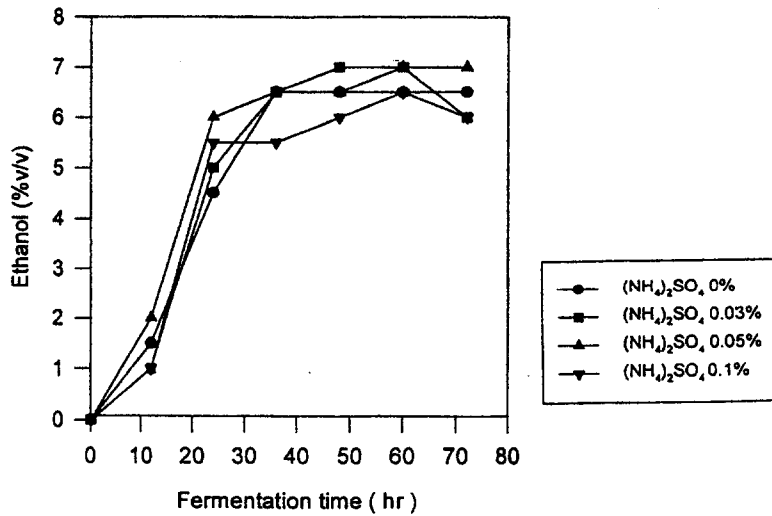
รูปที่ 46. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.05% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



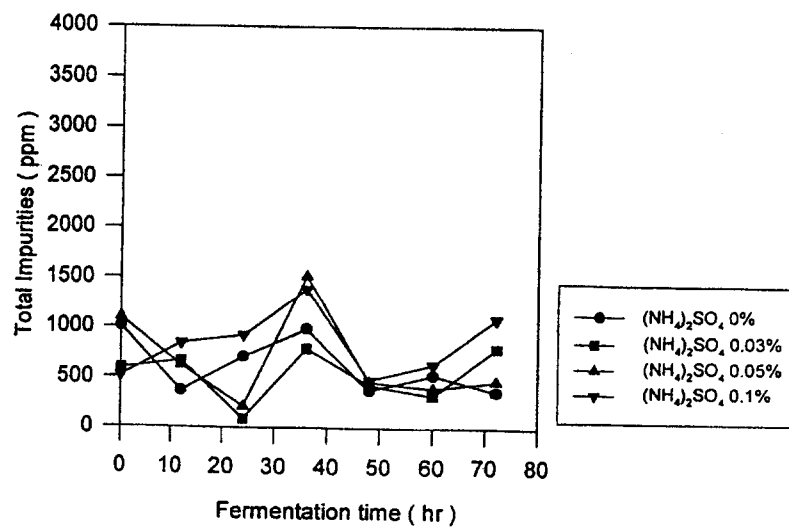
รูปที่ 47. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



รูปที่ 48. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix (NH₃)₂SO₄ 0.1% โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



รูปที่ 49. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอล ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 20% Brix % (NH₄)₂SO₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



รูปที่ 50. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวมที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 20% Brix % (NH₄)₂SO₄ ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.

2.3.4 ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ ในการหมักแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5092 และ TISTR 5606

ผลการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลโดยปรับระดับ pH เริ่มต้นของอาหารก่อน ทำการนี้มาเชื้อที่ pH 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5, พบว่าสายพันธุ์ 5092 ผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงที่สุดที่ระดับ pH 4.5 ชั่วโมงที่ 48 โดยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ 7% (ตารางที่ 12) รองลงมาคือที่ระดับ pH 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ 7, 6, 6% และ ตามลำดับ (รูปที่ 51 ถึง 57).

ในระหว่างกระบวนการหมักเมื่อเปรียบเทียบการเจริญของยีสต์ที่ระดับ pH ต่างๆ จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ 5092 เจริญได้ดีที่ pH 5.5 เนื่องจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือภายใน 48 ชั่วโมงจะต่ำลง โดยวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ 28.4×10^3 ppm (รูปที่ 53) และมีจำนวนเซลล์สูงสุด 10.7×10^7 cell/ml.

เมื่อตรวจวัดปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักในอาหารที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5 (รูปที่ 52 ถึง 58) จะเห็นได้ว่าปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน แต่จะมีแนวโน้มว่าเมื่อค่า pH เท่ากับ 4.5 ในการหมักแอลกอฮอล์กับสายพันธุ์ TISTR 5092 สร้างแอลกอฮอล์ได้สูงและมีปริมาณสารเจือปนต่ำ (ดังรูปที่ 51 และ 52).

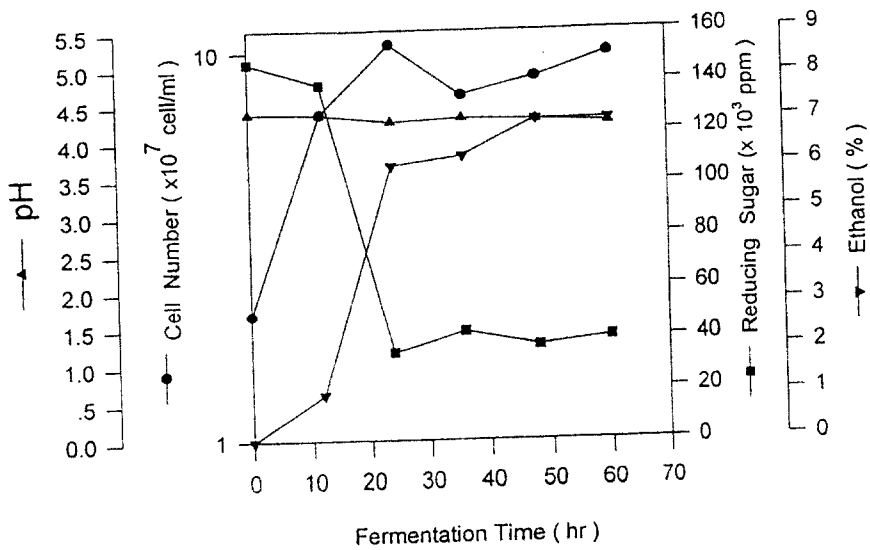
สำหรับสายพันธุ์ TISTR 5606 เมื่อวัดปริมาณแอลกอฮอล์ โดยเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่า pH เริ่มต้นของอาหารก่อนนี้มาเชื้อต่างๆ คือ 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5 (ตารางที่ 12) พบว่าสายพันธุ์ 5606 ผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงที่ pH 4.5 และ pH 5.5 เนื่องจากวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ 7% ภายใน 36 ชั่วโมง (รูปที่ 61 และ 63) และเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นความสามารถในการผลิตแอลกอฮอล์จะลดลง (รูปที่ 69).

เมื่อพิจารณาในระหว่างกระบวนการหมักเลี้ยงเชื้อที่มีค่า pH 5.5 จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลืออยู่น้อยที่สุด โดยวัดได้ 22.97×10^3 ppm ภายใน 60 ชั่วโมง และตรวจนับปริมาณของเซลล์ได้สูงสุดที่ 13.7×10^7 cell/ml (รูปที่ 63).

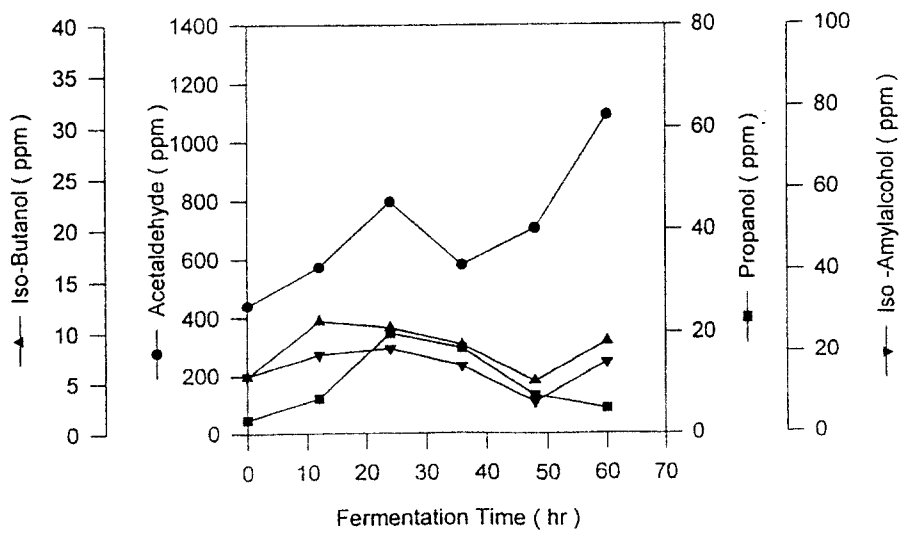
ระหว่างกระบวนการหมักปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ pH 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.5 (รูปที่ 62 ถึง 70) พบว่าปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นมีปริมาณใกล้เคียงกัน และค่า pH ที่วัดได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิดในระหว่างกระบวนการหมักจะค่อนข้างคงที่ โดยจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการทดลอง.

ดังนั้นจากผลการทดลองจึงพิจารณาเลือกค่า pH 4.5 ใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการหมักแอลกอฮอล์ เนื่องจากเป็นสภาวะที่ผลิตแอลกอฮอล์ได้สูง และในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมกากน้ำตาล 20% Brix จะมีค่า pH ใกล้เคียงกับ pH 4.5 โดยไม่ต้องปรับจึงเป็นสภาวะที่สะดวก ประหยัด และเหมาะสมในการผลิตแอลกอฮอล์ต่อไป.

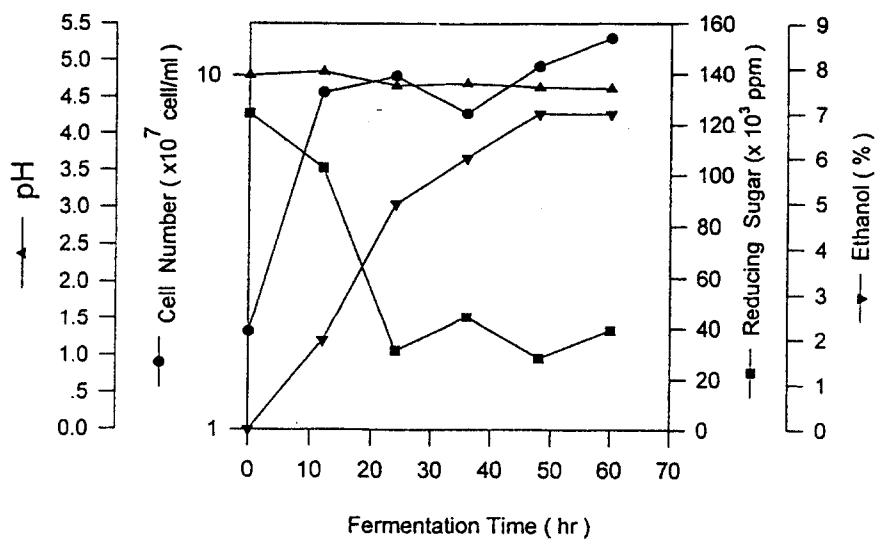
เมื่อเปรียบเทียบสายพันธุ์ 5606 และ 5092 ที่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ โดยดูจากอัตราเร็วในการผลิต, ปริมาณแอลกอฮอล์, และปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้น พบว่าสายพันธุ์ 5606 สามารถผลิตแอลกอฮอล์สูงสุดได้เร็วกว่าสายพันธุ์ 5092 และมีแนวโน้มในการสร้างสารเจือปนน้อยกว่า (ตารางที่ 12 ถึง 15), จึงเลือกใช้สายพันธุ์ 5606 ในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักต่อไป.



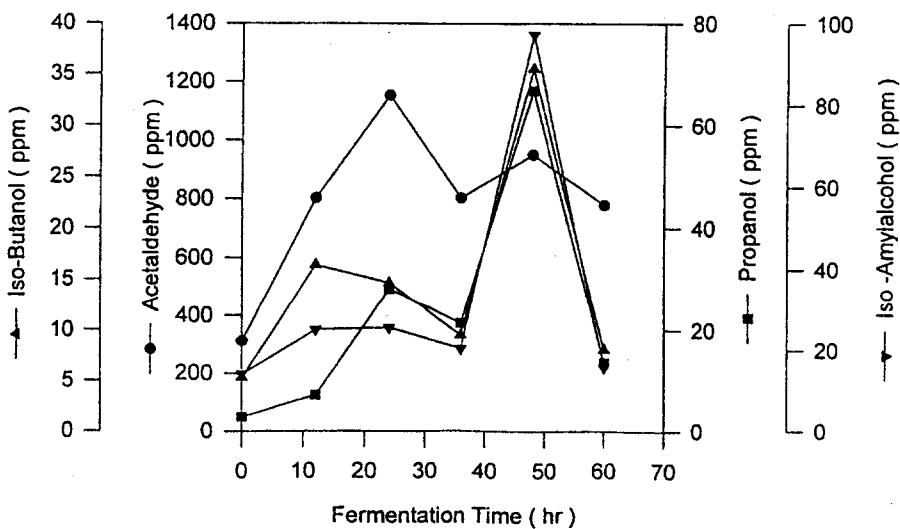
รูปที่ 51. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



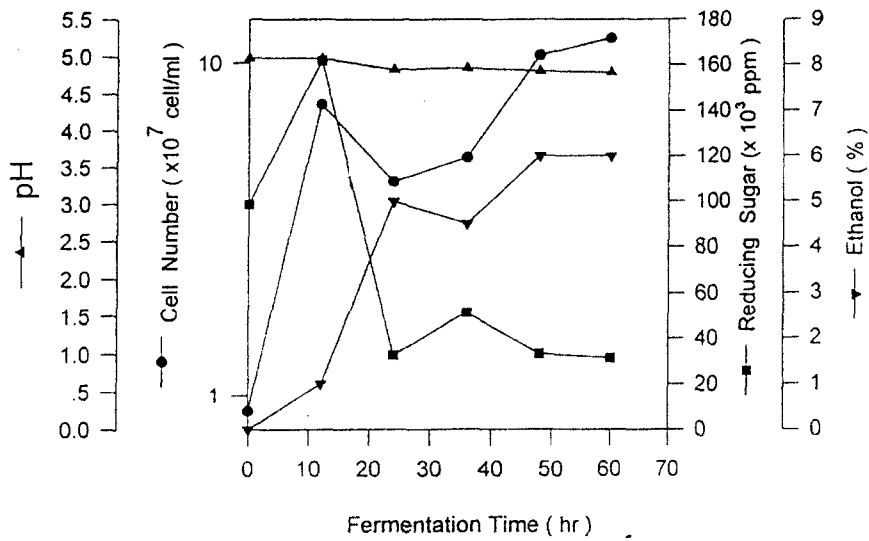
รูปที่ 52. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



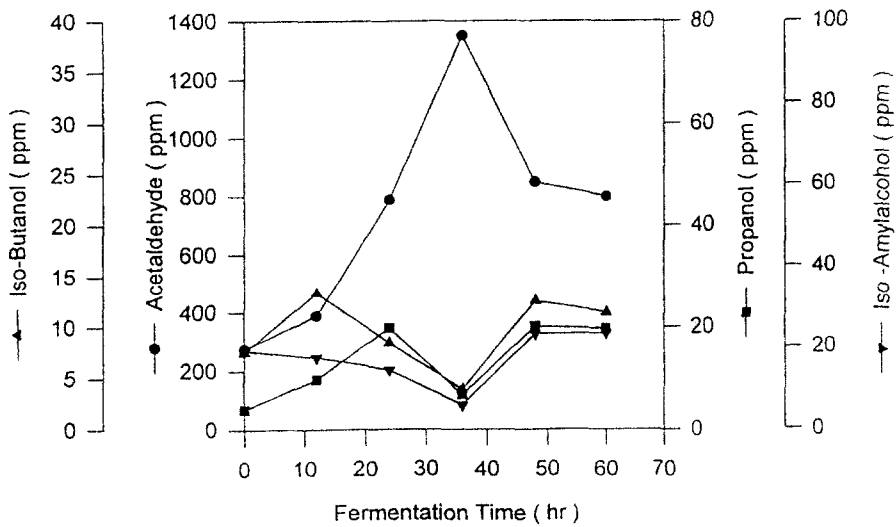
รูปที่ 53. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



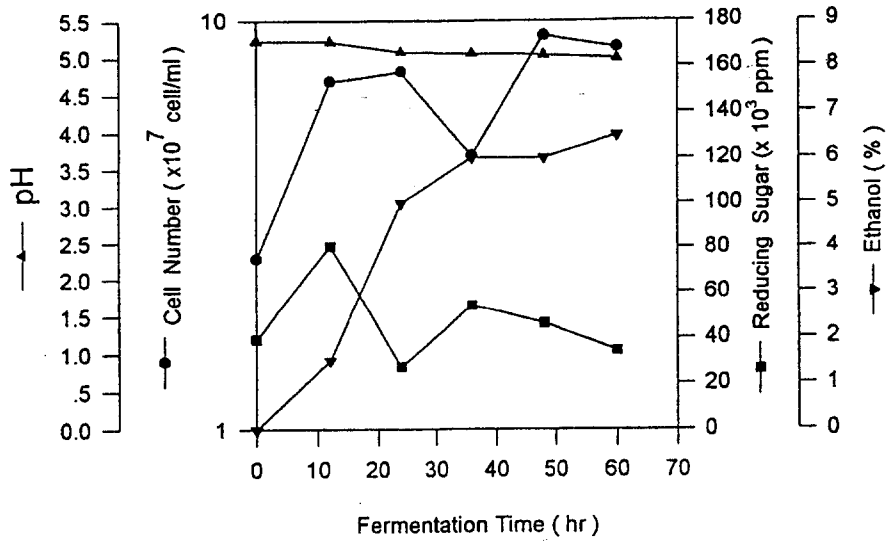
รูปที่ 54. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



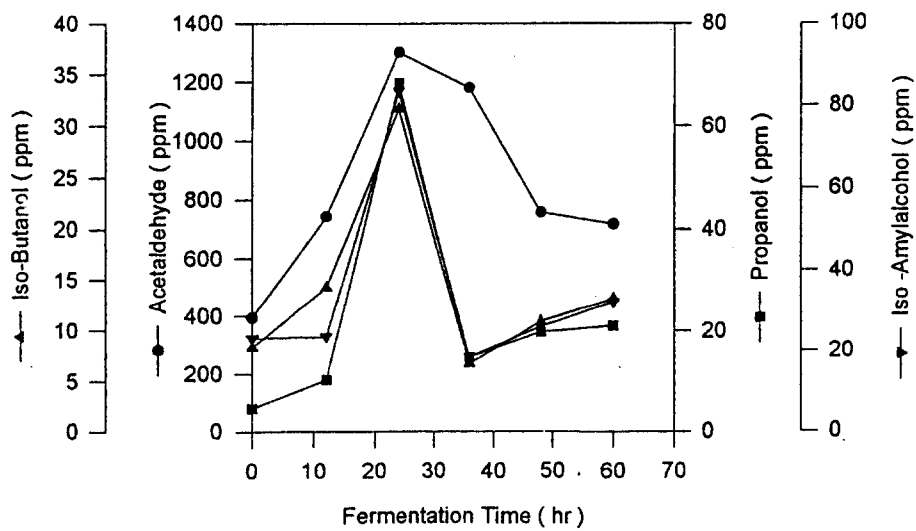
รูปที่ 55. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



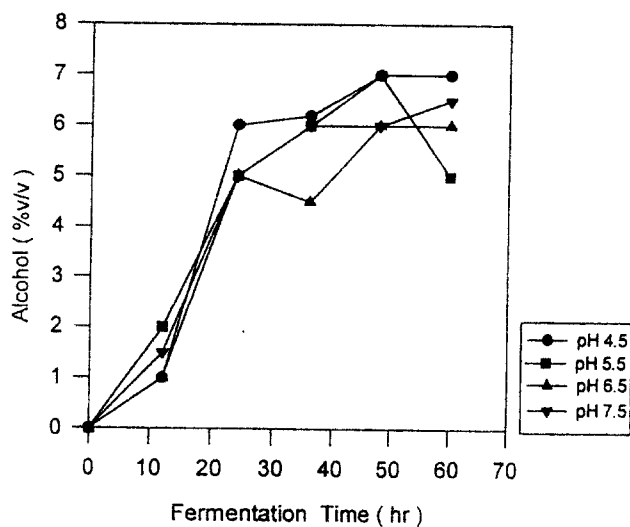
รูปที่ 56. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



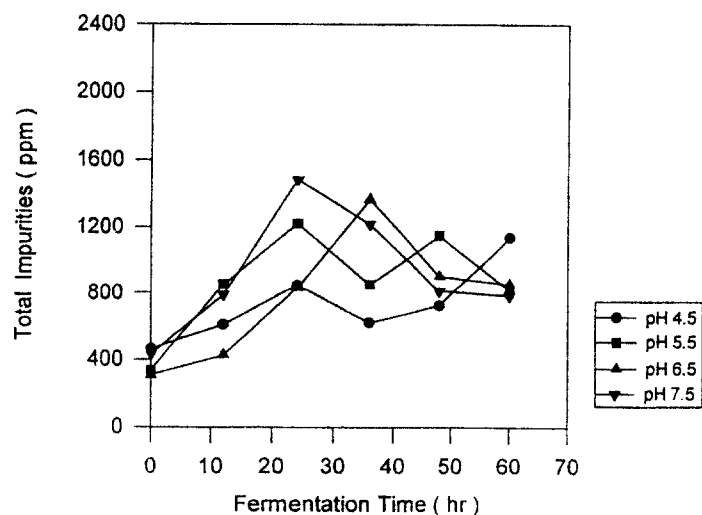
รูปที่ 57. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



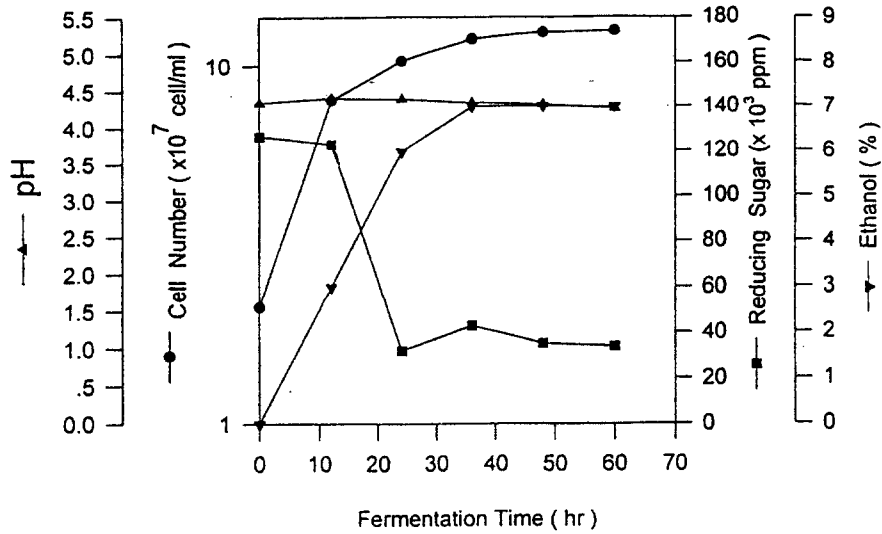
รูปที่ 58. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



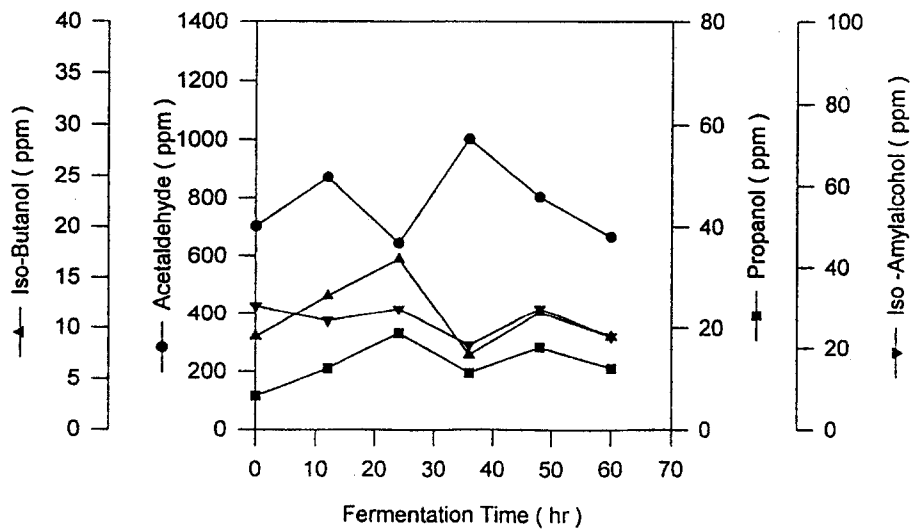
รูปที่ 59. การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



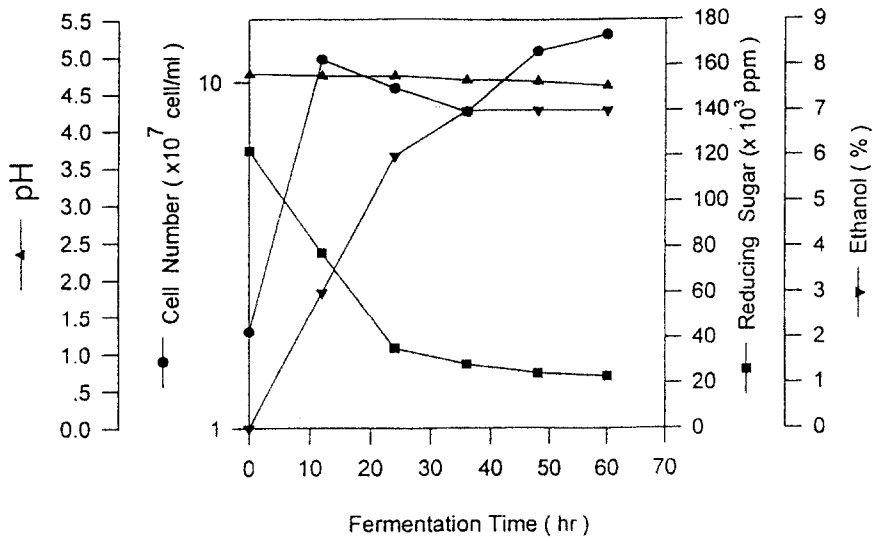
รูปที่ 60. กราฟเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH โดยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5092.



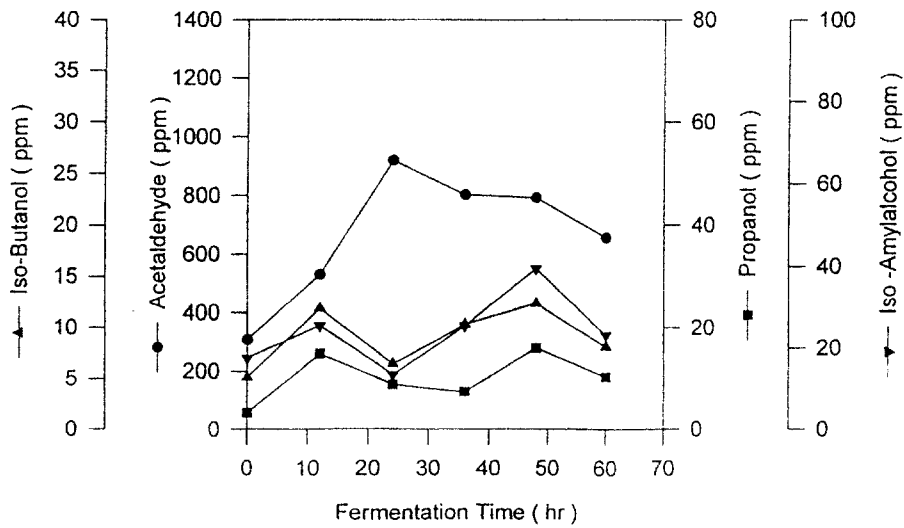
รูปที่ 61. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



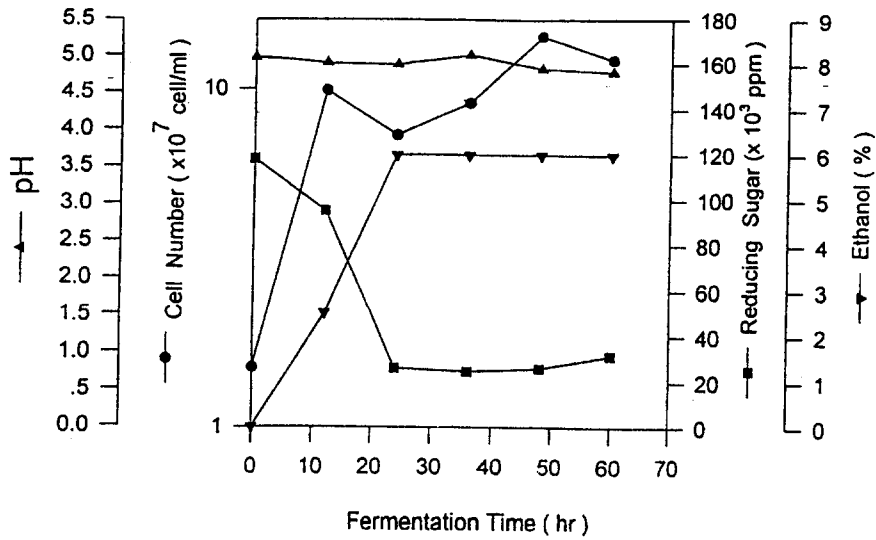
รูปที่ 62. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 4.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



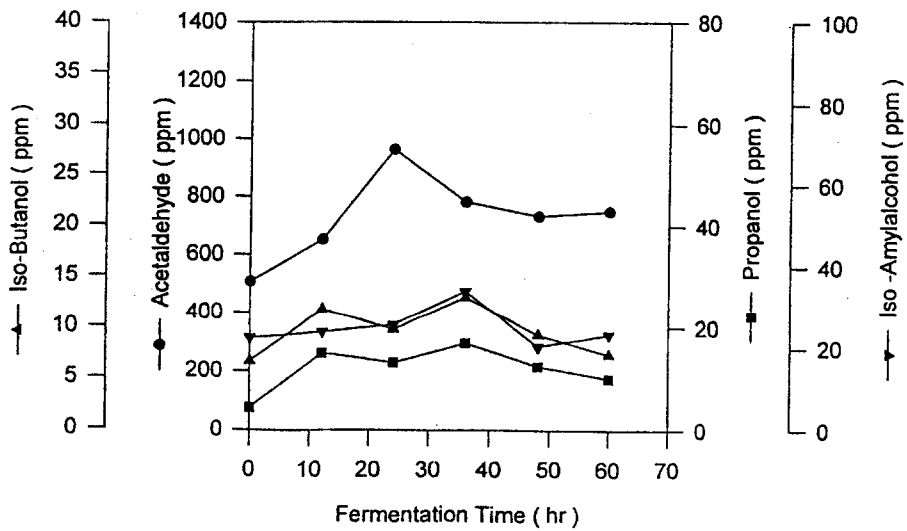
รูปที่ 63. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



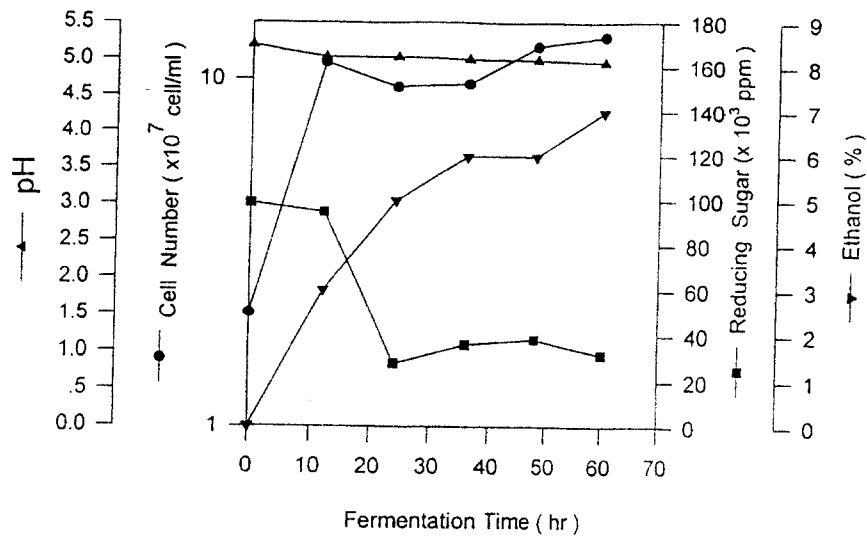
รูปที่ 64. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 5.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



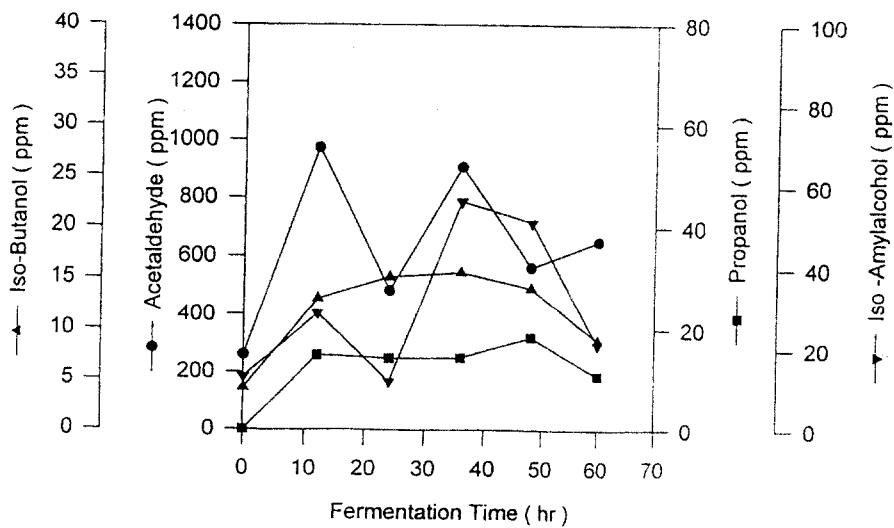
รูปที่ 65. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



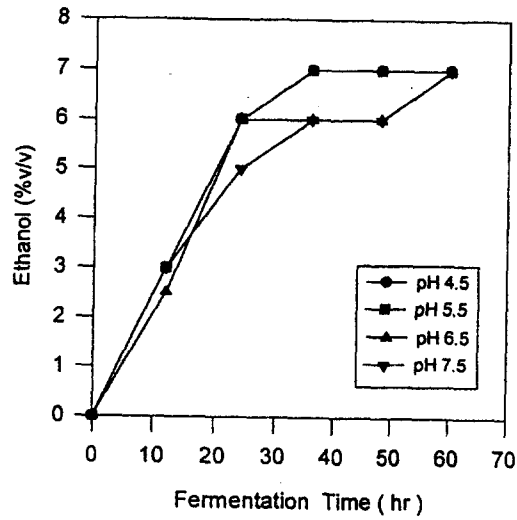
รูปที่ 66. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 6.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



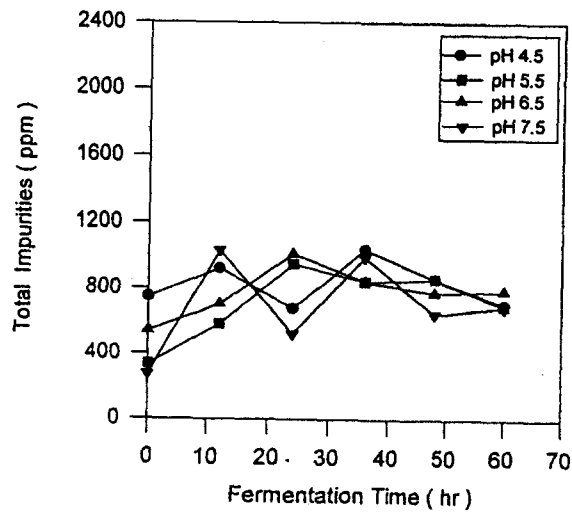
รูปที่ 67. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



รูปที่ 68. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix pH 7.5 โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



รูปที่ 69. กราฟเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



รูปที่ 70. การเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวม ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่ pH ต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.

ตารางที่ 12. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix มี pH เริ่มต้นต่างๆ กัน โดยยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5092 ที่อุณหภูมิห้อง

พ.ม./ชื่อ	pH				ปริมาณน้ำตาล(Brix)				ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ³ ppm)				จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)				Alcohol (%)			
	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5
0	4.37	4.79	4.98	5.23	20	19	19.6	20	147.29	124.29	98.19	39.28	2.1	1.9	0.9	2.6	0	0	0	0
12	4.36	4.85	4.98	5.22	18	17	17	18	138.76	103.1	162.02	80.36	6.9	9	7.5	7.1	1	2	1	1.5
24	4.26	4.66	4.83	5.08	15	15	15.6	16	34.11	31.27	32.56	27.13	10.5	10	4.4	7.5	6	5	5	5
36	4.3	4.68	4.85	5.06	13	13	13	14	42.11	44.66	51.04	53.91	7.7	7.8	5.2	4.7	6.2	6	4.5	6
48	4.27	4.64	4.81	5.04	13	13	13	13.4	36.68	28.39	33.17	46.25	8.6	10.7	10.6	9.2	7	7	6	6
60	4.23	4.62	4.79	4.99	13	13	13	13	39.87	39.23	31.26	34.45	9.9	12.8	11.9	8.6	7	5	6	6.5

ตารางที่ 13. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตแอลกอฮอล์โดยวิธีดัด TISTR 5092 ในกาน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี pH เริ่มต้นต่างๆ กัน

ชั่วโมงที่	pH4.5 (ppm)				pH5.5 (ppm)				pH6.5 (ppm)				pH7.5 (ppm)			
	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH
0	441.25	2.63	5.61	14.23	312.06	2.88	5.31	14.13	274.78	3.91	7.54	19.22	393.46	4.56	8.31	23.1
12	572.75	6.93	11.10	19.49	804.23	7.91	16.46	25.16	387.74	9.67	13.3	17.52	742.53	10.22	14.28	23.49
24	795.74	19.81	10.44	20.97	1154.10	28.02	14.62	25.55	788.1	19.73	8.41	14.41	1300.73	68.44	31.69	83.46
36	579.16	16.80	8.73	16.59	802.34	21.40	9.50	20.45	1350.76	6.71	3.88	5.58	1179.19	14.59	6.67	18.44
48	703.79	7.49	5.15	7.75	950.24	66.81	35.54	97.27	847.95	20.02	12.49	23.19	755.95	19.67	10.88	25.91
60	1093.83	14.88	9.10	17.62	780.34	13.58	8.07	15.90	798.44	19.64	11.37	23.4	715.33	20.94	13.13	32.03

ตารางที่ 14. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี pH เริ่มต้นต่างกัน โดยยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิห้อง

ข.ม./เชื้อ	pH				ปริมาณน้ำตาล(Brix)				ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ³ ppm)				จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)				Alcohol (%)			
	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5	pH4.5	pH5.5	pH6.5	pH7.5
0	4.33	4.77	4.98	5.19	20	19.2	19.4	20	126.87	122.22	118.35	98.97	2.1	1.9	1.5	2.1	0	0	0	0
12	4.4	4.74	4.91	5.03	17	17	17	17	123.26	77.26	95.09	94.83	8	11.6	9.9	11.2	3	3	2.5	3
24	4.38	4.74	4.88	5.03	15	15	15	15.4	32.04	35.4	26.1	27.91	10.3	9.6	7.3	9.5	6	6	6	5
36	4.33	4.69	5.02	5	13	13	13	14	42.74	28.07	24.56	36.04	11.9	8.2	9.1	9.7	7	7	6	6
48	4.3	4.67	4.83	4.99	13	13	13	13	35.09	24.24	25.84	38.28	12.4	12.3	14.4	12.5	7	7	6	6
60	4.25	4.61	4.78	4.96	13	13	13	13	33.81	22.97	31.58	31.9	12.5	13.7	12.2	13.3	7	7	7	7

ตารางที่ 15. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตแอลกอฮอล์โดยวิธีสตี TISTR 5606 ในกาน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ที่มี pH เริ่มต้นต่างๆ กัน

ชั่วโมงที่	pH4.5 (ppm)				pH5.5 (ppm)				pH6.5 (ppm)				pH7.5 (ppm)			
	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	I-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH
0	701.41	6.59	9.14	30.49	308.10	3.19	5.12	17.56	507.69	4.32	6.71	22.44	259.91	0	4.12	13.1
12	870.92	11.97	13.18	26.70	531.45	14.80	11.87	25.48	653.78	15.01	11.83	24.05	974.47	14.81	13.02	28.89
24	643.32	19.02	16.81	29.79	920.05	8.75	6.40	13.39	962.5	13.16	9.84	25.73	483.67	14.19	15.14	11.97
36	1001.74	11.14	7.30	20.67	801.68	7.42	10.31	25.42	781.19	16.93	12.96	33.89	906.21	14.3	15.6	56.31
48	802.89	16.13	11.52	29.78	792.39	15.95	12.30	39.41	733.1	12.4	9.26	20.32	562.94	18.42	14.05	51.2
60	664.71	12.07	9.14	22.93	655.63	10.29	8.09	23.05	749.84	9.98	7.34	23.24	651.74	10.75	8.89	21.21

2.3.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ ในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลของเชื้อยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606

จากผลการทดลองผลิตแอลกอฮอล์ด้วยกากน้ำตาลที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 25, 30, 35 และ 40°C. และอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 16) เป็นเวลา 60 ชั่วโมง พบว่าสายพันธุ์ 5606 จะผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงที่อุณหภูมิ 30°C. โดยผลิตได้สูงสุด 8% v/v ภายใน 36 ชั่วโมง (ตารางที่ 16 และ รูปที่ 75), รองลงมาที่อุณหภูมิ 35°C, 25°C. และห้องปฏิบัติการ (25-35°C.) ผลิตแอลกอฮอล์ได้ 6.5% v/v เท่ากันที่ชั่วโมง 36 ส่วนที่อุณหภูมิ 35°C. จะผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงขึ้นถึง 8% v/v ที่ชั่วโมงที่ 48 ของการหมักและที่อุณหภูมิห้องจะผลิตได้ถึง 7% v/v ที่ชั่วโมงที่ 48 ของการหมัก. สำหรับที่อุณหภูมิ 40°C. ที่ชั่วโมงที่ 36 ผลิตแอลกอฮอล์ ได้เพียง 6% v/v หลังจากนั้นผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 6.5% v/v ที่ชั่วโมงที่ 48, สรุปได้ว่าช่วงอุณหภูมิ 30-35°C. การผลิตแอลกอฮอล์ได้ดีคือ 8% v/v แต่ที่อุณหภูมิ 30°C. เชื้อมีอัตราเร็วในการผลิตแอลกอฮอล์สูงกว่า (รูปที่ 81).

ในระหว่างกระบวนการหมักค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อจะค่อนข้างคงที่ โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 4.2-4.3 เมื่อดูจากปริมาณเซลล์พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์จะอยู่ในช่วง 25-30°C. โดยให้ปริมาณเซลล์สูงสุด 12.45×10^7 cell/ml. และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจำนวนเซลล์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง โดยจะวัดได้ต่ำสุดที่อุณหภูมิ 40°C. วัดปริมาณ cell ได้ 5.6×10^7 cell/ml (รูปที่ 71 ถึง 79) เมื่อวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าที่อุณหภูมิ 35°C. จะเหลือน้ำตาลรีดิวซ์น้อยที่สุดคือ 18.87×10^3 ppm.

เมื่อพิจารณาปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก (ตารางที่ 17) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 25°C. -35°C. ปริมาณสารต่างๆ มีแนวโน้มลดลงด้วย (รูปที่ 72 ถึง 80).

จากผลการทดลองการหมักแอลกอฮอล์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมครั้งนี้ได้คัดเลือกสายพันธุ์ TISTR 5606 ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ 20% Brix โดยมีความเข้มข้นของอาหารเสริม $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ระดับ 0.03% (v/v), ทำการหมักในสภาวะ pH 4.5 ที่อุณหภูมิ 30°C. ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้แอลกอฮอล์สูงที่สุดและมีปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักต่ำสุด.

ตารางที่ 18 และ 19 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์ และปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นจากการหมักกากน้ำตาลด้วยเชื้อยีสต์ TISTR 5606 ณ โรงงานแอลกอฮอล์ส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ตามลำดับ.

รูปที่ 84 ถึงรูปที่ 90 แสดงเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาทดลองและการวิเคราะห์.

ตารางที่ 16. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ TISTR 5606 ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

ร.น./หรือ	pH					ปริมาณน้ำตาล(Brix)					ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ³ ppm)					จำนวนเซลล์(*10 ⁷ cell/ml)									
	control	25°C	30°C	35°C	40°C	control	25°C	30°C	35°C	40°C	control	25°C	30°C	35°C	40°C	control	25°C	30°C	35°C	40°C					
	0	4.41	4.35	4.35	4.32	4.34	20	20	20	20	20	112.04	136.11	144.91	127.66	123.96	1.5	2.2	2.8	2.1	2.45	0	0	0	0
12	4.32	4.27	4.27	4.25	4.24	17	18	17.5	17	17	62.04	98.61	84.96	79.98	110.19	12.8	10.9	10.55	7.3	5.4	3	2.75	3.75	4	3.25
24	4.28	4.26	4.27	4.28	4.21	15	15	14.5	14	15	38.66	36.11	26.39	33.57	66.32	14.6	12.7	11.75	7.05	5.05	3	3	7	6.5	5
36	4.31	4.3	4.3	4.28	4.31	13	13.2	13.5	13.4	14	34.03	16.9	16.32	20.03	30.09	14.3	10.95	10.05	8.6	4.85	6.5	6.5	8	6.5	6
48	4.31	4.32	4.3	4.28	4.29	13	13	13	13.2	14	28.7	22.57	20.61	21.3	28.13	16.8	13.85	12.65	9.55	4.7	7	6.25	8	8	6.5
60	4.33	4.3	4.27	4.26	4.26	13	13	13	13	14	31.02	26.39	22.8	18.87	31.14	13.9	12.45	10.75	7.4	5.6	7	6.5	7	7.5	6.5

ตารางที่ 17. ปริมาณสารเจือปนที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตแอลกอฮอล์โดยวิธีสตีท TISTR 5606 ในกาน้ำตาลที่มีความหวาน 20% Brix ทำการหมักที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

ชั่วโมงที่	Impurities control 25-35°C (ppm)				Impurities 25°C (ppm)				Impurities 30°C (ppm)				Impurities 35°C (ppm)				Impurities 40°C (ppm)			
	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH
0	395.45	0	4.13	11.14	464.71	0.00	3.83	15.91	656.54	0.00	4.63	12.50	549.45	0	2.45	11.62	1144.98	9.24	11.8	30.87
12	895.48	5.99	6.02	11.83	787.14	12.04	9.46	15.58	825.04	13.47	7.76	17.53	745.93	10.22	6.72	14.13	1160.87	9.77	25.111	69.14
24	1316.38	0	0.92	0	1475.30	4.45	1.49	2.80	1319.30	11.48	8.39	10.10	1277.81	0	1.28	0	663.5	15.46	18.85	23.39
36	1221.2	13.5	12.79	59.16	1523.23	5.48	3.40	5.40	1388.35	22.53	16.36	46.83	1161.43	35.02	24.2	27.61	1120.41	7.08	5.04	6.67
48	949.14	17.43	23.81	86.34	825.31	7.92	6.00	8.34	1210.86	41.81	33.94	51.59	905.71	4.78	2.74	1.02	869.71	9.04	5.73	8.89
60	1687.79	152.98	197.21	2.89	643.85	11.83	8.61	5.52	430.77	50.17	35.76	21.99	1111.35	6.97	4.91	4.73	839.15	19.76	12.66	29.46

ตารางที่ 18. ผลการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลโดย *Sac. cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) ณ โรงงานแอลกอฮอล์ส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

ช.ม./ชื่อ	pH			ปริมาณน้ำตาล(Brix)			ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(*10 ppm)			จำนวนเซลล์(*10 cell/ml)			Alcohol (%)							
	F1	F2.1	F2.2	F3	F1	F2.1	F2.2	F3	F1	F2.1	F2.2	F3	F1	F2.1	F2.2	F3				
0	4.66	4.74	4.71	5.19	24	26	25	24	77.82	137.23	115.05	111.88	2.5	1.05	0.5	1.2	0.15	0.3	0.4	0.75
12	4.63	5.12	5.12	5.15	26.5	22	23	22	43.17	83.76	97.23	53.86	13.3	5.05	4.1	7.5	2.1	1.3	1.7	2.25
24	4.69	5.09	5.03	5.2	19.6	20.4	19.4	18.6	18.81	42.97	39.01	20.99	8.15	7.3	6.9	12	5.95	5	5.2	5.25
36	4.83	5.17	5.16	5.16	17.6	16.6	16.2	17	18.02	20.59	19.8	19.21	8.5	9.15	8.7	17	7.65	8.1	8.2	7.7
48	4.76	5.14	5.15	5.14	16.6	16.2	16	16	13.47	15.25	2.08	17.23	9.7	8.1	7.1	11	8.45	8.9	8.4	8.3
60	4.73	5.25	5.25	5.18	16.6	16.2	16	16	14.46	16.83	18.02	15.25	9.7	7.2	9.8	12	8.45	8.9	8.6	8.4
72	4.74	5.27	5.18	5.2	16.2	16.2	16	15.8	1.98	14.26	11.88	13.66	14.2	4.7	2.7	11	8.35	8.9	8.5	8.6

F1 = การหมักครั้งที่ 1

F2.1 = การหมักครั้งที่ 2 ครั้งที่ 1

F2.2 = การหมักครั้งที่ 2 ครั้งที่ 2

F3 = การหมักครั้งที่ 3

ตารางที่ 19. ปริมาณสารที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตแอลกอฮอล์ในกากน้ำตาลโดย *Sac. cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) ณ โรงงานแอลกอฮอล์ส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

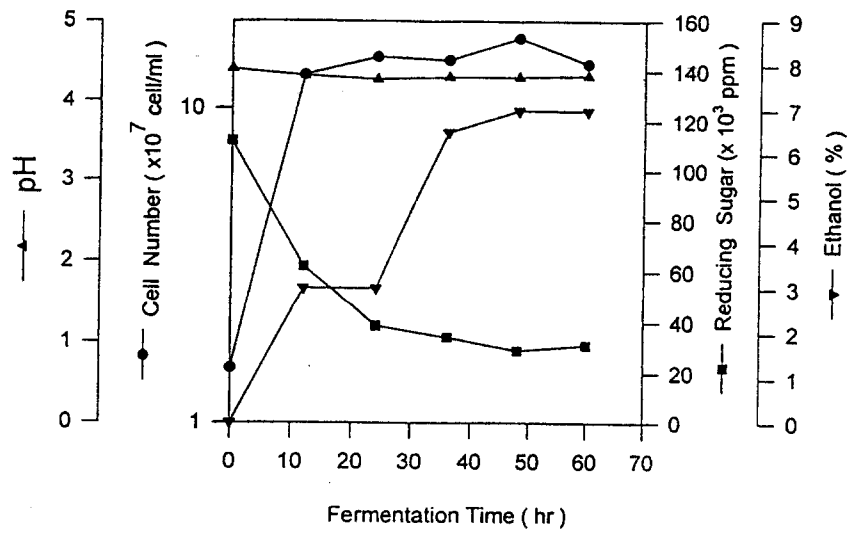
ช.ม./หรือ	F1					F2.1					F2.2					F3				
	Acetaldehyde	1-ProOH	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-ProOH	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-ProOH	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-ProOH	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetaldehyde	1-ProOH	Iso-BuOH	Iso-AmOH
0	292.655	3.53217	8.43124	7.70895	760.38	5.97	12.15	11.78	339.69	0	8.66	8.55	446.27	4.17	8.65	7.83				
12	1476.758	12.26413	19.75708	24.31455	1207.47	10.22	17.05	23.72	910.09	7.14	11.82	10.13	1249.86	4.14	7.34	8.56				
24	1399.169	11.53507	18.58284	36.02505	1148.67	11.19	15.48	32.71	986.49	4.4	7.65	12.08	667.98	5.77	7.51	16.23				
36	899.6033	4.59224	8.71168	19.1882	1018.44	7.57	15.34	40.97	1310.41	6.65	17.45	40.39	802.79	0	9.14	43.91				
48	812.6375	5.41767	10.25656	30.9024	885.97	11.96	24.19	79.39	679.69	2.87	6.18	9.75	1344.09	6.7	10.2	45.39				
60	1343.329	13.36191	25.92348	84.08435	1461.71	9.67	29.02	93.47	933.6	5.04	11.63	22.03	1020.06	4.39	7.22	15.3				
72	803.4247	6.59925	11.17824	25.9259	1148.38	20.17	42.22	143.5	1034.95	10.7	23.28	74.12	1063.75	13.32	20.61	70.28				

F1 = การหมักครั้งที่ 1

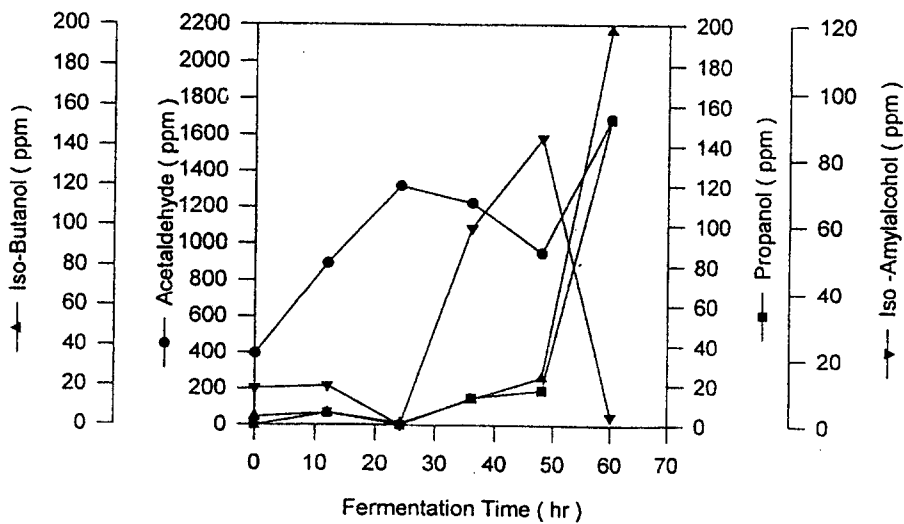
F2.1 = การหมักครั้งที่ 2 ถึงที่ 1

F2.2 = การหมักครั้งที่ 2 ถึงที่ 2

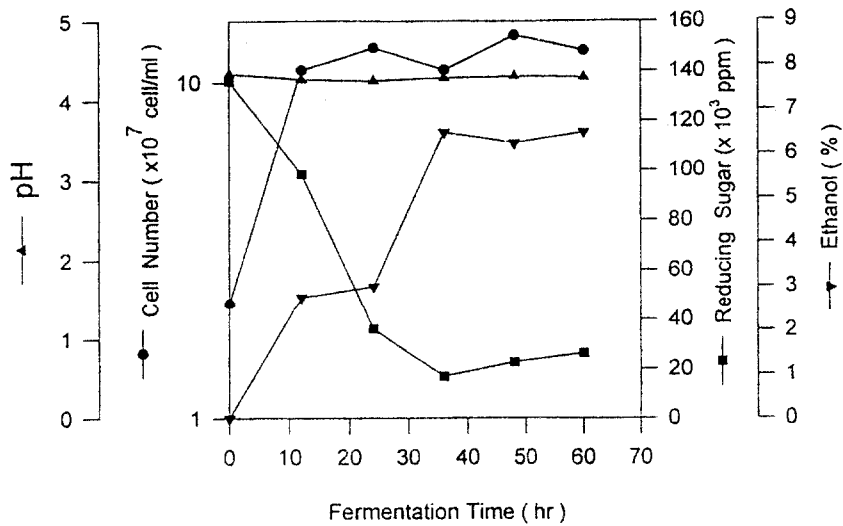
F3 = การหมักครั้งที่ 3



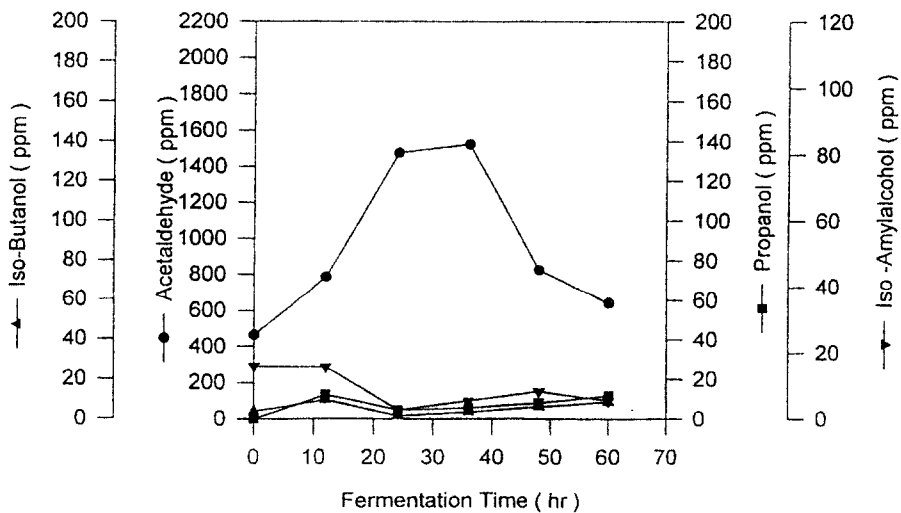
รูปที่ 71. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิห้อง.



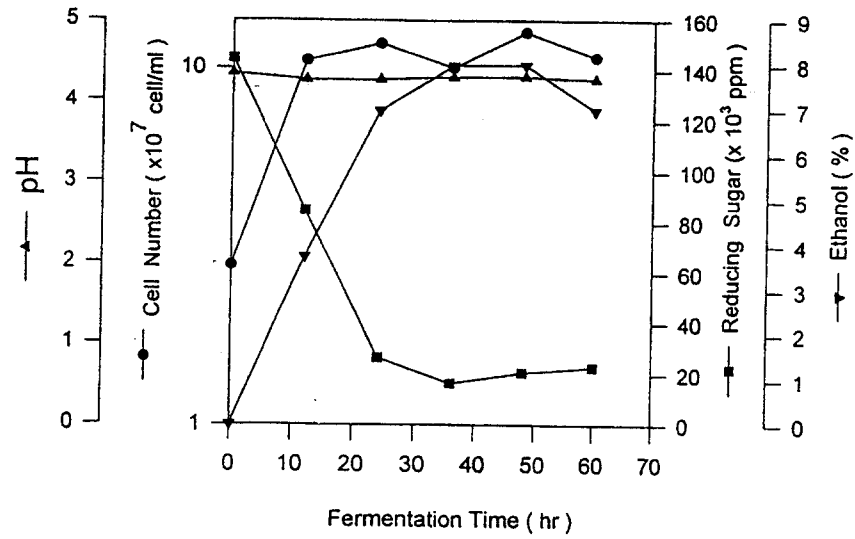
รูปที่ 72. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิห้อง.



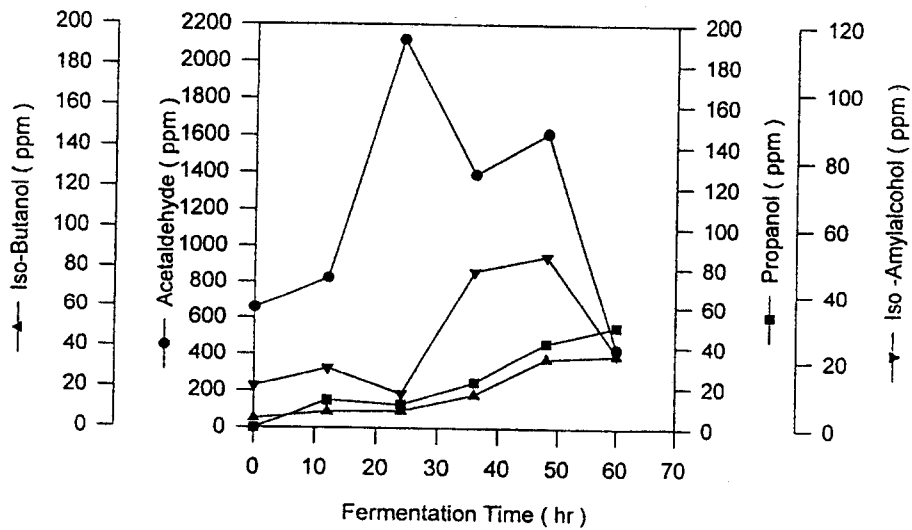
รูปที่ 73. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 25^oซ.



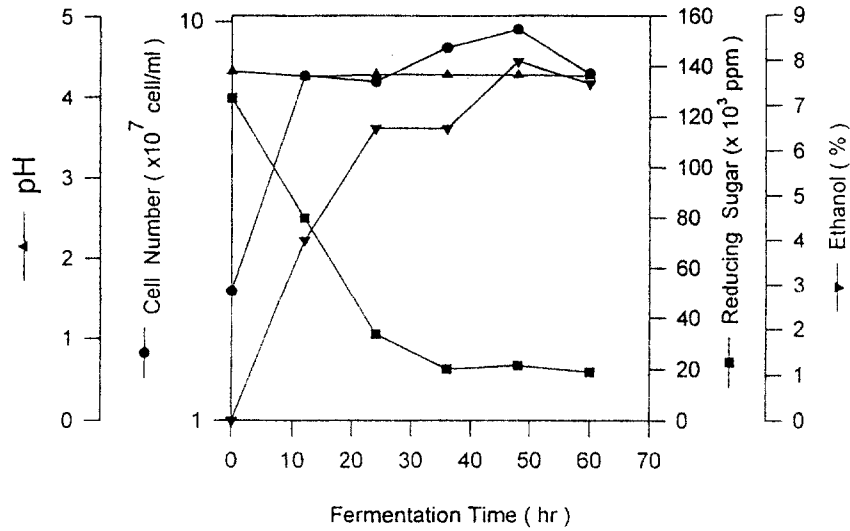
รูปที่ 74. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 25^oซ.



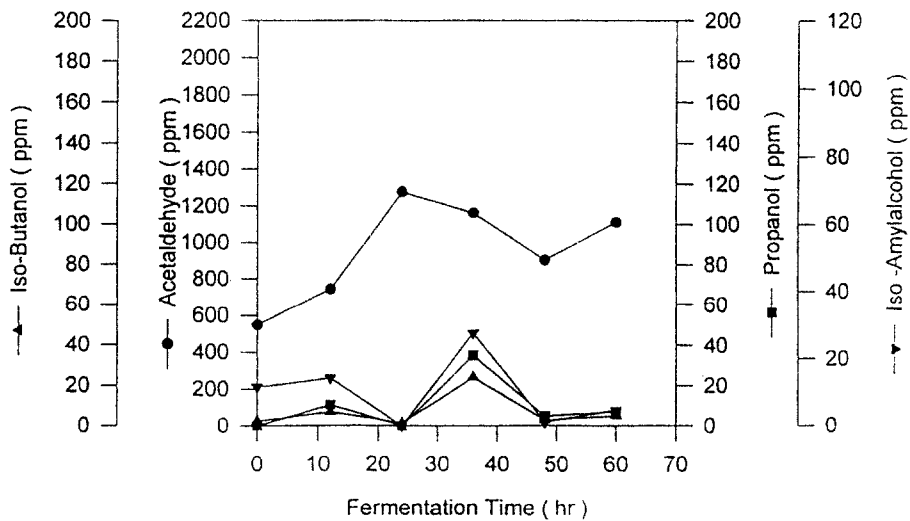
รูปที่ 75. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20%Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 30^oซ.



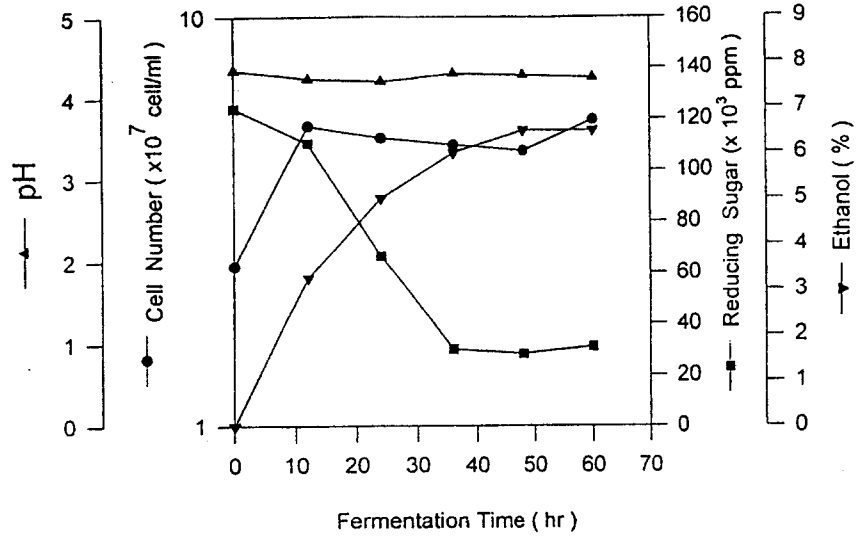
รูปที่ 76. ปริมาณสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 30^oซ.



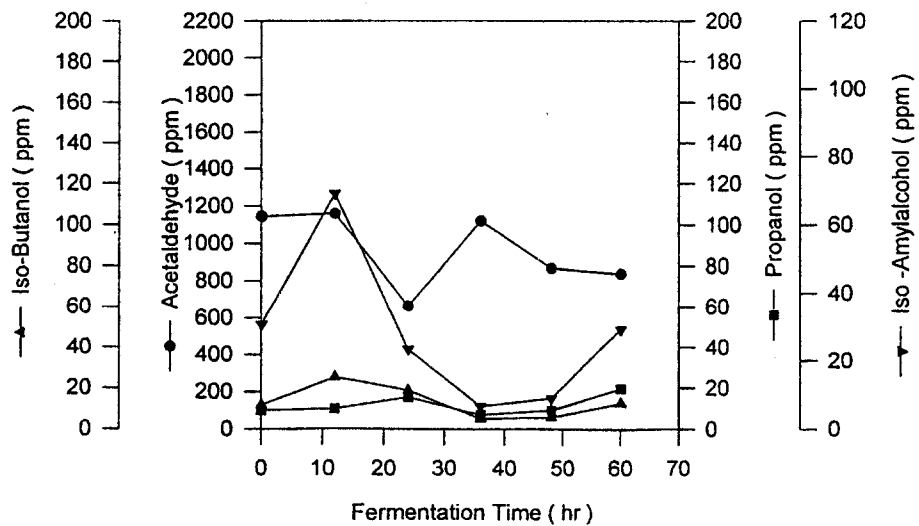
รูปที่ 77. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 35^oซ.



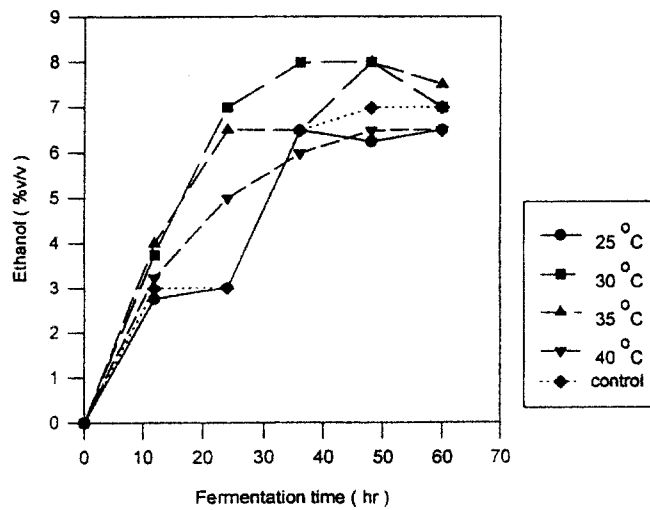
รูปที่ 78. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 35^oซ.



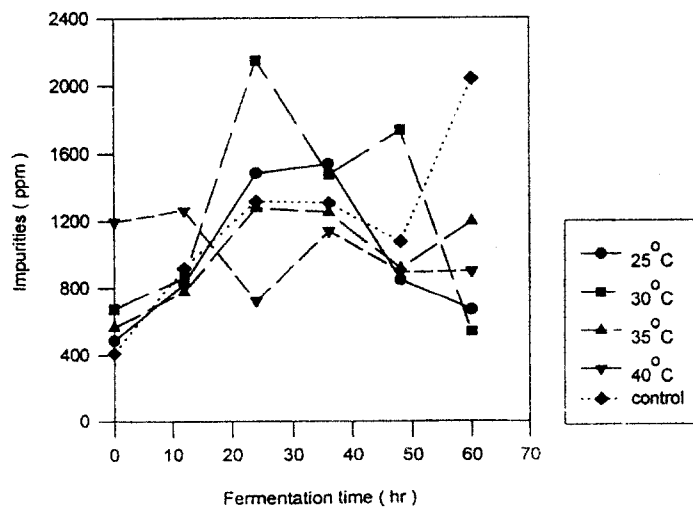
รูปที่ 79. การหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 40^oซ.



รูปที่ 80. ปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 หมักที่อุณหภูมิ 40^oซ.



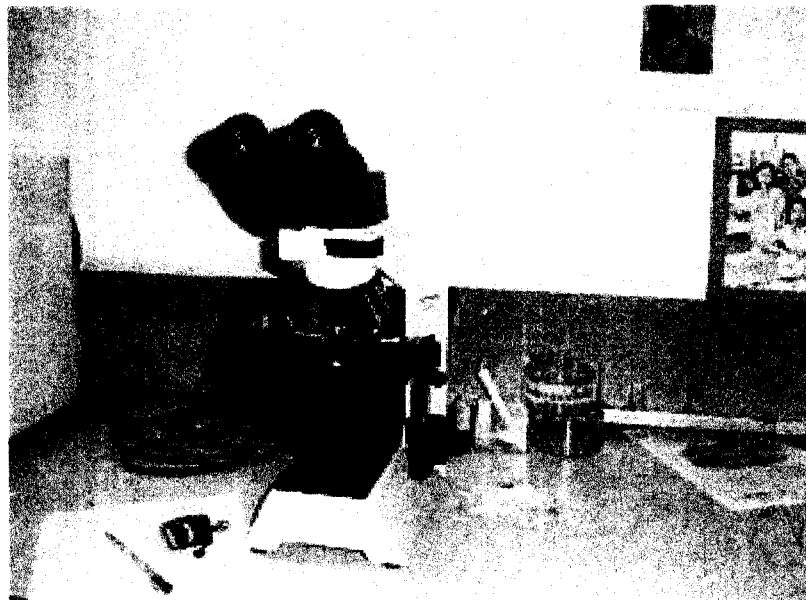
รูปที่ 81. กราฟเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล ที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



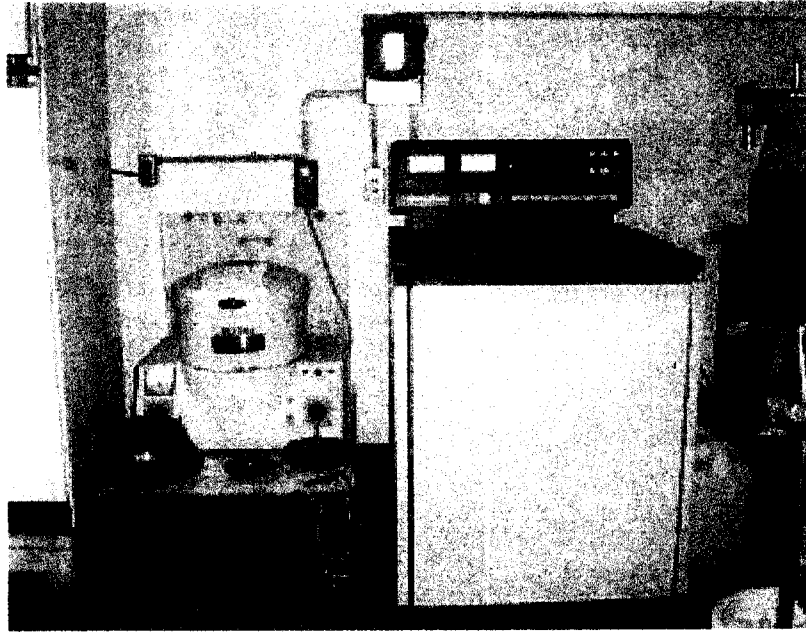
รูปที่ 82. กราฟเปรียบเทียบปริมาณสารเจือปนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น ระหว่างการหมักแอลกอฮอล์ จากกากน้ำตาลที่ความเข้มข้น 20% Brix ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606.



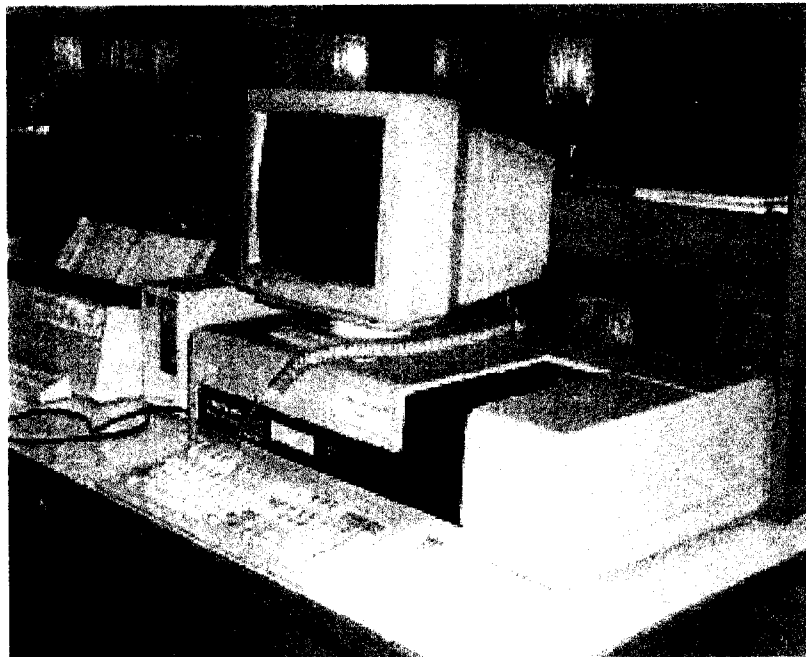
รูปที่ 83. การหมักแอสกอสลินในพลาสติกขนาด 5 ลิตร ในห้องปฏิบัติการ.



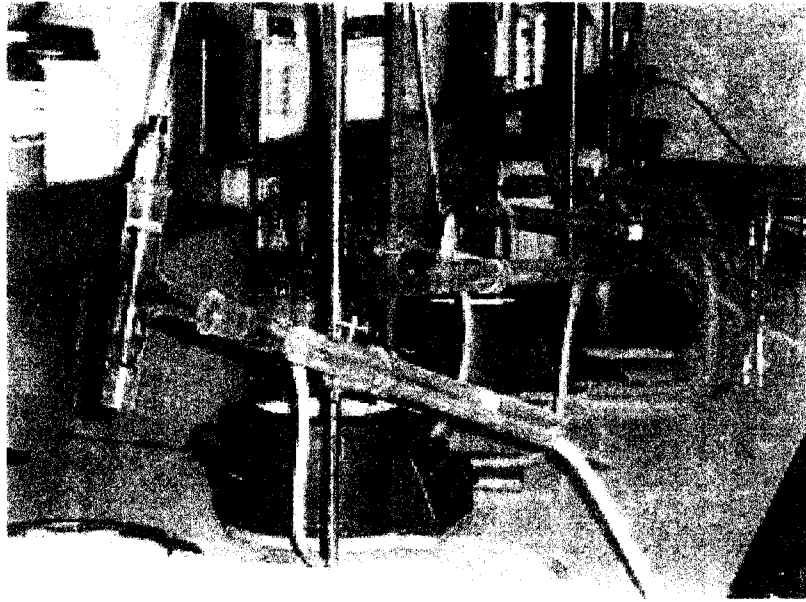
รูปที่ 84. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus C x 40) ที่ใช้ในการนับจำนวนเซลล์.



รูปที่ 85. เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Sorvall RC-58X, Dupont) ใช้ในการแยกเซลล์.



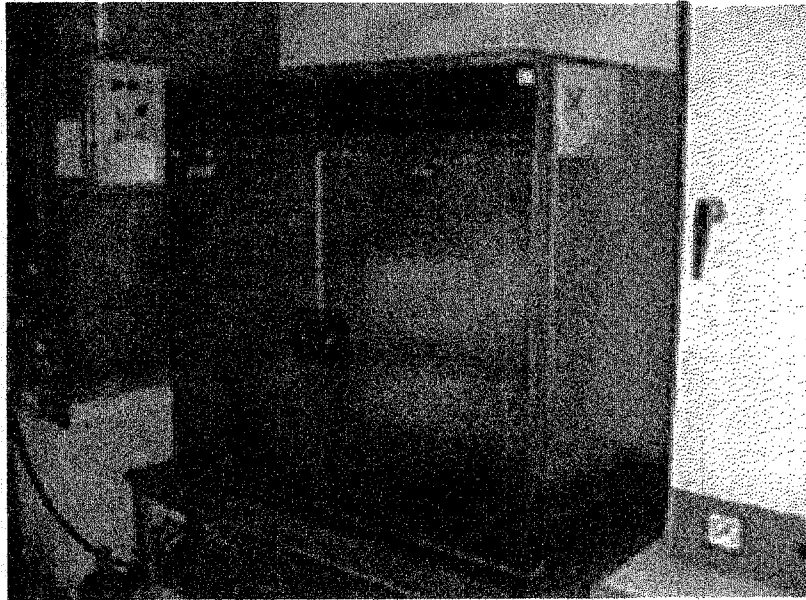
รูปที่ 86. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectromic 3000, Miltonroy).



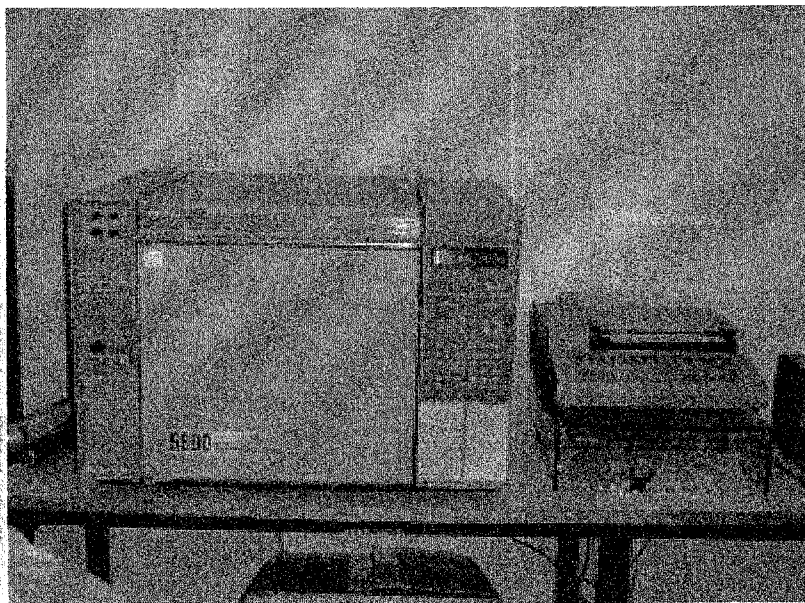
รูปที่ 87. ชุดกลั่นแอลกอฮอล์.



รูปที่ 88. ขาดสำหรับบรรจุตัวอย่างหมักเพื่ออบตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ด้วย GC.



รูปที่ 89. ตู้อบ (Incubator) สำหรับอบตัวอย่าง Model 600 ของ Memmert.



รูปที่ 90. เครื่อง Gas Chromatography (5890 series II, Hewlett Packard).

2.4 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเกิดสารเจือปนต่างๆ (fusel oils และ volatiles) ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลภายใต้ข้อกำหนด คือให้ผลผลิตแอลกอฮอล์สูง (ทั้งในแง่ปริมาณความเข้มข้นและอัตราเร็วในการผลิต) ผลิตสารเจือปนในปริมาณต่ำ รวมทั้งพิจารณาด้านความสะดวกและประหยัดด้วย ซึ่งพอสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้ :

2.4.1 สายพันธุ์ของยีสต์ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแอลกอฮอล์ คือ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) จากจำนวนเชื้อที่ใช้ในการคัดเลือกทั้งหมด 10 สายพันธุ์ ซึ่ง *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) เป็นสายพันธุ์เดิมที่ใช้ในการหมักในโครงการส่วนพระองค์ฯ.

2.4.2 สภาพในการหมักที่เหมาะสมได้แก่ :

- ความเข้มข้นของกากน้ำตาลในอาหาร 20% Brix.
- อาหารเสริมด้วย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.03% (v/v).
- ค่าความเป็นกรด - ด่าง pH ประมาณ 4.5 (ในทางปฏิบัติไม่ต้องมีการปรับค่าเนื่องจากในอาหารเลี้ยงเชื้อยีสต์มีค่าใกล้เคียงอยู่แล้ว).

- หัวเชื้อเริ่มต้น (Starter) 10% v/v.
- ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร.
- อุณหภูมิ 30°C .
- เวลาที่ใช้ในการหมัก 60 ชั่วโมง.

เชื้อจะผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงสุด 8% ในชั่วโมงที่ 36 ของการหมักและมีสารเจือปน 1474.07 ppm (สารเจือปนรวมได้แก่ acetaldehyde, iso-butanol, 1-propanol, iso-amylalcohol).

2.5 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองผลิตแอลกอฮอล์ด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) ในถัง 2,500 ลิตร (โรงงานแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์) มีความเห็นว่าควรลดปริมาณกากน้ำตาลจาก 25% Brix ลงและควรมีการเตรียมพักเชื้อให้มีปริมาณเหมาะสมและคงที่ และลดระยะเวลาในการหมักจาก 72 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอที่จะได้รับความเข้มข้นแอลกอฮอล์คงที่แล้ว และจะเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายด้วย. เรื่องนี้คณะผู้วิจัยได้รายงานในที่ประชุมซึ่งผู้อำนวยการโครงการกำหนดให้แต่ละโครงการย่อยรายงานความก้าวหน้า โดยในที่ประชุมมีหัวหน้าเชื้อเพลิง โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา (คุณอะเคื้อ บุญญศิริ) ร่วมประชุมด้วย แสดงความเห็นด้วยที่จะไปปรับปรุงกระบวนการผลิตตามข้อเสนอแนะดังกล่าว

3. การกำจัด FUSEL OILS ในแอลกอฮอล์ 95% ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยใช้วิธีทางเคมี

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการศึกษาทดลองการกำจัด fusel oils ในแอลกอฮอล์ 95% ซึ่งมีวิธีการและสารที่ใช้ 4 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ :

1. การใช้คาร์บอน (activated carbon).
2. การใช้แผ่นดูดซับ (absorbent).
3. การใช้สารซิลิกา เจล (silica gel).
4. การใช้สารซีโอไลท์ (zeolite).

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 การใช้คาร์บอน (activated carbon)

คาร์บอนที่นำมาใช้ในการทดลองได้รับจาก บริษัท คาร์โบกายอนน์ จำกัด มี 2 ชนิด คือ :

1. ชนิดเกร็ด (ค่าการดูดซับ 1200 iodine number).
2. ชนิดผง (มีขนาดน้อยกว่า 325 mesh).

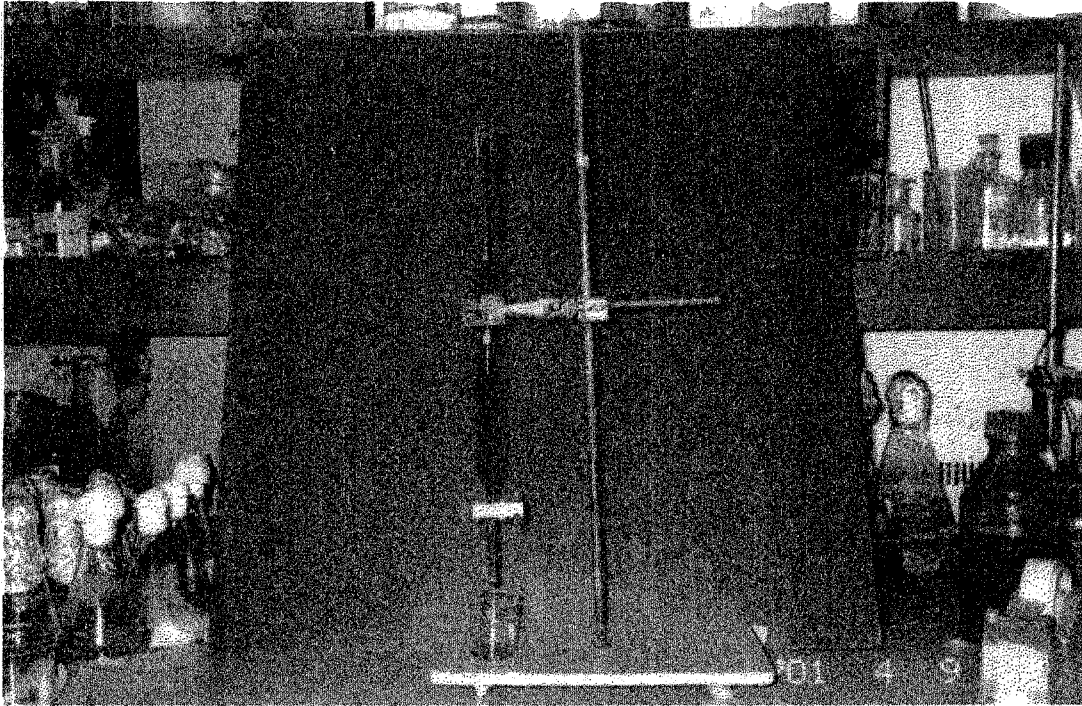
ซึ่งทั้งสองชนิดมีวิธีการใช้ต่างกัน ตามคำแนะนำของบริษัทคาร์โบกายอนน์ผู้แทนจำหน่าย.

3.1.1.1 คาร์บอนชนิดเกร็ด

ทำการทดลองโดยใช้ได้ 2 วิธีดังนี้ :

1. นำคาร์บอนชนิดเกร็ดมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างใสแล้วบรรจุผงคาร์บอนลงในคอลัมน์ขนาด \varnothing 2 ซม. ใช้ผงคาร์บอนปริมาณ 20 กรัม ความยาวของคาร์บอน 17 ซม. แล้วค่อยๆ เทแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาตร 100 มล. ลงในคอลัมน์, จากนั้นเก็บตัวอย่างที่ไหลผ่านคอลัมน์ทั้งหมด แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย gas chromatography (GC).

2. นำคาร์บอนชนิดเกร็ดมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำที่ล้างใส นำไปอบแห้งซึ่งคาร์บอนประมาณ 20 กรัม บรรจุผงคาร์บอนลงในคอลัมน์ขนาด \varnothing 2 ซม. จากนั้นค่อยๆ เทแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาตร 50 มล. ลงบนคาร์บอนที่บรรจุในคอลัมน์แล้ว. ทำการเก็บตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ทุกๆ 5 มิลลิลิตร จำนวน 5 ส่วนนำไปวิเคราะห์หา fusel oils ด้วย GC (รูปที่ 91).



รูปที่ 91. การใช้คาร์บอนชนิดเกร็ด.

3.1.1.2 คาร์บอนชนิดผง

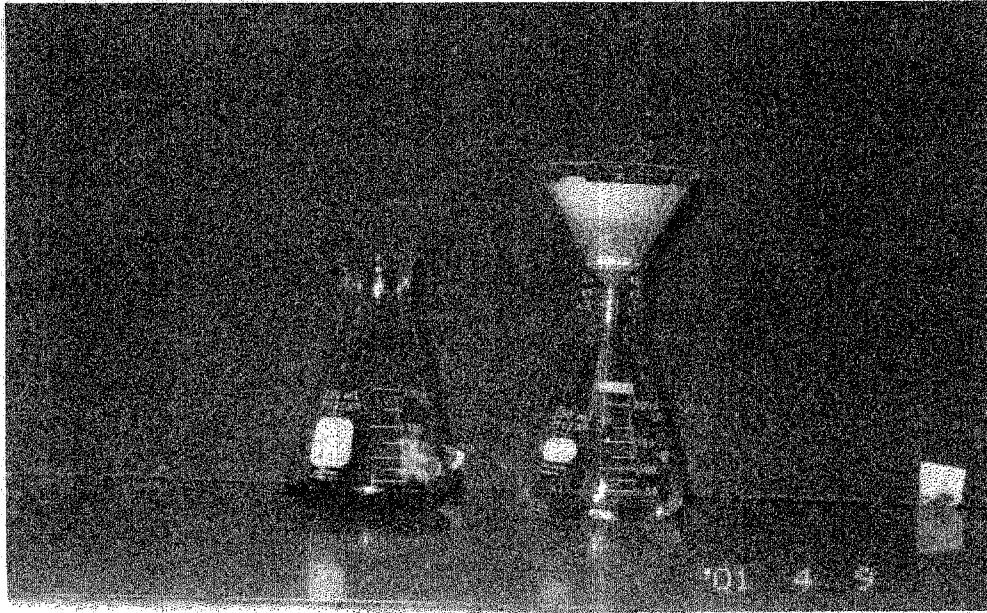
ทำการทดลองโดยใช้ 3 วิธี ดังนี้ :

1. นำผงคาร์บอนปริมาณ 7 กรัม ใส่ในพลาสติกรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 ลิตร แล้วเติมแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาตร 100 มล. ลงในพลาสติกแล้วเขย่าผสมให้เข้ากันดี, จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman NO. 42 ทำการเก็บตัวอย่างที่กรองได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC.

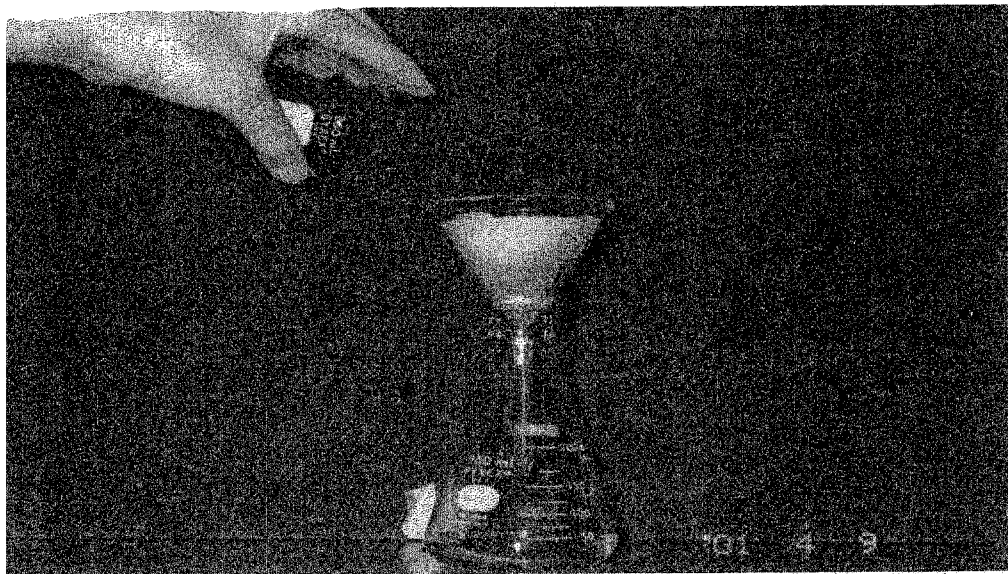
2. ชั่งคาร์บอนหนัก 20 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จากนั้นค่อยๆ เติแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาตร 50 มล. ลงบนคาร์บอนที่บรรจุในคอลัมน์แล้วทำการเก็บตัวอย่างสารที่ผ่านคอลัมน์ทุกๆ 5 มิลลิลิตร จำนวน 5 ส่วน นำไปวิเคราะห์หา fusel oil ด้วย GC.

3. การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแยก fusel oil ออกจากแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยการนำคาร์บอนชนิดผง จำนวน 2.5 และ 5 กรัม แยกเติมลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ใส่แอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาตร 50 มล. ไว้แล้ว เป็นความเข้มข้นเท่ากับ 5 และ 10% v/v

ตามลำดับ, ทำการผสมให้เข้ากันดีบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที นำมาตั้งไว้นาน 5 นาที ให้ผงคาร์บอนตกตะกอน แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 42. เก็บส่วนที่กรองได้ทั้งหมดนำไปวิเคราะห์ด้วย GC เพื่อดูปริมาณของ fusel oil ที่เปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 92 และ 93.



รูปที่ 92. การใช้คาร์บอนชนิดผง.

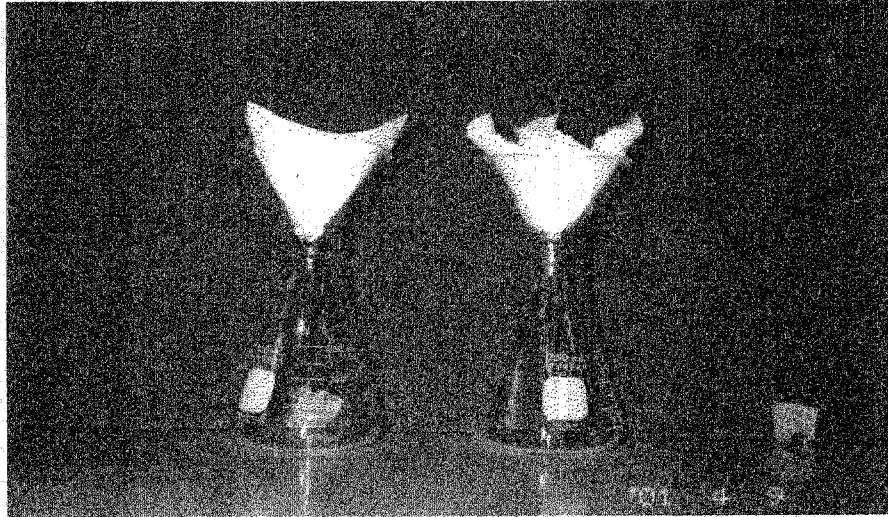


รูปที่ 93. การกรองผงคาร์บอนโดยใช้กระดาษกรอง.

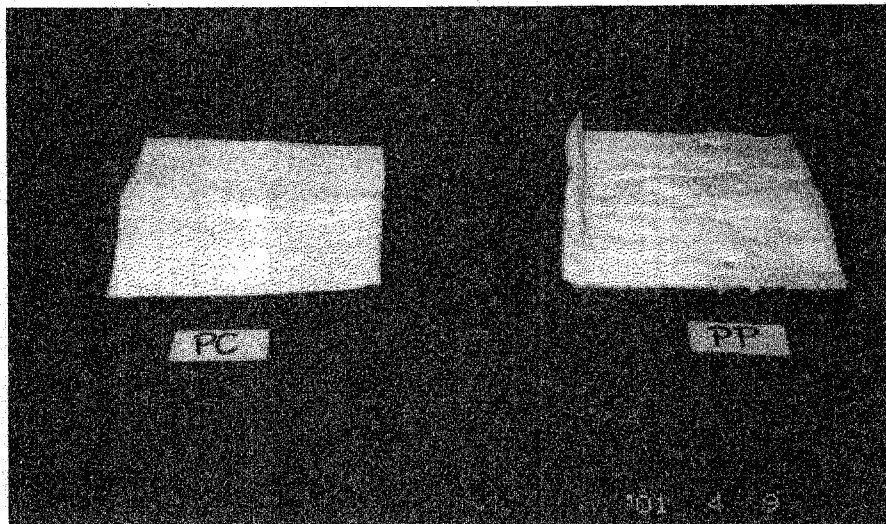
3.1.2 การใช้แผ่นดูดซับ (sorbents)

แผ่นดูดซับที่นำมาใช้ในการทดลองได้รับจาก บริษัท P.T.K. Equipment Ltd., Part. มี 2 ชนิด คือ PP (petroleum sorbents) และ PC (chemical sorbents).

ทำการกรองแอลกอฮอล์ปริมาตร 50 มล. ผ่านแผ่นดูดซับแต่ละชนิดที่ตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดเท่ากัน (12x12 ซม.) จำนวน 2 ชั้นวางซ้อนกัน 2 ชั้น แล้วเก็บตัวอย่างที่กรองได้ปริมาณทั้งหมด นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ fusel oils ด้วย GC (รูปที่ 94 และ 95).



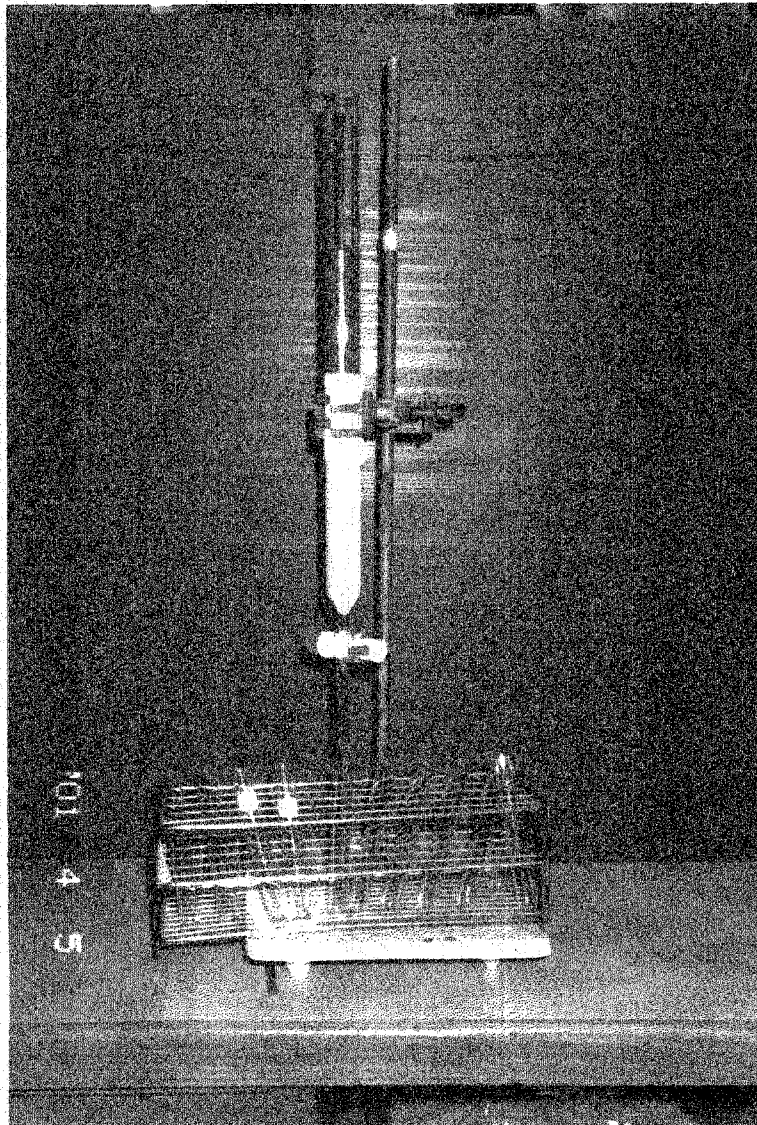
รูปที่ 94. การกรองโดยใช้แผ่นดูดซับ.



รูปที่ 95. ตัวอย่างแผ่นดูดซับชนิด PC และ PP.

3.1.3 การใช้สารซิลิกา เจล (silica gel)

Silica gel 60 ขนาด 0.063-0.200 mm (70 – 230 mesh ASTM) จากบริษัท Merck ชั่ง silica gel 60 หนัก 20 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม. ความสูงของ silica gel 14 ซม. จากนั้นค่อยๆ เเทแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาตร 50 มล. ลงบนพื้นผิวคอลัมน์ แล้วทำการเก็บตัวอย่างสารที่ผ่านคอลัมน์ทุกๆ 5 มล. ได้ 5 ส่วนนำไปวิเคราะห์หา fusel oil ด้วย GC (รูปที่ 96).



รูปที่ 96. การใช้สาร silica gel.

3.1.4 การใช้สารซีโอไลท์ (zeolite)

Zeolite (merch) นำมาใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ :

1. ชนิดเม็ด (3 x 6 mesh).
2. ชนิดผง ($\leq 45 \mu\text{m}$).

ซั่ง zeolite หนัก 20 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม. จากนั้นค่อยๆ เทแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ปริมาณ 50 มล. ลงบนพื้นผิวคอลัมน์ แล้วทำการเก็บตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ทุกๆ 5 มล. ได้ 5 ส่วน นำไปวิเคราะห์หา fusel oil ด้วย GC.

3.2 ผลการทดลอง

3.2.1 การใช้คาร์บอน

3.2.1.1 คาร์บอนชนิดเกร็ด

ผลของการใช้คาร์บอนชนิดเกร็ดตามวิธีที่ 1 พบว่าสามารถลดปริมาณ fusel oils (ตารางที่ 20).

ตารางที่ 20. แสดงปริมาณ fusel oils ในแอลกอฮอล์ที่ลดลงหลังผ่านคาร์บอนชนิดเกร็ด

ชนิดของ fusel oils	ปริมาณ* fusel oils ใน แอลกอฮอล์ 95% v/v	แอลกอฮอล์ 95% ที่ผ่านคาร์บอนชนิดเกร็ด	
		ปริมาณที่มีอยู่*	ปริมาณที่ลดลง (%)
1-Propanol	56,530	54,120	4.26
Iso-butanol	186,660	172,140	7.78
Iso-amyl alcohol	46,000	37,760	17.91

หมายเหตุ: * ตัวเลขในตารางเป็นค่าพื้นที่ (area) ได้กราฟของโครมาโตแกรม

จากผลของการใช้คาร์บอนชนิดเกร็ด และชนิดผงในการกำจัด fusel oils ออกจากแอลกอฮอล์ 95% v/v ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา พบว่าแอลกอฮอล์ที่ผ่านคาร์บอนชนิดเกร็ดโดยใช้วิธีในข้อ 2. สามารถลดปริมาณ fusel oils ได้ 61.47% โดยลดปริมาณ methanol 63.35%, 1-propanol 14.19%, iso-butanol 55.05% และ iso-amylalcohol 41.48% (ตารางที่ 21).

ตารางที่ 21. ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลงในแอลกอฮอล์ที่ผ่านการบำบัดผ่านชนิดกรด

แอลกอฮอล์ที่ผ่าน column	ลักษณะที่สังเกตเห็น	ปริมาณสารเจือปนที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลง											
		ปริมาณที่มีอยู่		Methanol		1-propanol		Iso-butanol		Iso-amyl alcohol			
		ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)		
Alcohol 95%	ใส	6,956.37	-	6,335.33	-	163.70	-	366.11	-	91.23	-	-	-
(เริ่มต้น)													
ส่วนที่ 1	ใส	2,680.57	61.47	2,322.17	63.35	140.46	14.19	164.55	55.05	53.39	41.48		
ส่วนที่ 2	ใส	3,397.26	51.16	2,932.67	53.71	158.01	3.48	258.01	29.53	48.57	46.76		
ส่วนที่ 3	ใส	1,919.60	72.41	11,452.22	77.08	186.93	ไม่ลดลง	192.39	47.45	88.06	3.47		
ส่วนที่ 4	ใส	7,469.60	ไม่ลดลง	6,754.09	ไม่ลดลง	242.77	ไม่ลดลง	336.66	8.04	136.09	ไม่ลดลง		
ส่วนที่ 5	ใส	6,436.13	7.48	5,579.08	11.94	359.18	ไม่ลดลง	353.67	3.39	144.20	ไม่ลดลง		

3.2.1.2 คาร์บอนชนิดผง

ผลของการใช้คาร์บอนชนิดผงโดยใช้วิธีที่ (1) และใช้วิธี (3) (ตารางที่ 22 และ 23) ตามลำดับ, ส่วนการใช้คาร์บอนชนิดผงความเข้มข้น 10% w/v พบว่าแอลกอฮอล์ไม่สามารถไหลได้ เนื่องจากเกิดการอุดตัน, ส่วนการใช้วิธีที่ (2) แอลกอฮอล์ไม่สามารถไหลผ่านได้เช่นกัน.

ตารางที่ 22. แสดงปริมาณ fusel oils ในแอลกอฮอล์ที่ลดลงหลังผ่านคาร์บอนชนิดผง

ชนิดของ fusel oils	ปริมาณ* fusel oils ใน แอลกอฮอล์ 95% v/v	แอลกอฮอล์ 95% ที่ผ่านคาร์บอนชนิดผง	
		ปริมาณที่มีอยู่*	ปริมาณที่ลดลง (%)
1-propanol	56,530	50,900	9.96
Iso-butanol	186,660	169,700	9.09
Iso-amyl alcohol	46,000	41,010	10.85

หมายเหตุ: * ตัวเลขในตารางเป็นค่าพื้นที่ (area) ได้กราฟของโครมาโตแกรม

ตารางที่ 23. แสดงปริมาณของ fusel oils ในแอลกอฮอล์ที่ลดลงหลังผ่านคาร์บอน 5%

ชนิดของ fusel oils	ปริมาณ *fusel oils ใน แอลกอฮอล์ 95% v/v ที่ผ่านกระดาษกรอง	ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่*	ปริมาณ fusel oils ที่ลดลงหลังจาก ดูดซับด้วยคาร์บอนชนิดผง 5% (w/v) (%)
Methanol	6,391	5,608.0	12.26
1-propanol	5,363	5,150.5	3.97
Iso-butanol	16,485	14,022.5	ไม่ลดลง
Iso-amyl alcohol	4,470	4,416.5	1.20

หมายเหตุ: * ตัวเลขในตารางเป็นค่าพื้นที่ (area) ได้กราฟของโครมาโตแกรม

3.2.2 การใช้แผ่นดูดซับ

จากผลการกรองแอลกอฮอล์ 95% v/v ด้วยแผ่นดูดซับชนิด PP และ PC พบว่าแผ่นดูดซับชนิด PC สามารถดูดซับปริมาณ fusel oils ได้ดีกว่าแผ่นดูดซับชนิด PP (ตารางที่ 24) โดยมีปริมาณ fusel oils ต่างๆ ที่ลดลงดังนี้ : methanol 21.92%, 1-propanol 27.48%, iso-butanol 12.84% และ iso-amylalcohol 15.89%. ตามคำแนะนำของบริษัทได้แจ้งไว้ว่า แผ่นดูดซับชนิด PC ไว้สำหรับดูดซับสารเคมีได้ดีกว่า ส่วนชนิด PP จะดูดซับสารประเภทน้ำมันปิโตรเลียมได้ดี.

ตารางที่ 24. แสดงผลการใช้แผ่นดูดซับ ในการกำจัด fusel oils จากแอลกอฮอล์ 95% v/v ของ
โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

ชนิดของ fusel oils	ปริมาณ *fusel oils ในแอลกอฮอล์ 95% v/v	แอลกอฮอล์ที่ผ่านการกรองด้วย PP		แอลกอฮอล์ที่ผ่านการกรอง ด้วย PC	
		ปริมาณที่มีอยู่	เปอร์เซ็นต์ ที่ลดลง	ปริมาณที่มีอยู่	เปอร์เซ็นต์ ที่ลดลง
Methanol	4,557	4,506	1.12	3,558	21.92
1-propanol	8,078	6,958	13.86	5,858	27.48
Iso-butanol	5,429	5,297	2.43	4,732	12.84
Iso-amyl alcohol	16,422	16,754	ไม่ลดลง	13,813	15.89

หมายเหตุ: * ตัวเลขในตารางเป็นค่าพื้นที่ได้กราฟของโครมาโตแกรม

3.2.3 การใช้ซิลิกาเจล

จากผลการเก็บตัวอย่างแอลกอฮอล์ 95% ที่ผ่านคอลัมน์ silica gel ทุก 5 มล. พบว่าแอลกอฮอล์ 95% ที่ผ่านคอลัมน์ส่วนที่ 3 มีปริมาณ fusel oils ที่ลดลงมากที่สุด (ตารางที่ 25) โดยมีปริมาณสารเจือปนต่างๆ ที่ลดลงดังนี้ methanol 61.9%, 1-propanol 89.64%, iso-butanol 90.52% และ iso-amyl alcohol 94.12%.

3.2.4 การใช้ซีโอไลต์

ก. Zeolite ชนิดผง

เมื่อเทแอลกอฮอล์ลงในคอลัมน์ แอลกอฮอล์ไม่สามารถไหลผ่านได้ เนื่องจาก zeolite เป็นผงละเอียดมาก และดูดซับแอลกอฮอล์ไว้จึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ได้.

ข. Zeolite ชนิดเม็ด

จากผลการทดลองแอลกอฮอล์ที่ผ่าน zeolite ชนิดเม็ดไม่สามารถดูดซับปริมาณ fusel oils ได้ (ตารางที่ 26) ส่วนที่เหลือหลังจากนำไปวิเคราะห์ด้วย GC แล้วพบว่าแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นมากขึ้นและค่าที่ได้ไม่คงที่.

ตารางที่ 25. ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลงในแอลกอฮอล์ที่ผ่านซิสิก้า เจด

แอลกอฮอล์ที่ผ่าน column	ลักษณะที่สังเกตเห็น	ปริมาณสารเจือปนที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลง											
		ปริมาณที่มีอยู่		ปริมาณที่ลดลง		Methanol		1-propanol		Iso-Butanol		Iso-amyl alcohol	
		(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)
Alcohol 95% (เริ่มต้น)	ใส	6,956.37	-	6,335.33	-	163.70	-	366.11	-	91.23	-	-	-
ส่วนที่ 1	ค่อนข้างเหลือง	4,268.69	38.60	3,800.22	40.2	114.79	29.88	273.87	25.19	79.81	12.52	-	-
ส่วนที่ 2	ใส	5,720.90	17.73	5,124.87	19.11	159.17	2.77	345.11	5.74	91.75	-	-	-
ส่วนที่ 3	ใส	2,490.16	64.19	2,344.14	61.59	16.96	89.64	34.7	90.52	5.36	94.12	-	-
ส่วนที่ 4	ใส	2,534.08	63.56	2,466.36	61.07	19.84	87.88	41.22	88.74	6.66	82.70	-	-
ส่วนที่ 5	ใส	3,026.90	56.47	2,931.80	53.72	27.4	83.26	58.3	84.08	9.4	89.70	-	-

ตารางที่ 26. ปริมาณ fusel oils ที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลงในแอลกอฮอล์ที่ผ่าน zeolite

แอลกอฮอล์ที่ผ่าน column	ลักษณะที่สังเกตเห็น	ปริมาณสารเจือปนที่มีอยู่และปริมาณที่ลดลง											
		ปริมาณที่มีอยู่		ปริมาณที่ลดลง		Methanol		I-propanol		Iso-butanol		Iso-amyl alcohol	
		(ppm)	(%)	(%)	(%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)	ปริมาณที่มีอยู่ (ppm)	ปริมาณที่ลดลง (%)
Alcohol 95% (เริ่มต้น)	ใส	6,956.37	-	-	6,335.33	-	163.70	-	366.11	-	91.23	-	
ส่วนที่ 1	ใส	12,922.56	ไม่ลดลง	ไม่ลดลง	11,464.3	ไม่ลดลง	458.35	ไม่ลดลง	738.35	ไม่ลดลง	261.13	ไม่ลดลง	
ส่วนที่ 2	ใส	8,177.76	ไม่ลดลง	ไม่ลดลง	7,495.87	ไม่ลดลง	287.92	ไม่ลดลง	368.05	ไม่ลดลง	25.92	71.59	

ตารางที่ 27. ตารางเปรียบเทียบปริมาณ fusel oils ในแอลกอฮอล์ 99.5% (v/v) ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ที่ลดลงเมื่อใช้วิธีการทางเคมีที่แตกต่างกัน

ชนิด fusel oils	ปริมาณที่ลดลงเมื่อใช้วิธีต่างๆ (%)									
	คาร์บอนเกรด	ผงคาร์บอน 5%	ผงคาร์บอน 7%	ไม่มีข้อมูล	PC	PP	แผ่นดูดซับ	Silica gel	Zeolite ชนิดเม็ด	Zeolite ชนิดผง
Methanol	63.35	12.25	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	27.48	13.86	61.59	ไม่ลดลง	ไม่มีข้อมูล*	
1-propanol	14.19	3.97	9.96	12.84	2.43	89.64	ไม่ลดลง	ไม่มีข้อมูล*		
Iso-butanol	55.05	ไม่ลดลง	9.09	15.89	ไม่ลดลง	90.52	ไม่ลดลง	ไม่มีข้อมูล*		
Iso-amyl alcohol	41.48	1.20	10.85	21.92	1.12	94.12	ไม่ลดลง	ไม่มีข้อมูล*		

* ไม่มีข้อมูลเนื่องจาก zeolite ผง alcohol ไม่สามารถไหลผ่านได้

ราคาค่าต้นทุนของสารที่ใช้โดยวิธีทางเคมี

1. Silica gel 60 particle size 0.063 – 0.200 (70-230 mesh ASTM) 2,900 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม.
2. Zeolite ชนิดผง ($\leq 45 \mu\text{m}$) 1,320 ต่อ 100 กรัม.
3. คาร์บอนชนิดเกร็ด (ค่าการดูดซับ 1200 iodine number) 50 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม.
4. คาร์บอนชนิดผง (มีขนาดน้อยกว่า 325 mesh) 30 บาทต่อ 1 กิโลกรัม.
5. แผ่นดูดซับชนิด PC ขนาด 9.25" x 14.5" แผ่นละ 45.44 บาท.
6. แผ่นดูดซับชนิด PP ขนาด 17" x 19" แผ่นละ 27.50 บาท.

3.3 สรุปผลการทดลอง

จากวิธีการทางเคมีที่ใช้คือ การใช้คาร์บอน, แผ่นดูดซับ, การใช้สารซิลิกา เจล และ zeolite พบว่าการใช้ silica gel สามารถลดปริมาณ fusel oil ได้ดีที่สุด เพราะดูดซับปริมาณ fusel oil ชนิดต่างๆ ได้มากกว่าวิธีอื่นๆ ดังนี้ : ปริมาณ methanol 61.59%, 1-propanol 89.64%, iso-butanol 90.52%, iso-amyl alcohol 94.12%. ส่วนวิธีอื่นๆ ปริมาณ fusel oil ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากสาร zeolite มีคุณสมบัติในการดึงน้ำออกทำให้แอลกอฮอล์มีความเข้มข้นมากขึ้นจึงไม่สามารถดูดซับปริมาณ fusel oils ได้ (ภาคผนวกที่ 1). ส่วนแผ่นดูดซับชนิด PC ซึ่งทางบริษัทระบุว่า มีคุณสมบัติในการนำไปดูดซับกรดและสารเคมี (ภาคผนวก 2) และแผ่นดูดซับชนิด PP ใช้สำหรับดูดซับน้ำมัน (ภาคผนวก 2) ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในการดูดซับ fusel oils จึงดูดซับได้ไม่มากนัก. สำหรับการใช้อำนาจคาร์บอนสามารถลดปริมาณ fusel oils ได้ดีแต่น้อยกว่าการใช้ silica gel, แต่เมื่อพิจารณาเรื่องราคาค่าต้นทุนราคาของคาร์บอนจะถูกกว่า. ดังนั้นในการศึกษาวิจัยต่อไปควรจะศึกษาการใช้สาร 2 ชนิดร่วมกันเพื่อลดต้นทุนและอาจจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณ fusel oils ได้มากขึ้น, แต่ในการทดลองครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาภายในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น ยังไม่ได้ศึกษาถึงเรื่องประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิด ตลอดจนการขยายขนาดและต้นทุนเมื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรม จำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป.

4. การศึกษาการกำจัดสารเจือปนต่างๆ ในน้ำหมักสำโดยวิธีการกลั่น

ในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาคุณภาพแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยการศึกษาการกำจัดสารเจือปนต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำสำโดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันในหอกกลั่น.

เนื่องจากหอกกลั่นของโรงงานแอลกอฮอล์ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ในปัจจุบัน ไม่ได้ออกแบบหน่วยที่จะดั่งสาร fusel oils และ volatiles อื่นๆ ออกจากระบบหอกกลั่น, ดังนั้นสาร impurity ที่เกิดจากกระบวนการหมักจะยังคงติดไปกับผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ 95% หลังจากผ่านกระบวนการกลั่น ส่งผลให้คุณภาพของแอลกอฮอล์ที่ได้มีคุณภาพต่ำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “แอลกอฮอล์” (มอก.640-2533) ตามรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพแอลกอฮอล์ของ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ที่ดำเนินการให้โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ วิจัยกลางฝ่ายเทคนิคและการผลิต กลุ่มบริษัทสุราทิพย์ (ผลไม่ได้แสดงในรายงานฉบับนี้). ดังนั้น การดำเนินการตัดแปลงและปรับปรุงหอกกลั่นของโรงงานแอลกอฮอล์ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา โดยออกแบบระบบกำจัด fusel oils และ volatiles อื่นๆ จึงได้ถูกริเริ่มขึ้น.

การปรับปรุงหอกกลั่นและออกแบบระบบกำจัด fusel oil

หอกกลั่นแอลกอฮอล์ 95% ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดาเป็นหอกกลั่นขนาดเล็กประกอบด้วย 2 หอกกลั่น มีกำลังการผลิตแอลกอฮอล์ 120 ลิตรต่อวัน, เดิมการกลั่นแอลกอฮอล์เป็นแบบ batch ต่อมาได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหอกกลั่นหลายครั้งจากแบบ batch เป็นการกลั่นแบบต่อเนื่อง (continuous). หอกกลั่นโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดาถูกสร้างและปรับปรุงจากประสบการณ์ความชำนาญของผู้ออกแบบ คือ นายสุพงษ์ น้อยไพโรจน์ (อดีตที่ปรึกษาบริษัทสุราทิพย์ จำกัด) แต่ไม่ได้มีการเขียนแบบทางวิศวกรรมไว้, ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงต้องดำเนินการสำรวจรายละเอียดของหอกกลั่นก่อนดำเนินการปรับปรุง.

4.1 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

4.1.1 วัสดุ

น้ำหมักสำ (fermented broth) ใช้เชื้อหมัก *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC 90).

4.1.2 อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับการปรับปรุงหอกกลั่น (ภาคผนวก 3).
2. แอลกอฮอล์มิเตอร์.
3. กระบอกตวง.

4.1.3 วิธีการและผลการทดลอง

4.1.3.1 การตรวจสอบขนาดหอกลิ้น

หอกลิ้นโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา เป็นชุดหอกลิ้นขนาดเล็กประกอบด้วย 2 หอกลิ้น ทำด้วยสแตนเลส มีความหนา 2-3 มิลลิเมตร.

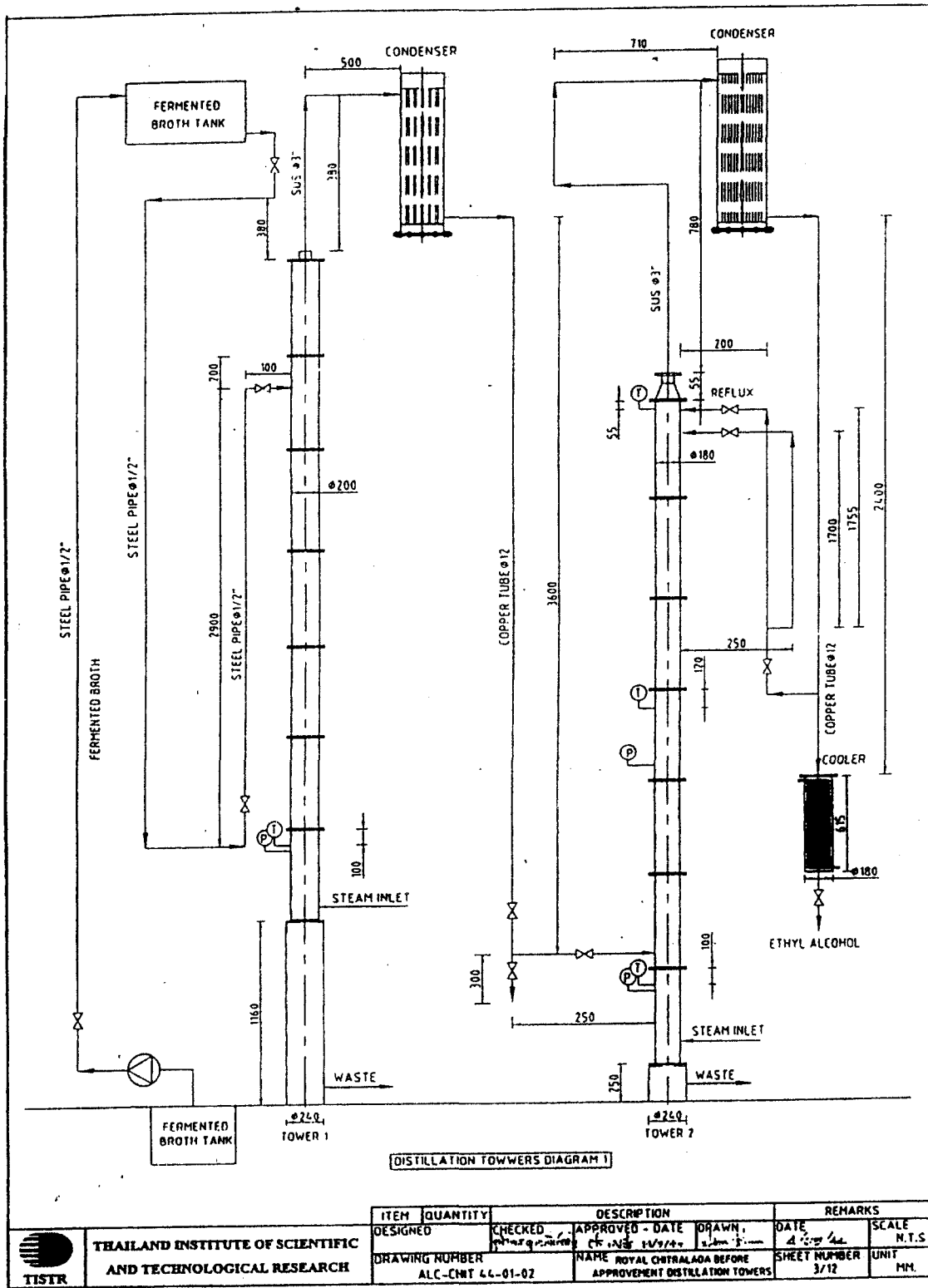
หอกลิ้นแรก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 5.36 เมตร (ดังแสดงในรูปที่ 97) ด้านล่างหอกลิ้นเป็นส่วนของน้ำก้นหอ (waste) สูง 1.16 เมตร ถัดขึ้นมาเป็นคอลัมน์ของหอกลิ้นจำนวน 7 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์มีชั้น (tray) เป็นแบบรังผึ้ง (ดังแสดงในรูปที่ 98) ยกเว้นด้านบนสุด ระยะห่างระหว่างชั้น 16.5 เซนติเมตร มีทั้งหมด 24 ชั้น.

หอกลิ้นสอง ประกอบด้วยคอลัมน์จำนวน 7 คอลัมน์เท่ากับหอกลิ้นที่หนึ่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 4.29 เมตร, แต่ละคอลัมน์มี 5 ชั้น ประเภทของชั้นเป็นแบบถ้วย (bubble cap) โดยเชื่อมติดกับหอกลิ้น (ดังแสดงในรูปที่ 99) ระยะห่างระหว่างชั้น 14.25 เซนติเมตร มีจำนวนทั้งสิ้น 35 ชั้น ยกเว้นคอลัมน์น้ำก้นหอ.

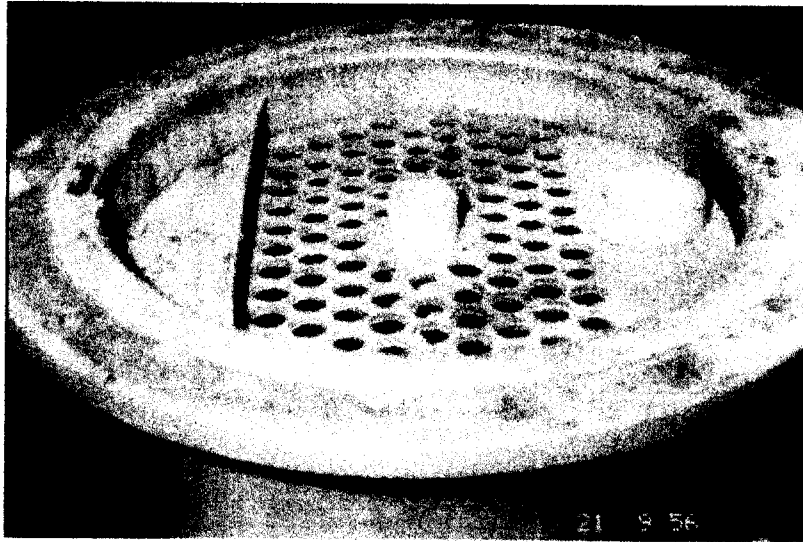
4.1.3.2 การทดลองผลิตแอลกอฮอล์ก่อนการปรับปรุงหอกลิ้น

ตรวจสอบประสิทธิภาพของหอกลิ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นก่อนการปรับปรุงหอกลิ้น โดยทดลองผลิตแอลกอฮอล์ 95 % จากกรกลั่นน้ำหมักสา (fermented broth) จำนวน 3 ครั้ง ใช้เชื้อหมัก *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC 90) ของโครงการส่วนพระองค์ฯ ปริมาณน้ำหมักสา 2,500 –5,000 ลิตรต่อครั้ง (ดังแสดงในตารางที่ 28) ควบคุมกระบวนการกลั่นโดยเจ้าหน้าที่ของโครงการส่วนพระองค์ฯ. ทำการเก็บตัวอย่างแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ทุก 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง, วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์, ปริมาณสารปนเปื้อนกลุ่ม fusel oil, และน้ำก้นหอกลิ้น (ดังแสดงในตารางที่ 32) ขณะดำเนินการกลั่นได้ตรวจสอบและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ, ความดัน, อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ (ภาคผนวก 4).

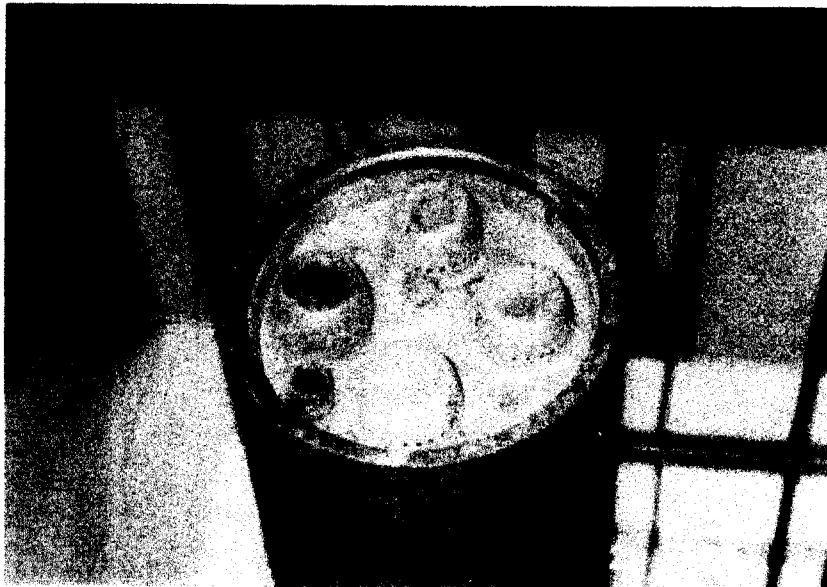
จากการทดลองกลั่นแอลกอฮอล์พบว่า หอกลิ้นผลิตแอลกอฮอล์ในปริมาณน้อยและมีความเข้มข้นโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 95%. กระบวนการกลั่นควบคุมยากเนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำสาและเกจวัดอุณหภูมิ/ความดันบางตำแหน่งที่หอกลิ้น. อุณหภูมิบริเวณยอดหอกลิ้นทั้งสองหอสูงกว่า 80°C. ตามทฤษฎีการกลั่นควรอยู่ในช่วง 78-80°C. ซึ่งเป็นจุดเดือดของเอทิลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังไม่มีระบบรีฟลักซ์ด้วย. ผลวิเคราะห์สารกลุ่ม fusel oil สารที่มีปริมาณค่อนข้างสูง ได้แก่ isoamyl alcohol, isobutyl alcohol, propanol และ acetaldehyde.



รูปที่ 97. หอกลิ้นแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ก่อนดำเนินการปรับปรุง.



รูปที่ 98. ชนิดของชั้นแบบรังผึ้งในหอกลั่นที่ 1.



รูปที่ 99. ชนิดของชั้นแบบถ้วย (bubble cap) ในหอกลั่นที่ 2.

ตารางที่ 28. การทดลองผลิตแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

ครั้งที่	วันที่	ปริมาณน้ำหมักสุ้า (ลิตร)
1	26-27 มิถุนายน 2543	2,500
2	3 – 5 กรกฎาคม 2543	5,000
3	31 กรกฎาคม – 1 สิงหาคม 2543	2,500

ตารางที่ 29. ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และสารปนเปื้อน (fusel oil) จากการกลั่นครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	Ethanol (%)	Fusel oils (ppm)						
		Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetone	EtOAc	2- Pentan
A2	85.32	874.77	52.17	164.18	314.69	34.18	241.09	17.03
A1	78.80	1527.46	111.66	298.81	567.30	178.74	283.36	21.89
A3	90.73	1452.81	92.44	178.86	179.29	103.15	231.40	13.63
A4	80.87	907.55	161.58	447.76	1640.19	56.05	100.97	36.85
B1	0							
B2	0							
B3	5							
B4	0	A = เอทิลแอลกอฮอล์ ; B = น้ำกากส่าที่ออกจากก้นหมัก (stillage) หรือ slop						

ตารางที่ 30. ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และสารปนเปื้อน (fusel oil) จากการกลั่นครั้งที่ 2

ตัวอย่าง	Ethanol (%)	Fusel oils (ppm)						
		Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetone	EtOAc	2- Pentanol
A6	96.95	240.18	1.99	0	863.09	25.02	52.85	21.91
B6	1.06							

ตารางที่ 31. ผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์และสารปนเปื้อน (fusel oil) จากการกลั่นครั้งที่ 3

ตัวอย่าง	Ethanol (%)	Fusel oils (ppm)						
		Acetaldehyde	1-Propanol	Iso-BuOH	Iso-AmOH	Acetone	EtOAc	2- Pentanol
A1	78.80	206.06	14.23	603.04	1040.26	27.38	91.43	0
A2	85.32	389.94	6.51	310.98	263.82	43.60	107.33	11.65
A3	90.73	274.02	17.13	484.46	1070.88	36.52	112.42	0

ตารางที่ 32. ผลวิเคราะห์น้ำกากส่าที่ออกจากกันหอกลั่นจากการกลั่นแอลกอฮอล์ครั้งที่ 1

ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ (mg/l) ppm						
	pH	COD	BOD	SS	TS	NO ₃ ⁻ (N)	PO ₄ ⁻³ (P)
B1	4.26	160	69	5	52	0.57	19.81
B2	4.25	420	128	5	82	0.52	26.13
B3	4.18	34,600	12,800	10	480	0.92	65.77
B4	4.51	3,820	1,175	10	264	0.74	20.77
มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรม	5.5 – 9.0	120	20	50	3,000	100	-

4.1.3.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพของหอกลั่น

1. การประเมินสมรรถนะหอกลั่น

คำนวณสมรรถนะหอกลั่นโดยใช้ฐานข้อมูลของหอกลั่นเดิม (ตัวอย่างการคำนวณภาคผนวก 5) ได้แก่ ความกว้าง, ความสูงของหอกลั่น, จำนวนชั้น (tray) (Backhurst 1979; Foust 1960 ; Hengstebeck 1976), ประเภทของชั้น และระยะห่างระหว่างภายในหอกลั่น ทำให้ทราบว่าหอกลั่นที่ 1 อัตราการป้อนน้ำหมักส่าไม่ควรเกิน 5 ลิตร/นาทีก, หอกลั่นที่ 2 อัตราการป้อนแอลกอฮอล์ สูงสุด 1 ลิตร/นาทีก.

2. การออกแบบเพื่อให้สามารถผลิตแอลกอฮอล์ 95%

การกลั่นแอลกอฮอล์ให้ได้ผลผลิตตามต้องการ (เปอร์เซ็นต์และปริมาณ) ประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ การออกแบบหอกลั่น (ขนาดหอกลั่น, ระบบรีฟลักซ์, การวางระบบท่อ, อุปกรณ์เครื่องมือวัด และเทคนิคการกลั่น) ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางทฤษฎีและประสบการณ์. ผลการทดลองกลั่นแอลกอฮอล์ 95% ของหอกลั่นโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา พบว่าหอกลั่นผลิตแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นต่ำกว่า 95% โดยเฉลี่ยและมีปริมาณน้อยและกระบวนการกลั่นควบคุมยาก. ดังนั้นเพื่อให้สามารถผลิตแอลกอฮอล์ 95% คณะทำงานจึงดำเนินการปรับปรุงหอกลั่น และระบบการกลั่นโดยติดตั้งอุปกรณ์วัดการไหลของน้ำส่า (flowmeter), เกจวัดความดันและอุณหภูมิ, วาล์ว, เปลี่ยนท่อเดิม (ทองแดง) บางตำแหน่งเป็นสแตนเลส, ทำระบบท่อสำหรับกระบวนการรีฟลักซ์ และเพิ่มตำแหน่งป้อนน้ำส่าและแอลกอฮอล์ (ดังแสดงในรูปที่ 100 แสดงเส้นทึบในแบบหอกลั่น และรูปที่ 101 ถึง 103).

สำหรับการปรับปรุงหอกลั่นเดิมทำให้มีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ สัดส่วนของหอกลั่นซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณการป้อนน้ำส่า/แอลกอฮอล์ (Hoffman 1976 ; Nisenfield 1981) มีผลต่อปริมาณการผลิตแอลกอฮอล์ ชนิดของ tray และระยะห่างระหว่าง tray. หอกลั่นเดิม tray

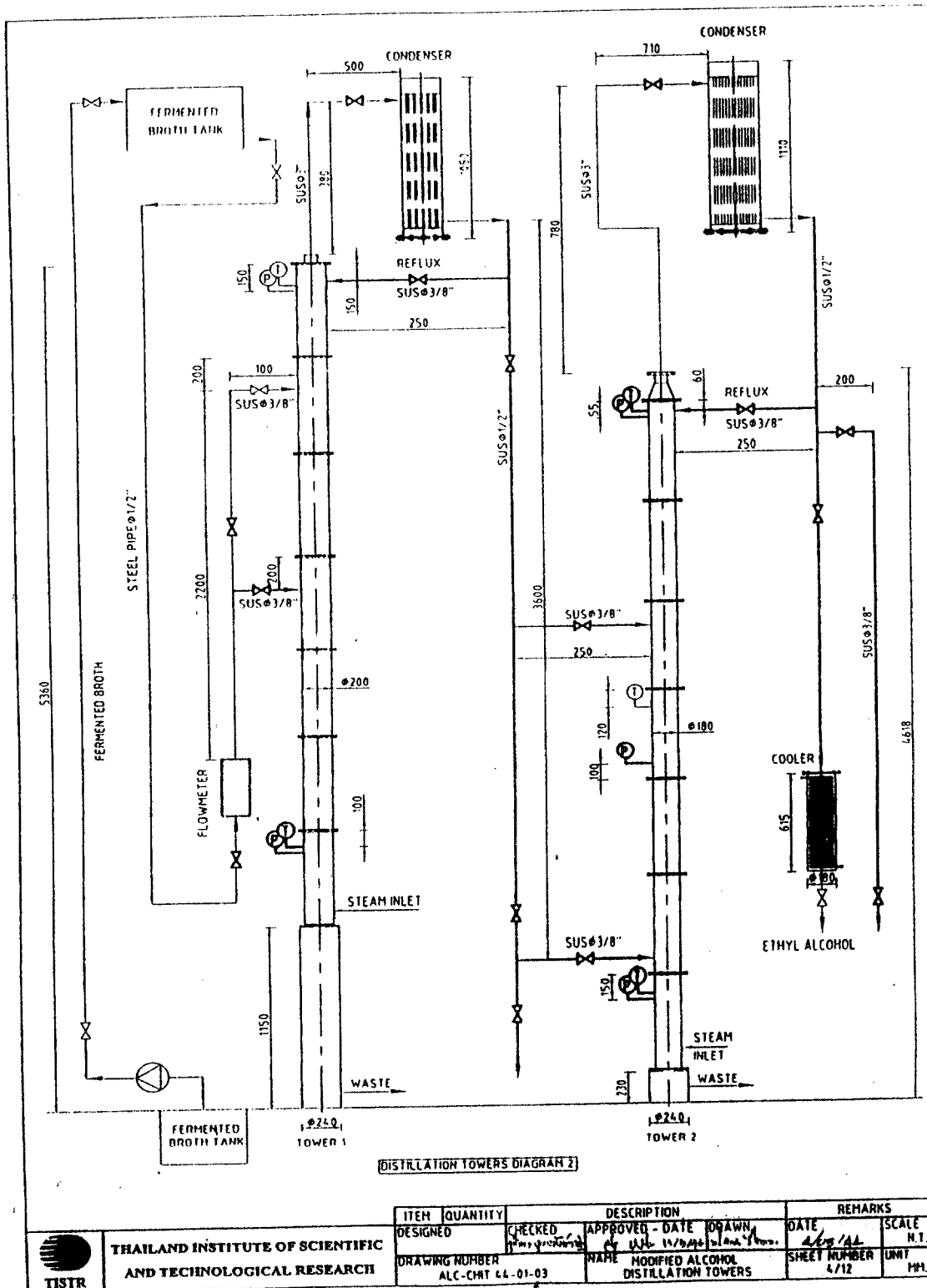
เชื่อมติดกับหอกลิ้นจึงไม่สามารถปรับระยะห่างได้ตามต้องการ. นอกจากนี้ก่อนดำเนินการจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องมือวัด ได้ตรวจสอบค่าที่แน่นอนของอุณหภูมิ และความดันของระบบกลั่นจริงโดยกลั่นแอลกอฮอล์ 20% ปริมาณ 400 ลิตร (เจือจางแอลกอฮอล์ 95% เป็น 20%).

เนื่องจากหอกลิ้นเดิมไม่มีแบบทางวิศวกรรม คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดทำแบบพิมพ์เขียวของหอกลิ้นประกอบด้วยแบบหอกลิ้นเดิม, แบบที่ปรับปรุงระบบท่อ/ระบบรีฟลักซ์, แบบระบบกำจัด fusel oil และแบบที่แสดงรายละเอียดของหอกลิ้น ได้แก่ tray, bubble cap และ condenser.

4.1.3.4 การออกแบบระบบกำจัด fusel oil

ปัญหาเดิมในการผลิตแอลกอฮอล์ คือ มีปริมาณสารปนเปื้อนประเภท fusel oil มาก ทำให้แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้มีกลิ่นเหม็นจากสารปนเปื้อนเหล่านี้ ซึ่งจะลดความหลากหลายในการที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น. กลุ่มผู้วิจัย (ฝ่ายออกแบบ) ได้เชิญนายสุพงษ์ น้อยไพโรจน์ (ผู้ออกแบบและสร้างหอกลิ้นเดิม) ร่วมปรึกษาและให้รายละเอียดเกี่ยวกับระบบการทำงานของหอกลิ้นและลักษณะทางกายภาพของแอลกอฮอล์ที่ผลิตตลอดจนแนวคิดระบบกำจัด fusel oil ซึ่งประกอบด้วย 2 แบบ :

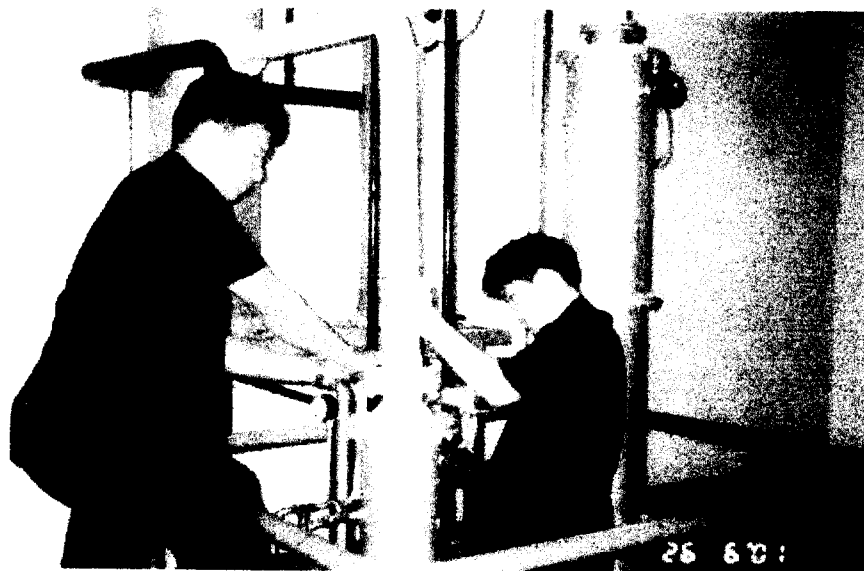
แบบที่ 1 (โดยนายสุพงษ์ น้อยไพโรจน์) : สร้าง reactor ใหม่สำหรับกำจัด fusel oil วัสดุอาจทำด้วย acrylic บริเวณเกือบถึงช่วงบนของ reactor เจาะช่องใส่กระจกเพื่อให้มองเห็นระดับของ fusel oil โดยอาศัยหลักการที่ว่า fusel oil ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำจะลอยขึ้นอยู่ส่วนบนของน้ำ จึงสามารถแยกเอา fusel oil ออกจากน้ำได้. หลักการทำงาน fusel oil ในหอกลิ้นที่ 2 จะถูกป้อนเข้าด้านล่างสุดของ reactor เพื่อผสมกับน้ำก้นหอกลิ้นที่ 2 ใน reactor ตรวจสอบระดับ fusel oil, ตรงกับช่องกระจก (โดยปรับอัตราการไหลของ fusel oil และน้ำก้นหอกลิ้นที่ 2 เพื่อให้ระดับของ fusel oil อยู่ตรงช่องสำหรับดู fusel oil) ถ้า fusel oil มีปริมาณไม่มากต้องทำการป้อนกลับสู่หอกลิ้นที่ 2 ใหม่. ทำต่อเนื่องจนกระทั่ง fusel oil สะสมจนมีความหนาของชั้นมากขึ้น แล้วแยกเอาเฉพาะชั้นของ fusel oil เก็บในภาชนะปิด (ดังแสดงในรูปที่ 104).



รูปที่ 100. การปรับปรุงหอกลั่นด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดการไหลระบบที่ใหม่ (เส้นทึบหนา).



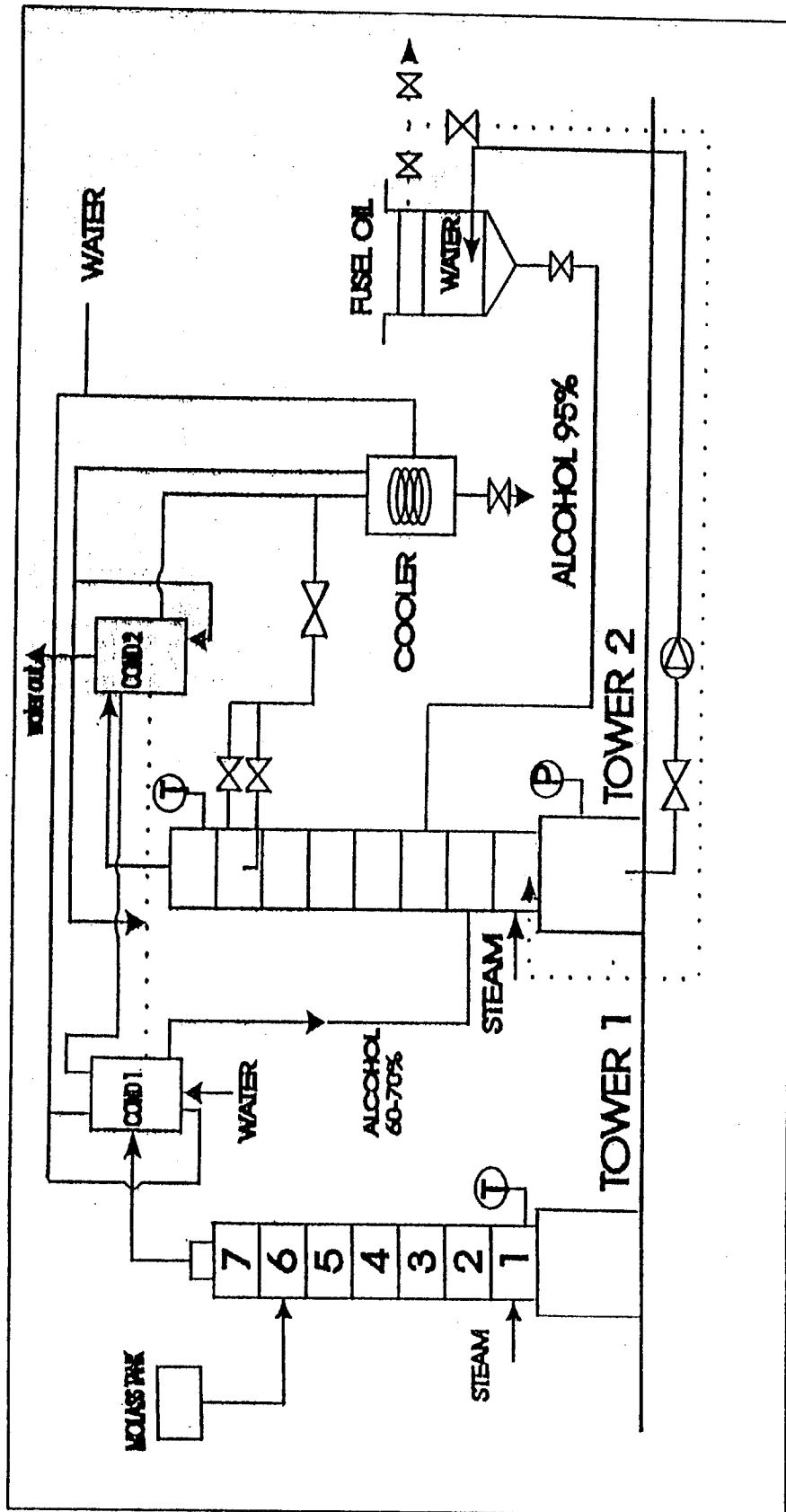
รูปที่ 101. การเชื่อมประกอบท่อสเตนเลสในส่วนที่ปรับปรุงใหม่ของ
หอกลับโครงการส่วนพระองค์.



รูปที่ 102. การติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของหอกลับที่ดำเนินการปรับปรุงแล้วโดยเจ้าหน้าที่ วท.



รูปที่ 103. การติดตั้งวาล์วนิรภัย (safety valve) ด้านบนสุดของหม้อต้มน้ำ.



รูปที่ 104. การออกแบบระบบกำจัด fusel oils โดยคุณสุพงษ์ น้อยไพโรจน์.

แบบที่ 2 (โดยคณะผู้วิจัย วท., ฝ้ายออกแบบ) : ทำการออกแบบระบบกำจัด fusel oil โดยดึง fusel oil (สารที่มีจุดเดือด 90–130°ซ.) ซึ่งอยู่ในสภาพไอ (vapor) จากคอลัมน์ที่ 2–4 ของหอกลั่น 2 แล้วควบแน่นเป็นของเหลวด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger). Fusel oil ที่ออกจากหอกลั่นจะถูกควบแน่นเป็นของเหลวสมบูรณ์เข้าสู่ถังเก็บ (ดังแสดงในรูปที่ 105).

เมื่อพิจารณาทั้งสองระบบแล้วเห็นสมควรเลือกแบบที่ 2 เนื่องจากควบคุมระบบง่ายกว่า และมีความเป็นไปได้ในทางทฤษฎี.

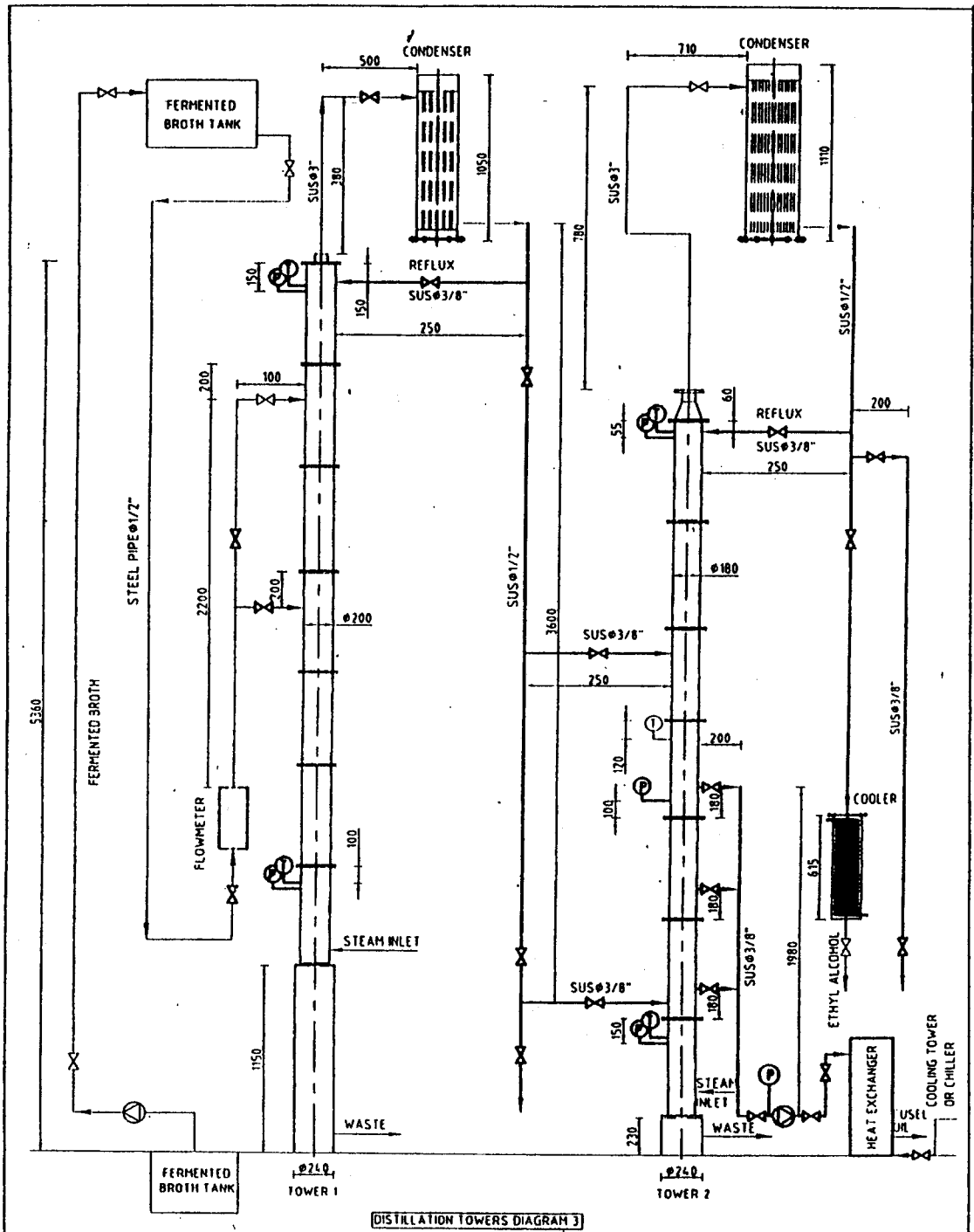
ตารางที่ 33. แสดงจุดเดือดของ fusel oil

ชนิดของสาร	จุดเดือด (°ซ.)
Propanol	97-98
Iso-butanol	107-108
n-butyl alcohol	117-118
Iso-amyl alcohol	132

4.1.3.5 การทดลองผลิตแอลกอฮอล์หลังการปรับปรุงหอกลั่น

เตรียมแผนการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำหมักสำโดยใช้เชื้อหมัก *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC 90) และปรับระบบการกลั่นแอลกอฮอล์. กระบวนการกลั่นทั่วไป หอกลั่น 1 ควรผลิตแอลกอฮอล์มีความเข้มข้น 50-60% (แอลกอฮอล์ในน้ำหมักสำมีปริมาณ 7-8%), ส่วนหอกลั่น 2 แอลกอฮอล์มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเป็น 95% ทั้งสองหอกลั่นต้องใช้ระบบรีฟลักซ์และอัตราการไหลที่สมดุลของน้ำหมักสำและแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้.

การปรับระบบและควบคุมการกลั่นเริ่มจากการป้อนไอน้ำ (steam) เฉพาะหอกลั่น 1 โดยควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์หอกลั่นด้านล่างประมาณ 100° ซ. และหอกลั่นด้านบน 78–80° ซ. ปรับอัตราการป้อนน้ำหมักสำที่เหมาะสม (ไม่ควรเกิน 5 ลิตร/นาท) เพื่อป้องกันการไหลล้นหรือท่วมชั้น (tray) ภายในหอกลั่น. เปิดวาล์วระบบรีฟลักซ์ของหอกลั่น 1, ปิดวาล์วป้อนแอลกอฮอล์ทางเข้าหอกลั่น 2 ขณะกลั่นน้ำหมักสำเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีจุดเดือด 78° ซ. ในน้ำหมักสำอยู่ในสภาพไอ จะถูกควบแน่นเป็นของเหลวด้วยคอนเดนเซอร์ (condenser) เข้าสู่ระบบรีฟลักซ์เป็นการนำแอลกอฮอล์เปอร์เซ็นต์ต่ำไหลเวียนกลับไปกลั่นใหม่ในหอกลั่น. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์จนได้แอลกอฮอล์ 50% ขณะที่แอลกอฮอล์หอกลั่น 1 มีความเข้มข้นใกล้ 50% ให้ทำการป้อน



ITEM	QUANTITY	DESCRIPTION			REMARKS	
		DESIGNED	CHECKED	APPROVED - DATE	DRAWN	DATE
DRAWING NUMBER		NAME		SHEET NUMBER		UNIT
ALC-CHIT 44-01-04		MODIFIED ALCOHOL DISTILLATION TOWER AND FUSEL OIL REMOVAL SYSTEM		5/12		MM.



THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH

รูปที่ 105. การปรับปรุงระบบท่อและระบบ fusel oils (เส้นที่บนหนา).

ไอน้ำเข้าหอกถัน 2. ควบคุมอุณหภูมิหอกถันด้านล่าง 90–100° ซ. และบนยอดหอกถัน 78– 80% เปิดระบบรีฟลักซ์. ปิดวาล์วทางเข้าของถังเก็บแอลกอฮอล์ 95% ปรับอัตราส่วนการไหลของแอลกอฮอล์ระหว่างระบบรีฟลักซ์หอกถัน 1 และท่อแอลกอฮอล์ที่ป้อนเข้าหอกถัน 2 เพื่อนำแอลกอฮอล์ 50% ไปกลั่นต่อเนื่องในหอกถัน 2 โดยผ่านระบบรีฟลักซ์ของหอกถัน 2. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์จนกระทั่งได้แอลกอฮอล์ 95%, ปิดวาล์วตำแหน่งถังเก็บแอลกอฮอล์ จากนั้นปรับอัตราการไหลของแอลกอฮอล์ของระบบรีฟลักซ์หอกถัน 2 และวาล์วถังเก็บแอลกอฮอล์. ปิดวาล์วไอน้ำหอกถัน 1 เมื่อไม่มีน้ำหมักสำและแอลกอฮอล์ในคอนเดนเซอร์ ดำเนินการกลั่นแอลกอฮอล์ที่หอกถัน 2 จนหมด แล้วจึงกลั่นล้างทำความสะอาดหอกถันทั้งหมดด้วยน้ำ.

4.1.3.6 การดำเนินงานกรณีพิเศษในการปรับแอลกอฮอล์ 95% v/v เป็นแอลกอฮอล์ 99.5% v/v

โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา มีซูดหอกถันใหญ่อีกหนึ่งซูดสามารถผลิตแอลกอฮอล์ 95% v/v ได้ในปริมาณมาก, แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้นำไปทำเชื้อเพลิงแข็ง คือแอลกอฮอล์สำหรับอุ่นอาหาร. แอลกอฮอล์ 95% v/v มีข้อจำกัดในการนำไปทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่นเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับผิวกาย เพราะผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ต้องใช้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์สูง. เนื่องจาก วท. มีเทคโนโลยีที่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ไร้น้ำ 99.5% v/v เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น และเพื่อลดปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้มากจนไม่มีที่จัดเก็บของโครงการส่วนพระองค์ฯ วท. จึงได้นำแอลกอฮอล์ 95% v/v จำนวน 3,000 ลิตร ไปกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ไร้น้ำ 99.5% v/v โดยใช้หอกถันของโรงงานต้นแบบผลิตแอลกอฮอล์ วท. และนำกลับไปใช้ในกิจการของ โครงการส่วนพระองค์ฯ, โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาผสมเป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ใช้ทดลองกับรถยนต์ของโครงการส่วนพระองค์ฯ และบางส่วนขายให้กับ ปตท. เพื่อนำไปทดลองตลาดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ ทำให้โครงการส่วนพระองค์ฯ มีรายได้เพิ่มขึ้น.

4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองกลั่นแอลกอฮอล์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของซูดหอกถันเล็กโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา พบว่าไม่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ 95% v/v (ความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำกว่า 95% v/v) และผลิตได้ปริมาณน้อย. ผลวิเคราะห์สารปนเปื้อนในแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้มีสารกลุ่ม fusel oil ปริมาณค่อนข้างสูง ได้แก่ isoamyl alcohol, isobutyl alcohol, propanol และ acetaldehyde ทำให้แอลกอฮอล์มีกลิ่นเหม็น. นอกจากนี้กระบวนการกลั่นควบคุมยาก และไม่มีอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการควบคุมกระบวนการกลั่น หอกถันเดิมมีขนาดเล็กจึงมีข้อจำกัดในการป้อน

น้ำสำ โดยต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับความกว้างของหัวกลั่น. คณะผู้วิจัย วท. ออกแบบอัตราการป้อนน้ำหมักสำ 2-5 ลิตร/นาที, ปริมาณการป้อนน้ำหมักสำมีผลโดยตรงต่อปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้และความสมดุลของปริมาณแอลกอฮอล์ในระบบรีฟลักซ์และหัวกลั่น. เมื่อพิจารณาชั้นภายในหัวกลั่น พบว่าเชื่อมติดกับตัวหัวกลั่นทำให้ไม่สามารถปรับระยะห่างของชั้นภายในหัวกลั่นได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่ออัตราการป้อนน้ำหมักสำ สัดส่วนของของเหลวและไอในหัวกลั่น, คณะผู้วิจัย วท. จึงได้ปรับปรุงหัวกลั่น โดยติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จำเป็น, ทำระบบท่อสำหรับกระบวนการรีฟลักซ์, เพิ่มตำแหน่งป้อนน้ำสำและแอลกอฮอล์, จัดทำแบบพิมพ์เขียวของหัวกลั่นและออกแบบระบบกำจัด fusel oil.

4.3 สรุปผลการทดลอง ปัญหา อุปสรรค

วท. ได้ทำการปรับปรุงหัวกลั่นโดยติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และทำระบบท่อ/ระบบรีฟลักซ์เกือบสมบูรณ์แล้ว แต่ไม่สามารถติดตั้งระบบท่อซึ่งต้องเชื่อมติดกับตัวหัวกลั่น รวมถึงการทดลองกลั่น เนื่องจากติดขัดที่โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ยังไม่สามารถจัดเวลาให้กลุ่มผู้วิจัยเข้าไปดำเนินการได้. กลุ่มผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาด้วยการถอดคอลัมน์ของหัวกลั่น (จำนวน 4 คอลัมน์) ส่วนที่ต้องติดตั้งระบบท่อมาทำการเชื่อมติดที่บางส่วนที่ วท. ก่อนทำการเชื่อมนำคอลัมน์ไปแช่ในน้ำผสมน้ำยาทำความสะอาดเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการล้างไอของแอลกอฮอล์ที่ติดค้างภายในคอลัมน์เพื่อความปลอดภัยของช่างเทคนิคในการเชื่อม, ส่วนแนวท่อที่เชื่อมต่อระหว่างหัวกลั่น 1 และหัวกลั่น 2 เปลี่ยนมาใช้ฟิตติงแทนการเชื่อม, แผนการดำเนินงานดังกล่าวจึงทำให้ไม่จำเป็นต้องปิดหัวกลั่นใหญ่ และไม่ต้องเคลื่อนย้ายแอลกอฮอล์ไปเก็บไว้ที่อื่น. กลุ่มผู้วิจัยสัญญาว่าจะดำเนินการต่อจนแล้วเสร็จ ทั้งการติดตั้งและทดลองกลั่น (test-run) ซึ่งคาดว่าจะมีการปรับปรุงอีกเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้. อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยได้ทูลเกล้าถวายแบบพิมพ์เขียวของหัวกลั่น (แบบหัวกลั่นเดิมแบบที่ปรับปรุงระบบท่อ/ระบบรีฟลักซ์ และแบบกำจัด fusel oil) แต่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี แล้ว เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2544.

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้ทรงคุณวุฒิ

1. การปรับปรุงหอกกลั่นโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ซึ่งออกแบบและจัดทำขึ้นส่วนประกอบแล้วแต่รอการต่อเชื่อมเข้ากับหอเดิม เนื่องจากไม่สามารถจัดเวลาหยุดเดินเครื่องเพื่อปรับปรุงได้ คาดว่าจะเรียบร้อยในเวลาอันใกล้.

ตอบ การติดตั้งระบบท่อใหม่ของหอกกลั่นทั้งสองหอได้ดำเนินการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว โดยว่าจ้างบริษัทเอกชนทำการเชื่อมต่อระบบท่อ ภายใต้การควบคุมงานของคณะทำงาน วท. ตามรายละเอียดในรายงาน หน้า 113-114. ส่วนการดำเนินงานต่อไปของคณะผู้วิจัยแม้จะจบโครงการแล้วก็คือ การทดลองกลั่นแอลกอฮอล์จากน้ำสำและปรับระบบการกลั่นให้ดีขึ้น. อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่สามารถดำเนินการต่อได้ เนื่องจากโครงการส่วนพระองค์กำลังติดตั้งหม้อกำเนิดไอน้ำ (boiler), เมื่อการติดตั้งดังกล่าวแล้วเสร็จคณะทำงาน วท. จะประสานงานกับเจ้าหน้าที่โครงการส่วนพระองค์เพื่อดำเนินการต่อไป.

2. ได้ทำการแก้ไขบทคัดย่อบรรทัดที่ 3 หน้า 3 เนื่องจาก “ติดขัด...ก็สามารถใช้งานได้” ได้แก้ไขเป็น “ยังไม่สามารถจัดเวลาหยุดเดินเครื่องเพื่อเชื่อมต่อระบบท่อใหม่ได้ ซึ่งจะจัดทำพร้อมทั้งทดสอบการเดินเครื่องและปรับปรุงอีกเล็กน้อยต่อไป” และใน Abstract ที่บรรทัดที่ 3-7 ย่อหน้าที่ 3 หน้า 1 “Since Jitralada Royal Project has not arranged working time for the researcher group, some minor jobs of piping and reflux systems still need to be completed. However, the researcher group will continue to be responsible until the equipment installed and distillation test-run are completed. This is still an unfulfilled job of the researcher job of the researcher group” แก้ไขเป็น “Connecting of new piping and refuse system with test-run were not completed due to lack of time to stop column operation for modification. These tasks will be completed later on” และบรรทัดที่ 9-10 เดิม “green construction copy” แก้ไขเป็น “blue print”

3. ไม่มีการนำผลงานวิจัยที่ได้ไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร แต่มีแนวโน้มว่าจะนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก ดังเช่นผลการทดลองผลิตแอลกอฮอล์ด้วยเชื้อ TISTR 5606 สามารถปรับปรุงและทดสอบในโครงการส่วนพระองค์ได้ ดังข้อเสนอแนะ 2.5 (ในรายงานฉบับสมบูรณ์หน้า 87) และสามารถนำผลงานวิจัยที่ได้ไปใช้ประโยชน์ก่อนเสร็จสิ้นโครงการ ซึ่งได้มีการทดสอบทดลองผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์แล้วมีต้นทุนต่ำและกำไรดี ในอนาคตน่าจะได้ออกมาจำหน่ายได้มากขึ้นเพียงใด.

ตอบ ได้ตอบแล้วในหน้าที่ 87 หัวข้อที่ 2.5 โดยเพิ่มเติมจากของเดิมต่อจาก “...ค่าใช้จ่ายด้วย” ของบรรทัดที่ 5.

4. การเผยแพร่ผลงานให้ถึงผู้ใช้โดยตรง ควรมีการจัดสัมมนาร่วมกับผู้เกี่ยวข้อง เช่น กลุ่มหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล และควรมีการทำงานร่วมกับเจ้าหน้าที่ เช่น ในโครงการส่วนพระองค์ เรื่องแอลกอฮอล์นี้ ทำเพื่อนำผลมาทดสอบในกระบวนการผลิตจริงของโครงการ จะทำให้เผยแพร่ต่อไปได้โดยการสาธิตสำหรับผู้ผลิตรายย่อยอื่นๆ เพื่อให้มีผู้จำหน่ายที่กว้างขวางขึ้น

ตอบ เห็นด้วยกับผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างไรก็ตามการจัดสัมมนาต้องใช้งบประมาณจำนวนหนึ่ง หากได้รับการสนับสนุนก็จะสามารถดำเนินการได้.

5. ควรทดสอบการปรับปรุงสถานะการหมักตามข้อ 2.5 คือ ในการทดลองผลิตแอลกอฮอล์ด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5606 (SC90) ในถัง 2,500 ลิตร (โรงงานแอลกอฮอล์โครงการส่วนพระองค์) มีความเห็นว่าควรลดปริมาณกากน้ำตาลจาก 25% Brix ลง และควรมีการเตรียมหัวเชื้อให้มีปริมาณเหมาะสมและคงที่ และลดระยะเวลาในการหมักจาก 72 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอที่จะได้รับความเข้มข้นแอลกอฮอล์คงที่แล้ว และจะเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายด้วย.

ตอบ เห็นด้วยกับข้อเสนอแนะกับผู้ทรงคุณวุฒิ และได้แนะนำเจ้าหน้าที่ของโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ให้ทราบเรื่องนี้แล้ว โดยคณะผู้วิจัยจะเข้าไปร่วมดำเนินการด้วย

6. การปรับปรุงหอกลิ้นและโครงการส่วนพระองค์ที่เสนอไว้มีความเป็นไปได้มาก ควรทำต่อไปให้เสร็จสมบูรณ์.

ตอบ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการไปในขอบเขตของงบประมาณที่ได้รับ หากต้องการให้ดำเนินการต่อ เช่น ระบบกำจัด fusel oil ซึ่งคณะวิจัยได้เสนอเป็นแบบพิมพ์เขียวและงบประมาณไว้แล้ว จะต้องได้รับการสนับสนุนงบประมาณใหม่ และได้รับการพิจารณาเป็นโครงการต่อเนื่องจึงจะสามารถดำเนินการต่อได้.

7. ควรมีการเปรียบเทียบส่วนประกอบของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “แอลกอฮอล์” ด้วยเพื่อความชัดเจน.

ตอบ ทางโครงการส่วนพระองค์มีแผนงานที่จะดำเนินงานต่อ โดยเฉพาะการใช้วิธีทางเคมี ซึ่งได้ผลดีระดับหนึ่งแล้ว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “แอลกอฮอล์” ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้เสนอตัวให้ความร่วมมือในการดำเนินการครั้งนี้ด้วย แม้ไม่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ.

8. ในอนาคตควรจะได้ติดตามอายุการเก็บรักษา/ใช้งานของผลิตภัณฑ์ต่อไปว่าสามารถใช้งานในสภาพที่ได้ในช่วงเวลา 2-3 ปี หรือไม่.

ตอบ โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา ได้จัดทำแผนงานในส่วนนี้ไว้แล้ว

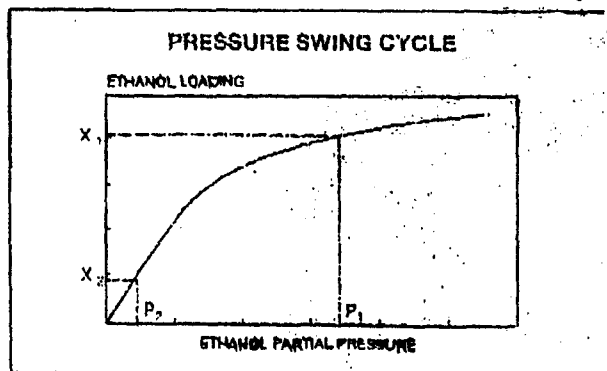
บรรณานุกรม

- Backhurst, J.R. and Harber, J.H. 1979. Chemical Engineering Solution to the Problems. in Volume 2; Volume Five (ssi Units). Pergamon Press., New York, pp. 111-165.
- Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W., Maus, L. and Andersen, L.B. 1980. Principles of Unit Operations. 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 13-75.
- Hengstebeck, R.J. 1976. Distillation Principles and Design Procedures. Robert E.Krieger Publishing Co., Inc, Florida, pp. 1-182, 208-230.
- Hoffman E.J. 1964. Azeotropic and Extractive Distillation. John Wiley& Sons, Inc, - NewYork.
- Jenkins, G. H. 1966. Introduction to Cane Sugar Technology, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London and New York.
- Nisenfield A.E. and Seemann, R.C. 1981. Distillation Columns. Institute Society of America, U.S.A.
- Weinheim, VCH. 1966. Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5th rev. ed. V. A28 (Ref. 660. OS21 ULL 5th rev. ed. V. A28).

DEHYDRATION OF ETHANOL BY MOLECULAR SIEVE BEDS

PROCESS DESCRIPTION

Dehydration by molecular sieve is an adsorption process using Beds of 3A pelletized zeolite which has a strong affinity for water. The commercial synthetic adsorbent contains a high percentage of the crystalline zeolites with an inert binder.

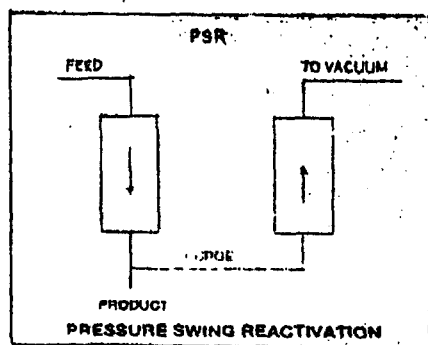


The process is based on the principle that zeolite's affinity for water changes at different pressures. In the gas phase, the water loading of zeolite depends on the partial pressure of water in the feed. The partial pressure can be changed by changing the total pressure and when the total pressure is lowered sufficiently, the water can be desorbed.

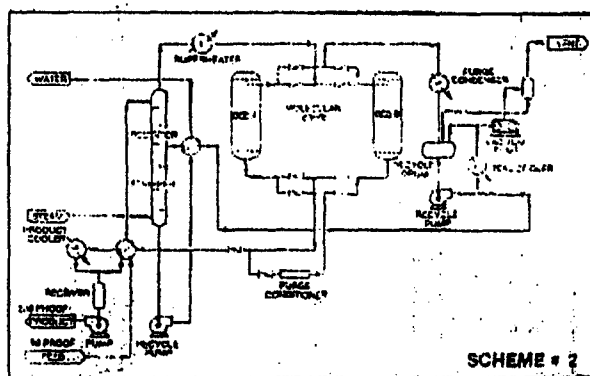
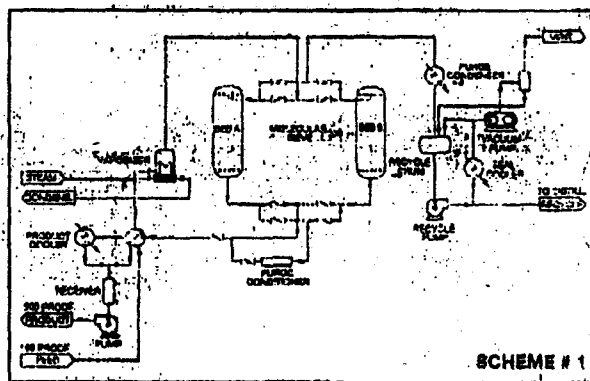
The advantages of molecular sieve dehydration units over other processes for alcohol dehydration are

- ✓ Effective separation to yield higher product dryness
- ✓ Ease of operation
- ✓ Lower energy, operation and capital costs

The molecular sieve process eliminates handling problems and pollution control requirements associated with the entrainers used in alcohol azeotropic distillation.



Continuous processing is achieved by a Pressure Swing Reactivation (PSR) system. In this system, one bed is in dehydration service while the other bed is regenerated under vacuum. During regeneration, the pressure is lowered (PSR) and the water is desorbed and swept out of the bed with product vapors from the bed which is in dehydration service. A characteristic of the PSR process is that the water is returned in the regeneration effluent at a relatively high concentration compared to the water concentration in the feed vapor. This simplifies further processing. The alcohol feed to the dehydration unit has to be in vapor form and the alcohol in the regeneration stream has to be recovered. For this portion of the process, two designs are available



The alcohol in the regeneration stream is recovered in the distillation column (scheme #1) or in a special column (scheme#2) which also serves to vaporize the liquid feed.

The product vapors are condensed and sent to storage. To minimize the energy required, the alcohol product vapors are used to preheat the liquid feed and the recycle prior to distillation.

The units are supplied as skid-mounted modules for simple installation and reduced field erection costs. All modules are preassembled, piped, wired and tested in the shop before shipment

REFERENCES of VOGELBUSCH

OWNER (Engineer)	LOCATION	CAPACITY
Archer Daniels Midland	Peoria, ILLINOIS	Confidential
Central Minnesota Ethanol	Liteie Falls, MINNESOTA	1,600 hi/d
Commercial Alcohols Inc.	Chatham, Ontario CANADA	4,000 hi/d
Minnesota Corn Processors	Columbus, NEBRASKA	5,500 hi/d
Nebraska Energy LLC	Aurora, NEBRASKA	2,800 hi/d
Pekin Energy Company	Peoria, ILLINOIS	3,250 hi/d
Ryssen S. A.	Hesdin, FRANCE	7,000 hi/d

Numerous other applications for molecular sieves have been supplied to major chemical and petrochemical companies by our U.S.A. subsidiary.

MODEL CASE

ALCOHOL DISTILLERY CHIEF ETHANOL, Inc., HASTINGS, NEBRASKA

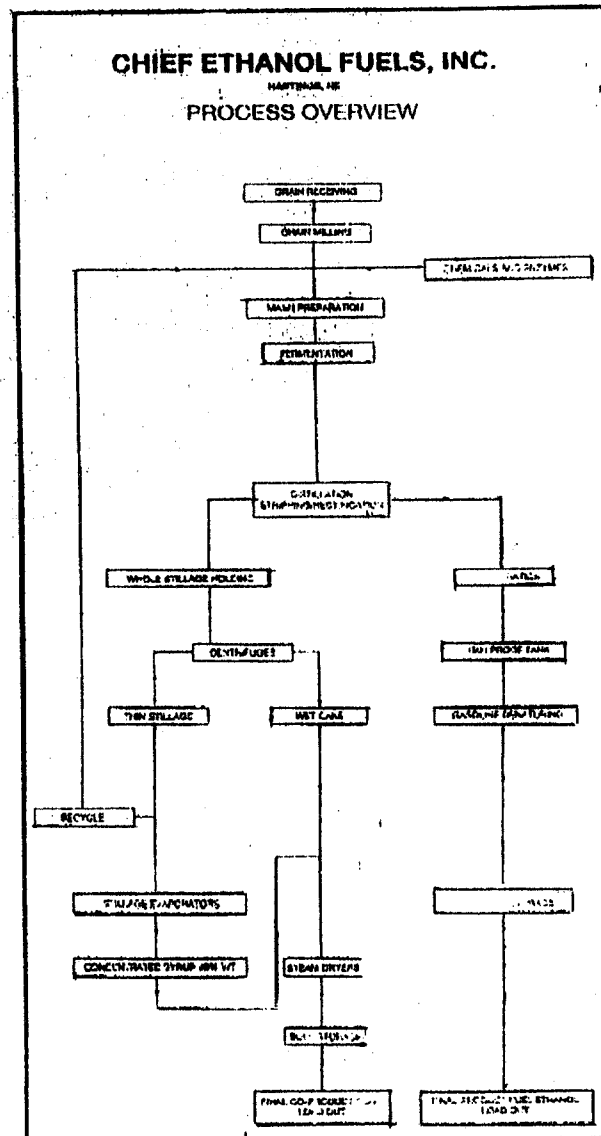
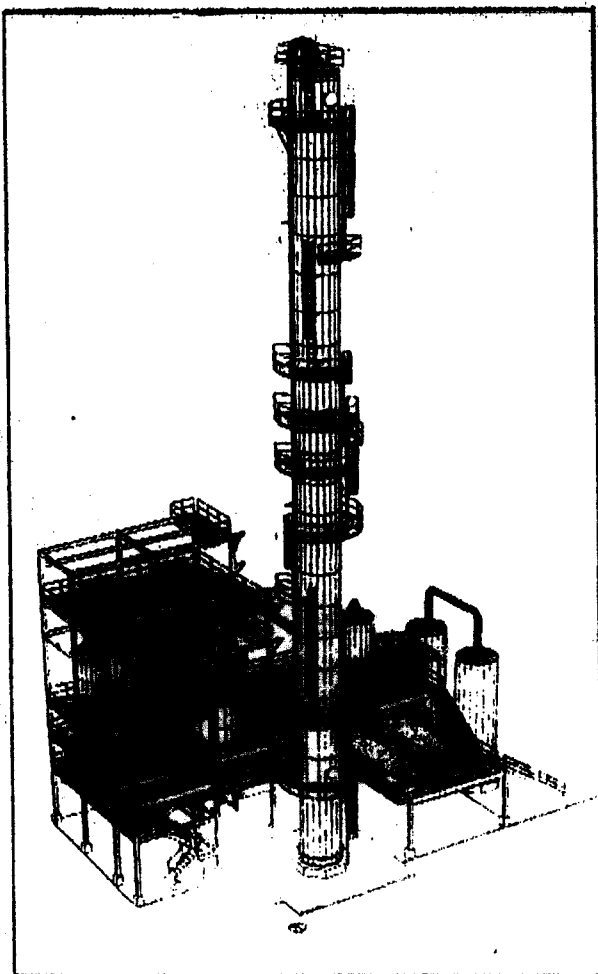
The distillery of CHIEF ETHANOL, Inc., was started up in 1983 with continuous fermentation after the VOGELBUSCH MULTICONT PROCESS, multi-pressure distillation with classic dehydration (entrainer cyclohexane). The raw material used is composed of grain and maize or sorghum; diaff is sold as DDGS.

This distillery was reconstructed by VOGELBUSCH in 1993 as follows;

- ✓ Capacity increase from 1200 hl/d up to 3250 hl/d
- ✓ Dehydration by molecular sieve instead of entrainer

The most important advantage was the integration of the molecular sieve with evaporation.

Consumption of thermal energy can be reduced by 25% by coupling the rectification column to the 2 stage-evaporation. In order to reach this effect the rectification column works under slight overpressure and the head vapors are condensed in the first stage of evaporation. Both stages work under vacuum. A special designed control system of VOGELBUSCH prohibits possible deviations in pressure caused by the molecular sieve process.



Beer from fermentation is pumped to the distillation column. The 60 m column construction is unique since the rectifying column is stacked on top of the stripping column. This design reduces capital cost and offers ease of process control.

Alcohol is drawn via the overhead line at the top of the column at 190 proof and is condensed in the thin stillage evaporator and used as reflux. Product ethanol vapors are dehydrated to 200 proof utilizing molecular sieve beads to remove the last 5% of water present in it. The dehydrated ethanol is then condensed, cooled and pumped to intermediate storage tanks (day tanks). Once checked for product quality and specifications, ethanol is denatured with gasoline and sent to the finished product storage tanks.

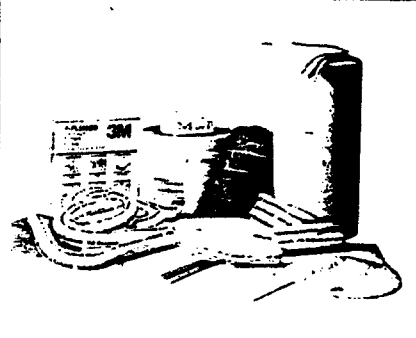
The beet bottom in the distillation column consist of water Protein, yeast cells, fiber and fat which are later dewatered and dried in a special installation (DDGS).

ภาคผนวก 2

ผลิตภัณฑ์ดูดซับน้ำมันและสารเคมี

3M Sorbents

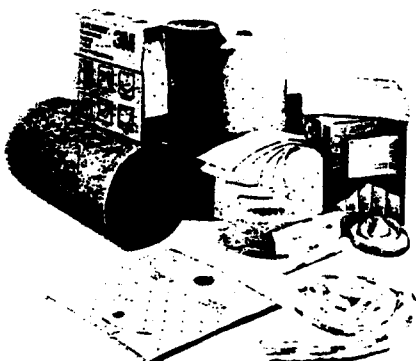
ผลิตภัณฑ์ดูดซับน้ำมัน/สารเคมีอันตรายช่วยควบคุมการแพร่กระจาย และกำจัดของเหลว
อันตรายซึ่งรั่วไหลออกจากแหล่งเก็บ ใช้งานได้สะดวก รวดเร็วและปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม



Petroleum Sorbents - วัสดุดูดซับน้ำมัน

ชนิด	รุ่น	ขนาด	การบรรจุ/ลัง	ความจุ
PAD	HP - 256	17" X 19"	100 แผ่น	2.19 ลิตร/แผ่น
PAD	T - 161	17" X 19"	200 แผ่น	0.82 ลิตร/แผ่น
ROLL	T - 100	38" X 144"	1 ม้วน	317.97 ลิตร/ม้วน
BOCM	T - 270	8' dia X 10'	4 ท่อน	75.71 ลิตร/ท่อน
FOLDED	P - FL560DD	5' X 50'	3 กสอบ	39.75 ลิตร/กสอบ

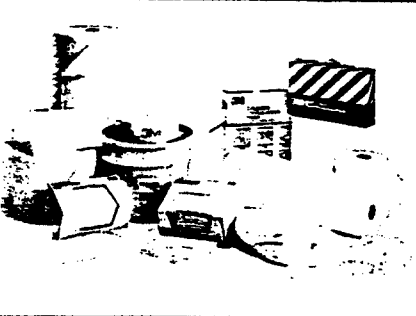
*ทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ ASTM F726-81



Maintenance Sorbents - วัสดุดูดซับน้ำมัน และสารเคมีทั่วไป

ชนิด	รุ่น	ขนาด	การบรรจุ/ลัง	ความจุ
PAD	M - PD 720 GG	7.5" X 20.5"	100 แผ่น	1.19 ลิตร/แผ่น
ROLL	M - RL 15150 DD	15.5" X 150"	1 ม้วน	117.35 ลิตร/ม้วน
RUG	M - RGC 36100 E	36" X 100"	1 ผืน	39.75 ลิตร/ผืน
FOLDED	M - FL 560 DD	5' X 50'	3 กสอบ	39.75 ลิตร/กสอบ

*ทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ ASTM F726-81







Chemical Sorbent - วัสดุดูดซับสารเคมีเกรด คิงซันนิล

ชนิด	รุ่น	ขนาด	การบรรจุ/ลัง	ความจุ
PAD	C - PD 914 DD	9.25" X 14.5"	8 กสอบ (25 แผ่น/กสอบ)	0.59 ลิตร/แผ่น
ROLL	C - RL 15150 DD	15.5" X 150"	1 ม้วน	117.35 ลิตร/ม้วน
FOLDED	C - FL 560 DD	5' X 50'	3 กสอบ	39.75 ลิตร/กสอบ
MINI BOOMS	P - 212	3' dia X 12'	4 ท่อน	12 GL / ลัง
PARTICULATE	P - 500	12 Lbs./Bag	12 ปอนด์	14 GL / ลัง

อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณสารเคมีในอากาศ รุ่น 3000

ใช้ตรวจวัดปริมาณสารเคมีในอากาศที่มีความถูกต้องในการตรวจวัด $\pm 25\%$ ที่ระดับความชื้น 95% ตามมาตรฐาน OSHA ใช้งานง่าย สะดวก ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย เพื่อติดไว้ที่ปกเสื้อของคู่ปฏิบัติงานแล้วเข้าไปทำงานตามปกติ แล้วส่งตัวอย่างให้ 3M เป็นตัววิเคราะห์ หรือสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) ในห้องปฏิบัติการของท่านได้

	<p>Organic Vapor Monitor ประกอบด้วยแผ่นคาร์บอน 1 ชั้น สามารถเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ได้มากกว่า 128 ชนิด รุ่น 3600 ราคาไม่รวมค่าวิเคราะห์ รุ่น 3610 ราคารวมค่าวิเคราะห์ สามารถเลือกวิเคราะห์ สารเคมีได้ 3 ชนิดต่อหนึ่งตัวอย่าง</p>		<p>Organic Vapor Monitor with Back-up Section ประกอบด้วยแผ่นคาร์บอน 2 ชั้น ใช้ในกรณีที่มีความเข้มข้น ขั้นสูง หรือแผ่นคาร์บอนสามารถดูดซับได้น้อย เช่น ไวน์แอลกอฮอล์ เมทิลเอทิลเคโรดีน รุ่น 3620 ราคาไม่รวมค่าวิเคราะห์ รุ่น 3630 ราคารวมค่าวิเคราะห์ สามารถเลือกวิเคราะห์ สารเคมีได้ 3 ชนิดต่อหนึ่งตัวอย่าง</p>
	<p>Ethylene Oxide Monitor ใช้ในโรงงานผลิตยา โรงพยาบาล และ โรงงานผลิตสาร เคมีที่มีการใช้ ethylene oxide ในการขนหรือ รุ่น 3661 ราคาไม่รวมค่าวิเคราะห์ รุ่น 3660 ราคารวมค่าวิเคราะห์</p>		<p>Formaldehyde Monitor ใช้ในโรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการ คุณภาพระบบ ผลิตสารเคมี อีโคโนมิก เทคโนโลยี และ โรงผลอม รุ่น 3721 ราคาไม่รวมค่าวิเคราะห์ รุ่น 3720 ราคารวมค่าวิเคราะห์แล้ว</p>

ภาคผนวก 3

รายการและราคาอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดสำหรับการปรับปรุงหอกลับ

รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)
1. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลน้ำสำ (Flowmeter)	1	9,972.40
2. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแอลกอฮอล์	2	25,193.15
3. เกจวัดความดัน	4	10,284.84
4. เกจวัดอุณหภูมิ	4	15,523.56
5. วาล์วพีเสื่อ	5	2,814.10
6. บอลวาล์ว	13	2,156.05
7. วาล์วนิรภัย	2	9,367.85
8. ท่อสแตนเลส	2	3,210.00
9. ข้อต่อ ข้องอ ยูเนียน สามทาง นิปเปิด หน้าแปลน แลบจ็อย ข้อลดเหลี่ยม ฯลฯ		16,705.90
10. ลวดเชื่อมสแตนเลส/ทังสแตน		2,090.00
11. แก๊สอาร์กอน		856.00
12. เทปพันเกลียว	20	256.80
13. โครงเสื่อ ใบเสื่อ เวอร์เนียร์		286.00
14. แอลกอฮอล์มีเตอร์	5	11,235.00
	รวมทั้งสิ้น	109,951.56

ภาคผนวก 4

ข้อมูลการกลั่นแอลกอฮอล์ครั้งที่ 1 (วันที่ 26-27 มิถุนายน 2543)

วันที่ 26 มิถุนายน 2543

ปริมาณน้ำหมักสำ 2,500 ลิตร

อัตราการป้อนน้ำหมักสำ 1.30 – 1.53 ลิตร/นาที

Steam : Operating pressure 30.2 kg/cm² ; 50 – 55 psi

Time	Tray 1		Tray 4		Tray 7	
	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)
Tower 2 17.45	96	0	90	0	115	0
18.00	96	0	88	0	95	0
18.30	98	0	90	0	110	0
19.10	98	0	90	0	100	0
19.30	96	0	90	0	115	0
Time	Tray 1		Remark			
	Temp.(°C)	P (mm.Aq)				
Tower 1 17.35	115	300-450	Feed steam			
18.00	90	0	Feed fermented broth			
18.30	100	0	The cooling water pipe was plugged and then was solved			
19.00	40	0	Stop feeding fermented broth because a valve near base of column no.1 was plugged			
19.10	100	0	Start feeding fermented broth again			
19.30	100	0				

วันที่ 27 มิถุนายน 2543

ปริมาณน้ำหมักส่า 2,500 ลิตร

อัตราการป้อนน้ำหมักส่า 1.30 – 1.53 ลิตร/นาที

Steam : Operating pressure 30.2 kg/cm² ; 50 – 55 psi

Time	Tray 1		Tray 4		Tray 7	
	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)
Tower 2 10.00	96	0	80	0	92	0
10.30	98	0	80	0	92	0
11.00	98	0	90	0	92	0
11.30	98	0	90	0	100	0
Time	Tray 1		Remark			
	Temp.(°C)	P (mm.Aq)				
Tower 1 10.00	108	0				
11.00	108	0				
11.30	108	0				

ข้อมูลการกลั่นแอลกอฮอล์ครั้งที่ 2

(วันที่ 3 – 5 กรกฎาคม 2543)

วันที่ 3 กรกฎาคม 2543

ปริมาณน้ำหมักสำ 5,000 ลิตร

อัตราการป้อนน้ำหมักสำ 1.30 – 1.53 ลิตร/นาที

Steam : Operating pressure 30 kg/cm² ; 54 – 55 psi

Time	Tray 1		Remark			
	Temp.(°C)	P (mm.Aq)				
Tower 1	17.00		Feed steam			
	18.00	108 0				
	19.00	90 0	The temperature was drastically dropped despite it should be practically constant because the flow of fermented broth flooded the trays and then blocked the steam, resulting in the degree of alcohol product coming out of Tray2 was 25%. The solution was to open valve to drain out all of fermented broth, increased steam feed rate and then fed fermented broth again.			
	19.15	106 0	The degree of alcohol product coming out of Tray2 was 40%.			
	19.30	104 0	The operator could adjust the operating condition to have alcohol product at 90%.			
Time	Tray 1		Tray 4		Tray 7	
	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)
Tower 2	17.00		Feed steam			
	17.30	90 0	22 0		48 0	
	18.00	92 0	90 0		110 0	
Feed broth	18.05	92 0	20 0		110 0	
	18.30	94 0	90 0		110 0	
	18.40	Obtain 50 % alcohol				
	19.30	92 0	90 0		112 0	
	Obtain 25 % alcohol(because of flooding of molasses, discharge fermented broth at section1 and stop feeding fermented broth).					
Feed broth	19.15	94 0	90 0		111 0	
	19.30	94 0	90 0		111 0	
	19.45	94 0	90 0		110 0	
	19.50	Obtain 55 % alcohol				
	20.00	94 0	90 0		110 0	
Obtain 50% alcohol						

วันที่ 4 กรกฎาคม 2543

ปริมาณน้ำหมักสำ 5,000 ลิตร

อัตราการป้อนน้ำหมักสำ 1.30 – 1.53 ลิตร/นาที

Steam : Operating pressure 30 kg/cm² ; 54 – 55 psi

Time	Tray 1		Tray 4		Tray 7		
	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (bar)	
Tower 2	14.10	94	0	88	0	94	0
	10.30	92	0	87	0	92	0
	15.00	92	0	87	0	100	0
Running the other large distillation column instead of the smaller distillation.							
Time	Tray 1		Remark				
	Temp.(°C)	P (mm.Aq)					
Tower 1	17.00	102	0				
	14.30	102	0				
	15.00	102	0				

ข้อมูลการก่อกวนแอลกอฮอล์ครั้งที่ 3
(วันที่ 31 กรกฎาคม - 1 สิงหาคม 2543)

วันที่ 31 กรกฎาคม 2543

ปริมาณน้ำหมักสำ 2,500 ลิตร

อัตราการป้อนน้ำหมักสำ 1.30 - 1.53 ลิตร/นาที

Steam : Operating pressure 55 psi

Time	Tray 1		Tray 4		Tray 7	
	Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (mm.Aq)	Temp.(°C)	P (bar)
Tower 2						
Feed steam 17.45						
Feed broth 18.00	88	0	90	0	114	0
18.30	89	0	90	0.02	114	0
18.45	Stop feeding because of flooding, then reduce steam flow rate.					
	88	0	90	0	114	0
18.50	88	0	90	0	114	0
Feed broth 19.00	88	0	90	0	80	0
19.30	88	0	84	0	64	0
20.00	88	0	84	0	94	0
Time	Tray 1		Remark			
	Temp.(°C)	P (mm.Aq)				
Tower 1 18.00	109	0				
18.30	100	0				
18.43	40	0				
18.52	106	0				
19.10	107	0				
19.40	106	0				
	105	0				
<ul style="list-style-type: none"> ● Installation of compound pressure gauge ranging from -760 mmHg to 1 kg/cm² at column no.2 ● Installation of vacuum gauge range 0-760 mmHg at section1 of column no.1 						

วันที่ 1 สิงหาคม 2543

ปริมาณน้ำหมักสำ 2,500 ลิตร

อัตราการป้อนน้ำหมักสำ 1.30 – 1.53 ลิตร/นาที

Steam : Operating pressure 55 psi

Time		Tray 1		Tray 4		Tray 7	
		Temp.(°C)	P (bar)	Temp.(°C)	P (Kg/cm ²)	Temp.(°C)	P (bar)
Tower 2	09.50	88	0	84	0.025	104	0
	10.00	88	0	84	0	104	0
	10.30	89	0	84	0	104	0
	11.00	90	0	84	0	104	0
	11.30	89	0	84	0	104	0
	12.00	89	0	84	0	104	0
	12.15	90	0	86	0	104	0
	12.30	90	0	87	0	104	0
	13.00	90	0	87	0	104	0
	20.00	90	0	90	0	104	0
						65% alcohol	
Time		Tray 1		Remark			
		Temp.(°C) P (Kg/cm ²)					
Tower 1	09.50	108	0	Move the pressure gauge to be installed at the top of the column.			
	10.00	108	0				
	10.30	107	0.005				
	11.00	108	0.005				
	11.30	107	0.005				
	12.00	108	0				
	12.15	108	0.05				
	12.30	108	-	Top of column P (kg/cm ²) 0			
13.00	107	-	0				
13.30	90	-	0				
<ul style="list-style-type: none"> ● Installation of compound pressure gauge ranging from -760 mmHg to 1 kg/cm² at column no.2 ● Installation of vacuum gauge range 0-760 mmHg at section1 of column no.1 							

ภาคผนวก 5

รายการคำนวณการออกแบบหอกลั่น

หอกลั่นที่ 1

ปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำหมักสำ 8 % $\Rightarrow (X_F = 0.08)$

ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่ต้องการ 50 % $\Rightarrow (X_D = 0.50)$

กำหนดปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำก้นหอกลั่น 5 % $\Rightarrow (X_W = 0.05)$

อุณหภูมิหอกลั่นเฉลี่ย (T_{OP}) 98°C

ความดันหอกลั่นเฉลี่ย (P_{OP}) 1 atm

ความหนาแน่นน้ำหมักสำ 1030 kg/m^3 (d_{Broth})

ความหนืดน้ำหมักสำ(น้ำ)ที่ $T_{OP} 98^{\circ}\text{C} = 0.1 \text{ cP}$ (μ_{Broth})

ความหนืดแอลกอฮอล์ที่ $T_{OP} 98^{\circ}\text{C} = 0.34 \text{ cP}$ (μ_{EtOH})

$$\begin{aligned} T_{OP} 98^{\circ}\text{C} : \log_{10} P_{\text{EtOH}} &= 8.04494 - 1554.3/222.65 + T_{OP} & (1) \\ &= 8.04494 - 1554.3/222.65 + 98 \\ &= 3.20 \end{aligned}$$

$$P_{\text{EtOH}} = 1576.15$$

$$\begin{aligned} \log_{10} P_{\text{Broth (H}_2\text{O)}} &= 7.96681 - 1668.21/228 + T_{OP} & (2) \\ &= 7.96681 - 1668.21/228 + 98 \\ &= 2.84 \end{aligned}$$

$$P_{\text{Broth (H}_2\text{O)}} = 707.29$$

$$\begin{aligned} \text{Relative volatility } (\alpha) &= P_{\text{EtOH}} / P_{\text{Broth (H}_2\text{O)}} & (3) \\ &= 1576.15/707.29 \\ &= 2.22 \end{aligned}$$

$$Y_a = \frac{\alpha X_a}{1 + (\alpha - 1)X_a} \quad (4)$$

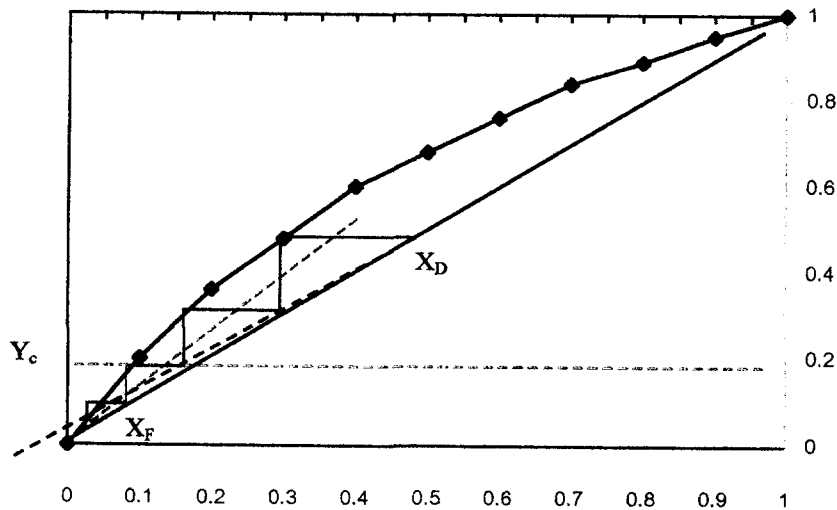
สร้างกราฟสมดุล ไอ-ของเหลว (equilibrium $x - y$)

แทนค่า α และ X_a ในสมการ (4)

X_a	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1
Y_a	0	0.20	0.36	0.48	0.60	0.68	0.76	0.84	0.89	0.95	1

จากกราฟรูปที่ 1 $X_F = 0.08, Y_C = 0.19$

$$\begin{aligned} \text{อัตราป้อนส่วนกลับน้อยที่สุด (Rm)} &= X_D - Y_C / Y_C - X_C \quad ; \quad X_F = X_C \quad (5) \\ &= 0.50 - 0.19 / 0.19 - 0.08 \\ &= 2.82 \\ 2 \text{ เท่าของ Rm} &= 2 * 2.82 \\ &\approx 6 \text{ เท่า} \\ \text{จำนวนชั้น(tray) น้อยที่สุด (กราฟรูปที่ 1)} &= 5 \text{ ชั้น} \\ \text{ประสิทธิภาพของชั้น (เลือกใช้ } \mu_{\text{EtOH}} = 0.34 \text{ cP)} &= 47 \% \\ \text{จำนวนชั้นจริง} &= (5/47) * 100 \\ &= 11 \text{ ชั้น} \end{aligned}$$



รูปที่ 1. กราฟสมดุลไอ-ของเหลวสำหรับคำนวณจำนวนชั้นของหอกลั่นที่ 1.

กำหนดอัตราการป้อนน้ำหมักสำ $21/\text{min} = 0.12 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\begin{aligned} \text{มวลน้ำหมักสำ} &= 1030 * 0.12 \\ &= 123.60 \text{ kg/h} \\ &= 6.11 \text{ kmol/h} \\ \hline &= \frac{123.60}{(0.08 * 46.07 + 0.92 * 18)} \\ &= D + W \quad (6) \\ F * X_F &= (D * X_D) + (W * X_W) \quad (7) \\ (6.11 * 0.08) &= 0.50D + 0.50W \\ 0.48 &= 0.50D + 0.50W \quad (8) \end{aligned}$$

จาก (6)	D	= 6.11 - W	(9)
แทน (9) ใน (8)	W	= 5.73 kmol/h	
	D	= 0.38 kmol/h	
	R	= L_n/D	(10)
	L_n	= 6 * 0.38	
	L_n	= 2.28 kmol/h	
ความเร็วไอ	(V_n)	= $L_n + D$	
		= 2.28+0.38	
		= 2.66 kmol/h	
		= 0.00074 kmol/s	
ความหนาแน่นของไอ	(ρ)	= $(1/22.4)(273/273+98)$	
		= 0.0328 kmol/m ³	
Volumetric flow rate		= 0.00074/0.0328	
		= 0.226 m ³ /s	
Distillation tower area(A)		= $\frac{\text{Volumetric flow rate}}{\text{Vapor velocity}}$	
กำหนด Vapor velocity		= 1 m/s	
		= 0.226/1	
		= .0226 m ²	
ความสูงหอกถัน 5.14 เมตร			
ปริมาตรหอกถัน		= 0.226*5.14	
		= 0.12 m ³	
	0.12	= $(\pi d^2/4) * 5.14$	
เส้นผ่านศูนย์กลางหอกถัน (d)		= 17 cm	
ความสูงของหอกถันส่วนที่ติดตั้ง tray		= 60*6 cm	
		= 360 cm	
ระยะห่างระหว่าง tray		= 360/11	
		= 32 cm	

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนน้ำสำและเส้นผ่านศูนย์กลางหอกถันที่ 1
 อัตราการป้อนน้ำสำ 1 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm
 อัตราการป้อนน้ำสำ 2 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลาง 17 cm
 อัตราการป้อนน้ำสำ 3 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 cm
 ดังนั้นอัตราการป้อนน้ำสำอยู่ในช่วง 1 – 3 l/min

การป้อนแอลกอฮอล์จากหอกถันที่ 1 ไปหอกถันที่ 2

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 \Leftrightarrow \quad 8\% * 2 \text{ l/min} = 50\% * x \text{ l/min}$$

$$x = 0.32 \text{ l/min}$$

$$= 0.0003 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 0.0003 * 60 \text{ min} * 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$= 19.95 \text{ kg/h}$$

$$= 0.62 \text{ kmol/h}$$

$$\frac{19.95}{(0.5 * 46.07 + 0.5 * 18)}$$

$$0.62 = D + W$$

$$D = 0.62 - W$$

$$(0.62 * 0.50) = 0.95D + 0.05W$$

$$W = 0.30 \text{ kmol/h}$$

$$D = 0.32 \text{ kmol/h}$$

$$R = L_n / D$$

$$L_n = 3 * 0.32$$

$$L_n = 0.96 \text{ kmol/h}$$

ความเร็วไอ (V_n) = L_n + D

$$= 0.96 + 0.32$$

$$= 1.28 \text{ kmol/h}$$

$$= 0.00036 \text{ kmol/s}$$

ความหนาแน่นของไอ (ρ) = (1/22.4)(273/273+98)

$$= 0.0328 \text{ kmol/m}^3$$

Volumetric flow rate = 0.00036/0.0328

$$= 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Distillation tower area(A) = $\frac{\text{Volumetric flow rate}}{\text{Vapor velocity}}$

กำหนด Vapor velocity = 1 m/s

$$= 0.011/1$$

$$= .011 \text{ m}^2$$

ความสูงหอกถัน 4.23 เมตร

ปริมาตรหอกถัน = 0.011 * 4.23

$$= 0.046 \text{ m}^3$$

0.46 = $(\pi d^2/4) * 4.23$

เส้นผ่านศูนย์กลางหอกถัน (d) = 12 cm

$$\begin{aligned} \text{ความสูงของหอกถันส่วนที่ติดตั้ง tray} &= 60 \cdot 7 \text{ cm} \\ &= 480 \text{ cm} \\ \text{ระยะห่างระหว่าง tray} &= 480/20 \\ &= 24 \text{ cm} \end{aligned}$$

หอกถันที่ 2

$$\text{ปริมาณแอลกอฮอล์จากหอกถันที่ 1} \Rightarrow (X_F = 0.50)$$

$$\text{ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่ต้องการ 95 \%} \Rightarrow (X_D = 0.95)$$

$$\text{กำหนดปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำก้นหอกถัน 5 \%} \Rightarrow (X_W = 0.05)$$

อุณหภูมิหอกถันเฉลี่ย (T_{OP}) 98°C .

ความดันหอกถันเฉลี่ย (P_{OP}) 1 atm

ความหนาแน่นน้ำหมักสำ 1050 kg/m^3 (d_{EtOH})

ความหนืดแอลกอฮอล์ที่ $T_{OP} 98^\circ\text{C}$. = 0.34 cP (μ_{EtOH})

$$\begin{aligned} T_{OP} 98^\circ\text{C} : \log_{10} P_{EtOH} &= 8.04494 - 1554.3/222.65 + T_{OP} \\ &= 8.04494 - 1554.3/222.65 + 98 \\ &= 3.20 \end{aligned}$$

$$P_{EtOH} = 1576.15$$

$$\begin{aligned} \log_{10} P_{H_2O} &= 7.96681 - 1668.21/228 + T_{OP} \\ &= 7.96681 - 1668.21/228 + 98 \\ &= 2.84 \end{aligned}$$

$$P_{H_2O} = 707.29$$

$$\begin{aligned} \text{Relative volatility } (\alpha) &= P_{EtOH} / P_{H_2O} \\ &= 1576.15/707.29 \\ &= 2.22 \end{aligned}$$

$$Y_a = \frac{\alpha X_a}{1 + (\alpha - 1)X_a} \quad (11)$$

สร้างกราฟสมดุลไอ-ของเหลว (equilibrium $x - y$)

แทนค่า α และ X_a ในสมการ (11)

X_a	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1
Y_a	0	0.20	0.36	0.48	0.60	0.68	0.76	0.84	0.89	0.95	1

จากกราฟรูปที่ 2 $X_F = 0.50$, $Y_C = 0.69$

$$\text{อัตราส่วนกลับน้อยที่สุด (Rm)} = X_D - Y_C / Y_C - X_C \quad ; \quad X_F = X_C \quad (12)$$

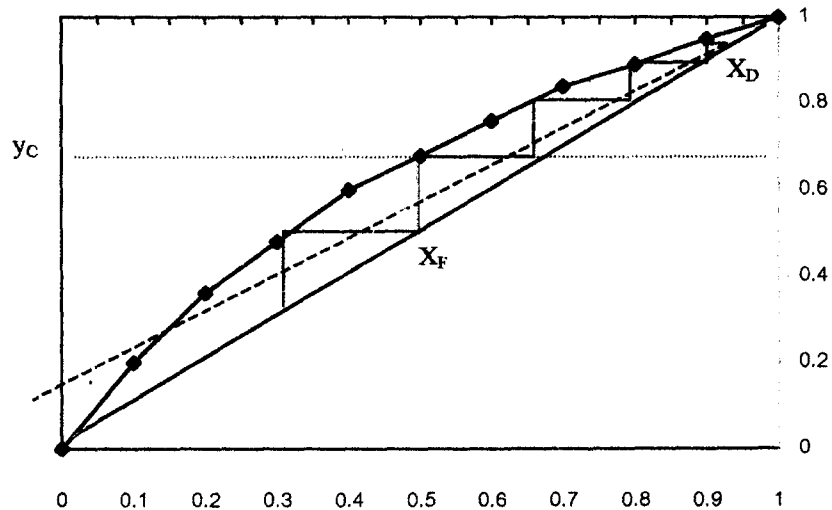
$$= 0.95 - 0.69 / 0.69 - 0.50$$

$$= 1.36$$

2 เท่าของ Rm

$$= 2 * 1.36$$

$$\approx 3 \text{ เท่า}$$



รูปที่ 2. กราฟสมดุลไอ-ของเหลวสำหรับคำนวณจำนวนชั้นของหอกถันที่ 2.

จำนวนชั้น (tray) น้อยที่สุด (กราฟรูปที่ 2) 9 ชั้น

ประสิทธิภาพของชั้น (เลือกใช้ μ_{EtOH} 0.34 cP) = 47 %

จำนวนชั้นจริง = $(9/47) * 100$

= 20 ชั้น

การออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางหอกถันที่ 2 ได้จากอัตราการป้อนแอลกอฮอล์จากหอกถันที่ 1 ไปหอกถันที่ 2

กำหนดการป้อนแอลกอฮอล์ 1 l/min = .001 m³/h

= 0.06 m³/h

= 0.06 m³/h * 1050 kg/m³

= 63 kg/h

$$\frac{63}{(0.5 \cdot 46.07 + 0.5 \cdot 18)} = 1.96 \text{ kmol/h}$$

$$1.96 = D + W$$

$$D = 1.96 - W$$

$$(1.96 \cdot 0.50) = 0.95D + 0.05W$$

$$W = 0.98 \text{ kmol/h}$$

$$D = 0.98 \text{ kmol/h}$$

$$R = L_n/D$$

$$L_n = 3 \cdot 0.98$$

$$L_n = 2.94 \text{ kmol/h}$$

ความเร็วไอ (V_n) = L_n + D

$$= 2.94 + 0.98$$

$$= 3.92 \text{ kmol/h}$$

$$= 0.0011 \text{ kmol/s}$$

ความหนาแน่นของไอ (ρ) = (1/22.4)(273/273+98)

$$= 0.0328 \text{ kmol/m}^3$$

Volumetric flow rate = 0.0011/0.0328

$$= 0.034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Distillation tower area(A) = $\frac{\text{Volumetric flow rate}}{\text{Vapor velocity}}$

กำหนด Vapor velocity = 1 m/s

$$= 0.034/1$$

$$= 0.034 \text{ m}^2$$

ความสูงหอกถัน 4.23 เมตร

ปริมาตรหอกถัน = 0.034 * 4.23

$$= 0.144 \text{ m}^3$$

$$0.144 = (\pi d^2/4) \cdot 4.23$$

เส้นผ่านศูนย์กลางหอกถัน (d) = 21 cm

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและเส้นผ่านศูนย์กลางหอกถันที่ 2

อัตราการป้อนแอลกอฮอล์ 0.30 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm

อัตราการป้อนแอลกอฮอล์ 0.80 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm

อัตราการป้อนแอลกอฮอล์ 1 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 cm

ดังนั้นอัตราการป้อนแอลกอฮอล์อยู่ในช่วง 0.30 – 1 l/min

กำหนดอัตราการป้อนน้ำหมักสำ 1 l/min = 0.06 m³/h

$$\begin{aligned}
\text{มวลน้ำหมักสำ} &= 1030 * 0.06 \\
&= 61.80 \text{ kg/h} \\
\frac{61.80}{(0.08 * 46.07 + 0.92 * 18)} &= 3.05 \\
3.05 &= D + W \quad (6) \\
F * X_F &= (D * X_D) + (W * X_W) \quad (7) \\
(3.05 * 0.08) &= 0.50D + 0.50W \\
0.24 &= 0.50D + 0.50W \quad (8) \\
\text{จาก (6) } D &= 3.05 - W \quad (9) \\
\text{แทน (9) ใน (8) } W &= 2.84 \text{ kmol/h} \\
D &= 0.21 \text{ kmol/h} \\
R &= L_n/D \quad (10) \\
L_n &= 6 * 0.21 \\
L_n &= 1.26 \text{ kmol/h} \\
\text{ความเร็วไอ } (V_n) &= L_n + D \\
&= 1.26 + 0.21 \\
&= 1.47 \text{ kmol/h} \\
&= 0.00041 \text{ kmol/s} \\
\text{ความหนาแน่นของไอ } (\rho) &= (1/22.4)(273/273+98) \\
&= 0.0328 \text{ kmol/m}^3 \\
\text{Volumetric flow rate} &= 0.00041/0.0328 \\
&= 0.0125 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Distillation tower area(A)} &= \frac{\text{Volumetric flow rate}}{\text{Vapor velocity}} \\
\text{กำหนด Vapor velocity} &= 1 \text{ m/s} \\
&= 0.0125/1 \\
&= .0125 \text{ m}^2 \\
\text{ความสูงหอกลั่น 5.14 เมตร} & \\
\text{ปริมาตรหอกลั่น} &= 0.0125 * 5.14 \\
&= 0.064 \text{ m}^3 \\
0.064 &= (\pi d^2/4) * 5.14 \\
\text{เส้นผ่านศูนย์กลางหอกลั่น (d)} &= 12 \text{ cm} \\
\text{ทำนองเดียวกันถ้าอัตราการป้อนน้ำหมักสำ 3 l/min ; เส้นผ่านศูนย์กลางหอกลั่น (d) = 21 cm} &
\end{aligned}$$