การพัฒนากระบวนการผลิตกล้าเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากขยะเศษอาหาร

Development of Hydrogen Producing Inoculum from Cow Dung for Hydrogen Production from Food Waste

นพดล โพชกำเหนิด[1*] และ สมพงศ์ โอทอง[2]

[1]อาจารย์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000
[2]อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดพัทลุง 93110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนากระบวนการผลิตกล้าเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค เพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากขยะเศษอาหาร โดยใช้วิธีการเตรียมกล้าเชื้อแตกต่างกัน 4 วิธี คือ 1). กล้าเชื้อสด 2). กล้าเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ 3). กล้าเชื้อตากแห้ง และ 4). กล้าเชื้ออบแห้ง

ผลการทดลองพบว่า การใช้กล้าเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ มีปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่ายสูงสุด ภายหลังการหมักเฉลี่ย 9.55 กรัมต่อลิตร และให้ปริมาณไฮโดรเจนสูงสุดเฉลี่ย 136.46 มิลลิลิตรต่อกรัมน้ำตาล ให้ค่า pH เฉลี่ย 4.85 และระดับความเข้มข้นของน้ำตาลเฉลี่ย 0.33 กรัมต่อลิตร ส่วนวิธีการเตรียมกล้าเชื้อผงจากกล้าเชื้อ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ พบว่า กล้าเชื้อผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถใช้ประโยชน์เป็นกล้าเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้ดีที่สุด โดยให้ผลผลิตไฮโดรเจนจำนวน 35 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร

Abstract

The aim of this research was to develop a process for making an inoculum from cow dung. Consequently, the inoculum together with food waste was employed to produce hydrogen gas. A total of four different inoculums were experimented, including 1). Fresh inoculum 2). Autoclaved inoculum 3). Natural dried inoculum, and 4). Hot air dried inoculum. The experimental results revealed that the autoclaved inoculum is the most effective in terms of producing a volatile fatty acid in a maximum value of 9.55 g/l. In addition, a maximum hydrogen gas of 136.46 ml/g (of sugar), and also having an average pH of 4.85 and the sugar concentration of 0.33 g/l could be obtained. Furthermore, it was found that creating an inoculum by using the autoclaved inoculum produces an inoculum powder having a concentration of 20%. This suggests that the autoclaved inoculum is the best in terms of producing the hydrogen gas from using food waste is 35 litre/litre (of food waste).

คำสำคัญ : กล้าเชื้อจุลินทรีย์ ไฮโดรเจน ขยะเศษอาหาร
Keywords : Inoculum, Hydrogen, Food waste

**ผู้ประสานงานทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ podkumnerd@yahoo.co.th โทร. 08 6689 0920*

1. บทนำ

จากวิกฤตการณ์พลังงานในปัจจุบัน ประเทศไทยปรากฏมีแหล่งทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เป็นจำนวนน้อย แต่มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จึง ส่งผลกระทบก่อให้เกิดการขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน นอกจากนี้ทรัพยากรพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ทำให้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่ เพื่อทดแทนพลังงานที่กำลังจะหมดไปในอนาคต ก๊าซไฮโดรเจนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของแหล่งพลังงานในอนาคตที่คาดว่าจะนำมาทดแทนพลังงานที่มีในธรรมชาติ เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สะอาด เมื่อเกิดกระบวนการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนจะได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ และให้พลังงานสูงถึง 122 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และให้น้ำภายหลังจากการเผาไหม้ [Das and Veziroglu, 2001] จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนวิธีการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ (Biological hydrogen production) ก็จัดเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิตได้อย่างหลากหลาย เช่น เศษอาหาร กากน้ำตาล มวลชีวภาพ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งมีความต้องการพลังงานต่ำ และมีมลพิษเกิดขึ้นเป็นจำนวนที่น้อยตามลำดับ [Zhang and Yu, 2005]

ในกรณีเศษอาหาร ปรากฏสภาพเป็นมูลฝอยขยะ ที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบที่สูง และย่อยสลายได้ง่าย เช่น ซากพืช ซากสัตว์ กระดาษ และเศษพืชผัก เป็นต้น ซึ่งเป็นของเสียที่มีน้ำตาลและแป้งเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60% ของน้ำหนักเปียก [Chen, et. al. 2003] จากการศึกษาของ นพดล และคณะ [2555] ซึ่งพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการยอยของเสียเศษอาหารดวยลูกแปง และอาศัยวิธีการหมัก ด้วยการใช้จุลินทรียจากมูลโค พบวา ของเสียประเภทเศษอาหารจากโรงอาหาร และรานอาหาร ให้ผลผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงสุด 13.2 และ 15.9 ลิตรตอลิตรเศษอาหารตามลำดับ จากรายละเอียดของข้อมูลดังกล่าวที่ถูกระบุไว้แล้วในเบื้องต้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคสำหรับผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยทำการปรับสภาพจุลินทรีย์จากมูลโคด้วยวิธีการปฏิบัติต่างๆ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหารให้สูงขึ้นโดยตรง

2. วิธีการทดลอง

2.1 การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน

ทำการทดลอง โดยการเตรียมกล้าเชื้อจากมูลโคที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ 1). มูลโคสด 2). มูลโคผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที 3). มูลโคตากแห้ง และ 4). มูลโคอบอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 120 นาที พร้อมทั้งทำการปรับสภาวะ เพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ มีความสามารถในการใช้น้ำตาลและแป้ง ซึ่งปรากฏเป็นองค์ประกอบหลักในเศษอาหาร และใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยการเพาะเลี้ยงกลุ่มจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมไฮโดรไลเสต จากเศษอาหารที่เป็นแหล่งคาร์บอนร่วมด้วย

2.2 การเก็บตัวอย่างเศษอาหาร

ทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหารจากร้านอาหารฟักทอง ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยอาศัยการเก็บเป็นระยะเวลา 30 วัน เก็บตัวอย่างจำนวน 1 กิโลกรัมต่อวัน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาองค์ประกอบ และใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตไฮโดรเจน และนำมาใช้ในการการเตรียมเศษอาหาร เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนในลำดับต่อไป

2.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของเศษอาหาร

2.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมี ได้แก่ ค่า pH ไขมันและน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่าย ค่าไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแป้ง โดยวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน [APHA, AWWA, WPCF, 1998]

2.3.2 ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TDS) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แขวนลอย (TSS) และความชื้น โดยวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน [APHA, AWWA, WPCF, 1998]

2.4 การผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหาร โดยกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโค

2.4.1 นำเศษอาหารที่เก็บไว้ มาคัดแยกเอาเศษของแข็งที่ย่อยสลายยากออกไปก่อน เช่น กระดูก ต่อจากนั้นจึงนำตัวอย่างเศษอาหารมาบดให้ละเอียด โดยใช้เครื่องบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้มีขนาดที่เล็กลง

2.4.2 นำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วไปนึ่งฆ่าเชื้อ เมื่อเศษอาหารเย็นลงแล้ว จึงนำมาย่อยด้วยลูกแป้งในอัตราส่วนของลูกแป้งต่อเศษอาหารเท่ากับ 7.5% เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.3 นำเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้งแล้ว มาทำการหมักร่วมกับกล้าเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคที่ผ่านการปรับสภาพแล้วทั้ง 4 ชนิด ในขวดเลี้ยงเชื้อขนาด 500 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหัวเชื้อกับเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง ในอัตราส่วน 50% : หัวเชื้อ 10% : น้ำ 40% ต่อจากนั้นจึงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C ต่อไป

2.4.4 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง จึงนำแต่ละขวดมาวัดปริมาณแก๊ส โดยใช้เครื่องวัดปริมาณแก๊สตามหลักการแทนที่น้ำ และใช้กระบอกฉีดยาสำหรับดูดแก๊ส ฉีดเข้าสู่เครื่อง GC (Gas chromatography) เพื่อดูระดับความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้โดยตรง

2.4.5 ทำการวัดและฉีดแก๊สทุกวัน จนกว่าจุลินทรีย์จะไม่มีการผลิตแก๊สออกมาให้เห็นตามลำดับ (ปริมาณแก๊สเป็นศูนย์)

2.4.6 เมื่อจุลินทรีย์ไม่มีการผลิตแก๊สออกมาแล้ว ให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำหมักไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล ค่า pH และปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่าย

2.5 การผลิตกล้าเชื้อผงที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน

2.5.1 นำวิธีการปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงสุดจากหัวข้อ 2.4 มาผลิตเป็นกล้าเชื้อผง โดยนำมาบดให้ละเอียด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

2.5.2 นำกล้าเชื้อผงที่ผลิตได้ไปศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนในขวดเลี้ยงเชื้อขนาด 500 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนของหัวเชื้อร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C ในระบบกะ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และกายภาพของขยะเศษอาหาร

การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี ของขยะเศษอาหารจากร้านอาหาร ได้แสดงผลไว้แล้วอย่างชัดเจนภายในตารางที่ 1 โดยมีองค์ประกอบหลายอย่างที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก เช่น ค่า pH เฉลี่ย 5.1 (ปรากฏเป็นกรดเล็กน้อย) จึงเหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และเชื้อรา มีค่าเฉลี่ยของแป้งร้อยละ 35 ของน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ15.2 ของน้ำหนักแห้ง โดยที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งคาร์บอนได้ [Moon, et. al. 2009] มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ 19.6 ของน้ำหนักแห้ง และปรากฏเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจะพบได้ว่า ขยะเศษอาหารดังกล่าว ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักของแป้ง ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพไปเป็นน้ำตาล [Wang et. al. 2008] ดังนั้นขยะเศษอาหาร จึงแสดงความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไฮโดรเจน ส่วนระดับความชื้นในขยะเศษอาหารนั้น มีค่าสูงถึงร้อยละ 83 จึงส่งผลทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายเศษอาหารได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อกล่าวโดยสรุป ขยะเศษอาหารจากร้านอาหาร จึงปรากฏเป็นของเสียที่มีสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรทสูง และมีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อผลิต

ไฮโดรเจนได้ ซึ่งแสดงความสอดคล้องเข้ากับการศึกษาของ นพดล และคณะ [2555] ซึ่งพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยของขยะเศษอาหารด้วยลูกแป้งและหมัก โดยการใช้จุลินทรีย์จากมูลโค และพบว่าของเสียเศษอาหารนั้น สามารถให้ผลผลิตไฮโดรเจนได้สูงสุดจำนวน 15.9 ลิตรต่อลิตรเศษอาหาร และกล่าวได้อย่างชัดเจนเพิ่มเติมขึ้นมาว่า กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโค สามารถใช้สารอินทรีย์จากขยะเศษอาหารที่ผ่านการย่อยเบื้องต้นโดยลูกแป้งได้ และถ้าใช้วิธีการเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคที่เหมาะสม ก็อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้เพิ่มศักยภาพในการผลิตไฮโดรเจนได้สูงขึ้น

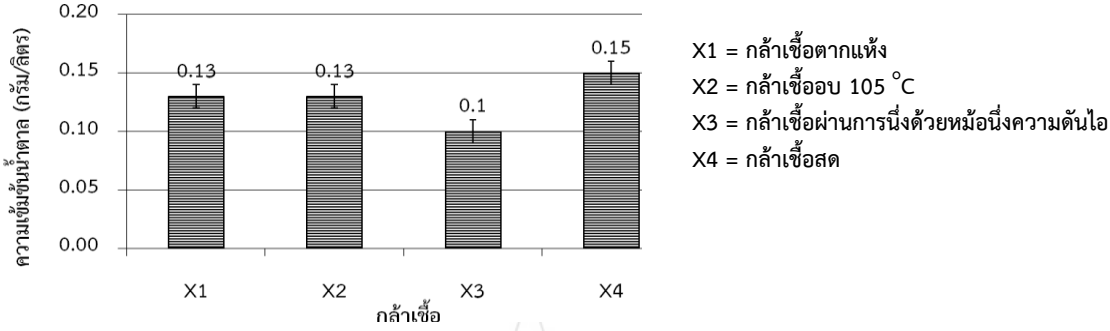
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ ของขยะเศษอาหารจากร้านอาหาร แสดงในหน่วยร้อยละเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของเศษอาหาร

องค์ประกอบของเศษอาหาร	**ค่าที่ตรวจวัดได้**
ค่า pH	5.1±0.3
ความชื้น (%)	83±1.1
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% น้ำหนักเปียก)	17±1.4
ปริมาณของแข็งระเหยได้ (% น้ำหนักเปียก)	15.2±0.5
ปริมาณคาร์บอน (% น้ำหนักแห้ง)	68±1.1
ปริมาณแป้ง (% น้ำหนักแห้ง)	35±0.7
ปริมาณไขมัน (% น้ำหนักแห้ง)	5.1±0.7
ปริมาณไนโตรเจน (% น้ำหนักแห้ง)	19.6±0.7
ปริมาณเถ้า (% น้ำหนักแห้ง)	4.5±0.5
ความเป็นด่าง (% น้ำหนักแห้ง)	0.35±0.12
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (% น้ำหนักแห้ง)	15.2±1.1
ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยได้ทั้งหมด (% น้ำหนักแห้ง)	3.2±0.2
ปริมาณเซลลูโลส (% น้ำหนักแห้ง)	11.4±0.12

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระหว่างการผลิตไฮโดรเจนน้ำตาลจากขยะเศษอาหาร ที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง โดยใช้จุลินทรีย์จากมูลโคที่ผ่านการปรับสภาพทั้ง 4 วิธี

3.2.1 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล

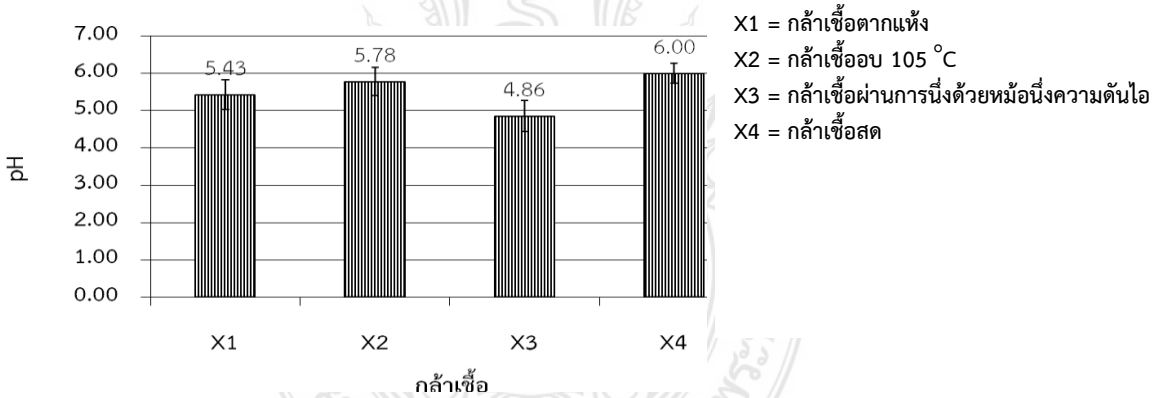
จากรูปที่ 1 จะพบได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลภายหลังผ่านกระบวนการ (โดยการเปลี่ยนสับเตรด 3 ครั้ง) ได้มีส่วน ก่อให้เกิดระดับความเข้มข้นของน้ำตาลลดลงตามลำดับ และพบว่า มูลโค 4 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฮโดรเจน ได้แก่ กล้าเชื้อตากแห้ง (x1) ให้ค่าเฉลี่ย 0.13±0.01 กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C (x2) ให้ค่าเฉลี่ย 0.13±0.01 กรัมต่อลิตร กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอเฉลี่ย (x3) ให้ค่าเฉลี่ย 0.10±0.01 กรัมต่อลิตร และกล้าเชื้อสด (x4) ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15±0.01 กรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงผลว่า เมื่อมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในกระบวนการ จะส่งผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลค่อยๆ ลดลง และมีความสัมพันธ์ร่วมกับระยะเวลาและปริมาณไฮโดรเจนที่ได้รับร่วมด้วย



รูปที่ 1 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (กรัมต่อลิตร) ภายหลังการหมักของกล้าเชื้อทั้ง 4 วิธี

3.2.2 ค่า pH

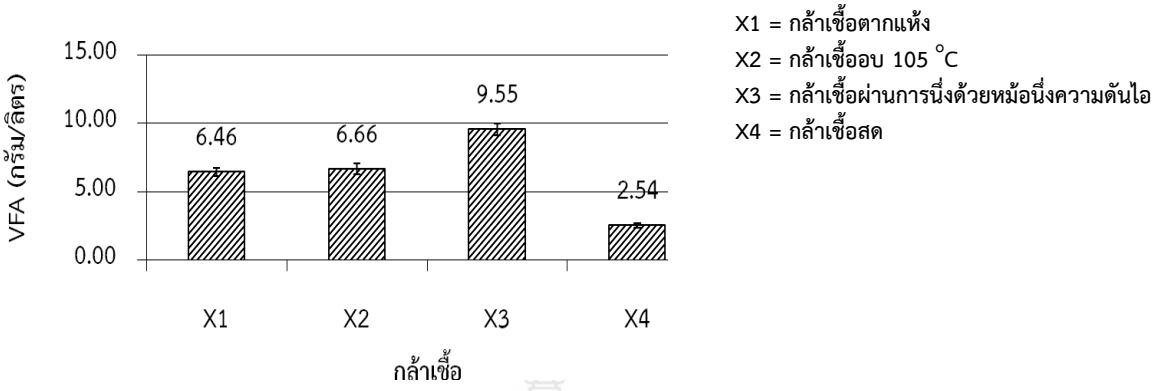
ค่า pH สำหรับเศษของเสียอาหารก่อนเข้ากระบวนการ จะอยู่ในช่วงค่อนข้างเป็นกรดสูง ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการเตรียมหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน ดังนั้นจึงต้องมีการเติมบัฟเฟอร์ลงไป คือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เพื่อให้ได้ pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.50 – 6.00 ซึ่งพบว่า ค่า pH ภายหลังผ่านกระบวนการหมักแบบ กึ่งกะ โดยการเปลี่ยนสับเตรท 3 ครั้งนั้น มี pH ภายหลังการหมักกล้าเชื้อตากแห้ง (x1) เฉลี่ย 5.43±0.40 กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 °C (x2) เฉลี่ย 5.78±0.38 กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ(x3) เฉลี่ย 4.85±0.42 และกล้าเชื้อสดเฉลี่ย (x4) อยู่ที่ 6.00±0.27 (ดังรูปที่ 2)



รูปที่ 2 ค่า pH ภายหลังการหมักของของกล้าเชื้อทั้ง 4 วิธี

3.2.3 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (VFA)

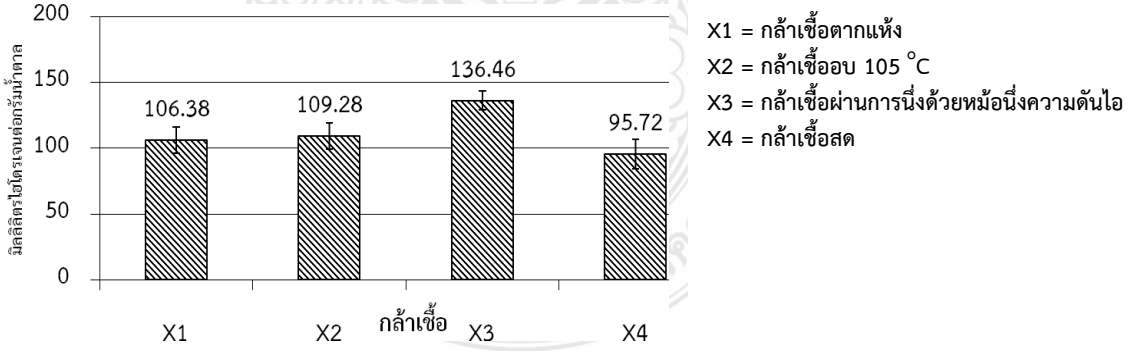
ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย เมื่อเริ่มต้นของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง ปรากฏอยู่ในระดับ 0.86 และ 1.86 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายภายหลังการหมัก (ดังรูปที่ 3) จะพบได้ว่า วิธีการปฏิบัติด้วยการใช้กล้าเชื้อตากแห้ง (x1) กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 °C (x2) กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (x3) และกล้าเชื้อสด (x4) จะให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.46±0.30, 6.66±0.40, 9.55±0.45 และ 2.54±0.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งระบุว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายตลอดการทดลองจะไม่คงที่ โดยค่าที่ได้รับในระดับสูงเช่นนั้นจะเกี่ยวเนื่องกับสาเหตุเพราะ อาจเกิดจากเศษอาหารที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีสภาพของสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน หรืออาจเกิดขึ้นจากการทำงานของกล้าเชื้อที่เตรียมแตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้การทำงานแตกต่างกันไปด้วย



รูปที่ 3 กรดไขมันที่ระเหยง่าย (กรัมต่อลิตร) ที่ผ่านการหมักโดยใช้กล้าเชื้อที่ผ่านการเตรียมทั้ง 4 วิธี

3.2.4 ปริมาณไฮโดรเจน

เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน โดยการเตรียมกล้าเชื้อมูลโคที่แตกต่างกัน 4 ชนิด และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C โดยใช้สัดส่วนระหว่างกล้าเชื้อ : เศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้งในอัตราส่วน 50% หัวเชื้อ : 10% เศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้งและ 40% น้ำกลั่น เติมบัฟเฟอร์เป็นโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เพื่อปรับค่า pH ดังกล่าว (ดังรายละเอียดจากรูปที่ 4) จะพบได้ว่า กล้าเชื้อมูลโคแต่ละชนิดจะมีการผลิตไฮโดรเจนออกมาในระดับที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการใช้กล้าเชื้อที่ผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (x3) ให้ปริมาณไฮโดรเจนสูงสุดเฉลี่ย 136.46±5.13 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ส่วนกล้ากล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 °C (x2) ให้ค่าเฉลี่ย 109.28±10.07 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ส่วนวิธีการของเชื้อตากแห้ง (x1) ให้ค่าเฉลี่ย 106.38±9.40 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) และกล้าเชื้อสด (x4) ให้ค่าเฉลี่ย 95.72±10.45 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ตามลำดับ

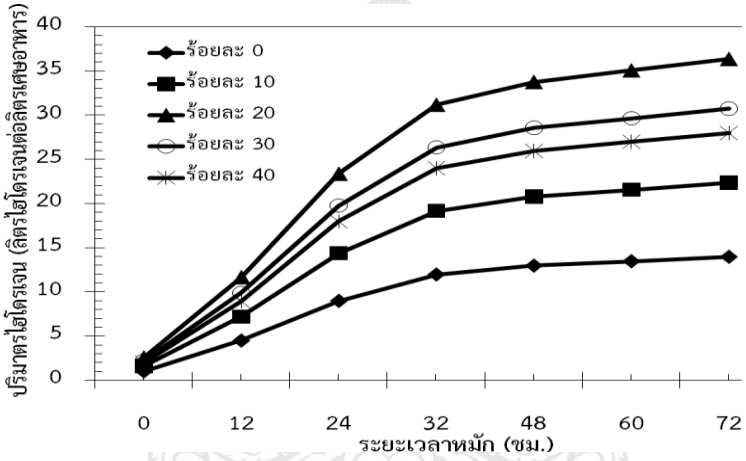


รูปที่ 4 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาลในเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ของกล้าเชื้อที่ปรับสภาพแตกต่างกัน 4 วิธี

3.2.5 ปริมาณไฮโดรเจนโดยใช้กล้าเชื้อผง

กล้าเชื้อที่ผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้ดีที่สุด จึงนำมาเตรียมกล้าเชื้อผงสำหรับผลิตไฮโดรเจน โดยอาศัยการผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่อบแห้ง และพบรายละเอียดเพิ่มเติมว่า กล้าเชื้อผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนได้ดีที่สุด และให้ผลผลิตไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงถึง 35 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร ส่วนการทดสอบความแปรผันของปริมาณกล้า

เชื้อผงที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 นั้น ระบุว่า การแปลงผันกล้าเชื้อผงให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 นั้น จะให้ผลผลิตไฮโดรเจนขึ้นมาในปริมาณ 8.5, 18.35, 28.6 และ 25 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหารตามลำดับ ส่วนการผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารด้วยกล้าเชื้อผง เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง เนื่องจากสารอาหารในการผลิตไฮโดรเจนหมดลง และมีสภาวะเป็นกรดที่ค่อนข้างสูง ส่วนในกรณีของปริมาณผลผลิตไฮโดรเจนเมื่อเริ่มต้นผลิตภายหลังจากเติมกล้าเชื้อลงไปเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงนั้น แสดงให้เห็นว่า กล้าเชื้อมีการระยะพักตัวที่สั้น ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นกล้าเชื้อผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป ส่วนในกรณีของชุดควบคุมโดยไม่เติมกล้าเชื้อให้นั้น จะให้ผลผลิตไฮโดรเจนประมาณ 10 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหารเท่านั้น เนื่องจากเศษอาหารที่ใช้ ไม่มีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในเศษอาหาร จุลินทรีย์จึงสามารถย่อยและผลิตไฮโดรเจนได้แต่ในปริมาณที่น้อยลงตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงปริมาณไฮโดรเจนที่ได้รับ จากการใช้กล้าเชื้อผงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

4. สรุป

จากการศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้น พบว่า ขยะเศษอาหารจากร้านอาหาร ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลรีดิวซ์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแป้ง สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพไปเป็นน้ำตาล [Wang et. al. 2008] ดังนั้นขยะเศษอาหาร จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนได้ต่อไป นอกจากนี้ปริมาณความชื้นในขยะเศษอาหารยังมีสูงถึงร้อยละ 82-83 จึงส่งเสริมทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโต และย่อยสลายเศษอาหารได้อย่างรวดเร็ว

จากการเตรียมขยะเศษอาหาร โดยการย่อยเบื้องต้นด้วยลูกแป้ง 7.5% (w/v) เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาผลิตไฮโดรเจนแบบกึ่งกะ โดยการใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคที่ผ่านการปรับสภาพ 4 วิธี คือ กล้าเชื้อสด กล้าเชื้อผ่านการอบด้วยหม้อนึ่งความอันไอ กล้าเชื้อตากแห้ง และกล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C พบว่า การใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์เพื่อผลิตไฮโดรเจนทั้ง 4 วิธี สามารถส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลที่ลดลง ค่า pH ค่อนข้างเป็นกรด และมีกรดไขมันที่ระเหยง่ายสูงขึ้นภายหลังสิ้นสุดการหมัก โดยกล้าเชื้อมูลโคผ่านการอบด้วยหม้อนึ่งความดันไอ มีกรดไขมันที่ระเหยง่ายสูงสุด คือ 9.55 กรัมต่อลิตร และปริมาณไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงสุด ภายหลังจากเปลี่ยนสับสเตรต โดยให้ค่าเฉลี่ย คือ 136.46 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล

ส่วนวิธีการของกล้าเชื้อที่ผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนได้ดีที่สุด จึงนำมาเตรียมกล้าเชื้อผง ส่วนการเตรียมหัวเชื้อเพื่อผลิตไฮโดรเจน โดยอาศัยการผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ พบว่า กล้าผงที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนได้ดีที่สุด และให้ผลผลิต

ไฮโดรเจน 35 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร ดังนั้นการเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค ด้วยการอบด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ เพื่อนำมาผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารที่ย่อยเบื้องต้นด้วยลูกแป้ง จึงนับว่าเป็นแนวทางที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนทางชีวภาพได้ เนื่องจากใช้วิธีการไม่สลับซับซ้อนและต้นทุนไม่สูง ส่งผลทำให้สามารถใช้ของเสียจากเศษอาหารมาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดปัญหาการทิ้งเศษอาหารสู่สิ่งแวดล้อมได้โยตรง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากมูลฝอยเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554

6. เอกสารอ้างอิง

นพดล โพชกำเหนิด สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์ เสริมศักดิ์ สัญญาโถ และสมพงศ์ โอทอง. 2555. การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากของเสียเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพโดยกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค. รายงานสืบเนื่องจากการประชุม (Proceeding) การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ประจำปี 2555. ระหว่างวันที่ 16-19 กุมภาพันธ์ 2555 ณ ห้องมงกุฎเพชร โรงแรมโฆษะ จังหวัดขอนแก่น. หน้า. 913-917.

APHA, AWWA, WPCF, 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, Washington, DC.

Chen J.L. Li X.M. Li Y.D. and Qin Y.N. 2003. **Production of hydrogen and nanocarbon from direct decomposition of undiluted methane on high-nickeled Ni–Cu–alumina catalysts.** Chem. Lett. 32: 424–425.

Das D. and Veziroglu T.N. 2001. **Hydrogen production by biological process: a survey of literature.** Int. J. Hydrogen Energy. 26: 13-28.

Moon H.C. Song. I.S. Kim. J.C. Shirai. Y. Lee D.H. Kim. J.K. Chung S.O. Kim D.H. Oh K.K. and Cho Y.S. 2009. **Enzymetic hydrolysis of food waste and ethanol fermentation.** J. of energy. 33:164- 172.

Wang N. Yu J.G. Chang P.R. and Max. F., 2008. **Influence of formamide and water on the properties of thermoplastic starch/ poly(lactic acid) blends.** Carbohydr. Polym. 71, 109–118.

Zhang X.J. and Yu H.Q. 2005. **Inhibitory effects of butyrate on biological hydrogen production with mixed anaerobic cultures.** J Environ. Management, 74: 66-70.