รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ "การปรับปรุงการผลิตแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา "
โครงการที่ 4" การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแอลกอฮอล์ระดับโรงงานต้นแบบ"

โดย ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ และคณะ

กันยายน 2545

สัญญาเลขที่ RDG5/0053/2544

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ "การปรับปรุงการผลิตแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา "
โครงการที่ 4" การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแอลกอฮอล์ระดับโรงงานต้นแบบ"

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1 ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์(หัวหน้าโครงการฯ)	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2 คุณ อะเคื้อ บุญญสิริ	งานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา
3 คุณ สมคิด ธรรมรัตน์	กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
4 คุณ สิริพร สธนเสาวภาคย์	สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สสกว) (สัญญาเลขที่ RDG5/0053/2544) ประจำปี 2544-2545 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทางสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่กรุณาให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้มา ณ ที่นี้

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร. จรูญ คำนวณตา และอาจารย์ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งตลอดโครงการ ขอขอบคุณนักวิจัยร่วมโครงการนี้ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่งานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดาทุกท่านซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้ลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิตเอทานอลของโครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา โดยการคุมควบการดำเนินการที่เหมาะสมทั้งกระบวนการหมักและการกลั่นด้วยการปรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้น เปอร์เซ็นต์กล้าเชื้อ รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิสูงสุด และขั้นตอนดำเนินการการหมักที่เหมาะสม ความเข้มข้นของเอทานอลหลังการหมัก 72 ชั่วโมงจากเดิม 7-8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพิ่มเป็น 11-12% เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือ 10-11% เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสำหรับการหมัก 48 ชั่วโมง จากการปรับปรุงการดำเนินในการหมักพร้อมกับการกลั่น ทำให้เพิ่มผลผลิต 95%เอทานอลจาก 640-740 ลิตร (10000 ลิตรของน้ำส่า)ในการหมัก1 ครั้ง เป็น 950-1100 ลิตร (9100 ลิตรของน้ำส่า)ในการหมัก 1 ครั้ง ในกรณีที่ต้องการเพิ่มผลผลิตมากขึ้นสามารถย่นเวลาการหมักเป็น 48 ชั่วโมงทำให้หมักได้อย่างน้อย 2 ครั้งต่อสัปดาห์ กระบวนการต้นแบบที่ปรับปรุงนี้สามารถใช้สำหรับการขยายขนาด และใช้เป็นกระบวนการสาธิตสำหรับการสร้างกระบวนหมักขนาดเล็กในชนบท

กระบวนการกำจัดน้ำเสียเป็นปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล เนื่องจากในน้ำกากส่ามีสารอินทรีย์ปริมาณสูงจากทั้งเซลล์ยีสต์และน้ำตาลที่เหลือจากการหมักทำให้มีความลำบากในการจัดการน้ำกากส่าเพื่อให้น้ำทิ้งเป็นไปตามข้อกำหนด งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาเบื้องต้นถึงการนำน้ำกากส่ามาใช้ทดแทนน้ำบางส่วนในการหมักเพื่อผลิตเซลล์โปรตีนและการหมักเพื่อผลิตเอทานอล จากการทดลองพบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่มากที่สุดของน้ำกากส่าที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำขึ้นกับค่าความเข้มข้นของน้ำตาลตั้งต้นโดยรวมของระบบและชนิดของจุลลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักของระบบ สำหรับการหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 พบว่าสามารถใช้น้ำกากส่าทดแทนน้ำได้ในปริมาณ 30-50%

Abstract

Production of fuel ethanol from molasses at Royal Chitralada's project was improved from the optimization of the fermentation and distillation processes. With suitable adjustments of initial reducing sugar content and percentage of inocculum together with the control of maximum fermentation temperature and improved process procedures, ethanol concentration after 72 hours of fermentation increases from 7-8% (V/V) (from the previous procedures) to 11-12% (V/V) or 10-11% for 48 hours of fermentation. Together with the improvement of distillation process, the ethanol production increased from 640-740 litters (10000 litters of slop) per batch to 950-1100 liters (9100 litters of slop) per batch. With the reduced fermentation cycle time to 48 hours, at least 2 operation batches per week can be done incase more productivity is required. The Improved pilot plant can be used to scale up to the larger size or to demonstrate for small plants in the rural area.

Waste treatment is one of the important problems in Thai distilleries. Due to the very high organic matter of yeast cell and sugar residue in the fermentation broth, treatment of the stillage is found difficult to meet the regulatory discharge limits. To reduce the amount of stillage, the preliminary studies to re-use the stillage as the replacement of fresh water for single cell protein production and ethanol production had been examined. It was found that the maximum percentage of the replacement by stillage depends on the initial total concentration of reducing sugar and the microorganism in the system. For the fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* M30, it was viable to recycle of stillage to replace 30-50 % of the total fresh water requirements.

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	3
2. ทฤษฎีและหลักการ	5
3. วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
4. กิจกรรมและผลการดำเนินงานของโครงการโดยสรุป	6
5. รายงานการทดลอง การเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักแอลกอฮอล์ ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา	8
5.1ขั้นตอนการดำเนินการ	8
5.2 วิธีการวิเคราะห์	9
5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์	10
5.4 สรุปผลการดำเนินการ	28
6. รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein และหมักแอลกอฮอล์	32
6.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	32
6.2 วิธีการวิเคราะห์	33
6.3 ผลการทดลองและวิจารณ์	34
6.3.1 รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein	34
6.3.2 รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการหมักแอลกอฮอล์	43
7. สรุปผล	48
8. ผลที่ได้รับ	50
9. สรุปผลจากหัวหน้างานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง โครงการส่วนพระองค์ฯ	50
10. เอกสารอ้างอิง	51
11. ภาคผนวก	
11.1 ขั้นตอนดำเนินการของกระบวนการหมักเอทานอลก่อนและหลังการปรับปรุง	52
11.2 ตารางการปฏิบัติของกระบวนการผลิตแบบ 1รอบต่อสัปดาห์และ 2รอบต่อสัปดาห์	54
11.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ของโครงการส่วนพระองค์ฯ	56
11.4 ตารางแสดงผลการทดลองการหมักเอทานอล	61
11.5 สรุปโครงการ (Executive Summary)	82
11.6 รายงานการเงิน	85

1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน จาก methyl-tert-butyl ether (MTBE) ซึ่งปัจจุบันใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน จึงได้มีการนำเอทิลแอลกอฮอล์ มาใช้ในการเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบ็นซิน (เอทานอล) แทน MTBE โดยมีแนวโน้มว่าในอนาคตอันใกล้จะมีกฎหมายห้ามใช้สารดังกล่าว (รัฐแคลิฟอร์เนียร์ สหรัฐอเมริกา ออกกฎหมายห้ามใช้ MTBE ในปี 2002, CHEMICAL ENGINEERING WWW.CHE.COM ,OCT 2000) นอกจากนี้ในแง่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รถที่ใช้น้ำมันผสมเอทานอล จะปล่อยควันเสียที่มีปริมาณของมลพิษต่ำลง โดย THC ลดลงประมาณ 6.2-8.5% CO ลดลงประมาณ 23.2-39.1% และ NO_x ลดลงประมาณ 12.2-13.4% จากปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม จึงมีแนวโน้มว่าจะมีการเพิ่มปริมาณการใช้ เอทานอล มาใช้ร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมบางส่วนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้เอทานอลยังถูกใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหลายอย่าง ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา ใช้ในการแพทย์และอื่นๆ โดยปัจจุบันยังมีการนำเข้าเอทานอลหลังกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์เข้าประเทศ

สำหรับสถานะการณ์เชื้อเพลิงในเมืองไทย เนื่องจากปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงได้มีราคาเพิ่มสูงขึ้นมาก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอีกในอนาคต โอกาสที่ราคาน้ำมันจะลดต่ำลงมีน้อยมาก รัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยการลดอัตราภาษีให้ทางบริษัทผู้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ ปตท. และบางจาก ได้เริ่มดำเนินการทดลองนำน้ำมันเชื้อเพลิงผสมแอลกอฮอล์จำหน่ายแก่ประชาชนตามปั๊มน้ำมันบางแห่ง โดยใช้แอลกอฮอล์จากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ต้นแบบของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา และโรงงานต้นแบบของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ผลิตแอลกอฮอล์ 99.5% ไปผสมน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 1:10 ปรากฏว่าได้รับความสนใจจากประชาชนเป็นอย่างดี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยผลิตแอลกอฮอล์จนไม่เพียงพอกับการจำหน่าย ต่อมาได้นำแอลกอฮอล์จากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ขนาดใหญ่มาผลิตเพิ่มเติม เพื่อสนองต่อความต้องการของตลาด ทราบว่าผู้ขับขี่จักรยานยนต์พอใจที่จะใช้มาก เนื่องจากสามารถลดกลิ่นจากท่อไอเสียได้ดีกว่าการใช้น้ำมันเบนซินทั่วไป

จากการพิจารณาข้อมูลขั้นต้นพบว่า โครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดายังขาดเทคโนโลยีที่ทันสมัย ไม่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้เต็มกำลังความสามารถของโรงงานต้นแบบ และจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการหมักให้สูงขึ้น เพื่อรองรับความต้องการแอลกอฮอล์ ซึ่งขณะนี้ทางโครงการฯ ยังได้รับการบริจาคเครื่องแปรรูปแอลกอฮอล์

จาก 95% เป็น แอลกอฮอล์ 99.5% จำนวน 2 ราย เพื่อทดสอบการแปรรูปด้วยกระบวนการที่ใช้ membrane และกระบวนการที่ใช้ molecular sieve จึงมีความต้องการปรับปรุงกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตลอดจนการจัดตารางเวลาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการหมัก

เนื่องจากจุดประสงค์ของการผลิตเพื่อให้ได้ แอลกอฮอล์ สำหรับไปใช้เป็นเชื้อเพลิงไม่ได้นำไปใช้ในการผลิตเป็นเครื่องดื่ม ไม่ต้องกังวลเรื่องกลิ่นรสของแอลกอฮอล์ที่ได้ การเพิ่มประสิทธิภาพการหมักจึงสามารถทำได้โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพการหมักสูง ในปัจจุบันยีสต์ที่ใช้ในการหมักของโครงการสวนจิตรลดา เป็นสายพันธุ์ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมแอลกอฮอล์สำหรับทำสุรา ไม่ตกตะกอนเมื่อสิ้นสุดการหมัก ทำให้ต้องทิ้งเซลยีสต์จำนวนมากไปเนื่องจากการแยกเซลยีสต์ออกมาใช้ประโยชน์ยังไม่คุ้มทุน

ขณะนี้ยีสต์สายพันธุ์ใหม่ของคณะผู้เสนอโครงการ มีความสามารถในการทนอุณหภูมิสูงและยังสามารถตกตะกอนได้ดี ทำให้มีลู่ทางในการพัฒนากระบวนการผลิตแอลกอฮอล์แบบใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก โดยพัฒนากระบวนการหมักจากแบบครั้งคราว (Batch) เป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) โดยนำระบบเวียนกลับของเซลยีสต์ที่ตกตกตะกอนมาใช้ ทำการหมักที่ความเข้มข้นของเซลยีสต์สูง ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการหมักสั้นลง และสามารถแยกเซลยีสต์ที่ได้จากกระบวนการหมัก มาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ได้ กระบวนการที่จะพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตทั้งทางด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพการหมัก การแยกผลพลอยได้ออกมาเป็นยีสต์โปรตีน

งานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ ในการเวียนกลับน้ำกากส่าส่วนหนึ่ง เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการหมักเอทานอล และ การผลิตเซลยีสต์เพื่อเป็นการลดต้นทุนของที่ใช้ในกระบวนการผลิต และลดปริมาณน้ำเสียที่ต้องกำจัด เนื่องจากน้ำกากส่าเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่น มีปริมาณมาก ถึง 90 % ของปริมาณของเหลวที่ได้จากการหมัก (mash) นอกจากนี้น้ำกากส่ายังมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อการหมัก เช่น น้ำตาล ที่หมักไม่หมด และสารจากเซลล์ยีสต์ที่แตกตัวตอนกลั่น เมื่อนำน้ำกากส่ามาผสมกับกากน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบ จะช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารและน้ำตาลให้แก่น้ำหมัก ทำให้เป็นผลดีต่อการหมัก

โดยการพัฒนาเทคโนโลยีในการหมักเอทานอล จะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการหมัก ลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในการกลั่น และลดปริมาณน้ำทิ้งจากการกลั่น เป็นการลดต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยเทคโนโลยีที่ได้สามารถนำไปเป็นต้นแบบสำหรับการขยายแหล่งผลิตและ ขนาดของการผลิต สำหรับกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ต่อไป

2. ทฤษฎีและหลักการ

เอทานอล Ethanol หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ เป็นสารอินทรีย์มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ C_2H_5OH เป็นของเหลวใสไม่มีสี ระเหยง่ายละลายในน้ำและในสารอินทรีย์อื่นๆ ได้ดี เอทานอลเป็นสารที่สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายประการ เช่น ใช้เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ใช้ในการผลิตยา ใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ใช้ผสมเป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน การผลิตเอทานอลสามารถทำได้ 2 วิธีหลักคือ การสังเคราะห์ทางเคมี โดยใช้เอทิลีนเป็นวัตถุดิบ และการใช้กระบวนการหมัก เนื่องจากปัจจุบันวัตถุดิบทางปิโตรเคมีมีราคาสูง เอทานอลส่วนใหญ่จึงได้จากกระบวนการหมัก

ในกระบวนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลกูลโคส เพื่อให้เกิดเป็นเอทานอลโดยเชื้อจุลลินทรีย์ เช่นยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และแบคทีเรีย (*Zymomonas mobilis*) โดยปกติจะเป็นกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic process) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการหมักคือ เชื้อยีสต์ อาหาร ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ อากาศ โดยปัจจัยทั้งหมดนี้มีผลเกี่ยวเนื่องกัน จำเป็นต้องควบคุมที่สภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพสูงสุดและ ประหยัดที่สุด

ในการเปลี่ยนน้ำตาลกูลโคสเป็น เอทานอล จะเกิดปฏิกิริยาหลายขั้นตอนภายในเซล โดยเอนไซม์ 12 ชนิด และ โคเอนไซม์ 2 ชนิด ผ่าน Embden-Meyerhof Pathway ได้ 2 โมเลกุล ATP ต่อ 1 โมเลกุล น้ำตาลกลูโคส ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของระบบสูงขึ้น เนื่องจากการคายพลังงานความร้อน โดยตามทฤษฎี การหมัก น้ำตาล 100 กรัม จะเปลี่ยนเป็นเอทานอล 51.1 กรัม และกาซคาร์บอนไดออกไซด์ 48.8 กรัมโดยน้ำหนัก (Rose and Harrison, 1971) แต่ในทางปฏิบัติน้ำตาลจะใช้ไปในการหมักประมาณ 95% อีก 5% ยีสต์จะนำไปใช้ในการเจริญ สร้างพลังงานและสารพลอยได้อื่นๆ

3. <u>วัตถุประสงค์ของโครงการ</u>

1) เพื่อวิเคราะห์การผลิตแอลกอฮอล์ของโรงงานต้นแบบผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา
2) เพื่อปรับปรุงกระบวนการหมัก
3) เพื่อหาแนวทางการผลิตโปรตีนจากยีสต์ร่วมกับการผลิตแอลกอฮอล์

4. <u>กิจกรรมและผลการดำเนินงานของโครงการโดยสรุป</u>

กิจกรรม	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ*
1) เก็บข้อมูลการดำเนินการโครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์ฯ	ได้ข้อมูลกระบวนการผลิตของโรงงาน ตารางการดำเนินงานก่อนเริ่มงานวิจัย	กระบวนการแบบครั้งคราว ใช้เวลา72 ชั่วโมงต่อการหมัก1 batch, 1 batch ต่อสัปดาห์ (รายละเอียดการดำเนินการมีในภาคผนวก) หมักได้เอทานอล 7-8% กลั่นได้เอทานอล 95%, 700 ลิตร
2) วิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อทำการพัฒนากรรมวิธีการหมักแอลกอฮอล์	ได้แผนงานเพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงาน	ปัจจัยหลักที่ปรับปรุงคือแนะนำให้ใช้ปริมาณน้ำตาลตั้งต้น, ปริมาณหัวเชื้อ การควบคุมอุณหภูมิ, ช่วงเวลาดำเนินกิจกรรมที่เหมาะสม
3) ฝึกพัฒนาเทคโนโลยีการวิเคราะห์เช่น - การวิเคราะห์น้ำตาล -การนับเซล	นักวิทยาศาสตร์ของโครงการมีทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และจำเป็นต่อการวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพของการหมัก	
4) ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอล ระดับโรงงานต้นแบบของโครงการส่วนพระองค์	สามารถเพิ่มความเข้มข้นแอลกอฮอล์จาก7-8 % (72 ชั่วโมง) เป็น 10-12%(72 ชั่วโมง) หรือ เป็น 10-11%(48 ชั่วโมง) ปริมาณเอทานอลที่ได้ต่อกากน้ำตาลที่ใช้สูงขึ้น	รายละเอียดขั้นตอนและผลการทดลองอยู่ใน หัวข้อที่ 5) รายงานการทดลอง การเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักแอลกอฮอล์
5) ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการกลั่นเอทานอล	สามารถกลั่นได้ที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น ได้เอทานอล 95%เพิ่มขึ้นจาก 700 ลิตรต่อครั้ง เป็น 900-970 ลิตรต่อครั้ง โดยประสิทธิภาพการกลั่นสูงขึ้น (อัตราการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำลง)	ปัจจัยหลักที่ปรับปรุงคือ การปรับอัตราการไหลเข้าออกให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของเอทานอลในน้ำส่าที่ได้ การเพิ่มขนาดพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงก้นหอ, การควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม และการทำความสะอาดภายในหอกลั่น

4. <u>กิจกรรมและผลการดำเนินงานของโครงการโดยสรุป(ต่อ)</u>

กิจกรรม	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ*
6) ทำการทดลองและจัดทำตารางสำหรับการหมัก 2รอบต่อสัปดาห์	สามารถหมักได้ 10-11% ในเวลา 48 ชั่วโมง ได้ 95% เอทานอล 900-950 ลิตรต่อรอบ หมักได้ 2 รอบ ต่อสัปดาห์ ได้ 1800-1900 ลิตรต่อสัปดาห์	ได้ข้อมูลการดำเนินการสำหรับช่วงที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิต โดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ แต่ต้องเพิ่มค่าล่วงเวลาคนงาน 2 คน 1/2วัน
7) ทำการทดลองใช้กากส่าเพื่อเป็นสับสเตรทในการผลิตแอลกอฮอล์	ได้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางการนำกากส่าไปใช้ในการผลิตเอทานอล	รายละเอียดขั้นตอนและผลการทดลองอยู่ใน หัวข้อที่ 6) รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein และหมักแอลกอฮอล์
8) ทำการทดลองใช้กากส่าเพื่อผลิตเซลโปรตีน	ได้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางการนำกากส่าไปใช้ในการผลิตเซลโปรตีน	รายละเอียดขั้นตอนและผลการทดลองอยู่ใน หัวข้อที่ 6) รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein และหมักแอลกอฮอล์

5. **<u>รายงานการทดลอง</u> การเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักแอลกอฮอล์ ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา**

<u>5.1 ตอนการดำเนินการ</u>

5.1.1 เก็บข้อมูลการดำเนินการหมักของโครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์ฯ

5.1.2 ทำ<u>การทดลองที่ 1</u> เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบเดิมของโรงงาน(กระบวนการแบบ batch ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 19.18%) กับกระบวนการแบบ batch แต่เพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลเป็น 22% และกระบวนการหมักแบบ Fed batchที่ มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4 (ความเข้มข้นของน้ำตาลรวม19.18% และ 22% ตามลำดับ) โดยการเติมน้ำตาลครั้งแรกใช้การคำนวณและวัดระดับความสูงของสารละลายที่เพิ่มขึ้น ส่วนครั้งที่2 ใช้การคำนวณ, ชั่งน้ำหนักกากน้ำตาลและวัดระดับของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 2.5 ชั่วโมง

5.1.3 ทำ<u>การทดลองที่2</u> เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบ batch ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 24% กับกระบวนการหมักแบบ Fed batch ที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ (1/3,2/3) ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%), แบบFed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ (1/4,3/4)ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) และ แบบFed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ (1/4,3/4,Molass)ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล (20,20,24%) โดยการเติมน้ำตาลครั้งแรกใช้การคำนวณและวัดระดับความสูงของสารละลายที่เพิ่มขึ้น ส่วนครั้งที่2 และ3 ใช้การคำนวณ, ชั่งน้ำหนักกากน้ำตาลและวัดระดับของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 4 ชั่วโมง, ระยะเวลาเติมครั้งที่3 หลังการหมัก 69 ชั่วโมง

5.1.4 ทำ<u>การทดลองที่ 3</u> เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบ batch ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 24% กับกระบวนการหมักแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/3-2/3ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%),แบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) และ แบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4 –3/4- Molass ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(14%,22%, 24%) โดยมีการปรับปรุงการวิเคราะห์น้ำตาลเริ่มต้นที่ถูกต้องขึ้น และ ปรับปรุงระยะเวลาในการเติมน้ำตาลที่เหมาะสมขึ้น โดยการเติมน้ำตาลครั้งแรกใช้การคำนวณและวัดระดับความสูงของสารละลายที่เพิ่มขึ้น ในการเติมน้ำตาลครั้งที่2 และ3 ใช้การคำนวณ ชั่งน้ำหนักกากน้ำตาลและวัดระดับของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 10 ชั่วโมง, ระยะเวลาเติมครั้งที่3 หลังการหมัก 24 ชั่วโมง

5.1.5 ทำ<u>การทดลองที่ 4</u> การดำเนินการหมักแบบBatchที่ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ 20% และ 24%

5.1.6 ทำ<u>การทดลองที่ 5</u> เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบ batch ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 24% กับกระบวนการหมักแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(22%, 22%),แบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) และแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ 1/4 –3/4 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(14%,24%) โดยการเติมน้ำตาลครั้งแรกใช้การคำนวณและวัดระดับความสูงของสารละลายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานของคนงาน ในการเติมน้ำตาลครั้งที่2 จึงใช้การคำนวณและวัดระดับของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 9 ชั่วโมง

5.1.7 ทำ<u>การทดลองที่6</u> เนื่องจากการปรับความเข้มข้นน้ำตาลในการทดลองที่ <u>5.1.6</u> โดยใช้การวัดระดับยังมีความคลาดเคลื่อนมากทำให้ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นของการทดลองแบบ Fed batch ต่ำเกินไป จึงทำการทดลองเปรียบเทียบแบบ batch ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 24% กับกระบวนการหมักแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) ซ้ำ โดยในการเติมน้ำตาลครั้งที่2 ยังใช้การคำนวณและวัดระดับของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้นเป็นข้อมูลปรับค่าน้ำตาล และระยะเวลาเติมครั้งที่2 คือหลังการหมัก 9 ชั่วโมง

5.1.8 ทำ<u>การทดลองที่7</u> ทำการทดลองแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20% ใช้เวลาหมัก 48 ชั่วโมง เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับเวลาที่ใช้ในการหมัก

5.1.9 ทำ<u>การทดลองที่ 8-9</u> ทำการทดลองแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 21% เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับเวลาที่ใช้ในการหมัก ทำการหมักครั้งละ 48 ชั่วโมง ทำการหมักต่อเนื่องกัน 2 ครั้ง (เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการเพิ่มการผลิตจากการหมัก 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็น 2 ครั้งต่อสัปดาห์)

5.1.10 ทำ<u>การทดลองที่ 10</u> ทำการทดลองแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 21% เพื่อยืนยันข้อมูลในการปรับเวลาที่ใช้ในการหมัก ทำการหมักครั้งละ 48 ชั่วโมง

5.2<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

ตัวอย่างน้ำหมักจะถูกเก็บเพื่อวิเคราะห์ผลทุก 6ชั่วโมงในรายการต่อไปนี้

5.2.1 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของยีสต์ใช้วิธีนับเซลบน Haemacytometerด้วยกล้องจุลทัศน์ และหาน้ำหนักเซลแห้งโดยการล้างด้วย 0.1 N HCl แล้วอบแห้ง

5.2.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นน้ำตาลใช้วิธี Lane and Eynon's method

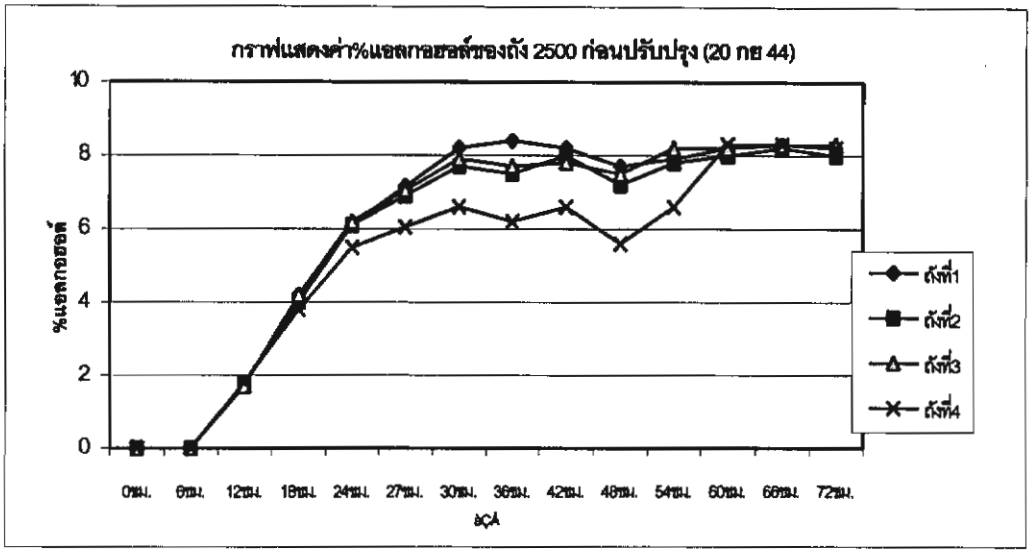
5.2.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นเอธานอลในการทดลองที่โรงงาน ใช้วิธีวัดโดยเครื่องมือ อีบูลลิโอมิเตอร์

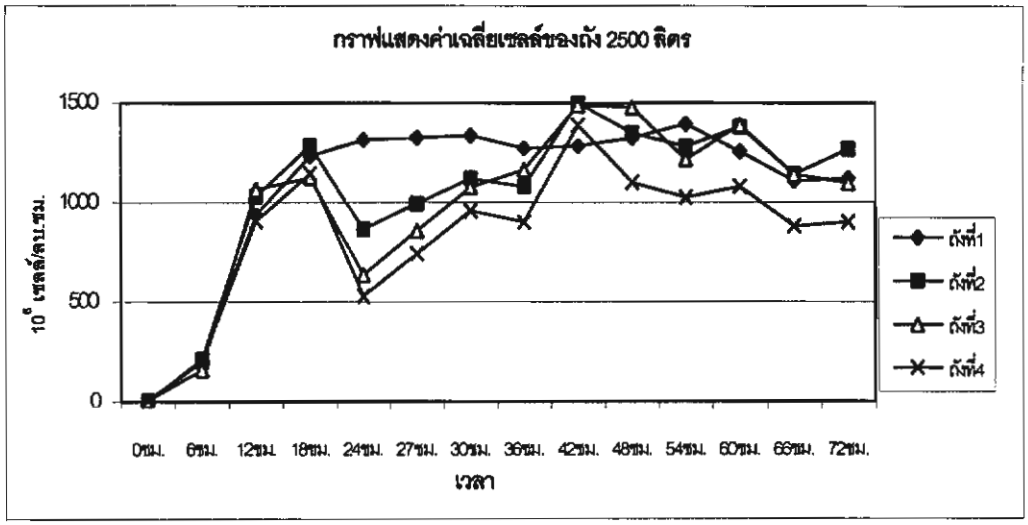
5.2.4 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ด่างโดยใช้เครื่องวัด pH

5.2.5 วิเคราะห์ % Brix โดยใช้ รีเฟคโตมิเตอร์

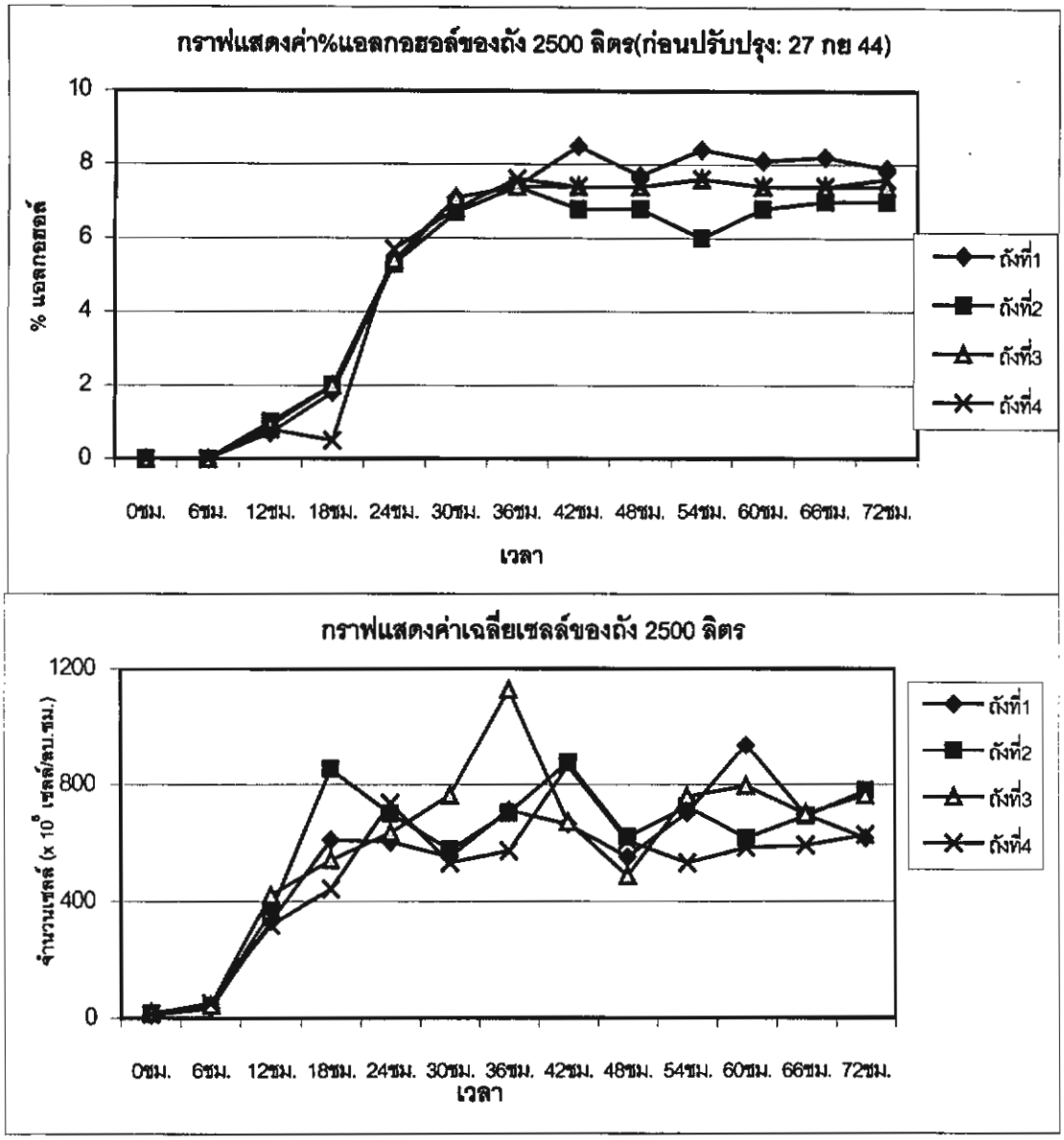
5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

5.3.1 **จากข้อมูลการหมักแบบเติมของโรงงานซึ่งเป็นแบบ** ครั้งคราว (Batch) โดยทำการหมักหลังจากเติม Starter 75 ลิตร อายุ 24ชั่วโมง(ปริมาณเซลอยู่ในช่วง(160-345)x10^6 เซล/มล) ลงในถังหมักขนาด 2500 ลิตรนาน 72ชั่วโมง โดยการดำเนินงานแบบดั้งเดิมไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar)ใช้วัด %Brix แทนซึ่งทำให้การประมาณค่าน้ำตาลเริ่มต้นไม่ค่อยถูกต้อง เนื่องจากกระบวนการผลิตที่โรงงานไม่มีถังผสมและอุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลการเตรียมสารละลายสำหรับการหมักจึงใช้วิธีเติมตามขีดวัดปริมาตรข้างถังที่โรงงานต้นแบบกำหนดให้ จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำตาลตั้งต้นในช่วงที่เก็บข้อมูล (20-24 กันยายน และ 27 กันยายน -1 ตุลาคม 2544) มีความเข้มข้นน้ำตาลในสารละลายเริ่มต้นหมัก = 19.18% พบว่ากระบวนการหมักเริ่มคงที่หลังหมัก 30-42ชั่วโมง การเติม Starter เข้าถังหมักใช้การไหลโดยแรงโน้มถ่วงแต่เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์การกวนในถัง Starter จึงทำให้ปริมาณเซลเริ่มต้น ในแต่ละถังหมักมีความแตกต่างกันโดยเฉพาะถังหมักที่ 1 ถ้ามีการนอนก้นของเซลในถัง Starter จะทำให้มีปริมาณเซลเริ่มต้นในถังหมักที่1 มากกว่าถังอื่นๆ ปริมาณเซลเริ่มต้นในถังหมักอยู่ในช่วง(19.73-4.53)x10^6เซล/มล พบว่าจะได้เอธานอลสูงสุดหลังหมักประมาณ 66 ชั่วโมงได้เอธานอล 7-8.3% ที่อุณหภูมิ 30-31°C และpH ประมาณ 4.7(ผลการหมักแสดงในรูปที่ 1 และ 2, รายละเอียดข้อมูลใน ตารางที่ 1 และ 2 ภาคผนวก) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์การดำเนินการ พบว่าปริมาณหัวเชื้อ ก่อนเตรียม Starterน้อยเกินไป ไม่มีการตรวจและนับเซลยีสต์และน้ำตาลรีดิวซ์จึงขาดข้อมูลเพื่อใช้ในวิเคราะห์เสำหรับการเตรียมการหมักที่เหมาะสมและเพื่อการควบคุมขณะทำการหมัก





<u>รูปที่ 1</u> การเจริญของเซล *Saccharomyces cerevisiae* Sc90 และการผลิตเอทานอลระหว่างการหมักจากการเก็บข้อมูลการดำเนินการหมักของโครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์ฯก่อนการปรับปรุง ครั้งที่1 (20- 23 กย. 44)



<u>รูปที่ 2</u> การเจริญของเซล *Saccharomyces cerevisiae* Sc90 และการผลิตเอทานอลระหว่างการหมักจากการเก็บข้อมูลการดำเนินการหมักของโครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์ฯก่อนการปรับปรุง ครั้งที่ 2 (27-30 กย.44)

5.3.2 <u>การทดลองที่ 1</u> (4-8 ตุลาคม 2544) เพื่อเปรียบเทียบ การหมัก<u>ถังที่1</u>แบบเดิมของโรงงาน(กระบวนการแบบ batch ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 19.18%) กับการหมัก<u>ถังที่2</u> กระบวนการแบบ batch แต่เพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลเป็น 22%, การหมัก<u>ถังที่3</u> กระบวนการหมักแบบ Fed batchที่ มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลรวม19.18% และ การหมัก<u>ถังที่4</u> กระบวนการหมักแบบ Fed batchที่ มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลรวม22% ตามลำดับ โดยระยะเวลาในการเติมในช่วงที่ 2 หลังการหมัก 2.5 ชั่วโมง การเติมครั้งที่ 2 ในการหมักแบบ Fed Batch ใช้วิธีเติมน้ำโดยการวัดระดับและเติมกากน้ำตาลโดยการชั่ง ได้ผลการทดลองจากการหมักแบบต่างๆดังนี้

-pH เฉลี่ยของทั้ง 4 ถังคือ 4.7-4.9 อุณหภูมิเฉลี่ย 30-36 $^{\circ}$C ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หลังหมัก 72 ชั่วโมง คือ 2.5-3%

- %เอทานอลของน้ำหมักส่าในถังที่ 1-4เริ่มมีหลังหมัก 9ชม.

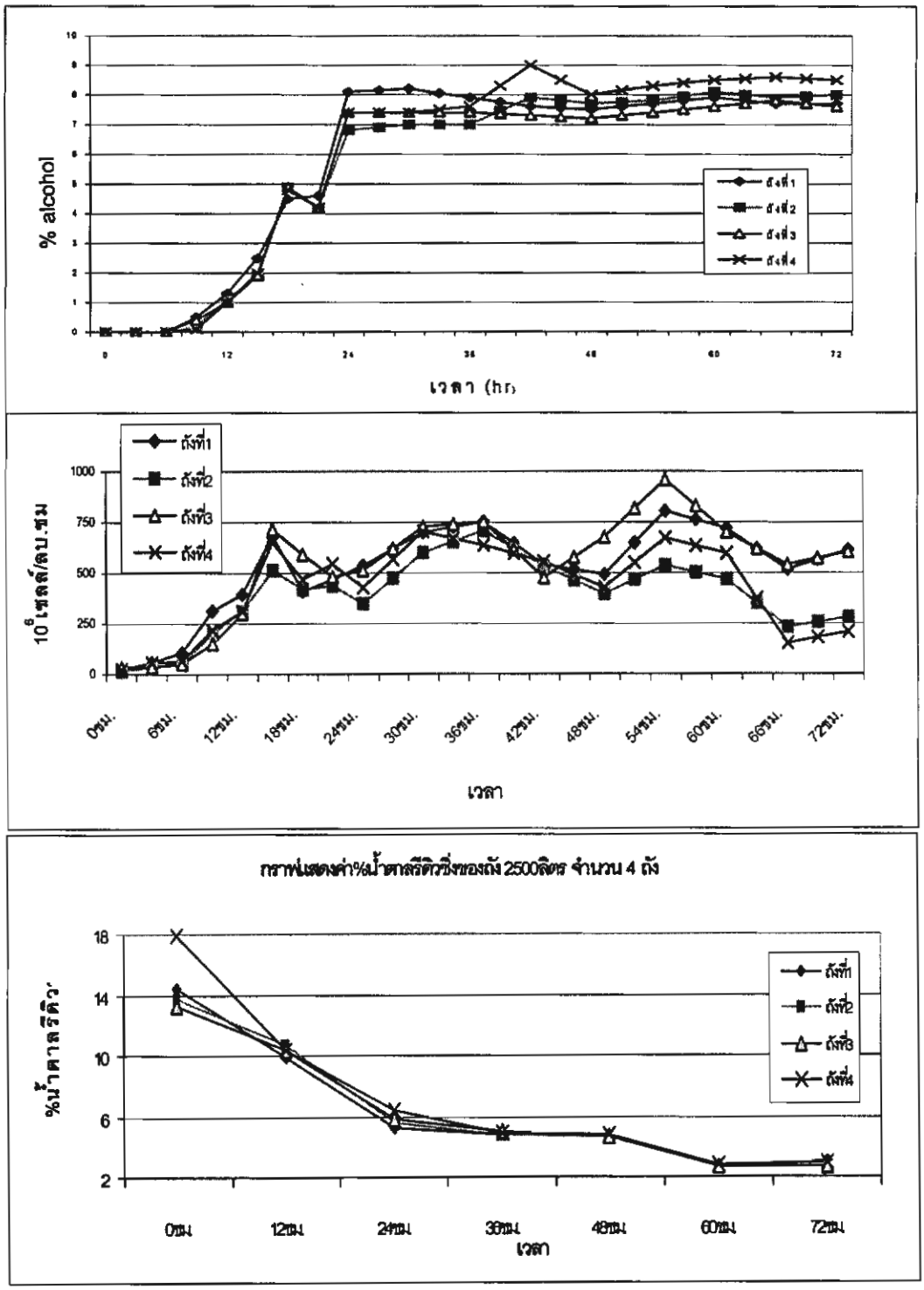
-ถังที่ 1 เอทานอลสูงสุดที่ 30ชม.คือ 8.1% หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงจนเหลือ 7.7%

-ถังที่ 2 เอทานอลสูงสุดที่ 60ชม.คือ 8.1%หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงจนเหลือ 8.0%

-ถังที่ 3 เอทานอลสูงสุดที่ 66ชม.คือ 7.8 %หลังหมักต่อจนครบ72ชม.เอทานอลลดต่ำลงจนเหลือ 7.6%

-ถังที่ 4 เอทานอลสูงสุดที่ 42ชม.คือ 9.0%หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงจนเหลือ 8.5%

ผลการทดลองพบว่ากระบวนการหมักแบบ Fed batchที่ มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลรวม22% ให้เอทานอลสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบBatchหรือ Fed Batchที่ความเข้มข้นต่ำกว่า อย่างไรก็ตามยังไม่เห็นความแตกต่างชัดเจนระหว่างหมักทั้ง 4วิธี ทั้งนี้ช่วงระยะเวลาในการเติมในช่วงที่ 2 (หลังการหมัก 2.5 ชั่วโมง) ยังไม่เหมาะสม เนื่องจากเร็วเกินไป ในช่วงนี้การเพิ่มของเซลยังไม่มากนักจึงควรยืดเวลาในการเติมช่วงที่2 ให้นานกว่านี้ นอกจากนี้เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ยังไม่ค่อยชำนาญในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลริดิวซิ่ง จากการวัดก่อนเตรียมการหมักวัดปริมาณน้ำตาลริดิวซิ่ง ในกากน้ำตาลได้ 52%แต่ค่าที่ถูกต้องควรเป็น 48.25% ทำให้ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้นต่ำกว่าที่กำหนดประมาณ 7% นอกจากนี้ยังมีปัญหาไฟฟ้าขัดข้องระหว่างการหมัก 2 ครั้งซึ่งเป็นผลต่อการกวนและการระบายความร้อนของถังหมัก (ผลการหมักแสดงใน<u>รูปที่ 3</u>, รายละเอียดข้อมูลดังใน <u>ตารางที่3</u> ภาคผนวก)



รูปที่3 ผลการทดลองที่1(4-8ตค.2544) เปรียบเทียบ การหมักถังที่1แบบเดิมของโรงงาน(batch, ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น (RS=)19.18%) กับการหมักถังที่2 (batch, RS=22%), การหมักถังที่3 (Fed batch, เติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4, RS=19.18%) และ การหมักถังที่4 (Fed batch, แบบ1/4-3/4 ,RS=22%), การเติมในช่วงที่ 2 หลังการหมัก 2.5 ชั่วโมง

5.3.3 **<u>การทดลองที่2</u>** (19-22 ตุลาคม 2544) เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการหมักแบบ Batch กับแบบ Fed Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้นสูงขึ้น (การหมักแบบเดิมของโรงงานใช้น้ำตาลความเข้มข้นต่ำเกินไป)โดยการหมัก<u>ถังที่1</u> เป็นแบบ Batch เริ่มต้นที่ ความเข้มข้นน้ำตาล24% กับการหมัก<u>ถังที่ 2</u>เป็นแบบการหมักแบบ Fed batch ที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ (1/3,2/3) ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%),การหมัก<u>ถังที่3</u> เป็นแบบFed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ (1/4,3/4)ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) และ การหมัก<u>ถังที่4</u> เป็นแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ (1/4,3/4,Molass)ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล (20,20,24%) ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 4 ชั่วโมง, ระยะเวลาเติมครั้งที่3 หลังการหมัก 69 ชั่วโมงโดยได้ผลจากการหมักแบบต่างๆดังนี้

-pH เฉลี่ยของทั้ง 4 ถังคือ 4.4-5.0 อุณหภูมิเฉลี่ย 33-34 °C ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ หลังหมัก 72 ชั่วโมง คือ 5.05-5.85%

-%เอทานอลของน้ำหมักสาในถังที่ 1-4เริ่มมีหลังหมัก 9-12 ชม.

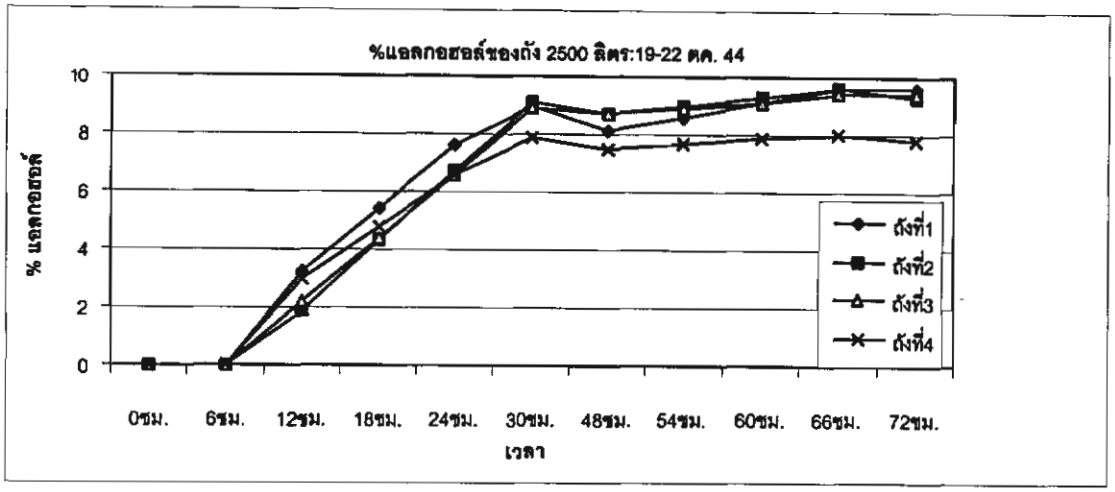
-ถังที่ 1 เอทานอลสูงสุดที่ 69 ชม.คือ 9.6%

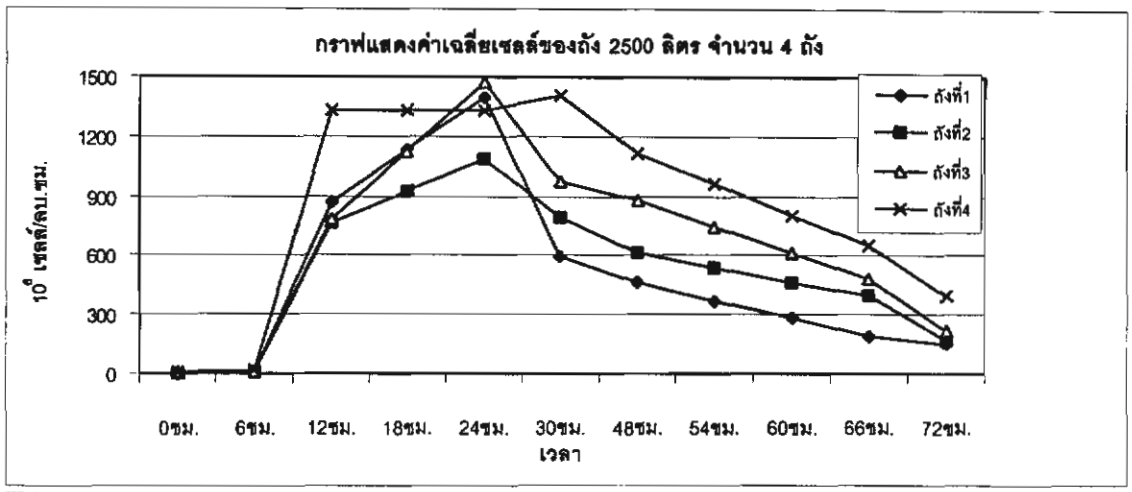
-ถังที่ 2 เอทานอลสูงสุดที่ 69ชม.คือ 9.6%

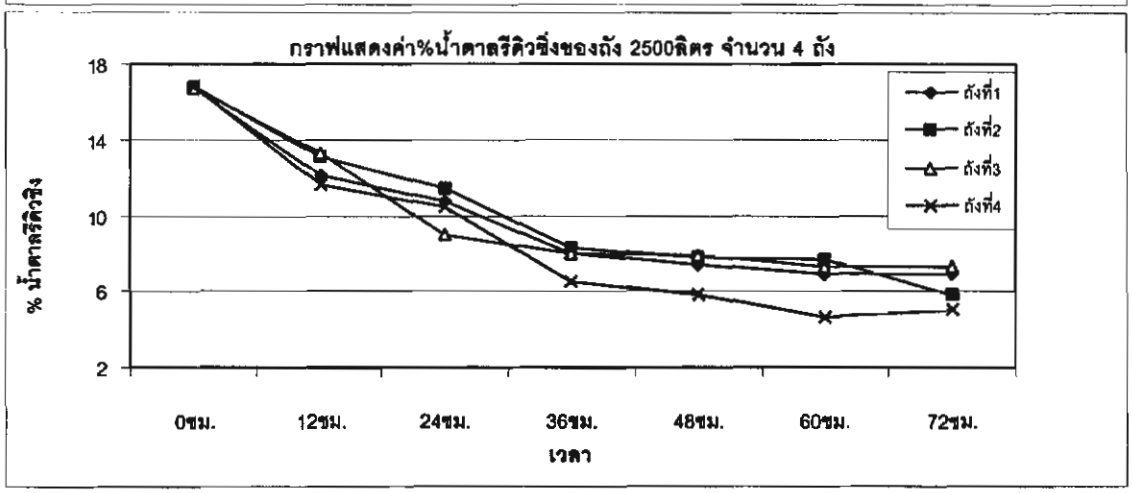
-ถังที่ 3 เอทานอลสูงสุดที่ 66ชม.คือ 9.4 %

-ถังที่ 4 เอทานอลสูงสุดที่ 42ชม.คือ 8.0%

ผลการทดลองไม่พบความแตกต่างระหว่างกระบวนการหมักแบบ Fed batchเมื่อเทียบกับแบบ Batchทั้งนี้ช่วงระยะเวลาในการเติมในช่วงที่ 2 (หลังการหมัก 4 ชั่วโมง) ยังไม่เหมาะสมยังเร็วเกินไป ซึ่งในช่วงนี้การเพิ่มของเซลยังไม่มากนักจึงควรยืดเวลาในการเติมช่วงที่2 ให้นานกว่านี้ นอกจากนี้การเติมกากน้ำตาลส่วนสุดท้ายของถังที่4 ยังช้าเกินไปทำให้ไม่มีการหมักหลังเติม การเก็บตัวอย่างกากน้ำตาลเพื่อวิเคราะห์ยังไม่เหมาะสม(เก็บจากส่วนบนมาวิเคราะห์แต่ปั๊มจากก้นถังไปใช้ ทำให้ค่าในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลตั้งต้นคาดเคลื่อน)(ผลการหมักแสดงในรูปที่ 4, รายละเอียดข้อมูลในตารางที่4 ภาคผนวก)







<u>รูปที่4</u> ผลการทดลองที่2 (19-22 ตุลาคม 2544) เปรียบเทียบ การหมักแบบ <u>ถังที่1 (</u>Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาล(RS=) 24% กับ <u>ถังที่ 2 (</u>Fed batch, เติมน้ำตาลแบบ (1/3,2/3) RS=(24%, 24%)), การหมัก<u>ถังที่3 (</u>Fed batch, แบบ(1/4,3/4), RS=(24%, 24%) และ การหมัก<u>ถังที่4</u>เป็นแบบ Fed batch, แบบ (1/4,3/4,Molass), RS=(20,20,24%) เติมครั้งที่2 หลังการหมัก 4 ชั่วโมง, เติมครั้งที่3 หลังการหมัก 69 ชั่วโมง

5.3.4 **<u>การทดลองที่ 3</u>** (1-5 พฤศจิกายน 2544) เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการหมักแบบ Batch กับแบบFed Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้นสูง โดยการหมัก<u>ถังที่1</u> เป็นแบบ Batch เริ่มต้นที่ความเข้มข้นน้ำตาล24% กับการหมัก<u>ถังที่2</u> แบบ Fed batch ที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/3-2/3 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%), การหมัก<u>ถังที่3</u> เป็นแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) และ การหมัก<u>ถังที่4</u> เป็นแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4 –3/4- Molass ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(14%,22%, 24%) โดยมีการปรับปรุงช่วงเวลาการเติมกากน้ำตาลและน้ำ และ การวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ เริ่มต้นที่เหมาะสมขึ้น ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 10 ชั่วโมง, ระยะเวลาเติมครั้งที่3 หลังการหมัก 24 ชั่วโมง โดยได้ผลจากการหมักแบบต่างๆดังนี้

-pH เฉลี่ยของทั้ง 4 ถังคือ 5.0-5.3 อุณหภูมิเฉลี่ย 30-32 °C (32-36 °C เฉพาะช่วงที่เกิดปฏิกริยาการหมักอย่างเร็ว คือช่วง 18-24ชั่วโมง) น้ำตาลรีดิวซ์ หลังหมัก 72 ชั่วโมง คือ 3.0-4.9%

-%เอทานอลของน้ำหมักสาในถังที่ 1-4เริ่มมีหลังหมัก 6-12 ชม.

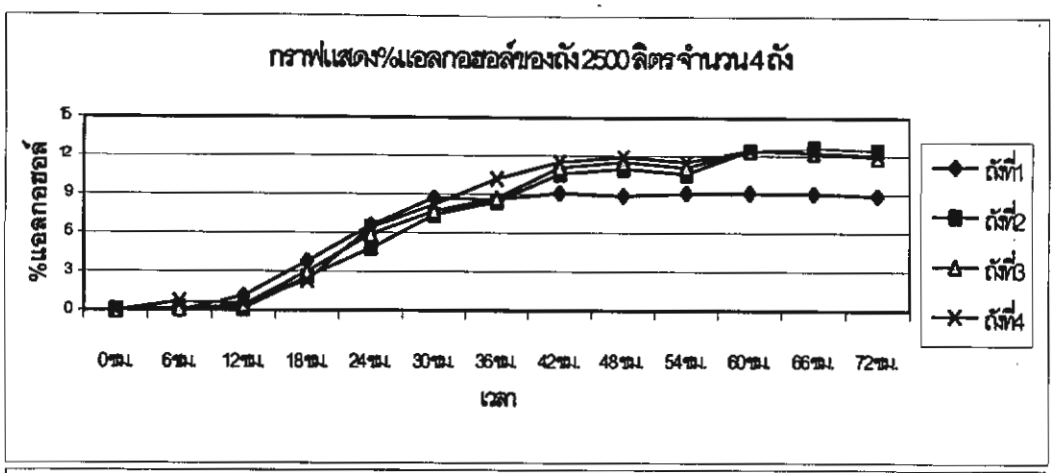
-ถังที่ 1 เอทานอลสูงสุดที่ 42 ชม.คือ 9.1%หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 8.9%

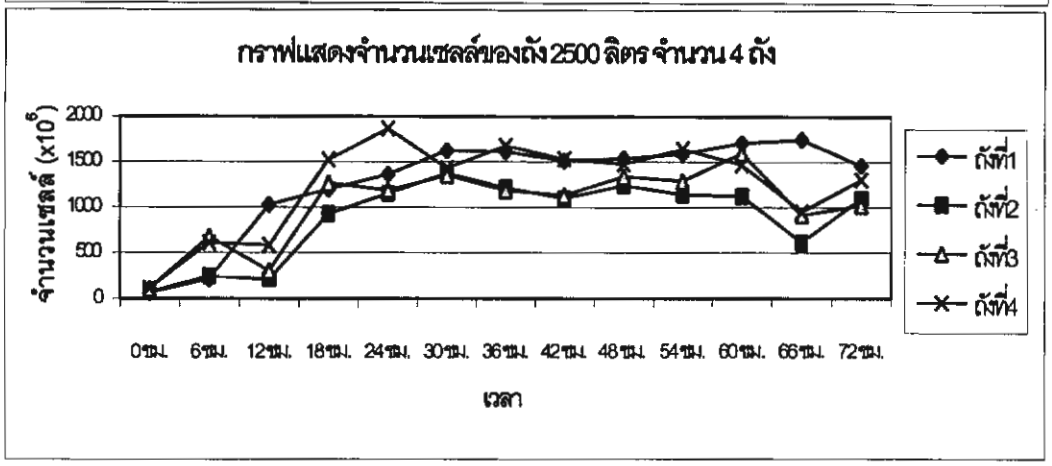
-ถังที่ 2 เอทานอลสูงสุดที่ 66ชม.คือ 12.65%หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 12.45%

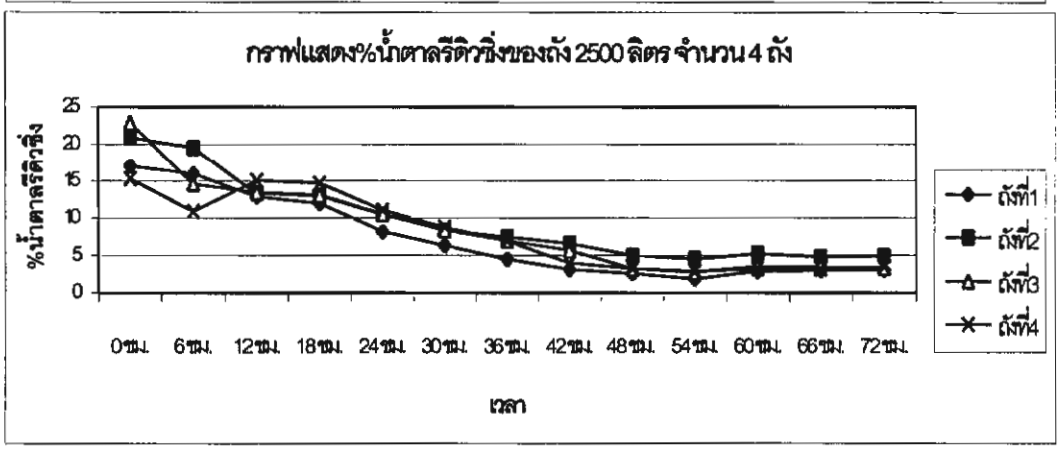
-ถังที่ 3 เอทานอลสูงสุดที่ 60 ชม.คือ 12.4 %หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 11.9%

-ถังที่ 4 เอทานอลสูงสุดที่ 60ชม.คือ 12.4%หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 12.05%

ผลการทดลองพบว่ากระบวนการหมักแบบ Fed batchโดยเฉพาะระบบที่ใช้น้ำหมักที่มีน้ำตาลรีดิวซ์ความเข้มข้นสูงถ้ามีการจัดเวลาการป้อนน้ำตาลที่เหมาะสม มีแนวโน้มที่จะมีการหมักที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับแบบBatch (ผลการหมักแสดงรูปที่ 5, รายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่5 ภาคผนวก)







<u>รูปที่5</u> ผลการทดลองที่ 3 (1-5 พฤศจิกายน 2544)เปรียบเทียบกระบวนการหมักโดยการหมัก<u>ถังที่1</u> (Batch ที่ ความเข้มข้นน้ำตาล (RS=) 24%), การหมัก<u>ถังที่ 2</u> (Fed batch, เติมน้ำตาลแบบ1/3-2/3,RS=24%, 24%), การหมัก<u>ถังที่3</u> (Fed batch, แบบ1/4-3/4, RS=24%, 24%) และ การหมัก<u>ถังที่4</u> เป็นแบบ Fed batch, แบบ1/4 –3/4- Molass, RS=14%, 22%, 24%) เติมครั้งที่2 หลังการหมัก 10 ชั่วโมง, เติมครั้งที่3 หลังการหมัก 24 ชั่วโมง

5.3.5) <u>การทดลองที่ 4</u> (8-12 พฤศจิกายน 2544) การทดลองกระบวนการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น 24% และ 20% โดยpH เฉลี่ยของการหมักทั้ง 4 ถังคือ 5.0-5.2 อุณหภูมิเฉลี่ย 30-35 ° C หลังการหมัก 72 ชั่วโมงได้เอทานอลเข้มข้น 9.1% และ 8.2-8.7% ตามลำดับโดยที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เหลือ 8.7% และ 5.5-6.6% ตามลำดับ (ผลการหมักแสดงในตารางที่6 ภาคผนวก) การทดลองนี้การหมักแบบ Batchที่ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น 24% ได้ผลใกล้เคียงกับจาก<u>การทดลองที่3</u>ได้เอทานอลเพิ่มเล็กน้อยแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นจาก20% เป็น24% จากการทดลองพบว่าการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการหมักแบบ Fed batchใน <u>การทดลอง3</u> ที่มีการจัดการที่เหมาะสมพบว่าแบบ Fed batchมีแนวโน้มที่ดีกว่าในกรณีที่ใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูง

5.3.6 <u>การทดลองที่ 5</u> (22-26 พฤศจิกายน 2544) เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการหมักแบบ Batch กับแบบFed Batch โดยการหมัก<u>ถังที่1</u> เป็นแบบ Batch เริ่มต้นที่ ความเข้มข้นน้ำตาล24% กับการหมัก<u>ถังที่ 2</u> แบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล (22%, 22%), การหมัก<u>ถังที่3</u> เป็นแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(24%, 24%) และการหมัก<u>ถังที่4</u> เป็นแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ 1/4 –3/4 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล(14%,24%) โดยการเติมน้ำตาลครั้งแรกใช้การคำนวณและวัดระดับความสูงของสารละลายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานของคนงาน ในการเติมน้ำตาลครั้งที่2 จึงใช้การคำนวณและวัดระดับของน้ำหมักที่เพิ่มขึ้นแทนการชั่งน้ำหนักกากน้ำตาล โดยระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 9 ชั่วโมง ได้ผลจากการหมักแบบต่างๆดังนี้

-การทดลองครั้งนี้ใช้ Starter 18 ชั่วโมงทำให้ความเข้มข้นเซลในถังหมัก 2500ลิตรน้อยลงส่งผลให้ %เอทานอลของน้ำหมักสาในถังที่ 1-4เริ่มมีหลังหมัก 12 ชม.

-pH เฉลี่ยของทั้ง 4 ถังคือ 5.0-5.2 อุณหภูมิเฉลี่ย 28-30 ° C —(34-38 ° C เฉพาะช่วงที่เกิดปฏิกริยาการหมักอย่างเร็ว คือช่วง 24-36ชั่วโมง) น้ำตาลรีดิวซ์ หลังหมัก 72 ชั่วโมง คือ 2.66-4.36%

-ถังที่ 1 เอทานอลสูงสุดที่ 72 ชม.คือ 12% น้ำตาลรีดิวซ์ เหลือ 4.36%

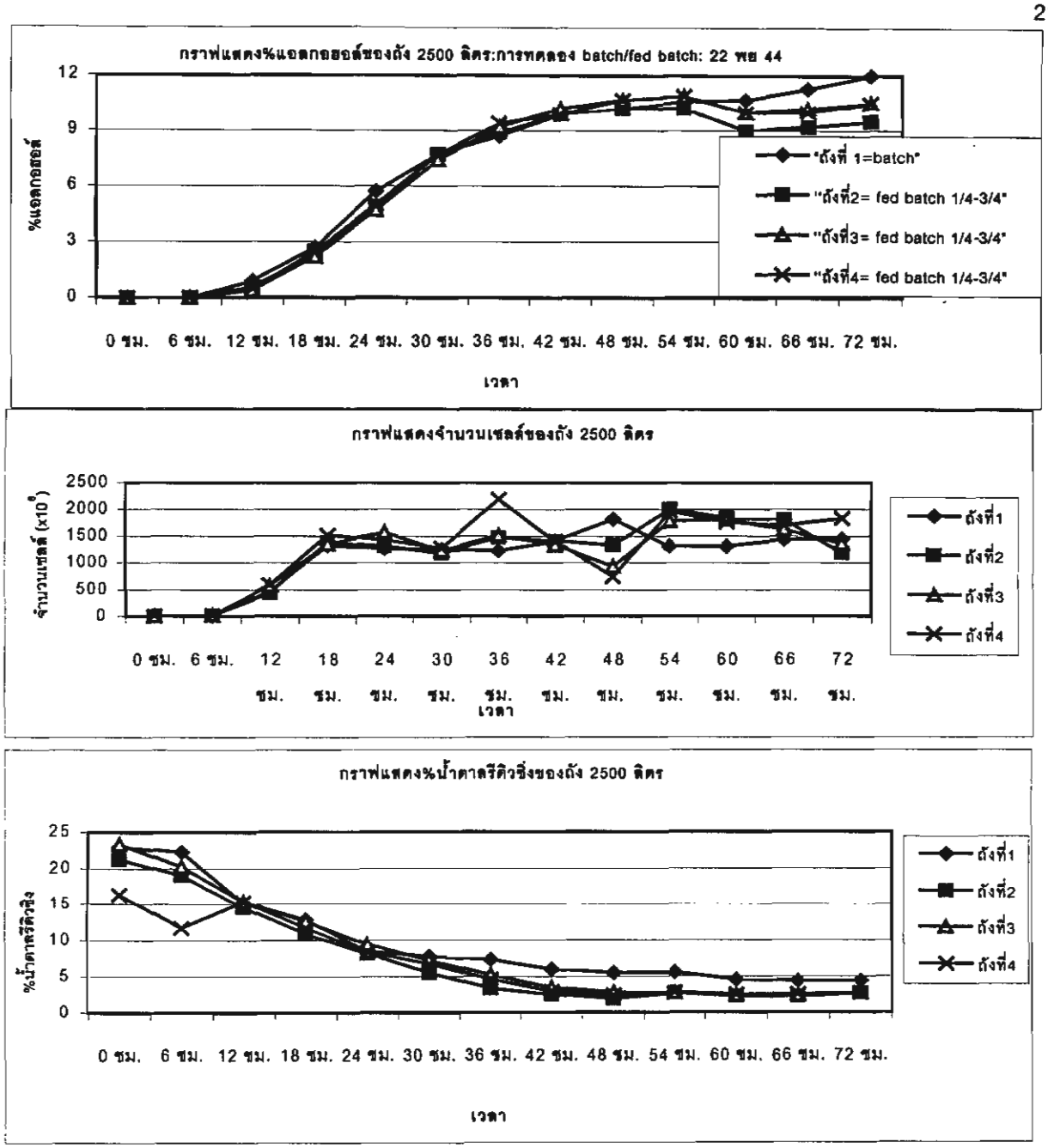
-ถังที่ 2 เอทานอลสูงสุดที่ 48ชม.คือ 10.2%และหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 9.5%

-ถังที่ 3 เอทานอลสูงสุดที่ 48-54 ชม.คือ 10.7-10.9% หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 10.5%

-ถังที่ 4 เอทานอลสูงสุดที่48- 54ชม.คือ10.7- 10.9%หลังหมักต่อจนครบ 72ชม.เอทานอลลดต่ำลงเหลือ 10.5%

เนื่องจากการเติมสารป้อนในครั้งนี้ใช้การวัดระดับแทนการชั่งกากน้ำตาลเพื่อลดความยุ่งยากในการจัดการ จากการเกิดฟองในขณะการติมสารป้อนทำให้การประมาณระดับน้ำตาลที่ป้อนคลาดเคลื่อนส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลในระบบการหมักแบบFed Batchในการทดลองครั้งนี้ต่ำกว่ากำหนด จากการวิเคราะห์ผลพบว่าน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้หมดหลังจากหมักประมาณ48-54 ชม.ในขณะที่ระบบแบบBatchยังมีน้ำตาลเหลือหมักจน 72 ชม ผลการทดลองพบว่าในการหมักครั้งนี้กระบวนการหมักทั้งแบบ Batch และ Fed batch ทำได้ดี โดยกระบวนการแบบ Fed batch หมักได้เร็วกว่าเล็กน้อยแต่เนื่องจากน้ำตาลหมด หลัง48-54ชม ทำให้เอทานอลลดต่ำลงเมื่อหมักต่อจนครบ 72 ชม. (ผลการหมักแสดงในรูปที่7 รายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่7ภาคผนวก)

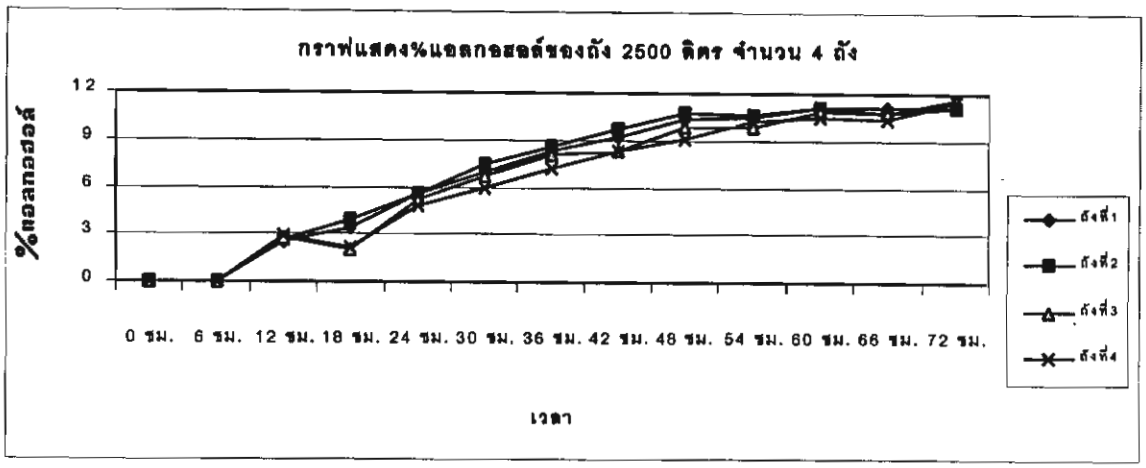
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกลั่นแยกแอลกอฮอล์ของหน่วยกลั่น พบว่ายังน่าจะปรับปรุงให้สูงขึ้นได้ โดยการดำเนินการแบบเดิมปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ไม่เพิ่มตามปริมาณแอลกอฮอล์จากการหมักที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพต่ำลงตามลำดับ จึงพิจารณาดำเนินการปรับปรุงกระบวนการกลั่นพบว่าการดำเนินการที่ทำได้ทันทีคือ การปรับอัตราการไหลเปลี่ยนตามปริมาณแอลกอฮอล์จากการหมักที่เพิ่มขึ้น การปรับตำแหน่งในส่วนส่วนก้นหอให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้น และการทำความสะอาดภาพในหอกลั่นเพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนมวลภายในหอกลั่นดีขึ้น

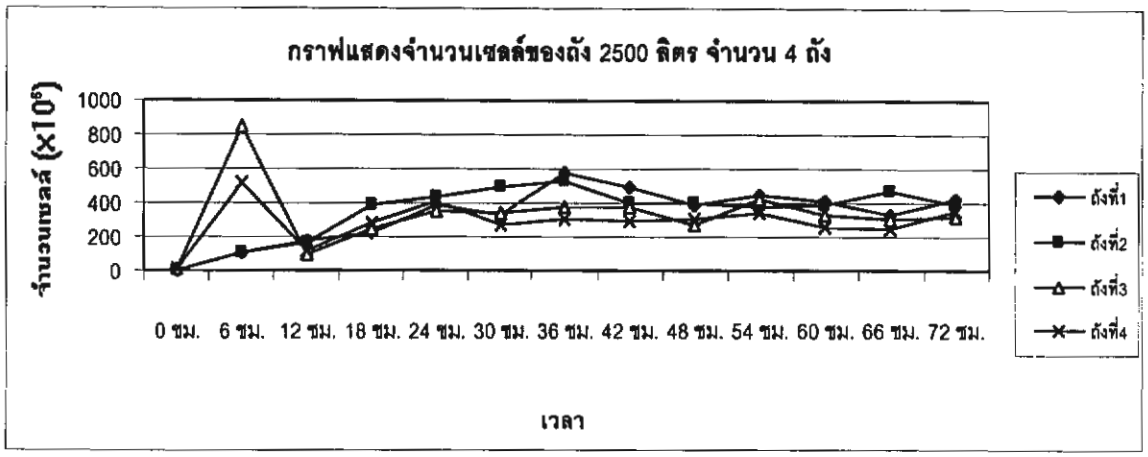


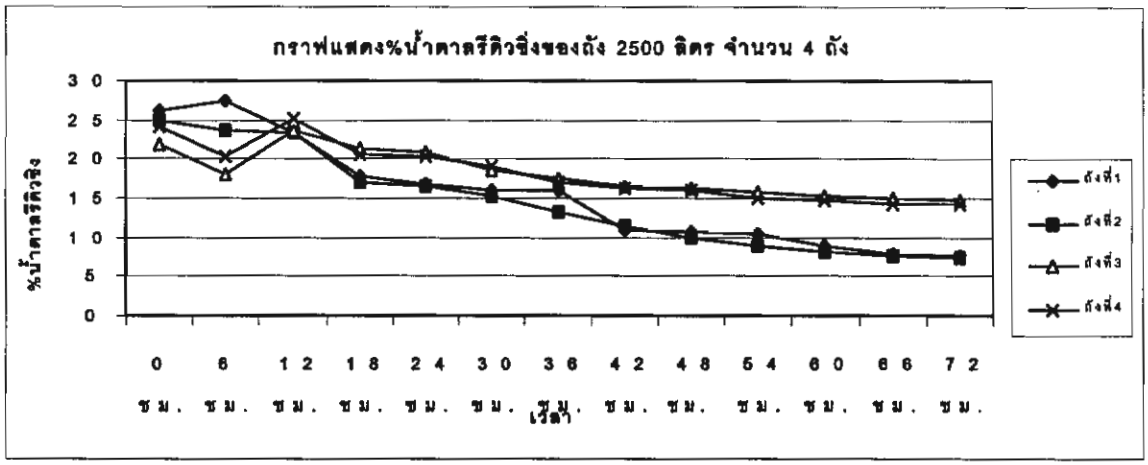
<u>รูปที่ 6</u> ผลการทดลองที่ 5 (22-26 พฤศจิกายน 2544) เปรียบเทียบกระบวนการหมัก โดยการหมัก<u>ถังที่1</u> แบบBatch ที่ ความเข้มข้นน้ำตาล RS=24%,การหมัก<u>ถังที่ 2</u> แบบFed batchแบบ1/4-3/4, RS= 22%, 22%), การหมัก<u>ถังที่3</u> เป็นแบบ Fed batch, แบบ1/4-3/4, RS =24%, 24%) และการหมัก<u>ถังที่4</u> เป็นแบบ Fed batch,แบบ 1/4 –3/4, RS=(14%, 24%)ระยะเวลาเติมครั้งที่2 หลังการหมัก 9 ชั่วโมง

5.3.7 <u>การทดลองที่ 6</u> (16-18 มีนาคม 45) ทำการทดลองซ้ำ<u>การทดลองที่ 5</u> เนื่องจากการปรับความเข้มข้นน้ำตาลใน<u>การทดลองที่5</u> โดยใช้การวัดระดับยังมีความคลาดเคลื่อนมากทำให้ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นของการทดลองแบบ Fed batch ต่ำเกินไป จึงมีการปรับระดับการเติมน้ำตาลให้เหมาะสมขึ้น ทำการทดลองเปรียบเทียบแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 24% กับกระบวนการหมักแบบ Fed batchที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ1/4-3/4ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล (24%, 24%) โดยระยะเวลาเติมน้ำตาลครั้งที่2 คือหลังการหมัก 12 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าการหมักแบบ Fed batch และ batch ให้ผลรวมในการหมักใกล้เคียงกัน ดังแสดงใน<u>ตารางที่ 8</u>ภาคผนวก โดยหลังการหมัก 72 ชั่วโมงจะได้ค่าเฉลี่ย%แอลกอฮอล์จากการหมักแบบ batch ที่11.2% และ จากการหมักแบบ fed batch ที่11.6% อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณน้ำตาลที่เหลือหลังหมักค่อนข้างสูง โดยเฉพาะกรณีแบบ Fed batch ซึ่งนอกจากจะเป็นความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ค่าน้ำตาลแล้ว ยังแสดงถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการป้อนกากน้ำตาลโดยใช้ระดับน้ำหมักเป็นเกณฑ์ โดยเฉพาะการเติมในขณะกำลังหมักและผู้ดำเนินการยังไม่มีความชำนาญในการควบคุมอย่างแม่นยำ จากผลการทดลองในกรณีที่ไม่มีปัญหาการปนเปื้อนประสิทธิภาพของการหมักแบบ batch จะใกล้เคียงกับแบบ fed batch แต่ขั้นตอนในการจัดการง่ายกว่า และเนื่องจากทางโครงการฯไม่สามารถเพิ่มถังผสมเนื่องจากข้อจำกัดทางพื้นที่ รวมถึงไม่มีอุปกรณ์ควบคุมปริมาตรอย่างอื่น ดังนั้นทางโครงการฯ จึงเลือกใช้การหมักแบบ batchในกรณีทั่วไป แต่แนะนำให้ใช้การหมักแบบ fed batch ในกรณีที่พบว่ามีปัญหากากน้ำตาลมีการปนเปื้อนสูง จากผลการทดลองพบว่าอัตราการหมักจะเริ่มคงที่หลังหมักประมาณ 48 ชั่วโมง การหมักต่อไปทำให้ %แอลกอฮอล์เพิ่มอีกเล็กน้อยจนถึงเวลาหมัก 60 ชั่วโมงหลังจากนั้นแอลกอฮอล์จะลดต่ำลงเมื่อหมักต่อจนครบ 72 ชม เนื่องจากแบคทีเรียปนเปื้อนใช้ แอลกอฮอล์เปลี่ยนเป็นสารละลายตัวอื่นต่อไป (ผลการหมักแสดงในรูปที่8 รายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่8ภาคผนวก)

จากการเริ่มปรับปรุงกระบวนการกลั่นตามที่ระบุไว้ในข้างต้น พบว่าประสิทธิภาพในการกลั่นดีขึ้นโดยเฉพาะในช่วงที่มีการควบคุมดูแลใกล้ชิด (การควบคุมอุณหภูมิและอัตราการไหลยังเป็นแบบใช้คนควบคุม)





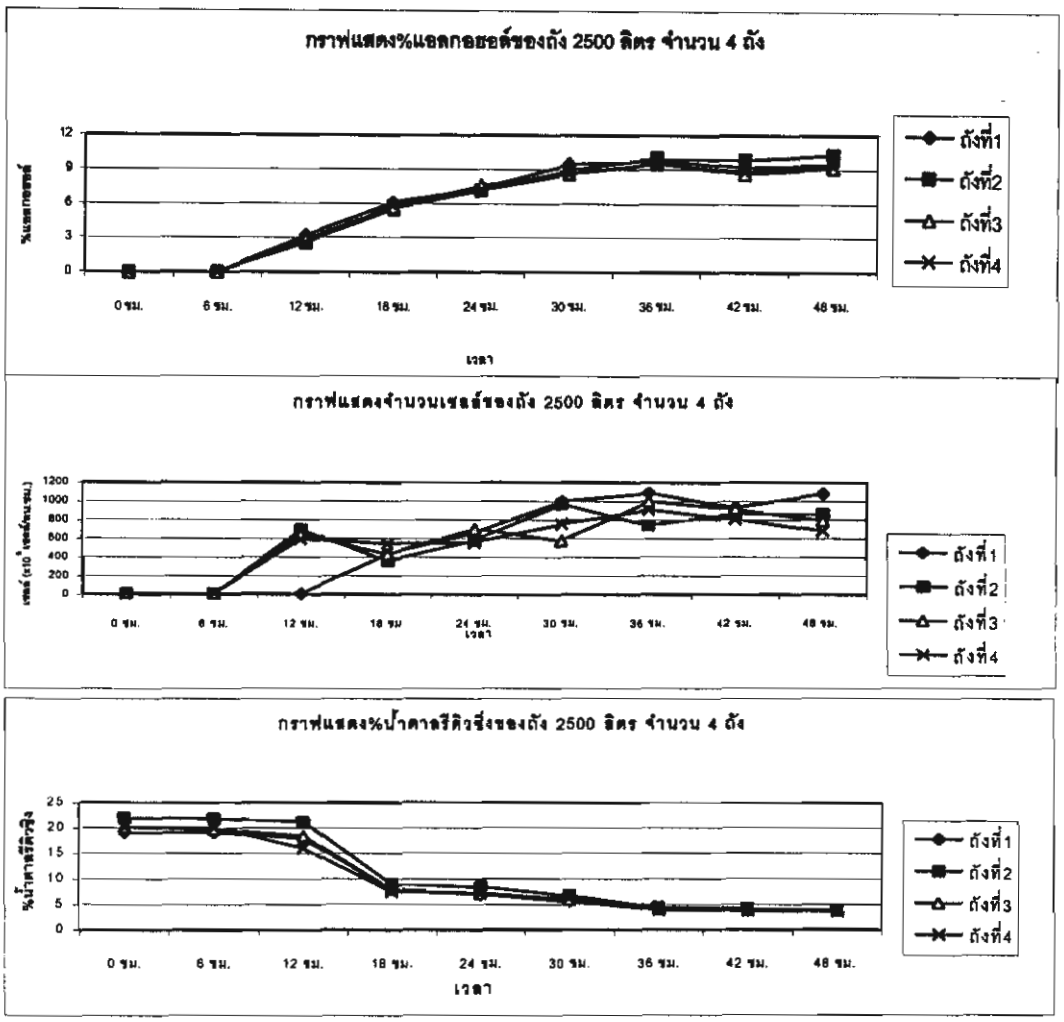


<u>รูปที่ 7</u> ผลการทดลองที่ 6 (16-18 มีนาคม 45) ทำการทดลองเปรียบเทียบแบบ batch **ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น** 24% **(ถังหมักที่** 1 **และ** 2**) กับกระบวนการหมักแบบ** Fed batch**ที่มีขั้นตอนการเติมน้ำตาลแบบ**1/4-3/4 **ที่ความเข้มข้นของน้ำตาล**(24%, 24%) **โดยระยะเวลาเติมน้ำตาลครั้งที่**2 **คือหลังการหมัก** 12 **ชั่วโมง (ถังหมักที่** 3 **และ** 4**)**

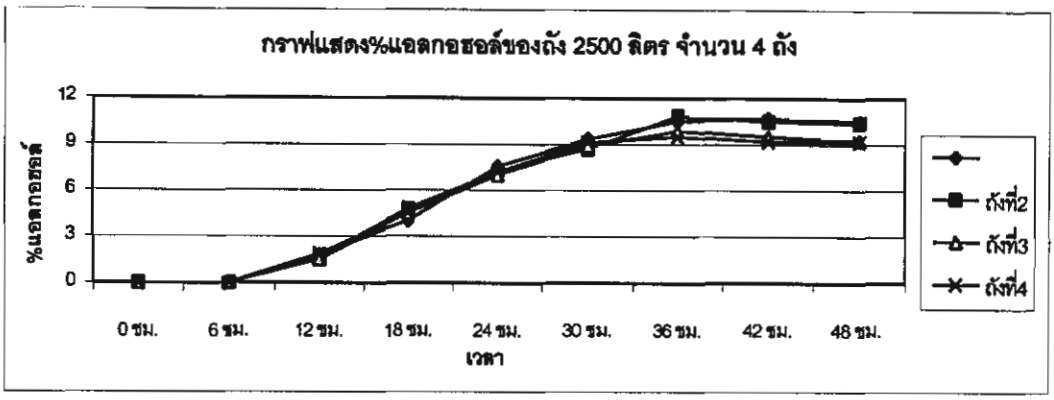
5.3.8 **<u>การทดลองที่ 7</u> (14-16 มิถุนายน 45)** ทำการทดลองแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20 % โดยใช้เวลาในการหมักลดลงเป็น 48 ชั่วโมง เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับเวลาที่ใช้ในการหมัก โดยจุดประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการหมักให้น้อยลงทำให้สามารถเพิ่มจำนวนครั้งของการหมักจาก 1 ครั้งเป็น 2 ครั้งต่อสัปดาห์เพื่อให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการหมัก 48 ชั่วโมงจะได้ %แอลกอฮอล์โดยเฉลี่ย 9.85 % มีน้ำตาลรีดิวซิงเหลือ 3% (ผลการหมักแสดงใน<u>รูปที่8</u> รายละเอียดข้อมูลแสดงใน<u>ตารางที่ 8</u> ภาคผนวก)

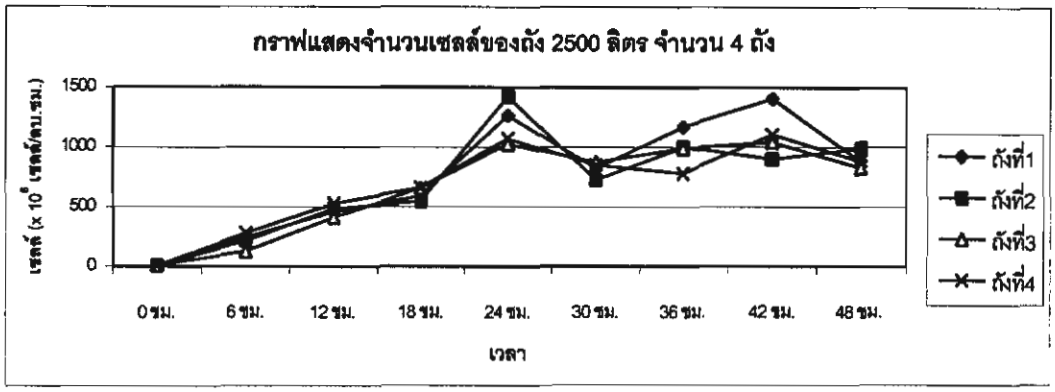
จากผลการทดลองพบว่าการหมักเริ่มหยุดประมาณชั่วโมงที่ 36 ซึ่งน่าจะมาจากน้ำตาลที่ยีสต์ใช้ได้เริ่มหมดจึงควรเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเป็น 21-22 % นอกจากนี้ยังพบว่ามีการหยุดและลดจำนวนเซลหลังหมัก 12ชั่วโมง เป็นผลจากอุณหภูมิการหมักสูงเกินไปคือประมาณ38 ^{o}C เนื่องจากการเปิดน้ำหล่อเย็นช้าเกินไป จึงควรปรับเวลาการเปิดน้ำหล่อเป็นหลังหมัก12 ชั่วโมงโดยเฉพาะในช่วงที่มีอากาศร้อน สำหรับผลผลแอลกอฮอล์ 95%ที่กลั่นได้คือ 850 ลิตร ต่อ9100ลิตรน้ำหมัก พบว่าเมื่อมีการคุมควบการดำเนินกลั่นที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพในการกลั่นดีขึ้นตามลำดับ

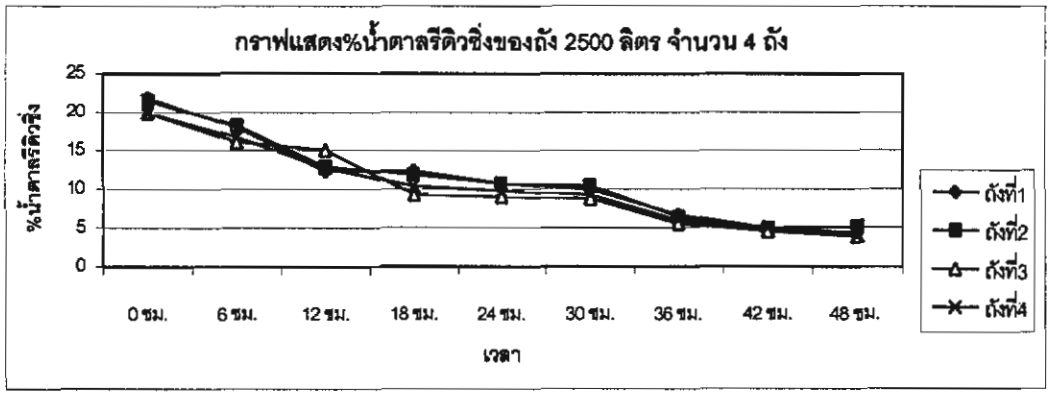
5.3.9 **ทำ<u>การทดลองที่ 8-9</u> (21-26 มิถุนายน 45)** ทำการทดลองแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 21% ทำการหมักครั้งละ 48 ชั่วโมง ทำการหมักต่อเนื่องกัน 2 ครั้ง (เพื่อเก็บข้อมูลในการเพิ่มการผลิตจากการหมัก 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็น 2 ครั้งต่อเนื่องกันต่อสัปดาห์) ปรับเวลาการเปิดน้ำหล่อเป็นหลังหมัก24 ชั่วโมงพบว่าผลการหมักดีขึ้นจากการเก็บข้อมูลทุก 6 ชั่วโมงไม่พบช่วงที่อุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิสูง 35 ^{o}Cและไม่พบการชะงักของการเจริญหรือการลดลงของเซลในช่วง 0-24 ชั่วโมง โดยหลังจากหมัก 24ชั่วโมงจะได้เซล (1-1.4)x10^{9} เซลต่อมล. (ประมาณ 2 เท่า ของใน<u>การทดลองที่ 7</u>) ได้เอทานอลสูงสุดหลังหมัก 36ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10.2 % มีน้ำตาลรีดิวซิงเหลือหลังการหมักเสร็จสิ้นประมาณ 4% (ผลการหมักแสดงใน<u>รูปที่ 9</u> รายละเอียดข้อมูลแสดงใน<u>ตารางที่9</u> ภาคผนวก) โดยการหมักต่อเนื่องใน batchที่1 และ 2 ให้ผลใกล้เคียงกันโดยได้ปริมาณเอทานอลหลังการหมัก 48 ชั่วโมง เท่ากับ 10.5% (ผลการหมักแสดงใน<u>รูปที่ 9</u> รายละเอียดข้อมูลแสดงใน<u>ตารางที่9</u> ภาคผนวก) นอกจากนี้จากการปรับปรุงการกลั่นพบว่าปริมาณเอทานอล 95%จากการกลั่นของสาในการหมักครั้งแรก เพิ่มเป็น 900 ลิตรจากน้ำสา 9100 ลิตร อย่างไรก็ตามการกลั่นหลังการหมักครั้งที่ 2 ได้ปริมาณเอทานอลลดลงเนื่องจากเกิดการขัดข้องของระบบไฟฟ้าขณะกลั่น



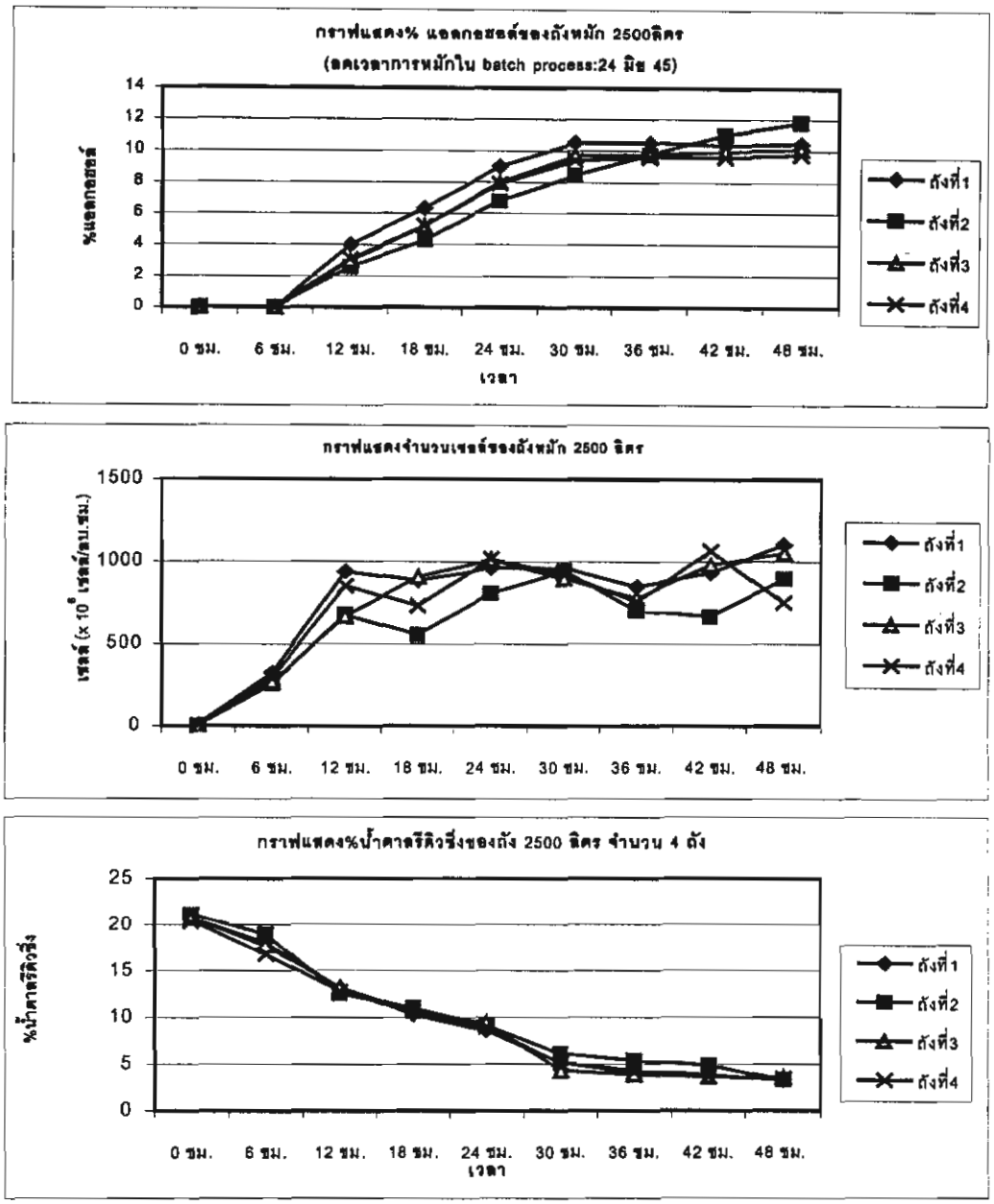
<u>รูปที่ 8</u> ผลการทดลองที่ 7 (14-16 มิถุนายน 45) ทำการหมักแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20 % โดยใช้เวลาในการหมักลดลงเป็น 48 ชั่วโมง







<u>รูปที่9</u> ผลการทดลองที่ 8 (21-24 มิถุนายน 45) จากทำการหมักงแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 21% ทำการหมักครั้งละ 48 ชั่วโมง



<u>รูปที่ 10</u> ผลการทดลองที่ 9 (24-26 มิถุนายน 45) จากการหมักแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 21% ทำการหมักครั้งละ 48 ชั่วโมง

<u>5.3.9 การทดลองที่ 10</u> (15-17 สิงหาคม 45) ทำการทดลองแบบ batch ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 21% เพื่อยืนยันข้อมูลในการปรับเวลาที่ใช้ในการหมัก ทำการหมักครั้งละ 48 ชั่วโมง ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองที่ 8-9 โดยได้ปริมาณเอทานอลหลังการหมัก 48 ชั่วโมง เท่ากับ 10.1% (รายละเอียดข้อมูลแสดงใน<u>ตารางที่10</u>ภาคผนวก) นอกจากนี้จากการปรับปรุงการกลั่นพบว่าปริมาณเอทานอล 95%จากการกลั่นของสำในการทดลองที่ 10 เพิ่มเป็น 950 ลิตรจากน้ำสำ 9100 ลิตร

5 <u>สรุปผล</u>

เนื่องจากในการทดลองหมักของโครงการสวนพระองค์ฯครั้งนี้ขนาดกำลังผลิตค่อนข้างเล็ก(ถังหมักขนาด 2500 ลิตร) ประกอบกับกากน้ำตาลที่ใช้มีคุณภาพดีไม่ค่อยมีปัญหาการปนเปื้อน และการควบคุมอุณหภูมิระหว่างหมักไม่ค่อยมีปัญหา จึงทำให้ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบ BATCH กับแบบ FED BATCH ไม่เด่นชัด อย่างไรก็ตามโดยรวมสำหรับการหมักที่ต้องการเอทานอลที่ความเข้มข้นสูงที่ต้องใช้วัตถุดิบที่มีความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์สูง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหมักแบบ Batch กับ Fed batchที่มีการจัดการที่เหมาะสมแล้ว พบว่าแบบFed batchมีแนวโน้มที่ดีกว่าโดยเฉพาะในช่วงที่ระบบค่อนข้างมีปัญหาเช่นมีการปนเปื้อนในกากน้ำตาลสูง, หัวเชื้อ(Starter) ไม่ค่อยแข็งแรง (ไม่active), หรือมีปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิโดยเฉพาะในฤดูร้อน จากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์กระบวนการแบบเดิมและทำการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ พบว่าการใช้ปริมาณหัวเชื้อหรือ %Inoculum, การควบคุมปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้น อุณหภูมิในการหมัก และช่วงเวลาและขั้นตอนดำเนินการการหมักที่เหมาะสม(รายละเอียดการดำเนินการหมักก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงในภาคผนวกที่11.1) จะทำให้สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตจากใช้เวลาหมัก 72ชั่วโมงได้เอทานอลโดยเฉลี่ย 7.83% (7%-8.3%) เป็น 10.2-11.9%ใช้เวลาหมัก 48 ชั่วโมง จากการทดสอบการหมักแบบ Batch โดยใช้เวลาหมัก 48 ชั่วโมงและเพิ่มรอบการหมักเป็น 2 ครั้งต่อสัปดาห์ (ตารางเวลาดังในภาคผนวกที่ 11.2) ซึ่งสามารถทำได้โดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตเอทานอลของโครงการส่วนพระองค์ฯเป็นสองเท่าได้

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพในการกลั่นพร้อมกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตคือเอทานอล 95%จาก เดิม แต่ละ1สัปดาห์มีการหมักแบบ batch 1 ครั้ง, ใช้เวลาหมัก 72 ชั่วโมง ได้เอทานอลจากการหมัก 7.5-8.2 % ได้เอทานอล 95%จากการกลั่นจำนวน 640-740 ลิตร หลังการปรับปรุงข้อมูลการหมักครั้งล่าสุดคือใช้เวลาหมัก 48 ชั่วโมง ได้เอทานอลจากการหมัก 10-11 % ได้เอทานอล 95%จากการกลั่นจำนวน 900-950 ลิตร(ในขณะที่ถ้าเลือกใช้ใช้เวลาหมัก 72 ชั่วโมง สามารถควบคุมให้ได้เอทานอลจากการหมัก 11-12 % ได้เอทานอล 95%จากการกลั่นจำนวน 980-1040 ลิตร) โดยที่เมื่อพิจารณาจากพลังงาน (น้ำมันดีเซลและไฟฟ้า)และกากน้ำตาลที่ใช้ดังแสดงในตารางแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและกากน้ำตาลในช่วงที่มีการ

ควบคุมที่ดีและค่าจากการดำเนินการโดยทั่วไปของโครงการฯ(ตารางในหน้า29) พบว่าการใช้พลังงานและกากน้ำตาลต่อผลิตภัณฑ์ 95%เอทานอลลดลงในช่วงที่มีการควบคุมการหมักและการกลั่นที่เหมาะสมเนื่องจากสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการหมักและกลั่นให้สูงขึ้น นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มผลผลิตสามารถจัดการหมักได้อย่างน้อย 2 ครั้งต่อสัปดาห์โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม สามารถเพิ่มผลผลิตเอทานอล 95%เป็น 1800-1900 ลิตรต่อสัปดาห์ สำหรับข้อมูลโดยสรุปของการทดลองปรับปรุงตั้งแต่เริ่มโครงการแสดงไว้ในหน้าที่ 30-31

ปัญหาที่พบในการดำเนินการทดลองครั้งนี้ส่วนใหญ่จากการขาดอุปกรณ์บางส่วน เช่นการเติม Starterเข้าถังหมักใช้การไหลโดยแรงโน้มถ่วงและไม่มีอุปกรณ์การกวนในถังStarter จึงทำให้ปริมาณเซลเริ่มต้นในแต่ละถังหมักมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง นอกจากนี้เนื่องจากไม่มีถังสำหรับผสมจึงทำให้การเตรียมสารป้อนเข้าถังหมักแบบต่อเนื่องและแบบ Fed Batchทำได้ไม่สะดวกและคลาดเคลื่อนจากกำหนด การติดตั้งอุปกรณ์เช่นเพิ่มถังอาจไม่สะดวกเนื่องจากข้อจำกัดของสถานที่ อย่างไรก็ดีสำหรับการปฏิบัติการทดลองร่วมกับทางโรงงานผู้จัดการและเจ้าหน้าที่ของทางโครงการส่วนพระองค์ฯได้ให้ความร่วมมือกับทางโครงการนี้เป็นอย่างดี รวมทั้งมีความกระตือรือร้นสนใจที่จะเรียนรู้และทำการทดลองเพื่อจะพัฒนากระบวนการผลิตให้ดีขึ้น ทำให้การทำงานบรรลุวัตถุประสงค์ตามเป้าหมาย

	โดยทั่วไป	ช่วงควบคุมที่เหมาะสม
อัตราการใช้ดีเซล ต่อ ผลิตภัณฑ์ (ลิตรต่อลิตรของ95%เอทานอล)	0.77-1.00	0.67-0.74
อัตราการใช้กากน้ำตาล ต่อ ผลิตภัณฑ์ (ลิตรต่อลิตรของ95%เอทานอล)	3.0-4.0	2.6-2.8
อัตราการใช้ไฟฟ้า ต่อ ผลิตภัณฑ์ (กิโลวัตต์-ชม.ต่อลิตรของ95%เอทานอล)	24.0-35.0	24.6-26.8

<u>ตารางการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้กากน้ำตาล,การใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลในช่วงที่มีการควบคุมที่ดีและค่าจากการดำเนินการโดยทั่วไป</u>

สรุปผลการทดลองโครงการปรับปรุงคุณภาพการหมักแอลกอฮอล์

20 กันยายน 2544 - 19 สิงหาคม 2545

วัน/เดือน/ปี	วิธีการหมัก	รายละเอียดการหมัก	Brix	%น้ำตาลรีดิวซิง (เริ่มต้น - สุดท้าย)	pH	อุณหภูมิสูงสุด (?c / ชั่วโมงที่)	%แอลกอฮอล์ ที่หมักได้	เวลาการหมัก (ชั่วโมง)	แอลกอฮอล์ 95% ที่กลั่นได้ (ลิตร)	เวลากลั่น (ชั่วโมง)
20 กย. 44	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ ตามสเกลเดิม	29	-	4.74 - 4.71	38 / 24	8.2	72	740/10000	29
****ก่อนทดลองปรับปรุง(ตารางที่1)										
27 กย. 44	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ ตามสเกลเดิม	23	11 - 4.85	4 66 - 4.82	35 / 24	7.5	72	640/10000	33
****ก่อนทดลองปรับปรุง(ตารางที่2)										
4 ตค. 44	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ ตามสเกลเดิม	22.5	14.42 - 3.025	4.79 - 4 84	35 / 21	7.7	72	740/9100	28
(ตารางที่3)		คาดว่ามีน้ำตาลเริ่มต้น 19.18%								
	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ ตามสเกลเดิม	23	13.76 - 2.7	4.88 - 4 87	35 / 21	8	72		
		มีน้ำตาลเริ่มต้น 22%								
	Fed Batch	เติมเชื้อ, น้ำ, น้ำตาล, ชม.ที่2 5 เติมน้ำ, น้ำตาล	22	13.26 - 2 74	4 89 - 4 83	35 / 21	7.6	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 19.18%								
	Fed Batch	เติมเชื้อ, น้ำ, น้ำตาล, ชม.ที่2.5 เติมน้ำ, น้ำตาล	25.5	17.85 - 2.88	4 69 - 4 87	35 / 21	8.5	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 22%								
19 ตค. 44	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ มีน้ำตาลเริ่มต้น 24%	26	16.7 - 6.93	5 32 - 5 32	35 / 24	9.6	72	700/9100	30
(ตารางที่4)	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม.ที่4 เติมน้ำ, น้ำตาล	30	16.8 - 5.85	5.34 - 5 03	36 / 24	9.3	72		
	1/3 - 2/3	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม.ที่4 เติมน้ำ, น้ำตาล	26.5	16.7 - 7.28	5.33 - 5 26	35 - 24	9 4	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม.ที่4 เติมน้ำ, น้ำตาล	29.5	16.8 - 5.05	5.34 - 4 44	36 / 24	7 8	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 20%								
	(+ Molasses)	ชม.ที่69 เติมน้ำตาลจนได้ 24%								
1 พย. 44	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ มีน้ำตาลเริ่มต้น 24%	26.5	17 03 - 3.03	5 1 - 5 3	36 24	8.9	72	800/9100	30
(ตารางที่5)	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม ที่10 เติมน้ำ, น้ำตาล	32	20.96 - 4.92	5 2 - 5 3	34 / 24	12.45	72		
	1/3 - 2/3	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม.ที่10 เติมน้ำ, น้ำตาล	26.5	22.92 - 3.34	5 1 - 5 2	36 - 24	11.9	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อจนมีน้ำตาล 14%	24	15.34 - 3 48	5 2 - 5 3	36 24	12.05	72		
	1/4 - 3/4	ชม.ที่10 เติมน้ำ, น้ำตาล จนมีน้ำตาล 22%								
	(+ Molasses)	ชม.ที่24 เติมน้ำตาลจนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลรายละเอียดในแต่ละการทดลองแสดงไว้ในตารางที่1-11ในส่วนภาคผนวกที่ 11.4

สรุปผลการทดลองโครงการปรับปรุงคุณภาพการหมักแอลกอฮอล์

20 กันยายน 2544 - 19 สิงหาคม 2545 (ต่อ)

22 พย. 44	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ มีน้ำตาลเริ่มต้น 24%	33.5	22.98 - 4.36	5.1 - 5.2	38 / 30	12	72	700/9100	30
(ตารางที่7)	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม.ที่9 เติมน้ำ, น้ำตาล	27.5	21.27 - 2.66	5.1 - 5.2	38 / 30	9.5	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 22%								
	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ, ชม.ที่9 เติมน้ำ, น้ำตาล	32.5	23.4 - 2.72	5.1 - 5.2	38 / 30	10.5	72		
	1/4 - 3/4	จนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อจนมีน้ำตาล14%	22.5	16.37 - 2.67	5.1 - 5.2	38 / 30	10.5	72		
	1/4 - 3/4	ชม.ที่9 เติมน้ำ, น้ำตาลจนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
16 มีค. 45	Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อ มีน้ำตาลเริ่มต้น 24%	32	25.5 - 7.45	4.7 - 4.7	38 / 24	11.15	72	800/9100	34
(ตารางที่8)	Fed Batch	เติมน้ำ, น้ำตาล,เติมเชื้อจนมีน้ำตาล20%	26	23 - 4.45	4.7 - 4.8	37 / 24	11.6			
	1/4 - 3/4	ชม.ที่10 เติมน้ำ, น้ำตาลจนมีน้ำตาลเริ่มต้น 24%								
14 มิย. 45	Batch	เติมน้ำ+น้ำตาล เติมเชื้อ ให้มีน้ำตาล19%	29	18.6 - 3.8	4.7 - 4.8	38 / 18	9.5	48	850/9100	29
(ตารางที่9)										
21 มิย. 45	Batch	เติมน้ำ+น้ำตาล เติมเชื้อ ให้มีน้ำตาล20%	30	21.3 - 4.3	4.6 - 4.8	35 / 24	10	48	900/9100	31
(ตารางที่10)										
24 มิย. 45	Batch	เติมน้ำ+น้ำตาล เติมเชื้อ ให้มีน้ำตาล20%	30	20 - 3.4	4.7 - 4 8	36 / 12	10.5	48	710/9100	30
(ตารางที่11)									*เกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง	
									ระหว่างการกลั่น	
17 สค 45	Batch	เติมน้ำ+น้ำตาล เติมเชื้อ ให้มีน้ำตาล20%	30	18.8 - 3.8	4.6 - 4.8	39 / 24	10.1	48	950/9100	30

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลรายละเอียดในแต่ละการทดลองแสดงไว้ในตารางที่1-11ในส่วนภาคผนวกที่ 11.4

6 รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein และหมักแอลกอฮอล์

6.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

6.1.1 ทำการทดลองที่ 6.1.1 เพื่อศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein โดยเชื้อ *Candida utilis* 6014 และ *Saccharomyces cerevisiae* M30

- ทดลองหมักเชื้อ *Candida utilis* 6014 และ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และเชื้อผสม (mix culture) ของ *Candida utilis* 6014 และ *Saccharomyces cerevisiae* M30 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการนำกากส่ามาผสมในอัตราส่วนต่างๆ
- วิธีการเตรียมหัวเชื้อ (Starter)โดยการเขี่ยเชื้อจาก working stock culture slant (2% inverse sugar from molasses +0.05% ammonuim sulfhate+1.5% agar) ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อขนาด 100มล.ที่เตรียมจากกากน้ำตาล (5% inverse sugar from molasses +0.05% ammonuim sulfhate และ ปรับpH=5)ใน flask 250 มล.ที่เตรียมไว้
- นำ flask ที่เขี่ยเชื้อแล้วไปเขย่าในเครื่องเพาะเลี้ยงเขย่าแบบหมุนวน ที่อุณหภูมิประมาณ 32 ^{o}ซ ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18-20 ชั่วโมงเพื่อใช้เป็น หัวเชื้อ
- ทำการหมักโดยการเตรียมสารอาหารที่มีอัตราส่วนกากส่า:น้ำ 0-100%, แอมโมเนียมซัลเฟต 0.05% และเติมกากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 2 และ 6% ในปริมาณ 250 มล.ใน ฟลาสก์ 500 มล.ใช้ปริมาณ inoculum=5%
- ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง(ประมาณ 32 ^{o}ซ) บนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ทุก 6 ชั่วโมงเพื่อนำมาวิเคราะห์หา น้ำหนักเซลแห้งที่เพิ่มขึ้นและน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลง

6.1.2 ทำการทดลองที่6.1.2เพื่อศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต แอลกอฮอล์เอทานอล โดยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces cerevisiae* Sc90

- ทดลองหมักเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces Sc90* และเชื้อผสม (mix culture) ของ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces cerevisiae* Sc90 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการนำกากส่ามาผสมในอัตราส่วนต่างๆ
- การเตรียมหัวเชื้อเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 6.1.1

- ทำการหมักโดยการเตรียมสารอาหารที่มีอัตราส่วนกากส่า:น้ำ 0-100%, แอมโมเนียมซัลเฟต 0.05% และเติมกากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 20% โดยขั้นตอนอื่นๆในการหมักเหมือนในหัวข้อที่ 6.1.1

6.2 วิธีการวิเคราะห์

ตัวอย่างน้ำหมักจะถูกเก็บเพื่อวิเคราะห์ผลทุก 6ชั่วโมงในรายการต่อไปนี้

- การวิเคราะห์ความเข้มข้นของยีสต์ใช้วิธีนับเซลบน Haemacytometerด้วยกล้องจุลทัศน์และหาน้ำหนักเซลแห้งโดยการล้างด้วย 0.1 N HCl แล้วอบแห้ง
- การวิเคราะห์ความเข้มข้นน้ำตาลใช้วิธี Lane and Eynon's method
- การวิเคราะห์ความเข้มข้นเอธานอลสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟในการวิเคราะห์
- วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ด่างโดยใช้เครื่องวัด pH

<u>การวัดน้ำหนักเซลล์แห้งเซลล์</u>

- นำตัวอย่างที่ได้มา 10 ml ทำการปั่นแยกเซลล์ออก ที่ ความเร็ว 3000 รอบ เป็นเวลา 10 นาทีแล้วเทส่วนใสทิ้ง
- เติมสารละลาย 0.1 normal HCl 10 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปปั่นที่ 3000 รอบ 10 นาที เทส่วนใสทิ้ง
- เติมน้ำกลั่น 2-3 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วนำตัวอย่างที่ได้มาวางให้แห้งในเตาอบ 80 ซ 24 ชั่วโมง
- นำออกมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักเซลล์ที่ได้ หลังจากชั่งน้ำหนักแล้วควรนำไปไว้ในเตาอบอีกครั้ง แล้วทิ้งให้เย็น แล้วจึงชั่งใหม่
- นำน้ำหนักที่ได้มาเปรียบเทียบกับอีกครั้ง ทำจนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

<u>วิธีการวัดปริมาณ น้ำตาลรีดิวซิง</u>

1. การย่อยเป็นเพื่อให้น้ำตาลทั้งหมดในสารละลายตัวอย่างเป็นน้ำตาลรีดิวซิง

- นำตัวอย่าง 0.2 มล.ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มล.
- เติมน้ำกลั่น 0.8 มล.เขย่าให้เข้ากัน

- เติม0.5 มล. กรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น (Conc. HCl) และเขย่าให้เข้ากันและนำไปต้มทำปฏิกิริยาที่ 100 ซ เป็นเวลา10 นาที
- นำมาแช่ในอ่างน้ำแข็ง (0 ซ) เพื่อหยุดปฏิกิริยา
- เติม 20% NaOH 0.5 มล. เขย่าให้เข้ากัน
- เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 10 มล

<u>2.วิธีหาปริมาณ Reduing Sugar โดยวิธี DNS</u>

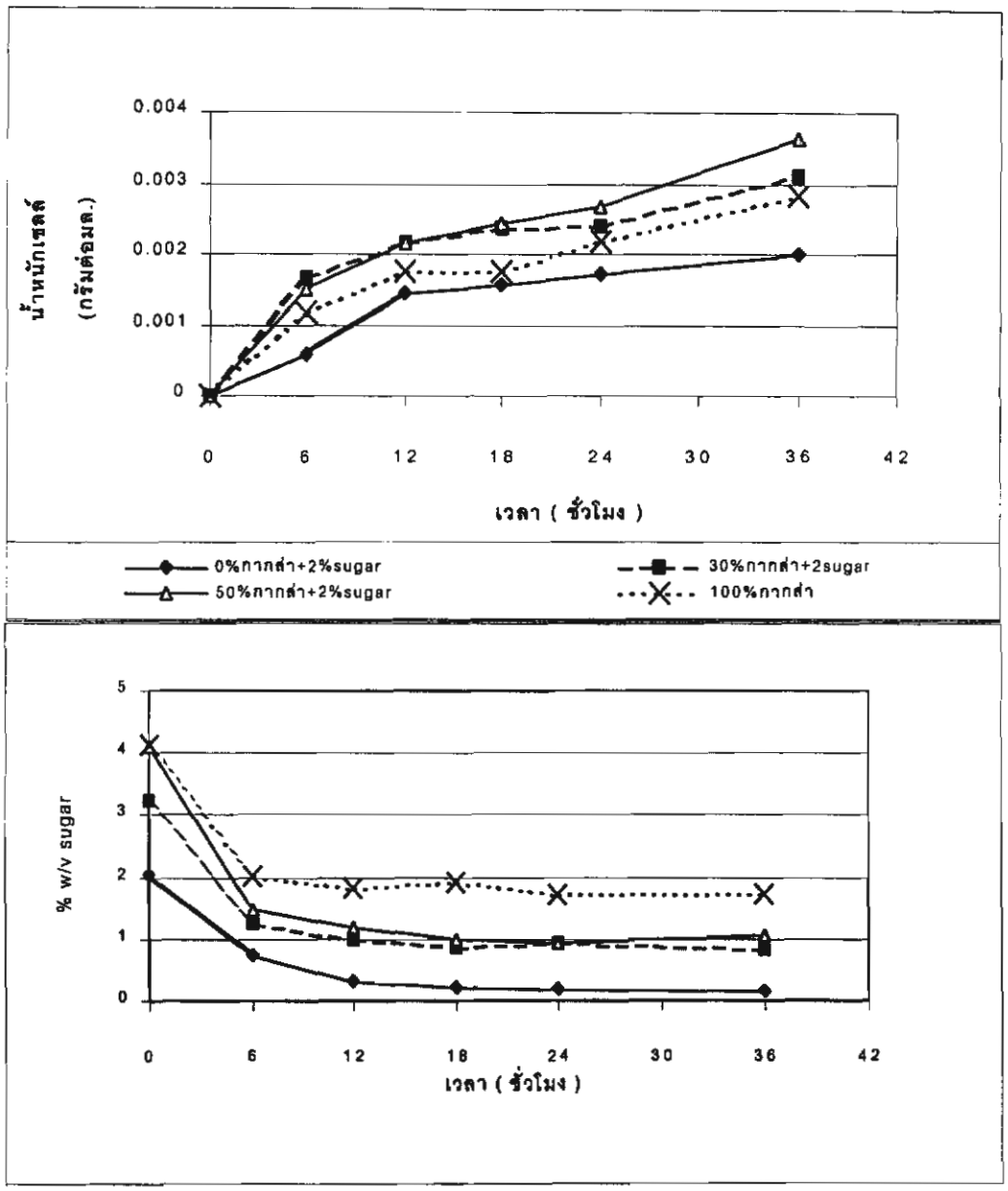
- นำตัวอย่างที่ hydrolyse แล้ว มา 0.2 มล. ใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มล.
- เติมน้ำกลั่น 0.8 มล.และเติมสารละลาย DNS reagent และเขย่าให้เข้ากัน
- นำไปต้มทำปฏิกิริยาที่ 100 ซ เป็นเวลา 5 นาที
- นำมาแช่ในอ่างน้ำเย็น 0 ซ เพื่อหยุดปฏิกิริยา
- เติมน้ำกลั่น 10 มล. และเขย่าให้เข้ากัน
- นำไปวัด OD ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างเป็น blank
- นำค่า OD ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ standard curve เพื่อหาปริมาณน้ำตาล

6.3 ผลการทดลองและวิจารณ์

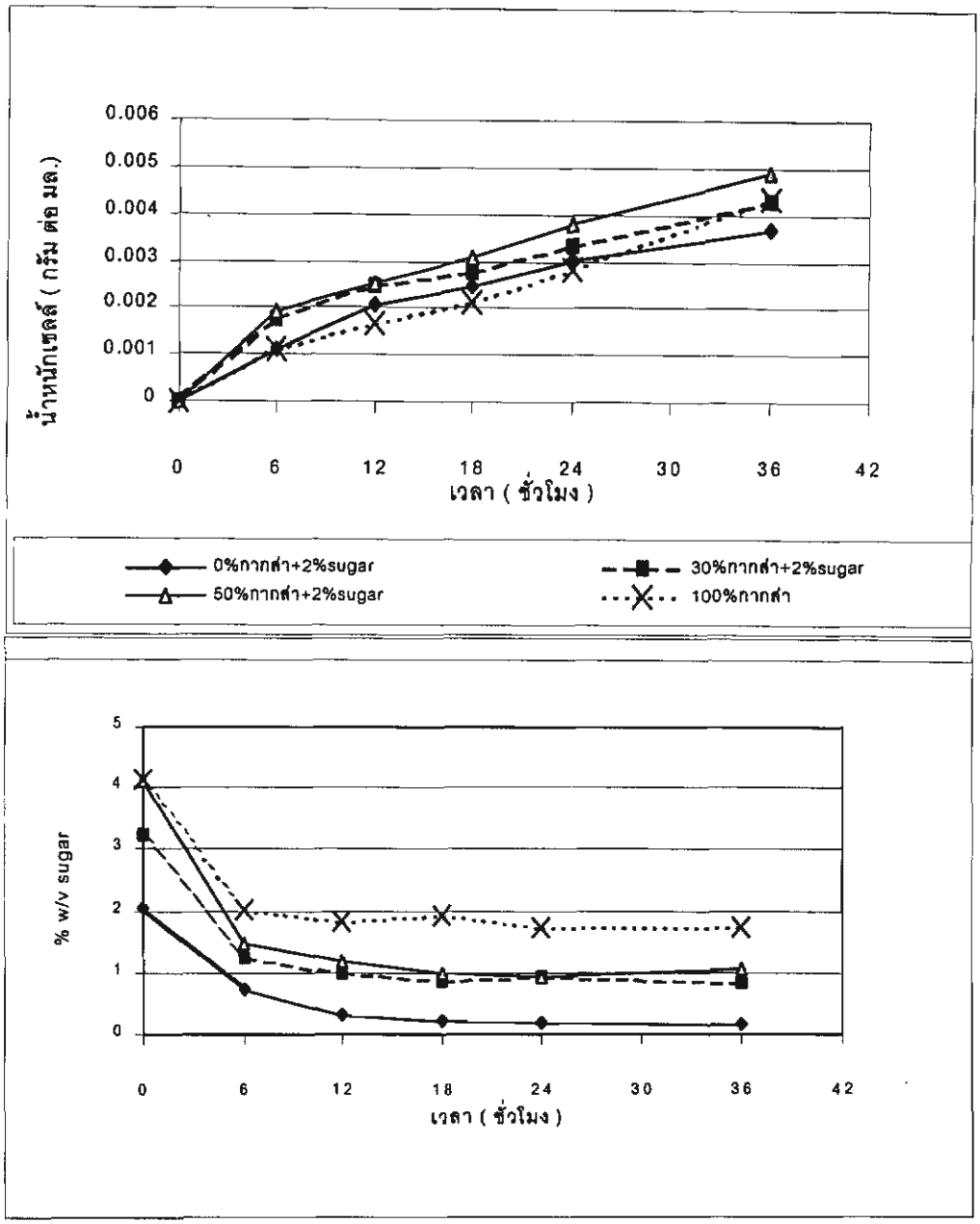
6.3.1 การศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein

<u>ส่วนที่1</u> ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein โดยเชื้อ *Candida utilis* 6014 และ Saccharomyces พบว่าการทดลองโดยกำหนดให้มีการเติมกากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ 2% เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยีสต์ในสารอาหารที่มีอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อน้ำ 0%, 30% และ 50% และในระบบที่ใช้กากส่าแทนน้ำ 100%โดยไม่มีการเติมกากน้ำตาล พบว่าทั้งในการหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Candida utilis* 6014 และเชื้อผสม(mix culture) จากทั้งสองเชื้อจะได้ปริมาณเซลแห้งเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ในระบบที่มีอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อน้ำโดย 50% โดยปริมาณยีสต์หลังการหมัก 36 ชั่วโมงคือ3.5, 5, 5 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือคือประมาณ 1 กรัมต่อลิตร ในขณะที่การใช้กากส่า 30% ได้ปริมาณเซลยีสต์ลดลง แต่เหลือน้ำตาลหลังหมักประมาณ 1%เช่นกัน สำหรับในระบบที่ใช้น้ำกากส่าแทนน้ำ100%โดยไม่เติมกากน้ำตาลเลยพบว่าหลังหมัก36 ชั่วโมง จะได้ปริมาณเซลแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 2.8, 4.3, และ 4.6 กรัมต่อลิตร สำหรับการหมักโดย*Saccharomyces cerevisiae* M30, *Candida utilis* 6014 และเชื้อผสม(mix culture) ตามลำดับ น้ำตาลรีดิวซ์

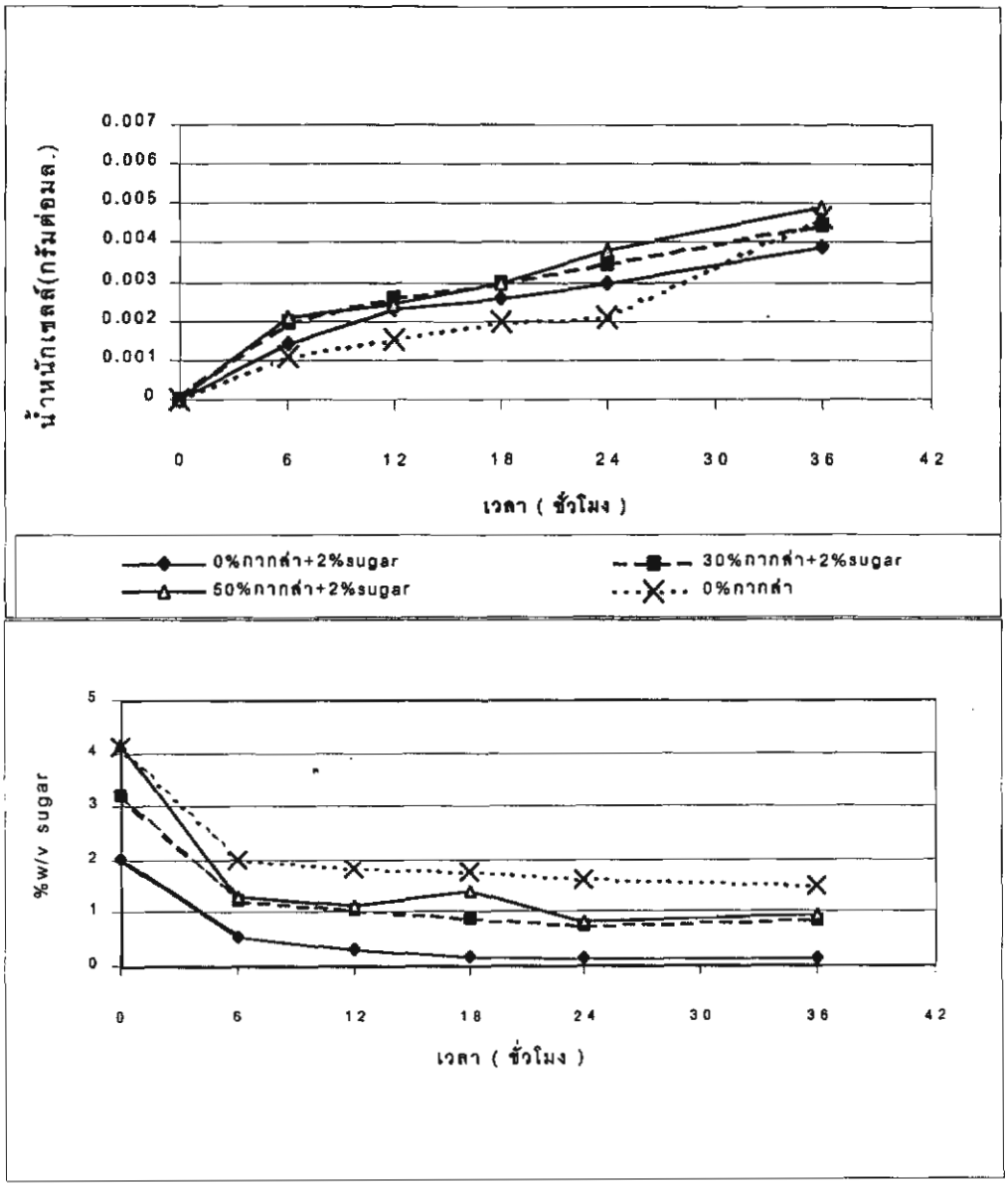
เริ่มต้นประมาณ 4 % ถูกใช้เหลือประมาณ 1.8 %ในขณะที่ระบบที่ไม่ใช้กากส่าเติมแต่กากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ 2% หลังการหมัก ยีสต์ใช้น้ำตาลเกือบหมด เหลือประมาณ 0.1 กรัมต่อลิตร ได้เซลแห้ง 2, 3.6, และ3.8กรัมต่อลิตร รายละเอียดของการหมักแสดงในกราฟรูปที่11 สำหรับ *Saccharomyces cerevisiae* M30 รูปที่12 สำหรับ *Candida utilis* 6014 และ รูปที่13 สำหรับเชื้อผสม(mix culture)



รูปที่ 11กราฟแสดงความเข้มข้นของเซลล์ (น้ำหนักเซลแห้ง)(บน) และน้ำตาลรีดิวซ์ (ล่าง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30% และ 50%)+2%น้ำตาลรีดิวซ์จากกากน้ำตาล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำกากส่าอย่างเดียว 100% ในการเลี้ยง *S. cerevisiae* M. 30



<u>รูปที่ 12</u> กราฟแสดงความเข้มข้นของเซลล์ (น้ำหนักเซลแห้ง)(บน) และน้ำตาลรีดิวซ์ (ล่าง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30% และ 50%)+ 2%น้ำตาล รีดิวซ์จากกากน้ำตาล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำกากส่าอย่างเดียว 100% ในการเลี้ยง *Candida Utilis* 6014

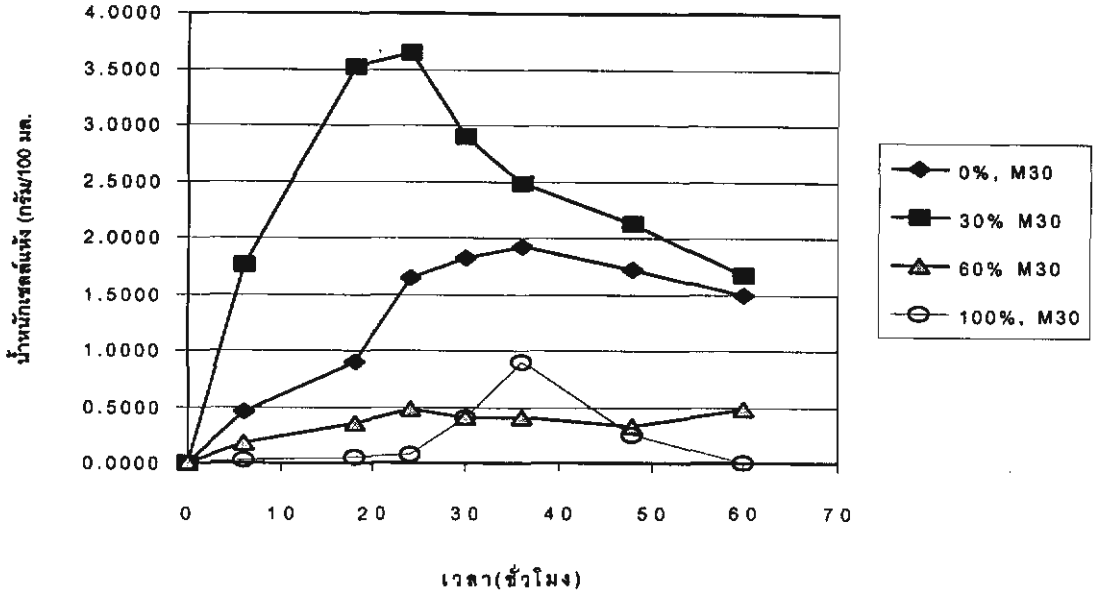


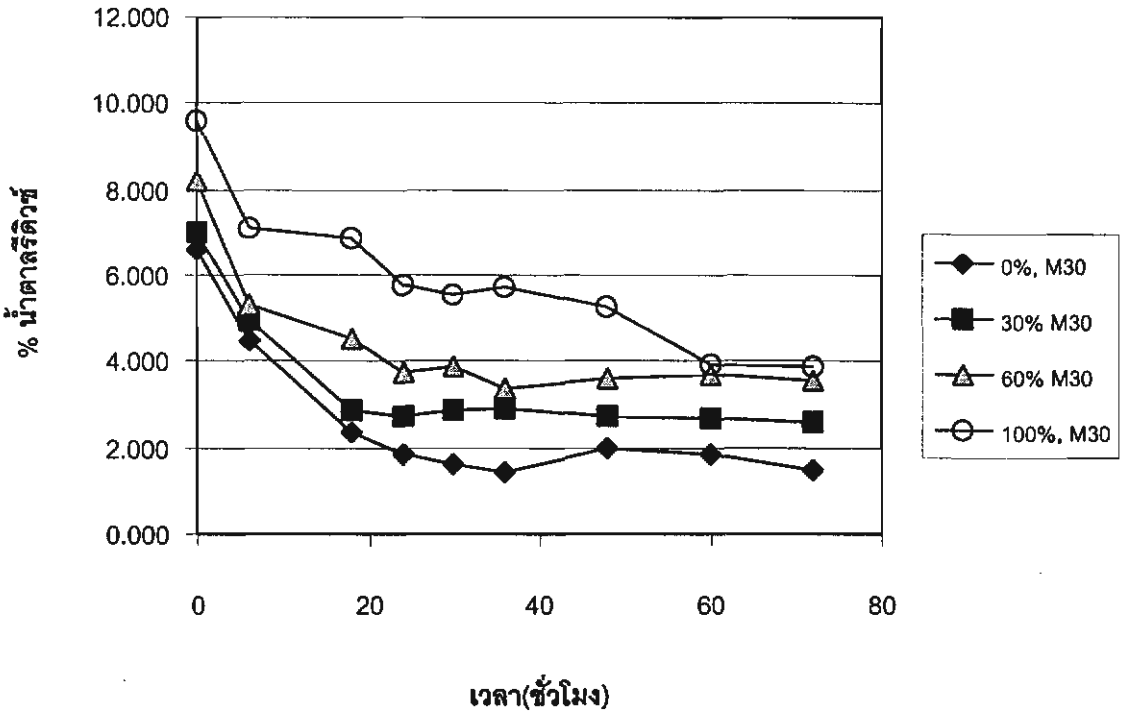
<u>รูปที่ 13</u> กราฟแสดงความเข้มข้นของเซลล์ (น้ำหนักเซลแห้ง)(บน) และน้ำตาลรีดิวซ์ (ล่าง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30% และ 50%)+ 2%น้ำตาลรีดิวซ์จากกากน้ำตาล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำกากส่าอย่างเดียว 100% ในการเลี้ยง *Mix Culture*

<u>ส่วนที่2</u> เป็นการทดลองโดยกำหนดให้มีการเติมกากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ 6% เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยีสต์ในสารอาหารที่มีอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อน้ำ 0%, 30% และ 60% และ 100% พบว่าการหมักโดย*Saccharomyces cerevisiae* M30, *Candida utilis* 6014 และเชื้อผสม(mix culture)จากทั้งสองเชื้อจะได้ปริมาณเซลแห้งเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อัตราส่วนการเติมน้ำกากส่าต่างกัน ผลการหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 แสดงใน<u>รูปที่14</u> ได้ปริมาณเซลแห้งสูงสุด 36 กรัมต่อลิตรหลังหมัก 24 ชั่วโมง ที่อัตราการเวียนกลับกากส่า 30% โดยมีน้ำตาลเหลือประมาณ 2.2%ในขณะที่การใช้กากส่าในอัตราส่วน 60% และ100% หลังหมักจะได้ปริมาณเซลแห้งน้อยกว่า 10 กรัมต่อลิตรมีน้ำตาลเหลือประมาณ 4%, โดยผลการหมักที่ 0%กากส่า จะได้ปริมาณเซลแห้งเพิ่มขึ้นสูงสุด19กรัมต่อลิตรหลังหมัก 36 ชั่วโมง และมีน้ำตาลเหลือ 1.8% ผลการทดลองพบว่า *Saccharomyces cerevisiae* M30 นอกจากจะใช้น้ำตาลที่เหลือในกากส่าส่วนหนึ่งแล้ว การนำกากส่ามาใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (30%) จะเพิ่มอัตราการเจริญของเซลเป็นผลให้ได้ปริมาณเซลแห้งในปริมาณเพิ่มขึ้นในเวลาลดลง อย่างไรก็ตามการนำกากส่ามาใช้ในอัตราส่วนมากเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ*Saccharomyces cerevisiae* M30

สำหรับการหมักโดย *Candida utilis* 6014 แสดงใน<u>รูปที่15</u> โดยการเติมกากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณน้ำตาลในระบบ(เฉพาะในส่วนกากน้ำตาล)ที่ความเข้มข้น6%รวมกับน้ำกากส่าผสมน้ำในปริมาณต่างๆ ได้ผลการเจริญของเซลที่แตกต่างจาก*Saccharomyces cerevisiae* M30 พบว่าการใส่กากส่า(30%-100%) ไม่ทำให้การหมักดีขึ้น ปริมาณเซลแห้งสูงสุดจากหมักจะสูงสุดในระบบที่ไม่มีการเติมกากส่าคือ 36 กรัมต่อลิตรที่ 24 ชั่วโมง (26 กรัมต่อลิตร ในการหมักที่ใส่กากส่า 30% และน้อยกว่า 10กรัมต่อลิตรที่การใส่กากส่า 60-100%) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลยับยั้งจากสารละลายบางตัวในน้ำกากส่า และ/หรือผลจากแรงดันออสโมซิสที่เพิ่มขึ้นในระบบที่มีการเติมกากส่าและกากน้ำตาลมากเกินไปทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเจริญของยีสต์ *Candida utilis* 6014

การหมักโดยใช้เชื้อผสมของ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ*Candida utilis* 6014 แสดงใน<u>รูปที่ 16</u> โดยผลการหมักที่ได้เป็นไปในลักษณะการรวมผลจากการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* M30 กับการหมักโดยใช้ *Candida utilis* 6014 โดยปริมาณเซลแห้งสูงสุดที่การหมักที่ 20ชั่วโมงได้ 26-27 กรัมต่อลิตรโดยการหมักแบบใส่กากส่า 0-30% ผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลจากการใส่กากส่าในอัตราส่วน 60-100% ทำให้ได้เซลแห้งสูงสุดหลังหมักต่ำกว่า 5 กรัมต่อลิตร





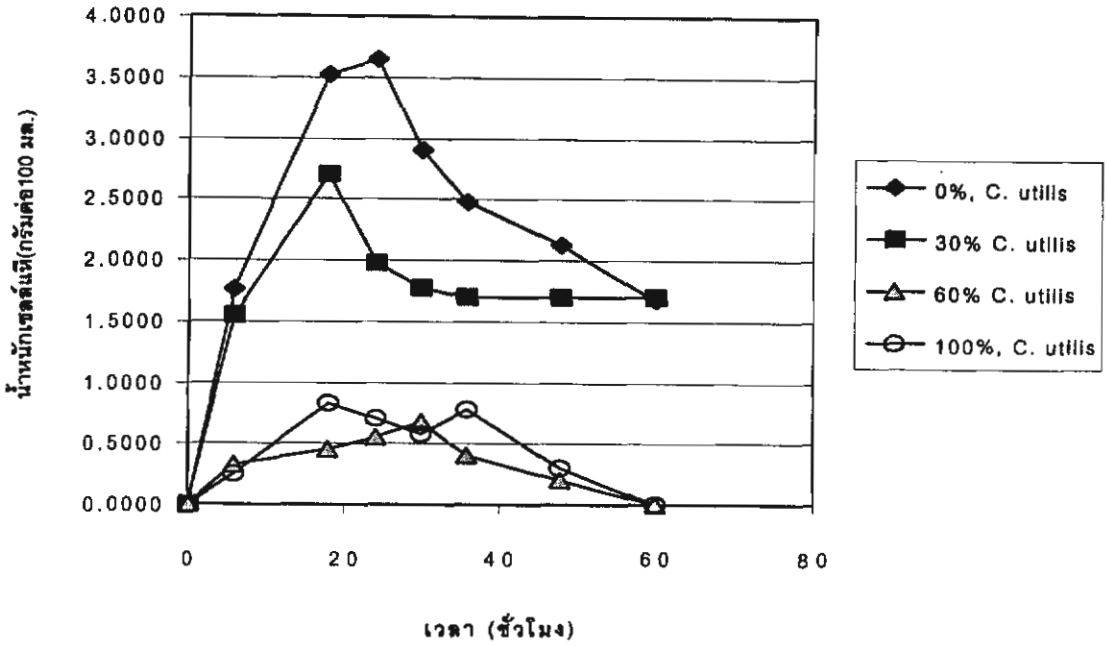
<u>รูปที่ 14</u> กราฟแสดงความเข้มข้นของเซลล์ (น้ำหนักเซลแห้ง)(บน) และน้ำตาลรีดิวซ์ (ล่าง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ100%) +6% น้ำตาลรีดิวซ์จากกากน้ำตาล ในการเลี้ยง *S. cerevisiae* M. 30

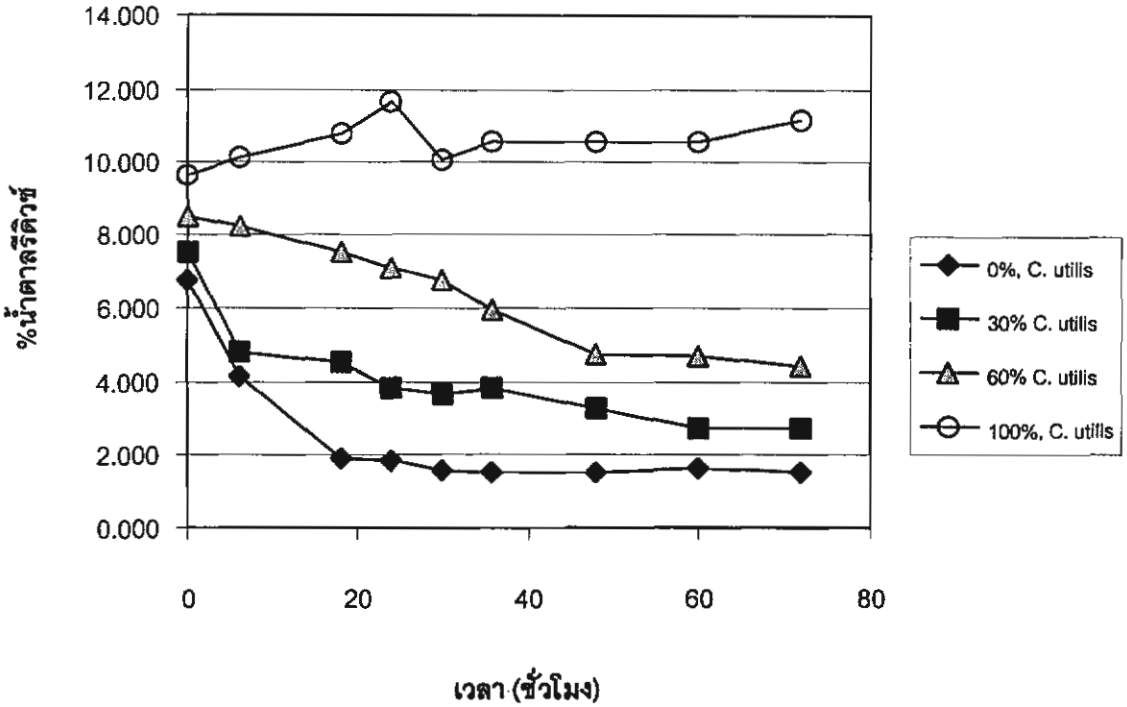
ภาคผนวกที่ 11.2

ตารางการปฏิบัติการของกระบวนการผลิต

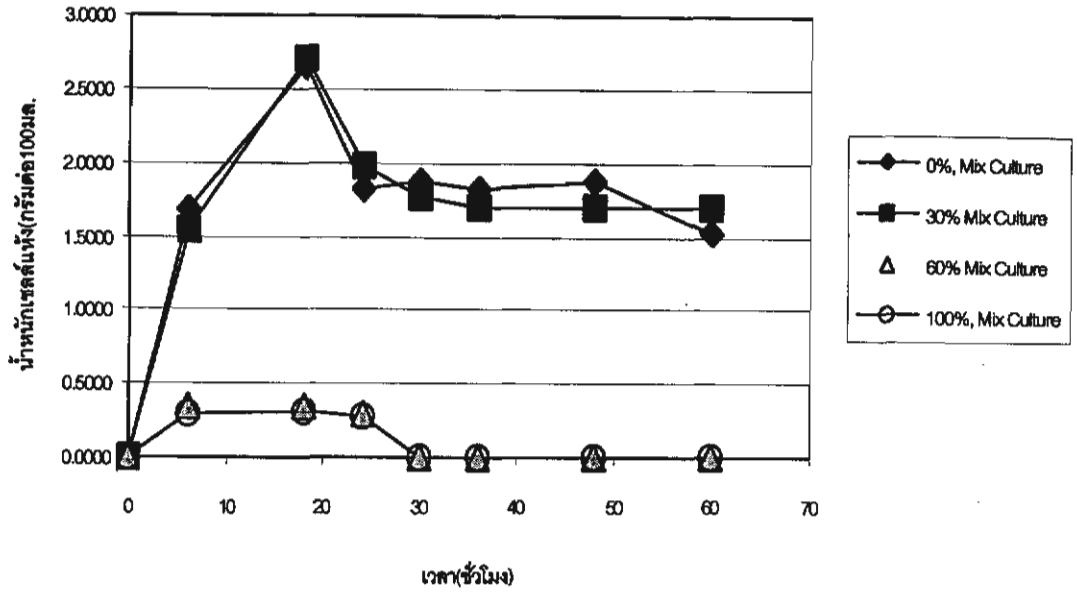
แบบ 1 รอบต่อสัปดาห์ และ

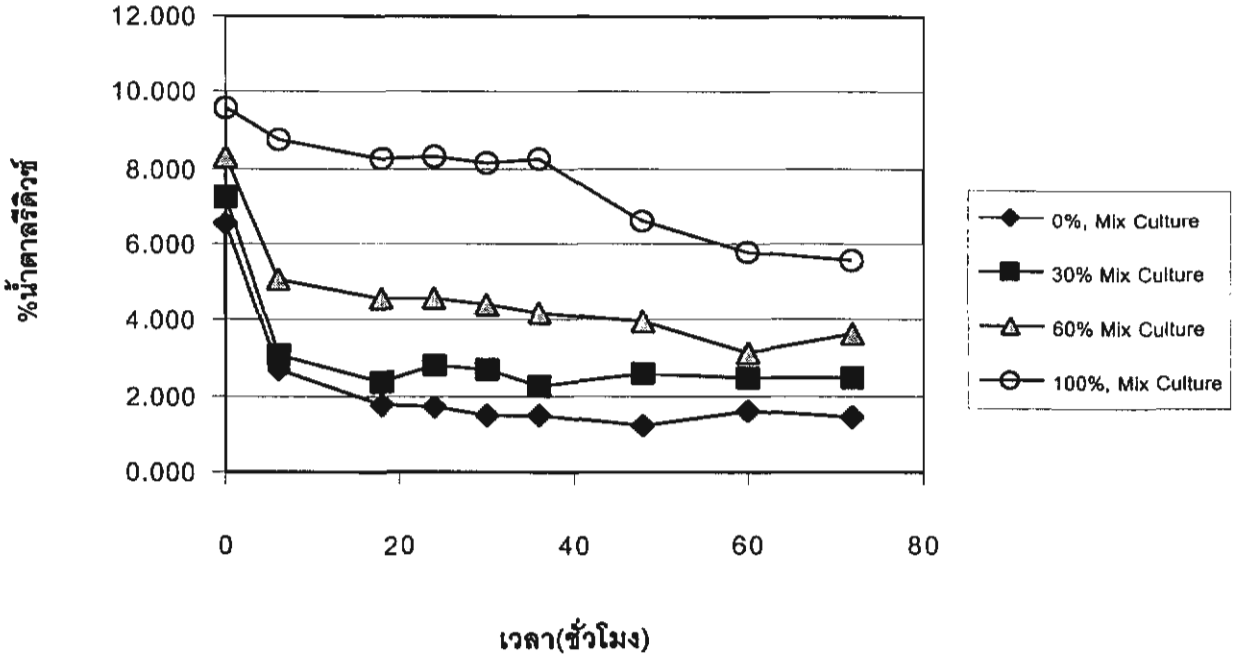
แบบ 2 รอบต่อสัปดาห์





<u>รูปที่ 15</u> กราฟแสดงความเข้มข้นของเซลล์ (น้ำหนักเซลแห้ง)(บน) และน้ำตาลรีดิวซ์ (ล่าง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลองที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ(0%, 30%, 60% และ 100%) +6% น้ำตาลรีดิวซ์จากกากน้ำตาล ในการเลี้ยง *Candida Utilis* 6014





<u>รูปที่ 16</u> กราฟแสดงความเข้มข้นของเซลล์ (น้ำหนักเซลแห้ง)(บน) และน้ำตาลรีดิวซ์ (ล่าง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากสำในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30% ,60% และ100%) +6% น้ำตาลรีดิวซ์จากกากน้ำตาล ในการเลี้ยง *Mix culture*

จากผลการทดลองศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell proteinทั้งสองส่วนแสดงให้เห็นว่าอัตราที่เหมาะสมในการเติมกากส่าขึ้นกับเซลยีสต์ที่ใช้ในระบบและความเข้มข้นน้ำตาลโดยร่วมในระบบ การทดลองส่วนแรกในระบบหมักที่ควบคุมความเข้มข้นของน้ำตาลในระบบโดยรวมไม่เกิน 4% (ทั้งจากกากส่าและ กากน้ำตาล) พบว่าการเติมกากส่าทดแทนน้ำตั้งแต่ 0-100% ในระบบไม่มีผลยับยั้งอย่างเด่นชัดต่อการเจริญของเซลยีสต์ทั้ง *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ*Candida utilis* 6014 เซลสามารถเจริญและเพิ่มปริมาณเซลได้ส่วนหนึ่ง (3.5-5 กรัมต่อลิตร) อย่างไรก็ตามการเติมกากน้ำตาลควบคู่ไปด้วยส่วนหนึ่งจะทำให้เซลเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น แต่สำหรับการทดลองในส่วนที่สองในระบบหมักที่ควบคุมความเข้มข้นของน้ำตาลในระบบสูงขึ้นเป็น6-10%(ทั้งจากกากส่าและกากน้ำตาล) พบว่าการเติมกากส่าในระบบแสดงผลยับยั้งการเจริญของเซลยีสต์ทั้ง *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ*Candida utilis* 6014อย่างเด่นชัด โดยเฉพาะการหมักโดย *Candida utilis* 6014 การใช้กากส่า 30-100% ทำให้ได้ปริมาณเซลแห้งหลังหมักลดลงตามลำดับ ในขณะที่ *การ*หมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 การใช้กากส่า 60-100% ทำให้ได้ปริมาณเซลแห้งหลังหมักลดลง แต่การใช้ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (30%) จะเพิ่มอัตราการเจริญของเซลทำให้ได้ปริมาณเซลแห้งในปริมาณเพิ่มขึ้นในเวลาลดลง เมื่อเปรียบเทียบผลทั้งสองส่วนผลของน้ำกากส่าต่อการหมักที่แตกต่างกันอาจสืบเนื่องมาจากผลของความดันออสโมซิสของระบบที่เปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลต่อการเจริญของยีสต์ในแต่ละสายพันธ์

อย่างไรก็ตามการพัฒนาเพื่อนำน้ำกากส่าเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเซลโปรตีนอาจทำได้ถ้ามีการควบคุมระบบให้มีระดับน้ำตาลและความดันออสโมซิสในระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญของเซลที่เลือกใช้ การนำระบบป้อนสารตั้งต้นแบบต่อเนื่อง หรือป้อนสารตั้งต้นแบบเป็นระยะน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงผลผลิตโดยรวมของระบบ

6.3.2 การศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิตเอทานอลโดยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces cerevisiae* Sc90

ผลการทดการโดยกำหนดให้มีการเติมกากน้ำตาลคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ 22% เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยีสต์ในสารอาหารที่มีอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อน้ำ 0%, 30% และ 60% และ 100% โดยเปรียบเทียบการหมักโดย*Saccharomyces cerevisiae* M30, *Saccharomyces cerevisiae* Sc.90 และเชื้อผสม(mix culture)จากทั้ง M30 และ Sc90

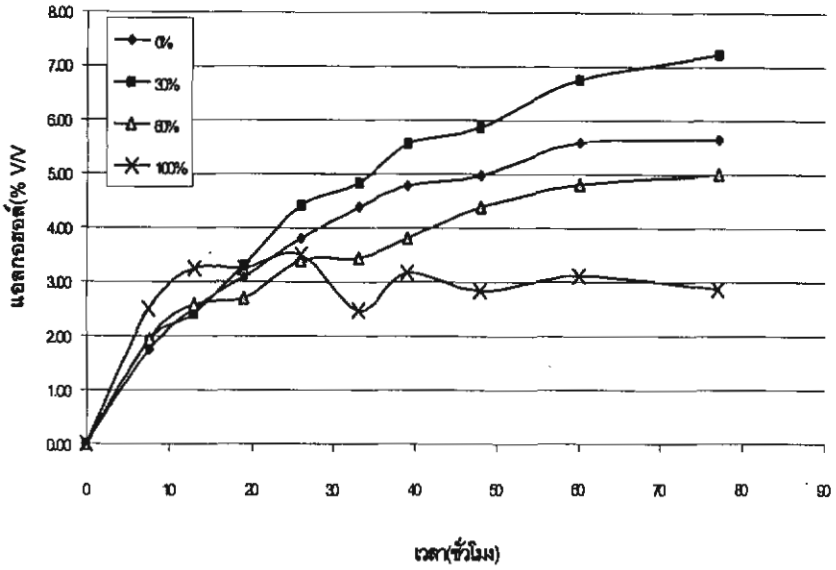
ผลการหมักโดย*Saccharomyces cerevisiae* M30 แสดงในรูปที่ 17 และ 18 จากผลการวิเคราะห์พบว่าเชื้อเจริญสูงสุดในช่วง 0-12 ชั่วโมงแรก ได้ปริมาณเซลคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 3-4 กรัมต่อลิตรอย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้กากส่าในอัตรา 60-100% จะพบอัตราลดลงของเซลหลังจากการเจริญในช่วงแรกโดยเฉพาะในกรณีใช้กากส่า100% สอดคล้องกับข้อมูลแสดงอัตราการใช้น้ำตาลในระบบ หลังการหมัก 72 ชั่วโมง ได้เอทานอลสูงสุดที่ 7.2%ที่อัตราการเวียนกลับกากส่า 30% โดยมีน้ำตาลเหลือประมาณ 10% ในขณะที่การใช้กากส่าในอัตราส่วน 60% และ100% หลังหมักได้เอทานอลที่ 5% และ 3%ตามลำดับ การหมักโดยไม่ใช้กากส่าได้เอทานอล 5.8% ผลการทดลองพบว่า การนำกากส่ามาใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (30%) จะเพิ่มอัตราการผลิตเอทานอลสำหรับการหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30ได้ อย่างไรก็ตามการนำกากส่ามาใช้ในอัตราส่วนมากเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ*Saccharomyces cerevisiae* M30 และการผลิตเอทานอลโดยรวม อย่างไรก็ตามผลการหมักโดยรวมของการทดลองครั้งนี้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากการควบคุมปัจจัยต่างๆในการกระตุ้นให้เซลหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลยังไม่เหมาะสม

ผลการทดลองเดียวกับข้างต้นโดย *Saccharomyces cerevisiae Sc. 90* แตกต่างจาก การหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 พบว่าการใส่กากส่า(30%-100%) ไม่ทำให้การหมักดีขึ้นจากข้อมูลปริมาณเซลขณะการหมักพบว่าปริมาณเซลสูงสุดในระบบที่ไม่มีการใส่กากส่าและลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มอัตราการใส่กากน้ำตาลเป็น 30%, 60% และ 100% (แสดงดังรูปที่ 19 และ 20)สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลที่ถูกใช้ ปริมาณเซล(ในหน่วยน้ำหนักแห้ง)หลังหมัก 72 ชั่วโมง จะสูงสุดในระบบที่ไม่มีการเติมกากส่าคือ 5 กรัมต่อลิตร (4 กรัมต่อลิตร ในการหมักที่ใส่กากส่า 30%, 2 กรัมต่อลิตร ในการหมักที่ใส่กากส่า 60%, และลดลงเหลือ น้อยกว่า 0.5 กรัมต่อลิตรในการหมักใส่กากส่า 100%) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าผลยับยั้งจากสารละลายบางตัวในกากส่า และ/หรือ แรงดันออสโมซิสที่เพิ่มขึ้นในระบบที่มีการ

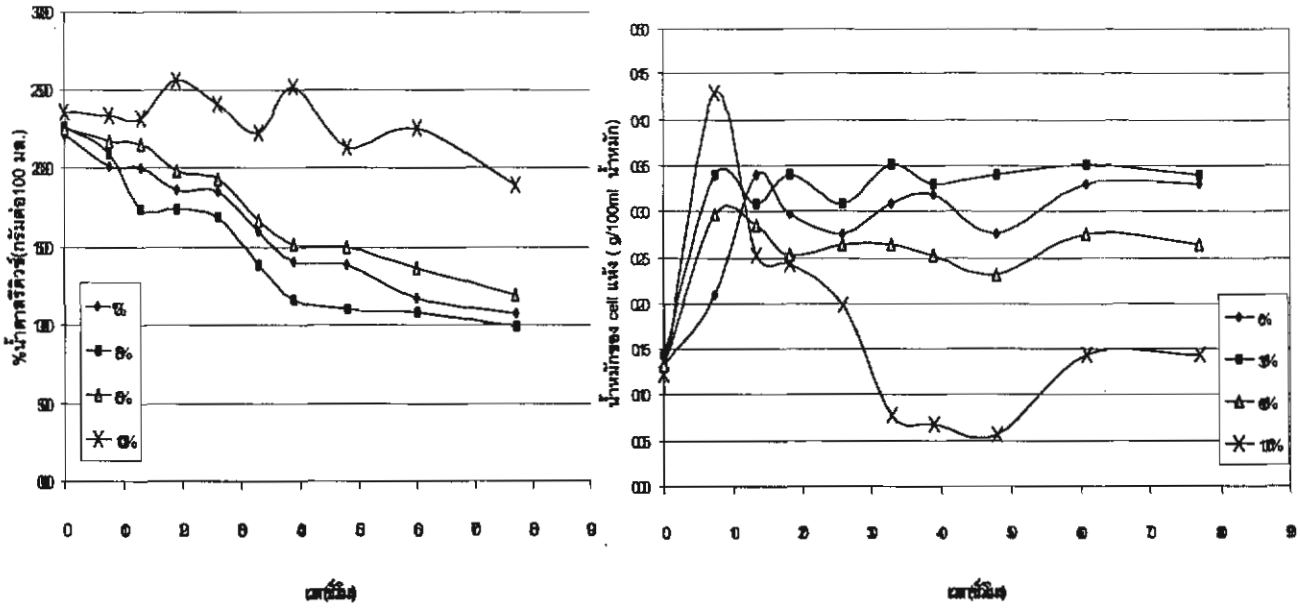
เติมกากส่าและกากน้ำตาลมากเกิน ทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเจริญรวมถึงอัตราการลดลงของ *Saccharomyces cerevisiae Sc. 90* โดยปัจจัยดังกล่าวส่งผลถึงปริมาณเอทานอลที่ได้โดย ระบบที่ไม่มีการใส่กากส่าจะได้เอทานอล 11.2%และลดลงเป็น 9.1%, 4% และ 2.8%ตามลำดับเมื่อเพิ่มอัตราการใส่กากน้ำตาลเป็น 30%, 60% และ 100% (แสดงดังรูปที่19 และ20)

การหมักโดยใช้เชื้อผสมของ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces cerevisiae* Sc 90. แสดงในรูปที่ 21 และ 22 โดยผลการหมักที่ได้เป็นไปในลักษณะการรวมผลจากการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* M30 กับการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* Sc 90. โดยปริมาณเซล และ เอทานอลสูงสุด โดยการหมักแบบใส่กากส่า 0-30% ปริมาณเซลสูงสุดที่4.5-4.8 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ได้เอทานอลหลังหมัก 72 ชั่วโมง 10% ผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลและการผลิตเอทานอลจากการใส่กากส่าในอัตราส่วน 60-100%สอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำตาลที่ลดลง ในลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้ ระบบเซลเดียวข้างต้น

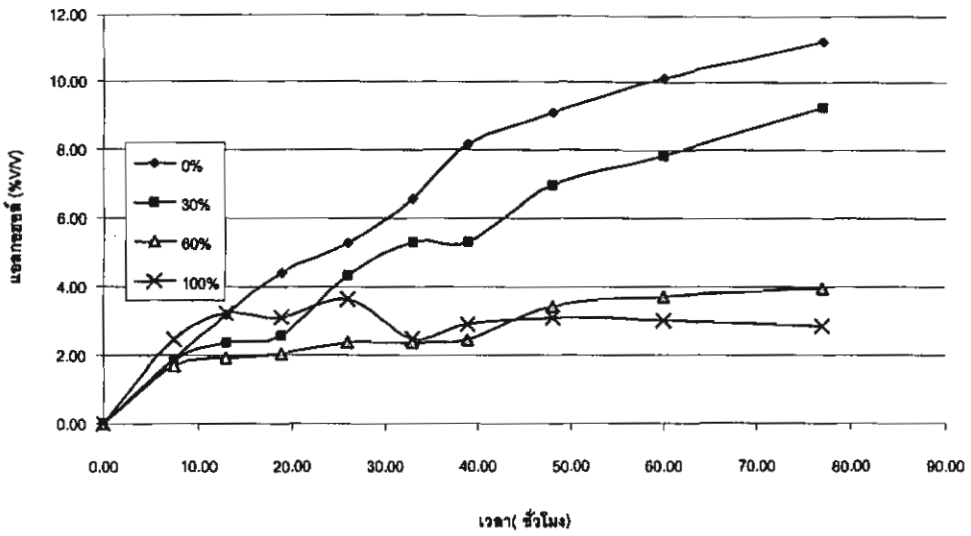
สรุปผลโดยรวม การเวียนกลับของกากส่าในการนำมาทดแทนน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำเสียที่ต้องการจำกัดสำหรับนำมาใช้ในการหมักเอทานอลโดย*Saccharomyces cerevisiae* Sc 90. (ตั้งแต่ในอัตราส่วน30%)ขึ้นไปไม่เหมาะสมเนื่องจากจะเกิดผลการยับยั้งการเจริญของเซลและประสิทธิภาพในการหมักเอทานอล แต่การใช้น้ำกากส่าทดแทนน้ำในอัตราส่วน30%ในกรณีการหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 หรือระบบผสมเซลของ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces cerevisiae* Sc 90.อาจทำได้เนื่องจากไม่ทำให้การเจริญเติบโตและการหมักเอทานอลลดลงและดีขึ้นในกรณีของ *Saccharomyces cerevisiae* M30 แต่อย่างไรก็ดีจำเป็นต้องศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของการดำเนินการเช่นการจัดเก็บ จำนวนครั้งที่ใช้เวียนกลับต่อเนื่องได้เป็นต้น ดังนั้นการแยกเฉพาะเซลยีสต์หลังหมักเพื่อนำไปเวียนกลับใช้หรือแยกไปใช้เป็นแหล่งเซลโปรตีนอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าเพราะนอกจากจะสามารถลดภาระของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ต้องกำจัดแล้ว ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ และได้เซลยีสต์จากการแยกเพื่อไปใช้เป็นประโยชน์ในส่วนที่เหมาะสมต่อไป



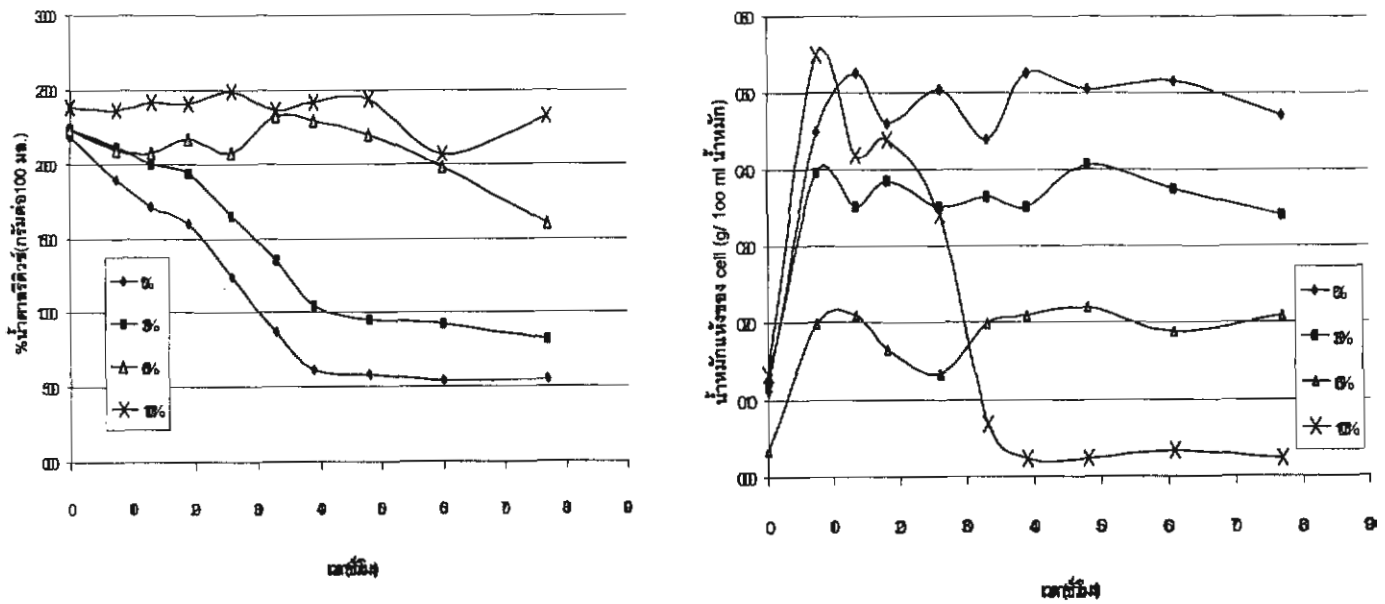
รูปที่ 17 กราฟแสดงปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ 100%) ในการหมักแอลกอฮอล์ โดย *S. cerevisiae* M. 30



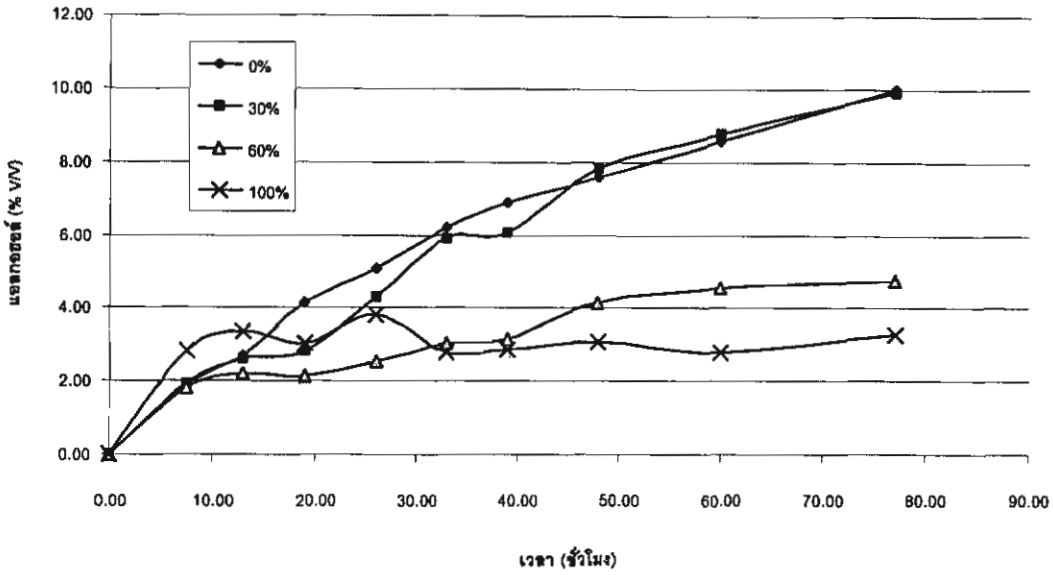
รูปที่ 18 กราฟแสดงน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณเซล (น้ำหนักเซลแห้ง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ 100%) ในการหมักแอลกอฮอล์ โดย *S. cerevisiae* M. 30



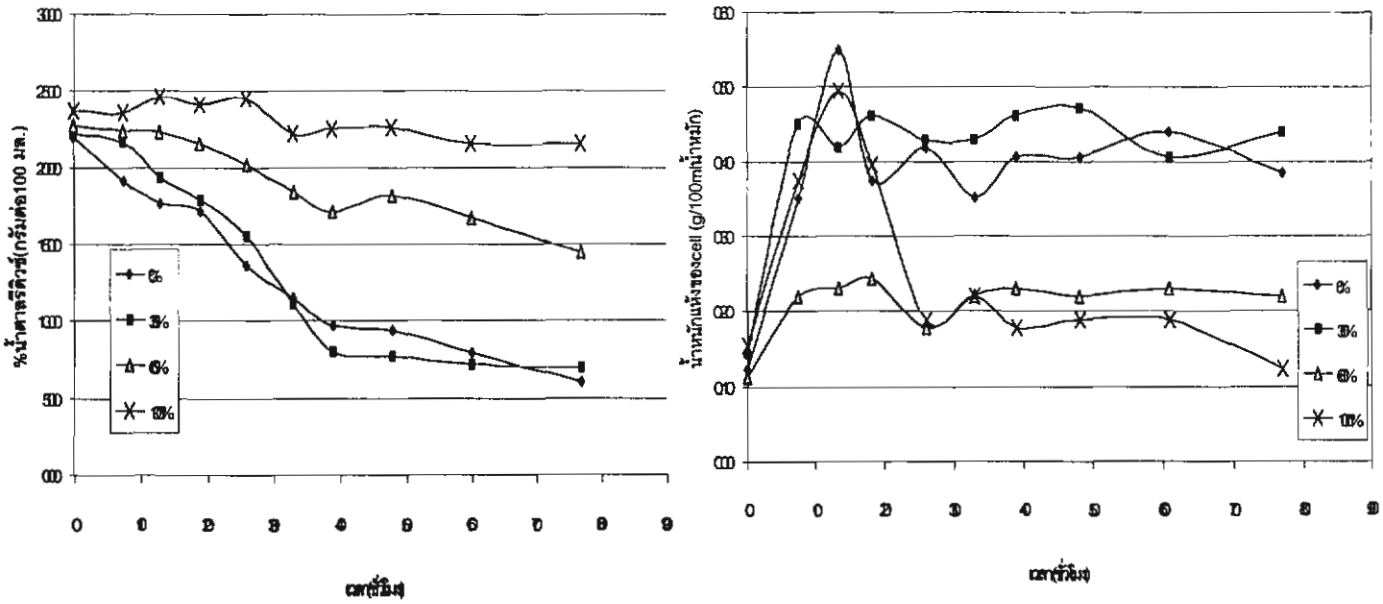
<u>รูปที่19</u> กราฟแสดงปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ 100%) ในการหมักแอลกอฮอล์ โดย *S. cerevisiae* Sc. 90



<u>รูปที่ 20</u> กราฟแสดงน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณเซล (น้ำหนักเซลแห้ง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ 100%) ในการหมักแอลกอฮอล์ โดย *S cerevisiae* Sc.90



<u>รูปที่ 21</u> กราฟแสดงปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ 100%) ในการหมักแอลกอฮอล์ โดย Mix Cultures



<u>รูปที่ 22</u> กราฟแสดงน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณเซล (น้ำหนักเซลแห้ง)ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักโดยการทดลอง ที่สัดส่วนของกากส่าในน้ำหมักต่างๆ (0%, 30%, 60% และ 100%) ในการหมักแอลกอฮอล์ โดย โดย Mix Cultures

7 สรุปผล

การปฏิบัติการทดลองร่วมกับทางโรงงาน ผู้จัดการและเจ้าหน้าที่ของทางโครงการส่วนพระองค์ฯได้ให้ความร่วมมือกับทางโครงการนี้เป็นอย่างดี รวมทั้งมีความสนใจที่จะเรียนรู้และทำการทดลองเพื่อจะพัฒนากระบวนการผลิตให้ดีขึ้น ทำให้การทำงานบรรลุวัตถุประสงค์ตามเป้าหมาย โดยการปรับปรุงปัจจัยสำคัญในการหมักเช่น ปริมาณกล้าเชื้อ (Inoculum), การควบคุมปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้น การควบคุมอุณหภูมิ และขั้นตอนดำเนินการการหมักที่เหมาะสม (รายละเอียดการดำเนินการหมักก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงในภาคผนวกที่11.1) ตลอดจนการปรับปรุงประสิทธิภาพในการกลั่นในเบื้องต้นได้แก่การปรับอัตราการไหลเข้า-ออกหอกลั่น ทำความสะอาดภายในหอกลั่น การปรับปริมาตรในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพในการหมักและการกลั่นทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตคือเอทานอล 95% จากเดิม แต่ละ1สัปดาห์มีการหมักแบบ batch 1 ครั้ง, ใช้เวลาหมัก 72 ชั่วโมง ได้เอทานอลจากการหมัก 7.5-8.2 % ได้เอทานอล 95%จากการกลั่นจำนวน 640-740 ลิตร หลังการปรับปรุงข้อมูลการหมักครั้งล่าสุดคือ ใช้เวลาหมัก 48 ชั่วโมง ได้เอทานอลจากการหมัก 10-11 % ได้เอทานอล 95%จากการกลั่นจำนวน 900-950 ลิตร(กรณีใช้เวลาหมัก 72 ชั่วโมง สามารถควบคุมให้ได้เอทานอลจากการหมัก 11-12 % ได้เอทานอล 95%จากการกลั่นจำนวน 980-1040 ลิตร) และในกรณีที่ต้องการเพิ่มผลผลิตสามารถจัดการหมักได้อย่างน้อย 2 ครั้งต่อสัปดาห์โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม สามารถเพิ่มผลผลิตเอทานอล 95%เป็น 1800-1900 ลิตรต่อสัปดาห์ โดยสัดส่วนการใช้กากน้ำตาลและพลังงานต่อผลิตภัณฑ์เอทานอล 95%ที่ได้น้อยลงแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้มีการทดลองเบื้องต้นถึงแนวทางการนำกากส่าไปใช้ประโยชน์ต่อโดยทดลองศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell proteinและการนำมาเวียนกลับใช้ในการหมักเอทานอล จากการทดลองนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein โดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ*Candida utilis* 6014 พบว่าอัตราที่เหมาะสมในการเติมกากส่าขึ้นกับเซลยีสต์ที่ใช้ในระบบและความเข้มข้นน้ำตาลโดยร่วมในระบบ ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลรวมในระบบไม่เกิน 4% (ทั้งจากกากส่าและ กากน้ำตาล) พบว่าการเติมกากส่าในระบบไม่มีผลยับยั้งการเจริญของเซลอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตามการเติมกากน้ำตาลควบคู่ไปด้วยส่วนหนึ่งจะทำให้เซลเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้นสามารถลดน้ำตาลในระบบหลังหมักได้ดีกว่าไม่เติมกากน้ำตาลและได้ปริมาณเซลเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลรวมในระบบสูงขึ้นเป็น6-10%พบว่าการเติมกากส่าแสดงผลยับยั้งการเจริญของเซลยีสต์อ่างเด่นชัดทั้ง

กรณี *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ*Candida utilis* 6014 โดยที่ *Saccharomyces cerevisiae* M30 สามารถทนต่อการยับยั้งโดยกากส่าได้ดีกว่า *Candida utilis* ซึ่งเหตุผลส่วนหนึ่งอาจมาจากผลของความดันออสโมซิสของระบบต่อการเจริญของยีสต์ในแต่ละสายพันธ์ อย่างไรก็ตามการพัฒนากระบวนการเพื่อนำน้ำกากส่าเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเซลโปรตีนอาจทำได้ถ้ามีการควบคุมระบบให้มีระดับน้ำตาลและความดันออสโมซิสในระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญของเซลที่เลือกใช้ การนำระบบป้อนสารตั้งต้นแบบต่อเนื่อง หรือป้อนสารตั้งต้นแบบเป็นระยะน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงผลผลิตโดยรวมของระบบ

ในกรณีการเวียนกลับของกากส่ามาทดแทนน้ำสำหรับใช้ในการหมักเอทานอลเพื่อลดปริมาณน้ำเสียที่ต้องกำจัด โดย *Saccharomyces cerevisiae* Sc 90. และ *Saccharomyces cerevisiae* M30 พบว่าการใช้กากส่าตั้งแต่ในอัตราส่วน30%ขึ้นไปยับยั้งการเจริญของเซลและประสิทธิภาพในการหมักเอทานอลของ *Saccharomyces cerevisiae* Sc 90. ซึ่งปัจจุบันเป็นสายพันธุ์ที่ใช้ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลในประเทศ แต่การหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 หรือระบบผสมเซลของ *Saccharomyces cerevisiae* M30 และ *Saccharomyces cerevisiae* Sc 90.สามารถทนการยับยั้งโดยกากส่าได้ดีขึ้นโดยที่การใช้กากส่าแทนน้ำในสัดส่วน30% ไม่ทำให้การเจริญเติบโตและการหมักเอทานอลลดลงในระบบที่ใช้ผสมเซลและดีขึ้นในระบบหมักโดย *Saccharomyces cerevisiae* M30 แต่อย่างไรก็ดีจำเป็นต้องศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของการดำเนินการเช่นการจัดเก็บ จำนวนครั้งที่ใช้เวียนกลับได้เป็นต้น ดังนั้นการแยกเฉพาะเซลยีสต์หลังหมักเพื่อนำไปเวียนกลับใช้หรือแยกไปใช้เป็นแหล่งเซลโปรตีนอาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากนอกจากจะสามารถลดภาระของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ต้องกำจัดแล้วยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาของการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ และได้เซลยีสต์จากการแยกเพื่อไปใช้เป็นประโยชน์ในส่วนที่เหมาะสมต่อไป

ผลที่ได้รับ

เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัย ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

1. สามารถเพิ่มปริมาณการผลิต ของโรงงานระดับต้นแบบของโครงการส่วนพระองค์ จิตรลดาได้ประมาณ 35% (เทียบกับก่อนทำการปรับปรุง) ในกรณีต้องการเพิ่มผลผลิตมีแผนดำเนินการ(ที่ได้ทำการทดลองทดสอบแล้ว) สำหรับเพิ่มรอบการหมักทำให้เพิ่มผลผลิตได้อีกมากกว่า 2 เท่าของกำลังการผลิตเดิม
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมัก และประสิทธิภาพการกลั่นเอทานอล ทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และ สัดส่วนการใช้กากน้ำตาล (วัตถุดิบ) ต่อผลิตภัณฑ์ ลดลงทำให้ต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์ลดลง
3. ได้ข้อมูลสำหรับการหมักแอลกอฮอล์ขนาดเล็กที่เหมาะสำหรับการหมักในชนบท และสามารถขยายขนาดสู่การหมักระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้
4. ได้ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้กากส่าในการหมักเอทานอล และการผลิตเซลโปรตีน ทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ในการลดปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และยังสามารถน้ำกากส่ามาใช้ให้เป็นประโยชน์

สรุปผลจากหัวหน้าส่วนทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา

จากการที่เจ้าหน้าที่ของงานทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ได้ร่วมงานกับกลุ่มผู้วิจัยจากสถาบันต่างๆในโครงการปรับปรุงคุณภาพการหมักแอลกอฮอล์ทำให้โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา สามารถปรับปรุงการหมักให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานน้อยลง ได้น้ำหมักที่มีเปอร์เซนต์แอลกอฮอล์สูงกว่าที่ปฏิบัติงานด้วยวิธีเดิม ซึ่งการหมักได้แอลกอฮอล์เปอร์เซนต์สูงนี้ ทำให้เจ้าหน้าที่ของโครงการฯ ต้องทำการปรับปรุงการกลั่นควบคู่กันไป จึงทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นนอกจากโครงการฯ จะได้รับประโยชน์ในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานแล้ว ยังเป็นโอกาสที่เจ้าหน้าที่ของโครงการฯ จะได้ฝึกฝนและเรียนรู้วิธีการวิเคราะห์ วิจัย และนำประสบการณ์ที่ได้มาปรับใช้ในการปฏิบัติงานทดลอง วิจัยในหัวข้ออื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1 ศุภพงศ์ ภูวพัฒนะพันธ์ และ จรัญ เจนตนะจิตร, การศึกษาและปรับปรุงการผลิตแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องใน Tower Fermentor, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ปี 2527

2 ศุภพงศ์ ภูวพัฒนะพันธ์ การปรับปรุงการผลิตแอลกอฮอล์ในกรรมวิธีหมักแบบต่อเนื่อง, รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2528

3 วีระพันธ์ เกียรติภักดี, การผลิตเอทธานอลด้วยวิธีการหมักในท่อหมักที่มีสารรองรับ, งานสถิติและวิจัยการศึกษา ประจำปี 2527, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2529

4 ปราโมทย์และคณะ, เทคนิคการหมักแบบ Fed-Batch และการประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ทางอุตสาหกรรม, เอกสารอบรมเชิงปฏิบัติการ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2536

5 Kuriyama H., Ishibashi H. and Miyagawa H., Optimization of 2-Stage Continuous Ethanol Fermentation Using Flocculating Yeast, Biotechnol Lett 15:(4) 415-420, 1993

6 Chen CS and Chan E Wang SL,Ethanol Fermentation in a Tower Fermenter Using Self-Aggregating *Saccharomyces Uvarum*, Appl Biotech, 45-6:531-544, 1994

7 Polakovic M. and Mandenius, Retrofit of Continuous Ethanol Fermentation of Low Concentration Sugar Solutions by Addition of A 2ND, concentrated Sugar Feed, Process Biochem 30: (4) 317-325,1995

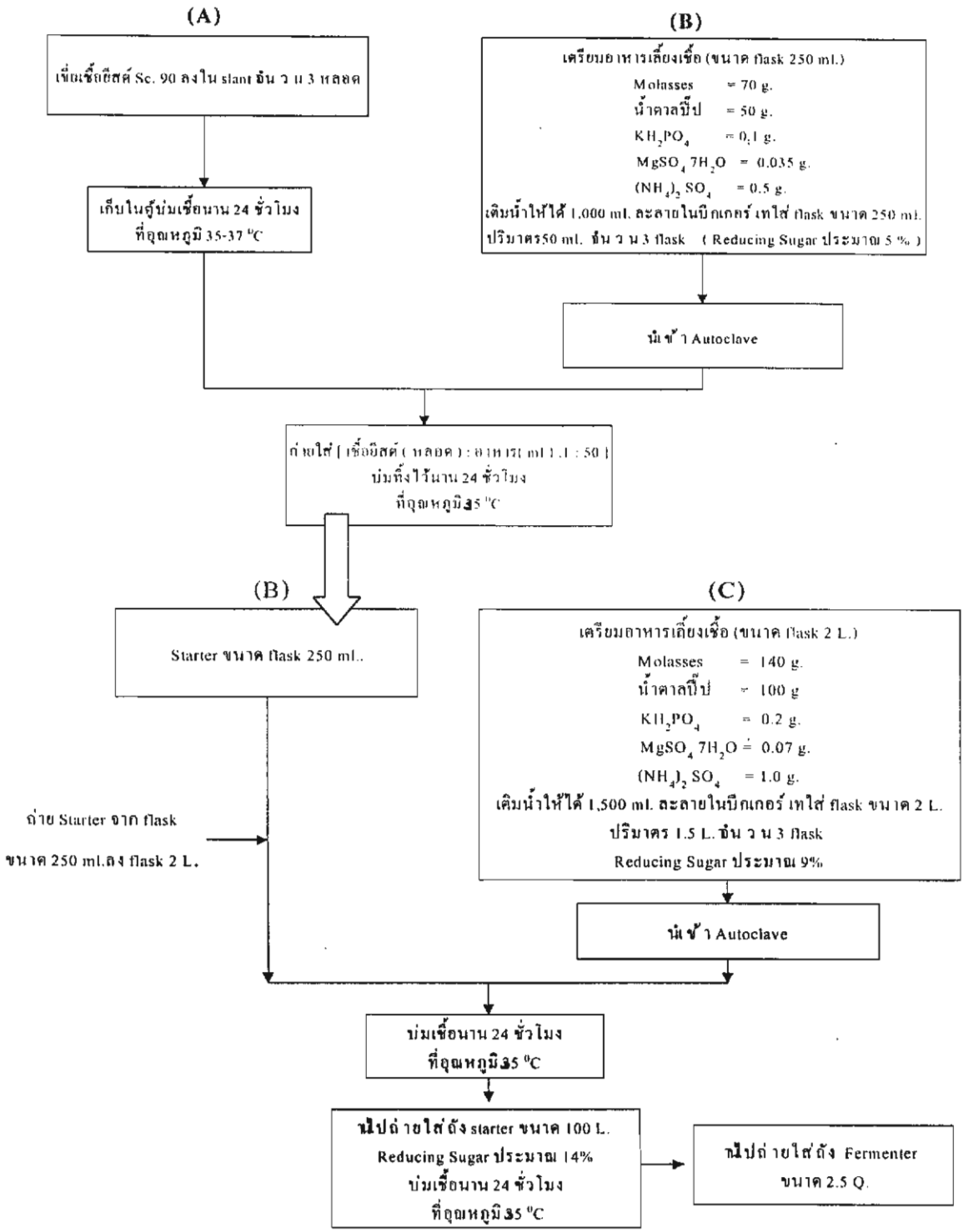
8 Oliver SC, De Castro HF and Visconti AES, Continuous Ethanol Fermentation in a Tower Reactor with Flocculating Yeast Recycle: Scale-up Effects on Process Performance, Kinetic Parameters and Model Predictions, Bioprocess Eng 20:(6) 525-530, 1999

9 Atata DIP, Costa AC, and Maciel R , Kinetics of ethanol fermentation with high biomass concentration considering the effect of temperature, Appl Biochem Biotech, 91-3:353-355, 2001

11. ภาคผนวก

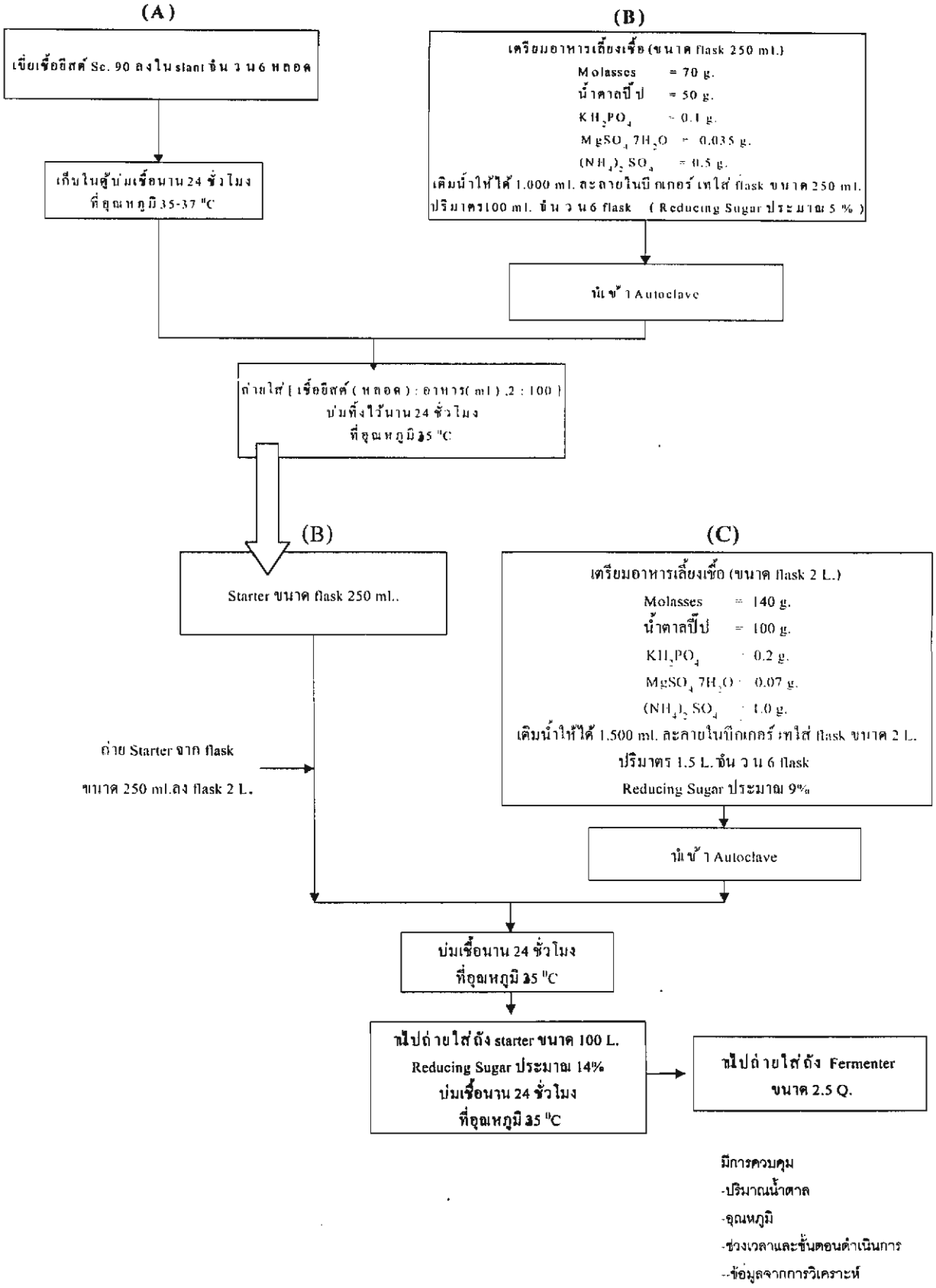
<u>ภาคผนวกที่ 11.1</u> ขั้นตอนดำเนินการของกระบวนการหมักเอทานอลก่อนและหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนดำเนินการของกระบวนการหมักเอทานอลก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 23 แผนภาพขั้นตอนดำเนินการของกระบวนการหมักเอทานอลก่อนการปรับปรุง

Data Flow Diagram (แบบใหม่ , เพิ่ม Starter)



รูปที่ 24 แผนภาพขั้นตอนดำเนินการของกระบวนการหมักเอทานอลหลังการปรับปรุง

ภาคผนวกที่ 11.2

ตารางการปฏิบัติการของกระบวนการผลิต

แบบ 1 รอบต่อสัปดาห์ และ

แบบ 2 รอบต่อสัปดาห์

การหมักและกลั่นแอลกอฮอล์(หมัก 72 ชม.)

	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ
รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. เชื้อเชื้อ	■							■							■							■								
2. เตรียม starter ขนาด 250 มล.		■							■							■							■							
3. เตรียม starter ขนาด 2 ลิตร			■							■							■							■						
4. เตรียม starter ขนาด 100 ลิตร				■							■							■							■					
5. เตรียมการหมักในถัง 2500 ลิตร					■							■							■							■				
6. ช่วงเวลาเปิดใบพัดกวน					■	■	■					■	■	■					■	■	■					■	■	■		
7. ช่วงเวลาเปิดน้ำหล่อเย็นถังหมักส่า				■	■	■	■				■	■	■	■				■	■	■	■				■	■	■	■		
8. ไอน้ำสำหรับการหมัก				■							■							■							■					
9. ไอน้ำสำหรับการกลั่น								■	■						■	■						■	■						■	■
10. ช่วงเวลาเปิดน้ำหล่อเย็น								■	■						■	■						■	■						■	■
11. ช่วงเวลาวิเคราะห์ Lab				■	■	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	

การหมักและกลั่นแอลกอฮอล์(หมัก 48 ชม.) กลั่น 2 ครั้งต่อสัปดาห์

	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ	พ	พฤ	ศ	ส	อา	จ	อ
รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. เขี่ยเชื้อ																														
2. เตรียม starter ขนาด 250 มล.																														
3. เตรียม starter ขนาด 2 ลิตร																														
4. เตรียม starter ขนาด 100 ลิตร																														
5. เตรียมการหมักในถัง 2500 ลิตร																														
6. ช่วงเวลาเปิดใบพัดกวน																														
7. ช่วงเวลาเปิดน้ำหล่อเย็นถังหมักส่า																														
8. ไอน้ำสำหรับการหมัก																														
9. ไอน้ำสำหรับการกลั่น																														
10. ช่วงเวลาเปิดน้ำหล่อเย็น																														
11. ช่วงเวลาวิเคราะห์ Lab																														

ภาคผนวกที่ 11.3

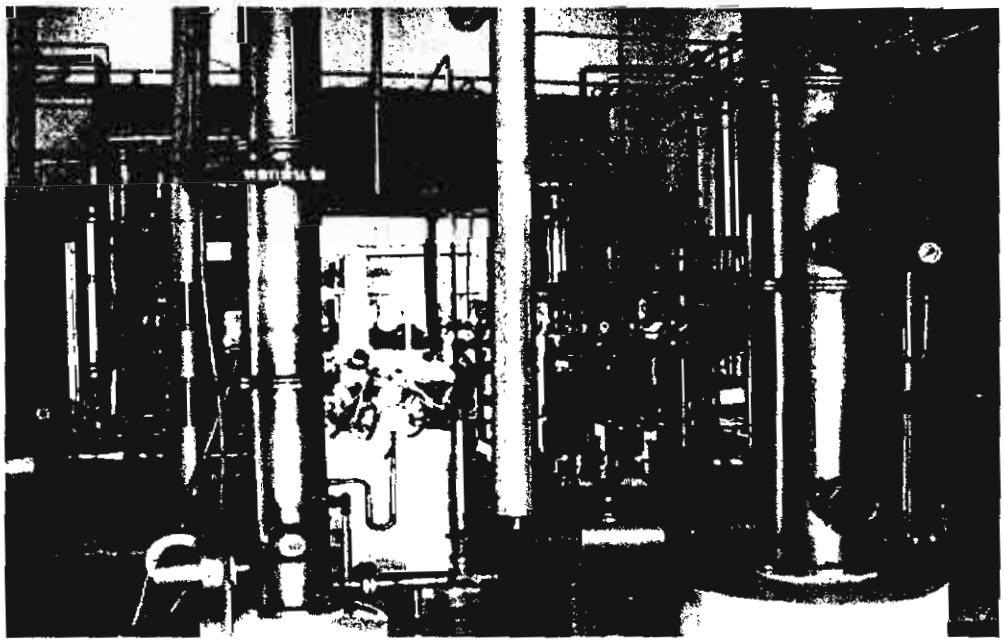
อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอล
ของโครงการส่วนพระองค์
สวนจิตรลดา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ของโครงการส่วนพระองค์ฯ

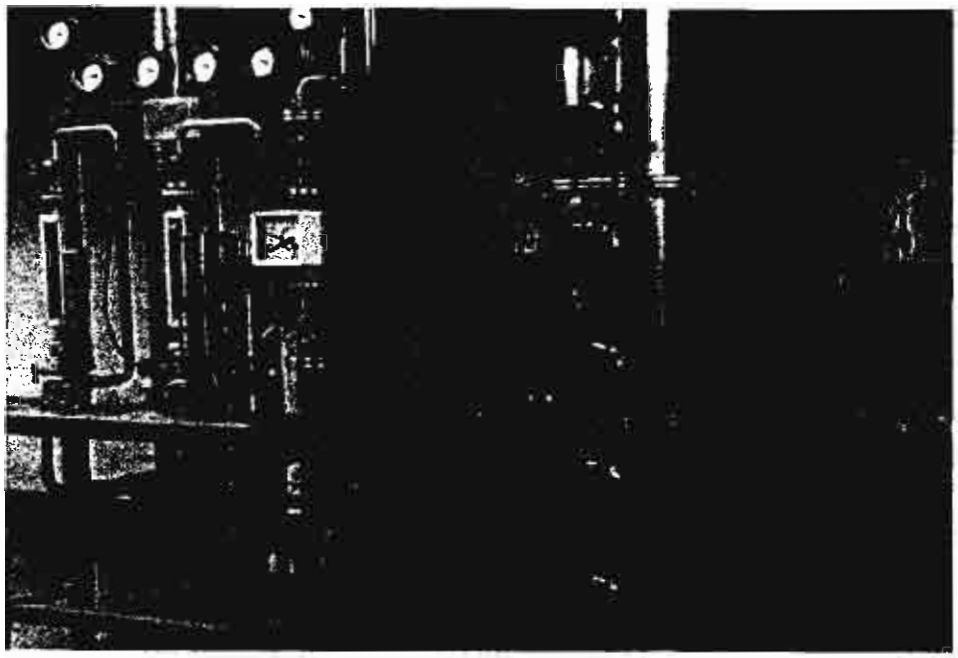
รูปที่ 27 ถังเตรียมหัวเชื้อ (Starter) ขนาด 100 ลิตร มีจำนวน 3 ถัง

รูปที่ 28 ถังหมักสำหรับผลิตเอทานอล ขนาด 3000 ลิตร มีจำนวน 4 ถัง (ด้านบน)

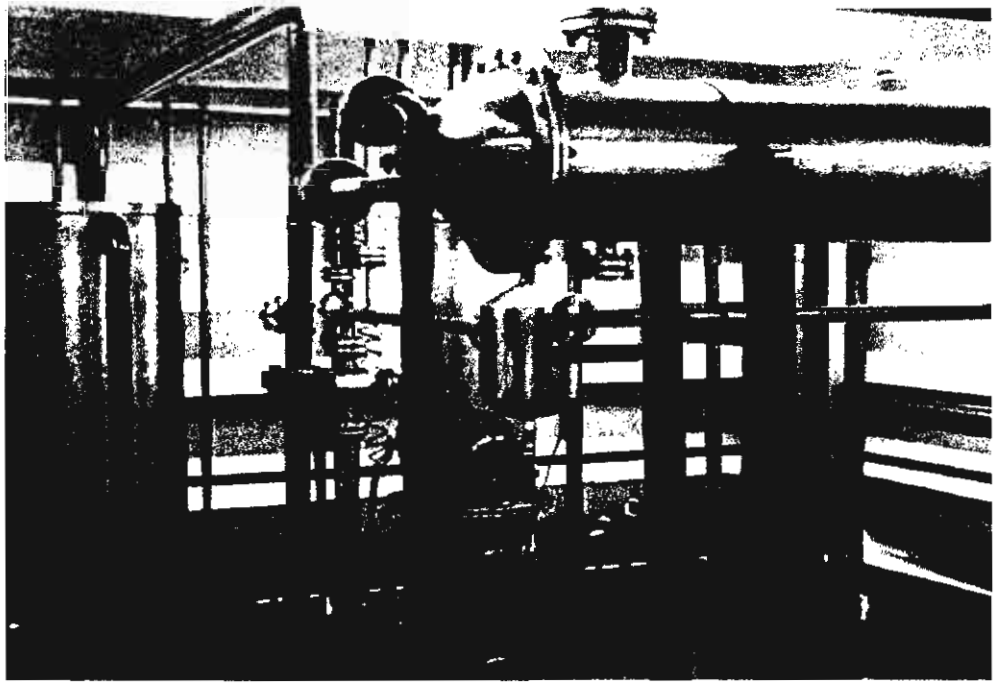
รูปที่ 29 ถังหมักสำหรับผลิตเอทานอล ขนาด 3000 ลิตร จากทางด้านล่าง



รูปที่ 30 หอกลั่นแอลกอฮอล์ (ซ้าย)หอกลั่นแอลกอฮอล์ 95%, (ขวา)หอกลั่นแอลกอฮอล์ 50%

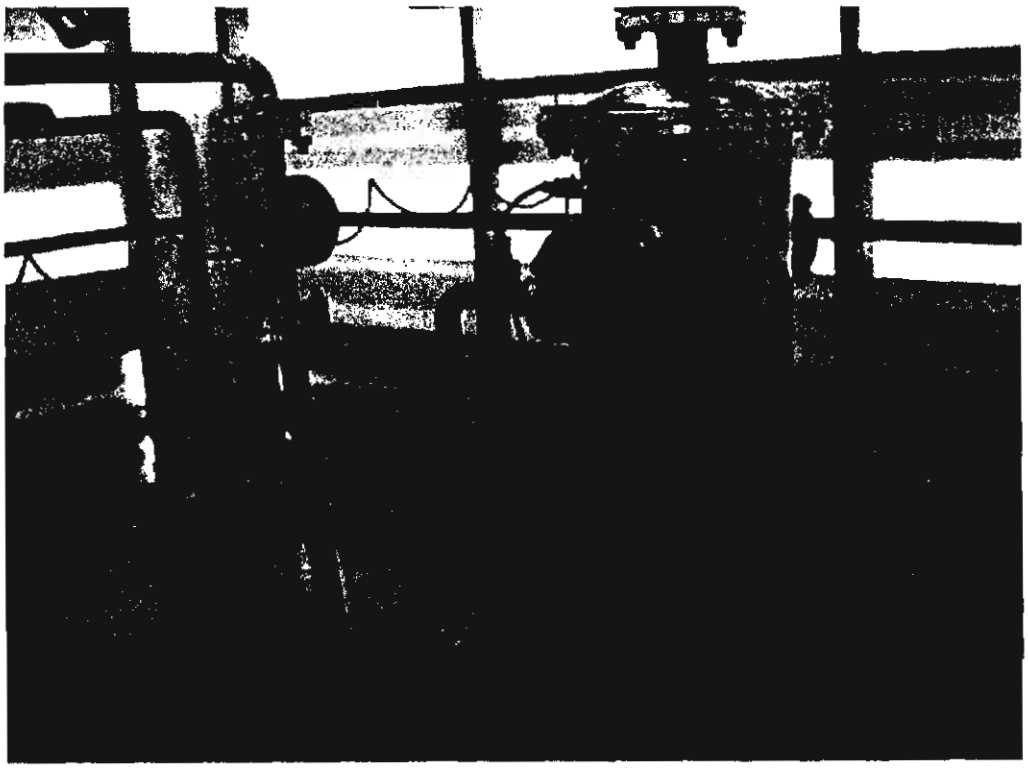


รูปที่ 31 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลและ ความดันของหอกลั่นส่วนต่างๆ

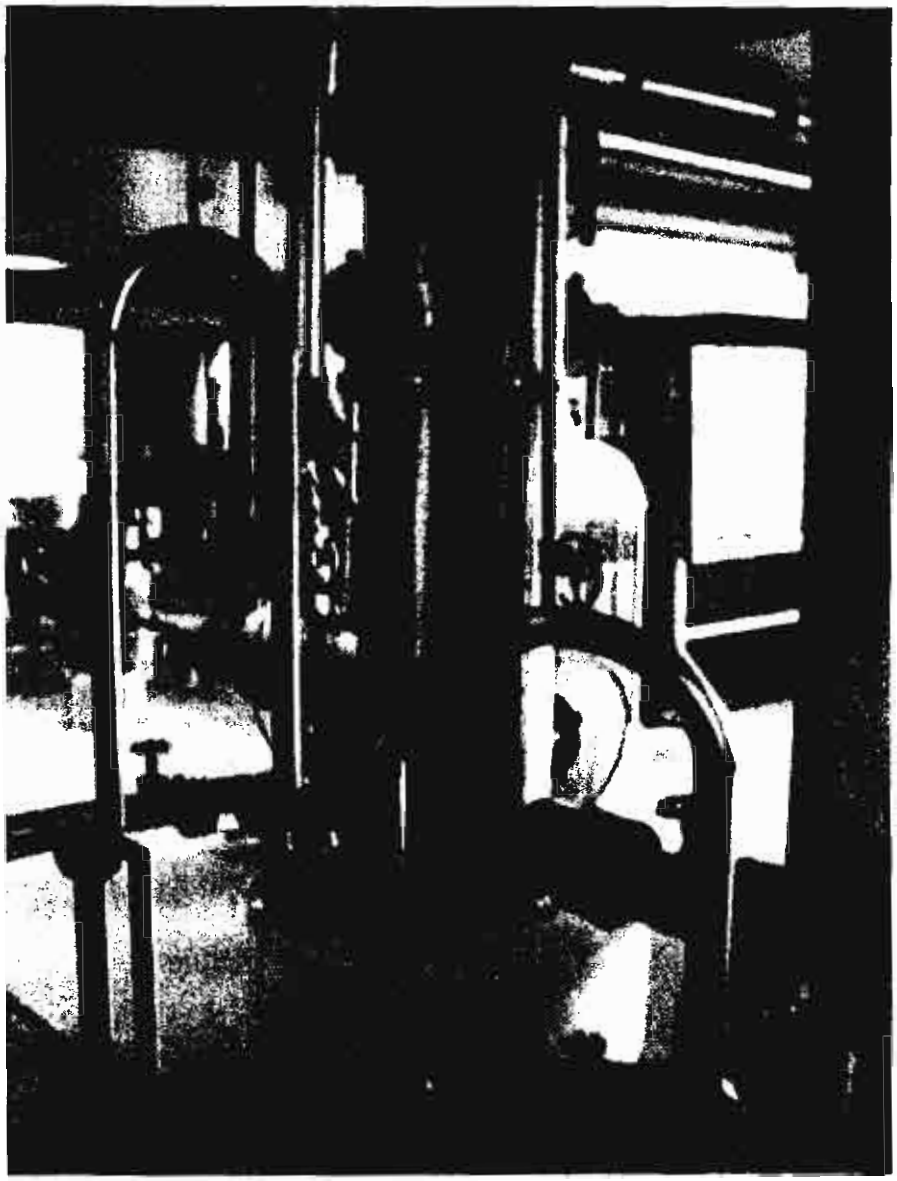


รูปที่ 32 ด้านบนของหอกลั่นแอลกอฮอล์ 50% และส่วนคอนเดนเซอร์

รูปที่ 33 ซ้ายมือคือ pre heater ขวามือคือคอนเดนเซอร์ของหอกลั่นแอลกอฮอล์ 95%



รูปที่ 34 รีฟลักซ์ของหอกลั่นแอลกอฮอล์ 95%



รูปที่ 35 ท่อไอ(ท่อหายใจ) ที่ปรับให้สูงขึ้นทำให้เพิ่มปริมาตรในส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนก้นหอ

ภาคผนวกที่ 11.4

ตารางแสดงผลการทดลองการหมักเอทานอล

<u>ตารางที่ 1</u> ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับข้อมูลการหมักแบบเติมของโรงงาน (แบบ Batch)

20-24 กันยายน 2544

วัน/เดือน/	เวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม.		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์					
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6 cell/cm^3)
21/9/44	8.00 น.	0 ชม.	1	4.73	28	30	0	ไม่ได้วิเคราะห์	10.40
			2	4.74	28	30	0		4.53
			3	4.76	30	30	0		7.73
			4	4.74	28	30	0		6.40
	14.00 น.	6 ชม.	1	4.66	24	30	0		202.67
			2	4.67	23	30	0		213.33
			3	4.67	23.5	30	0		160.00
			4	4.67	22	30	0		201.33
	20.00 น.	12 ชม.	1	4.64	21.5	31	1.7		938.67
			2	4.64	20.5	32	1.8		1029.33
			3	4.66	22	32	1.7		1066.67
			4	4.67	20	32	1.8		904.00
22/9/44	2.00 น.	18 ชม.	1	4.61	20	36	4.2		1232.00
			2	4.61	20	35	4		1284.00
			3	4.62	19	35	4.2		1124.00
			4	4.64	15	35	3.8		1144.00
	8.00 น.	24 ชม.	1	4.61	14.4	38	6.1		1316.00
			2	4.62	13.6	38	6.1		864.00
			3	4.62	14.4	38	6.2		636.00
			4	4.62	12.4	37	5.5		528.00

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง

สำหรับข้อมูลการหมักแบบเดิมของโรงงาน (แบบ Batch) (ต่อ)

20-24 กันยายน 2544

วัน/เดือน/	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม.		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์					
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6cell/cm^3)
22/9/44	14.00 น.	30 ชม.	1	4.69	11.5	32	8.2	ไม่ได้วิเคราะห์	1336.00
			2	4.67	11.3	34	7.7		1120.00
			3	4.71	12	32	7.9		1076.00
			4	4.7	9.2	33	6.6		956.00
	20.00 น.	36 ชม.	1	4.68	11	33	8.4		1272.00
			2	4.68	10.8	33	7.5		1080.00
			3	4.69	11.2	32	7.7		1164.00
			4	4.69	8.8	32	6.2		900.00
23/9/44	2.00 น.	42 ชม.	1	4.75	11.6	33	8.2		1284.00
			2	4.74	11	32	8		1500.00
			3	4.78	11.6	33	7.8		1488.00
			4	4.74	9.2	32	6.6		1388.00
	8.00 น.	48 ชม.	1	4.72	11	32	7.7		1324.00
			2	4.73	10.8	32	7.2		1348.00
			3	4.74	11.2	32	7.5		1476.00
			4	4.72	8.8	31	5.6		1100.00
	14.00 น.	54 ชม.	1	4.72	10.8	32	7.9		1396.00
			2	4.71	10.8	32	7.8		1280.00
			3	4.73	11	32	8.2		1216.00
			4	4.69	9.2	32	6.6		1024.00
	20.00 น.	60 ชม.	1	4.71	10.8	31	8.2		1256.00
			2	4.7	10.6	31	8		1380.00
			3	4.74	10.8	30	8.2		1388.00
			4	4.69	9	30	8.3		1080.00
2[illegible]/9/44	2.00 น.	66 ชม.	1	4.72	10.8	31	8.3		1108.00
			2	4.72	10.8	31	8.2		1140.00
			3	4.74	11.2	31	8.3		1140.00
			4	4.71	9	31	8.3		880.00
	8.00 น.	72 ชม.	1	4.71	10.8	31	8.2		1120.00
			2	4.7	10.8	31	8		1268.00
			3	4.73	11	31	8.3		1096.00
			4	4.7	8.8	31	8.2		900.00

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง สำหรับข้อมูลการหมักแบบเดิมของโรงงาน (แบบ Batch)

27 กันยายน-1ตุลาคม 2544

วัน/เดือน/	เวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์					
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6 cell/cm^3)
28/9/44	8.00 น.	0 ชม.	1	4.66	24	28	0	11.6	11.20
			2	4.68	21.5	30	0	10.62	15.47
			3	4.66	23	28	0	11.03	19.73
			4	4.66	23.5	30	0	10.62	14.13
	14.00 น.	6 ชม.	1	4.63	23.5	30	0	-	34.13
			2	4.68	21	30	0	-	41.33
			3	4.68	22.5	29	0	-	43.73
			4	4.67	22.5	30	0	-	51.47
	20.00 น.	12 ชม	1	4.64	22.5	30	0.7	-	332.00
			2	4.66	19.4	31	1	-	364.00
			3	4.66	21	31	0.9	-	421.33
			4	4.66	21.5	31	0.8	-	318.67
29/9/44	2.00 น.	18 ชม	1	4.63	21	30	1.8	-	610.67
			2	4.48	20	30	2	-	853.33
			3	4.46	20.5	30	2	-	541.33
			4	4.65	21	30	0.5	-	442.67
	8.00 น.	24 ชม	1	4.65	15	33	5.3	6.15	602.67
			2	4.64	12	35	5.3	6.02	701.33
			3	4.64	13.6	34	5.4	5.97	634.67
			4	4.65	14	34	5.7	5.88	736.00

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับข้อมูลการหมักแบบเดิมของโรงงาน (แบบ Batch) (ต่อ)
27 กันยายน-1ตุลาคม 2544

วัน/เดือน/	เวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์					
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^8 cell/cm^3)
29/9/44	14.00 น.	30 ชม	1	4.64	12.4	34	7.1	-	552.00
			2	4.63	10.2	34	6.7	-	576.00
			3	4.66	11.4	33	7.1	-	764.00
			4	4.65	11.6	34	6.8	-	532.00
	20.00 น.	36 ชม	1	4.67	11	33	7.4	-	712.00
			2	4.66	9.8	33	7.4	-	704.00
			3	4.67	10.6	32	7.4	-	1128.00
			4	4.67	10.6	33	7.6	-	572.00
30/9/44	2.00 น.	42 ชม	1	4.72	11	32	8.5	-	664.00
			2	4.68	9.8	31	6.8	-	876.00
			3	4.71	10.8	31	7.4	-	672.00
			4	4.72	10.8	32	7.4	-	836.00
	8.00 น.	48 ชม	1	4.74	10.8	30	7.7	3.7	552.00
			2	4.7	9.8	31	6.8	3.35	620.00
			3	4.72	10.8	30	7.4	3.17	488.00
			4	4.72	10.8	30	7.4	3.1	608.00
	14.00 น.	54 ชม	1	4.73	10.8	30	8.4	-	704.00
			2	4.7	9.8	31	6	-	724.00
			3	4.73	10.6	30	7.6	-	760.00
			4	4.73	10.6	30	7.6	-	532.00
30/9/44	20.00 น.	60 ชม	1	4.75	10.9	30	8.1	-	936.00
			2	4.74	9.8	30	6.8	-	616.00
			3	4.76	10.6	30	7.4	-	796.00
			4	4.76	10.6	30	7.4	-	584.00
1/10/44	2.00 น.	66 ชม	1	4.8	10.8	30	8.2	-	696.00
			2	4.79	9.6	30	7	-	692.00
			3	4.81	10.6	30	7.4	-	700.00
			4	4.81	10.6	30	7.4	-	592.00
	8.00 น.	72 ชม	1	4.81	10.8	30	7.9	4.73	616.00
			2	4.83	9.6	30	7	4.84	780.00
			3	4.85	10.6	30	7.4	4.97	764.00
			4	4.8	10.6	30	7.6	4.89	628.00

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่1 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch

การทดลองครั้งที่1 (4-8ตุลาคม 2544)

วัน/เดือน/	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (เก็บทุก ๆ 6 ชม.)		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์ pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6 cell/cm^3)	หมายเหตุ
5/10/44	11.14 น.	0 ชม.	1	4.79	22.5	30	0	14.42	10.93	*การทดลองครั้งที่1* (1)Batch 19.18% reducing sugar
			2	4.88	23	30	0	13.76	12.00	(2)Batch 22% reducing sugar
			3	4.89	22	30	0	13.26	33.60	(3)Fed Batch 19.18% RS (1/4,3/4)
			4	4.69	25.5	30	0	17.85	22.93	(4)Fed Batch 22% RS(1/4,3/4)
	12.40 น.		1	4.81	22.5	30	0	13.41	34.67	
			2	4.66	23.5	30	0	17.08	49.33	
			3	4.71	20.4	30	0	-	101.33	
			4	4.65	20.15	30	0	15.88	98.67	
	14.00 น.	3 ชม.	1	4.85	22.5	30	0	-	58.67	
			2	4.85	23.5	30	0	-	34.67	
			3	-	-	-	-	-	-	ก่อนเติมน้ำตาลครั้งที่ 2
			4	4.74	24.5	30	0	14.26	106.67	ก่อนเติมน้ำตาลครั้งที่ 2
			1	-	-	-	-	-	-	
			2	-	-	-	-	-	-	
	14.40 น.		3	4.83	22	30	0	13.8	34.67	หลังเติมน้ำตาลครั้งที่ 2
	15.00 น.		4	4.8	25	30	0	15	56.00	หลังเติมน้ำตาลครั้งที่ 2
	17.00 น.	6 ชม.	1	4.81	22.5	30	0	-	105.33	
			2	4.82	23	30	0	-	49.33	
			3	4.82	22.3	30	0	-	50.67	
			4	4.8	24.5	30	0	-	64.00	
5/10/44	20.00 น.	9 ชม.	1	4.83	21.5	30	0.5	-	312.00	
			2	4.82	23	30	0.2	-	200.00	
			3	4.84	22	30	0.4	-	149.33	
			4	4.82	24	30	0.1	-	218.67	
	23.00 น.	12 ชม.	1	4.8	20.5	32	1.3	9.84	394.67	
			2	4.79	21.5	30	1.1	10.715	309.33	
			3	4.82	22	31	1	10.395	298.67	
			4	4.79	23.5	30	1	10.35	309.33	
6/10/44	2.00 น.	15 ชม.	1	4.83	18.6	32	2.5	-	685.33	
			2	4.81	20	31	1.9	-	512.00	
			3	4.83	19	31	1.9	-	714.67	
			4	4.75	21	32	2	-	650.67	
	5.00 น.	18 ชม.	1	4.81	17.2	31	4.5	-	408.00	
			2	4.79	18.1	33	4.9	-	420.00	
			3	4.76	17.1	33	4.9	-	592.00	
			4	4.76	19.3	32	4.8	-	468.00	
	8.00 น.	21 ชม.	1	4.79	14.5	35	4.6	-	468.00	
			2	4.77	16.3	35	4.2	-	436.00	
			3	4.77	15.1	35	4.2	-	480.00	
			4	4.76	17.3	35	4.2	-	544.00	

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่1 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch (ต่อ)
การทดลองครั้งที่1 (4-8ตุลาคม 2544)

วัน/เดือน/	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง (เก็บทุก ๆ 6 ชม.)		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์ pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10⁶ cell/cm³)	หมายเหตุ การทดลองครั้งที่1
6/10/44	11.00 น.	24 ชม.	1	4.75	10.9	30	8.1	5.26	536.00	(1)Batch 19.18% reducing sugar
			2	4.74	9.8	30	6.8	5.605	348.00	(2)Batch 22% reducing sugar
			3	4.76	10.6	30	7.4	5.875	512.00	(3)Fed Batch 19.18% RS(1/4,3/4)
			4	4.76	10.6	30	7.4	6.375	428.00	(4)Fed Batch 22% RS(1/4,3/4)
	17.00 น.	30 ชม.	1	4.8	10.8	30	8.2	-	700.00	
			2	4.79	9.6	30	7	-	600.00	
			3	4.81	10.6	30	7.4	-	728.00	
			4	4.81	10.6	30	7.4	-	704.00	
	23.00 น.	36 ชม.	1	4.81	10.8	30	7.9	4.73	752.00	
			2	4.83	9.6	30	7	4.84	708.00	
			3	4.85	10.6	30	7.4	4.97	752.00	
			4	4.8	10.6	30	7.6	4.89	636.00	
7/10/44	5.00 น.	42 ชม.	1	4.82	10	34	7.6	-	540.00	
			2	4.82	10.4	34	7.9	-	532.00	
			3	4.82	10.2	33	7.3	-	476.00	
			4	4.81	11.1	35	9	-	556.00	
	11.00 น.	48 ชม.	1	4.87	10.2	32	7.5	4.64	492.00	
			2	4.88	10.2	32	7.7	4.695	396.00	
			3	4.86	10.1	31	7.2	4.695	676.00	
			4	4.86	11	33	8	4.755	428.00	
7/10/44	17.00 น.	54 ชม.	1	4.87	10.2	32	7.7	-	804.00	
			2	4.88	10.4	32	7.8	-	536.00	
			3	4.87	10.4	32	7.4	-	960.00	
			4	4.87	11	34	8.3	-	672.00	
	23.00 น.	60 ชม.	1	4.86	10	31	7.9	2.72	720.00	
			2	4.88	10.2	33	8.1	2.695	468.00	
			3	4.86	10	32	7.6	2.74	700.00	
			4	4.86	11	32	8.5	2.79	596.00	
8/10/44	5.00 น.	66 ชม.	1	4.84	10.1	31	7.7	-	516.00	
			2	4.84	10.2	33	7.9	-	232.00	
			3	4.84	10.1	32	7.8	-	540.00	
			4	4.84	11	33	8.6	-	152.00	
	11.00 น.	72 ชม.	1	4.84	10	32	7.7	3.025	612.00	
			2	4.87	10.4	33	8	2.7	280.00	
			3	4.83	10.1	32	7.6	2.74	604.00	
			4	4.87	11	33	8.5	2.88	208.00	

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่2 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch

การทดลองครั้งที่2 19-24 ตุลาคม 2544

วัน/เดือน/ปี	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง (เก็บทุก ๆ 6 ชม.)		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing suga	จำนวน cell (X 10^6 cell/cm^3)	*การทดลองครั้งที่2*
19/10/44	11.30 น.	0 ชม.	1	5.32	28	31	0	16.7	3.73	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	5.34	30	33	0	16.8	3.46	Fed batch (1/3,2/3), RS24%
			3	5.33	26.5	32	0	16.7	6.66	Fed batch (1/4,3/4), RS24%
			4	5.34	29.5	31	0	16.8	6.14	Fed batch (1/4,3/4,Molass)
	13.30 น.	2 ชม.	1	5.13	28	32	0	-	3.2	,RS(20,20,24%)
			2	5.09	28.5	31	0	-	4.26	
			3	5.12	26.5	32	0	-	7.2	
			4	5.21	29.5	33	0	-	8	
	15.30 น.	4 ชม.	1	5.12	27.5	33	0	-	12	ก่อนเติม Molasses
			2	5.21	28	32	0	-	14.64	ถังที่ 2,3,4
			3	5.16	26	31	0	-	11.46	
			4	5.18	19	32	0	-	9.34	
	16.30 น.	5 ชม.	1	5.19	28	32	0	-	12.54	หลังเติม Molasses
			2	5.11	28.5	30	0	-	6.4	ถังที่ 2,3,4
			3	5.11	28	31	0	-	7.2	
			4	5.13	20.3	32	0	-	10.4	
	17.30 น.	6 ชม.	1	5.1	27.5	31	0	-	13.34	
			2	5.11	28.5	31	0	-	7.74	
			3	5.06	28	31	0	-	10.14	
			4	5.13	22.5	30	0	-	19.94	

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง

สำหรับการทดลองครั้งที่2 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch (ต่อ)

การทดลองครั้งที่2 19-24 ตุลาคม 2544

วัน/เดือน/ปี	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (เก็บทุก ๆ 6 ชม.)		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing suga	จำนวน cell (X 10^8 cell/cm^3)	การทดลองครั้งที่2
19/10/44	23.30 น.	12 ชม.	1	5..06	24.5	32	3.2	12.09	864	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	5.05	27	33	1.9	13.14	760	Fed batch (1/3,2/3), RS24%
			3	5.06	26.5	30	2.2	13.28	778.4	Fed batch (1/4,3/4), RS24%
			4	5.05	19.8	31	3	11.63	1333.36	Fed batch (1/4,3/4,Molass),)
20/10/44	11.30 น.	24 ชม.	1	5.1	17.2	35	7.6	10.72	1395.6	RS(20,20,24%
			2	5.08	19	36	6.7	11.46	1083.6	
			3	5.08	18	35	6.6	8.98	1467.6	
			4	5.05	12.6	36	6.55	10.44	1328.04	
	17.30 น.	30 ชม.	1	5.16	14.8	33	9	7.96	591.6	
			2	5.14	15.8	32	9.1	8.24	795.6	
			3	5.15	14.8	34	8.9	7.98	972	
			4	5.05	10.8	35	7.9	6.5	1404	
21/10/44	11.30 น.	48 ชม.	1	5.14	14.6	34	8.1	7.36	459.6	
			2	5.17	15.6	33	8.7	7.77	615.6	
			3	5.13	13.2	32	8.7	7.93	879.6	
			4	5.07	9.8	31	7.5	5.83	1116	
22/10/44	8.30 น.	69 ชม.	1	5.32	14.2	35	9.6	6.93	189.36	กลั่นเฉพาะถังที่ 1 และ 3
			2	5.25	15	36	9.6	7.74	394.4	ถังที่ 2 และ4 กลั่นวันที่ 24/10/44
			3	5.26	14.6	36	9.4	7.28	460	ข้อมูลถังที่ 4 ก่อนเติม Molasses
			4	5.21	10.4	35	8	4.64	648	
22/10/44	11.30 น.	72 ชม.	1	-	-	-	-	-	-	ข้อมูลเฉพาะถังที่ 4 หลังเติม
			2	-	-	-	-	-	-	Molasses (เติม Molasses
			3	-	-	-	-	-	-	172.8 กิโลกรัม)
			4	5.13	14	33	7.5	6.72	533.36	
24/10/44	8.30 น.	117 ชม.	1	-	-	-	-	-	-	กลั่นเฉพาะถังที่ 2 และ 4
			2	5.03	17.4	33	9.3	5.85	173.36	วันที่ 22/10/44 กลั่นถังที่ 3 ไม่หม
			3	-	-	-	-	-	-	เหลือ 1/2 ถัง ,กลั่นต่อวันที่24/10
			4	4.44	13.2	34	7.8	5.05	394.4	เก็บตัวอย่างน้ำหมักมาวิเคราะห์
										pH 5.07, %Brix 13 , %alc. 9.3

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่3 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch

1-5 พย 2544

วัน/เดือน/	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม.		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell ($X10^6$ cell/cm^3)	การทดลองที่ 3
2/11/44	9.00 น.	0 ชม.	1	5.31	26.5	30	0	17.03	61.32	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	5.28	32	30	0	20.96	72.00	Fed batch (1/3,2/3), RS24%
			3	5.21	26.5	30	0	22.92	108.00	Fed batch (1/4,3/4), RS24%
			4	5.32	24	30	0	15.34	110.67	Fed batch (1/4,3/4,Molass),
	15.00 น.	6 ชม.	1	5.24	25.5	29	0	16	213.33	RS(14,22,24%)
			2	5.2	31.5	30	0.2	19.53	248.00	
			3	5.25	25	30	0.1	14.62	680.00	
			4	5.31	15.2	30	0.7	10.89	608.00	
	21.00 น.	12 ชม.	1	5.23	23.5	30	1.1	12.87	1024.00	
			2	5.16	31	29	0.1	13.34	208.00	
			3	5.16	30.5	30	0.4	13.47	300.00	
			4	5.16	29	30	0.5	15.05	580.00	
3/11/44	3.00 น.	18 ชม.	1	5.15	18.3	34	3.8	11.93	1196.00	
			2	5.11	27.5	32	2.6	13	924.00	
			3	5.09	27	33	3	13.14	1264.00	
			4	5.07	25	32	2.3	14.7	1524.00	
3/11/44	9.00 น.	24 ชม.	1	5.07	14.3	36	6.6	8.16	1360.00	
			2	5.09	26	34	4.8	10.43	1146.67	
			3	5.08	23	36	5.9	10.48	1184.00	
			4	5.05	19.6	36	6.4	11.06	1866.67	

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง

สำหรับการทดลองครั้งที่3 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch (ต่อ)

1-5 พย 2544

วัน/เดือน/	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม.		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6 cell/cm^3)	*การทดลองที่ 3*
3/11/44	15.00 น.	30 ชม.	1	5.13	12.8	32	8.7	6.35	1621.30	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	5.13	23	31	7.4	8.35	1370.67	Fed batch (1/3,2/3), RS24%
			3	5.12	20.5	32	7.7	8.37	1349.30	Fed batch (1/4,3/4), RS24%
			4	5.11	19.2	31	8.2	8.74	1429.30	Fed batch (1/4,3/4,Molass),)
	21.00 น.	36 ชม.	1	5.13	10.9	32	8.6	4.52	1610.67	RS(14,22,24%
			2	5.13	20.5	31	8.4	7.45	1210.67	
			3	5.13	17.9	31	8.7	6.99	1184.00	
			4	5.11	17.2	30	10.2	6.96	1674.67	
4/11/44	3.00 น.	42 ชม.	1	5.12	10.9	31	9.1	3.13	1509.30	
			2	5.12	18.4	30	10.6	6.6	1093.30	
			3	5.1	16.2	32	11.1	5.69	1130.67	
			4	5.08	16	31	11.5	3.96	1530.67	
	9.00 น.	48 ชม.	1	5.11	10.8	31	8.9	2.57	1536.00	
			2	5.13	17.2	31	11	4.98	1242.67	
			3	5.12	15	30	11.5	3.23	1338.67	
			4	5.11	15	31	11.9	3.21	1477.33	
	15.00 น.	54 ชม.	1	5.12	10.9	30	9.1	1.81	1589.30	
			2	5.12	16	32	10.6	4.49	1136.00	
			3	5.1	14.4	31	11.1	2.74	1285.30	
			4	5.8	14.2	30	11.5	2.8	1642.67	
4/11/44	21.00 น.	60 ชม.	1	5.1	11	31	9.1	2.83	1706.67	
			2	5.14	15.4	31	12.4	5.2	1120.00	
			3	5.13	14	30	12.4	3.51	1594.67	
			4	5.13	14	30	12.4	3.21	1466.67	
5/11/44	3.00 น.	66 ชม.	1	5.13	12	30	9.05	2.95	1744.00	
			2	5.25	16	31	12.65	4.8	613.30	
			3	5.24	15.2	31	12.25	3.54	912.00	
			4	5.23	15	31	12.25	3.18	949.30	
	9.00 น.	72 ชม.	1	5.11	11	30	8.9	3.03	1456.00	
			2	5.19	14	32	12.45	4.92	1093.30	
			3	5.17	14.8	31	11.9	3.34	1018.67	
			4	5.16	14	31	12.05	3.48	1301.30	

<u>ตารางที่ 6</u> ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการแบบBatchที่ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์20และ 24%

วัน/เดือน/	เวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม.		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^8 cell/cm^3)	การทดลองที่ 4
9/11/44	10.30 น.	0 ชม.	1	5.05	30	31	0	21.48	38.64	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	5.07	31	30	0	19.65	69.93	Batch, Reducing Sugar=20%
			3	5.05	28	33	0	19.33	71.23	Batch, Reducing Sugar=20%
			4	5.06	26	31	0	16.92	65.96	Batch, Reducing Sugar=20%
12/11/44	8.30 น.	72 ชม.	1	5.13	17.6	32	9.1	8.7	884.00	
			2	5.12	14.2	32	8.4	6.64	792.00	
			3	5.11	15	33	8.7	6.48	868.99	
			4	5.09	11.4	32	8.2	5.51	932.00	

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่5 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch

22-26 พย 44

วัน/เดือน/	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง (เก็บทุก ๆ 6 ชม.)		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ การทดลองที่ 5
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6 cell)	
23/11/44	13.00 น.	0 ชม.	1	5.09	33.5	28	0	22.98	2.40	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	5.11	27.5	28	0	21.27	1.87	Fed batch(1/4,3/4), RS(24%,24%)
			3	5.1	32.5	28	0	23.4	2.40	Fed batch(1/4,3/4), RS(24%,24%)
			4	5.15	22.5	28	0	16.37	7.47	Fed batch(1/4,3/4), RS(14%,24%)
	19.00 น.	6 ชม.	1	5.08	32.5	28	0	22.28	6.67	
			2	5.06	28	28	0	19.05	13.87	
			3	5.07	32	29	0	20.26	20.27	
			4	5.11	18.8	29	0	11.68	14.93	
ก่อนเติม Molasses ครั้งที่ 2	22.00 น.	9 ชม.	1	-	-	-	-	-	-	
			2	5.06	22	29	0	9.53	32.53	
			3	5.06	30.1	29	0	10.81	28.00	
			4	5.12	18.6	29	0	10.77	38.93	
หลังเติม Molasses ครั้งที่ 2	22.00 น.	9 ชม.	1	-	-	-	-	-	-	
			2	5.09	24.5	28	0	12.2	192.00	
			3	5.08	29	28	0	11.86	94.67	
			4	5.1	29.5	28	0	10.65	177.33	
24/11/44	1.00 น.	12 ชม.	1	5.12	33	29	0.9	15.25	461.33	
			2	5.13	27	28	0.6	14.52	432.00	
			3	5.13	29.5	28	0.4	15.44	576.00	
			4	5.13	30	29	0.5	15.35	589.33	
24/11/44	7.00 น.	18 ชม.	1	5.08	29	31	2.7	12.8	1328.00	
			2	5.12	23.5	31	2.3	10.86	1388.00	
			3	5.09	26.5	31	2.2	12.56	1352.00	
			4	5.09	26	31	2.5	11.65	1520.00	
	13.00 น.	24 ชม.	1	5.11	25.5	34	5.7	8.49	1264.00	
			2	5.07	20	34	4.9	8.13	1312.00	
			3	5.09	22.5	34	4.7	9.42	1573.33	
			4	5.07	21.5	35	5	8.37	1429.33	

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตรจำนวน 4ถัง
สำหรับการทดลองครั้งที่5 เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการBatch และFed Batch (ต่อ)

22-26 พย 44

วัน/เดือน/	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (เก็บทุก ๆ 6 ชม.)		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์						หมายเหตุ
				pH	% Brix	Temp (°c)	%alcohol	Reducing sugar	จำนวน cell (X 10^6 cell)	การทดลองที่ 5
	19.00 น.	30 ชม.	1	5.07	22	38	7.7	7.74	1248.00	Batch, Reducing Sugar=24%
			2	4.99	15.4	38	7.7	5.53	1178.67	Fed batch(1/4,3/4), RS(22%,24%)
			3	5.02	18.6	38	7.4	7.24	1226.67	Fed batch(1/4,3/4), RS(24%,24%)
			4	5.02	17.8	38	7.7	6.71	1274.67	Fed batch(1/4,3/4), RS(14%,24%)
25/11/44	1.00 น.	36 ชม.	1	5.16	21.5	35	8.7	7.32	1226.67	
			2	5.11	14.6	36	8.9	3.3	1472.00	
			3	5.12	17.6	35	9.2	5.21	1514.67	
			4	5.13	17	36	9.4	4.62	2192.00	
	7.00 น.	42 ชม.	1	5.13	18.2	28	9.9	6	1402.67	
			2	5.08	12.9	28	9.9		1408.00	
			3	5.09	15.5	28	10.2	3.45	1338.67	
			4	5.09	14.8	28	9.9	2.94	1402.67	
25/11/44	13.00 น.	48 ชม.	1	5.11	18.4	29	10.2	5.48	1818.67	
			2	5.05	12.6	29	10.2	1.91	1333.33	
			3	5.09	14.4	29	10.7	2.8	928.00	
			4	5.09	14	29	10.7	2.41	741.33	
	19.00 น.	54 ชม.	1	5.14	17.2	30	10.6	5.57	1312.00	
			2	5.07	12.4	29	10.2	2.7	2010.67	
			3	5.1	13.6	29	10.9	2.68	1781.33	
			4	5.11	13.4	29	10.9	2.74	1962.67	
26/11/44	1.00 น.	60 ชม.	1	5.17	16.8	30	10.7	4.49	1312.00	
			2	5.17	12.6	30	9	2.27	1840.00	
			3	5.17	14	29	10	2.42	1813.33	
			4	5.16	13.6	29	10	2.51	1770.67	
	7.00 น.	66 ชม.	1	5.19	15.8	30	11.3	4.34	1440.00	
			2	5.12	12.4	28	9.2	2.21	1808.00	
			3	5.15	13.4	29	10.2	2.4	1626.67	
			4	5.15	13.2	29	10	2.51	1701.33	
	13.00 น.	72 ชม.	1	5.2	15.4	30	12	4.36	1466.67	
			2	5.13	13.8	29	9.5	2.66	1184.00	
			3	5.16	14.8	29	10.5	2.72	1360.00	
			4	5.16	14.8	29	10.5	2.67	1834.67	

<u>ตารางที่ 8</u> ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง สำหรับการทดลองครั้งที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบ Batch และ Fed Batch

15-18 มีค. 45										
วัน/เดือน/ปี	เวลาใน			ค่าการวิเคราะห์						
	การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
	เก็บทุก ๆ 6 ชม.								(x 10^6 cell/cm^3)	
ศ.	14.00 น.	0 ชม.	1	4.75	34	31	0	26.29	2.13	batch, Reducing Sugar =24%
16/3/45			2	4.78	29.5	31	0	24.8	4.53	batch, Reducing Sugar =24%
			3	4.81	23.5	31	0	21.88	12.27	fed batch (1/4,3/4), RS(24%,24%)
			4	4.75	29.5	31	0	24.17	9.07	fed batch (1/4,3/4), RS(24%,24%)
	20.00 น.	6 ชม.	1	4.76	34.5	31	0	27.58	101.33	
			2	4.76	30	31	0	23.71	104	
			3	4.77	22.5	33	0	17.99	845.33	
			4	4.74	26.5	33	0	20.22	520	
	23.00 น.	9 ชม.	1	-	-	-	-	-	-	* ก่อนเติม Molasses *
			2	-	-	-	-	-	-	ครั้งที่ 2
			3	4.67	21	34	3.3	16.21	669.33	
			4	4.71	24.5	34	2.9	18.87	645.33	
	24.00 น.	10 ชม	1	-	-	-	-	-	-	* หลังเติม Molasses *
			2	-	-	-	-	-	-	ครั้งที่ 2
			3	4.62	39.5	31	1.6	25	184	
			4	4.64	38.5	30	1.5	26.99	120	
ส.	2.00 น.	12 ชม	1	4.67	28.5	31	2.5	23.28	173.33	
16/3/45			2	4.7	30	32	2.7	23.49	168	
			3	4.68	33.5	31	2.8	23.71	96	
			4	4.68	35	31	2.9	25.25	112	

<u>ตารางที่ 8</u> ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง สำหรับการทดลองครั้งที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบ Batch และ Fed Batch (ต่อ)

15-18 มีค. 45										
วัน/เดือน/ปี	เวลาใน			ค่าการวิเคราะห์						
	การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
	เก็บทุก ๆ 6 ชม.								(x 10^6 cell/cm^3)	
ส.	8.00 น.	18 ชม	1	4.75	27	34	3.45	17.86	228	batch, Reducing Sugar =24%
16/3/45			2	4.75	25.5	34	3.9	16.94	384	batch, Reducing Sugar =24%
			3	4.68	31.5	33	2	21.23	248	fed batch (1/4,3/4), RS(24%,24%)
			4	4.67	32.5	33	2.1	20.48	284	fed batch (1/4,3/4), RS(24%,24%)
	14.00 น.	24 ชม	1	4.72	23.5	38	5.52	16.72	384	
			2	4.77	21.5	38	5.59	16.62	440	
			3	4.69	28.5	37	5.18	20.8	352	
			4	4.69	29	36	4.75	20.32	412	
	20.00 น.	30 ชม	1	4.87	21.5	35	6.9	16.05	332	
			2	4.82	19.2	36	7.5	15.21	492	
			3	4.74	26	35	6.7	18.44	336	
			4	4.72	27	34	5.95	19.12	272	
อา.	2.00 น.	36 ชม	1	4.82	20.5	33	8.4	16.05	576	
17/3/45			2	4.85	18.4	33	8.65	13.2	524	
			3	4.83	26	33	8.1	17.45	372	
			4	4.78	26	33	7.25	16.99	308	
	8.00 น.	42 ชม	1	4.82	18.6	32	9.2	10.84	496	
			2	4.82	16.8	31	9.7	11.51	404	
			3	4.73	23.5	32	8.4	16.46	372	
			4	4.72	23.5	32	8.4	16.36	292	

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง สำหรับการทดลองครั้งที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบการหมักแบบ Batch และ Fed Batch (ต่อ)

15-18 มีค. 45 (ต่อ)										
วัน/เดือน/ปี	เวลาใน			ค่าการวิเคราะห์						
	การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
	เก็บทุก ๆ 6 ชม.								(x 10^6 cell/cm^3)	
อา.	14.00 น.	48 ชม	1	4.79	17.2	32	10.3	10.79	388	batch, Reducing Sugar =24%
17/3/45			2	4.79	15.8	32	10.7	9.81	400	batch, Reducing Sugar =24%
			3	4.71	23	32	9.8	16.25	276	fed batch (1/4,3/4), RS(24%,24%)
			4	4.72	23	32	9.1	16.05	308	fed batch (1/4,3/4), RS(24%,24%)
	20.00 น.	54 ชม	1	4.81	16.8	32	10.5	10.4	444	
			2	4.82	15.2	31	10.6	8.86	380	
			3	4.76	22	31	9.9	15.76	420	
			4	4.64	22	31	10.25	14.95	340	
จ.	2.00 น.	60 ชม	1	4.89	16.2	32	11.15	8.99	416	
18/3/45			2	4.93	15	32	11.1	8.03	388	
			3	4.88	21.5	32	10.9	15.29	324	
			4	4.86	22	32	10.5	14.69	264	
	8.00 น.	66 ชม	1	4.84	15.5	31	11.1	7.88	332	
			2	4.86	14.2	31	10.75	7.54	476	
			3	4.78	20	32	10.7	15.11	308	
			4	4.77	20	32	10.3	14.28	248	
	14.00 น.	72 ชม	1	4.76	15	31	11.15	7.63	424	
			2	4.78	14	32	11.15	7.26	392	
			3	4.73	19.2	33	11.6	14.77	320	
			4	4.72	20	34	11.55	14.13	356	

<u>ตารางที่ 9</u> ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง จากการทดลองครั้งที่ 7 สำหรับการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น19%

14-17 มิย. 45									
เวลาใน			ค่าการวิเคราะห์						
การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
เก็บทุก ๆ 6 ชม.								($x\ 10^6$ cell/cm^3)	
09.30 น.	0 ชม.	1	4.83	28.5	30	-	18.3	-	หมักแบบ batch
		2	4.8	31	31	-	20.27	-	(19% Reduching Sugar)
		3	4.8	28	31	-	18.14	-	* ก่อนเติม starter *
		4	4.8	28.5	31	-	17.88	-	
10.00 น.	0 ชม.	1	4.69	27.5	31	-	19.14	14.4	* หลังเติม starter *
		2	4.67	30.5	31	-	21.92	6.93	
		3	4.68	27.5	31.5	-	20.12	13.33	
		4	4.69	27.5	31.5	-	20.2	10.13	
16.00 น.	6 ชม.	1	4.78	27	32.5	-	19.08	9.07	
		2	4.73	30	32.5	-	21.82	8	
		3	4.75	26.5	33	-	19.73	12	
		4	4.72	27	33	-	19.96	12.53	
22.00 น.	12 ชม.	1	4.67	23	36	3.2	17.86	864	
		2	4.64	26.5	36	2.55	21.23	696	
		3	4.64	23	36	2.85	18.44	648	
		4	4.65	23	36	2.6	16.05	595.9	
4.00 น.	18 ชม.	1	4.8	20	38	6.1	7.95	437.3	
		2	4.81	23	38	5.5	9.04	362.7	
		3	4.76	19.6	36	5.7	8.02	432	
		4	4.76	19.4	35	5.8	7.57	544	

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง จากการทดลองครั้งที่ 7 สำหรับการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น19% (ต่อ)

(14-17 มิย 45)

เวลาใน						ค่าการวิเคราะห์			
การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
เก็บทุก ๆ 6 ชม.								(x 10^6 cell/cm^3)	
10.00 น.	24 ชม.	1	4.72	17.4	32	7.35	6.97	661.3	
		2	4.74	17.6	34	7.2	8.43	581.3	
		3	4.67	16	33	7.55	7.13	704	
		4	4.68	17	31	7.15	7.19	554.6	
16.00 น.	30 ชม.	1	4.67	14.4	33	9.45	5.55	997.3	
		2	4.68	17.4	33	8.95	6.74	970.7	
		3	4.63	14	33.5	8.65	5.9	576	
		4	4.61	14	33	8.6	6.11	757.3	
22.00 น.	36 ชม.	1	4.76	13.4	33	9.8	4.02	1088	
		2	4.77	15.6	34	10	4 42	746.66	
		3	4.7	13.4	34	9 55	4.03	1002	
		4	4.71	13.4	33	9.5	3.86	912	
4.00 น.	42 ชม.	1	4.74	13.2	34	9.2	3.78	933.33	
		2	4.77	15	34	9.85	4.23	869.33	
		34	4.73	13.2	33	8.65	3.97	917.33	
			4.73	13.2	33	8.8	3.75	810.66	
10.00 น.	48 ชม.	1	4.73	13.2	33	9.45	3.79	1082.66	
		2	4.74	13.8	35	10.25	3.97	864	
		3	4.67	12.8	34	9.15	3.85	794.66	
		4	4.65	12.6	34	9.3	3.58	682.66	

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง จากการทดลองครั้งที่ 8 สำหรับการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น21 %
(21-24 มิย 45)

วัน/เดือน/ปี	เวลาใน			ค่าการวิเคราะห์						
	การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcoho	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
	เก็บทุกๆ 6 ชม.								(x 10^6 cell/cm^3)	
ส.	08.30 น.	0 ชม.	1	4.76	30.5	30.5	-	22.96	-	
22/6/45			2	4.75	32	31	-	22.18	-	* ก่อนเติม starter *
			3	4.76	28.5	30	-	20.05	-	
			4	4.73	30	31	-	20.05	-	
	09.00 น.	0 ชม.	1	4.73	30.5	31	-	21.9	5.6	* หลังเติม starter *
			2	4.72	31.5	31	-	21.54	7.46	
			3	4.73	28	31	-	19.83	9.33	
			4	4.71	29.5	31	-	19.83	7.2	
	15.00 น.	6 ชม.	1	4.71	30	31	-	17.93	244	
			2	4.7	30	32	-	18.18	213.33	
			3	4.74	28	32	-	16.05	125.33	
			4	4.73	28.5	32	-	16.67	280	
	21.00 น.	12 ชม.	1	4.77	27.5	33.5	1.8	12.32	456	
			2	4.74	27.5	32	1 6	12.89	487.99	
			3	4.72	26	32.5	1 5	15.04	411.99	
			4	4.68	25.5	34	1.85	12.7	528	
อา	03.00 น.	18 ชม.	1	4.67	25	33	4	12.33	592	
23/6/45			2	4.69	25.5	32	4.8	11.89	544	
			3	4.65	21.5	34	4.5	9.28	656	
			4	4.66	21	34	4 5	10.34	661.33	
อา	09.00 น	24 ชม.	1	4.73	19	35	7.55	10.75	1264	
23/6/45			2	4.72	19.2	34	7.2	10.75	1424	
			3	4.69	17	35	7	9.02	1024	
			4	4.67	16.6	35	7.2	9.74	1072	
	15.00 น.	30 ชม.	1	4.72	17.2	33.5	9.35	9.95	821.33	
			2	4.74	16.4	32	8.7	10.42	725.33	
			3	4.67	14.6	33	8.9	8.78	874.67	
			4	4.67	14.2	32	9.15	9.24	848	
	21.00 น.	36	1	4.72	14.6	34	10.5	6.68	1168	
			2	4.71	14.6	33	10.85	6.42	997.33	
			3	4.7	13.4	32.5	9.9	5.53	986.66	
			4	4.7	13.4	31	9.5	5.99	778.66	
จ.	03.00 น.	42 ชม.	1	4.75	15.2	32	10.7	4.88	1402.66	
24/6/45			2	4.75	14.6	31	10.5	4.94	896	
			3	4.7	13.8	32	9.5	4.5	1040	
			4	4 72	13.6	31	9.2	4.95	1104	
	09.00 น.	48 ชม.	1	4.64	14	32	10.5	4.37	880	
			2	4.63	14.4	32	10.4	5.17	986.66	
			3	4.61	13.4	32	9.3	3.87	826.67	
			4	4.61	13	32	9.2	3.89	880	

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง จากการทดลองครั้งที่ 9 สำหรับการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น21 %

(24-27 มิย 45)

วัน/เดือน/ปี	เวลาใน			ค่าการวิเคราะห์						
	การเก็บตัวอย่าง		ถังที่	pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell	หมายเหตุ
	เก็บทุก ๆ 6 ชม.								(x 10^6 cell/cm^3)	
อ.	13.30 น.	0 ชม.	1	4.73	30	31	-	19.3	-	
25/6/45			2	4.73	32	31	-	20.29	-	* ก่อนเติม starter *
			3	4.75	29	31	-	18.95	-	
			4	4.72	29.5	31	-	21.21	-	
	14.00 น.	0 ชม.	1	4.72	29	31	-	20.7	10.13	* หลังเติม starter *
			2	4 7	32	31	-	21.12	4.27	
			3	4.72	29	31	-	20.72	5 33	
			4	4.71	29.5	30.5	-	20.36	6.67	
	20.00 น.	6 ชม.	1	4.77	28.5	32	-	18.08	322.67	
			2	4.79	31.5	32	-	18.96	256	
			3	4.81	28.5	32.5	-	17.69	266.67	
			4	4.78	28.5	32	-	16.81	290.67	
พ.	02.00 น.	12 ชม.	1	4.9	24.5	36	4	13.16	939.9	
26/6/45			2	4.85	28.5	34	2.6	12.56	677.3	
			3	4.86	25	34	3	13.23	666.7	
			4	4 85	24.5	35	3.1	12.82	853.3	
	08.00 น.	18 ชม.	1	4.8	20.5	34	6.33	10.26	885.3	
			2	4.81	25.5	33	4.3	11.02	554.7	
			3	4.78	21.5	34	5.2	10.68	906.7	
			4	4.77	21.5	33	5.2	10.64	730.7	
พ.	14.00 น.	24 ชม.	1	4.75	17	34	9	8.58	960	
26/6/45			2	4.74	22	34.5	6.8	9.14	805.3	
			3	4.69	17.4	34.5	8	9.41	1013.3	
			4	4 7	17.4	34	7.9	8.94	1016.3	
	20.00 น.	30 ชม.	1	4.79	14.6	32	10.5	5.16	960	
			2	4.75	19.2	33	8.45	6.12	944	
			3	4.7	14.6	33	9.7	4.28	896	
			4	4.7	14.4	33	9.4	5.08	922.66	
พฤ.	02.00 น.	36 ชม.	1	4.72	14.4	32	10.5	4.34	848	
27/6/45			2	4.7	17.2	32	9.75	5.4	704	
			3	4.7	14.2	32	9.75	3.88	778.66	
			4	4.7	14	31	9.6	4.1	757.66	
	08.00 น.	42 ชม.	1	4.79	14.6	31	10.35	3.86	933.33	
			2	4.78	16	32	11	4.9	666.66	
			3	4.76	14	30	9.95	3.64	981.33	
			4	4.73	13.8	31	9.6	3.69	1066.66	
	14.00 น.	48 ชม.	1	4.83	14	32	10.45	3.3	1104	
			2	4.82	15	32	11.8	3.32	896	
			3	4.8	13.6	32	10.1	3.58	1050.66	
			4	4.8	13.6	32	9.75	3.47	752	

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์การหมักแอลกอฮอล์ในถังขนาด 2500 ลิตร จำนวน 4 ถัง จากการทดลองครั้งที่ 10 สำหรับการหมักแบบ Batch ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น20 % (17- 19 สค 45)

วัน/เดือน/	เวลาใน การเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 6 ชม.		ถังที่	ค่าการวิเคราะห์ pH	%Brix	Temp	%Alcohol	Reducing Sugar	จำนวน cell (x 10^6 cell/cm^3)	หมายเหตุ
ส. 17/8/45	10.00 น.	0 ชม.	1	4.73	28.5	29	-	17.35	-	
			2	4.65	36	30	-	20.49	-	20% Reducing sugar
			3	4.06	33	30	-	20.33	-	* ก่อนเติม starter *
			4	4.7	27	30	-	17.12	-	
	11.00 น.	0 ชม.	1	4.66	29	29	0	18.07	3.2	* หลังเติม starter *
			2	4.63	34	30	0	20.73	4.8	
			3	4.62	32.5	30	0	21.86	4.53	
			4	4.66	27.5	30	0	19.35	4.27	
	16.00 น.	6 ชม.	1	4.64	28	30	0	16.79	8.53	
			2	4.62	33.5	30	0	20.01	18.13	
			3	4.63	32	30	0	19.49	20.53	
			4	4.69	27	30	0	16.33	32 27	
	22 00 น.	12 ชม.	1	4.67	26	31	1 8	14.84	715.99	
			2	4.63	33	31	0.5	18 14	363 99	
			3	4.62	30	32	2	14 76	648	
			4	4.72	25	31.5	1.6	12.99	519.99	
อา 18/8/45	4.00 น.	18 ชม.	1	4.69	23	34	4 3	9.63	1.616	
			2	4.63	30.5	32	2 7	13.67	928	
			3	4 66	27 5	31	3 7	12 38	1 360	
			4	4.72	22	31	3.9	10.66	1.242.67	
อา 18/8/45	10.00 น.	24 ชม.	1	4.72	17.8	36	7.1	5.93	560	
			2	4.64	25.5	38	6	7.47	570.67	
			3	4.64	22	37	7.1	7.29	666.67	
			4	4.63	16.6	39	7.1	5.83	666.67	
	16.00น	30 ชม.	1	4.72	15.8	32	9	5.77	650.67	
			2	4.7	23	32	7.8	6.94	586.67	
			3	4.67	20.2	32	9	7.02	709.33	
			4	4.62	14.6	32	8.6	4.05	693.33	
	22.00 น.	36 ชม.	1	4.7	14.4	30	9.8	3.28	890.67	
			2	4.7	21	33	9.4	5.83	592	
			3	4.69	19.2	31	9.8	6.13	656	
			4	4.72	14	31	9.1	3.36	1,018.67	
จ. 19/8/45	4.00 น.	42 ชม.	1	4.75	14.6	32	9.6	2.9	1,189.30	
			2	4.78	19.8	31	10.3	5.56	976	
			3	4.78	18	31	10.5	5.54	954.67	
			4	4.78	14.2	32	9.2	2.94	896	
	10.00 น.	48 ชม.	1	4.77	14.4	28	9.6	2.83	1,109.33	
			2	4.75	18.6	30	11.05	4.91	714.67	
			3	4.75	16.6	29	10.9	4.75	794.67	
			4	4.73	13.8	28	8.8	2.66	874.67	

ภาคผนวกที่ 11.5

สรุปโครงการ (Executive Summary)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัญหาการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน จาก methyl-tert-butyl ether (MTBE) ซึ่งปัจจุบันใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน จึงได้มีการนำเอทิลแอลกอฮอล์ มาใช้ในการเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบ็นซิน (เอทานอล) แทน MTBE โดยมีแนวโน้มว่าในอนาคตอันใกล้จะมีกฎหมายห้ามใช้สารดังกล่าว (รัฐแคลิฟอร์เนียร์ สหรัฐอเมริกา ออกกฎหมายห้ามใช้ MTBE ในปี 2002, CHEMICAL ENGINEERING WWW.CHE.COM ,OCT 2000) นอกจากนี้ในแง่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รถที่ใช้น้ำมันผสมเอทานอล จะปล่อยควันเสียที่มีปริมาณของมลพิษต่ำลง โดย THC ลดลงประมาณ 6.2-8.5% CO ลดลงประมาณ 23.2-39.1% และ NO_x ลดลงประมาณ 12.2-13.4% จากปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม จึงมีแนวโน้มว่าจะมีการเพิ่มปริมาณการใช้ เอทานอล มาใช้ร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมบางส่วนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้เอทานอลยังถูกใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหลายอย่าง ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา ใช้ในการแพทย์และอื่นๆ โดยปัจจุบันยังมีการนำเข้าเอทานอลหลังกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์เข้าประเทศ

สำหรับสถานะการณ์เชื้อเพลิงในเมืองไทย เนื่องจากปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงได้มีราคาเพิ่มสูงขึ้นมากมีความไม่แน่นอนของราคาโดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต รัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนการผลิตแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยการลดอัตราภาษีให้ ทางบริษัทผู้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ ปตท. และบางจาก ได้เริ่มดำเนินการทดลองนำน้ำมันเชื้อเพลิงผสมแอลกอฮอล์จำหน่ายแก่ประชาชนตามปั๊มน้ำมันบางแห่ง โดยใช้แอลกอฮอล์จากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ต้นแบบของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา และโรงงานต้นแบบของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ผลิตแอลกอฮอล์ 99.5% ไปผสมน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 1:10 ปรากฏว่าได้รับความสนใจจากประชาชนเป็นอย่างดี จากการพิจารณาข้อมูลขั้นต้นพบว่า โครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดายังขาดเทคโนโลยีที่ทันสมัย ไม่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้เต็มกำลังความสามารถของโรงงานต้นแบบ ซึ่งขณะนี้ทางโครงการฯ ยังได้รับการบริจาคเครื่องแปรรูปแอลกอฮอล์จาก 95% เป็น แอลกอฮอล์ 99.5% จำนวน 2 ราย เพื่อทดสอบการแปรรูปด้วยกระบวนการที่ใช้ membrane และกระบวนการที่ใช้ molecular sieve จึงมีความต้องการปรับปรุงกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตลอดจนการจัดตารางเวลาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการหมัก

กระบวนการกำจัดน้ำเสียเป็นปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล เนื่องจากในน้ำกากส่ามีสารอินทรีย์ปริมาณสูงจากทั้งเซลล์ยีสต์และน้ำตาลที่เหลือจากการหมักทำให้มีความ

ลำบากในการจัดการน้ำกากส่าเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด ในการเวียนกลับน้ำกากส่าส่วนหนึ่งเพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการหมักเอทานอล และ การผลิตเซยีสต์เพื่อเป็นการลดต้นทุนของที่ใช้ในกระบวนการผลิต และลดปริมาณน้ำเสียที่ต้องกำจัด เนื่องจากน้ำกากส่าเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่น มีปริมาณมาก ถึง 90 % ของปริมาณของเหลวที่ได้จากการหมัก นอกจากนี้น้ำกากส่ายังมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อการหมัก เช่น น้ำตาล ที่หมักไม่หมด และสารจากเซลล์ยีสต์ที่แตกตัวตอนกลั่น เมื่อนำน้ำกากส่ามาผสมกับกากน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบ จะช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารและน้ำตาลให้แก่น้ำหมัก ทำให้เป็นผลดีต่อการหมัก

โดยการพัฒนาเทคโนโลยีในการหมักเอทานอล จะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการหมัก ลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในการกลั่น และลดปริมาณน้ำทิ้งจากการกลั่น เป็นการลดต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยเทคโนโลยีที่ได้สามารถนำไปเป็นต้นแบบสำหรับการขยายแหล่งผลิตและ ขนาดของการผลิต สำหรับกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อวิเคราะห์การผลิตแอลกอฮอล์ของโรงงานต้นแบบผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา
2) เพื่อปรับปรุงกระบวนการหมัก
3) เพื่อหาแนวทางการผลิตโปรตีนจากยีสต์ร่วมกับการผลิตแอลกอฮอล์

3. ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 เก็บข้อมูลการดำเนินการหมักของโครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์ฯ

3.2 วิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อทำการพัฒนากรรมวิธีการหมักแอลกอฮอล์

3.3 ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอล ระดับโรงงานต้นแบบของโครงการส่วนพระองค์

3.4 ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการกลั่นเอทานอล

3.5 ทำการทดลองและจัดทำตารางสำหรับการหมัก 2รอบต่อสัปดาห์

3.6 ทำการทดลองใช้กากส่าเพื่อเป็นสับสเตรทในการผลิตแอลกอฮอล์

3.7 ทำการทดลองใช้กากส่าเพื่อผลิตเซลโปรตีน

3.8 จัดทำรายงานสรุปและตีพิมพ์ผลงาน

4. กิจกรรมและผลการดำเนินงานของโครงการโดยสรุป

กิจกรรม	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ*
1) เก็บข้อมูลการดำเนินการโครงการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของโครงการส่วนพระองค์ฯ	ได้ข้อมูลกระบวนการผลิตของโรงงาน ตารางการดำเนินงานก่อนเริ่มงานวิจัย	กระบวนการแบบครั้งคราว ใช้เวลา72 ชั่วโมงต่อการหมัก1 batch, 1 batchต่อสัปดาห์ (รายละเอียดการดำเนินการมีในภาคผนวก) หมักได้เอทานอล 7-8% กลั่นได้ 95%, 700 ลิตร
2) วิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อทำการพัฒนากรรมวิธีการหมักแอลกอฮอล์	ได้แผนงานเพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงาน	ปัจจัยหลักที่ปรับปรุงคือแนะนำให้ใช้ปริมาณน้ำตาลตั้งต้น, ปริมาณหัวเชื้อ การควบคุมอุณหภูมิ, ช่วงเวลาดำเนินกิจกรรมที่เหมาะสม
3) ฝึกพัฒนาเทคโนโลยีการวิเคราะห์เช่น - การวิเคราะห์น้ำตาล -การนับเซล	นักวิทยาศาสตร์ของโครงการมีทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และจำเป็นต่อการวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพของการหมัก	
4) ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอล ระดับโรงงานต้นแบบของโครงการส่วนพระองค์	สามารถเพิ่มความเข้มข้นแอลกอฮอล์จาก7-8 % (72 ชั่วโมง) เป็น 11-12%(72 ชั่วโมง) หรือ เป็น 10-11%(48 ชั่วโมง) ปริมาณเอทานอลที่ได้ต่อกากน้ำตาลที่ใช้สูงขึ้น	รายละเอียดขั้นตอนและผลการทดลองอยู่ในหัวข้อที่ 5) รายงานการทดลอง การเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักแอลกอฮอล์
5) ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการกลั่นเอทานอล	สามารถกลั่นได้ที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นได้เอทานอล 95%เพิ่มขึ้นจาก 700 ลิตรต่อครั้ง เป็น 900-970 ลิตรต่อครั้ง โดยประสิทธิภาพการกลั่นสูงขึ้น(อัตราการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำลง)	ปัจจัยหลักที่ปรับปรุงคือ การปรับอัตราการไหลเข้าออกให้เหมาะสมกับน้ำส่าที่ได้ การเพิ่มขนาดพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงก้นหอ, การควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม และการทำความสะอาดภายในหอกลั่น
6) ทำการทดลองและจัดทำตารางสำหรับการหมัก 2รอบต่อสัปดาห์	สามารถหมักได้ 10-11% ในเวลา 48 ชั่วโมง ได้ 95% เอทานอล 900-950 ลิตรต่อรอบ หมักได้ 2 รอบ ต่อสัปดาห์ ได้1800-1900 ลิตรต่อสัปดาห์	ได้ข้อมูลการดำเนินการสำหรับช่วงที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิต โดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ แต่ต้องเพิ่มค่าล่วงเวลาคนงาน 2 คน 1/2วัน
7) ทำการทดลองใช้กากส่าเพื่อเป็นสับสเตรทในการผลิตแอลกอฮอล์	ได้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางการนำกากส่าไปใช้ในการผลิตเอทานอล	รายละเอียดขั้นตอนและผลการทดลองอยู่ในหัวข้อที่ 6) รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein และหมักแอลกอฮอล์
8) ทำการทดลองใช้กากส่าเพื่อผลิตเซลโปรตีน	ได้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางการนำกากส่าไปใช้ในการผลิตเซลโปรตีน	รายละเอียดขั้นตอนและผลการทดลองอยู่ในหัวข้อที่ 6) รายงานการศึกษาการนำกากส่ามาใช้ในการผลิต Single cell protein และหมักแอลกอฮอล์