

## การผลิตไบโอเอทานอลจากกากมะพร้าว

กาญจนา พานแก้ว<sup>1,4</sup>, จิฎาภา ศรีภิรมย์<sup>2</sup> ธนากร ค่ายหนองสรวง<sup>3</sup> พุทธพร แสงเทียน<sup>4\*</sup> และนารีรัตน์ มวลใจ<sup>5</sup>

- 1) นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
อุบลราชธานี 34190
- 2) สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 3) บริษัทอินเตอร์เนชั่นแนล คิวลิตี ฟู้ดแวร์ จำกัด
- 4) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีอุบลราชธานี 34190
- 5) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190

### บทคัดย่อ

Mined coconut has fiber up to 12% so this research chooses mined coconut to produce ethanol from fermentation to be worth expansion to mined coconut and to decrease amount of them from both the locality and the industrial factory. This project is divided in 2 steps, as follows.

Primary, we study the efficiency of pre-treatment mined coconut that are divided in 3 experiments that are non-pretreatment, pre-treatment by sulphuric acid 1.2% and fungus sperm, *Aspergillus niger* and pre-treatment by only sulphuric acid 0.75%. After pre-treatment, bring each product of pre-treatment to add flocculating yeast, *Saccharomyces cerevisiae* and ferment at suitable conditions that are temperature at 30°C for 7 days. As a result, pre-treatment by sulphuric acid 0.75% build the greatest number of reducing sugar 2.106 g/L and ethanol 0.18%v/v then bring product of pre-treatment by sulphuric acid 0.75%(the best pre-treatment) to study fermentation.

In advanced, we study the comparison between batch and semi-continuous fermentation. As a result, semi-continuous fermentation run at 0.8 h<sup>-1</sup> dilution rate is better than batch fermentation by considered from the lower day of producing ethanol and the higher average quantities of ethanol(0.18%, v/v)

### 1. บทนำ

การดำรงชีวิตประจำวันของคนไทยส่วนใหญ่ นิยมรับประทานอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนประกอบในการผลิตกะทิจะมีกากมะพร้าวที่เหลือเป็นเศษ ซึ่งกากมะพร้าวที่เหลือเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ การทำปุ๋ยหมัก และที่สำคัญคือได้มีการวิจัยโดยนำกากมะพร้าวมาใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล (Bio-ethanol) และในปัจจุบันเกิดวิกฤตราคาน้ำมันแพงจึงได้มีการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันเพื่อเป็นการลดการนำเข้าน้ำมันได้เป็นอย่างดี ในกากมะพร้าวมีเส้นใยเป็นส่วนประกอบ หากมีการส่งเสริมให้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากกากมะพร้าวโดยการนำมาเป็นทางเลือกในการผลิตไบโอเอทานอลจากการหมัก ก็จะเป็นการเพิ่มคุณค่าให้แก่กากมะพร้าวและเป็นการลดปริมาณเศษเหลือใช้จากทั้งท้องถิ่นและโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เวลาในการผลิตไม่นาน และสามารถนำผลผลิตที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้ด้วย [1]

ในประเทศไทยได้มีการตื่นตัวกับไบโอเอทานอลเป็นอย่างมาก ปัจจุบันได้มีการร่วมมือจากทุกฝ่ายทั้งภาครัฐบาลและเอกชนเพื่อ

พัฒนาการผลิตไบโอเอทานอลให้ได้จำนวนมากเพียงพอกับความต้องการในประเทศ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าไบโอเอทานอลสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันได้ ในปี พ.ศ. 2528 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ทรงมีพระราชดำริในเรื่องพลังงานทดแทน และได้ทรงจัดตั้งโครงการตามพระราชดำรินี้ จากนั้นมาหน่วยงานต่าง ๆ ก็เริ่มดำเนินการพัฒนาไบโอเอทานอลมาโดยตลอด จนกระทั่งถึงยุควิกฤตน้ำมันแพง จึงได้มีการศึกษาและวิจัยนำไบโอเอทานอลมาใช้ผสมกับน้ำมัน โดยทั่วไปมักจะพบ “แก๊สโซฮอลล์(Gasohol)” ซึ่งแก๊สโซฮอลล์ คือ การนำเอทานอลบริสุทธิ์(Ethanol) 99.5% ผสมกับน้ำมันเบนซิน(Gasoline)โดยทั่วไปใช้ผสมในอัตราส่วนร้อยละ 10 ในลักษณะของสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินสามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ทั่วไป โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด

การศึกษาถึงการผลิตไบโอเอทานอลจากกากมะพร้าวในครั้งนี้เป็นแนวทางการศึกษา เพื่อเพิ่มคุณค่าให้แก่กากมะพร้าว เปลี่ยนแปลงให้เป็นสารเคมีที่มีราคาสูง และเป็นการช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ลงได้อีกทางหนึ่ง

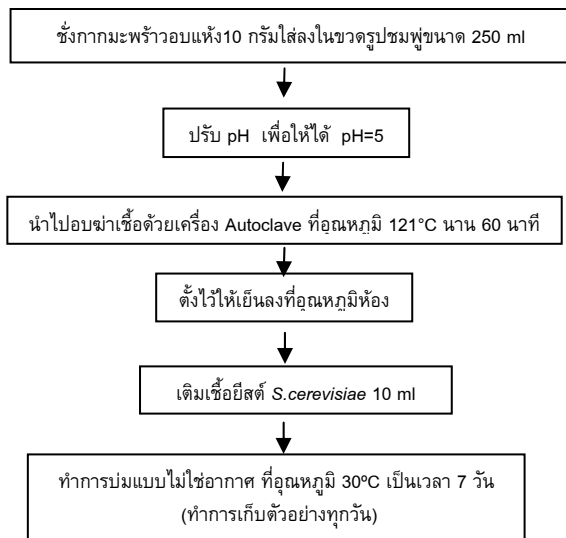
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาอิทธิพลการปรับสภาพกากมะพร้าวต่อการผลิตแอลกอฮอล์

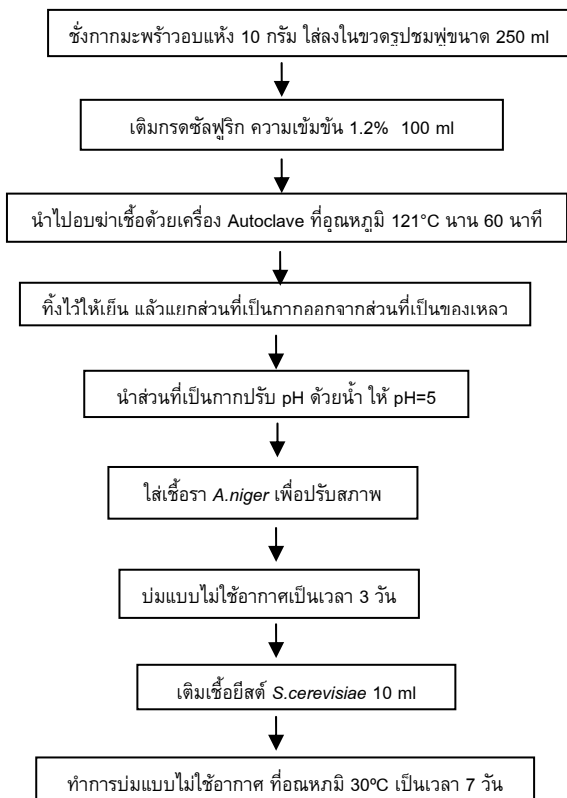
โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลองคือ

1. ไม่ปรับสภาพกากมะพร้าว
2. ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และเชื้อรา *A.niger*
3. ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

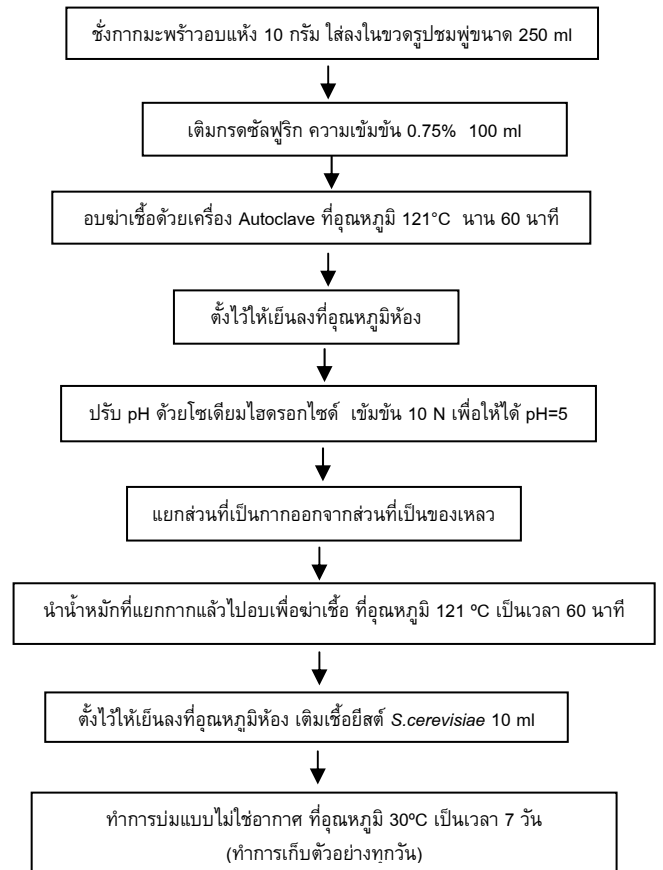
2.1.1 ไม่ปรับสภาพกากมะพร้าว



2.1.2 ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และเชื้อรา *A.niger*



2.1.3 ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



2.2 การศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการหมักแบบกะ และแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองที่ 2.1 จะได้สภาวะการปรับสภาพกากมะพร้าวที่เหมาะสมในการนำไปหมักแอลกอฮอล์ หลังจากนั้นนำส่วนของเหลวที่แยกได้จากกากมะพร้าวปรับสภาพชุดดังกล่าว มาศึกษาเปรียบเทียบการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้กระบวนการหมักแบบกะและแบบต่อเนื่อง

2.2.1 การหมักแบบกะ (Batch Fermentation)

นำน้ำหมักที่แยกจากกากปรับสภาพที่ให้ผลการหมักแอลกอฮอล์สูงสุด แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml. โดยใส่น้ำหมัก 100 ml. และเซลล์ยีสต์ 10 ml. (ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง) นำลูกโป่งปิดปากขวดรูปชมพู่ (เพื่อดูลักษณะของก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก) บ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจึงเก็บตัวอย่าง



(ก)

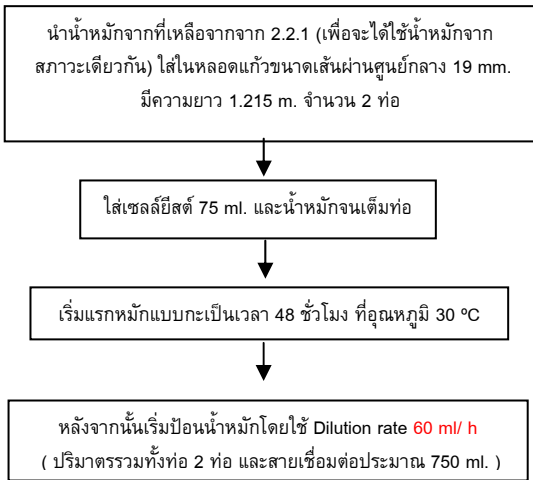
(ข)

รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างการหมักแบบกะ

(ก) ตัวอย่างระหว่างการหมักแบบกะ

(ข) การเก็บตัวอย่างการหมักแบบกะ

**2.2.2 การหมักแบบต่อเนื่อง  
(Continuous Fermentation)**



รูปที่ 2 การหมักแบบต่อเนื่อง

**2.3 การตรวจวิเคราะห์ผล**

**2.3.1 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์  
ด้วยวิธี DNS**

การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้วิธี DNS เพื่อใช้หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของการปรับสภาพทั้ง 3 แบบ และของกระบวนการหมักทั้งแบบกะ และแบบกึ่งต่อเนื่อง

**2.3.2 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์**

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักทั้งแบบกะ และแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้วิธีดังนี้

1. Gas Chromatography (GC)
2. Ebulliometer

**3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล**

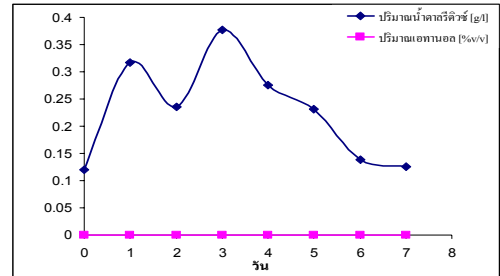
**3.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพกากมะพร้าว**

สำหรับชุดการทดลองนี้ เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพของกากมะพร้าว ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

1. กากมะพร้าวไม่ปรับสภาพ
2. กากมะพร้าวปรับสภาพด้วยกรดและเชื้อรา
3. กากมะพร้าวปรับสภาพด้วยกรด

**3.1.1 กากมะพร้าวไม่ปรับสภาพ**

จากการทดลองโดยชุดที่ไม่ปรับสภาพกากมะพร้าวก่อนนำไปหมัก(มีวิธีการทดลองที่ 2.1.1) พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมาก แสดงดัง รูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณเอทานอลที่เกิดจากกระบวนการหมัก “กากมะพร้าวที่ไม่ปรับสภาพ” เป็นเวลา 7 วัน

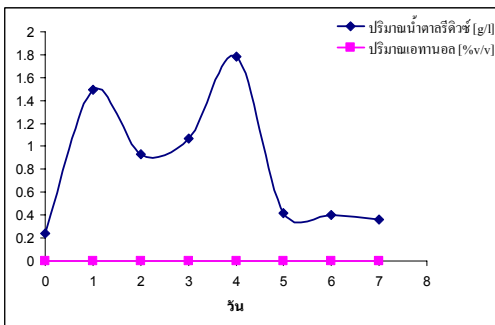
จากรูปที่ 3 พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกากมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับสภาพมีปริมาณน้อยมากเพียง 0.1204 กรัมต่อลิตร และเมื่อเติมยีสต์ *S.cerevisiae* (Flocculating yeast) เพื่อทำการหมักแบบกะ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าเอทานอลเกิดขึ้นน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดค่าได้

จากการทดลองนี้ น้ำหมักที่ได้จากกากมะพร้าวที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อย อาจเป็นเพราะกากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความหวาน แต่มีสิ่งที่จะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลได้ คือ เส้นใย (Fiber) ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งทั้งสามเป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลคาร์บอน 5-6 อะตอม แต่เซลลูโลสสามารถย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยกรด ต่าง หรือเอนไซม์หรือยีสต์ได้ง่ายกว่าเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยกากมะพร้าวประกอบด้วยเส้นใยประมาณ 12% แต่จากการทดลองไม่ได้ทำการตรวจสอบเพื่อหาว่ามีส่วนประกอบทั้งสามมากน้อยเพียงใดในกากมะพร้าวที่นำมาทดลอง จึงคาดว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากกากมะพร้าวที่ไม่ได้ทำการปรับมีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากในกากมะพร้าวอาจมีส่วนที่เป็นเซลลูโลสอยู่น้อยจึงทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยมาก

จากนั้นเมื่อเติมเชื้อยีสต์ *S.ceresiae* ทำการหมักต่อแบบกะในขวดรูปชมพู่เป็นเวลา 7 วัน จากการรูปที่ 3 พบว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่คงที่ อาจเกิดจากเชื้อยีสต์ใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโต แต่เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยมาก ยีสต์จึงมีความสามารถผลิตเอทานอลได้น้อย จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มไม่แน่นอน และด้วยสาเหตุนี้เองที่ทำให้การหมักกากมะพร้าวจึงได้เอทานอลน้อยมาก จนเครื่องมือวัดไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้

### 3.1.2 การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด และเชื้อรา

จากการทดลองการปรับสภาพด้วยกรด และเชื้อรา (มีวิธีการทดลองที่ 2.1.2) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

และปริมาณเอทานอลที่เกิดจากกระบวนการหมัก

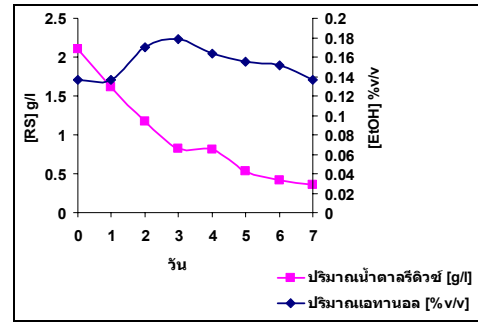
"กากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดและเชื้อรา" เป็นเวลา 7 วัน

จากรูปข้างต้นพบว่า การปรับสภาพด้วยกรด และเชื้อราได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นน้อยเพียง 0.2403 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวที่ไม่มีการปรับสภาพ กากมะพร้าวที่มีการปรับสภาพด้วยกรดและเชื้อราให้น้ำตาลรีดิวซ์มากกว่า แต่เมื่อนำน้ำหมักที่ได้ไปหมักต่อโดยการเติมยีสต์ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าเอทานอลเกิดขึ้นในกระบวนการหมักมีปริมาณน้อยมากจนเครื่องมือตรวจวัดไม่สามารถตรวจวัดได้

จากการทดลองนี้พบว่ากากมะพร้าวที่ทำการปรับสภาพด้วยกรด และเชื้อรา ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อย อาจเกิดจากการขั้นตอนการปรับ pH โดยใช้กรดเพื่อเพิ่ม pH และหลังจากนั้นได้ทำการแยกส่วนที่เป็นน้ำ และกากออกจากกัน แล้วนำส่วนที่เป็นกากมาทำการหมักต่อไป โดยคาดว่าส่วนที่เป็นน้ำมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าส่วนที่เป็นกาก เมื่อทำการแยกส่วนที่เป็นน้ำออกจึงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นสำหรับการหมักน้อยมาก พิจารณาจากกราฟพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มไม่คงที่ อาจเกิดจากการที่เชื้อราผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ขึ้นมา แล้วเชื้อยีสต์ได้ใช้น้ำตาลรีดิวซ์เพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าการที่จะใช้ในการผลิตเอทานอล จึงทำให้ปริมาณ เอทานอลน้อยมากจนเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้

### 3.1.3 การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด

จากการทดลองการปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด (มีวิธีการทดลองที่ 2.1.3) พบว่าการปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับสภาพ 2 วิธีข้างต้น แสดงดัง รูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณเอทานอลที่เกิดจากกระบวนการหมัก "กากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรด" เป็นเวลา 7 วัน

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อกากมะพร้าวถูกปรับสภาพด้วยกรด จะได้น้ำตาลรีดิวซ์ ประมาณ 2.106 กรัมต่อลิตร และเมื่อนำน้ำหมักที่มีน้ำตาลรีดิวซ์มาเติมยีสต์เพื่อหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่าในวันที่ 3 ของการหมักเกิดเอทานอลสูงที่สุด คือ 0.18 %v/v จากนั้นมีแนวโน้มลดลง น้ำหมักที่ได้จากปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรดมีน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อนำไปทำการหมักต่อ พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลง

จากกราฟพบว่าแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการที่เชื้อยีสต์ได้ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในการผลิตเอทานอลอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จึงลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่หากพิจารณากราฟปริมาณเอทานอลพบว่าปริมาณเอทานอลมากที่สุดในวันที่ 3 เนื่องในช่วงแรกของการหมักเป็นช่วงที่เชื้อยีสต์ กำลังปรับตัวกับสารอาหารใหม่ ทำให้ปริมาณเอทานอลในช่วงแรกน้อยมาก เมื่อปรับสภาพในวันที่ 3 ได้จึงเริ่มใช้สารอาหารเพื่อผลิต เอทานอล จากนั้นปริมาณเอทานอลก็เริ่มลดลงเนื่องจากปริมาณสารอาหาร หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง เชื้อยีสต์จึงผลิตเอทานอลได้ปริมาณน้อยลง จนไม่สามารถผลิตเอทานอลได้ เนื่องจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หมด

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับวิธีการปรับสภาพกากมะพร้าว

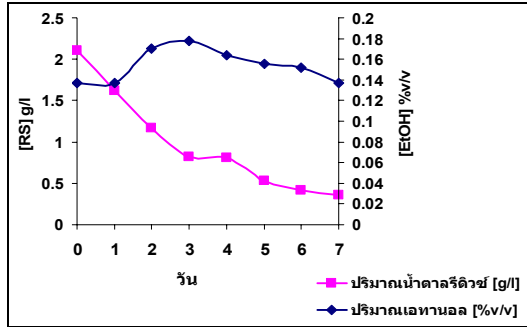
วิธีการปรับสภาพกากมะพร้าว	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)
ไม่มีการปรับสภาพกากมะพร้าว	0.1204
ปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด และเชื้อรา	0.2403
ปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด	2.106

จากตารางข้างต้นพบว่าวิธีการปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด ผลิตเอทานอลให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 วิธี เพราะฉะนั้นจึงเลือกวิธีการปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรด เพื่อนำน้ำหมักที่ได้จากวิธีดังกล่าวไปทำการหมักต่อไป

### 3.2 การศึกษากระบวนการหมักแบบกะ และแบบต่อเนื่อง

จากผลการทดลองนำน้ำหมักที่แยกจากกากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) มาทำการศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการหมักแบบกะ และแบบต่อเนื่อง

#### 3.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการหมักแบบกะ



รูปที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณเอทานอลที่เกิดจากกระบวนการหมัก “กากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรด” แบบกะ เป็นเวลา 7 วัน

ศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการหมักแบบกะ โดยนำน้ำหมักที่แยกจากกากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) มาเติมยีสต์ (มีวิธีการทดลองที่ 2.2.1) เพื่อทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน ได้ผลดังนี้

จาก รูปที่ 6 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลง และปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแบบกะ มีปริมาณสูงสุดในวันที่ 3 ของกระบวนการหมักคือประมาณ 0.18 %v/v ในวันที่ 4-7 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณเอทานอลเฉลี่ย คือ 0.1536 %v/v

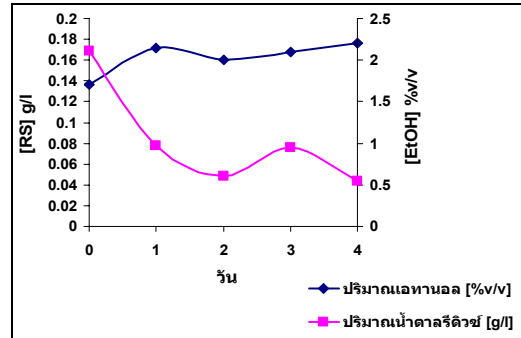
การหมักแบบกะ คือ การเติมสารอาหารให้กับเชื้อจุลินทรีย์เพียงครั้งเดียว ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ก็จะมีสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งการทดลองนี้เป็นการหมักแบบกะ ดังนั้นกราฟแสดงแนวโน้มปริมาณเอทานอล ในช่วงแรก (วันที่ 0-1 ของการหมัก) เป็นช่วงที่เชื้อยีสต์กำลังปรับสภาพ การผลิตเอทานอลจึงน้อยมาก ส่วนช่วงที่ 2 (วันที่ 1-2 ของการหมัก) เป็นช่วงที่เชื้อยีสต์ปรับสภาพให้เข้ากับสารอาหารได้แล้ว ดังนั้นยีสต์จึงมีแนวโน้มในการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในการผลิตเอทานอลได้ดีที่สุด ช่วงที่ 3 (วันที่ 2-3 ของการหมัก) เป็นช่วงที่เชื้อยีสต์มีแนวโน้มในการใช้น้ำตาลรีดิวซ์คงที่ ช่วงที่ 4 (วันที่ 3-7 ของการหมัก) เป็นช่วงที่ปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น สารอาหาร หรือน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มลดลง จึงอาจทำให้เชื้อยีสต์เริ่มตาย หรืออาจเกิดจากการเจือปนของเชื้อจุลินทรีย์ตัวอื่น เช่น Acetobacter ที่ใช้อเอทานอลในการผลิตกรดอะซิติก หรืออาจเกิดจากการระเหยของเอทานอลในระหว่างการเก็บตัวอย่าง

ส่วนกราฟแสดงแนวโน้มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเกิดจากการที่เชื้อยีสต์ใช้

น้ำตาลรีดิวซ์ในการผลิตเอทานอลได้ดี หรืออาจเกิดจากการเจือปนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เอทานอลในการเจริญเติบโต

#### 3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง

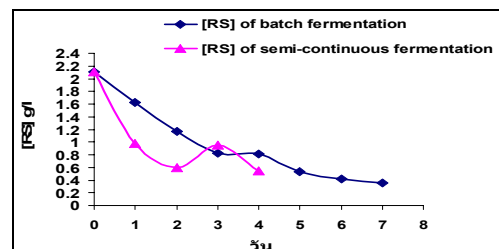
ศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยนำน้ำหมักที่แยกจากกากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) มาเติมยีสต์ (มีวิธีการทดลองที่ 2.2.2) เพื่อทำการหมักในท่อ โดยใช้อัตราการไหล 60 ml/hr ได้ผลดังนี้



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณเอทานอลที่เกิดจากกระบวนการหมัก “กากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรด” แบบกึ่งต่อเนื่อง

จาก รูปที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว และปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยปริมาณเอทานอลเฉลี่ย คือ 0.1625 %v/v

การหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง คือ การเติมสารอาหารให้เชื้อจุลินทรีย์อยู่ตลอดเวลา แล้วทำการหมักแบบกะต่อ ทำให้การหมักมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งการทดลองนี้เป็นการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง หากพิจารณากราฟแสดงแนวโน้มของปริมาณเอทานอล พบว่าเอทานอลมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันแรกของการหมัก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หากเพิ่มปริมาณน้ำหมัก ซึ่งสอดคล้องกับกราฟแสดงแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่วันแรกของการหมัก ซึ่งเกิดจากใช้น้ำตาลรีดิวซ์ของเชื้อยีสต์ในการผลิตเอทานอลได้ดี เนื่องจากมีการไหลเวียนสารอาหารอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เชื้อยีสต์กับน้ำหมักเกิดการสัมผัสกันได้ดีกว่าการหมักแบบกะเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ประหยัดเวลาในการหมัก หากเปรียบเทียบในปริมาณเอทานอลที่เท่ากันการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องจะใช้เวลาสั้นกว่า และการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องให้ปริมาณเอทานอลเฉลี่ยมากกว่าการหมักแบบกะ



รูปที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ของการหมักแบบกะและแบบกึ่งต่อเนื่อง

จาก รูปที่ 8 พบว่าการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง แนวนอนของ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว มากกว่าการหมัก แบบกะ เพราะฉะนั้นการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องเชื้อยีสต์จะสามารถใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในการผลิตเอทานอลได้มีประสิทธิภาพว่าการหมักแบบกะ เนื่องจากมีการไหลเวียนของสารอาหารอยู่ตลอดเวลา

**3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักแบบกะ และการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้เครื่อง Ebulliometer**

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักแบบกะ และแบบกึ่งต่อเนื่อง

แบบการหมัก	Alcohol(%v/v)
Batch	0.4
Semi-Continuous	0.95

จากการวัดปริมาณแอลกอฮอล์เบื้องต้น โดยใช้เครื่อง Ebulliometer พบว่าการหมักกากมะพร้าวแบบกึ่งต่อเนื่องได้ปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่าการหมักแบบกะ

**4. สรุปผลการทดลอง**

**4.1 สรุปการศึกษาการปรับสภาพกากมะพร้าว**

จากการศึกษาการปรับสภาพกากมะพร้าว ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ ไม่มีการปรับสภาพกากมะพร้าว การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรดซัลฟูริกและเชื้อรา *A.niger* การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรดซัลฟูริก โดยได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 การไม่ปรับสภาพกากมะพร้าว พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยมาก เพียง 0.1204 กรัม/ลิตร และเมื่อศึกษาต่อถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอล โดยทำการหมักต่ออีกเป็นเวลา 7 วัน พบว่าได้ปริมาณน้อยมาก จนเครื่องมือวัดไม่สามารถตรวจวัดได้

การทดลองที่ 2 การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรดซัลฟูริกและเชื้อรา *A.niger* พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยเพียง 0.2403 กรัม/ลิตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกากมะพร้าวที่ไม่มีการปรับสภาพ การปรับสภาพแบบนี้จะได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่า และเมื่อศึกษาต่อถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอล โดยทำการหมักต่ออีกเป็นเวลา 7 วัน พบว่าได้ปริมาณเอทานอลน้อยมากจนเครื่องมือวัดไม่สามารถตรวจวัดค่าได้

การทดลองที่ 3 การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรดซัลฟูริก พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่า การทดลองข้างต้นทั้ง 2 แบบ ถึง 2.106 กรัม/ลิตร และสามารถผลิตเอทานอลได้มากที่สุดในวันที่ 3 ของการหมัก คือ 0.18%v/v หลังจากนั้นปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ

สรุป คือ เมื่อเปรียบเทียบการปรับสภาพทั้ง 3 การทดลอง การปรับสภาพกากมะพร้าวด้วยกรดซัลฟูริกเพียงอย่างเดียวจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพกากมะพร้าว

**4.2 สรุปการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหมักเอทานอลจากกากมะพร้าว จากการหมักแบบกะและแบบกึ่งต่อเนื่อง**

ในการศึกษากระบวนการหมักเอทานอลจากกากมะพร้าว ซึ่งใช้น้ำหมักจากการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก 0.75% แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การหมักแบบกะ และการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง

การหมักแบบกะ (โดยใช้กากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดดังวิธีที่ 3.5.1.3) ซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้สูงที่สุดในวันที่ 3 ของการหมัก คือ 0.18 %v/v หลังจากนั้น 3 ของการหมักเอทานอลปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณเอทานอลเฉลี่ย คือ 0.1536 %v/v

การหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง (โดยใช้กากมะพร้าวที่ปรับสภาพด้วยกรด ดังวิธีที่ 3.5.1.3) ซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้สูงสุดคือ 0.18 %v/v ตั้งแต่วันแรกของการหมัก หากทำการหมักต่อไปโดยการเพิ่มปริมาณน้ำหมักจะทำให้ปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น ซึ่งหากพิจารณาจากรูปที่ 4.5 พบว่าเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ก็มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นหมายถึง การที่จุลินทรีย์ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในการเจริญเติบโตได้ดี โดยปริมาณเอทานอลเฉลี่ย คือ 0.1625 %v/v

สรุปการทดลอง การหมักกากมะพร้าวแบบกึ่งต่อเนื่องสามารถผลิตเอทานอลได้ดีกว่าการหมักกากมะพร้าวแบบกะ เนื่องจากสามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณมากกว่าและใช้เวลาสั้นกว่าการหมักแบบกะ และการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องให้ค่าเฉลี่ยปริมาณเอทานอลสูงกว่าการหมักแบบกะด้วย

**4.3 สรุปการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล**

จากการทดลองนี้พบว่ากากมะพร้าวมีความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเอทานอล แต่ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม กากมะพร้าวไม่เหมาะสมในการนำไปผลิตในอุตสาหกรรม เนื่องจากหากต้องการเอทานอล 1 ลิตร จะต้องใช้กากมะพร้าวมากถึง 56 กิโลกรัมของกากมะพร้าวอบแห้ง (โดยใช้วิธีการปรับสภาพที่ 2.1.3 และการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง)

**5. เอกสารอ้างอิง**

[1] [http://www.dld.go.th/nutrition/exhibition/feed\\_stuff/coconut\\_meal.htm](http://www.dld.go.th/nutrition/exhibition/feed_stuff/coconut_meal.htm) วันที่ 4 ก.ค.49  
 [2] อมรรัตน์ เสียงล้ำ, การคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเบียร์จากข้าว, โครงการปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2548  
 [3] สมใจ ศิริโชค, จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. บริษัทพิมพ์ดีดจำกัด, น. 1-28.

- [4] พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์, การผลิตเอทานอลจากเหง้า  
มันสำปะหลัง, รายงานวิจัยปริญาโท ภาควิชาวิศวกรรม  
เคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] ทศนีย์ เจียรพลอนันต์, การผลิตเอทานอลจากขยะเศษ  
อาหาร, รายงานวิจัยปริญาโท สาขาเทคโนโลยี  
สิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545
- [6] อรุณวรรณ นุชพ่วง, การย่อยสลายหญ้าแฝกหอม  
*Vetiveria zizanioides* Nash โดยใช้เชื้อราที่ย่อยสลาย  
เซลลูโลสได้, รายงานวิจัยปริญาโท ภาควิชา  
พฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [7] รัฐพงศ์ ปกแก้ว, การเปรียบเทียบกระบวนการหมักแบบ  
SHF และ SSF เพื่อการผลิตเอทานอลเชื้อเพลิงจากแป้ง  
มันสำปะหลังโดยเชื้อ, รายงานวิจัยปริญาโท สาขาวิชา  
เทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.
- [8] WANG Bo, GE Xu- Meng, LI Ning, BAI Feng-Wu,  
Continuous Ethanol Fermentation Coupled with  
Recycling of Yeast Floccs. Department of Bioscience  
and Bioengineering. Dalian University of Technology.