

การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากของเสียเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ
โดยกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค

Development of efficient biohydrogen production process from food waste by mixed cultures
from cow dung

นพดล โพธิ์คำเหน็ด^{1*} สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์¹ เสริมศักดิ์ สัตยาธนา² และ สมพงศ์ โอทอง³

¹คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000; โทรศัพท์: 08-6689-0920, โทรสาร: 074-693992
E-mail : podkumnerd@yahoo.co.th ; ²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา 90000;
³คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93110

บทคัดย่อ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาวิธีการย่อยของเสียเศษอาหาร และผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยของเสียเศษอาหารด้วยจุลินทรีย์จากมูลโค พบว่าของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต เมื่อทำการย่อยของเสียเศษอาหาร 4 วิธี คือ การย่อยด้วยความร้อน (100 °C 2 ชั่วโมง) กรดซัลฟิวริก (1.7% w/v) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (1% w/v) และเชื้อราจากลูกแป้ง (7.5% w/v) ให้ค่าผลที่ได้จากน้ำตาลสูงสุด 0.23 0.21 0.21 และ 0.26 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร สอดคล้องกับความเข้มข้นของน้ำตาล 23 65 43 และ 76 กรัมต่อลิตรตามลำดับภายใต้สภาวะที่เหมาะสม การผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยของเสียเศษอาหารด้วยลูกแป้งและหมักโดยใช้จุลินทรีย์จากมูลโคพบว่า ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร และร้านอาหารผลิตไฮโดรเจนสูงสุด 13.2 และ 15.9 ลิตรต่อลิตรเศษอาหาร ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน ของเสียเศษอาหาร จุลินทรีย์จากมูลโค
การย่อยเศษอาหาร

Abstract

This study is to investigate food waste hydrolysis methods and used food waste hydrolysates as substrate for hydrogen production by using mixed cultures from cow dung. Restaurant food waste is mainly composed of carbohydrate. There are 4 methods to hydrolysis that is heating at 100 °C using 1.7% sulfuric acid, 1% sodium hydroxide and 7.5% Look-Pang released maximum sugar yield of 0.23, 0.21, 0.21 and 0.26, corresponding to sugar concentration of 23, 65, 43 and 76 g/L, respectively at optimum conditions. Hydrogen production from food waste by Look-Pang digested and fermented by mixed cultures from cow dung. Shown that digested food waste from canteens and restaurants have high hydrogen production of 13.2 and 15.9 L H₂/L-digested food waste, respectively.

Keywords: hydrogen, food waste, enriched cultures from cow dung, digested food waste

1. บทนำ

ของเสียเศษอาหาร คือของเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตและการใช้สอยของมนุษย์ซึ่งเป็นปัญหาของโลกสมัยใหม่ ของเสียเหล่านี้หากไม่ได้กำจัดอย่างถูกวิธี นอกจากจะทำให้ชุมชนขาดความสะอาด

เรี่ยร้อยยังทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสภาพแวดล้อม ของเสียเศษอาหารเป็นขยะที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงย่อยสลายได้อย่างเช่น เศษอาหาร ขากพืช ขากสัตว์ เศษพืชผัก ซึ่งเป็นของเสียที่มีน้ำตาลและแป้งเป็นองค์ประกอบสูงถึง ร้อยละ 60 ของน้ำหนักเปียก [2] มีแนวโน้มในการนำมาเป็นสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเป็นแหล่งพลังงานทางชีวภาพ อย่างเช่น ไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานสะอาด และช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันจะเกิดจากปล่อยของเสียจากเศษอาหารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย ประกอบกับวิกฤตการณ์พลังงานเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องแก้ไข และหามาตรการป้องกัน ทั้งนี้ เนื่องจากประเทศไทยมีทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติน้อย จึงจำเป็นต้องพึ่งพาประเทศอื่นๆ ที่สามารถส่งออกพลังงานมาจำหน่ายได้ ส่งผลให้ขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน นอกจากนี้ทรัพยากรพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงเกิดกระแสความสนใจที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ซึ่งไฮโดรเจนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของแหล่งพลังงานในอนาคตที่คาดว่าจะนำมาทดแทนพลังงานฟอสซิลที่มีในธรรมชาติ เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด (Clean Energy) กระบวนการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [3]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษอาหารเข้าสู่กระบวนการหมัก (Pretreatment) และศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจน

3. แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิดการวิจัย

ของเสียจากเศษอาหาร มีส่วนประกอบของโพลีแซคคาไรด์หลายชนิด เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แป้ง และโปรตีน เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์จะได้น้ำตาลกลูโคสและไซโลส [4] สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยที่แป้งสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ชอบร้อน ไฮโดรไลสที่ได้จากการย่อยสลายจะประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลต่ำ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตไฮโดรเจนได้ จากปัญหาการขาดแคลนพลังงานดังกล่าวมาแล้วข้างต้น กลุ่มผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเศษอาหารมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานทดแทน ทั้งนี้มีรายงานการวิจัยว่าจุลินทรีย์ที่สามารถนำไฮโดรไลสของวัสดุจำพวกเศษอาหารไปเป็นสับสเตรทเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ [5]

4. วิธีดำเนินการ

4.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเสียเศษอาหารของเสียจากเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองได้จากของเสียจากเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่งในเขตเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา ได้แก่ เศษอาหารตลาดรถไฟ เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากตลาด เศษอาหารจากชุมชนชัยมงคล เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากชุมชน เศษอาหารจากร้านอาหารฟักทอง เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากร้านอาหาร เศษอาหารจากโรงอาหารกลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากสำนักงาน ทำการเก็บของเสียเศษอาหารเป็นเวลา 1 เดือนเก็บตัวอย่างครั้งละ 5 กิโลกรัม เพื่อศึกษาถึงความแปรปรวนขององค์ประกอบจากการพฤติกรรมกรบริโภคและสถานที่ โดยนำมาแยกเศษของแข็งที่ย่อยสลายได้ยากออก เช่น กระดุก เปลือกหอย เปลือกปู นำตัวอย่างของเสียมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เพื่อให้มีขนาดเล็กลง วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ค่า pH โดยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter B210, ProLine, Netherlands) ปริมาณไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS) โดยวิธีมาตรฐาน [6] ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) โดยวิธี Kjeldahl method [7] ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี Somogyi and Nelson [8] และปริมาณแป้ง (Strach) โดยวิธี Kyowa Hakko method [9]

4.2 ศึกษาวิธีการเตรียมของเสียเศษอาหารเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจน

ศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างของเสียสำหรับผลิตไฮโดรเจน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 5 แบบ ได้แก่ 1) การย่อยด้วยความร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [10] 2) ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก 1.7% ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [10] 3) ย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% ที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [11] และ 4) ย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก 7.5% 24 ชั่วโมง (การศึกษาเบื้องต้น)

1) การย่อยด้วยความร้อน นำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วมาเติมน้ำในอัตราส่วนของเศษอาหารต่อน้ำร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (50 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (100 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (150 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (200 กรัม: 500 มิลลิลิตร) และร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (250 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 °C เก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

2) การย่อยด้วยกรดเจือจาง นำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วมาเติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.7% ในอัตราส่วนของ เศษอาหารต่อกรดร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง ด้วย NaOH ความเข้มข้น 3 M ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

3) การย่อยด้วยเบสเจือจาง นำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้ว

มาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3 M ในอัตราส่วนของ เศษอาหารต่อกรดเท่ากับร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง ด้วย H₂SO₄ ความเข้มข้น 3 M ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

4) การย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้ง โดยนำเศษอาหารมาเติมลูกแป้งในอัตราส่วนของลูกแป้งต่อเศษอาหารต่อเท่ากับ 7.5% (3.25 กรัม: 500 กรัม) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และนำวิธีการเตรียมที่ให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดของแต่ละแหล่งไปเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการผลิตไฮโดรเจนในการทดลองต่อไป

4.3 การศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหาร

4.3.1 การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน

ในการทดลองนี้จะใช้กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลวัว (Cow dung) เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนเริ่มจากยีสต์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตมีเทนซึ่งอยู่ในตะกอนก่อนโดยการให้ความร้อนที่ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการปรับสภาพเพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศนี้มีความสามารถในการใช้น้ำตาล และแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเศษอาหารเพื่อเป็นสับสเตรทในการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยเฉพาะเลี้ยงกลุ่มจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมไฮโดรไลเสตจากของเสียเศษอาหารที่เหมาะสมสองแหล่ง (จากการทดลองที่ 4.2) เป็นแหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้นน้ำตาลโดยรวมเริ่มต้นเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร และเติมแร่ธาตุต่างๆ เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้แก่ KH₂PO₄ 1.5 กรัมต่อลิตร (NH₄)₂SO₄ 2 กรัมต่อลิตร CaCl₂·2H₂O 0.1 กรัมต่อลิตร MgCl₂·6H₂O 0.1กรัมต่อลิตร และ FeSO₄ 0.003 กรัมต่อลิตร ซึ่งมูลวัวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว 2 กรัม เติมนลงในขวดซีรัมขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีไฮโดรไลเสตจากของเสียเศษอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลเหมาะสมสองชุดๆ ละ 68 มิลลิลิตร ทำการเพาะเลี้ยงที่ 60 องศาเซลเซียส เขย่า 100 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 5.5 ทำการ sub culture ทุกๆ 4 วัน เป็นเวลา 16 วัน และนำไปเชื้อเริ่มต้นในการผลิตไฮโดรเจนแบบกึ่งกะ

4.3.2 การผลิตไฮโดรเจนแบบกึ่งกะ

ทำการเพาะเลี้ยงสลับแบบกึ่งกะ (Fed-batch) ในสภาวะไร้อากาศ ใน Reactor ที่เป็นขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตรทำการ 800 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาพักเก็บ (Hydraulic retention time) เท่ากับ 48 ชั่วโมง ปรับค่าพีเอชในสับสเตรทเริ่มต้นเป็น 5.5-6.5 โดยใช้ NaHCO₃ เพื่อควบคุมระดับพีเอชในน้ำหมักให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ในแต่ละรอบจะถ่ายอาหารเก่าออก 400 มิลลิลิตร และใส่อาหารใหม่ลงไป 400 มิลลิลิตร ดำเนินการเพาะเลี้ยงโดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ (ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ที่ตรวจวัดในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10) นำตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้ในระยะการผลิตก๊าซคงที่ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจน (โดยใช้ GC/TCD)

5. ผลการศึกษา

5.1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของเสียเศษอาหาร

ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร ร้านอาหาร และชุมชน มีองค์ประกอบของแป้งสูง ซึ่งเมื่อย่อยแป้งจะได้น้ำตาลซึ่งสามารถใช้ผลิตไฮโดรเจน ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร จากร้านอาหารและชุมชน มีองค์ประกอบแป้ง ร้อยละ 55 63 และ 43 ของน้ำหนักเศษอาหารแห้ง และมีสภาพเป็นกรดมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.0-5.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อผลิตไฮโดรเจนของเสียเศษอาหารจากร้านอาหาร และโรงอาหารเป็นของเสียเศษอาหารที่มีสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตสูง จึงถูกนำไปศึกษาผลการย่อยต่อการปลดปล่อยน้ำตาล เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนต่อไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเสียเศษอาหาร จากโรงอาหาร ชุมชน ร้านอาหาร และตลาด (ร้อยละเทียบโดยน้ำหนักแห้งของเศษอาหาร)

พารามิเตอร์	โรงอาหาร	ชุมชน	ร้านอาหาร	ตลาด
TS (%)	25.3	18.6	20.2	15.1
VS (%)	23.4	17.1	18.3	12.4
Oil (%)	12	7.5	11.1	2.1
TKN	21.3	18.5	20.1	3.4
Reducing sugar	14	7	13	0.2
Starch	63	43	55	10
Ash (%)	2.1	1.8	1.9	1.2
pH	4.5	4.8	4.4	5.3

5.2 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร และร้านอาหารต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

เนื่องจากของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหาร มีองค์ประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตสูง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการย่อย (Hydrolysis) ด้วยปัจจัยทางกายภาพ ทางเคมี หรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์จะได้น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่กระบวนการหมักไฮโดรเจนด้วยเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค จึงใช้ของเสียเศษอาหารทั้งสองแหล่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการย่อย

5.2.1 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหาร จากโรงอาหารต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การย่อยด้วยความร้อน ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 30 44 55 60 และ 70 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลของรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.23 0.18 0.16 0.156 และ 0.155 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 1ก)

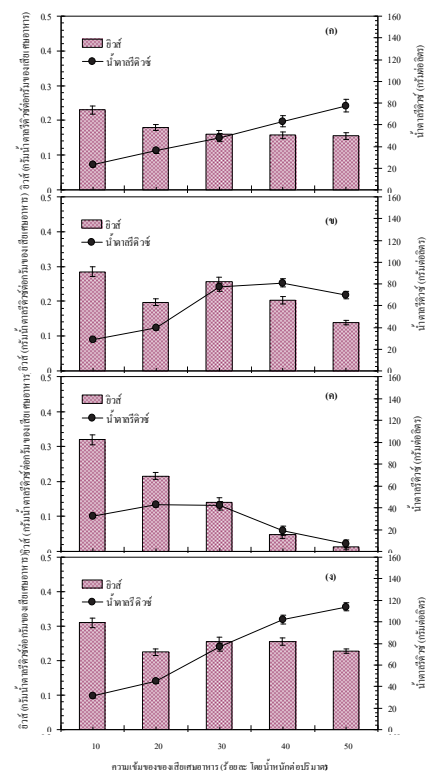
การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก 1.7% (w/v) ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 28.5 39.5 65 76 และ 69.6 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อย

ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.29 0.20 0.26 0.20 และ 0.14 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 1ข)

การย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% (w/v) ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 32 43 42 19 และ 7 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.32 0.21 0.14 0.04 และ 0.01 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 1ค)

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการย่อยทางกายภาพ และเคมีให้ค่าผลที่ได้จากน้ำตาลต่ำลง เมื่อความเข้มข้นของเศษอาหารสูงขึ้นเนื่องจากอาหารมีความหนืดมากพอตัวได้น้อยและไม่สามารถย่อยได้ ทำให้ค่าผลที่ได้ของน้ำตาลลดลง [1]

การย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแบ่ง 7.5% (w/w) ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 31.0 45.0 76.7 102.0 และ 114.0 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.31 0.23 0.26 0.26 และ 0.23 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 1ง)



ภาพที่ 1 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารโดยวิธีต่างๆ

5.2.2 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การย่อยด้วยความร้อน ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณ

น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 27.6 43.2 57.6 75.6 และ 93 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหาร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.28 0.22 0.19 0.19 และ 0.19 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร ตามลำดับ (ภาพ 2ก)

การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก 1.7% (w/v) ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 22.8 31.6 61.6 64.8 และ 55.7 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.23 0.16 0.21 0.16 และ 0.11 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 2ข)

การย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% (w/v) ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 22.4 30.1 29.4 13.3 และ 4.9 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.22 0.15 0.1 0.03 และ 0.01 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 2ค)

การย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแบ่ง 7.5% (w/w) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 43.4 63.0 107.4 142.8 และ 159.6 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.43 0.32 0.36 0.36 และ 0.32 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 2ง)

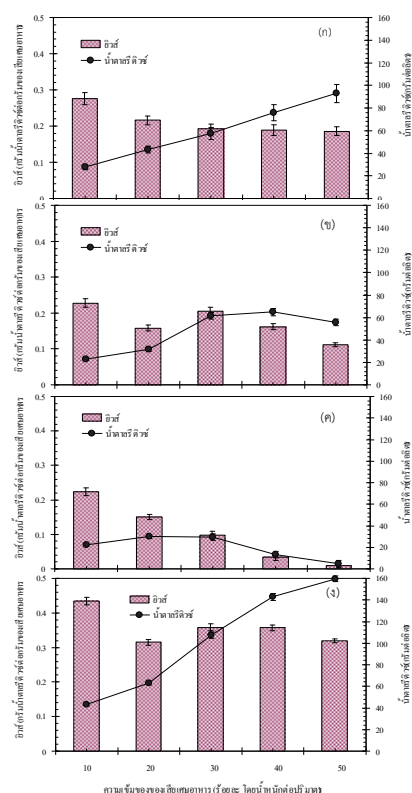
จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารโดยการใช้วิธีการต่างๆ พบว่ามีสภาวะเหมาะสมต่างกัน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมนั้นพิจารณาจากความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารที่ย่อยแล้วได้น้ำตาลรีดิวซ์และค่ายวีสของน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณสูงสุดคล่องกัน

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยความร้อน ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 20 ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 44.0 และ 43.2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยให้ค่ายวีสของน้ำตาลคือ 0.18 และ 0.22 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหารตามลำดับ

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยกรดอ่อน (กรดซัลฟิวริก 1.7% (w/v)) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 65.0 และ 61.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยให้ค่ายวีสของน้ำตาลคือ 0.26 และ 0.21 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยด่างอ่อน (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% (w/v)) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 10 ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 32 และ 22.4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยให้ค่ายวีสของน้ำตาลคือ 0.32 และ 0.22 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ

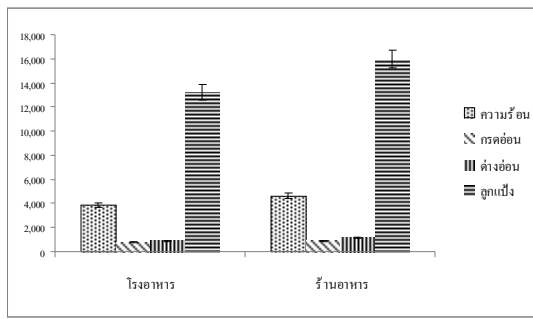
การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยจุลินทรีย์จากลูกแบ่ง 7.5% (w/w) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 76.7 และ 107.4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยให้ค่ายวีสของน้ำตาลสูงสุด คือ 0.26 และ 0.36 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารโดยวิธีต่างๆ

5.3 การผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหาร

ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร และร้านอาหารมีสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูง และมีสภาพเป็นกรด มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-5.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อผลิตไฮโดรเจน การผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหาร โดยวิธีต่างๆ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่า การใช้กรดอ่อน (กรดซัลฟิวริก 1.7% (w/v)) การใช้ด่างอ่อน (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% (w/v)) ให้ผลผลิตไฮโดรเจนต่ำสุด การใช้ความร้อนจะได้ผลผลิตสูงกว่าการใช้กรดอ่อนและด่างอ่อน แต่ต่ำกว่าการใช้ลูกแบ่งซึ่งให้ผลผลิตมีเทนสูงสุดเมื่อเทียบกับการใช้วิธีอื่น (ภาพที่ 3) โดยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารย่อยด้วยลูกแบ่ง ให้ผลผลิตไฮโดรเจน 13,211 และ 15,977 มิลลิลิตรต่อลิตรเศษอาหารตามลำดับ (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 3 แนวโน้มในการผลิตไฮโดรเจนจากหมักที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารและร้านอาหาร

วิธีการย่อย	ไฮโดรเจนจากโรงอาหาร L H ₂ / L เศษอาหาร	ไฮโดรเจนจากร้านอาหาร L H ₂ / L เศษอาหาร
ความร้อน	3,820 ^a ± 181	4,623 ^b ± 231
กรดอ่อน	796 ^c ± 50	908 ^c ± 48
ด่างอ่อน	905 ^c ± 52	1,157 ^c ± 52
ลูกแป้ง	13,211 ^d ± 52	15,977 ^e ± 52

*ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 แนวโน้มในการผลิตไฮโดรเจนจากหมักที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารและร้านอาหาร

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของเสียเศษอาหารจากแหล่งต่าง ๆ 4 แหล่ง ได้แก่ โรงอาหาร ชุมชน ร้านอาหาร และตลาด พบว่าของเสียจากจากร้านอาหารและโรงอาหารมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูง สามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักไฮโดรเจนได้ เมื่อนำของเสียจากทั้งสองแหล่งที่ความเข้มข้นต่างๆ มาผ่านกระบวนการย่อยด้วยความร้อน กรดอ่อน ด่างอ่อน และลูกแป้ง พบว่าการย่อยของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ด้วยลูกแป้ง (7.5% w/w) จะให้น้ำตาลสูงสุด โดยย่อยได้น้ำตาลปริมาณ 76.7 และ 107.4 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และเมื่อนำของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้งข้าวหมากไปผลิตไฮโดรเจน จะได้ปริมาณสูงสุดเช่นกัน โดยให้ผลผลิตไฮโดรเจนสูงสุด 13.2 และ 15.9 ลิตรต่อลิตรเศษอาหารตามลำดับ ดังนั้นการย่อยของเสียจากเศษอาหารด้วยลูกแป้ง นับได้ว่าเป็นแนวทางที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนทางชีวภาพได้ ซึ่งจะสามารถใช้ของเสียเศษอาหารเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก และช่วยลดผลกระทบจากการทิ้งของเสียเศษอาหารสู่สิ่งแวดล้อมได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากมูลฝอยเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2554

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ดาระณี ทับทิมหิน.การผลิตแอลกอฮอล์จากแป้งดิบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2533.
- [2] Moon H.C., I.S. Song, J.C. Kim, Y. Shirai, D. H. Lee, J.K. Kim, S.O. Chung, D.H. Kim, K.K. Oh and Y.S. Cho. Enzymatic hydrolysis of food waste and ethanol fermentation. 33: 164-172, 2009.
- [3] Akano Y. Miura K. Fukatsu H. Miyasaka Y. Ikuta H. Matsumoto A. Hamasaki N. Shioji T. Mizoguchi K. Yagi K. and Maeda I. Hydrogen production by photosynthetic microorganisms. Appl. Biochem. Biotechnol. 57/58: 677-688,1996.
- [4] Campo I., I. Alegria, M. Zazpe, M. Echeverria and I. Echeverria. Diluted acid hydrolysis pretreatment of agri-food wastesfor bioethanol production. Industrial crops and products 24: 214-221, 2006.
- [5] Nandi, R., Sengupta, S. Microbial production of hydrogen:an overview.Crit. Rev. Microbiol. 24: 61-84, 1998.
- [6] APHA-AWWA-WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater twentieth ed. Washington, DC., 1998.
- [7] AOAC, 1990. AOAC. In: official methods of analysis, association of official analytical chemists, Washington, DC., 1990.
- [8] Somogyi, M. Notes on sugar determination. J. Biol. Chem. 195: 19-23, 1952.
- [9] Morris, D. L. Determination of carbohydrate in biological fluids. Science. 107: 254, 1948.
- [10] Agu, R.C., Amadife, A.E., Ude, C.M., Onyia, A., Ogu, E.O.,Okafor, M. and Ezejiofor, E. Combined heat treatment and acid hydrolysis of cassava grate waste (CGW) biomass for ethanol production. Waste Manag. 17 : 91-96, 1997.
- [11] Sudha ML, Baskaran V, Leelavathi K. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. Food Chem. 104:686-692, 2007.