การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลโดยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากน้ำแป้งเหลือทิ้งโรงงานผลิตแป้งขนมจีน

Raw Material Preparation for Ethanol Production by *Zymomonas mobilis* TISTR 405 from Sewage Disposed by Thai Rice Vermicelli Factories

ศรีอุบล ทองประดิษฐ์ [1*] สุกัญญา กูลเกื้อ [2] ผกามาส ปุรินทราภิบาล [3] และอดุลย์สมาน สุขแก้ว [3]

Sriubol Thongpradistha [1*] Sukanya Kunkuea [2] Pakamart Purinthrapibal [3] and Adulsman Sukkaew [3]

[1]อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่)

[2] นักศึกษา สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่)

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่)

[4] อาจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[1] Lecturer in Biotechnology, Faculty of Agroindustry, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Nakhon Si Thammarat Campus (Thung Yai)

[2] Student in Biotechnology, Faculty of Agroindustry, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Nakhon Si Thammarat Campus (Thung Yai)

[3] Assistance Professor in Food Science and Technology, Faculty of Agroindustry, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Nakhon Si Thammarat Campus (Thung Yai)

[4] Lecturer in Physic, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

[*] Corresponding author, E mail: sriubol.t@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมของการผลิตเอทานอลจากน้ำแป้งเหลือทิ้งของโรงงานผลิตแป้งขนมจีนแล้วหมักด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 แบบกะขนาด 0.6 ลิตร พบว่าการย่อยวัตถุดิบด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 สามารถผลิตเอทานอลได้สูงกว่าการที่น้ำแป้งเหลือทิ้งที่ไม่ถูกย่อย และการเติมไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ไดแอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำแป้งเหลือทิ้งที่ผ่านการย่อยแล้วสามารถผลิตเอทานอลได้ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.81 ที่ระยะเวลาในการหมัก 132 ชั่วโมง

คำสำคัญ: *เอทานอล Zymomonas mobilis น้ำแป้งเหลือทิ้ง โรงงานผลิตแป้งขนมจีน กรดไฮโดรคลอริก*

มหาวิทยาลัยรังสิต

Abstract

The aim of this research was to study raw material preparation. Sewage disposed from Thai Rice Vermicelli Factories was fermented in a 0.6 L-sized batch fermentation by using *Zymomonas mobilis* TISTR 405 for ethanol production. It was found out that the raw material pretreated with 12%hydrochloric could be produce higher ethanol than unpretreated ones. Especially, when $(NH_4)_2PO_4$, $(NH_4)_2SO_4$, $MgSO_4$ and $CaCl_2$ were added in waste starch solution, pretreatment could produce ethanol with the highest concentration of 8.80% at fermentation duration of 132 hours.

Keywords: *Ethanol, Zymomonas mobilis, Sewage, Thai Rice Vermicelli Factories, Hydrochloric Acid*

1. บทนำ

พลังงานจัดเป็นแหล่งที่มีความต้องการสำหรับผู้บริโภคกลุ่มเกษตรกรรม กลุ่มอุตสาหกรรม และกลุ่มประชาชนทั่วไป ปัจจุบันพลังงานยังไม่มีความเพียงพอกับความต้องการใช้จริง แหล่งพลังงานมีความสำคัญและจำเป็นยิ่งต่อการพัฒนาในเรื่องความเป็นอยู่ การคมนาคม การขนส่ง และการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ซึ่งแหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่เป็นแหล่งงานที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ (Yamashita, Kurosumi, Sasaki, & Nakamura, 2008) ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ศึกษาวิจัยและพัฒนาทางด้านพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานชีมวล เป็นต้น (ศรีอุบล ทองประดิษฐ์ และอดุลย์สมาน สุขแก้ว, 2559)

น้ำเสียหรือน้ำทิ้งจัดเป็นแหล่งพลังงานชีมวลอย่างหนึ่งที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการแปรรูปสารอินทรีย์เช่น อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารกลุ่มโปรตีน กลุ่มพืชผัก กลุ่มไขมัน และกลุ่มแป้ง เป็นต้น (Letti, Karp, Woiciechowski, & Soccol, 2012) ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งขนมจีนเป็นส่วนหนึ่งของการแปรรูปอาหารกลุ่มแป้ง ซึ่งจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญ น้ำที่ผ่านกระบวนต่าง ๆ ในการผลิตแป้งขนมจีนจะมีแป้งที่ถูกชะมา หากทิ้งไว้นานๆ จะทำให้เกิดเป็นน้ำเสียที่ส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม (Ma et al., 2016) การนำน้ำทิ้งจากแหล่งดังกล่าวนำมาศึกษาเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนอย่างเอทานอลก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดน้ำเสียและลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้

เอทานอลจัดเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ ส่วนใหญ่ได้จากกระบวนการหมัก โดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนวัตถุดิบที่เป็นน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ซึ่งจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้ผลิตเอทานอล คือ ยีสต์ เพราะสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว มีความทนทานในสภาวะของการหมัก และสามารถผลิตความเข้มข้นของเอทานอลที่สูง (Mazaheri, Shojaosadati, Mousavi, Hejazi, & Saharkhiz, 2012; Nellaiah, Karunakaran, & Gunasekaran, 1998) แต่มีเชื้อ *Zymomonas mobilis* ที่สามารถผลิตเอทานอลได้ดีกว่ายีสต์ และใช้ระยะเวลาในการหมักเอทานอลที่สั้นกว่ายีสต์ประมาณ 3-4 เท่า เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากัน และให้ความเข้มข้นของเอทานอลใกล้เคียงกับทฤษฎี (Todhanakasem, Narkmit, Areerat, & Thanonkeo, 2015)

มหาวิทยาลัยรังสิต

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำน้ำแป้งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีนมาศึกษาการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับหมักเอทานอลด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 แบบกะขนาด 0.6 ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลโดยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากน้ำแป้งเหลือทิ้งโรงงานผลิตแป้งขนมจีน

3. อุปกรณ์และ วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1. เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.1.2. น้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้ง จาก กิ่งอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช

3.1.3. สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 (ประกอบด้วย Peptone 10 กรัม Yeast Extract 5.0 กรัม Glucose 20 กรัม Agar 15 กรัม และน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร)

3.1.4. เครื่องวัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์โดยวิธีการกลั่น (A.O.A.C, 1990)

3.1.5. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand Refractometer)

3.1.6. เครื่องวัดพีเอช

3.2. วิธีการทดลอง

3.2.1. การศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นของน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้ง

นำน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีนนำมาศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ พีเอช ปริมาณแป้งทั้งหมด (Pintado, P., & Rainbault, 1999) และปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยวิธีฟีนอล-ซัลเฟต (Dobios, Gilles, Halmilton, Rebers, & Smith, 1956) เพื่อเป็นข้อมูลในการเก็บเกี่ยวแป้ง

3.2.2. การย่อยน้ำแป้งขนมจีนสำหรับใช้ในกระบวนการหมักเอทานอล

เตรียมสารละลายน้ำแป้งขนมจีนความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร นำไปปรับอุณหภูมิให้ได้เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พร้อมกวนผสมเป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำสารละลายน้ำแป้งที่ผ่านการย่อยไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที แยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลว (สารละลายน้ำตาล) ที่ได้มาปรับพีเอชให้เท่ากับ 5.5 สำหรับการศึกษาระยะเวลาและความสามารถในการผลิตเอทานอล

3.2.3. ศึกษาระยะเวลาและความสามารถที่เหมาะสมของการหมักเอทานอลโดยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากน้ำแป้งเหลือทิ้ง

1) เตรียมน้ำหมักปริมาตร 360 มิลลิลิตร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง จำนวน 2 ซ้ำ คือ การทดลองที่ 1) ใช้สารละลายน้ำแป้งที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก การทดลองที่ 2) ใช้สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริก (จากวิธีการทดลองข้อที่ 3.2.2) และการทดลองที่ 3) ใช้

สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริก (จากวิธีการทดลองข้อที่ 3.2.2) และเติมสารอาหาร (ประกอบด้วยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และแคลเซียมคลอไรด์) (Behera, Mohanty, & Ray, 2010; Cazetta, Celligoi, Buzato, & Scarmino, 2007) บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2) เติมหัวเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 เริ่มต้นปริมาตร 360 มิลลิลิตร (ร้อยละ 10 ของปริมาตรน้ำหมัก) ที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลงในน้ำหมัก แล้วทำการหมักแบบกะที่อุณหภูมิห้อง

3) การเก็บตัวอย่างน้ำหมักทุก ๆ 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 168 ชั่วโมง

4) นำตัวอย่างน้ำหมักที่เก็บได้มา วัดค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand Refractometer) และความเข้มข้นของเอทานอลโดยวิธีการกลั่น (A.O.A.C, 1990)

4. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของน้ำแป้งเหลือทิ้งที่ได้จากโรงงานผลิตขนมจีน พบว่าน้ำแป้งมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.69±0.00 ซึ่งมีความสม่ำเสมอทุกครั้งตลอดระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างเพื่อการศึกษาวิจัย การที่ผลการทดลองที่มีความสม่ำเสมอนั้นอาจเรื่องจากกระบวนการของการผลิตขนมจีนต้องมีการควบคุมคุณภาพของการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐานของกระบวนการผลิตอาหารสำหรับผู้บริโภค เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมดและปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่ามีค่าเท่ากับ 32.73±0.01 และ 35.57±0.60 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเบื้องต้นของน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้ง

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ค่าพีเอช	3.69±0.00
ปริมาณแป้งทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	32.73±0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	35.57±0.60

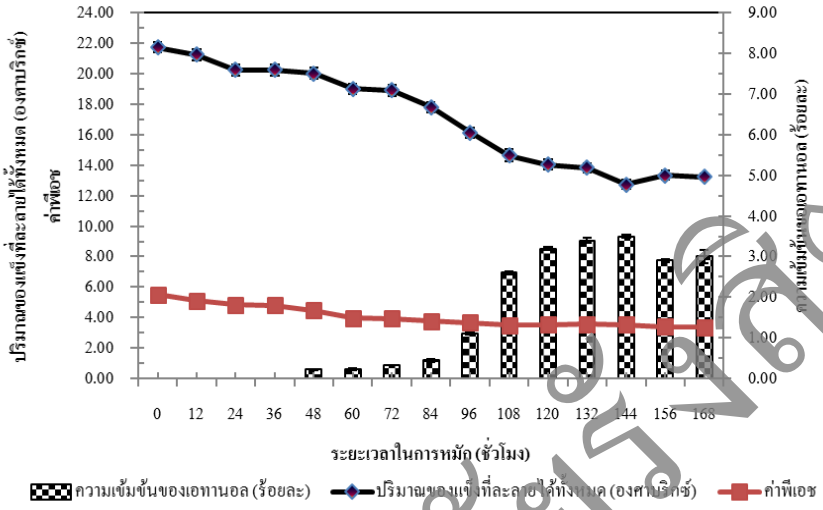
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±SD จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

ผลการศึกษาการหมักเอทานอลด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากสารละลายแป้งขนมจีนเหลือทิ้งที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก (การทดลองที่ 1) แบบกะ พบว่า เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 สามารถหมักสารละลายน้ำแป้งที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 21.75±0.35 องศาบริกซ์ และค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.50±0.10 ได้เป็นเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 3.52±0.03 ที่ระยะเวลาในการหมัก 144 ชั่วโมง และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเหลือเท่ากับ 12.75±0.33 องศาบริกซ์ และค่าพีเอชเท่ากับ 3.53±0.01 ดังแสดงในรูปที่ 1

ผลการศึกษาการหมักเอทานอลด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสารละลายน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 (การทดลองที่ 2) แบบกะ พบว่า เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 สามารถหมักสารละลายน้ำตาลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 21.75±0.35 องศาบริกซ์ และค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.60±0.13 ได้เป็นเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ

มหาวิทยาลัยรังสิต

7.30±0.00 ที่ระยะเวลาในการหมัก 132 ชั่วโมง และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเหลือเท่ากับ 9.95±0.35 องศาบริกซ์ และค่าพีเอชเท่ากับ 3.12±0.01 ดังแสดงในรูปที่ 2

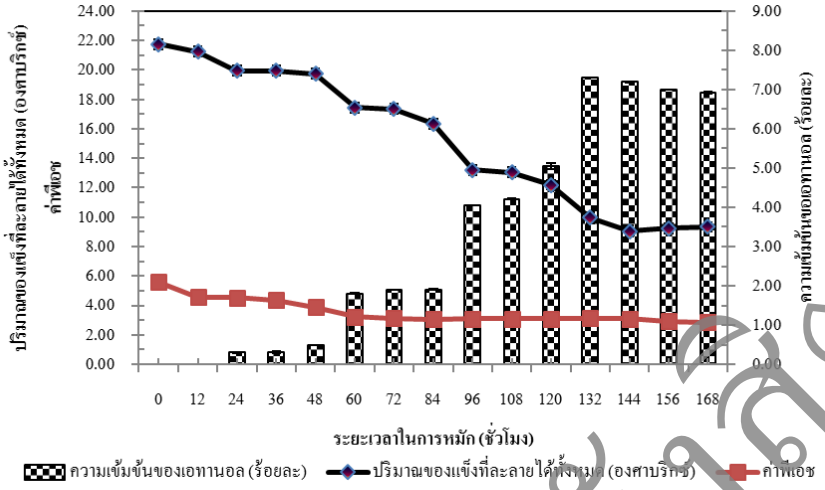


รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และความเข้มข้นของเอทานอลในการหมักเอทานอลจากสารละลายน้ำแป้งเหลือทิ้งร้อยละ 30 ที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก แบบกะด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 (การทดลองที่ 2)

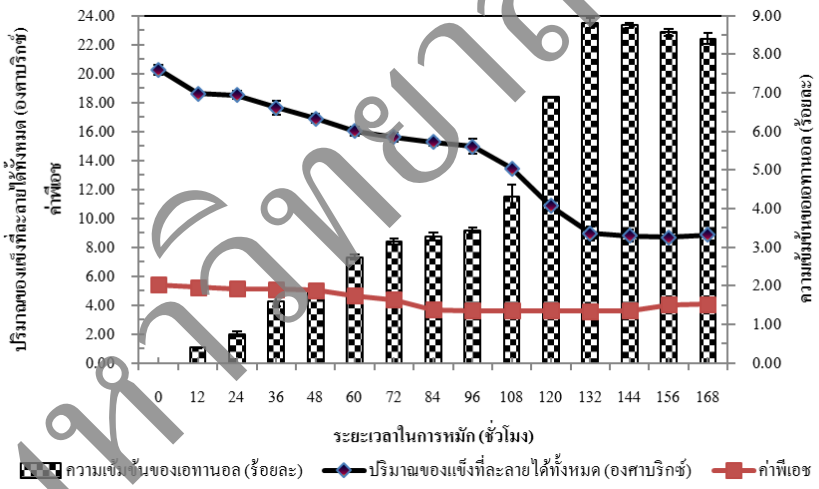
ผลการศึกษาการหมักเอทานอลด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสารละลายน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 และเติมสารอาหารลงไป (การทดลองที่ 3) แบบกะ พบว่า เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 สามารถหมักสารละลายน้ำตาลที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 20.25±0.35 องศาบริกซ์ และค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.40±0.14 ได้เป็นเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.81±0.00 ที่ระยะเวลาในการหมัก 132 ชั่วโมง และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเหลือเท่ากับ 8.94±0.48 องศาบริกซ์ และค่าพีเอชเท่ากับ 3.57±0.00 ดังแสดงในรูปที่ 3

จากผลการศึกษาของการหมักด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 แบบกะ จะเห็นว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และพีเอช จะลดต่ำลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการหมักมากขึ้น แต่ในทางกลับกันจะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงที่ระยะเวลาในการหมัก ณ จุด ๆ หนึ่ง จากนั้นความเข้มข้นของเอทานอลจะลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการเกิดกระบวนการออโตไลซิส และการตายของเชื้อ *Zymomonas mobilis* ดังกล่าว ซึ่งในสภาวะของการหมักที่เหมาะสมที่ได้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุด (ร้อยละ 8.81±0.13) เมื่อเทียบกับสภาวะของการทดลองอื่น ๆ คือ สภาวะของการหมักที่ใช้สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสารละลายน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 และเติมสารอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ไดแอมโมเนียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์และ แมกนีเซียมซัลเฟตลงไป (การทดลองที่ 3)

มหาวิทยาลัยรังสิต



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และความเข้มข้นของเอทานอลในการหมักเอทานอลจากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสารละลายน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 แบบกะ ด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 (การทดลองที่ 2)



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และความเข้มข้นของเอทานอลในการหมักเอทานอลจากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสารละลายน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 แบบกะ และเติมไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ไดแอมโมเนียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์และ แมกนีเซียมซัลเฟต ด้วยเชื้อ Zymomonas mobilis TISTR 405 (การทดลองที่ 3)

5. การอภิปรายผล

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักเอทานอลด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 แบบกะ จากสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยสารละลายน้ำแป้งขนมจีนเหลือทิ้งร้อยละ 30 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 12 ที่อุณหภูมิในการย่อย 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักเอทานอลด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จากสารละลายแป้งขนมจีนเหลือทิ้งที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอ พบว่า

มหาวิทยาลัยรังสิต

ได้ความเข้มข้นของเอทานอลไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารละลายน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 มีการใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยมีเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส จากเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Cazetta et al., 2007; Fu, Peiris, Markham, & Bavor, 2009; Yamashita et al., 2008) การที่จะย่อยแป้งให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะที่เหมาะสมในการตัดพันธะ α-glycosidic bond เพราะการย่อยน้ำแป้งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนที่มีองค์ประกอบเป็นไดแซ็กคาไรด์ และ พอลิแซ็กคาร์ไรด์ ซึ่งในน้ำแป้งที่ถูกย่อยด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และใช้อุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้น้ำตาลเฮกโซส จะเกิดการเสียน้ำ 3 โมเลกุล ทำให้ประสิทธิภาพของการหมักเอทานอลได้ลดลง และส่งผลให้เกิดสารเฟอร์ฟูรัล, 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (HMF) เป็นต้น (ศรีอุบล ทองประดิษฐ์ และอดุลย์สมาน สุขแก้ว, 2559) แต่การที่น้ำแป้งเหลือทิ้งที่ไม่ได้ถูกย่อยก็ไม่ส่งผลให้เกิดเอทานอลได้สูงเช่นกันเพราะเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 ไม่สามารถใช้แป้งได้โดยตรง ซึ่งสมบัติบางประการของเชื้อดังกล่าวสามารถใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคาร์บอน 6 อะตอนเท่านั้น (Behera et al., 2010; Yanase, 2014) มากกว่านั้นการที่ใช้เพิ่มสับเสรตที่เหมาะสมของการให้แก่ เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 จะส่งผลโดยตรงให้เชื้อสามารถเหนี่ยวนำให้เชื้อเจริญเติบโตและใช้สารละลายน้ำตาลได้ดีมากกว่า (Cazetta et al., 2007; Yanase, 2014) นอกจากนี้การที่มีความเข้มข้นของเอทานอลลดลงอาจเป็นไปได้ว่าเกิดสภาวะสุดท้ายของกระบวนการหมัก ซึ่งสามารถสังเกตจากเชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 ที่ตกตะกอนอยู่จะเกิดการย่อยสลายตัวเองอย่างช้า ๆ แล้วอวัยวะภายในเซลล์จะเกิดการย่อยสลายกลุ่มสารชีวโมเลกุล ได้แก่ กรดนิวคลีอิก ไขมันโปรตีน และโพลีแซคคาไรด์ เมื่อมีการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ และเซลล์ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 ก็ปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ได้แก่ เปปไทด์ กรดอะมิโน กรดไขมัน และนิวคลีโอไทด์ต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตามการที่มีการศึกษาเพิ่มเติมในแง่ของการศึกษาปัจจัยและกระบวนการหมักเพื่อสามารถให้ได้ปริมาณเอทานอลที่สูงและมีต้นทุนต่ำก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ต่อไปได้ในอนาคต (ศรีอุบล ทองประดิษฐ์ และอดุลย์สมาน สุขแก้ว, 2559)

6. บทสรุป

เชื้อ *Zymomonas mobilis* TISTR 405 สามารถหมักวัตถุดิบเริ่มต้นที่เป็นสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอริกและเติมสารอาหารต่าง ๆ ได้แก่ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และแคลเซียมคลอไรด์ ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.81 ที่ระยะเวลาในการหมัก 132 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นของเอทานอลที่หมักจากวัตถุดิบที่เป็นสารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งขนมจีนเหลือทิ้งด้วยกรดไฮโดรคลอรกที่ไม่เติมสารอาหารใด ๆ รวมทั้งสารละลายน้ำแป้งที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาเทคโนโลยีชีวภาพและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ทุ่งใหญ่) จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

มหาวิทยาลัยรังสิต

8. เอกสารอ้างอิง

ศรีอุบล ทองประดิษฐ์ และ อดุลย์สมาน สุขแก้ว. (2559, 8-10 มิถุนายน 2559). *สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายแป้งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส.* บทความในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12, โรงแรม วังจันทน์ ริเวอร์วิว, พิษณุโลก.

A.O.A.C. (1990). *Official methods of analysis: The association of official analytical chemists*. Virginia: Arlington.

Behera, S., Mohanty, R. C., & Ray, R. C. (2010). Comparative study of bio-ethanol production from mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers by *Saccharomyces cerevisiae* and *Zymomonas mobilis*. *Applied Energy,* 87(7), 2352-2355.

Cazetta, M. L., Celligoi, M. A. P. C., Buzato, J. B., & Scarmino, I. S. (2007). Fermentation of molasses by *Zymomonas mobilis*: Effects of temperature and sugar concentration on ethanol production. *Bioresource Technology,* 95(15), 2824-2828.

Dobios, M., Gilles, K. A., Halmilton, J. K., Rebers, P. A., & Sminth, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry,* 28(3), 350-356

Fu, N., Peiris, P., Markham, J., & Bavor, J. (2009). A novel co-culture process with *Zymomonas mobilis* and *Pichia stipitis* for efficient ethanol production on glucose/xylose mixtures. *Enzyme and Microbial Technology,* 45(3), 210-217.

Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., & Soccol, C. R. (2012). Ethanol production from soybean molasses by *Zymomonas mobilis*. *Biomass and Bioenergy,* 44, 80-86.

Ma, K., Ruan, Z., Shui, Z., Wang, Y., Hu, G., & He, M. (2016). Open fermentative production of fuel ethanol from food waste by an acid-tolerant mutant strain of *Zymomonas mobilis*. *Bioresource Technology,* 203, 295-302.

Mazaheri, D., Shojaosadati, S. A., Mousavi, S. M., Hejazi, P., & Saharkhiz, S. (2012). Bioethanol production from carob pods by solid-state fermentation with *Zymomonas mobilis*. *Applied Energy,* 99, 372-378.

Nellaiah, H., Karunakaran, T., & Gunasekaran, P. (1998). Ethanol fermentation of cassava starch by *Zymomonas mobilis* NRRL B-4286. *Biomass,* 15(3), 201-207.

Pintado, J., P., G. J., & Raimbault, M. (1999). Lactic acid production from mussel processing wastes with an amylolytic bacterial strain. *Enzyme and Microbial Technology,* 24, 590-598.

Todhanakasem, T., Narkmit, T., Areerat, K., & Thanonkeo, P. (2015). Fermentation of rice bran hydrolysate to ethanol using *Zymomonas mobilis* biofilm immobilization on DEAE-cellulose. *Electronic Journal of Biotechnology,* 18(3), 196-201.

Yamashita, Y., Kurosumi, A., Sasaki, C., & Nakamura, Y. (2008). Ethanol production from paper sludge by immobilized *Zymomonas mobilis*. *Biochemical Engineering Journal,* 42(3), 314-319.

Yanase, H. (2014). Zymomonas. In C. B. C. A. Batt (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology* (2nd ed., pp. 856-863). Oxford: Academic Press.

มหาวิทยาลัยรังสิต