

การใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากสับปะรดสำหรับผลิตเอทานอล

A study of Ethanol Production

Using Agricultural Waste from Pineapples

โสภิตพร ศิลปภิรมย์สุข¹, อภิศักดิ์ จักรบุตร², เยาวเรศ ชูศิริ³, ศิวะ ตั้งประเสริฐ⁴,
สมศักดิ์ กำทอง⁵ และธีราภรณ์ พรหมอนันต์^{6*}

Sopittaporn Sillapapiromsuk¹, Apisak Jukkraboot², Yaowares Chusiri³, Siwat Thungprasert⁴,
Somsak Gathong⁵ and Theeraporn Promanan^{6*}

^{1,2,3,4,5,6*}คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

โทร 0 5424 1052 โทรสาร 0 5424 1052 E-mail: Theeraporn.lpru@gmail.com

^{1,2,3,4,5,6*}Faculty of Science, Lampang Rajabhat University

119 Moo 9, Chompoo Subdistrict, Mueang District, Lampang Province, Thailand 52100

Tel. +66 5424 1052 Fax. +66 5424 1052 E-mail: Theeraporn.lpru@gmail.com

วันที่รับบทความ 13 มีนาคม 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 13 มิถุนายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 18 มิถุนายน 2567

Received: Mar. 13, 2024

Revised: Jun. 13, 2024

Accepted: Jun. 18, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยใช้กระบวนการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง ทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 3 5 7 และ 15 วัน จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณเอทานอลที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโกปี นอกจากนี้ ทำการศึกษาปริมาณน้ำตาลจากเปลือกและแกนสับปะรดที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการย่อยเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ผลการทดลองพบว่าการหมักโดยใช้ยีสต์ขนมปังให้ปริมาณเอทานอลมากกว่าการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติทั้งในเปลือกและแกนสับปะรด โดยปริมาณเอทานอลมากที่สุดพบในเปลือกสับปะรดที่หมักด้วยยีสต์ขนมปัง คิดเป็นร้อยละ 18.92 เมื่อหมักนาน 15 วัน ปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้ โดยในเปลือกสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรด จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเปลือกและแกนสับปะรดมาใช้ในการผลิตเอทานอลได้ และการใช้ยีสต์ขนมปังร่วมกับยีสต์ธรรมชาติ ทำให้ได้ปริมาณเอทานอลมากกว่าวิธีการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติเพียงอย่างเดียว โดยปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักโดยวิธียีสต์ธรรมชาติ และการใช้ยีสต์ขนมปังก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน และเมื่อคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นจะเห็นได้ว่าการผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรดปริมาณ 10 กิโลกรัม สามารถคิดเป็นผลกำไรเท่ากับ 32.90 บาท

คำสำคัญ: เอทานอล, เปลือกและแกนสับปะรด

Abstract

This research studied ethanol production from core and peel of pineapple using natural and baker yeast fermentation. Both fermentations were studied at room temperature for 3, 5, 7 and 15 days. Then, the ethanol content was determined using

the UV-Visible spectroscopy technique. The Brix value of the core and peel of pineapple after cellulose digestion using cellulase enzyme was then measured. The amount of ethanol showed that ethanol production from baker yeast was higher than that of natural yeast from both the peel and the core of pineapple. The baker's yeast produced the highest ethanol content (18.92% after 15 days of pineapple peel fermentation). Ethanol content was measured using the Brix percentage with that of pineapple peel being higher than of pineapple core. All results suggested that pineapple peel and core can be used for ethanol production, and the combination with natural and baker yeast can produce ethanol content higher than that of natural yeast. The ethanol contents from core and peel of pineapple were significantly different ($p < 0.05$), and the ethanol contents from natural and baker yeast were also significantly different ($p < 0.05$). Additionally, the basic economic value calculation shows that the profit on ethanol production from 10 kg of pineapple peel is 32.90 baht.

Keywords: Ethanol, Peel and Core Pineapple

1. บทนำ

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดลำปางมีหลายชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง กระเทียม สับปะรด และกาแฟ เป็นต้น (Lampang provincial agricultural extension office, 2020) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับปะรด จังหวัดลำปางเป็นจังหวัดที่มีร้อยละและปริมาณการเก็บเกี่ยวสับปะรดสูง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เศรษฐกิจทางการเกษตรจากสับปะรด อาทิเช่น เปลือกและแกนมีจำนวนมาก การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นการลดขยะทางการเกษตร การนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับชุมชน เป็นการพึ่งพาตนเองในลักษณะเศรษฐกิจพอเพียงซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับประชาชนทั้งในเมืองและชนบท จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจทำการวิจัยและพัฒนานำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากสับปะรดมาผลิตเป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เป็นการเพิ่มมูลค่าและเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากในจังหวัดลำปางให้เกิดประโยชน์

อนึ่ง จากแผนอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงาน (Energy Efficiency Plan: EEP2015) ที่มีเป้าหมายลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 ในปี 2579 (เมื่อเทียบกับปี 2553) และเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในประเทศ ภายใต้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) นำมาสู่แผนยุทธศาสตร์แห่งชาติที่จะให้เกิดงานวิจัยและการพัฒนาพลังงานทางเลือก เพื่อนำพลังงานภายในประเทศมาใช้ให้มากที่สุด (Department of alternative energy development and efficiency, 2016) การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวข้างต้น

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เกิดจากการนำเอาพืชมาย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์

โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย และทำให้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยการกลั่นเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบ 3 ประเภท คือ วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ธัญพืช ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล บีตรูต ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น (Papaphai et al., 2020) วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด รำข้าว เศษไม้ เศษกระดาษ ขี้เลื่อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น (Choonut & Sangkharak, 2016) โดยการผลิตเอทานอลนั้นจะมี 2 วิธีการหลัก ๆ คือ การสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบเป็นสารเคมีคือ เอทิลีน (Ethylene) จะเรียกว่าเอทานอลสังเคราะห์ (Synthetic ethanol) และการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (การหมัก) โดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรที่มีแป้ง น้ำตาล หรือเส้นใย เป็นแหล่งคาร์บอนให้แก่จุลินทรีย์ได้ผลผลิตเป็นไบโอเอทานอล (Bio-ethanol) ซึ่งการหมักด้วยยีสต์จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์และใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ (Kongjindamunee, 2013)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตเอทานอลแบบต้นทุนการผลิตต่ำ ด้วยการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาถูกหรือแทบจะไม่มีราคา คือเศษวัสดุเหลือทิ้งจากสับปะรด อาทิเช่นเปลือกและแกนสับปะรดที่มีอยู่จำนวนมากในจังหวัดลำปาง ศึกษาขั้นตอนการปรับสภาพด้วยการย่อยจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ และการย่อยด้วยเอนไซม์ จากนั้นทำการหมักด้วยยีสต์ขนมปัง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นจากการหมักทั้งสองแบบ โดยงานวิจัยนี้ทำให้ได้กระบวนการผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง รวมถึงเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่น ๆ อีกทั้งเอทานอลที่ได้ยังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด เพื่อช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน รวมทั้งลดปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตจังหวัดลำปางที่มีร้อยละ และปริมาณการเก็บเกี่ยวสับปะรดสูง จึงเหมาะที่จะนำมาปรับเปลี่ยนเพื่อเพิ่มมูลค่า และลดปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกและแกนสับปะรด

2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลจากกระบวนการหมักเปลือกและแกนสับปะรดด้วยยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรด ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยกระบวนการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปัง รวมถึงการวัดค่าความหวาน (%brix) ของเปลือกและแกนสับปะรด การสร้างกราฟมาตรฐานของเอทานอลเพื่อหาปริมาณเอทานอลในน้ำหมักสับปะรด มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวัดค่าความหวานของเปลือกและแกนสับปะรด

1) การวัดค่าความหวานของเปลือกสับปะรด

ชั่งเปลือกสับปะรดที่ปั่นละเอียด 100 กรัม นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) โดยวัดทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนค่าความหวานคงที่ เพื่อตรวจสอบค่าความหวานสูงสุดของเปลือกสับปะรด และนำค่าความหวานที่ได้ไปสร้างกราฟค่าความหวานของเปลือกสับปะรด

2) การวัดค่าความหวานของแกนสับปะรด

ชั่งแกนสับปะรดที่ปั่นละเอียด 100 กรัม แล้วเติมเอนไซม์เซลลูเลส 1 มิลลิกรัม พร้อมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน โดยวัดทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนค่าความหวานคงที่ เพื่อตรวจสอบค่าความหวานสูงสุดของแกนสับปะรดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ในการย่อยแกนสับปะรด จากนั้นนำค่าความหวานที่ได้ไปสร้างกราฟความหวานของแกนสับปะรด

3.2 การหมักเปลือกและแกนสับปะรดโดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติและใช้ยีสต์ขนมปัง

1) การหมักเปลือกสับปะรด

(1.1) การหมักเปลือกสับปะรดโดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติ

นำเปลือกสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เก็บไว้ในที่มืดทั้งไว้ 1 คืน เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปใส่ขวดสีชา จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาเพื่อหมักต่อโดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปกรองเอาเศษเปลือกสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

(1.2) การหมักเปลือกสับปะรดโดยใช้ยีสต์ขนมปัง

นำเปลือกสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เก็บไว้ในที่มืดทั้งไว้ 1 คืน เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดให้เติมยีสต์ขนมปังลงไป 1 กรัม จับเวลา 10 นาที แล้วนำไปใส่ขวดสีชาและเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาเพื่อหมักต่อโดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปกรองเอาเศษเปลือกสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

2) การหมักแกนสับปะรด

(2.1) การหมักแกนสับปะรดโดยวิธีใช้ยีสต์ธรรมชาติ

นำแกนสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เติมเอนไซม์เซลลูเลสลงไปในถุง ๆ ละ 1 มิลลิกรัม พร้อมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดทั้งไว้ 1 คืน เพื่อย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปใส่ขวดสีชา และเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาหมักต่อโดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดนำไปกรองเอาเศษแกนสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

นำแกนสับปะรดไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาแบ่งใส่ถุงซิปล็อกถุงละ 200 กรัม เติมน้ำมันพืชเคลือบลงไปในถุง ๆ ละ 1 มิลลิกรัม พร้อมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในตู้ที่มีดทั้งไว้ 1 คืน เพื่อย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนดให้เติมน้ำยีสต์ขนมปังลงไป 1 กรัม จับเวลา 10 นาที แล้วนำไปใส่ขวดสีชาและเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาเพื่อหมักต่อ โดยแยกระยะเวลาในการหมักเป็น 3 5 7 และ 15 วัน ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาตามกำหนด นำไปกรองเอาเศษแกนสับปะรดออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อนำสารละลายไปวัดหาปริมาณเอทานอล

นำสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ 95 %v/v มาทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ 2 4 6 8 และ 10 %v/v ตามลำดับ แล้วเปิดสารละลายที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโน (Yosyingyong, 2017) บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐานของเอทานอล

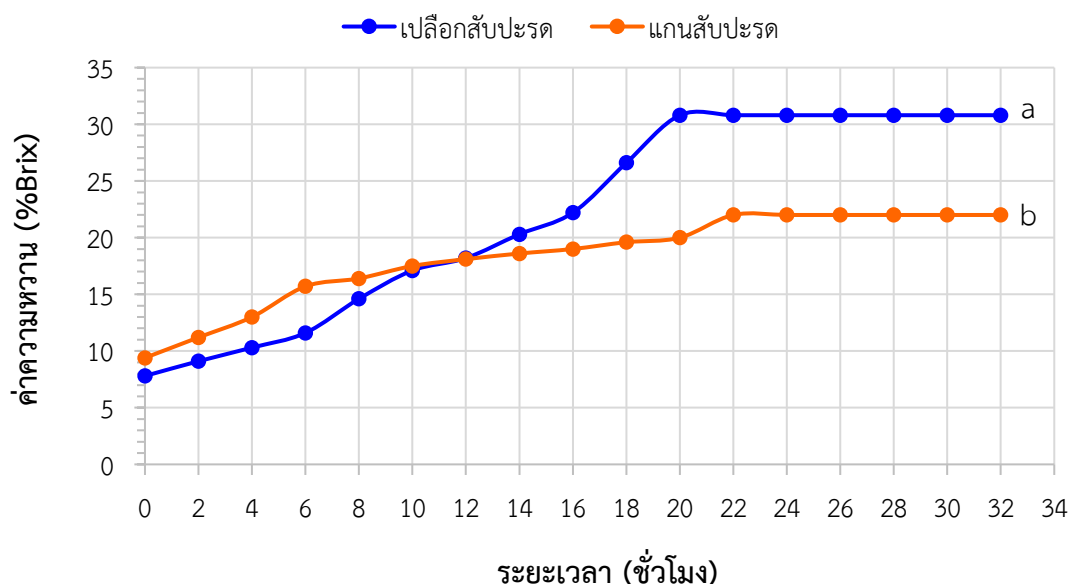
นำน้ำหมักจากเปลือกและแกนสับปรดที่เตรียมได้จากข้อ 3.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณเอทานอล ด้วยกราฟมาตรฐาน

การผลิตเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรด เบื้องต้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลของเปลือกและแกนสับปะรดด้วยเครื่องวัดความหวาน จากนั้นศึกษาวิธีการผลิตเอทานอลโดยวิธีการหมักด้วยยีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง และทำการหาปริมาณเอทานอลด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโกปี รวมถึงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากเปลือกสับปะรด ได้ผลการวิจัย ดังนี้

การวัดค่าความหวานของเปลือกและแฉกแค้นสับปรดทุก 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 32 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) ได้ผลการวิจัยดังภาพที่ 1 พบว่าค่าความหวานของเปลือกสับปรดมีค่าเริ่มต้นที่ 7.8 และมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 0 - 20 ชั่วโมง จนค่าความหวานสูงสุดและคงที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 20 ชั่วโมง ถึง 32 ชั่วโมง โดยมีค่าความหวานอยู่ที่ 30.8 เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส ในการย่อยเซลลูโลสให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลในเปลือกสับปรด เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 20 สำหรับค่าความหวานของแฉกสับปรด

มีค่าเริ่มต้นที่ 9.4 และมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงเวลา 0 - 22 ชั่วโมง จนค่าความหวานสูงสุดและคงที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 22 ชั่วโมง ถึง 32 ชั่วโมง โดยมีค่าความหวานอยู่ที่ 22.0 เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสย่อยเซลลูโลสในแกนสับปะรดให้กลายเป็นน้ำตาลไปเรื่อย ๆ จนคงที่ กล่าวคือระยะเวลาที่เกิดกระบวนการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 22 เป็นต้นไป

จากการศึกษาจะเห็นว่า เมื่อปริมาณน้ำตาลมีค่าคงที่ เปลือกสับปะรดจะมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรด (Chaokaur et al., 2014) อาจเป็นเพราะกระบวนการเตรียมเปลือกสับปะรดมักมีเนื้อของสับปะรดปนติดมาด้วย ทำให้ในกระบวนการย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลเกิดขึ้นได้ดีและมากกว่าแกนสับปะรด แม้ว่าแกนสับปะรดจะใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการช่วยย่อยแล้วก็ตาม และสามารถกล่าวได้ว่าความหวานที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



a, b = Significant difference ($p < 0.05$)

ภาพที่ 1 ค่าความหวานของเปลือกและแกนสับปะรด

เมื่อนำค่าความหวานที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรดมาเทียบค่าเพื่อประมาณร้อยละของเอทานอล (Ribéreau-Gayon et al., 2018) ดังตารางที่ 1 พบว่า หากค่าความหวานที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงขึ้น ปริมาณเอทานอลจะสูงขึ้นตามไปด้วย โดยได้ปริมาณเอทานอลจากเปลือกสับปะรดมากที่สุด ร้อยละ 19.00 และได้ปริมาณเอทานอลจากแกนสับปะรดมากที่สุด ร้อยละ 12.93

ตารางที่ 1 ร้อยละของปริมาณเอทานอลที่ได้จากการเทียบค่าความหวาน

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความหวานจาก เปลือกสับปะรด	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)*	ความหวานจาก แกนสับปะรด	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)*
0	7.80	-	9.40	-
2	9.10	-	11.20	5.83
4	10.30	5.27	13.00	6.99
6	11.60	6.14	15.70	8.775
8	14.60	8.02	16.40	9.17
10	17.10	9.715	17.50	9.93
12	18.20	10.40	18.10	10.315
14	20.30	11.805	18.60	10.70
16	22.20	13.10	19.00	10.90
18	26.60	16.11	19.60	11.30
20	30.80	19.00	20.00	11.60
22	30.80	19.00	22.00	12.93
24	30.80	19.00	22.00	12.93
26	30.80	19.00	22.00	12.93
28	30.80	19.00	22.00	12.93
30	30.80	19.00	22.00	12.93
32	30.80	19.00	22.00	12.93

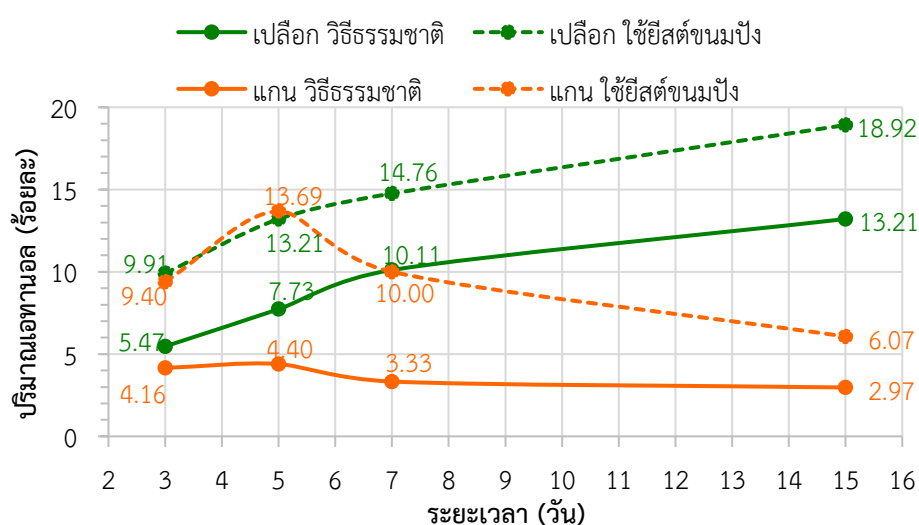
* Ribéreau-Gayon et al. (2018)

4.2 ปริมาณเอทานอลจากการหมักเปลือกและแกนสับปะรด โดยใช้ยีสต์ธรรมชาติ และยีสต์ขนมปัง

เมื่อนำน้ำหมักจากเปลือกและแกนสับปะรดที่ได้จากยีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปัง ระยะเวลาการหมัก 3 5 7 และ 15 วัน มาตรวจวัดและวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลได้ผลการวิจัยดังภาพที่ 2 พบว่า ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักเปลือกสับปะรดโดยยีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปังจะมีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ จากการหมัก 3 วัน จนถึง 15 วัน ซึ่งการหมักเปลือกสับปะรดโดยยีสต์ธรรมชาติมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 5.47 หลังจากหมักได้ 3 วัน หลังจากนั้น มีค่ามากขึ้นเป็น 7.73 10.11 และ 13.21 เมื่อหมักครบ 15 วัน ส่วนการหมักเปลือกสับปะรดโดยการใชยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 9.91 หลังจากหมักได้ 3 วัน หลังจากนั้น มีค่ามากขึ้นเป็น 13.21 14.76 และ 18.92 เมื่อหมักครบ 15 วัน จะสังเกตเห็นว่าการหมักเปลือกสับปะรด โดยการใชยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นมากกว่ายีสต์ธรรมชาติประมาณ 2 เท่า และหลังจากหมักครบ 15 วัน การหมักเปลือกสับปะรดโดยการใชยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลมากกว่ายีสต์ธรรมชาติประมาณ 1 เท่า

ส่วนปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักแกนสับปะรด โดยวิธียีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปังจะมีค่ามากขึ้นหลังจากหมักได้ 3 วัน และมีค่าสูงสุดเมื่อหมักได้ 5 วัน จากนั้นปริมาณเอทานอลมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อหมักได้ 7 และ 15 วันตามลำดับ โดยปริมาณเอทานอลมีค่าน้อยที่สุดเมื่อหมักนาน 15 วัน และมียีสต์น้อยกว่าเอทานอลเริ่มต้น การหมักแกนสับปะรดโดยวิธียีสต์ธรรมชาติมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 4.16 หลังจากหมักได้ 3 วัน และมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 4.40 เมื่อหมักได้ 5 วัน จากนั้นปริมาณเอทานอลมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 3.33 และ 2.97 เมื่อหมักได้ 7 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ ส่วนการหมักแกนสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นร้อยละ 9.40 หลังจากหมักได้ 3 วัน และมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 13.69 เมื่อหมักได้ 5 วัน จากนั้นปริมาณเอทานอลมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 10.00 และ 6.07 เมื่อหมักได้ 7 วัน และ 15 วัน ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าการหมักแกนสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลเริ่มต้นมากกว่าวิธียีสต์ธรรมชาติประมาณ 2 เท่า และหลังจากหมักครบ 15 วัน การหมักแกนสับปะรดโดยการใช้ยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลมากกว่าวิธียีสต์ธรรมชาติประมาณ 2 เท่าเช่นกัน

หากเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลจากเปลือกและแกนสับปะรดพบว่า เมื่อเวลาหมักผ่านไป 15 วัน ปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกสับปะรดทั้งหมักด้วยวิธียีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปังจะมีค่ามากกว่าปริมาณเอทานอลจากแกนสับปะรด ประมาณ 2 - 6 เท่า



ภาพที่ 2 ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักเปลือกและแกนสับปะรด โดยวิธียีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปัง

งานวิจัยนี้ได้ปริมาณเอทานอลมากที่สุดจากเปลือกสับปะรด โดยวิธีการหมักด้วยยีสต์ขนมปัง ร้อยละ 18.92 เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกสับปะรด

กระบวนการผลิตเอทานอล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละ)	อ้างอิง
หมักด้วยยูเรียและปุ๋ย NPK	9.00	Chamidy H. et al. (2004)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	5.38	Tengrang U. (2014)
หมักด้วยยีสต์	3.90	Tropea A. et al. (2014)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	11.20	Babu P. et al. (2019)
หมักด้วยยีสต์	10.80	Wandono E. H. et al. (2020)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	4.5	Omoolorun et al. (2023)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	13	Saragih et al. (2023)
หมักด้วยยีสต์ขนมปัง	18.92	งานวิจัยนี้

4.3 มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผลิตเอทานอล จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกสับปะรด

จากการวิจัยจะเห็นว่าเมื่อนำเปลือกสับปะรด 200 กรัม มาเติมยีสต์ขนมปัง 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วหมักไว้ 15 วัน จะได้ปริมาณเอทานอลร้อยละ 18.92 คิดเป็นความเข้มข้นเท่ากับ 37.85 %v/v ต้องการเตรียมเอทานอล 95 %v/v นำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นความจุ 15 ลิตร กำลังไฟฟ้า 1,800 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 1.5 หน่วย จึงจะได้ปริมาณเอทานอล 39.84 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบการใช้เปลือกสับปะรดปริมาณ 10 กิโลกรัม จะได้เอทานอล 95 %v/v ปริมาณ 1,992 มิลลิลิตร โดยราคาต้นทุนของวัตถุดิบกับราคาขายของเอทานอล 95 %v/v แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อนำมาคำนวณผลกำไรจะได้เท่ากับ 32.90 บาท คิดเป็นร้อยละ 20.26 ต่อเปลือกสับปะรด 10 กิโลกรัม ทั้งนี้ปริมาณรวมของวัตถุดิบต้องไม่เกิดความจุของเครื่องกลั่น 15 ลิตร

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ต้นทุน	ปริมาณ	ราคาที่ใช้ (บาท)
ต้นทุน		
เปลือกสับปะรด*	10 กิโลกรัม	0
ยีสต์ขนมปัง**	50 กรัม	22.8
น้ำประปา*** (ณ วันที่ 24 มีนาคม 2567)	5 ลิตร	0.015
ค่าไฟฟ้า**** (ณ วันที่ 24 มีนาคม 2567)	1.5 หน่วย	6.27
ค่าแรง*****	2 ชั่วโมง	40
รวม		162.32
ราคาขาย***** เอทานอล 95 %v/v	1,992 มิลลิลิตร	195.22
กำไร		32.90 (คิดเป็น 20.26%)

*เปลือกสับปะรดเหลือทิ้งจากตลาด ไม่คิดราคา

**ยีสต์ขนมปัง ยี่ห้อเพอร์เฟค ขนาด 34 กรัม ราคา 52 บาท (Perfect instant Yeast, n.d.)

***น้ำประปา หน่วยละ 10.2 บาท (1 หน่วย = 1,000 ลิตร) (Metropolitan waterworks authority, n.d.)

****ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 4.18 บาท (ThaiPBS, 2024)

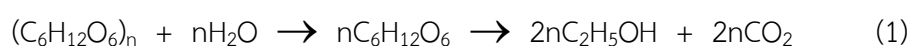
*****ค่าแรง ชั่วโมงละ 40 บาท ต่อคน (Thailand Development Research Institute (TDRI), 2022)

*****เอทานอล 95 % v/v จากกรุงเทพเคมี (1 ลิตร ราคา 98 บาท) (Krungthepchemi, n.d.)

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า การผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกและแกนสับปะรด สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคตได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยสามารถเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้อย่างไม่จำกัด ทดแทนพลังงานฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไป (Papaphai et al., 2020) อีกทั้งยังเป็นเชื้อเพลิงสะอาดลดการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นวัตกรรมเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งเป็นนวัตกรรมยานยนต์ในอนาคต (Thungprasert et al., 2024) เป็นแนวทางในการลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานที่มีประสิทธิภาพด้วยปัจจัยของประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ใช้ทางการเกษตร ส่วนใหญ่มักถูกทำลายหรือปล่อยทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ แต่การผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนดังกล่าวจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียเหล่านั้น กลายเป็นการสร้างรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยเปรียบเทียบการหมักด้วยวิธียีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความหวานจากการหาปริมาณน้ำตาลในเปลือกและแกนสับปะรด พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้จากเปลือกสับปะรดมีค่าความหวานสูงสุด ร้อยละ 30.8 ส่วนแกนสับปะรดมีค่าสูงสุด ร้อยละ 22.0 จะเห็นได้ว่าเปลือกสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรด และเมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความหวานกับเอทานอลที่เกิดขึ้น (Ribéreau-Gayon et al., 2018) พบว่า เมื่อร้อยละของค่าความหวานสูง เอทานอลที่ได้จะมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 1



จากการเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เตรียมได้จากการหมักด้วยวิธียีสต์ธรรมชาติและยีสต์ขนมปัง พบว่าปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมักด้วยยีสต์ขนมปังมีค่ามากกว่ายีสต์ธรรมชาติทั้งจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยเปลือกสับปะรดที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีปริมาณเอทานอลมากที่สุด ร้อยละ 18.92 เนื่องจากการเติมยีสต์ขนมปังทำให้มีปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพของการหมักภายใต้สภาวะที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน สำหรับการเตรียมเอทานอลได้ดีขึ้นเนื่องจากยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลเป็นอาหาร เพื่อการเจริญและเพิ่มจำนวนเซลล์ในขณะเดียวกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ได้ดียิ่งขึ้น (Tengrang, 2014)

หากเปรียบเทียบเปลือกและแกนสับปะรดในการเตรียมปริมาณเอทานอลที่ได้พบว่า เปลือกสับปะรดมีปริมาณเอทานอลมากกว่าแกนสับปะรด เนื่องจากส่วนเปลือกสับปะรดที่เหลือทิ้งมักมีเนื้อสับปะรดติดปนมาด้วย ซึ่งเนื้อสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าแกนสับปะรดที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ (Chaokaur et al., 2014) โดยทั่วไปสับปะรดจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง ร้อยละ 80 - 85 น้ำตาล ร้อยละ 12 - 15 กรด ร้อยละ 0.6 โปรตีน ร้อยละ 0.4 เถ้า ร้อยละ 0.5 ไขมัน ร้อยละ 0.1 ส่วนที่เหลือเป็นเส้นใยและวิตามิน (Salvi et al., 1995 & Sarochwikasit et al., 2011) น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลอย่างง่าย เช่น ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งน้ำตาลซูโครสมีมากถึง 2 ใน 3 ส่วนของน้ำตาลทั้งหมด ที่เหลือจะเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสและฟรุกโตส (Camara, 1995) อย่างไรก็ตามสามารถกล่าวได้ว่า ปริมาณเอทานอลที่ได้จากเปลือกและแกนสับปะรดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณเอทานอลที่ได้จากการหมัก โดยวิธียีสต์ธรรมชาติและการใช้ยีสต์ขนมปังก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากเปลือกสับปะรด สามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลและเพิ่มมูลค่า โดยคิดเป็นกำไร 32.90 บาท (ร้อยละ 20.26) ต่อเปลือกสับปะรด 10 กิโลกรัม รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคตได้เป็นอย่างดี

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรนำเอทานอลที่หมักได้มาทำการกลั่น เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

6.2 ควรนำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนต่อยอดการผลิตเอทานอลในถังหมักขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้ปริมาณเอทานอลที่มากขึ้นและมีประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

8. เอกสารอ้างอิง

- Babu, P. R., Mastan, M., Charan, K. & Vaishnav, V. (2019). Optimization of ethanol production from pineapple peel by *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 4(5), 355-358.
- Camara, M., Diez, C. & Torija, E. (1995). Chemical characterization of pineapple juices and nectars, principle component analysis. *Food Chemistry*, 54(1), 93-100.
- Chamidy, H. N., Saripudin. & Permasari, A. R. (2004). Effect of nutrient on the bio-ethanol production from pineapple peel fermentation. *Journal Serambi Engineering*, 9(1), 8343-8348.

- Chaokaur, A., Laikhonburi, Y., Kunmee, C., Santhong, C. & Chimthong, S. (2014). Evaluation of nutritive value and sugar soluble carbohydrate of pineapple residue. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 42 SUPPL. 1, 301-306.
<https://ag2.kku.ac.th/kaj/pub/P09.pdf>.
- Choonut, A. & Sangkharak, K. (2016). The production of ethanol and the utilization of wastes from ethanol industry. *Thaksin University Journal*, 19(2), 1-8.
- Department of alternative energy development and efficiency (2016, 28 July). *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015*. <https://oldwww.dede.go.th>.
- Kongjindamunee, W. (2013). *Ethanol production from corncob*. [Master of Engineering in Chemical Engineering]. Prince of Songkla University.
- Krungthepchemi. (n.d.). Ethanal 95%. https://xn--12cgi8d9atj3mva5fc.com/index.php?route=product/product&product_id=1245.
- Lampang provincial agricultural extension office. (2020, 30 September). *Important economic crops in Lampang Province*. <http://www.lampang.doe.go.th>.
- Metropolitan waterworks authority. (n.d.). *Water tariff*.
<https://www.pwa.co.th/contents/service/table-price>.
- Omoolorun, J. B., Afolabi, F. T., Olufemi, S. E. & Adeyemo, S. M. (2023). Bioethanol production from decaying oranges and pineapple juice using ethanol tolerant-yeast. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 26(11), 33-49.
<https://doi.org/10.9734/JABB/2023/v26i11665>.
- Papaphai, A., Buntha, P., Saosompop, M. & Ketwong, C. (2020). Ethanol production from sugar cane fermentation. *Journal of Science and Technology, RajabhatMaha Sarakham University*, 3(1), 31-44.
- Perfect instant Yeast. (n.d.). <https://www.bigc.co.th/product/perfect-instant-yeast-34g.84932>.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B. & Lonvaud, A. (2018). *Handbook of enology* (7th ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Salvi, M. J. & Rajput, J. C. (1995). Pineapple. In Salunkhe, D. K., Kadam, S. S. (Eds.). *Handbook of fruit science and technology: production composition, Storage, and Processing*. (pp. 171-182) Macel Dekker, New York.
- Saragih, H. T. M., Sembiring, J. H. & Ginting, E. (2023). Conversion of pineapple peel glucose into bioethanol using simultaneous saccharification and fermentation (SSF) method and separate hydrolysis and fermentation (SHF) method. *Journal Kimia Riset*, 8(2), 167-174. <https://doi.org/10.20473/jkr.v8i2.50581>.

- Sarochwikasit, S. & Tangduangdee, C. (2011). Effect of drying temperature and drying aids on qualities of spray dried pineapple juice. *KMUTT Research & Development Journal*, 34(3), 203-215.
- Tengrang, U. (2014). *Bio-ethanol production from pineapple peels using baker's yeast* [Master of Engineering in Chemical Engineering]. Prince of Songkla University.
- Thailand Development Research Institute (TDRI). (2022, 26 August). *Wages and salaries per hour worked*. https://tdri.or.th/2020/08/wages-and-salaries-per-hour-worked/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR21fySHNZ8dL5xtUTGdBla0q_Te1Z2OpOQtRL5dDigkU6kUE5kIOLPNRm4_aem_AaGARwjha3N4CCPCf4dm_9LLwUmMnxdkMN_8PL2am2-sFOhiJv3JcRRESajpANpG5iatq9X2fNs3duQf7Scwvd1m.
- ThaiPBS. (2024, 10 January). *Electricity tariff*. <https://www.thaipbs.or.th/news/content/335821>.
- Thungprasert, S., Jaikaung, J., Promanan, T., Narakaew, S. & Chaisenaand, A. (2024). Silver and silver alloy on carbon-supported catalysts for cathodes in PEMFC and DEFC. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports (AJSTR) Journal Abbreviation*, 27(1), 15-23. <https://doi.org/10.55164/ajstr.v27i1.250827>.
- Tropea, A., Wilson, D., La Torre, L. G., Lo Curto, R. B., Saugman, P., Troy-Davies, P., Dugo, G. & Waldron, K. W. (2014). Bioethanol production from pineapple wastes. *Journal of Food Research*, 3(4), 60-70.
- Wandono, E. H., Kusdiyantini, E. & Hadiyanto. (2020). Analysis of potential bioethanol production from pineapple (Ananas Comosus L. Merr) peel waste Belik District-Pemalang-Central Java. *International Conference on Science and Applied Science* (pp. 1-8). <https://doi.org/10.1063/5.0030343>, <https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/6132/1/56920124.pdf>.
- Yosyingyong, K. (2017). *Determination of ethanol in alcoholic products by the simple colorimetric method* [Master's thesis]. <https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/6132/1/56920124.pdf>.