

ศึกษาการผลิตเอทานอลจากกาบมะพร้าว

The study of ethanol production from coconut husk

สิริธร คำพิระธรรม, อัจฉรา ใจดี*

Sirithon Khamphiratham, Atchara Jaidee*

โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

Chemistry, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, 62000

*Corresponding author E-mail: Atchara.KPRU@gmail.com

(Received: Feb3, 2023; Revised: May20, 2023; Accepted: May22, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเอทานอลจากกาบมะพร้าว โดยผู้วิจัยได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 4, 7 และ 10 โดยปริมาตร ในการย่อยกาบมะพร้าวเพื่อผลิตเอทานอล พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกาบมะพร้าวโดยชุดรีฟลักซ์ภายใต้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 19.60 ± 0.08 กรัมต่อลิตร จากนั้นหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* กลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกเอทานอล และวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ได้ด้วยวิธีตรวจวัดความหนาแน่น พบว่าผลิตเอทานอลได้ ร้อยละ 0.67 ± 0.02 โดยปริมาตร

คำสำคัญ: กาบมะพร้าว ไบโเอทานอล เอทานอล *Saccharomyces cerevisiae* น้ำตาลรีดิวซ์

Abstract

The objective of this research was to study the ethanol production process from coconut husk. In this study, the effect of acid hydrolysis using sulfuric acid 4, 7 and 10 % (v/v) on ethanol production was studied. The optimal condition for maximum ethanol yield uses sulfuric acid 4 % (v/v) in temperatures 121°C for 2 hours. The total reducing sugars obtained from this process was 19.60 ± 0.08 g/L and submitted to ethanol fermentation with commercial yeasts of *Saccharomyces cerevisiae*. The ethanol is separated from the fermentation using fractional distillation and determined the concentration by measuring the density. The maximal ethanol concentration of fermentation was 0.67 ± 0.02 % (v/v).

Keywords: Coconut fiber, Bioethanol, Ethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, Reducing sugar

บทนำ

ในปัจจุบันเจลแอลกอฮอล์สำหรับล้างมือมีความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ซึ่งระบาดครั้งแรกที่เมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย์ ประเทศจีน จากนั้นแพร่ระบาดไปหลายพื้นที่ในประเทศจีนและประเทศอื่น ๆ รวมถึงประเทศไทยด้วย การติดเชื้อไวรัสดังกล่าวในระบบทางเดินหายใจส่งผลให้เกิดโรคปอดอักเสบและพบรายงานผู้ป่วยเสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 นี้ ทำให้ประชาชนตื่นตัวในด้านการดูแลสุขภาพเบื้องต้น [1] จึงมีการณรงค์ให้มีการล้างมือบ่อย ๆ เพื่อเป็นแนวทางหนึ่ง ในการช่วยลดการแพร่กระจายของเชื้อโรคดังกล่าว โดยการใช้สบู่หรือเจลล้างมือ

เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเจลล้างมือคือเอทานอล [2] ซึ่งมีสมบัติในการทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ก่อโรคได้หลากหลายชนิดทั้งแบคทีเรีย รา และเชื้อไวรัส สามารถป้องกันได้ทันทีหลังการใช้ และป้องกันได้ในระยะเวลานาน [3] ซึ่งต้องมีระดับความเข้มข้นของเอทานอลในช่วงร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนักจึงจะได้ผล [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2555) คัดเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสจากเกณฑ์ ปริมาณเซลลูโลส กระบวนการผลิตที่ให้ผลผลิตเอทานอลมาก และปริมาณวัตถุดิบพบว่าวัสดุที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกที่จะนำมาใช้ ได้แก่ ชานอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว กระบวนการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสมีกระบวนการเกิดปฏิกิริยา ประกอบด้วย การย่อยสลายเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส แล้วหมักน้ำตาลกลูโคสด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* จากนั้นนำมาผ่านการกลั่นและแยกน้ำออกจนได้เป็นเอทานอล สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากฟางข้าว ชานอ้อย และชังข้าวโพดได้ปริมาณ 9.78, 9.02 และ 8.74 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำตาลรีดิวซ์ของฟางข้าว ชานอ้อย และ ชังข้าวโพด ได้แก่ 1.71, 1.38 และ 1.79 กรัมต่อลิตร [5] ในขณะที่ พิลานี ไวณอมสัจย์ (2553) สามารถผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมะพร้าวได้ 22.80 กรัมต่อลิตร และพบว่าผลผลิตเอทานอลที่ได้สูงสุดคือร้อยละ 21.21 เมื่อเทียบกับน้ำหนักเยื่อกากมะพร้าวเริ่มต้น [6] จากงานวิจัยของอภิสร่า แซ่จันท์ (2560) ที่ได้ศึกษาการปรับสภาพฟางข้าวด้วยกรด พบว่าการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 9.5 กรัมต่อลิตร [7] และในงานวิจัยของขวัญสุดา อนุอัน (2549) นำวัสดุเหลือทิ้งอย่างชานอ้อยมาย่อยเอนไซม์เซลลูเลสด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 14.93 กรัมต่อลิตร [8] จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นพบว่าสามารถใช้กรดซัลฟิวริกในกระบวนการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสเพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ได้และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานั้น

ในงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตเอทานอลจากกากมะพร้าวโดยวิธีการย่อยกากมะพร้าวในกรดซัลฟิวริกโดยชุดรีฟลักซ์ หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยเทคนิค Dinitrosalicylic acid (DNS Method) จากนั้นหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และวิเคราะห์ปริมาณของเอทานอลที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วนและตรวจวัดความหนาแน่น

วิธีการดำเนินการวิจัย

การปรับสภาพกากมะพร้าว [8]

เก็บตัวอย่างกากมะพร้าวแห้งจากตำบลคณที อำเภอมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร มาบดละเอียด ซึ่งน้ำหนักกากมะพร้าวที่ได้จากการบด 150 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร จำนวน 5 ลิตร เป็นเวลา 90 นาที นำกากมะพร้าวมาล้างน้ำกลั่น และทดสอบน้ำหลังการล้างด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์จนกระทั่งมีค่าพีเอชเป็นกลาง นำกากมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพเข้า

เตาอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากได้กาบมะพร้าวแห้งนำไปเก็บไว้ในถุงซิปล็อค จนกว่าจะใช้งาน

การย่อยกาบมะพร้าวในกรดซัลฟิวริกด้วยชุดรีฟลักซ์

นำกาบมะพร้าวหลังการปรับสภาพมาย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 4, 7 และ 10 โดยปริมาตร อัตราส่วนตัวอย่างต่อกรดเป็น 1:10 ด้วยวิธีรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บสารละลายที่ได้ใส่ขวดปิดฝาให้สนิท (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) และปรับค่าพีเอชเป็น 5-5.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.0038 โมลาร์ เก็บใส่ขวดปิดฝาให้สนิท จะได้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (RD4), 7 (RD7) และ 10 (RD10) โดยปริมาตร

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การเตรียมกราฟมาตรฐานกลูโคส

เตรียมสารละลาย Dinitrosalicylic Acid (DNS) โดยผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กับ 3, 5-Dinitrosalicylic Acid ปริมาณ 0.5 กรัม จากนั้นเติมโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต (Sodium Potassium Tartrate) ปริมาณ 15 กรัม นำไปอุ่นและกวนกระทั่งละลายหมด เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย DNS เก็บรักษาไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่ความเข้มข้นที่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัมต่อลิตร โดยใช้ น้ำที่ปราศจากไอออน (Deionize Water) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่เตรียมไว้เติมสารละลาย DNS ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำหลอดทดลองไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (Wavelength) 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง

ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.2 - 0.4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง สำหรับหลอดควบคุมใช้น้ำกลั่นแทน เติมน้ำกลั่นเติมสารละลาย DNS ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบ ผสมให้เข้ากันนำหลอดทดลองไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาทีทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์จากกราฟมาตรฐานกลูโคส

กระบวนการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* [9]

แช่ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ผสมสารตัวอย่างที่ได้จากการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กับยีสต์ในอัตราส่วนของยีสต์ต่อสารตัวอย่างเป็น 1:9 หมักเป็นระยะเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (27-28 องศาเซลเซียส) ในภาชนะปิดฝาเกลียว และหมุนฝาเกลียววันละ 1 ครั้งเพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อครบกำหนดการ

หมักเอทานอล นำไปแช่ตู้เย็นเพื่อหยุดการทำงานของยีสต์ นำสารละลายที่ได้จากการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* มากลั่นลำดับส่วนที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส และเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นในขวดแก้วปิดฝาให้สนิท

การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

การเตรียมกราฟมาตรฐานเอทานอล

เตรียมสารละลายมาตรฐานเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 0, 10, 20, 30, 80 และ 100 โดยปริมาตร (%v/v) ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 5 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักสารละลายมาตรฐานเอทานอลด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณค่าความหนาแน่น ในหน่วยกรัมต่อมิลลิลิตร (g/mL) และสร้างกราฟมาตรฐานเอทานอลระหว่างความหนาแน่น (แกน y) กับความเข้มข้นเอทานอล (แกน x)

การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลของสารตัวอย่าง

นำสารตัวอย่างที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนใสในขวดวัดปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่ง คำนวณค่าความหนาแน่นของสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วน นำค่าความหนาแน่นที่ได้ไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานเอทานอล

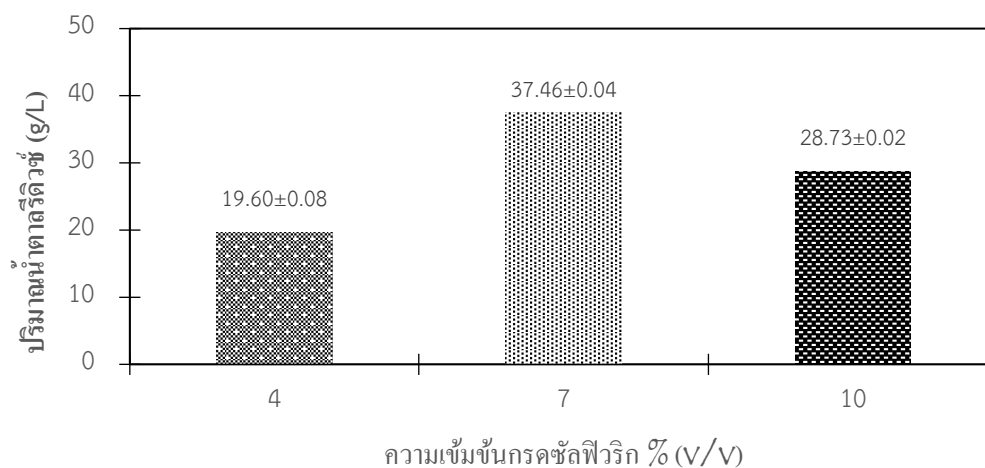
ผลการวิจัย

ผลการปรับสภาพกากมะพร้าว

ผลการปรับสภาพกากมะพร้าว 150 กรัมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3 โดยมวลต่อปริมาตร ได้เส้นใยร้อยละ 26 ของน้ำหนักกากมะพร้าว และมีลักษณะทางกายภาพเป็น絮絲น้ำตาลละเอียดแห้ง น้ำหนักเบา มีขนาดเท่าเม็ดทราย

ผลการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมะพร้าว

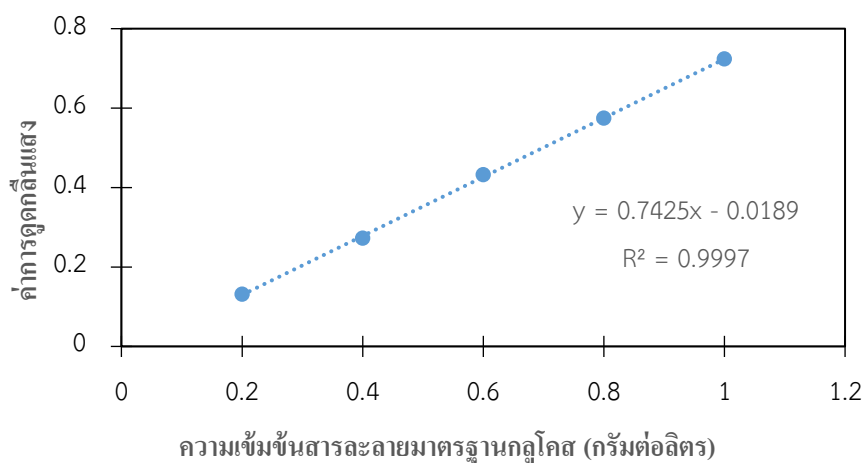
ผลการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมะพร้าวด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 4, 7 และ 10 โดยปริมาตร ด้วยชุดรีฟลักซ์ ภายใต้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยปริมาตร ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเป็นร้อยละ 10 โดยปริมาตร พบว่าได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง นอกจากนี้พบว่าการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่ำสุดร้อยละ 4 โดยปริมาตร ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยที่สุด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ผลการสร้างกราฟมาตรฐานกลูโคส

กราฟมาตรฐานกลูโคสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS Method ที่เข้มข้น 0.2 – 1.0 กรัมต่อลิตร มีค่า $R^2 = 0.9997$ แสดงดังภาพที่ 2

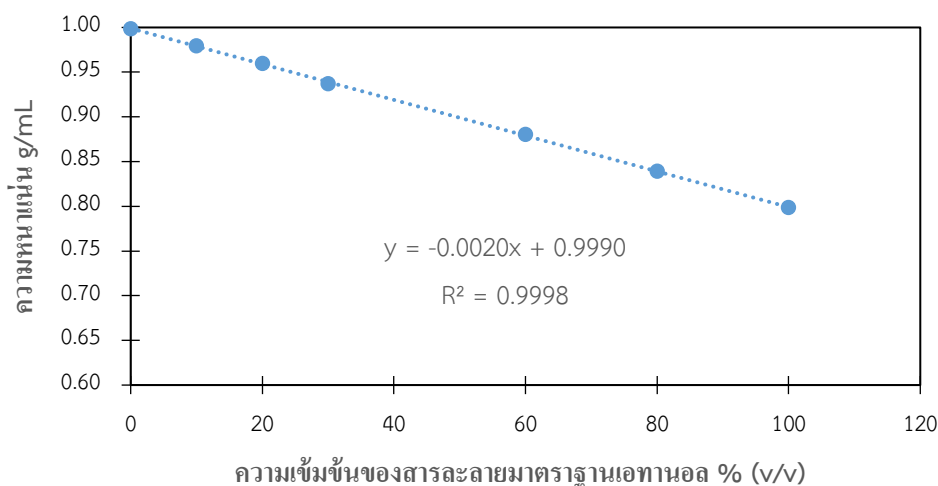


ภาพที่ 2 กราฟแสดงสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานกลูโคสที่ 540 นาโนเมตร

ผลการศึกษาปริมาณของเอทานอลที่ได้จากการหมักด้วยวิธีกลั่นและตรวจวัดความหนาแน่น

ผลการทำกราฟมาตรฐานเอทานอล

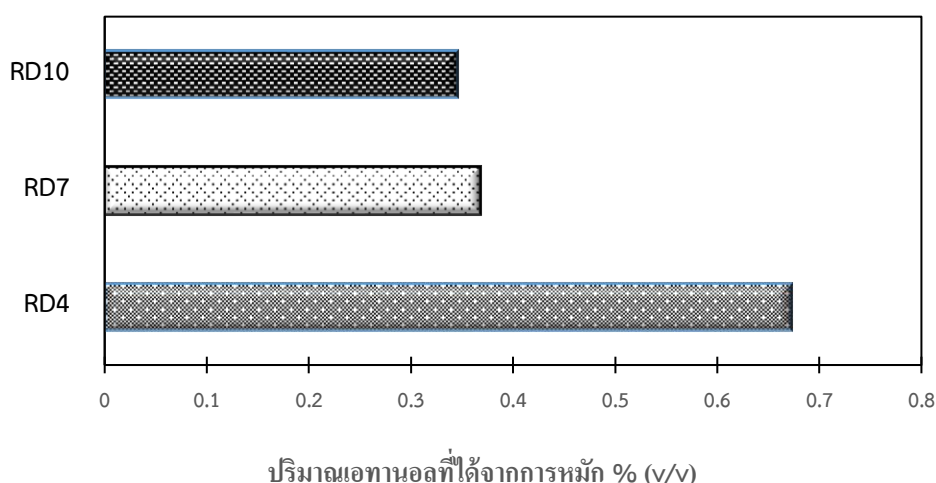
ผลการสร้างกราฟมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 10, 20, 30, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตร มีค่า $R^2 = 0.9998$ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสารละลายมาตรฐานเอทานอล

ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักกาบมะพร้าว

จากการหมักกาบมะพร้าวที่ถูกย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าตัวอย่าง RD4 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุด (19.60 ± 0.08 กรัมต่อลิตร) แต่ให้ปริมาณเอทานอลสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.67 โดยปริมาตร ในขณะที่ตัวอย่าง RD7 และ RD10 พบปริมาณเอทานอลน้อยกว่า ดังภาพที่ 4 เนื่องจากกระบวนการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้ต้องมีการเติมเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากขึ้นเพื่อให้น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้อยู่ในสารละลายที่มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักด้วยยีสต์ ส่งผลให้ความเข้มข้นของไอออนโซเดียม (Na^+) ที่สูงเกินไปและเกิดการยับยั้งการเจริญและการหมักเอทานอลของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* [10]



ภาพที่ 4 แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักน้ำตาลรีดิวซ์จากกาบมะพร้าว

สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษากระบวนการย่อยกากมะพร้าวเพื่อผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เข้มข้น 19.60 ± 0.08 กรัมต่อลิตร ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิห้องให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดคือร้อยละ 0.67 $\pm$ 0.02 โดยปริมาตร ซึ่งร้อยละของเอทานอลที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้สูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกากมะพร้าวในผลงานวิจัยของกาญจนา และคณะ (2008) [11] ที่รายงานว่าสามารถผลิตเอทานอลได้ร้อยละ 0.18 โดยปริมาตร และเมื่อเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการใช้กากมะพร้าวอบแห้งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรในงานวิจัยนี้ จะต้องใช้กากมะพร้าวอบแห้ง 19 กิโลกรัม ในขณะที่ผลงานวิจัยของกาญจนา และคณะ (2008) [11] พบว่าการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จะต้องใช้กากมะพร้าวมากถึง 56 กิโลกรัม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ สารเคมี เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการทางเคมีในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2563). *ไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019 กับแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อโรค*. สืบค้นจาก http://healthydee.moph.go.th/view_article.php?id=994
- [2] ชีรภัทร ศรีนรคุตร. (2551). เชื้อเพลิงเอทานอลจากวัสดุการเกษตร. *วารสารแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ของคนไทยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(3), 5-8.
- [3] แก้วกัลยา โสติดิสวัสดิ์, อรสา จันทร์ลือชัย และ รัชมี คะมุง. (2019). การปรับสภาพเปลือกข้าวโพด และกากมะพร้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์. *Science and Technology RMUTT Journal*, 9(1), 1-9.
- [4] McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptic and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147-179.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (มกราคม 2555). *โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์*. สืบค้นจาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/2.รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร.pdf>

- [6] พิลานี ไวนอมสตัย, วราภรณ์ อภิวัฒนาภิวัด, นันทยา ชุ่มชื่น, วุฒินันท์ คงทัด, และสาริมา สุนทรารชุน. (2553). การผลิตเอทานอลจากกากมะพร้าวโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสและหมักแยกขั้นตอนและกระบวนการไฮโดรไลซิสและหมักรวมขั้นตอน [การนำเสนอ]. ใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (น. 349-356). กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.
- [7] อภิสรา แซ่จันท์. (2560). การปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายกรดและด่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายด้วยเอนไซม์สำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลโดยการหมักแบบแยกกระบวนการผลิต. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยแม่โจ้, MJU E-THESIS. สืบค้นจาก http://mdc.library.mju.ac.th/thesis/2561/apisara_saejun/fulltext.pdf
- [8] ขวัญสุตา อนุอัน. (2549). การย่อยขานอ้อยด้วยวิธีทางเคมีเพื่อการผลิตเอทานอล. (วิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, คณะเทคโนโลยี.
- [9] Ahmed T. H. A., & Phaff, H. J. (1968). Exo- β -glucanases in Yeast. *Biochemical Journal*, 109(3), 347-360.
- [10] สาวิตรี ลิ้มทอง, Toshiomi Yoshida, Tatsuji Seki, มาลี สุวรรณอรรถ และ Hisaharu Taguchi. (2529). อิทธิพลของเกลืออนินทรีย์บางชนิดต่อการเจริญและการหมักแอลกอฮอล์ของ *Saccharomyces cerevisiae* AM12. *วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์)*, 20(2), 186-197.
- [11] กาญจนา พานแก้ว, จิฎาภา ศรีภิรมย์, ธนากร คำยหนองสรวง, พุทธพร แสงเทียน และ นาเรรัตน์ มูลใจ (2008, October 20-21). การผลิตไบโอเอทานอลจากกากมะพร้าว [เอกสารนำเสนอ]. ใน *The 18th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference*, Pattaya Thailand. สืบค้นจาก http://app.eng.ubu.ac.th/~app/resproject/upload/p1/12.paper_l_pirat.2552.pdf