การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย

Ethanol Production from Sugar Cane Fermentation

[1]อาทิตยา ปาปะไพ, [1]พรธิดา บุญทา, [1]เมทินี เสาสมภพ และ [2*]ชัชญาภา เกตุวงศ์
[1]Artitaya Papaphai, [1]Pornthida Buntha, [1]Methinee Saosompop and [2*]Chatyapha Ketwong
[1]คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
[1]Faculty of Education, Rajabhat Maha Sarakham University.
[2]Faculty of Science and technology, Rajabhat Maha Sarakham University.
*ผู้นิพนธ์หลัก: chatyapha.ke@rmu.ac.th
*Corresponding author: chatyapha.ke@rmu.ac.th
Received : 2020-02-20 **Revised :** 2020-03-22 **Accepted :** 2020-03-29

บทคัดย่อ

การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนด้วยยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก ผลิตเอทานอลแบบ Central Composite Design (CCD) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต ได้แก่ ปริมาณยีสต์ขนมปังหรือลูกแป้งข้าวหมาก ค่าพีเอช และระยะเวลาในการหมัก ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล คือ การหมักด้วยยีสต์ขนมปัง 2.5 กรัม ค่าพีเอชเริ่มต้น 5.5 หมักเป็นเวลา 17 วัน ได้ผลผลิตเอทานอลร้อยละ 24.69 โดยปริมาตร ซึ่งมีต้นทุนในการผลิต 23.653 บาทต่อลิตร

คำสำคัญ : น้ำอ้อย, การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน, เอทานอล, วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง

Abstract

Ethanol production from fermentation of Sugarcane juice under anaerobic conditions using bread yeast and Loog pang khao mak. Producing ethanol from Central Composite Design (CCD). Studying factors affecting production such as the amount of bread yeast or Loog pang khao mak, pH and fermentation times. The result was found that these optimum condition for producing ethanol was at 25 grams of bread yeast, pH

5.5 and marinate for 17 days, giving the greatest amount of ethanol of 24.69 V/V and the production cost is 23.653 baht/lite.

Keyword: Sugar Cane, Anaerobic Respiration, Ethanol, Response surface methodology

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการคมนาคมขนส่งมากขึ้นทำให้ความต้องการพลังงานเชื้อเพลิงมีมากขึ้น ส่งผลให้ราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งมีความต้องการในปริมาณมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้เชื้อเพลิงจากปิโตเลียมของโลกมีปริมาณลดลงและมีแนวโน้มทางราคาสูงขึ้น จนทำให้เกิดภาวะวิกฤติการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นหลายประเทศจึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและการใช้พลังงานอื่น ๆ มาทดแทนเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่ให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานจากผลผลิตทางการเกษตร โดยเป็นทรัพยากรหลักของประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม แหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญของไทย คือ พลังงานจากชีวมวลที่สามารถลดสภาวะสิ่งแวดล้อม และช่วยสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง พลังงานทดแทนที่ประเทศไทยให้ความสำคัญ เช่น เอทานอล เพราะเอทานอลจัดได้ว่าเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี ส่งผลดีต่อเศรษฐกิจภายในประเทศ และยังช่วยลดปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ไร้สารมลพิษ เช่น ซัลเฟอร์ และมีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงทั่วไป

เอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลัก 3 ประการ คือ วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล แป้ง และเซลลูโลส วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ น้ำอ้อย กากน้ำตาล ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรจำพวกธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น และวัตถุดิบประเภทเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด รำข้าว เศษไม้ ขี้เลื่อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น (คณะกรรมาธิการกรมพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร, 2545)

จังหวัดมหาสารคามนับว่ามีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรธรรมชาติ มีการทำการเกษตรที่หลากหลาย ผลผลิตทางการเกษตรมีทั้งจำหน่ายในจังหวัด และส่งออกต่างจังหวัด เช่น ข้าวหอมมะลิ

ทุ่งกุลาร้องไห้ มันสำปะหลัง มันเทศ และอ้อย เป็นต้น ผลผลิตทางการเกษตรตามฤดูกาลมีจำนวนมาก ทำให้ประสบปัญหาผลผลิตล้นตลาด ราคาถูก เช่น อ้อย เป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก จากการสำรวจ 47 จังหวัด จำนวน 12,236,074 ไร่ อ้อยเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีแสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารที่เพียงพอ อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื่น อ้อยเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้ว สามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต ราคาลดลง เนื่องจากมีอ้อยจำนวนมาก ลำต้นอ้อยสามารถนำมาทำน้ำตาลทราย กากน้ำตาล เนื่องจากอ้อยมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบ ใบ ยอด และส่วนของลำต้นที่ยังอ่อนอยู่ใช้เป็นอาหารสัตว์วัวและควายได้โดยตรง

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาน้ำมันเชื่อเพลิงมีราคาสูงขึ้น และมีความต้องการมากขึ้นในทุกปี ทำให้เกิดภาวะวิกฤติการณ์น้ำมัน และอีกปัญหาหนึ่งที่พบในปัจจุบันนี้คือ ผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาด ทำให้ราคาถูก ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเรื่องการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย เป็นการผลิตพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงได้ ใช้อ้อยคุณภาพต่ำ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่อ้อย การศึกษาการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยกระบวนการหมักด้วยยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก หาสภาวะที่เหมาะในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย นำเอทานอลที่ได้มาศึกษาคุณภาพวิเคราะห์ จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ และศึกษาปริมาณวิเคราะห์ด้วยวิธีการไตเตรทเพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอที่ได้จากการหมัก เอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำอ้อยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ผลิตอาหารและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ

วิธีการวิจัย

ตอนที่ 1 การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปัง และลูกแป้งข้าวหมาก

1. นำอ้อยมาปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ปริมาณ 600 กรัม มาปั่นด้วยเครื่องปั่นผลไม้เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบางจะได้ส่วนที่เรียกว่าน้ำอ้อยที่ใช้สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ นำน้ำอ้อยมาให้ความร้อน พร้อมวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วมาปรับค่าพีเอชเริ่มต้นในช่วง 4.5 - 6.0 โดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ในการควบคุมพีเอชเริ่มต้น น้ำอ้อยที่ปรับค่าพีเอชแล้วมาใส่ลงในขวดหมัก ขวดหมักละ 300 มิลลิลิตร

2. การออกแบบกระบวนการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก ดำเนินการโดยใช้เทคนิคพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ 0.5-2.5 กรัม ค่าพีเอช 4.5-6.0 และระยะเวลา 3-17

วัน บันทึกปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร) และค่าเอชที่เปลี่ยนแปลงในแต่วัน เลือกออกแบบกระบวนการผลิตเอทานอลแบบ CCD (Central Composite Design) จากการออกแบบกระบวนการผลิตเอทานอลทำให้ได้สภาวะการผลิตทั้งหมด 25 การผลิต (ต่อ 1 จุลินทรีย์) ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงและระดับทั้ง 3 ปัจจัย ในการออกแบบกระบวนการหมักเอทานอลจากน้ำอ้อย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ช่วงและระดับของปัจจัย				
		-1.68	**-1**	**0**	**1**	**1.68**
จุลินทรีย์ (กรัม)	(X_1)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
ค่าพีเอชค่าพีเอชเริ่มต้น	(X_2)	4.5	4.8	5.0	5.5	6.0
ระยะเวลา (วัน)	(X_3)	3	5	7	10	17

3. นำน้ำอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพ โดยการให้ความร้อนมาทำการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมากปริมาณ 0.5-2.5 กรัม ติดตั้ง Airlock หมักเอทานอลโดยใช้ยีสต์ขนมปัง และลูกแป้งข้าวหมาก เป็นเวลา 17 วัน ที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic fermentation) และทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 3, 5, 10 และ 17 โดยใช้ปิเปตในการเก็บตัวอย่างน้ำหมัก ปริมาตร 25 มิลลิลิตร วัดค่าพีเอชในแต่ละวัน และนำน้ำหมักมาแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ โดยการกลั่นแบบธรรมดา (ครั้งที่ 1) ใช้อุณหภูมิในการกลั่นลำแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำสารที่ได้จากการกลั่นครั้งที่ 1 นำมากลั่นครั้งที่ 2 โดยการกลั่นแบบธรรมดา ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ ใช้อุณหภูมิในการกลั่นแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 78.5 $\pm$ 4 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพวิเคราะห์ และปริมาณวิเคราะห์ของเอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำอ้อย

1. ศึกษาคุณภาพวิเคราะห์ของเอทานอล จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ นำน้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอล ที่ผ่านกระบวนการกลั่นแบบธรรมดาครั้งที่ 2 มาหยดลงในกระจกนาฬิกา 2-3 หยด แล้วจุดไฟ

วิธีการไตเตรท

1.1 การเตรียมสารเคมี สารละลายไดโครเมต เตรียมโดยนำโพแทสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.613 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดซัลฟิริกเข้มข้น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) จำนวน 0.744 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำแป้งละลายแป้ง 1.0 กรัม ลงในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปต้มจนแป้งละลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ละลายโพแทสเซียม ไอโอไดด์ 7 กรัม ในน้ำ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล ปิเปตสารละลายที่กลั่นครั้งที่ 2 มา 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลายไดโครเมต 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดรูปชมพู่ นำไปบ่มไว้ในน้ำอุ่น อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที หลังจากนั้นปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 มิลลิลิตร แล้วหยดน้ำแป้ง 2-3 หยด นำมาไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตไตเตรทจนได้จุดยุติเปลี่ยนจากสีเขียวอมฟ้าเป็นสีน้ำเงินอ่อนหรือสีฟ้า โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

1.3 วิธีการคำนวณปริมาณเอทานอล

ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)

$$= 25 - (25 \times A/B)$$

ในเมื่อ A หมายถึง ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตไตรทเอทานอล (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

B หมายถึง ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไตไตรท blank (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ตอนที่ 3 การหาความคุ้มค่าและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปัง และลูกแป้งข้าวหมาก

1. การประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการผลิตนำรายละเอียดแต่ละกระบวนการมาเปรียบเทียบกระบวนการผลิต โดยคำนึงถึงต้นทุนการผลิต เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการ

2. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล โดยใช้กราฟเส้นเปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก ซึ่งแกน Y คือ อัตราการผลิตเอทานอล และแกน X คือ ระยะเวลา (วัน) และคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตเอทานนอล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. คุณภาพวิเคราะห์ของเอทานอล จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยนำน้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมัก เอทานอลที่ผ่านกระบวนการกลั่นแบธรรมดาครั้งที่ 2 มาหยดลงในกระจกนาฬิกา 2-3 หยด แล้วจุดไฟผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบคุณภาพวิเคราะห์ของเอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำอ้อยด้วยยีสต์ขนมปัง และลูกแป้งข้าวหมาก จากปฏิกิริยาการเผาไหม้

จุลินทรีย์	ระยะเวลา (วัน)							
	3		5		10		17	
	ติดไฟ (การผลิต)	ไม่ติดไฟ (การผลิต)	ติดไฟ (การผลิต)	ไม่ติดไฟ (การผลิต)	ติดไฟ (การผลิต)	ไม่ติดไฟ (การผลิต)	ติดไฟ (การผลิต)	ไม่ติดไฟ (การผลิต)
ยีสต์ขนมปัง	-	25	-	25	1	24	1	24
ลูกแป้งข้าวหมาก	-	25	-	25	-	25	-	25

หมายเหตุ : เครื่องหมาย - แสดงว่า ไม่พบผลที่เกิดจากปฏิกิริยา

จากตารางที่ 2 พบว่าการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก การออกแบบสภาวะการผลิตได้ทั้งหมด 50 การผลิต ปริมาณจุลินทรีย์ 0.5-2.5 กรัม ค่าพีเอช 4.5-6.0 และระยะเวลา 3-17 วัน เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดทำการเก็บตัวอย่างในน้ำหมัก นำน้ำหมักมาแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ โดยการกลั่นแบบธรรมดา 2 ครั้ง หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพวิเคราะห์ จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยนำน้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอลที่ผ่านกระบวนการกลั่นแบบธรรมดาครั้งที่ 2 มาหยดลงในกระจกนาฬิกา 2-3 หยด แล้วจุดไฟ พบว่า

น้ำหมักที่ได้จากการหมักน้ำอ้อยด้วยยีสต์ขนมปังที่ทำการเก็บตัวอย่างของน้ำหมักแล้วนำไปกลั่น 2 ครั้ง ติดไฟเฉพาะวันที่ 15 และวันที่ 17 ของการหมัก ติดไฟ 1 สภาวะการผลิต คือ สภาวะการผลิตที่ 15

น้ำหมักที่ได้จากการหมักน้ำอ้อยด้วยลูกแป้งข้าวหมากทำการเก็บตัวอย่างของน้ำหมักแล้วนำไปกลั่น 2 ครั้ง ไม่ติดไฟทั้งหมด

2. ปริมาณวิเคราะห์ของเอทานอล โดยวิธีการไตเตรท นำน้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมักเอทานอล ที่ผ่านกระบวนการกลั่นแบบธรรมดาครั้งที่ 2 แล้วมาวิเคราะห์หาปริมาณของเอทานอลโดยวิธีการไตเตรท แล้วคำนวณหาปริมาณเอทานอล ผลเฉลี่ยที่ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลเฉลี่ยการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก

ระยะเวลา (วัน)	เอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	
	ยีสต์ขนมปัง	ลูกแป้งข้าวหมาก
3	10.39	6.64
5	11.96	8.43
10	14.09	9.53
17	17.12	10.82

จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้และต้นทุนในการผลิตเอทานอลทั้ง 2 วิธี พบว่าการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังได้ผลผลิตเอทานอลมากที่สุด 24.69 กรัมต่อลิตร และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำสุด 18.999 บาทต่อลิตร

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการผลิต แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการผลิต

รายการ	ยีสต์ขนมปัง	ลูกแป้งข้าวหมาก
ข้อดี	1. สามารถหาซื้อได้ง่าย 2. ให้ผลผลิตเอทานอลมากกว่าลูกแป้งข้าวหมาก	1. สามารถหาซื้อได้ง่าย

รายการ	ยีสต์ขนมปัง	ลูกแป้งข้าวหมาก
ข้อดี	3. ใช้เวลาในการหมักน้อยกว่าลูกแป้งข้าวหมาก	
ข้อเสีย	1. ใช้ปริมาณยีสต์ขนมปังมากกว่าลูกแป้งข้าวหมาก	1. ใช้ระยะเวลาในการหมักมากกว่าลูกยีสต์ขนมปังทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

3. ความคุ้มค่าและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก

การประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ และการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการผลิต สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล คือ สภาวะการผลิตที่สามารถผลิตเอทานอลได้มากที่สุด ซึ่งการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปัง สภาวะที่เหมาะสม คือ สภาวะการผลิตที่ 15 และการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ลูกแป้งข้าวหมาก สภาวะที่เหมาะสม คือ สภาวะการผลิตที่ 19

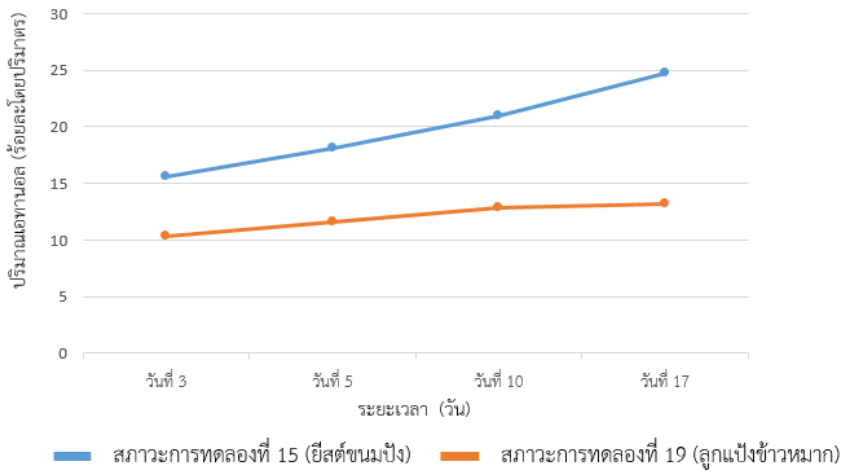
การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปัง สภาวะการผลิตที่ 15 ใช้ยีสต์ขนมปัง 2.5 กรัม ค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 5.0 และใช้ระยะเวลาในการหมัก 17 วัน ได้ปริมาณเอทานอลร้อยละ 24.69 โดยปริมาตร

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปัง สภาวะการผลิตที่ 15 ใช้ระยะเวลาการหมัก 3-17 วัน ได้ปริมาณเอทานอลสูงสุดในวันที่ 17 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลร้อยละ 24.69 โดยปริมาตร และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ลูกแป้งข้าวหมาก สภาวะการผลิตที่ 19 ใช้ระยะเวลาการหมัก 3-17 วัน ได้ปริมาณเอทานอลสูงสุดในวันที่ 17 ของการหมัก ปริมาณเอทานอลร้อยละ 13.13 โดยปริมาตร

ตารางที่ 5 การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยในสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ยีสต์ขนมปัง และลูกแป้งข้าวหมาก

รายการ	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง (สภาวะการทดลองที่ 15)	3	15.63
	5	18.13
	10	20.94
	17	24.69
หมักด้วยลูกแป้งข้าวหมาก (สภาวะการทดลองที่ 19)	3	10.31
	5	11.56
	10	12.81
	17	13.13

จากตารางที่ 5 สามารถนำผลมาเปรียบเทียบแสดงเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่1 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังและลูกแป้งข้าวหมาก

จากกราฟจะเห็นได้ว่า การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยในสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ยีสต์ขนมปัง และลูกแป้งข้าวหมาก มีการผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป

การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปัง ในสภาวะที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่าอัตรากรผลิตมากกว่าการผลิตเอทานอลจากหมักน้ำอ้อยโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมาก เนื่องจากยีสต์ขนมปังใช้ระยะเวลาทำปฏิกิริยากับน้ำอ้อยน้อยกว่าลูกแป้งข้าวหมาก จึงเป็นผลทำให้การหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปังผลิตเอทานอลได้มากกว่าการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ลูกแป้งข้าวหมากในสภาวะเดียวกันและระยะเวลาเท่ากัน

สรุปผลการวิจัย

1. คุณภาพวิเคราะห์ของเอทานอล จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผลการวิจัยอาจจะอาจจะยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากการวิเคราะห์คุณภาพวิเคราะห์ของเอทานอล ในการกลั่นครั้งที่ 1 นำมาตรวจสอบคุณภาพวิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาการเผาไหม้ ผลการวิจัยพบว่าไม่ติดไฟทั้งหมด จึงนำไปกลั่นครั้งที่ 2 เนื่องจากเอทานอลกับน้ำแยกออกจากันได้ยาก เพราะว่ามีจุดเดือดที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำมาตรวจสอบคุณภาพวิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาการเผาไหม้ ผลการวิจัยพบว่าในวันที่ 3 และวันที่ 5 ของการหมัก ไม่ติดไฟทั้งหมด เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยระหว่างน้ำอ้อย (น้ำตาล) กับจุลินทรีย์ ทำให้เกิดเอทานอลในปริมาณน้อยมาก ซึ่งในวันที่ 7 ของการหมักอ้อย (น้ำตาล) จะทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ได้ในปริมานมากขึ้น ทำให้ได้ปริมาณเอทานอลมากกว่าในวันที่ 3 และวันที่ 5 ในสภาวะการทดลองเดียวกัน ในวันที่ 10 และวันที่ 17 ของการหมัก ติดไฟบางสภาวะการทดลอง เนื่องจากการกลั่นครั้งที่ 2 ก็ยังไม่สามารถแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

2. ปริมาณวิเคราะห์ของเอทานอล โดยวิธีการไตเตรท จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผลการวิจัยอาจจะยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย ไม่ได้วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำอ้อย ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำอ้อยจะส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ จึงทำให้ผลการผลิตเอทานอลเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และการผลิเอทานอลต้องผ่านกระบวนการกลั่นแบบธรรมดาและการไตเตรท มีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ อาจเกิดความคาดเคลื่อนจากการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย เนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์มีการใช้งานมานานการล้างอุปกรณ์ไม่สะอาดจึงทำให้ผลการวิจัยคาดเคลื่อน ซึ่งการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อยโดยใช้ยีสต์ขนมปังมีการผลิตเอทานอลมากกว่าการใช้ลูกแป้งข้าวหมาก ในสภาวะการทดลองเดียวกันยีสต์ขนมปังทำปฏิกิริยากับน้ำอ้อย (น้ำตาล) ได้ดีกว่าลูกแป้งข้าวหมาก

3. การประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการผลิต การประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแต่ละกระบวนการผลิต ในแต่ละสภาวะการทดลองใช้ปริมาณจุลินทรีย์ค่าพีเอช และระยะเวลาในการหมักไม่เท่ากัน จึงทำให้ผลผลิตและต้นทุนในการผลิตเอทานอลได้ไม่

เท่ากัน การผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังจะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการใช้ลูกแป้งข้าวหมาก และให้ผลผลิตมากกว่า

4. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังได้ผลผลิตเอทานอลร้อยละ 24.69 โดยปริมาตร และมีต้นทุนในการผลิต 18.999 บาทต่อลิตร และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ลูกแป้งข้าวหมาก ให้ผลผลิต เอทานอลร้อยละ 13.13 โดยปริมาตร และมีต้นทุนในการผลิต 23.653 บาทต่อลิตร จึงสรุปได้ว่าการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำอ้อย โดยใช้ยีสต์ขนมปังมีสภาวะที่เหมาะสมกว่าการใช้ลูกแป้งข้าวหมาก เพราะว่ายีสต์ขนมปังใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับน้ำอ้อยน้อยกว่าลูกแป้งข้าวหมากทำให้ได้ผลผลิตเอทานอลมากว่า และมีต้นทุนในการผลิตน้อยกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. การกลั่นเอทานอลให้บริสุทธิ์ควรใช้วิธีการกลั่นแบบรีฟลักซ์ เนื่องจากเอทานอลและน้ำมีจุดเดือดที่ใกล้เคียงกัน

2. ในขั้นตอนการหมักควรศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ระหว่างทำการหมัก เนื่องจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์

3. งานวิจัยครั้งต่อไปควรทำการผลิเอทานอลจากการหมักวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว เพื่อใช้วัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง อาจารย์ประจำวิชาที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบการเขียนโครงร่างการวิจัย การเขียนรายงานการวิจัยที่ถูกต้องตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาเคมีทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านวัสดุอุปกรณ์และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กนกกานต์ ศรีนุ่น, สินินาฏ จงคง และศิรินันท์ พ่วงพี. (2559). *การผลิตไบโอเอทานอลจากน้ำหวานสดจากต้นจากโดยใช้ยีสต์ขนมปัง.* สงขลา: ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2549). *การพัฒนาการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงการย่อยแป้งดิบด้วยเอนไซม์*. กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กาญจณา ขันทกะพันธ์ และเยาวภา สุขพรมา. (2559). *การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์จากขิง โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง.* [online] http:// journal. hcu.ac.th/pdffile.pdf [22 กรกฎาคม 2562]

เกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัย (2562). แยกสารโดยการกลั่นอย่างง่าย. [online] https://web. ku.ac.th /schoolnet/snet5/distill.html [22 กรกฎาคม 2562]

เกษม สุขสถาน, อุดม พลเกษ และบัญญัติ โกมลวาจ. (2520). *พันธุ์อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

โกสินทร์ ทีปรักษพันธ์, ณิชา ประสงค์จันทร์ และนพดล โพชกำเนิด. (2562). *การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นผลตาลโตนดสุกด้วยลูกแป้งข้าวหมากและลูกแป้งสาโท*. [online] https://www.tcithaijo.org›index.php›rmutk›article› download [22 กรกฎาคม 2563].

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 12). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล โตอ่อน. [ม.ป.ป.]. *การหมักเอทานอล.* [online] http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/ 2553/3050/7/272536ch1.pdf [22 กรกฎาคม 2562]

นวภัทร นวกะคาม, ปรียา แก้วนารี, เอมอร บัวศรี และวัลยา มงคลสวัสดิ์ (2560). *การผลิตเอทานอลจากน้ำอ้อยโดยใช้เชื้อ Clostridium acetobutylicum TISTR 1462*. [online] https://www.tcithaijo.org/index.php/kuengj/article/ view/97420 [22 กรกฎาคม 2562]

พืชเกษตร. (2559). *ลูกแป้ง/แป้งข้าวหมาก และวิธีทำลูกแป้ง*. [online] https://puechkaset.com [22 กรกฎาคม 2562]

มยุรา ศรีกัลยานุกูล. (2560). *การผลิตเอทานอลจากแป้งมันฝรั่งที่เป็นของเหลือทิ้งด้วยกระบวนการหมักแบบ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)*. [online] www.secretary.science.mju.ac.th›wtms_documentDownload [22 กรกฎาคม 2563]

เมดไทย. (2560). *สรรพคุณและประโยชน์ของต้นอ้อย 88 ข้อ.* [online] https://medthai.com [22 กรกฎาคม 2562]

วุฒิ จุฬาลักษณานุกูล. (2558). *เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. [ม.ป.ป.]. *การกลั่น.* [online] https://th.wikipedia.org/wiki/การกลั่น [22 กรกฎาคม 2563]

วิจิตร เอื้อประเสริฐ และคณะ. (2554). *คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์.* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์, จิราภรณ์ แก้วใสแสง และรัชพล พะวงศ์รัตน์ (2557). *ศักยภาพของปอคิวบาในการผลิตเอทานอลโดยยีสต์สายพันธุ์ Saccharomyces cerevisiae TISTR 5019*. [online] http://paj.rmu.ac.th/journal/home/journal_file/38.pdf [22 กรกฎาคม 2562]

ศิรินันท์ พ่วงพี. (2558). การผลิตไบโอเอทานอลจากน้ำหวานจากด้วยกระบวนการแบบกะ. [online] https://core.ac.uk›download›pdf [22 กรกฎาคม 2562]

สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย. [ม.ป.ป.]. *กระบวนการผลิตเอทานอล.* [online] http://www.thai-ethanol.com/th/2013-04-06-13-53-49/production-process-ethanol [22 กรกฎาคม 2562]

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. (2558). *การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. [ม.ป.ป.]. *พันธุ์อ้อย.* [online] kanchanapisek.or.th›sub› book› book [22 กรกฎาคม 2562]

สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. (2560). เอทานอล จากพืชสู่พลังงานสะอาดเอทานอล. [online].Available: https://gnews.apps.go.th/news?news=2316 [22 กรกฎาคม 2562]

อลิศรา เรืองแสง. (2562). *เชื้อเพลิงชีวภาพและชีวเคมีภัณฑ์โดยจุลินทรีย์.* ขอนแก่น : คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อังษรภัค เต็งรัง. (2557). *การผลิตไบโอเอทานอลจากเปลือกสับปะรดด้วยยีสต์ขนมปัง.* [online] http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9971 [22 กรกฎาคม 2562]

Amki Green. (2561). *หน้าที่ของยีสต์ในขนมปัง*. [online] https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/69378/-blo- sciche-sci [2019, กรกฎาคม 22]