RMUTSV
SK073999
65651

รายงานการวิจัย

การพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากมูลฝอยจากเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ

Development of efficient biofuels production process from food waste

662.66
ม164
2554

นายนพดล โพชกำเหนิด
ดร. สมพงศ์ โอทอง
นายสมบูรณ์ ประสงค์จันทร์
นายเสริมศักดิ์ สัญญาโณ

คณะศิลปศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๔

การพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากมูลฝอยจากเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ

นพดล โพชกำเหนิด[1] สมพงศ์ โอทอง[2] สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์[1] และเสริมศักดิ์ สัญญาโณ[3]

บทคัดย่อ

ขยะเศษอาหารมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต การเตรียมขยะเศษอาหารด้วยความร้อนที่(100 องศาเซลเซียส) กรดอ่อน (ร้อยละ 1.7 H_2SO_4) ด่างอ่อน (ร้อยละ 1 NaOH) จุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก (ร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) และ เอนไซม์อะไมเลส ให้ผลผลิตน้ำตาล 36 77 43 114 และ 56.7 กรัมต่อลิตรตามลำดับ จากการเตรียมโดยใช้ลูกแป้ง ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร และ ร้านอาหารให้น้ำตาลสูง 70 และ 66 กรัมต่อลิตร การผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยของเสียเศษอาหารด้วยแบคทีเรียจากมูลโค พบว่า ของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารเตรียมด้วยลูกแป้งให้ผลผลิตไฮโดรเจนสูงสุด 13.2 และ 15.8 ลิตรต่อลิตรเศษอาหารตามลำดับ และให้ผลได้ของไฮโดรเจน 188 และ 239 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตไฮโดรเจน พบว่า กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลวัว เด่นด้วย *Clostridium acetobutylicum*, *Bifidobacterium minimum*, *Ethanoligenens* sp. และ *Bifidobacterium* sp. นำน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการหมักแบบกึ่งกะโดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียผลิตมีเทนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบพบว่า ค่าผลได้ของมีเทนจากการใช้น้ำหมักร้อยละ 30 ให้ค่าสูงสุด และมีปริมาณมีเทนสะสมสูงสุด การศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตไฮโดรเจน พบว่า กลุ่มจุลินทรีย์ที่เด่นในถังจะเป็นพวกอาร์เคียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน เช่น *Methanosarcina* sp., *Methanoculleus* sp. และ*Methanoculleus* sp. การพัฒนาระบบการผลิตไฮโดรเจนแบบติดตั้งขนาดเล็ก 40 ลิตร ที่ระยะพักกักเก็บน้ำ 5 วัน ถังที่สองถังผลิตมีเทนขนาด 200 ลิตร มีระยะพักกักเก็บน้ำ 20 วัน ให้ผลผลิตไฮโดรเจนเฉลี่ย 900 ลิตรต่อวัน หรือ 180 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มีค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 40 มีค่าของแข็งระเหยได้ 78 gVSS/L ให้ผลผลิตมีเทนเฉลี่ย 700 ลิตรต่อวัน หรือ 35 ลิตรมีเทนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มีค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 80 มีค่าของแข็งระเหยได้ 98 gVSS/L

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน มีเทน ของเสียเศษอาหาร กลุ่มจุลินทรีย์

[1] คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93110

[3] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

Development of efficient biofuels production process from food waste

Noppadon Podkumnerd[1] Sompong O-Thong[2] Somboon Prasongjan[1] and Sermsak Sanyano[3]

Abstract

In study investigated food waste hydrolysis methods and used food waste hydrolysates as substrate for hydrogen production by mixed cultures enriched from cow dung. Food waste is mainly composed of carbohydrate. There are 5 methods to hydrolysis that heating at 100 °C, using 1.7% sulfuric acid, using 1% sodium hydroxide, using 7.5% microbial digestion (Look-pang) and 1 unit of enzyme amylase released maximum sugar yield of 0.23 0.21 0.21 0.26 and 0.19, corresponding to sugar concentration of 23, 65, 43, 76 and 56 g/L, respectively at optimum conditions. . The data shown that preparation of food waste by microbial digestion (Look-Pang) maximum increased sugar yield. Canteen and restaurant food waste was digested by microbial digestion (Look-Pang) gave maximum reducing sugar of 70 and 66 g/L, respectively. Digested food wastes were used for hydrogen production by enriched cultures from cow dung. Results shown that digested food waste from restaurants and canteens have high hydrogen production of 13.2 and 15.8 L H_2/L-digested food waste, respectively, corresponding to hydrogen yield of 188 and 239 mL H_2/g-sugar. Mixed cultures enriched from cow dung to produce hydrogen is mainly *Clostridium acetobutylicum*, *Bifidobacterium minimum*, *Ethanoligenens* sp. and *Bifidobacterium* sp. Methane production from the hydrogen hydrolysate using mixed cultures from methane production of oil palm extraction plan. The result shown that methane production by using 30% hydrolysate had maximum yield. Mixed cultures to produce methane is mainly *Methanosarcina* sp., *Methanoculleus* sp. And *Methanoculleus* sp. Development of hydrogen production system (40L) had HRT 5 days and methane production system (200L) had HRT 20 days. The hydrogen production system produce hydrogen 900 L/day or 180 L hydrogen/reactor/day and organic removal (COD) 40%. The methane production system produce methane 700 L/day or 35 L methane /reactor/day and organic removal (COD) 80%

Keywords: hydrogen, methane, food waste, enriched cultures

[1]Faculty of Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000

[2] Faculty of Science, Thaksin University Phathalung campus 93110

[3]Faculty of Architecture Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๔ ขอขอบคุณผู้บริหารคณะศิลปศาสตร์ และอาจารย์ประจำหลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้อำนวยความสะดวกและคำแนะนำในด้านต่างๆ ส่งผลให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นพดล โพชกำเหนิด

สมพงศ์ โอทอง

สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์

เสริมศักดิ์ สัญญาโณ

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญเรื่อง	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	11
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
บทที่ 5 วิจารณ์ผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเสียเศษอาหารจาก โรงอาหาร ชุมชน ร้านอาหาร และตลาด แสดงในหน่วยร้อยละเทียบโดยน้ำหนักแห้งของเศษอาหาร 25

ตารางที่ 2 แสดงผลผลิตไฮโดรเจน และ ผลได้ไฮโดรเจนจากการเตรียมเศษอาหารด้วยวิธีการต่างๆด้วยเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค 34

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร 51

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ จากแหล่งต่างๆ 52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ 7

ภาพที่ 2 ถังหมักไฮโดรเจนขนาด 40 ลิตร 17

ภาพที่ 3 ถังหมักมีมีเทนขนาด 200 ลิตร 18

ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนขนาดเล็ก 19

ภาพที่ 5 การกักเก็บก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนขนาดเล็ก 19

ภาพที่ 6 สถานที่เก็บตัวอย่าง (ก) โรงอาหารกลาง มทร.ศรีวิชัย (ข) ชุมชนชัยมงคล และบ้านพักอาจารย์ มทร.ศรีวิชัย (ค) ร้านอาหารฟักทอง ถ.ปละท่า (ง) ร้านผลไม้ ตลาดริมทางรถไฟ 22

ภาพที่ 7 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างโดยใช้ โดยใช้ GPSmap 60Cx ร่วมกับโปรแกรม NavDrive™ Thailand Thailand City Select v6.7 23

ภาพที่ 8 ภาพที่ 8 ลักษณะเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ ในเทศบาลนครสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 24

ภาพที่ 9 การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส (ก) 1.7% กรดซัลฟิวริค 1% (ข) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ค) 7.5% จุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก (ง) และ 1 ยูนิต เอนไซม์อะไมเลส (จ) 29

ภาพที่ 10 การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส (ก) 1.7% กรดซัลฟิวริค 1% (ข) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ค) 7.5% จุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก(ง) และ 1 ยูนิต เอนไซม์อะไมเลส (จ) 31

ภาพที่ 11 เศษอาหาร (ก) เศษอาหารก่อนการย่อยด้วยลูกแป้ง (ข) เศษอาหารผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง 33

ภาพที่ 12 ผลผลิตไฮโดรเจนของการเตรียมเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารด้วยวิธีการทางเคมี กายภาพ ชีวภาพ ด้วยกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโค 34

ภาพที่ 13 ผลผลิตและผลได้ไฮโดรเจนจากกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโคที่ผ่านการปรับสภาพให้ผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วด้วยลูกแป้ง 35

ภาพที่ 14 ผลผลิตไฮโดรเจนจากกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลในระบบแบบสลับเป็นกะจากเศษอาหารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วด้วยลูกแป้ง 36

ภาพที่ 15 โครงสร้างกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโควิเคราะห์โดยเทคนิค DGGE 37

ภาพที่ 16 ผลผลิตมีเทนจากกล้าเชื้อเพาะเลี้ยงด้วยร้อยละ 10 ของเศษอาหารที่หมักไฮโดรเจนแล้ว 38

ภาพที่ 17 ผลได้มีเทนจากน้ำหมักหลังผลิตไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ 39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ของเสียจากเศษอาหาร คือของเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตและการใช้สอยของมนุษย์ ซึ่งเป็นปัญหาของโลกสมัยใหม่ การเติบโตของเมืองที่มีขนาดใหญ่อย่างรวดเร็ว ซึ่งของเสียเหล่านี้หากไม่ได้กำจัดอย่างถูกวิธี นอกจากจะทำให้ชุมชนขาดความสะอาดเรียบร้อย ยังทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสภาพแวดล้อมอย่างมากมาย เช่น การปนเปื้อนของแหล่งน้ำ และการปนเปื้อนของอากาศ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ และแพร่กระจายของเชื้อโรค ตลอดจนก่อให้เกิดความรำคาญต่างๆจากกลิ่น ฝุ่นละออง ตลอดจนเป็นต้นเหตุของอัคคีภัยได้อีกด้วย การที่ขยะส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคย่อมเกิดผลกระทบต่อสุขภาพกาย และสุขภาพจิตของประชาชนโดยตรง อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อการท่องเที่ยว ทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจอีกด้วย การเก็บขยะมูลฝอยไปกำจัดในเขตชุมชน เขตเทศบาล ทำได้ประมาณร้อยละ 80 – 90 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด โดยเฉลี่ยเป็นรายบุคคลแล้ว 1 คน จะก่อให้เกิดขยะในปริมาณ 0.6 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับนอกเขตเทศบาล และ 0.8 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับเขตเทศบาล โดยเฉลี่ยจังหวัดหนึ่งๆ มีปริมาณขยะประมาณ 6 แสนกิโลกรัมต่อวัน (กรมพลังงานทดแทน; โครงการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน พ.ศ.2547)

ของเสียเศษอาหารประเภทเศษอาหารเป็นขยะทีมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงย่อยสลายได้อย่างเช่น เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ กระดาษ ผ้า ไม้ เศษพืชผัก ซึ่งเป็นของเสียทีมีน้ำตาลและแป้งเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60% ของน้ำหนักเปียก (Moon *et al*., 2009) มีแนวโน้มในการการนำมาเป็นสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเป็นแหล่งพลังงานชีวภาพ อย่างเช่น ไฮโดรเจน และ มีเทน ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานสะอาด และช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันจะเกิดจากปล่อยขยะมูลฝอยประเภทเศษอาหารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย ประกอบกับวิกฤตการณ์พลังงานเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องแก้ไข และหามาตรการป้องกัน ทั้งนี้ เนื่องจากประเทศไทย มีทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติน้อย จึงจำเป็นต้องพึ่งพาประเทศอื่นๆ ที่สามารถส่งออกพลังงานมาจำหน่ายได้ ส่งผลให้ขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน นอกจากนี้ทรัพยากรพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงเกิดกระแสความสนใจที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ ซึ่ง ก๊าซไฮโดรเจน และมีเทนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของแหล่งพลังงานในอนาคตที่คาดว่าจะนำมาทดแทนพลังงานพลังงานที่มีในธรรมชาติ เนื่องจาก

ไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด (Clean Energy) กระบวนการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

จากปัญหาการขาดแคลนพลังงานดังกล่าวมาแล้วข้างต้น กลุ่มผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเศษอาหารมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานทดแทน โดยจะใช้วิธีการ ย่อยเศษอาหารด้วยกรดอ่อน เบสอ่อน และเอนไซม์จากจุลินทรีย์ ซึ่งจะได้ไฮโดรไลเสตที่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาลไซโลส และกลูโคส (Campo *et al*, 2006) นำมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ทั้งนี้มีรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ว่ามีจุลินทรีย์ที่สามารถนำไฮโดรไลเสตของวัสดุจำพวกเศษอาหารไปเป็นสับเสตรทเพื่อผลิตไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Koike *et al*, 2009) โดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ หลังจากผ่านกระบวนการหมักและสิ้นสุดกระบวนการผลิตไฮโดรเจน จะมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก บิวไทริก โพรไพโอนิก และแลกติก (Pattra *et al*, 2008) ทำให้มีค่า COD สูง จำเป็นต้องมีการกำจัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป โดยในงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำหมักที่เหลือจากกระบวนผลิตไฮโดรเจนไปใช้ในการผลิตมีเทน ซึ่งสามารถใช้สับเสตรทที่เป็นกรดไขมันระเหยง่ายในเป็นสับเสตรทในการผลิตได้และให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัด COD สูง (80-100%) (Ueno *et al*, 2007)

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณากระบวนการโดยรวมตั้งแต่การผลิตไฮโดรเจน จากเศษอาหารจนถึงการผลิตมีเทนจากน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน จะเห็นว่าสามารถนำวัสดุชีวมวลมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์สูงสุด ได้พลังงานทดแทนได้แก่ ไฮโดรเจน และมีเทน และยังช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอันจะเกิดการทิ้งเศษอาหารสู่สิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย คือ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักจึงแบ่งวัตถุประสงค์ย่อยออกเป็น 4 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการใช้ประโยชน์ของเสียจากเศษอาหารเพื่อผลิตไฮโดรเจน โดยใช้จุลินทรีย์แบบไร้อากาศ

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตมีเทนจากน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน

3. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน และมีเทน

4. เพื่อพัฒนาระบบแบบติดตั้งขนาดเล็ก (on site) สำหรับการผลิตไฮโดรเจน และมีเทน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ และนำองค์ความรู้ไปพัฒนาระบบผลิตไฮโดรเจนและมีเทน แบบติดตั้งขนาดเล็ก (on site) โดยจะศึกษาครอบคลุมถึงความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยจากเศษอาหารเพื่อผลิตไฮโดรเจน และมีเทน โดยวิธีการทางชีวภาพ โดยใช้มูลฝอยจากเศษอาหารจากแหล่งต่าง ๆ 4 แหล่ง ในเขตเทศบาลนครสงขลาได้แก่ เศษอาหารจากตลาดสด ร้านอาหาร ชุมชน และโรงอาหาร โดยมีขอบเขตการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของมูลฝอยจากเศษอาหารจากแหล่งต่าง ๆ 4 แหล่งได้แก่ เศษอาหารจากตลาดสด ร้านอาหาร ชุมชน และโรงอาหาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตไฮโดรเจน

2. ศึกษาการเตรียมตัวอย่างมูลฝอยจากเศษอาหารสำหรับการผลิตไฮโดรเจน โดยการเติมปัจจัยที่มีความสามารถในการย่อยสลายแป้งในเศษอาหารเพื่อให้มีการย่อยสลายให้กลายเป็นแหล่งน้ำตาลสำหรับผลิตไฮโดรเจน และเอทานอล โดยใช้ปัจจัย 4 ชนิด ได้แก่ (1) ใช้ความร้อน (ไม่มีการเติมสารช่วยย่อย) (2)กรดซัลฟิวริค (Sulfuric acid) 1.7%, (3)โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1%, (4)จุลินทรีย์จากลูกแป้ง และ (5) เอนไซม์ เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่ได้จากมูลฝอยแต่ละชนิด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ว่าควรนำมูลฝอยจากเศษอาหารจากแหล่งใดไปผลิตไฮโดรเจน

3. นำมูลฝอยจากเศษอาหารที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมมาศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลวัว (Cow dung) โดยใช้กระบวนการหมักแบบกึ่งกะในห้องปฏิบัติการ

4. นำน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนมาผลิตมีเทนโดยใช้กระบวนการหมักแบบกึ่งกะในห้องปฏิบัติการ

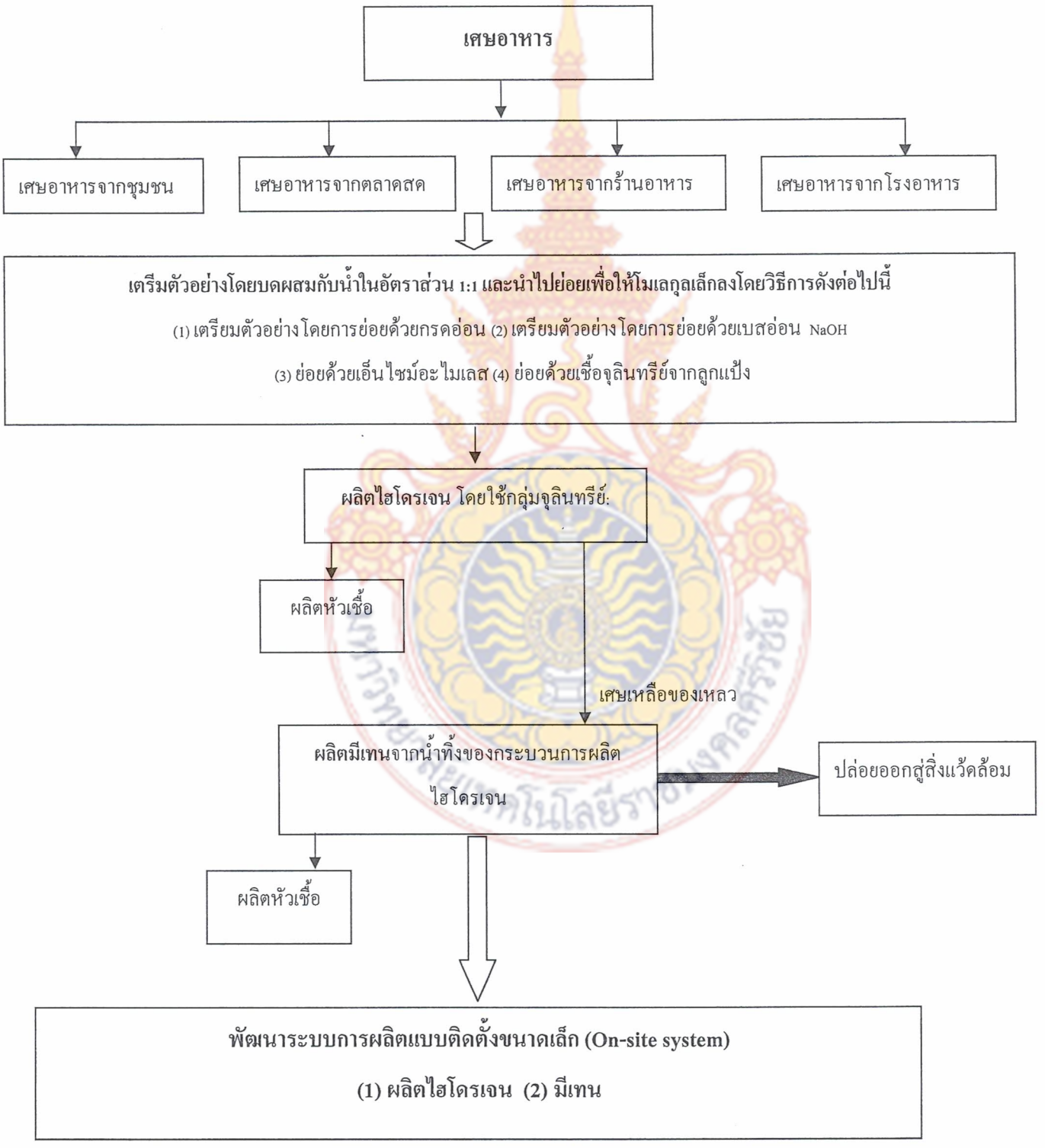
5. นำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนและมีเทนมาศึกษาความเป็นไปได้ และพัฒนากระบวนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์สำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนและมีเทน

6. พัฒนาระบบผลิตไฮโดรเจน และมีเทน แบบติดตั้งขนาดเล็ก (on site)

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ของเสียจากเศษอาหารมีส่วนประกอบของโพลิแซคคาไรด์หลายชนิด เช่น เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส แป้ง โปรตีน เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์จะได้น้ำตาลกลูโคสและไซโลส สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยที่แป้งสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์อะไมเลสซึ่งส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ชอบร้อน ไฮโดรไลเสตที่ได้จาก

จากการย่อยสลายจะประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลต่ำซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตไฮโดรเจนได้ น้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งจุลินทรีย์แบบไร้อากาศที่มีความสามารถในการผลิตมีเทน สามารถนำไปใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพัฒนาระบบการผลิตพลังงานจากมูลฝอยจากเศษอาหารแบบติดตั้งขนาดเล็กสำหรับชุมชน



บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ของเสียจากเศษอาหาร

ของเสียจากเศษอาหาร (Food waste) คือ ของเสียซึ่งประกอบด้วยของสดหรือเศษอาหารที่ผ่านการปรุงแล้ว โดยของเสียเหล่านี้จะถูกทิ้งทั้งในรูปของสดและเศษอาหาร ทั้งก่อนการปรุง และระหว่างปรุงอาหาร ตัวอย่างเช่น เปลือกผัก ผลไม้ เศษเนื้อ และส่วนผสมที่เหลือ และของเสียที่ได้หลังการปรุงอาหาร ซึ่งประกอบด้วยอาหารส่วนที่เหลือจากการบริโภค หรืออาหารที่เสียแล้ว (Wikipedia, 2009a)

แหล่งกำเนิดของเสียจากเศษอาหารแหล่งใหญ่ที่สุดได้แก่ครัวเรือนและร้านอาหาร (Wikipedia, 2009a) องค์ประกอบหลักของของเสียจากเศษอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรต (แป้ง และเซลลูโลส) และโปรตีน (Kim *et al.*, 2003) ของเสียจากเศษอาหารส่วนใหญ่ จะเป็นขยะอินทรีย์และถูกฝังกลบในพื้นดิน ซึ่งจะทำให้เกิดน้ำชะขยะ (lechate) ซึ่งมีกลิ่นเหม็น และก่อให้เกิดการสะสมของเชื้อโรคชนิดต่างๆได้ การใช้วิธีกำจัดเศษอาหารโดยการเผาจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากมีความชื้นสูง (Konan and Bisesi, 2002)

ของเสียจากเศษอาหารเป็นขยะที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงย่อยสลายได้ อย่างเช่น เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ เศษพืชผัก ซึ่งเป็นของเสียที่มีน้ำตาลและแป้งเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60% ของน้ำหนักเปียก (Moon *et al.*, 2009) มีแนวโน้มในการการนำมาเป็นสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเป็นแหล่งพลังงานทางชีวภาพ เช่น ไฮโดรเจน และมีเทน ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานสะอาด และช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันจะเกิดจากปล่อยมูลฝอยประเภทเศษอาหารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2.1.2 ไฮโดรเจนและการใช้ประโยชน์

ไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่น 0.0899 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร (ไฮโดรเจนเหลวมีความหนาแน่น 70.99 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) จุดหลอมเหลว -259.14 °C และมีจุดเดือด -252.77 °C ในน้ำจะประกอบด้วยไฮโดรเจน 11.2% โดยน้ำหนัก หรือไฮโดรเจน 1 กิโลกรัม ให้ค่าพลังงานเท่ากับ ก๊าซธรรมชาติ 2.1 กิโลกรัม หรือเท่ากับ แก๊สโซลีน 2.8 กิโลกรัม (Kruse *et al.*, 2002) เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อการคมนาคมขนส่ง (Yokoi *et al.*, 2002) พลังงานไฮโดรเจนมีคุณสมบัติที่เหมือนพลังงานฟอสซิล (ถ่าน หิน น้ำมัน และก๊าซ

ธรรมชาติ) คือเป็นเชื้อเพลิงได้ สามารถเผาไหม้ ให้พลังงานความร้อนใช้หุงต้มได้ หรือจะใช้สันดาปภายในเหมือนน้ำมันก็ได้ ไฮโดรเจนยังสามารถกลับมารวมตัวกับออกซิเจน สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า ได้โดยตรง กระบวนการนี้เป็นกระบวนการซึ่งใช้กับ fuel cell หรือเซลล์เชื้อเพลิง (Yokoi *et al*., 2002) "เชื้อเพลิงไฮโดรเจน" เป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด (Clean Energy) ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ (Akano *et al*, 1996) การผลิตก๊าซไฮโดรเจนให้มีประสิทธิภาพในปัจจุบันมีทั้งวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ เช่น วิธี Water electrolysis, Thermochemical processes, Radiolytic process และ Biological process (Lay *et al*, 1999) การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษเนื่องจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้เป็นผลผลิตทางชีวภาพที่ง่ายต่อการกำจัด นอกจากนี้วัตถุดิบที่ในกระบวนการผลิตยังใช้ได้หลากหลาย และมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการทางชีวภาพนั้นแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1) Photosynthetic microorganisms เช่น สาหร่าย (Greenbaum, 1990) และแบคทีเรียสังเคราะห์แสง เช่น *Rhodospirillum rubrum* (Zhu *et al*, 1999; Miyake *et al*, 1999) เป็นต้น และ 2) Fermentative hydrogen-producing microorganism ซึ่งส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ประเภท facultative anaerobes (Tanisho and Ishiwata, 1995) และ obligate anaerobes (Dabrock *et al*, 1992; Taguchi *et al*, 1992; Tanisho, 1996) เช่น *Clostridium butyricum* และ *Enterobacter aerogenes* เป็นต้น

2.1.3 มีเทนและการใช้ประโยชน์

ก๊าซมีเทน (CH_4) สามารถผลิตได้จากมวลชีวภาพต่างๆ ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้แล้วไม่หมดไป กระบวนการผลิตมีเทนเป็นกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ในขั้นตอนที่ 4 (Methanogenesis phase) ก๊าซมีเทนค่าพลังงานความร้อนสูงถึง 9,000 กิโลแคลอรี/ม^3 หรือ 21,000 กิโลจูล/ม^3 จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาไหม้เพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้คุณสมบัติสำคัญของมีเทนคือเป็นแก๊สที่เมื่อเผาไหม้แล้วได้สารผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Wikipedia, 2009c)

2.1.4 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process)

ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (รูปที่ 1) มีปฏิกิริยาหลักๆ เกิดขึ้นอยู่ 2 ขั้นตอน (Two phase anaerobic process: TPAP) คือ 1) กระบวนการผลิตกรด (Acidogenesis) 2) กระบวนการผลิตมีเทน (Methanogenesis) ซึ่งพบว่ากระบวนการ TPAP นี้ สามารถผลิตได้ทั้งมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนออกมาพร้อมๆกันได้

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process) เกิดขึ้น 4 ขั้นตอนย่อยตามลำดับ ดังนี้

1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยเอนไซม์ของแบคทีเรียที่ปล่อยออกมา

2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทาริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

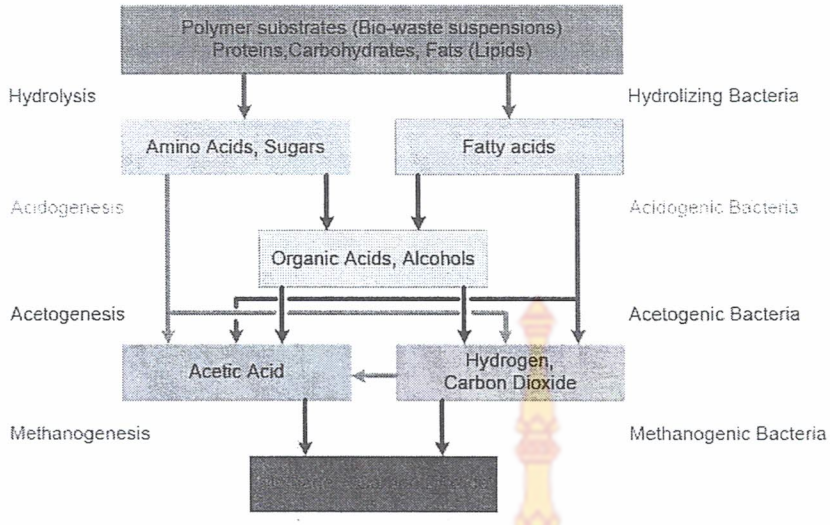
3) กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยง่าย (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นการลดการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณสูงสามารถยับยั้งการสร้างมีเทนได้

4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรดจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) ใช้สร้างมีเทน

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ) คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (ไร้ออกซิเจน) ผลที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายส่วนใหญ่ คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวโดยสรุปแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (Lee *et al.*, 2004)

2.1.5 การผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

จากขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ภาพที่ 1) แบคทีเรียกลุ่ม acidogenic bacteria จะทำงานในขั้นตอน กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) หรือเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการหมักแบบไม่ใช้แสง (Dark-fermentation process) ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้แสงนี้ทำให้ได้ผล ไฮโดรเจนถึง 4 โมลต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายกลูโคส 1 โมล ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตไฮโดรเจนคือ อะซิเตท 2 โมล และไฮโดรเจน 4 โมล (Gutierrz *et al.*, 1998)

แบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic bacteria) สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ภายใต้สภาวะไร้แสง (dark fermentation) โดยใช้สับสเตรทที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งปฏิกิริยาการหมักสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน คือ อุณหภูมิปานกลาง 25-40 °C (mesophilic) อุณหภูมิสูง 40-65 °C (thermophilic) อุณหภูมิสูงมาก 65-80 °C (extreme thermophilic) และอุณหภูมิสูงมากๆ คือ มากกว่า 80 °C (hyper thermophilic) ในขณะที่ระบบการผลิตไฮโดรเจนโดยการแยกสลายด้วยแสงแบบทางตรงและทางอ้อม (direct และ indirect photolysis) จะสามารถผลิตไฮโดรเจนบริสุทธิ์ได้ แต่กระบวนการหมักแบบไม่ใช้แสง (dark fermentation) จะผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสม ซึ่งมีไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก (Maddox *et al.*, 1995)

กากตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย (anaerobic sludge) ประกอบไปด้วยเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Clostridium* sp., *Escherichia coli* และ

Enterobacter sp. (Nandi and Sengupta, 1998; Das and Veziroglu, 2001) แบคทีเรียดังกล่าวนี้ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ตะกอนดิน ตะกอนน้ำเสีย ปุ๋ยหมัก และมูลสัตว์ การเตรียมเชื้อตั้งต้นซึ่งเป็น จุลินทรีย์ในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อเป็นเชื้อตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจน จำเป็นต้องมีการเพิ่มศักยภาพของจุลินทรีย์โดยการกำจัดจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการ เช่น จุลินทรีย์ผลิตมีเทน (methanogenic bacteria) วิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียมเชื้อตั้งต้น เป็นการอาศัยความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของจุลินทรีย์ ได้แก่ ความสามารถในการสร้างเอ็นโดสปอร์ (Zhu and Beland, 2006) ซึ่งแบคทีเรียผลิตไฮโดรเจนในกลุ่ม *Clostridium* มีความสามารถในการสร้างเอ็นโดสปอร์เพื่อปกป้องเซลล์เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น มีความเป็นกรดสูง (pH 3.0-4.0) มีความเป็นเบสสูง (pH 10.0) หรือสูงเกินไป อุณหภูมิสูง (100-204 $^{\circ}$C) และการเติมสารยับยั้งบางชนิด เช่น 2-bromoethanesulfonic acid (BESA) (Zhu and Beland, 2006; Venkata *et al.*, 2007) การผลิตไฮโดรเจนโดยจุลินทรีย์ในกากตะกอนที่ผ่านการเตรียมก่อนนำมาใช้ต้องการสารอาหารบางชนิด (micronutrient) เพื่อช่วยในกระบวนการเมแทบอลิซึม การเจริญ และกิจกรรมของเซลล์ ซึ่งการเติมสารอาหารนอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์แล้วยังสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตไฮโดรเจนได้ (Lay, 2001)

2.1.6 การผลิตมีเทนในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

จากขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ภาพที่ 1) การผลิตมีเทนนั้นเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 4 ที่เรียกว่ากระบวนการ Methanogenesis เป็นการเปลี่ยนกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดไปเป็นก๊าซมีเทนถึง 70% โดย Methane forming bacteria (Polprasert, 1996) และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนโดย Hydrogen-utilizing methane bacteria แบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีการเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตมีเทนประกอบด้วย 1) ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมได้แก่ พีเอช (Masse and Droste, 2000) อุณหภูมิ ความเป็นด่าง สารพิษ สารยับยั้งปฏิกิริยา และลักษณะของของเสีย 2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบ ได้แก่ การกวนผสม (Molnar and Bartha, 1989) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading rate, OLR) และระยะเวลากักเก็บ (hydraulic retention time, HRT) (Lettinga 1995; Lo and Liao, 1985)

การผลิตมีเทนจากแบคทีเรียสามารถใช้ผลผลิตทางการเกษตรหรือของเสียจากอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ ตัวอย่างเช่น น้ำเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ (Largus *et al.*, 2004) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Chen *et al.*, 2003) municipal solid waste (Liu *et al.*, 2008) agricultural waste (Parawira *et al.*, 2008) เป็นต้น และเนื่องจากมีเทนสามารถถูกผลิตได้จากสารตั้งต้นหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารตั้ง

ต้นจำพวกกรดไขมันระเหยง่าย จึงทำกลุ่มผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำน้ำหมักที่เหลือจากการผลิตไฮโดรเจนมาเป็นสับเสตรทในการผลิตมีเทน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน และได้พลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่ง คือ มีเทน

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างของเสียจากเศษอาหาร

3.1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของเสียเศษอาหาร

ของเสียจากเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองได้จากของเสียจากเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่ง คือจากตลาดรถไฟ เทศบาลนครสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลาเป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากตลาด เศษอาหารจากชุมชนชัยมงคล ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลาเป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากชุมชน เศษอาหารจากร้านอาหารฟักทอง ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลาเป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากร้านอาหาร เศษอาหารจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากสำนักงาน ทำการเก็บของเสียเศษอาหารเป็นเวลา 1 เดือน เก็บตัวอย่างครั้งละ 5 กิโลกรัม เพื่อศึกษาถึงความแปรปรวนขององค์ประกอบจากการพฤติกรรมการบริโภคและสถานที่ โดยนำมาแยกเศษของแข็งที่ย่อยสลายได้ยากออก เช่น กระดูก เปลือกหอย เปลือกปู นำตัวอย่างของเสียมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เพื่อให้มีขนาดเล็กลง วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ค่า pH โดยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter B210, ProLine, Netherlands) ปริมาณไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณแป้ง (Strach) โดยวิธีมาตรฐาน (AOAC, 1998) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS) โดยวิธีมาตรฐาน (APHA, 1995) ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) โดยวิธี Kjeldahl method (Nandi and Sengupta, 1998) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี Somogyi and Nelson (APHA-AWWWA-WPCF, 1998)

3.2 ศึกษาวิธีการเตรียมของเสียเศษอาหารเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจน

ศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างของเสียสำหรับผลิตไฮโดรเจน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 5 แบบ โดยในแต่ละปัจจัยจะใช้การทดลอง 3 ซ้ำ ได้แก่

3.2.1 การย่อยด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การย่อยด้วยความร้อนนำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วมาเติมน้ำในอัตราส่วนของเศษอาหารต่อน้ำร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (50 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (100 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (150 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักต่อ

ปริมาตร (200 กรัม: 500 มิลลิลิตร) และร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (250 กรัม: 500 มิลลิลิตร) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi and Nelson

3.2.2 ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริค 1.7% ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การย่อยด้วยกรดเจือจางนำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วมาเติมกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.7% ในอัตราส่วนของ เศษอาหารต่อกรดร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง ด้วย NaOH ความเข้มข้น 3 M ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi and Nelson

3.2.3 ย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การย่อยด้วยเบสเจือจางนำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วมาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3 M ในอัตราส่วนของ เศษอาหารต่อกรดเท่ากับร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง ด้วย H_2SO_4 ความเข้มข้น 3 M ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi and Nelson

3.2.4 ย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก 7.5% อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (จากการศึกษาเบื้องต้น)

การย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งโดยนำเศษอาหารมาเติมลูกแป้งในอัตราส่วนของลูกแป้งต่อเศษอาหารต่อเท่ากับ 7.5% (3.25 กรัม: 500 กรัม) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วน้ำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi and Nelson

3.2.5 เอนไซม์อะไมเลส ที่เอกติวิตี้ 1 ยูนิตต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

การย่อยสลายด้วยเอนไซม์อะไมเลส โดยนำเศษอาหารที่ผ่านการบด มาเติมเอ็นไซม์อะไมเลสในอัตราส่วนของเศษอาหารต่อเอนไซม์เท่ากับร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันปรับค่า pH เป็น 10 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi and Nelson

เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และนำวิธีการเตรียมที่ให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดของแต่ละแหล่งไปเตรียมตัวอย่างในการผลิตไฮโดรเจนต่อไป

3.3 การศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหาร

3.3.1 การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน

ในการทดลองนี้จะใช้กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลวัว (Cow dung) เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน เริ่มจากยับยั้งจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตมีเทนซึ่งอยู่ในตะกอนก่อนโดยการให้ความร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการปรับสภาวะเพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศนี้มีความสามารถในการใช้น้ำตาลและแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเศษอาหารเพื่อเป็นสับเสตรทในการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยเพาะเลี้ยงกลุ่มจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่เติมไฮโดรไลเสตจากมูลฝอยจากเศษอาหารที่เหมาะสมสองแหล่ง(จากการทดลองที่ 2) เป็นแหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้นน้ำตาลโดยรวมเริ่มต้นเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร และเติมแร่ธาตุต่างๆ เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญของ จุลินทรีย์ได้แก่ KH_2PO_4 1.5 กรัมต่อลิตร $(NH_4)_2SO_4$ 2 กรัมต่อลิตร $CaCl_2.2H_2O$ 0.1 กรัมต่อลิตร $MgCl_2.6H_2O$ 0.1กรัมต่อลิตร และ $FeSO_4$ 0.003 กรัมต่อลิตร (Sudha *et al.*, 2007)ชั่งมูลวัวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว 2 กรัม เติมลงในขวดซีรัมขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีไฮโดรไลเสตจากมูลฝอยจากเศษอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลเหมาะสมสองชุดๆ ละ 68 มิลลิลิตร ทำการเพาะเลี้ยงที่ 37 องศาเซลเซียส เขย่า 100 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 5.5 ทำการ sub culture ทุกๆ 4 วัน เป็นเวลา 16 วัน และนำไปเชื้อเริ่มต้นในการผลิตไฮโดรเจนแบบกึ่งกะ

3.3.2 การผลิตไฮโดรเจนแบบกึ่งกะ

ทำการเพาะเลี้ยงสลับแบบกึ่งกะ (Fed-batch) ในสภาวะไร้อากาศ ใน Reactor ที่เป็นขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตรทำการ 800 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retention time) เท่ากับ 48 ชั่วโมง ปรับค่าพีเอชในสับเสตรทเริ่มต้นเป็น 5.5-6.5 โดยใช้ $NaHCO_3$ เพื่อควบคุมระดับพีเอชในน้ำหมักให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ในแต่ละรอบจะถ่ายอาหารเก่าออก 400 มิลลิลิตร และ ใส่อาหารใหม่ลงไป 400 มิลลิลิตร ดำเนินการเพาะเลี้ยงโดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 ml เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ (ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ที่ตรวจวัดในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ10) นำตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้ในระยะการผลิตก๊าซคงที่ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี

ตะกอนที่ได้จากระบบการเพาะเลี้ยงนี้ จะถูกนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนในขั้นตอนต่อไป และจะดำเนินระบบการเพาะเลี้ยงนี้เพื่อเตรียมหัวเชื้อไปจนสิ้นสุดการทดลองเพื่อให้ได้ จุลินทรีย์ที่ประสิทธิภาพคงที่ในทุกสภาวะการทดลอง

3.3.2 การศึกษานิเวศน์วิทยาของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ (microbial community)

เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตไฮโดรเจน ที่อยู่ในกลุ่มตะกอน จึงทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางอณูชีววิทยา โดยใช้ DGGE (Denatured Gradient Gel Electrophoresis) โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ จากการทดลอง 3.3.2 ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์

3.4 การศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตมีเทนจากน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน

3.4.1 การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทน

3.4.1.1 ในการทดลองนี้จะใช้กลุ่มจุลินทรีย์ไร้อากาศของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทนโดยจะทำการปรับสภาวะเพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศนี้มีความสามารถในการใช้กรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำหมักที่เหลือจากการผลิตไฮโดรเจนและเอทานอล เพื่อเป็นสับเสตรทในการผลิตมีเทน โดยตะกอนจุลินทรีย์ 20 กรัม เติมลงใน reactor ขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศโดยการพ่นด้วยก๊าซอาร์กอน ใช้ Resazurin เป็นอินดิเคเตอร์

3.4.1.2 เพาะเลี้ยงกลุ่มจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมน้ำหมักที่เหลือจากการผลิตไฮโดรเจนเป็นแหล่งคาร์บอนให้ค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 10,000 มิลลิกรัม COD ต่อลิตร และเติมแร่ธาตุต่างๆ เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้แก่ KH_2PO_4 1.5 กรัมต่อลิตร $(NH_4)_2SO_4$ 2 กรัมต่อลิตร $CaCl_2.2H_2O$ 0.1 กรัมต่อลิตร $MgCl_2.6H_2O$ 0.1กรัมต่อลิตร และ $FeSO_4$ 0.003 กรัมต่อลิตร (Liu *et al.*, 2008) ทำการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ (Fed Batch) ในสภาวะไร้อากาศ ใน reactor ที่เป็นขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตรทำการ 800 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บ (hydraulic retention time) เท่ากับ 10 วัน ควบคุมระดับพีเอชในน้ำหมักให้อยู่ในช่วง 7.0-8.0 โดยใช้ 1N NaOH โดยกำหนดปริมาตรน้ำหมักที่ดึงออกและสับเสตรทที่เติมเข้าในแต่ละรอบเท่ากับ 600 มิลลิลิตร ในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาจะใช้ magnetic stirrer ในการกวนผสม โดยทุกๆ 8 ชั่วโมง จะหยุดกวน 8 ชั่วโมงเพื่อพักเครื่อง

3.4.1.3 ดำเนินการเพาะเลี้ยง โดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกๆ 6 ชั่วโมงโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่สำหรับใช้วิเคราะห์ปริมาณมีเทน (ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ที่ตรวจวัดในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันไม่เกิน 10%)

ตะกอนที่ได้จากระบบการเพาะเลี้ยงนี้จะถูกนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทนในขั้นตอนต่อไป และจะดำเนินระบบการเพาะเลี้ยงนี้เพื่อเตรียมหัวเชื้อไปจนสิ้นสุดการทดลองเพื่อให้ได้ จุลินทรีย์ที่ประสิทธิภาพคงที่ในทุกสภาวะการทดลอง

3.4.2 การศึกษาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตผลิตมีเทนจากน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน

3.4.2.1 นำน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนและเอทานอลในกระบวนการหมักแบบกึ่งกะ ดำเนินการทดลองในขวดซีรั่มขนาด 100 มิลลิลิตร ปริมาตรทำการ 70 มิลลิลิตร ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศโดยการพ่นด้วยก๊าซอาร์กอน ใช้ Resazurin เป็นอินดิเคเตอร์

3.4.2.2 เติมหัวเชื้อของกลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ (จากข้อ 3.4.1) 1.0 กรัม MLVSS ต่อลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เขย่าที่ 150 รอบต่อนาที ทำการทดลองโดยแปรผันค่า COD ในน้ำหมัก เป็น 10,000-20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าอัตราส่วนความเข้มข้นของ $NaHCO_3$ อยู่ในช่วง 0.2-0.6 และค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นในสับเสตรท อยู่ในช่วง 6.5-8.5

3.4.2.3 ดำเนินการเพาะเลี้ยง โดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกๆ 6 ชั่วโมงโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซมีเทน

เนื่องจากการทดลองเป็นการทดลองเพื่อผลิตมีเทนในระดับห้องปฏิบัติการ ยังไม่ได้นำมีเทนที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น มีเทนที่ผลิตได้จากการทดลอง จะนำไปเผาไหม้ เพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.4.3 การศึกษานิเวศน์วิทยาของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ (microbial community)

เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตมีเทนที่อยู่ในกลุ่มตะกอน จึงทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางอณูชีววิทยา โดยใช้ DGGE (Denatured Gradient Gel Electrophoresis) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์

3.5 ศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนและมีเทน

3.5.1 ศึกษากระบวนการผลิตหัวเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน

ทำการทดลองโดยนำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลวัวมาศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง โดยการเตรียมหัวเชื้อที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ 1) มูลวัวสด

2) มูลวัวผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ (Autoclave) 3) มูลวัวตากแห้ง และ 4) มูลวัวอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทำการทดลองปริมาณขนาด 500 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหัวเชื้อกับเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง อัตราส่วน 50% หัวเชื้อ: 10% เศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยวิธีการที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 : 40% น้ำ และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในระบบกึ่งกะ เป็นระยะเวลา 7 วัน หรือจนกว่าก๊าซชีวภาพจะคงที่

3.5.2 ศึกษากระบวนการผลิตหัวเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทน

นำกล้าเชื้อผลิตมีเทนที่ได้จากการทดลองที่ 3.4 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการหมักมีเทนต่อไป

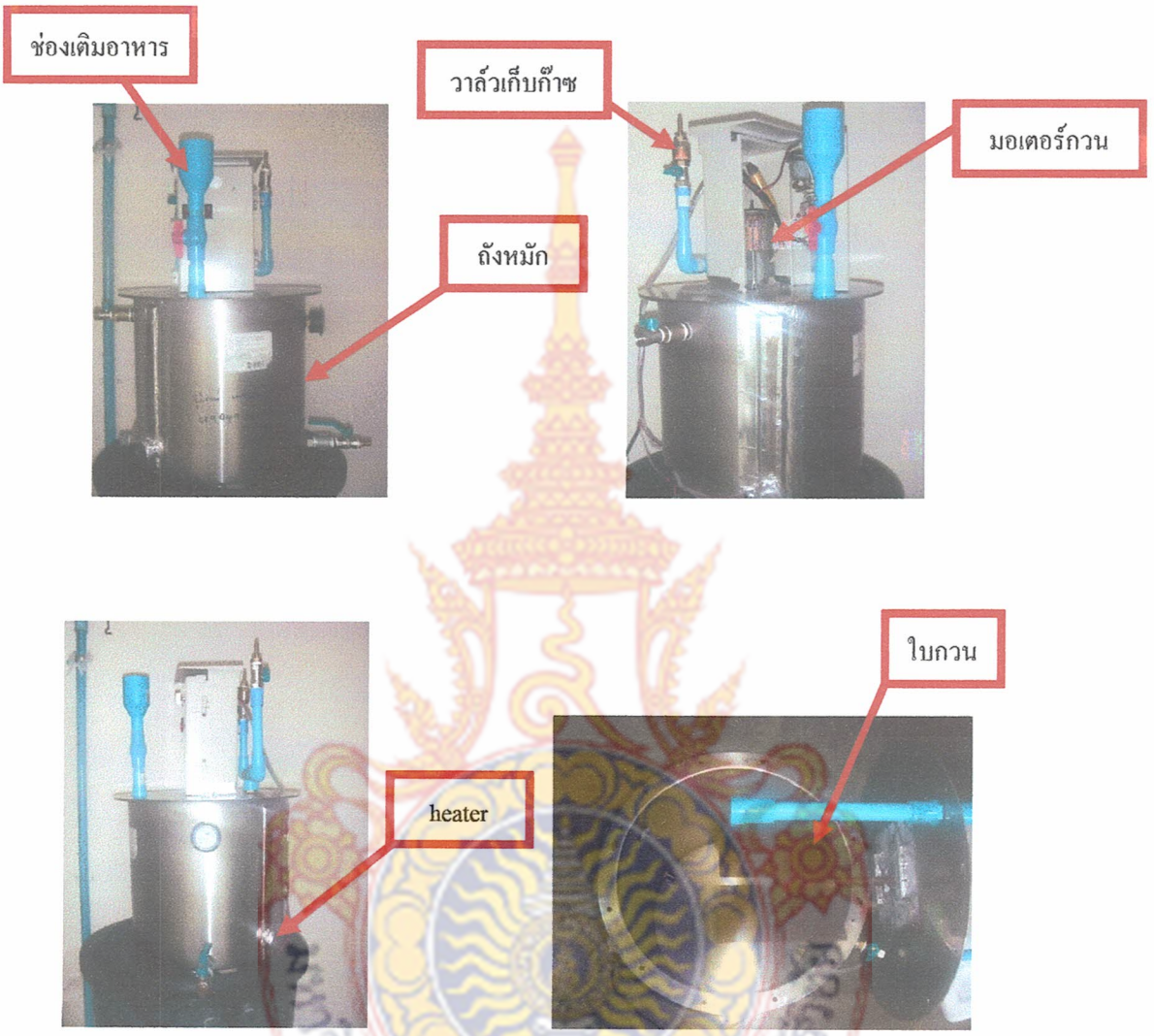
3.6 พัฒนาระบบแบบติดตั้งขนาดเล็ก (on site) สำหรับการผลิต ไฮโดรเจน และมีเทน

3.6.1 พัฒนาระบบการผลิตไฮโดรเจนแบบติดตั้ง (on site) ขนาด 40 ลิตร

3.6.1.1 ติดตั้งถังหมักและถังเก็บไฮโดรเจนโดยใช้ถังสแตนเลสขนาดความจุ 40 ลิตร

3.6.1.2 ทำการเพิ่มปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน โดยขยายขนาด reactor จาก ขนาด 1 ลิตร เป็น 2 ลิตร จาก 2 ลิตร เป็น 20 ลิตร และจาก 20 ลิตร เป็น 40 ลิตร ตามลำดับ

3.6.1.3 ดำเนินการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ ระยะเวลากักเก็บ 48 ชั่วโมง โดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกๆ 6 ชั่วโมงโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้ (GC/TCD)



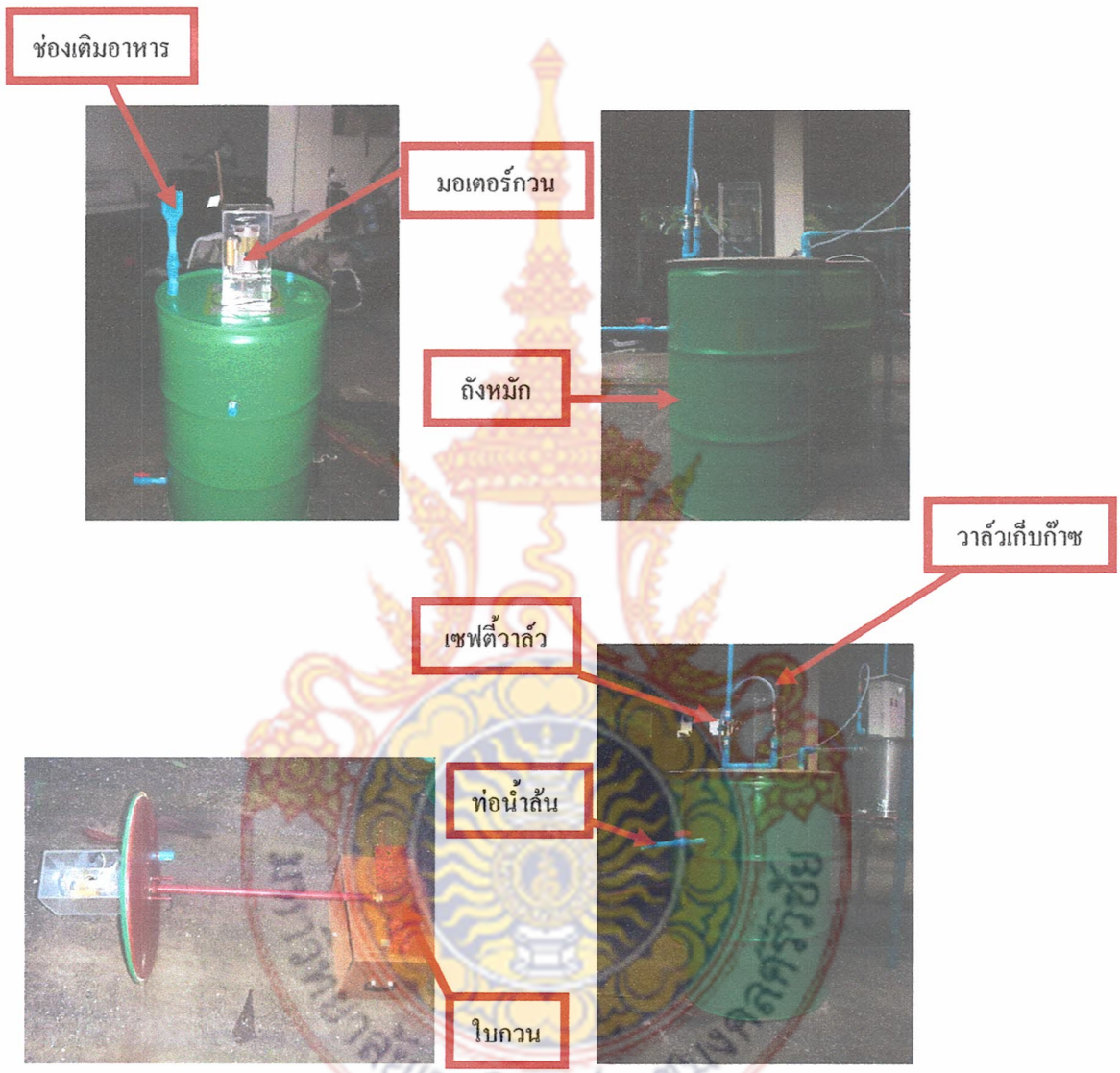
ภาพที่ 2 ถังหมักไฮโดรเจนขนาด 40 ลิตร

3.6.2 พัฒนาระบบการผลิตมีเทนแบบติดตั้ง (on site) ขนาด 200 ลิตร

3.6.2.1 ติดตั้งถังหมักและถังเก็บมีเทนโดยใช้ถังขนาดความจุ 200 ลิตร

3.6.2.2 ทำการเพิ่มปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทน โดยขยายขนาด reactor จาก ขนาด 1 ลิตร เป็น 2 ลิตร จาก 2 ลิตร เป็น 20 ลิตร และจาก 20 ลิตร เป็น 200 ลิตร ตามลำดับ

3.6.2.3 ดำเนินการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ ระยะเวลากักเก็บ 48 ชั่วโมง โดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกๆ 6 ชั่วโมงโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซมมีเทน โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

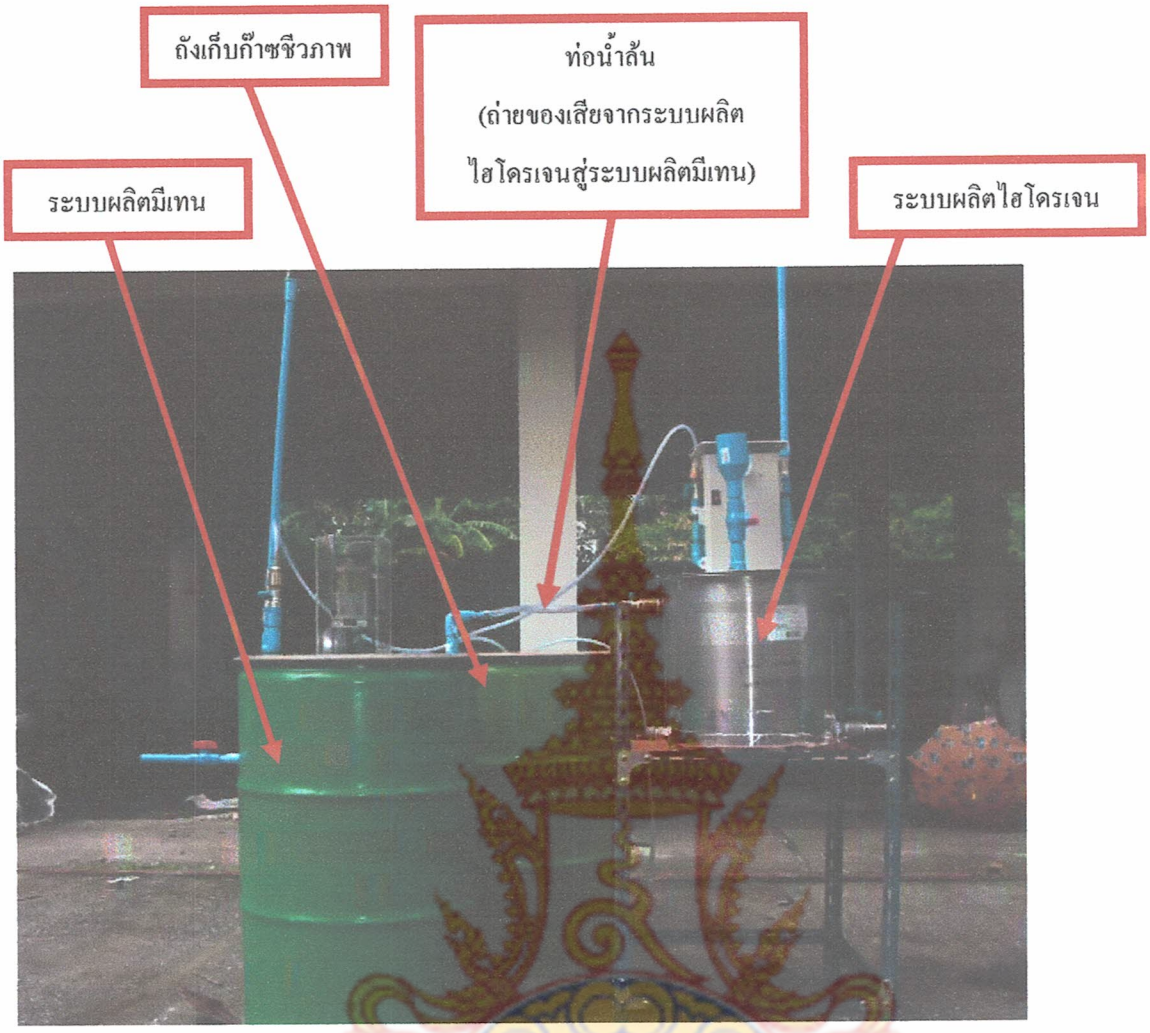


ภาพที่ 3 ถังหมักมีเทนขนาด 200 ลิตร

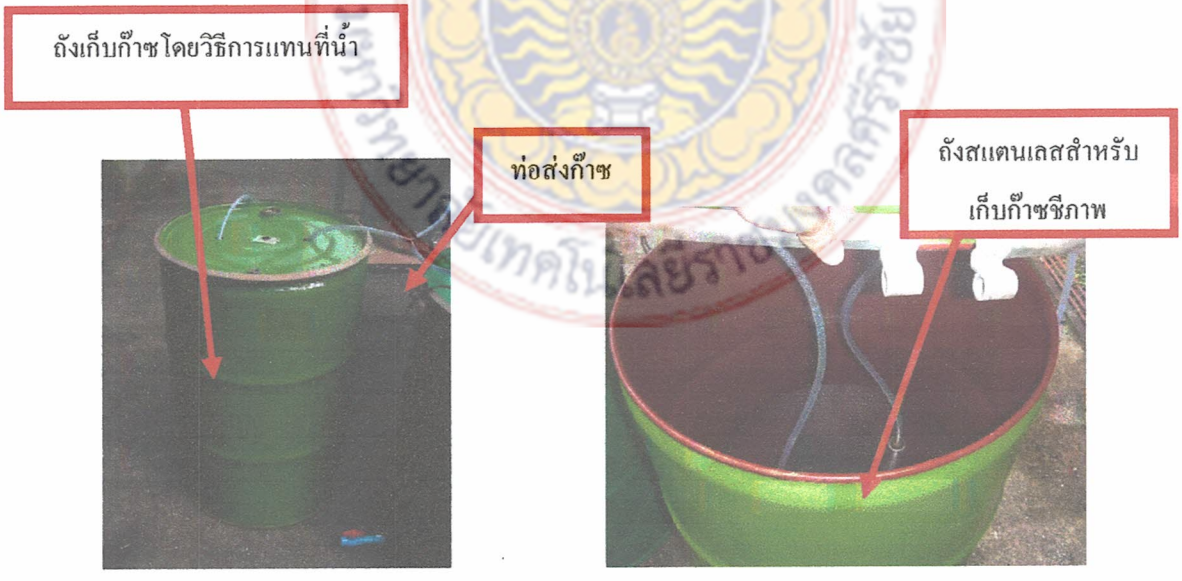
3.6.3 การเชื่อมต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ทำการเชื่อมต่อระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนเข้าด้วยกันตามภาพที่ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย



ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนขนาดเล็ก



ภาพที่ 5 การกักเก็บก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนขนาดเล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

4.8 การประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนการผลิตไฮโดรจนและมีเทนจากของเสียจากเศษอาหาร

ทำการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยคำนวณต้นทุนและรายได้ในการผลิตทั้งหมด โดยราคาก๊าซชีวภาพจะอ้างอิงจากราคาตลาดโลก และใช้สมการในการคำนวณรายได้ดังต่อไปนี้

รายได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพ = (A x B) / C

เมื่อ A = ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการทดลอง (ลิตร)

B = ราคาอ้างอิงก๊าซชีวภาพ (บาท)

C = ปริมาณขยะเศษอาหาร (กิโลกรัม)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเก็บตัวอย่างเศษอาหารเพื่อวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพและการเตรียมมูลฝอยจากเศษอาหารเพื่อใช้ในการผลิตไฮโดรเจนจากแหล่งต่าง ๆ 4 แหล่ง

4.1.1 การศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นของเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่ง

1. แหล่งจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยองค์ประกอบของเศษอาหารส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของนักศึกษา เช่น เศษข้าว และกับข้าว เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวันมีปริมาณค่อนข้างมากโดยในแต่ละวันผู้ประกอบการร้านอาหารจะนำมารวมกันเพื่อให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์มารับต่อไป

2. แหล่งจากชุมชนบ้านพักอาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยองค์ประกอบของเศษอาหารเป็นเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคในครัวเรือนในแต่ละวัน เช่นเศษข้าว กับข้าว ขนม และผลไม้เป็นต้น โดยปกติส่วนใหญ่จะนำไปทิ้งในถังขยะของเทศบาล

3. แหล่งจากร้านอาหารฟักทอง ถ.ปละท่าองค์ประกอบของเศษอาหารเป็นเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของลูกค้าลักษณะคล้ายคลึงกับเศษอาหารจากโรงอาหาร และจะมีผู้มารับเศษอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงสัตว์

4. แหล่งจากตลาดสดริมทางรถไฟองค์ประกอบของเศษอาหารเป็นเศษอาหารจำพวกเศษผักและผลไม้ที่ปลอกขายในตลาด เช่น เปลือกสับปะรด โดยในแต่ละวันจะทิ้งรวมกับถังขยะของเทศบาลไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างใด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 6 สถานที่เก็บตัวอย่าง (ก) โรงอาหารกลาง มทร.ศรีวิชัย

(ข) ชุมชนชัยมงคลและบ้านพักอาจารย์ มทร.ศรีวิชัย

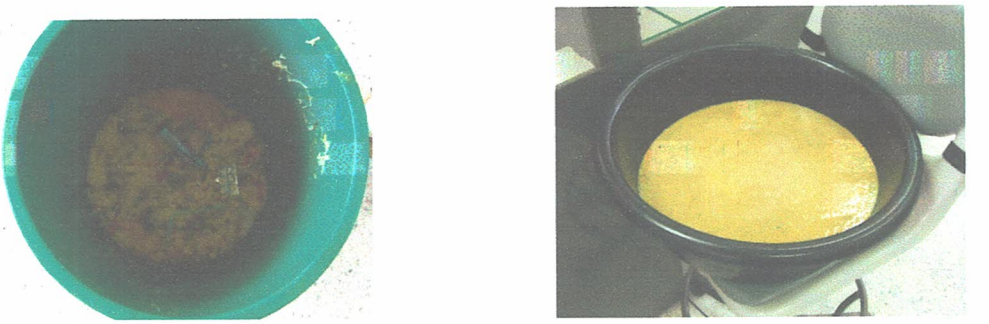
(ค) ร้านอาหารฟักทอง ถ.ปละท่า

(ง) ร้านผลไม้ ตลาดริมทางรถไฟ

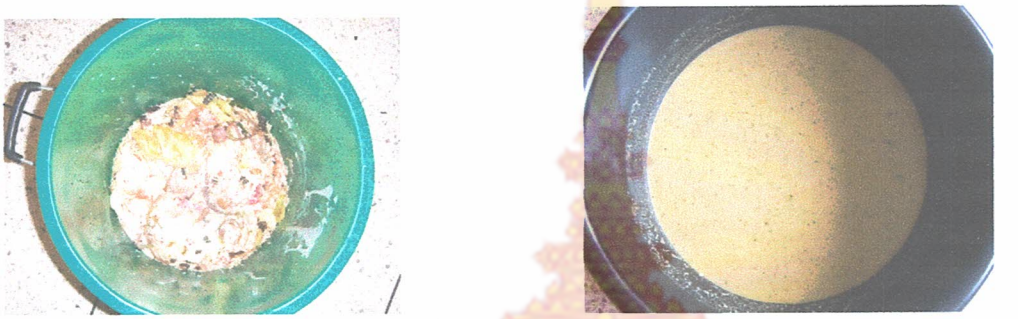
ภาพที่ 7 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างของเสียจากเศษอาหาร 4 แหล่ง โดยใช้ GPSmap 60Cx ร่วมกับโปรแกรม NavDrive™ Thailand Thailand City Select v6.7

(A) แหล่งจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (B) แหล่งจากชุมชนบ้านพักอาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

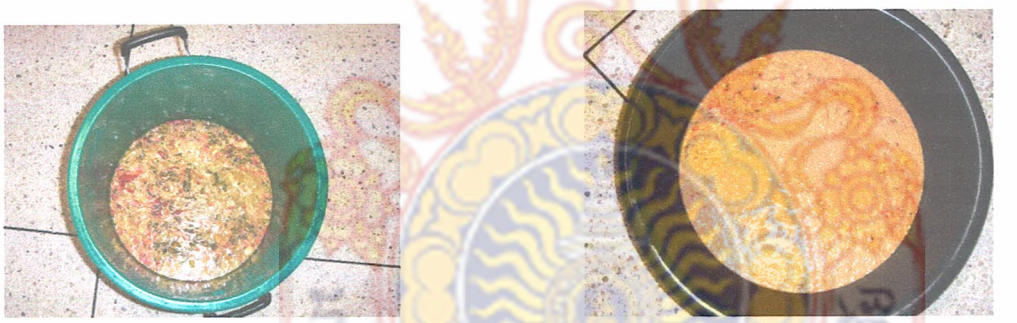
(C) แหล่งจากร้านอาหารฟิกทอง ถ.ปละท่า (D) แหล่งจากตลาดสดริมทางรถไฟ



(ก) ลักษณะเศษอาหารจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย



(ข) ลักษณะเศษอาหารจากชุมชนบ้านพักอาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย



(ค) ลักษณะเศษอาหารจากร้านอาหารฟักทอง

(ง) ลักษณะเศษอาหารจากตลาดสดริมทางรถไฟ

ภาพที่ 8 ลักษณะเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ ในเทศบาลนครสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

4.2 การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่ง

ทำการเก็บของเสียเศษอาหารเป็นเวลา 7 วัน เก็บตัวอย่างครั้งละ 5 กิโลกรัม เพื่อศึกษาถึงความแปรปรวน ขององค์ประกอบจากการพฤติกรรมการบริโภค และสถานที่ โดยนำมาแยกเศษของแข็งที่ย่อยสลายได้ยากออก เช่น กระดูก เปลือกหอย เปลือกปู นำตัวอย่างของเสียมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เพื่อให้มีขนาดเล็กลง วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ได้แก่ ค่า pH โดยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter B210, ProLine, Netherlands) ความชื้น(Moisure) โดยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ปริมาณไขมันและน้ำมัน (Fat and oil)ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยง่าย (VFAs) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่แขวนลอย (TSS) ของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (VS) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ปริมาณแป้ง (Starch) และปริมาณเซลลูโลส (Cellulose) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร ชุมชน ร้านอาหาร และตลาด แสดงในหน่วยร้อยละเทียบโดยน้ำหนักแห้งของเศษอาหาร

องค์ประกอบเศษอาหาร	โรงอาหาร	ชุมชน	ร้านอาหาร	ตลาด
ค่า pH	4.8 ± 0.6	6.2 ± 0.6	5.1 ± 0.3	5.8 ± 0.7
ความชื้น (%)	82.1 ± 2.4	74 ± 5.3	83 ± 1.1	76 ± 4.7
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% น้ำหนักเปียก)	17.9 ± 1.3	26 ± 1.8	17 ± 1.4	24 ± 2.3
ปริมาณของแข็งระเหยได้ (%น้ำหนักเปียก)	15.3 ± 1.1	22.3 ± 2.1	15.2 ± 0.5	21.3 ± 1.5
ปริมาณคาร์บอน(% น้ำหนักแห้ง)	65 ±4.2	54 ± 5.7	68 ± 1.1	52 ± 6.8
ปริมาณแป้ง (% น้ำหนักแห้ง)	33 ± 2.1	28 ± 2.4	35 ± 0.7	17 ± 3.5
ปริมาณไขมัน (% น้ำหนักแห้ง)	8.1 ± 0.4	6.5 ± 0.6	5.1 ± 0.7	3.2 ± 0.5
ปริมาณไนโตรเจน (% น้ำหนักแห้ง)	18.2 ± 0.8	15.2 ± 0.3	19.6 ± 0.7	21.1 ± 0.2
ปริมาณเถ้า (% น้ำหนักแห้ง)	5.5 ±1.2	8.2 ± 0.4	4.5 ± 0.5	9.3 ± 0.8
ความเป็นด่าง (% น้ำหนักแห้ง)	0.25 ±0.12	0.45 ± 0.2	0.35 ±0.12	0.75 ±0.12
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (% น้ำหนักแห้ง)	16.2 ± 1.1	6.2 ± 1.4	15.2 ± 1.1	5.2 ± 0.5
ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยได้ทั้งหมด (% น้ำหนักแห้ง)	2.4 ± 0.4	1.4 ± 0.5	3.2 ± 0.2	0.4 ± 0.1
ปริมาณเซลลูโลส (% น้ำหนักแห้ง)	10.4 ± 0.5	22.8 ± 0.2	11.4 ± 0.12	38.8 ± 0.4

การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของขยะเศษอาหารจากการเก็บตัวอย่างขยะเศษอาหาร 15 ครั้ง ตลอดเวลา 4 เดือน (มกราคม ถึง เมษายน 2554) จากโรงอาหาร ร้านอาหาร และตลาดในเขตอำเภอเมือง

จังหวัดสงขลา ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีแสดงในตาราง 1 ขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารมีองค์ประกอบหลายอย่างที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักได้แก่ ค่า pH ของขยะเศษอาหารมีค่าเฉลี่ย 4.8-5.1 และมีช่วงที่เป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์และเชื้อรา (Davis, 2008) ขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารมีค่าเฉลี่ยของแป้งร้อยละ 35 และ 33 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ในขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารมีค่าเฉลี่ยน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ15.2 และ 16.2 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้ (Moon *et al.*, 2009) ขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหาร มีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจน (TKN) ร้อยละ 19.6และ 18.2 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่วนขยะเศษอาหารจากชุมชนและตลาดมีปริมาณเส้นใยและเซลลูโลสอยู่สูงร้อยละ 22.8 และ 38.8 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งย่อยสลายไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรเจนด้วยแบคทีเรียได้ยากโดยกระบวนการทางชีวภาพ ขยะเศษอาหารจากโรงอาหาร และร้านอาหาประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลรีดิวซ์เป็นองค์ประกอบหลักซึงแป้งสามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพไปเป็นน้ำตาล (Wang *et al.*, 2008) ดังนั้นขยะเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไฮโดรเจน ความชื้นในขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารสูงร้อยละ 82-83 ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายเศษอาหารได้อย่างรวดเร็ว แต่ขยะเศษอาหารจากชุมชน และตลาดมีความชื้นร้อยละ 74-76 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่ำกว่า ขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารมีค่าเฉลี่ยของความเป็นด่างเท่ากับร้อยละ 0.25-0.35 แต่ขยะเศษอาหารจากชุมชน และตลาดมีความเป็นด่างร้อยละ 0.45-0.75 ซึ่งขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารมีความเหมาะสมต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในระหว่างการหมักต่ำและน้อยกว่าขยะเศษอาหารจากตลาดและชุมชน ดังนั้นควรจะมีการเติมสารควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH ในระหว่างการหมักไฮโดรเจนจากข้อมูลที่ได้ของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารเป็นของเสียเศษอาหารที่มีสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรทสูงกว่าของเสียจากชุมชุนและตลาดสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อผลิตไฮโดรเจน ซึ่งจะถูกนำไปศึกษาผลการย่อยต่อการปลดปล่อยน้ำตาลเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนต่อไป

4.3 ศึกษาวิธีการเตรียมของเสียเศษอาหารเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจน

ศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างของเสียจากร้านอาหารและโรงอาหารสำหรับผลิตไฮโดรเจน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 5 แบบ โดยในแต่ละปัจจัยจะใช้การทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทางสถิติโดยใช้ T-test และนำวิธีการเตรียมที่ให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดของแต่ละ แหล่งไปเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการผลิตไฮโดรเจนในการทดลองต่อไป

4.3.1 ผลการเตรียมของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยความร้อนที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 23 44 55 60 และ 70 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาล พบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 10 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.23 0.18 0.16 0.16 และ 0.16 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 9ก)

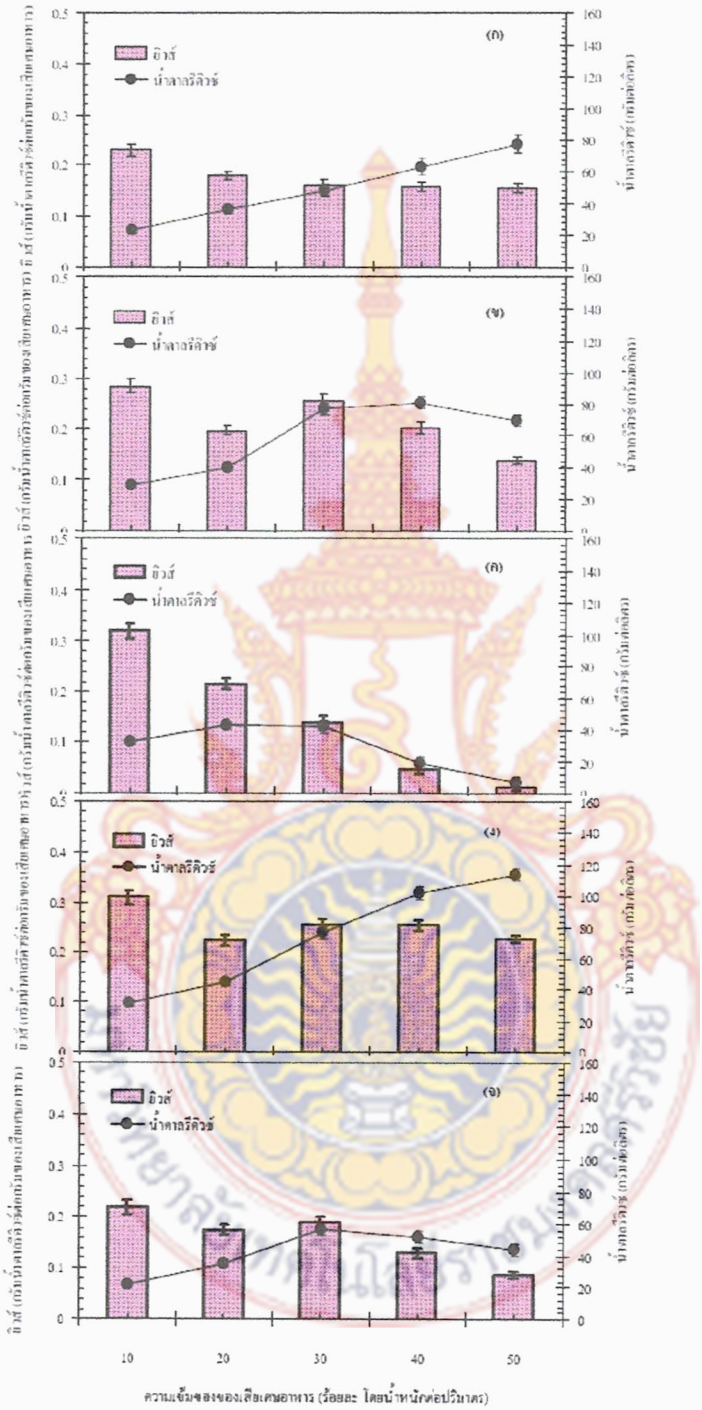
การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยกรดอ่อน ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 28.5 39.5 65 76 และ 69.6 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 30 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.29 0.20 0.26 0.20 และ 0.14 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 9ข)

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยด่างที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 32 43 42 19 และ 7 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 10 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.32 0.21 0.14 0.04 และ 0.01 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 9ค) การย่อยทางเคมีและกายภาพให้ผลได้น้ำตาลต่ำลงเมื่อความเข้นข้นสูงกว่าร้อยละ 20 เนื่องจากเศษอาหารมีความหนืดมากพองตัวได้น้อยและไม่สามารถย่อยได้ ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ได้ลดลง

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 31 45 76.7 102 และ 114 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 30 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.31 0.23 0.26 0.26 และ 0.23 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 9ง)

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยเอ็นไซม์อะไมเลส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 22 35 56.7 52 และ 44 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความเข้มข้นของแป้ง

สูงกว่าร้อยละ 10 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.22 0.18 0.19 0.13 และ 0.08 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 9จ)



ภาพที่ 9 การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส (ก) 1.7% กรดซัลฟิวริค 1% (ข) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ค) 7.5% จุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก (ง) และ 1 ยูนิตเอนไซม์อะไมเลส (จ)

4.3.1 ผลการเตรียมของเสียเศษอาหารจากร้านอาหาร

การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยความร้อนที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 27.6 43.2 57.6 75.6 และ 93 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 10 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.28 0.22 0.19 0.19 และ 0.19 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 10ก)

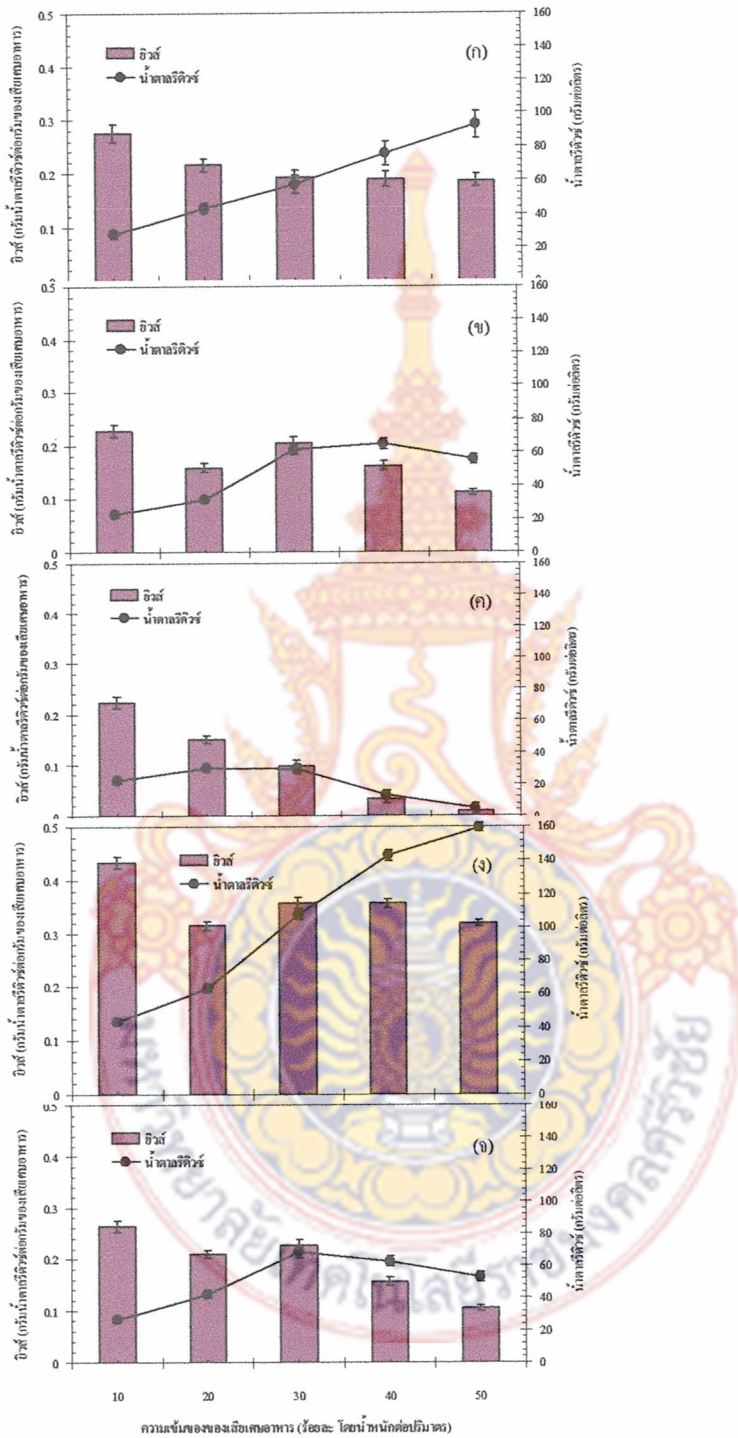
การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยกรดอ่อนที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 22.8 31.6 61.6 64.8 และ 55.7 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาล พบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 30 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.23 0.16 0.21 0.16 และ 0.11 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 10ข)

การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยด่างที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 22.4 30.1 29.4 13.3 และ 4.9 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 10 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.22 0.15 0.10 0.03 และ 0.01 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร การย่อยทางเคมีและกายภาพให้ผลได้น้ำตาลลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 20 เนื่องจากเศษอาหารมีความหนืดมากพองตัวได้น้อยและไม่สามารถย่อยได้ ทำให้ปริมาณน้ำตาลที่ได้ลดลง (ภาพที่ 10ค)

การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 43.4 63 107.4 142.8 และ 159.6 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาล พบว่าความเข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 30 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.43 0.32 0.36 0.36 และ 0.32 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร (ภาพที่ 10ง)

การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยเอ็นไซม์อะไมเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของเสียเศษอาหาร คือ 26.4 42.0 68.0 62.4 และ 52.8 กรัมต่อลิตรตามลำดับ แต่เมื่อคิดค่าผลได้น้ำตาลพบว่าความ

เข้มข้นของแป้งสูงกว่าร้อยละ 30 ให้ค่าผลได้น้ำตาลลดลง ค่าผลได้น้ำตาลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.26 0.21 0.23 0.16 และ 0.11 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร(ภาพที่ 10จ)



ภาพที่ 10 การย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส (ก) 1.7% กรดซัลฟิวริค 1% (ข) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ค) 7.5% จุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมาก (ง) และ 1 ยูนิต เอนไซม์อะไมเลส (จ)

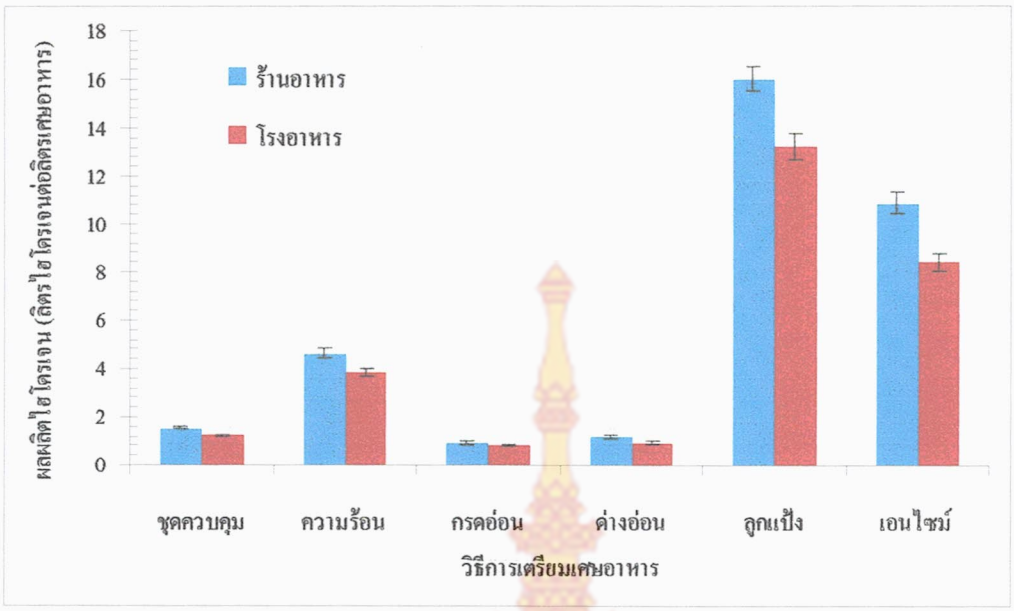
ขยะเศษอาหารจากร้านอาหาร และโรงอาหาร มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไฮโดรเจน ขยะเศษอาหารจากร้านอาหารมีองค์ประกอบสม่ำเสมอและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ เหมาะที่จะใช้เป็นตัวแทนของขยะเศษอาหารเพื่อศึกษาการย่อยขยะเศษอาหารไปเป็นน้ำตาล เพื่อใช้ผลิตไฮโดรเจน ขยะเศษอาหารประกอบด้วยสารอินทรีย์จำนวนมากอย่างเช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส แต่การย่อยและอัตราการย่อยสลาย ขยะเศษอาหารไปเป็นน้ำตาลโดยกระบวนการทางชีวภาพนั้นเกิดขึ้นได้ช้า การทดลองนี้จึงศึกษาผลของการย่อยขยะเศษอาหารจากร้านอาหารไปเป็นน้ำตาลโดยการย่อยทางกายภาพด้วยความร้อน ทางเคมีด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อน ทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมากและเอนไซม์อะไมเลส ผลการทดลอง พบว่าการ ย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารโดยการใช้วิธีการต่างๆ มีสภาวะเหมาะสมต่างกันซึ่งสภาวะที่เหมาะสมนั้นพิจารณาจากความเข้มข้นของเศษอาหารที่ย่อยแล้วได้ผลได้น้ำตาลและน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณสูงสอดคล้องกัน การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยความร้อน (100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2ชั่วโมง) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 10 ให้ผลได้น้ำตาลสูงสุด คือ 0.23 และ 0.28 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 23 และ 27.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริคอ่อน (1.7 %w/v) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ผลได้น้ำตาลสูงสุด คือ 0.21 และ 0.205 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 65 และ 61.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1 %w/v) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 20 ให้ผลได้น้ำตาลสูงสุด คือ 0.21 และ 0.15 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 43 และ 30.1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ย่อยด้วยเชื้อราจากลูกแป้ง (7.5% w/w) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ผลได้น้ำตาลสูงสุด คือ 0.26 และ 0.358 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 76 และ 107.4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส (1 ยูนิต 55°C เวลา 12 ชั่วโมง) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ผลได้น้ำตาลสูงสุด คือ 0.19 และ 0.23 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 56 และ 68.04 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

(ก) (ข)

ภาพที่ 11 เศษอาหาร (ก) เศษอาหารก่อนการย่อยด้วยลูกแป้ง (ข) เศษอาหารผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง

4.4 การคัดเลือกแหล่งน้ำตาลจากการเตรียมเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารด้วยวิธีการต่างๆเพื่อการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้เชื้อเริ่มต้นจากมูลวัว

ผลการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้เชื้อเริ่มต้นจากมูลวัวจากเศษอาหารที่เตรียมแล้วเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารที่เตรียมด้วยการย่อยด้วยลูกแป้งให้ผลผลิตไฮโดรเจนสูงสุดคือ 22.5 และ19.1 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร ตามลำดับ ผลผลิตไฮโดรเจนจากของเศษอาหารจากร้านอาหารให้ผลผลิตไฮโดรเจนสูงกว่าเศษอาหารจากโรงอาหารเนื่องจากเศษอาหารจากร้านอาหารมีคาร์โบไฮเดรทสูงและมีองค์ประกอบที่สม่ำเสมอ ผลผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารจากร้านอาหารเตรียมด้วยความร้อน กรดอ่อน ด่างอ่อน ลูกแป้ง เอนไซม์ และชุดควบคุม คือ 6.8 5.9 7.2 22.5 15.3 และ2.3 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร ตามลำดับ ผลผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารโรงอาหารเตรียมด้วยความร้อน กรดอ่อน ด่างอ่อน ลูกแป้ง เอนไซม์ และชุดควบคุม คือ 5.6 5.0 5.8 19.1 12.2 และ 1.8 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหารตามลำดับ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ผลผลิตไฮโดรเจนของการเตรียมเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารด้วยวิธีทางเคมี กายภาพ ชีวภาพ และด้วยกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโค

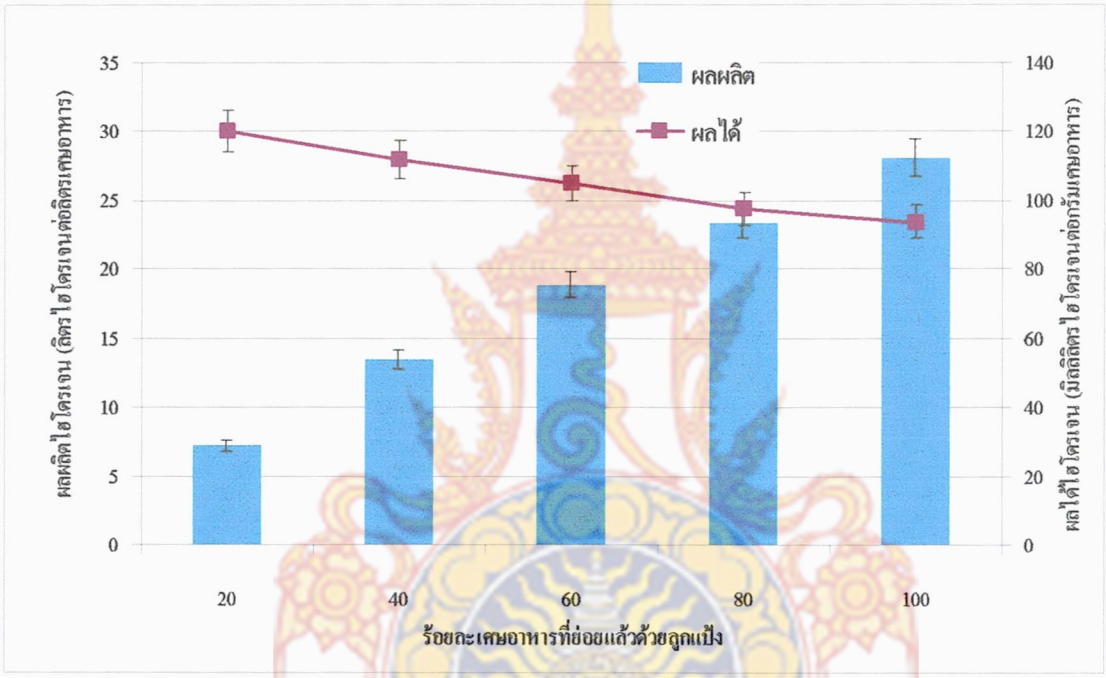
ตารางที่ 2 ผลผลิตไฮโดรเจน จากการเตรียมเศษอาหารด้วยวิธีการต่างๆ ด้วยเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค

วิธีการย่อย	ไฮโดรเจนจากร้านอาหาร (ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร)	ไฮโดรเจนจากโรงอาหาร (ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร)
ชุดควบคม	$1.54^{g}\pm0.07$	$1.22^{gh}\pm0.05$
ความร้อน	$4.62^{e}\pm0.23$	$3.82^{f}\pm0.18$
กรดอ่อน	$0.91^{hi}\pm0.05$	$0.80^{i}\pm0.05$
ด่างอ่อน	$1.16^{hi}\pm0.05$	$0.91^{hi}\pm0.05$
ลูกแป้ง	$15.98^{a}\pm0.52$	$13.21^{b}\pm0.55$
เอนไซม์	$10.87^{c}\pm0.47$	$8.39^{d}\pm0.39$

*ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4.1 การผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารที่ย่อยที่ย่อยด้วยลูกแป้งแล้ว

การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโคสามารถช่วยให้กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ผลิตไฮโดรเจนจากมูลโคจากเศษอาหารจากร้านอาหาร เตรียมโดยการย่อยด้วยลูกแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตร ที่ความเข้มข้นของเศษอาหาร ร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 ให้ผลผลิตไฮโดรเจน 7.2 13.5 18.9 23.4 และ 28.1 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหารที่ย่อยด้วยลูกแป้ง และให้ผลได้ไฮโดรเจนไม่แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ ผลได้ไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นของเศษอาหาร ร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 ให้ผลผลิตไฮโดรเจน 120 112 105 97.5 และ 93.7 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมเศษอาหารที่ย่อยด้วยลูกแป้ง ผลผลิตและผลได้ของไฮโดรเจนจากการ

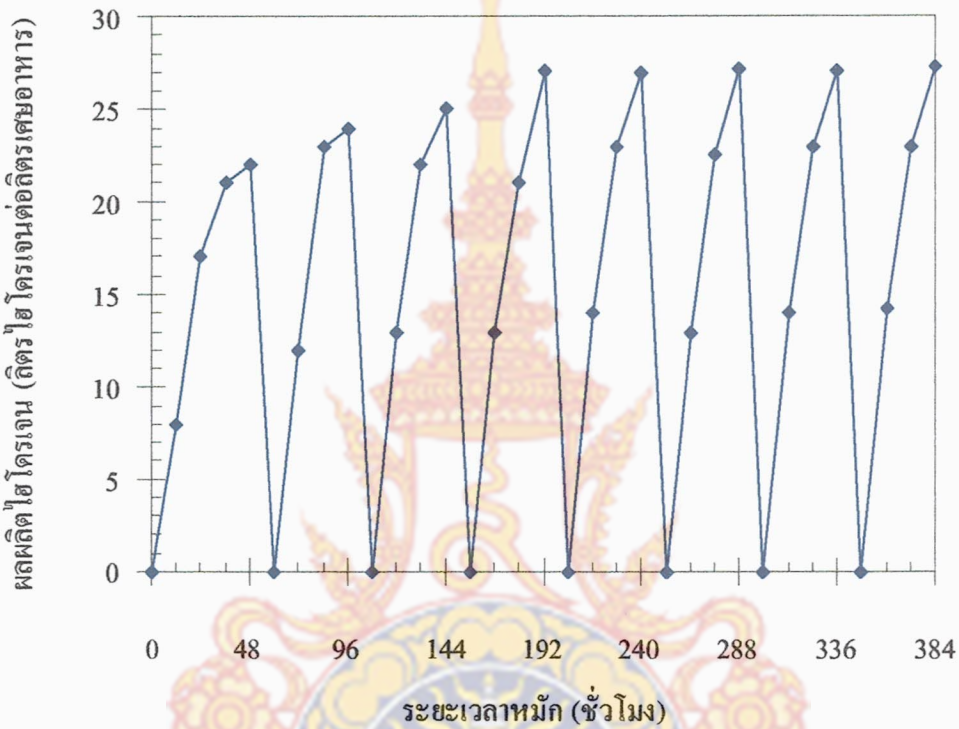


ภาพที่ 13 ผลผลิตและผลได้ไฮโดรเจนจากกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโคที่ผ่านการปรับสภาพให้ผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วด้วยลูกแป้ง

4.4.2 การผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารจากร้านอาหารที่ย่อยแล้วโดยกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโคแบบกึ่งกะ

ทำการผลิตไฮโดรเจนแบบสลับเป็นกะ (Fed-batch) ในสภาวะไร้อากาศใน Reactor ที่เป็นขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตรทำการ 800 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retentiontime) เท่ากับ 48 ชั่วโมง ปรับค่าพีเอชในสับเสตรทเริ่มต้นเป็น 5.5-6.5 โดยใช้ $NaHCO_3$ เพื่อควบคุมระดับพีเอชในน้ำหมักให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ในแต่ละรอบจะถ่ายอาหารเก่าออก 400 มิลลิลิตร และ ใส่อาหารใหม่ลงไป 400 มิลลิลิตร วัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้น และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจนด้วยเครื่องแก๊ส

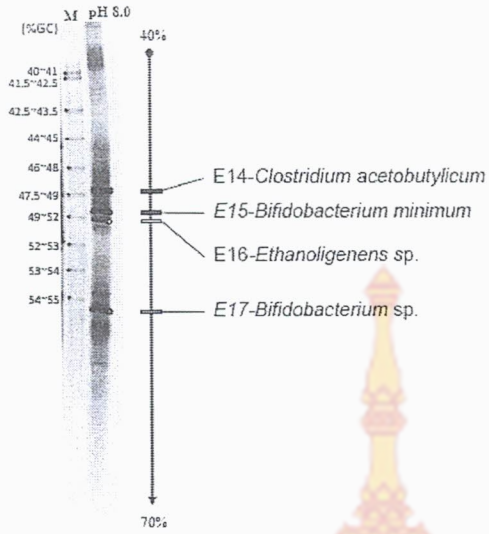
โครมาโตกราฟี (Gas chromatography) ตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบการเพาะเลี้ยงนี้จะถูกนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนในขั้นตอนต่อไป และจะดำเนินระบบการเพาะเลี้ยงนี้เพื่อเตรียมหัวเชื้อไปจนสิ้นสุดการทดลองเพื่อให้ได้จุลินทรีย์ที่ประสิทธิภาพคงที่ในทุกสภาวะการทดลอง การผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารที่ย่อยแล้วในระบบสลับเป็นกะให้ผลผลิตไฮโดรเจน 2.71 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร ผลผลิตไฮโดรเจนเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 192 ชั่วโมง (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ผลผลิตไฮโดรเจนจากกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโคในระบบแบบสลับเป็นกะจากเศษอาหารจากร้านอาหารที่ผ่านการย่อยสลายแล้วด้วยลูกแป้ง

4.4.3 การศึกษานิเวศน์วิทยาของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ (microbial community)

เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตไฮโดรเจน ที่อยู่ในกลุ่มตะกอน จึงทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางอณูชีววิทยา โดยใช้ DGGE (Denatured Gradient Gel Electrophoresis) โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ ในช่วงเวลาที่ระบบมีการผลิตไฮโดรเจนคงที่ กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโค เด่นด้วย *Clostridium acetobutylicum*, *Bifidobacterium minimum*, *Ethanoligenens* sp. และ *Bifidobacterium* sp. (ภาพที่ 15)



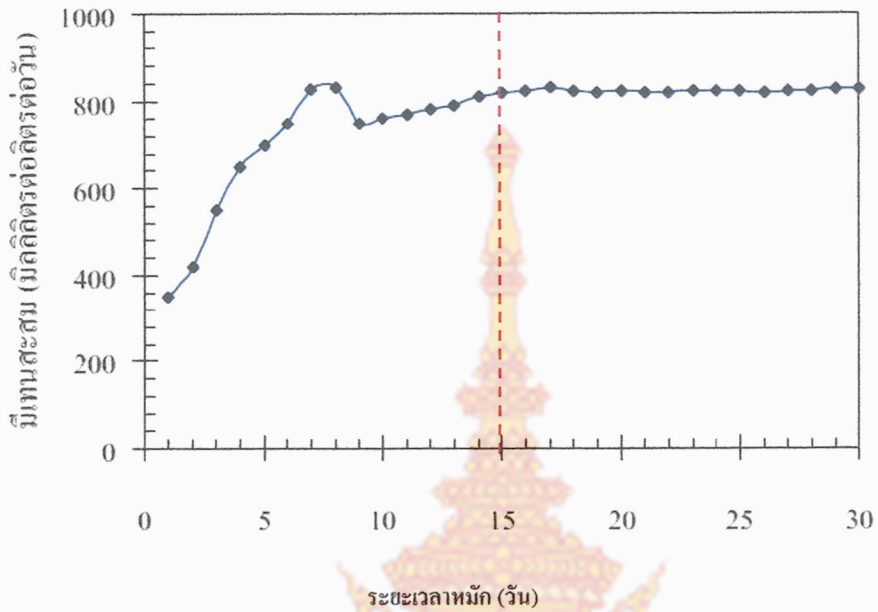
ภาพที่ 15 โครงสร้างกลุ่มจุลินทรีย์จากมูลโควิเคราะห์โดยเทคนิค DGGE

4.5 การศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตมีเทนจากน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน

4.5.1 การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทน

ในการทดลองนี้จะใช้กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียผลิตมีเทนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทนโดยจะทำการปรับสภาวะเพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศนี้มีความสามารถในการใช้กรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำทิ้งหลังการผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำหมักที่เหลือจากการผลิตไฮโดรเจน เพื่อเป็นสับเสตรทในการผลิตมีเทน ตะกอนที่ได้จากระบบการเพาะเลี้ยงนี้จะถูกนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทนในขั้นตอนต่อไป และจะดำเนินระบบการเพาะเลี้ยงนี้เพื่อเตรียมหัวเชื้อไปจนสิ้นสุดการทดลองเพื่อให้ได้ จุลินทรีย์ที่ประสิทธิภาพคงที่ในทุกสภาวะการทดลอง

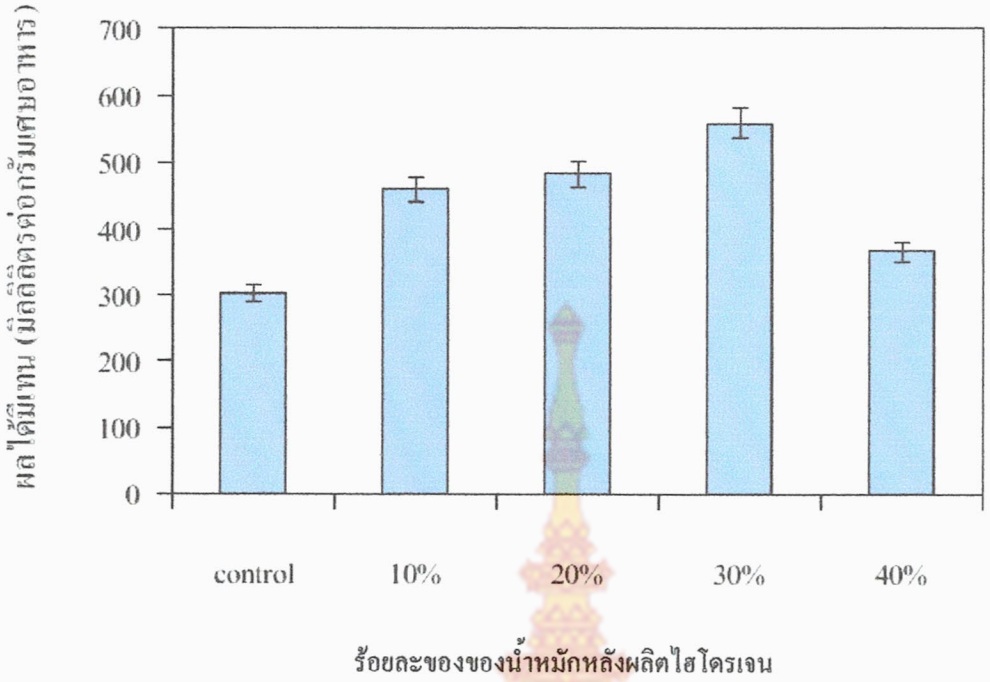
จากการทดลองพบว่ากลุ่มเชื้อจุลินทรีย์สามารถปรับสภาพให้สามารถผลิตมีเทนได้เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน (ภาพที่ 16)



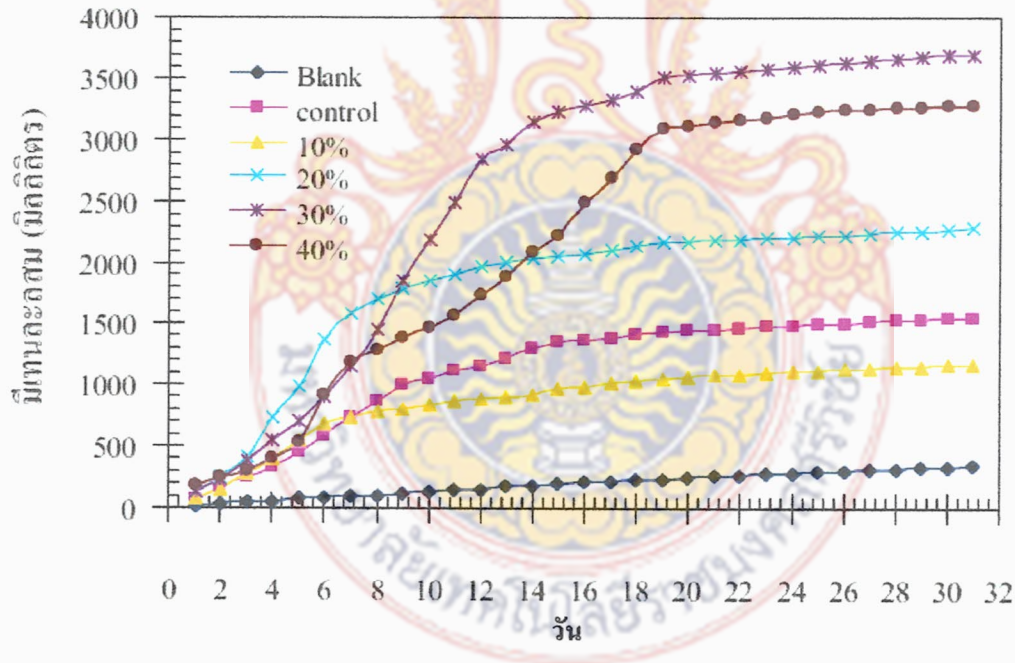
ภาพที่ 16 ผลผลิตมีเทนจากกล้าเชื้อเพาะเลี้ยงด้วยร้อยละ 10 ของเศษอาหารที่หมักไฮโดรเจนแล้ว

4.5.2 การศึกษาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตผลิตมีเทนจากน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจน

นำน้ำหมักที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการหมักแบบกึ่งกะ โดยใช้กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพแล้วพบว่า ค่าผลได้ของมีเทนจากการใช้น้ำหมักร้อยละ 30 ให้ค่าสูงสุด (ภาพที่ 17) และมีปริมาณมีเทนสะสมสูงสุด (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 17 ผลได้มีเทนจากเศษอาหารหลังผลิตไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ

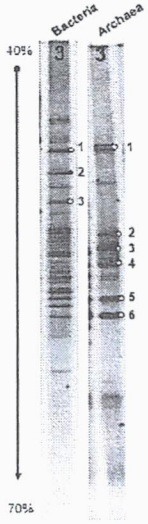


ภาพที่ 18 มีเทนสะสมจากน้ำหมักหลังผลิตไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.5.3 การศึกษานิเวศน์วิทยาของกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ผลิตมีเทน (microbial community)

เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตมีเทนที่อยู่ในกลุ่มตะกอน จึงทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางอณูชีววิทยา โดยใช้ DGGE (Denatured Gradient Gel

Electrophoresis) โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์จากระบบผลิตมีเทนที่เสถียรในระหว่างที่ระยะการผลิตก๊าซคงที่ เก็บตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์ พบว่าจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีประชากรแบคทีเรียน้อย เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เกิดขึ้นในบ่อพักน้ำเสียอย่างสมบูรณ์ จุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอนคือ หมักกรดและตามด้วยหมักมีเทน จุลินทรีย์ที่เด่นในถังหมักจะเป็นพวกอาร์เคียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน เช่น *Methanosarcina* sp., *Methanoculleus* sp. และ*Methanoculleus* sp. (ภาพที่ 19)



Types	Band	Int.	Affiliation
Bacteria	1		Unclassified bacterium
	2		*Clostridium* sp.
	3		Unclassified bacterium
Archaea	1		*Methanocalculus* sp.
	2		*Methanoculleus* sp.
	3		*Pyrobaculum* sp.
	4		*Methanosarcina* sp.
	5		*Methanoculleus* sp.
	6		*Methanoculleus* sp.

ภาพที่ 19 โครงสร้างประชากรแบคทีเรียและอาร์เคียในตัวอย่างน้ำเสียหลังเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

4.6 การศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนและมีเทน

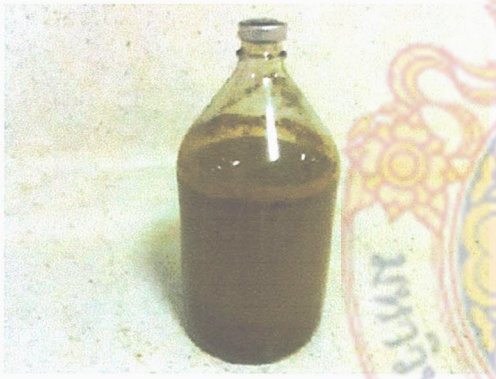
4.6.1 ศึกษากระบวนการผลิตหัวเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน

ทำการทดลองโดยนำหัวเชื้อจากมูลวัวมาศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง โดยการเตรียมหัวเชื้อที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ มูลวัวสด มูลวัวฆ่าเชื้อด้วยการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) มูลวัวตากแห้ง และมูลวัวอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทำการทดลองปริมาณขนาด 500 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหัวเชื้อกับเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง อัตราส่วน 50%หัวเชื้อ: 10% เศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง + 40% น้ำ และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในระบบกึ่งกะ เป็นระยะเวลา 7 วันหรือจนกว่าก๊าซชีวภาพจะคงที่ จากการศึกษาการ

ทดลองกระบวนการผลิตหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพ โดยการเตรียมกล้าเชื้อจากมูลวัว สำหรับผลิตไฮโดรเจนของเสียเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง ในการทดลองได้เตรียมมูลวัว 4 ชนิด ได้แก่ มูลวัวสด มูลวัวฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ มูลวัวตากแห้ง และมูลวัวอบอุณหภูมิ105 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนใช้ในระบบกึ่งกะ เป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการแสดงดังต่อไปนี้

(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

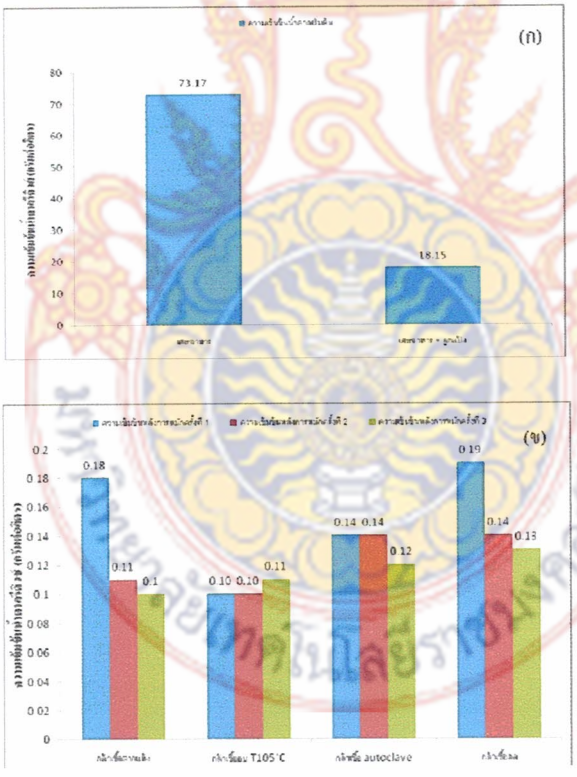
ภาพที่ 20 การเตรียมกล้าเชื้อผลิตไฮโดรเจน (ก) ตู้บ่มอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ข) กล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ และกล้าเชื้อสด จำนวน 2 ชุด ปริมาตร 500มิลลิลิตร (ค) กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (ง) กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอปริมาตร 5,000 มิลลิลิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

4.6.1.1 ผลของการผลิตไฮโดรเจนสำหรับของเสียเศษอาหาร

ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล

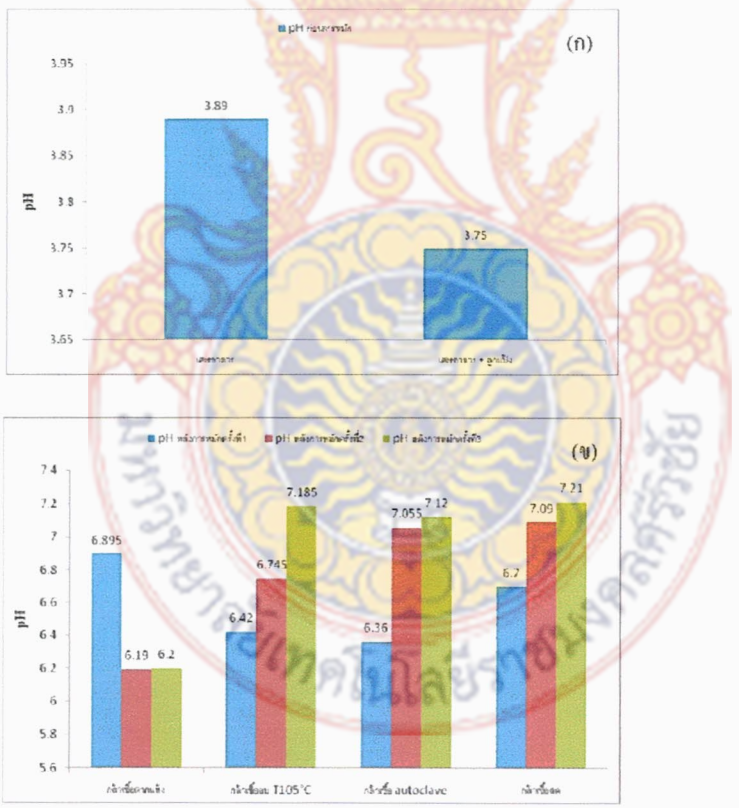
จากภาพที่ 21 จะเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นของเศษอาหารก่อนเข้ากระบวนการ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยลูกแป้ง มีค่าอยู่ที่ 73.17 และ 18.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลหลังผ่านกระบวนการโดยการเปลี่ยนสับเตรด 3 ครั้ง ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลลดลง พบว่า มูลวัว 4ชนิดในการผลิตไฮโดรเจน ได้แก่ มูลวัวสด อยู่ที่ 0.19±0.01, 0.14±0.06 และ 0.13±0.03 กรัมต่อลิตรส่วนมูลวัวผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ อยู่ที่ 0.14±0.03, 0.14±0.04 และ 0.13±0.04 กรัมต่อลิตร ส่วนมูลวัวตากแห้ง อยู่ที่ 0.19±0.05, 0.11±0.00 และ 0.10±0.00 กรัมต่อลิตร ส่วนมูลวัวอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 0.10±0.04, 0.10±0.01 และ 0.11±0.04 กรัมต่อลิตร แสดงว่า เมื่อมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในกระบวนการทำให้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลค่อยๆลดลงซึ่งมีความสัมพันธ์กับเวลาและปริมาณไฮโดรเจนที่ได้



ภาพที่ 21 (ก) ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น(กรัมต่อลิตร) ของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง (ข) ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (กรัมต่อลิตร) หลังการหมักของกล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (กล้าเชื้อAutoclave) และกล้าเชื้อสด

พีเอช

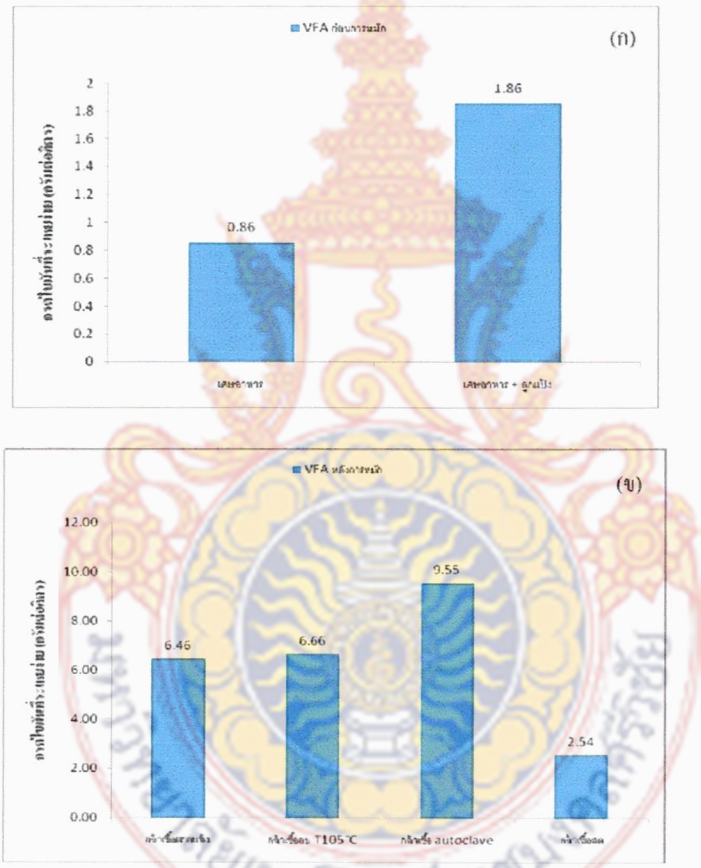
พีเอชของของเสียเศษอาหารก่อนเข้ากระบวนการจะอยู่ในช่วงค่อนข้างเป็นกรดสูง ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการเตรียมหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน ดังนั้นจึงต้องมีการเติมบัฟเฟอร์ลงไป คือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เพื่อให้ได้พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.5 – 6.0 พบว่า พีเอชเริ่มต้นของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง พีเอชอยู่ที่ 3.89 และ 3.75 ส่วนพีเอชหลังผ่านกระบวนการหมักแบบกึ่งกะ โดยการเปลี่ยนสับเตรท 3 ครั้ง พบว่า พีเอชหลังการหมัก จะได้ มูลวัวสด6.70±0.14, 7.09±0.13 และ 7.21±0.07 ส่วนมูลวัวผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ จะได้ 6.36±0.66, 7.06±0.21 และ 7.12±0.00 ส่วนมูลวัวตากแห้ง จะได้ 6.90±0.01, 6.19±0.23 และ 6.20±0.24 ส่วนมูลวัวอบอุณหภูมิ 105องศาเซลเซียส จะได้ 6.42±0.65, 6.85±0.88 และ 7.19±0.24 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า พีเอชหลังผ่านกระบวนการหมักค่อนข้างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 (ก) พีเอชเริ่มต้นของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง (ข) พีเอชหลังการหมักของกล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (กล้าเชื้อAutoclave) และกล้าเชื้อสด

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (VFA)

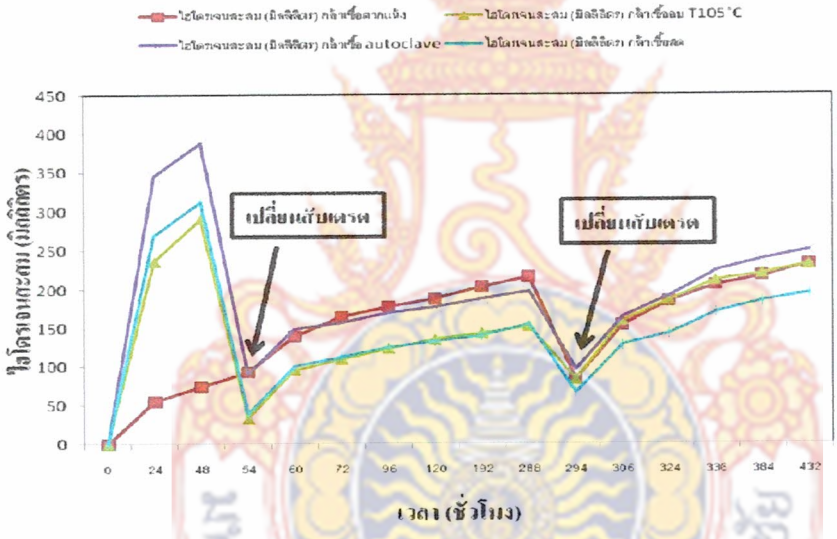
กรดไขมันระเหยง่ายเริ่มต้นของของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง อยู่ที่ 0.86 และ 1.86 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันระเหยง่ายหลังการหมัก จะเห็นได้ว่า กล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ และกล้าเชื้อสด อยู่ที่ 6.46, 6.66, 9.55และ 2.54 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่า กรดไขมันระเหยง่ายตลอดการทดลองจะไม่คงที่ โดยค่าที่ได้จะสูง เพราะอาจเกิดจากเศษอาหารที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะมีสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันหรืออาจเกิดจากการทำงานของกล้าเชื้อที่เตรียมแตกต่างกัน ทำให้การทำงานแตกต่างกับไปด้วย ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 (ก) กรดไขมันที่ระเหยง่าย (กรัมต่อลิตร)ของเศษอาหารและเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง
(ข) กรดไขมันที่ระเหยง่าย (กรัมต่อลิตร) ของกล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศา-เซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (กล้าเชื้อAutoclave) และกล้าเชื้อสด

ปริมาณไฮโดรเจน

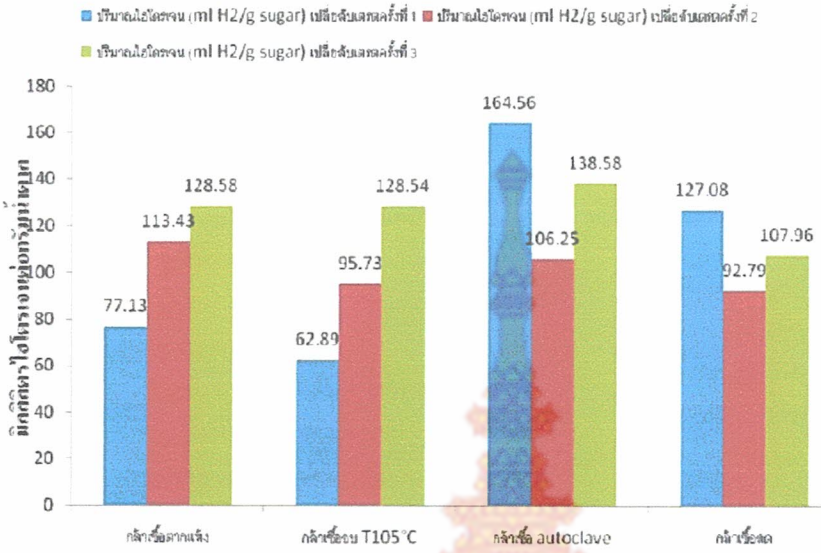
เมื่อทำการศึกษาการทดลองประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน โดยการเตรียมหัวเชื้อมูลวัวที่แตกต่างกัน ได้แก่ มูลวัวสด มูลวัวผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ มูลวัวตากแห้ง และมูลวัวอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้สัดส่วนระหว่างหัวเชื้อ: เศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง ที่อัตราส่วน 50% หัวเชื้อ: 10% เศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง และ 40% น้ำกลั่น เติมบัฟเฟอร์เป็นโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เพื่อปรับพีเอช ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า หัวเชื้อมูลวัวแต่ละชนิดจะมีการผลิตไฮโดรเจนที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า กล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสกล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ และกล้าเชื้อสดจะให้ปริมาณไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อยู่ช่วงหนึ่ง จากนั้นปริมาณไฮโดรเจนเริ่มคงที่ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ปริมาณไฮโดรเจนสะสม (มิลลิลิตร) ของกล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (กล้าเชื้อ Autoclave) และกล้าเชื้อสด

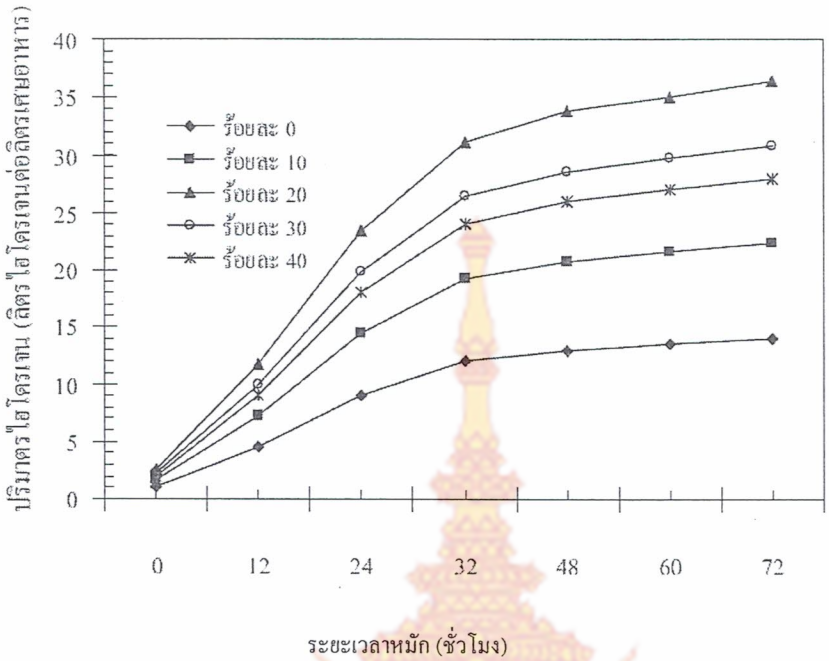
เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับปริมาณน้ำตาลในเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) จะเห็นได้ว่า ปริมาณไฮโดรเจนเทียบกับน้ำตาล (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ของกล้าเชื้อแต่ละชนิดจะให้ปริมาณไฮโดรเจนที่แตกต่างกัน นั้นก็คือ กล้าเชื้อตากแห้งอยู่ที่ 77.13, 113.43 และ 128.58 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสอยู่ที่ 62.89, 95.73 และ 128.54 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ อยู่ที่ 164.56, 106.25 และ 138.58 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) และกล้าเชื้อ

สดอยู่ที่127.08, 92.79 และ 107.96 (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ตามลำดับ จากทฤษฎี จะเห็นได้ว่า 1 กรัม น้ำตาล จะให้ปริมาณไฮโดรเจน 450 มิลลิลิตรไฮโดรเจน ดังกล่าว ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงปริมาณไฮโดรเจนเทียบกับปริมาณน้ำตาลในเศษอาหารที่ผ่านการย่อยด้วยลูกแป้ง (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมน้ำตาล) ของกล้าเชื้อตากแห้ง กล้าเชื้ออบอุณหภูมิ 105 องศา-เซลเซียส กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (กล้าเชื้อ Autoclave) และกล้าเชื้อสด

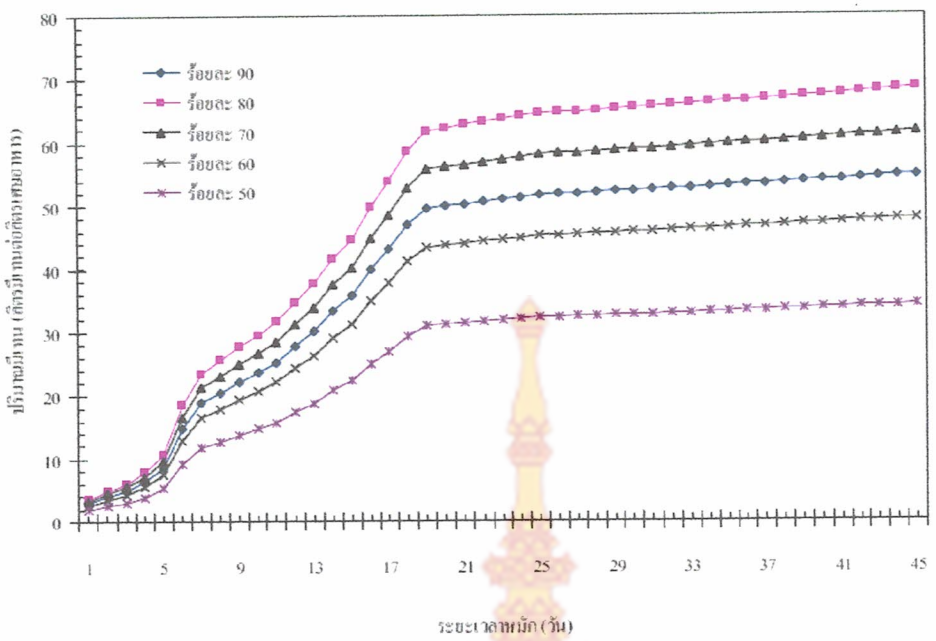
กล้าเชื้อผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนได้ดีที่สุด จึงนำมาเตรียมกล้าเชื้อผง การเตรียมหัวเชื้อผลิตไฮโดรเจนผงจากกล้าเชื้อเตรียมโดยการผ่านการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ด้วยการอบแห้งพบว่า กล้าที่ผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนได้ดีที่สุด ให้ผลผลิตไฮโดรเจน 35 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร การทดสอบแปรผันปริมาณกล้าเชื้อผงแสดงในภาพที่ 26 การแปรผันกล้าเชื้อผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 ให้ผลผลิตไฮโดรเจน 8.5 18 35 28.6 25 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร การผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารด้วยกล้าเชื้อผงสิ้นสุดเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมงเนื่องจากสารอาหารในการผลิตไฮโดรเจนหมดและมีสภาวะเป็นกรดสูง ผลผลิตไฮโดรเจนเริ่มผลิตหลังจากเติมกล้าเชื้อลงไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงว่ากล้าเชื้อระยะพักตัวสั้นเหมาะสมในการนำไปเป็นกล้าเชื้อผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารในเชิงพาณิชย์ต่อไป ชุดควบคุมไม่เติมกล้าเชื้อให้ผลผลิตไฮโดรเจนประมาณ 10 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร เนื่องจากเศษอาหารที่ใช่ไม่มีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในเศษอาหาร จุลินทรีย์ในเศษอาหารสามารถย่อยและผลิตไฮโดรเจนได้แต่ในปริมาณน้อย



ภาพที่ 26 การทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนของกล้าเชื้อผง

4.6.2 ศึกษากระบวนการผลิตหัวเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการผลิตมีเทน

กล้าเชื้อผลิตมีเทนที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ถูกนำมาอบแห้งเป็นกล้าเชื้อผงและทดสอบประสิทธิภาพพบว่า การเตรียมหัวเชื้อผลิตมีเทนผงด้วยการอบแห้งพบว่า กล้าที่ผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 สามารถใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตมีเทนได้ดีที่สุด ให้ผลผลิตมีเทน 68 ลิตรมีเทนต่อลิตรเศษอาหาร การทดสอบแปรผันปริมาณกล้าเชื้อผงแสดงในภาพที่ 27 การแปรผันกล้าเชื้อผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 60 70 80 และ 90 ให้ผลผลิตมีเทน 33 42 58 68 และ 50 ลิตรมีเทนต่อลิตรเศษอาหาร

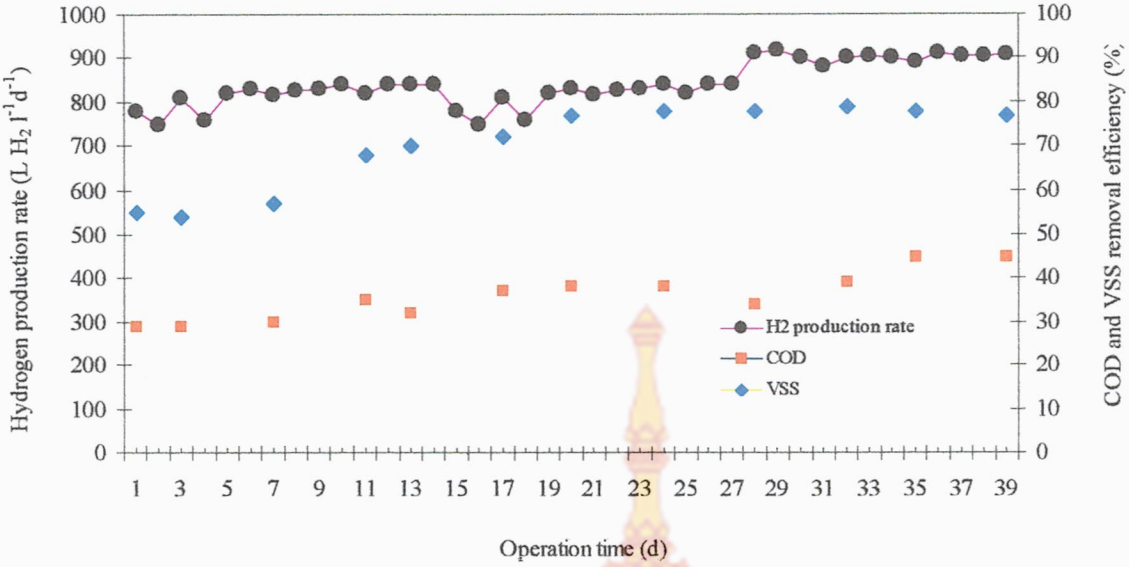


ภาพที่ 27 การทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนของกล้าเชื้อผง

4.7 การพัฒนาระบบแบบติดตั้งขนาดเล็ก (On site) สำหรับการผลิตไฮโดรเจนและมีเทน

4.7.1 พัฒนาระบบการผลิตไฮโดรเจนแบบติดตั้ง (On site) ขนาด 40 ลิตร

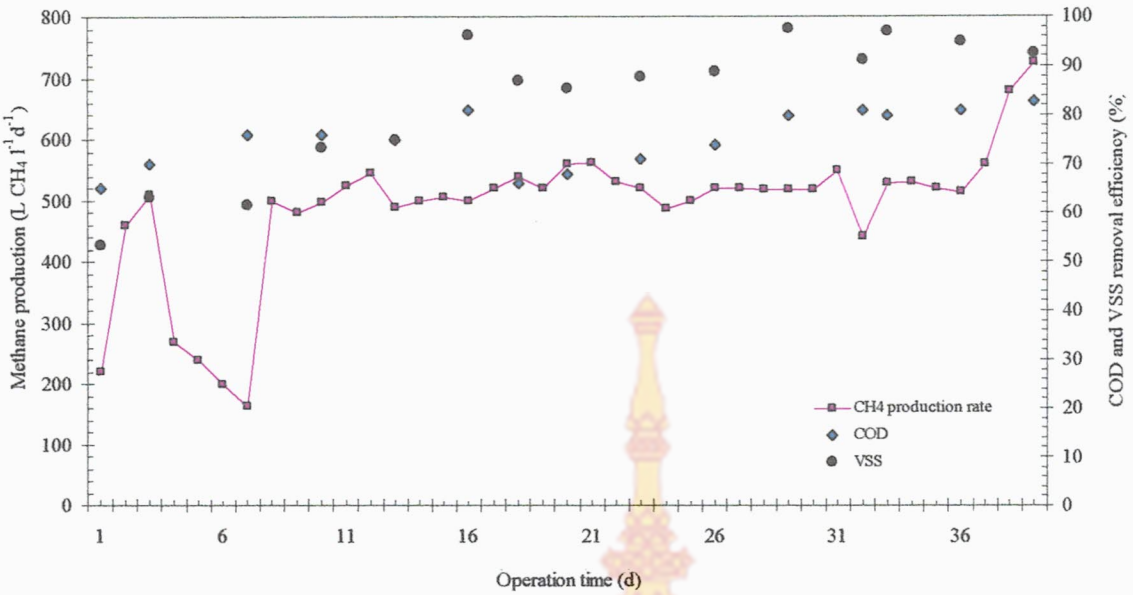
การพัฒนาระบบการผลิตไฮโดรเจนแบบติดตั้งขนาดเล็ก 40 ลิตร เริ่มโดยใช้กล้าเชื้อจากการนึ่งฆ่าเชื้อมูลโคที่อัตราส่วนร้อยละ 20 ที่ระยะพักกักเก็บน้ำ 5 วัน โดยมีอัตราการป้อนเศษอาหาร 10 ลิตรเศษอาหารต่อวันเพื่อให้สอดคล้องกับถังที่สองถังผลิตมีเทนขนาด 200 ลิตร มีระยะพักกักเก็บน้ำ 20 วัน มีอัตราการป้อนเศษอาหาร 10 ลิตรเศษอาหารต่อวัน ผลการทดลองพบว่าการผลิตไฮโดรเจนจากเศษอาหารในถังขนาด 40 ลิตร ให้ผลผลิตไฮโดรเจนเฉลี่ย 900 ลิตรต่อวัน หรือ 180 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มีค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 40 มีค่าของแข็งระเหยได้ 78 gVSS/L การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตไฮโดรเจนในถังขนาด 40 ลิตร ตลอดเวลาการดำเนินการ 1.5 เดือน แสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนแบบติดตั้งขนาด 40 ลิตร

4.7.2 พัฒนาระบบการผลิตมีเทนแบบติดตั้ง (On site) ขนาด 200 ลิตร

การพัฒนาระบบการผลิตมีเทนแบบติดตั้งขนาดเล็ก 200 ลิตร มีระยะพักกักเก็บน้ำ 20 วัน มีอัตราการป้อนเศษอาหาร 10 ลิตรเศษอาหารต่อวัน ผลการทดลองพบว่าการผลิตมีเทนจากน้ำทิ้งหลังการผลิตไฮโดรเจนในถังขนาด 200 ลิตร ให้ผลผลิตมีเทนเฉลี่ย 700 ลิตรต่อวัน หรือ 35 ลิตรมีเทนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มีค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 80 มีค่าของแข็งระเหยได้ 98 gVSS/L การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมีเทนในถังขนาด 200 ลิตร ตลอดเวลาการดำเนินการ 1.5 เดือน แสดงในภาพที่ 29 การติดตั้งถังปฏิกรณ์ขนาด 50 ลิตร และ 200 ลิตร แสดงดังในภาพที่ 30



ภาพที่ 29 ผลการผลิตมีเทนในระบบติดตั้งขนาดเล็ก 200 ลิตร

(ก) (ข)

ภาพที่ 30 (ก) ถังปฏิกรณ์ขนาด 12 ลิตร สำหรับการเตรียมกล้าเชื้อผลิตมีเทน (ข) ถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง สำหรับผลิตไฮโดรเจนและมีเทน

4.8 การประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุนการผลิตไฮโดรจนและมีเทนจากของเสียจากเศษอาหาร

การพัฒนาเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ ได้แก่ ไฮโดรเจนและ มีเทน เป็นเป้าหมายหนึ่งของกระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน แต่อีกปัจจัยหนึ่งที่จะสร้างความมั่นคงของอุตสาหกรรมการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ราคาก๊าซชีวภาพ การทดลองนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร โดยจะนำค่าผลได้ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองมาประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร โดยคำนวณค่าพลังงานที่จะผลิตได้เทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ไปในการดำเนินระบบการผลิต ทั้งนี้ไม่คิดค่าต้นทุนวัตถุดิบเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้ง และเปรียบเทียบผลผลิตกับวัตุดิบอื่น สำหรับราคาก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน ปรับลดลงตามราคาก๊าซชีวภาพของต่างประเทศที่ปรับลดลงตามราคาน้ำมันโลกเช่นเดียวกัน สำหรับราคาอ้างอิงก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน (มิถุนายน 2555) ลิตรละ 0.0178 บาท (กระทรวงพลังงาน, 2555) สามารถคำนวณราคาต้นทุนการผลิตได้ ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

กระบวนการผลิต	**ราคา (บาทต่อกิโลกรัมขยะเศษอาหาร)**
เศษอาหาร	0
กล้าเชื้อ	0.01
ถัง	0.02
แรงงาน	0.01
ลูกแป้ง	0.05
รวม	**0.1**

รายได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพ = (A x B) / C

= (90 x 0.017) / 0.06

= 0.425 บาทต่อกิโลกรัมขยะเศษอาหาร

เมื่อ A = ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการทดลอง (ลิตร)

B = ราคาอ้างอิงก๊าซชีวภาพ (บาท)

C = ปริมาณขยะเศษอาหาร (กิโลกรัม)

เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ขยะเศษอาหาร พบว่า การนำเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพ จะเพิ่มมูลค่าให้ขยะเศษอาหารได้ 0.32 บาทต่อกิโลกรัมขยะเศษอาหาร โดยมีต้นทุนสำหรับการผลิตอยู่ที่ 0.1 บาทต่อลิตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพน้ำเสียโรงงานมันสำปะหลัง จะมีต้นทุนสูงกว่า (ตารางที่ 4) จะเห็นได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด เนื่องมาจากการผลิตก๊าซชีวภาพ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวอย่างมากนัก ซึ่งแตกต่างจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากมันสำปะหลังที่เป็นวัตถุดิบจำพวกแป้ง จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลมาเป็นสารตั้งต้น จึงเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่ม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ จากแหล่งต่างๆ

	ขยะเศษอาหาร	มันสำปะหลัง
ราคาวัตถุดิบ (บาทต่อกิโลกรัม)	0	0
ต้นทุนการผลิต (บาทต่อลิตร)	0.1	0.71

บทที่ 5

วิจารณ์ผล สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นของเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่ง คือ โรงอาหาร ชุมชน ร้านอาหารและตลาดสด พบว่า ขยะเศษอาหารจากโรงอาหาร และร้านอาหารประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล รีดิวซ์เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งแป้งสามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพไปเป็นน้ำตาล (Wang et al., 2008) ดังนั้นขยะเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไฮโดรเจน ความชื้นในขยะเศษอาหารจากร้านอาหารและโรงอาหารสูงร้อยละ 82-83 ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายเศษอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยทำการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารโดยการใช้วิธีการต่างๆ คือ การย่อยทางกายภาพด้วยความร้อน ทางเคมีด้วยกรดอ่อนและด่างอ่อน ทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้งข้าวหมากและเอนไซม์อะไมเลส มีสภาวะเหมาะสมต่างกันซึ่งสภาวะที่เหมาะสมนั้นพิจารณาจากความเข้มข้นของเศษอาหารที่ย่อยแล้วได้ผลได้น้ำตาลและน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณสูงสอดคล้องกัน พบว่า การย่อยด้วยเชื้อราจากลูกแป้ง (7.5% w/w) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ผลได้น้ำตาลสูงสุด คือ 0.26 และ 0.358 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ โดยให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 76 และ 107.4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และให้ผลผลิตไฮโดรเจนสูงสุดจากการใช้เชื้อเริ่มต้นจากมูลวัว คือ 22.5 และ 19.1 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรเศษอาหาร ตามลำดับ เนื่องจากเศษอาหารจากร้านอาหารมีคาร์โบไฮเดรตสูงและมีองค์ประกอบที่สม่ำเสมอ โดยศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตไฮโดรเจน พบว่า กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลวัว เด่นด้วย *Clostridium acetobutylicum*, *Bifidobacterium minimum*, *Ethanoligenens* sp. และ *Bifidobacterium* sp. เพื่อเพิ่มผลิตภัณฑ์ยิ่งขึ้น นำน้ำหมักที่เหลือจากการผลิตไฮโดรเจนมาผลิตมีเทนต่อ โดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียผลิตมีเทนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเป็นหัวเชื้อในการผลิตมีเทน ศึกษาประสิทธิภาพของหัวเชื้อผลิตไฮโดรเจนจากหัวเชื้อมูลวัว 4 ชนิด คือ มูลวัวสด มูลวัวAutoclave มูลวัวตากแห้ง และมูลวัวอบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลลดลง พีเอชค่อนข้างเป็นกลางและกรดไขมันที่ระเหยง่ายสูงขึ้นหลังการหมัก ส่วนปริมาณความเข้มข้นน้ำตาลสูง พีเอชเป็นกรดและกรดไขมันที่ระเหยง่ายต่ำก่อนการหมัก พบว่า หัวเชื้อมูลวัวที่อบด้วยเครื่องความดันไอน้ำ (Autoclave) มีปริมาณไฮโดรเจนและกรดไขมันที่ระเหยง่ายสูงในการผลิตไฮโดรเจน ส่วนกล้าเชื้อผลิตมีเทนโดยการนำมาอบแห้งเป็นกล้าเชื้อผงที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า ร้อยละ 50 60 70 80 และ 90 ให้ผลผลิตมีเทน 33 42 58 68 และ 50 ลิตรมีเทนต่อลิตรเศษอาหาร ดังนั้นประสิทธิภาพของกล้าผงที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 สามารถใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตมีเทนได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบการผลิตไฮโดรเจนแบบ

ติดตั้งขนาดเล็ก 40 ลิตร ที่ระยะพักกักเก็บน้ำ 5 วัน ถังที่สองถังผลิตมีเทนขนาด 200 ลิตร มีระยะพักกักเก็บน้ำ 20 วัน ให้ผลผลิตไฮโดรเจนเฉลี่ย 900 ลิตรต่อวัน หรือ 180 ลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มีค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 40 มีค่าของแข็งระเหยได้ 78 gVSS/L ให้ผลผลิตมีเทนเฉลี่ย 700 ลิตรต่อวัน หรือ 35 ลิตรมีเทนต่อลิตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน มี่ค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 80 มีค่าของแข็งระเหยได้ 98 gVSS/L

สุดท้าย เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ขยะเศษอาหาร พบว่าการนำเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพ จะเพิ่มมูลค่าให้ขยะเศษอาหารได้ 0.32 บาทต่อกิโลกรัมขยะเศษอาหาร โดยมีต้นทุนสำหรับการผลิตอยู่ที่ 0.1 บาทต่อลิตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพน้ำเสียโรงงานมันสำปะหลัง จะมีต้นทุนสูงกว่า จะเห็นได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด เนื่องมาจากการผลิตก๊าซชีวภาพ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวอย่างมากนัก ซึ่งแตกต่างจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากมันสำปะหลังที่เป็นวัตถุดิบจำพวกแป้ง จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลมาเป็นสารตั้งต้น จึงเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่ม

บรรณานุกรม

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. 2547. โครงการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากขยะชุมชน พ.ศ.2547.

Akano Y. Miura K. Fukatsu H. Miyasaka Y. Ikuta H. Matsumoto A. Hamasaki N. Shioji T. Mizoguchi K. Yagi K. and Maeda I. 1996. Hydrogen Production by Photosynthetic Microorganisms. Appl. Biochem. Biotechnol.57/58:677-688.

AOAC., 1998. Official methods of analysis, 16th ed., 4th Revision. Association of Official Analytical Chemists, New York.

APHA, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

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.

Dabrock B. Bahl H. and Gottschalk G. 1992. Parameters affecting sovent production by *Clostridium pasteurianum*. Appl. Environ. Microbiol. 54: 1233-1239.

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

Kim K.I. Woo K.K. and Deok K.S. In S.T. Eun K.K. and Hyon H.Y. 2003. Production of lactic acid from food wastes. Appl. Biochem. Biotechnol. 105-108: 637-647.

Kruse B. Grinna H. and Buch C. Hydrogen. [online]. 2002. Available from: http://www.bellona.no/data/f/o/26/97/0_9811_1/hydrogen_6-2002

Masse D.I. and Droste R.L. 2000. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch reactor. Water Res. 34: 3087–3106.

Miyake J. Miyake M. and Asada Y. 1999. Biotechnological hydrogen production: research for efficient light energy conversion. Biotechnol. 70:89-101.

Molnar L. and Bartha I. 1989. Factors influencing solid-state anaerobic digestion. Biol. wastes 28: 15–24.

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.

Nandi R. and Sengupta S. 1998. Microbial production of hydrogen: an overview. Critical Reviews in Microbiology 24(1): 61–84.

Largus T.A. Khursheed K. Muthanna H.A. Brian A. and Wrennand R.D. 2004. Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater. Trends in Biotechnology 22: 477–485.

Lay J.J. Lee Y.J. and Neuke T. 1999. Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste. Water Res. 33: 2579-2586.

Lee K.S. Lo Y.S. Lo Y.C. Lin P.J. and Chang J.S. 2004. Operating strategies for biohydrogen production with high-rate anaerobic granular sludge bed bioreactor. Enzyme Micro. Technol. 35: 605–612.

Lettinga G. 1995. Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. Antonie van Leeuwenhoek. 67: 3-28.

Lin C.Y. and Lay C.H. 2004 Carbon/nitrogen-ratio effect on fermentative H_2 production by mixed microflora. Int J Hydrogen Energy 29:41–45

Liu C. Holst J. Brüggemann N. Butterbach-Bahl K. Yao Z. Han S. and Zheng X. 2008. Effects of irrigation on nitrous oxide, methane and carbon dioxide fluxes in an Inner Mongolian steppe. Adv Atmos Sci 5 (in press).

Lo K.V. and Liao P.H. 1985. High-rate anaerobic digestion of screened dairy manure. Journal of Agricultural Engineering Resources. 32: 349–358

Molnar L. and Bartha I. 1989. High solids anaerobic fermentation for biogas and compost production. Biomass. 16(3): 173–182.

Pattra S. Sangyoka S. Boonmee M. and Reungsang A. 2008. Bio-hydrogen production from the fermentation of sugarcane bagasse hydrolysate by *Clostridium butyricum*. Int. J Hydrogen Energy. Inpress.

Polprasert, C. 1996. Organic Waste Recycling: Technology and Management. 2nd Edn., John Willey and Sons, Chichester, England, pp: 374-375.

Taguchi F. Chang J.D. Takiguchi S. and Morimoto M. 1992. Efficient hydrogen production from starch by bacterium isolated from termites. J. Ferment Bioenergy. 73:224-225.

Tanisho S. and Ishiwata Y. 1995. Continuous hydrogen production from molasses by fermentation using urethane foam as a support of flocks. Int. J. Hydrogen Energy. 20: 541-545.

Tanisho S. 1996. Feasibility study of biological hydrogen production from sugar cane by fermentation. In: Veziroglu TN, Winter CJ, Basselt JP, Kreysa G. editors. Hydrogenenergy progress XI. Proceedings of 11th WHEC. Stuttgart 3:2601-2606.

Ueno Y. Tatara M. Fukui H. Makiuchi T. Goto M. and Sode K. 2007. Production of hydrogen andmethane from organic solid wastes by phase-separation of anaerobic process. Biores.Technol. 98: 1861–1865.

Venkata Mohan S. Vijaya Bhaskar Y. and Sarm P.N. 2007. Biohydrogen production from chemical wastewater treatment by selectively enriched anaerobic mixed consortia in biofilmconfigured reactor operated in periodic discontinuous batch mode. Water Res. 41: 2652-2664.

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

Wikipedia. Food waste. [online]. 2009a. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Food_waste

Wikipedia. Food waste. [online]. 2009c. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Methane

Yokoi H. Maki R. Hirose J. and Hayashi S. 2002. Microbial production of hydrogen from starch manufacturing wastes. Biomass Bioenergy. 22: 89-395.

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.

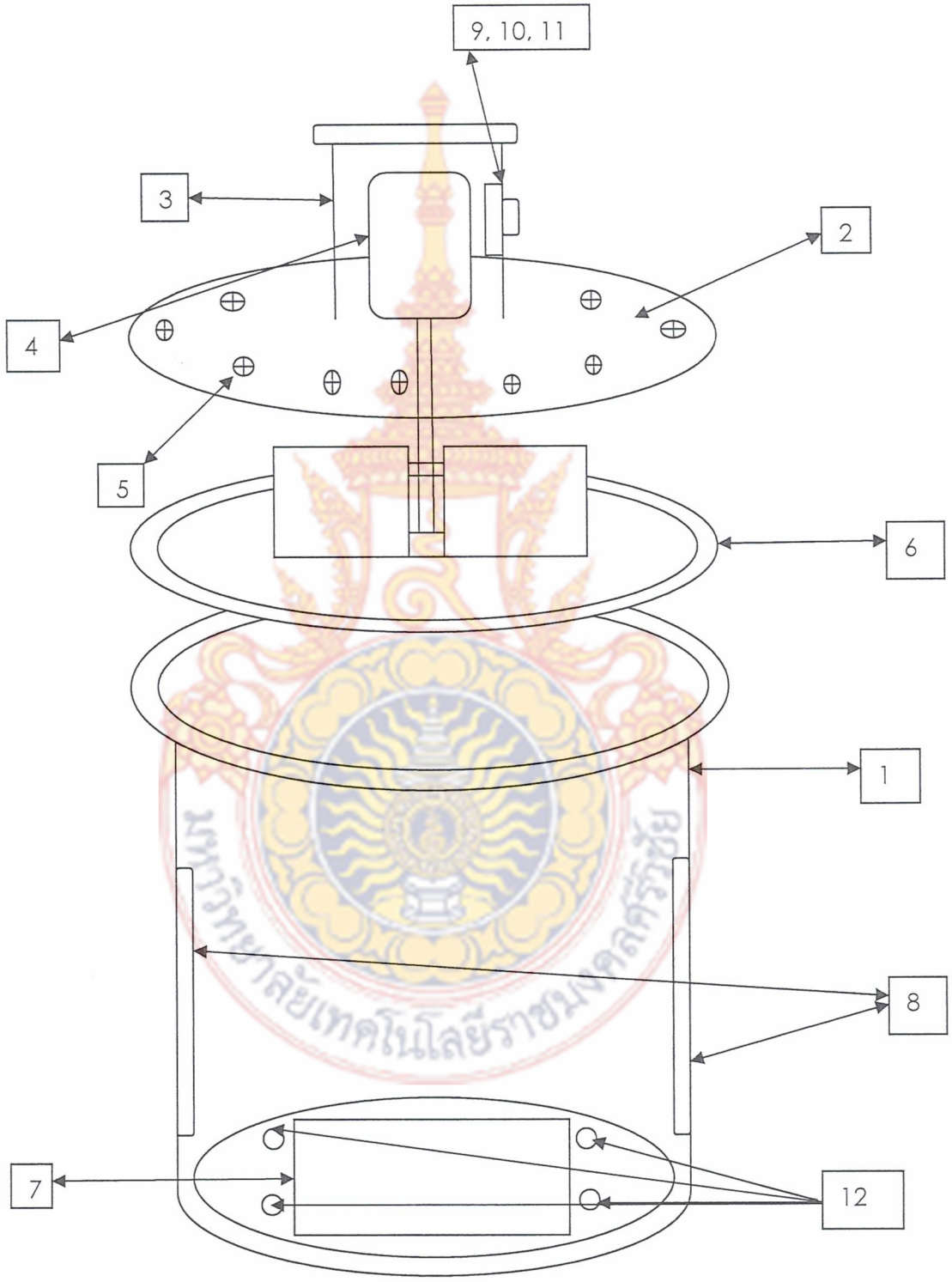
Zhu H. Suzuki T. Tsyganlov A. A. Asada Y. and Miyake J. 1999. Hydrogen production from to fuwastewater by *Rhodobacter sphaeroides* immobilized in agar gels. Int. J. HydrogenEnergy. 24:305-310.

Zhu H. and Beland M. 2006. Evaluation of alternative methods of preparing hydrogen producing seeds from digested wastewater sludge. Int. J. Hydrogen Energy. 31: 1980-1988

ภาคผนวก ก

แบบร่างถังหมักก๊าซชีวภาพ

1. ถังหมักไฮโดรเจนความจุ 40 ลิตร

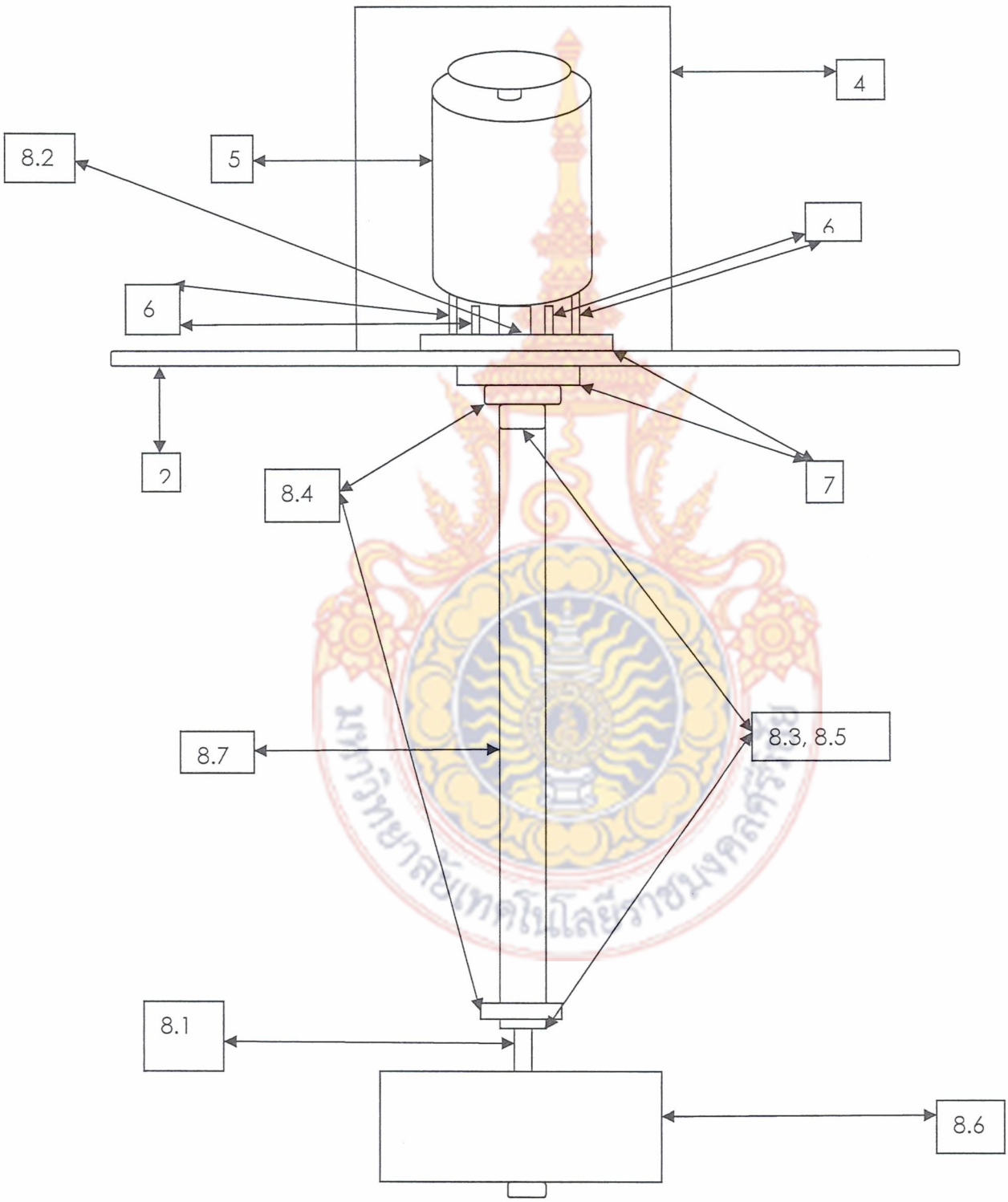


อุปกรณ์ประกอบ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
1	ถังสเตนเลสเกรด 304 ขนาด 40 ลิตร	1 ถัง	
2	ฝาสเตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร	1 ฝา	
3	ครอบพลาสติกกันน้ำ	1 ชุด	แบบใส ใช้ครอบมอเตอร์กันน้ำกันฝุ่น
4	มอเตอร์	1 ชุด	
5	น๊อตยึดฝาถัง(ตัวผู้และตัวเมีย)	12 ชุด	
6	ปะเก็นยางรองกันรั่วที่ฝาถัง	1 ชิ้น	
7	Heater ชนิดแผ่นไมก้า	1 แผ่น	ติดตั้งใต้ถังด้านนอก
8	Heater แบบสเตนเลส	2 แผ่น	ใช้ติดตั้งด้านข้างถังด้านนอก
9	ชุดควบคุมอุณหภูมิพร้อมหัววัด	1 ชุด	
10	สวิทซ์เปิดปิด มอเตอร์	1 ตัว	
11	สวิทซ์เปิดปิด Heater	1 ตัว	
12	ฐานรองใต้ถัง	4 ชิ้น	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2. ถังหมักมีเทนความจุ 200 ลิตร



อุปกรณ์ประกอบ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
1	ถังเหล็ก 200 ลิตร	1 ถัง	
2	ฝาถัง 200 ลิตร	1 ฝา	
3	แคลมป์ยึดถังกับฝา	1 อัน	มีซีลยางกันรั่วด้านใน
4	ฝาครอบอะคริลิค	1 ชุด	แบบใส ใช้ครอบมอเตอร์กันน้ำกันฝุ่น
5	มอเตอร์	1 ชุด	
6	น๊อตยึดปรับระดับมอเตอร์	4 ชุด	ใช้ปรับระดับมอเตอร์ให้สูงหรือต่ำจากฝา
7	หน้าแปลน	2 ชิ้น	ใช้ร่วมกับลดเหลี่ยมและ boot รองตลับลูกปืน เพื่อใส่ตลับลูกปืนกับแกรปั่น
8	ชุดใบกวน ประกอบด้วย	1 ชุด	
	8.1) แกนปั่น	1 อัน	ใช้เหล็กเส้นมาตัดและกลึงให้พอดีกับตลับลูกปืนและทำเกลียวที่ด้านล่างเพื่อใส่ใบกวนและยึดน๊อต
	8.2) ตัวยึดแกนปั่น	1 ชิ้น	ใช้ยึดระหว่างแกนมอเตอร์กับแกนปั่น
	8.3) ตลับลูกปืน	2 ชิ้น	
	8.4) ข้อลดเหลียม	2 ชิ้น	
	8.5) boot รองตลับลูกปืน	2 ชิ้น	
	8.6) ใบปั่น	1 ใบ	
	8.7) ท่อเหล็ก	1 เส้น	ใช้ท่อประปาเหล็กมาตัดเพื่อสวมกับแกนปั่นและตลับลูกปืนเพื่อไม่ให้แกนปั่นแกว่ง

ภาคผนวก ข

เอกสารการเผยแพร่งานวิจัยในที่ประชุมวิชาการ

ท่านเกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ผู้ได้เข้าอบรมหลักสูตรการเป็นวิทยากรกระบวนการ

(ภาษาอังกฤษ Certificate Training of Facilitator)

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๒ เดือน มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

"การเป็นวิทยากรกระบวนการที่ดี : กลยุทธ์และเทคนิค"

ระหว่างวันที่ ๒๐ - ๒๑ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๓ ณ ห้องประชุมวิทยาลัยการจัดการ

ผู้อำนวยการวิทยาลัยการจัดการ

ศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย

บังคับการตำรวจตระเวนชายแดนที่ ๑๔

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการ ประจำปี 2555

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ชุมชนท้องถิ่น :
รากฐานการพัฒนาประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

16-19 กุมภาพันธ์ 2555

ณ ห้องมงกุฎเพชร โรงแรมโฆษะ จังหวัดขอนแก่น

และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

P48	การออกแบบและสร้าง เครื่องเปิด-ปิด ประตูน้ำสนาม กานตยุทธ ศรีบุญนิธิ	898
P49	การปรับปรุงประสิทธิภาพการออกแบบโครงสร้างปั้นจั่น กานตยุทธ ศรีบุญนิธิ	903
P50	จักรยานยนต์ต้นแบบระบบไฮบริด เกษม เจนวิไลศิลป์	908
P51	การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากของเสียเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค นพดล โพชกำเหนิด	913
P52	การผลิตถ่านกะลามะพร้าวและน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่านแบบเคลื่อนที่ได้ บุญรัก ลาดสูงเนิน	918
P53	โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการสร้างและใช้งานบ่อหมักแก๊สชีวภาพสำหรับครัวเรือน ในชุมชนบ้านท่าทองแดง ต.นาโบสถ์ อ.วังเจ้า จ.ตาก ยุชนา ศรีอุดม	923
P54	พัฒนารูปแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานต้นแบบผสมผสานวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่น ริชิต นางแล	929
P55	การหาอัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสมของจักรยานสูบน้ำในการขับปั๊มน้ำแบบสูบชัก สมบัติ กำมอญ	933
P56	การผลิตอินกอตอะลูมิเนียมมาตรฐานจากเศษอะลูมิเนียม สมศักดิ์ ประเสริฐสุข	937
P57	เชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบไม้เพื่อเป็นพลังงานทดแทน สิงเดิม ดีโต	940
P58	การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ อภิรักษ์ ขัดวิลาศ	947
P59	การออกแบบและสร้างเครื่องตัดหลอดม้วนรีบบิ้น กฤตภาส หอมระรื่น	952
P60	การศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก กฤษฎา บุญชม	956
P61	การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขนาดเล็ก ศิศิโรตม์ เกตุแก้ว	961
P62	การพัฒนารูปแบบสินค้าชุมชนประเภทของที่ระลึกเพื่อรองรับการท่องเที่ยวเชิงนิเวศอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา : ชุมชนหมองจาน ทรงพล อุปชิตกุล	967
P63	การมีส่วนร่วมทุกภาคส่วนในการป้องกันควบคุมโรคไข้เลือดออก ในอำเภอทุ่งตะโก จังหวัดชุมพร บริชา ไชยณรงค์	971
P64	แนวทางในการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศอย่างยั่งยืนขององค์การบริหารส่วนตำบลนาหนองทุ่ม อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น เพ็ญประภา เพชระบูรณิน	976

การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากของเสียเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค

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

นพดล โพชกำเหนิด[1*] สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์[1] เสริมศักดิ์ สัญญาโณ[2] และ สมพงศ์ โอทอง[3]
[1]คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000; โทรศัพท์: 08-6689-0920, โทรสาร: 074-693992
E-mail : podkumnerd@yahoo.co.th ; [2]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา 90000;
[3]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93110

บทคัดย่อ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาวิธีการย่อยของเสียเศษอาหาร และผลิตไฮโดรเจนจากน้ำตาลที่ได้จากการย่อยของเสียเศษอาหารด้วยจุลินทรีย์จากมูลโค พบว่าของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรท เมื่อทำการย่อยของเสียเศษอาหาร 4 วิธี คือ การย่อยด้วยความร้อน (100 °C 2 ชั่วโมง) กรดซัลฟิวริค (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 และร้านอาหารผลผลิตไฮโดรเจนสูงสุด 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. Restaurent 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 H_2/L-digested food waste, respectively.

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

1. บทนำ

ของเสียเศษอาหาร คือของเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตและการใช้สอยของมนุษย์ซึ่งเป็นปัญหาของโลกสมัยใหม่ ของเสียเหล่านี้หากไม่ได้กำจัดอย่างถูกวิธี นอกจากจะทำให้ชุมชนขาดความสะอาดเรียบร้อยยังทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสภาพแวดล้อม ของเสียเศษอาหารเป็นขยะที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูงย่อยสลายได้อย่างเช่น เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ เศษพืชผัก ซึ่งเป็นของเสียที่มีน้ำตาลและแป้งเป็นองค์ประกอบสูงถึง ร้อยละ 60 ของน้ำหนักเปียก [2] มีแนวโน้มในการการนำมาเป็นสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเป็นแหล่งพลังงานทางชีวภาพ อย่างเช่น ไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานสะอาด และช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมอันจะเกิดจากปล่อยของเสียจากเศษอาหารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย ประกอบกับวิกฤตการณ์พลังงานเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องแก้ไข และหามาตรการป้องกัน ทั้งนี้ เนื่องจากประเทศไทยมีทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติน้อย จึงจำเป็นต้องพึ่งพาประเทศอื่นๆ ที่สามารถส่งออกพลังงานมาจำหน่ายได้ ส่งผลให้ขาดความมั่นคงทางด้านพลังงาน นอกจากนี้ทรัพยากรพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป จึงเกิดกระแสความสนใจที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ซึ่งไฮโดรเจนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของแหล่งพลังงานในอนาคตที่คาดว่าจะนำมาทดแทนพลังงานพลังงานที่มีในธรรมชาติ เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด (Clean Energy) กระบวนการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [3]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเศษอาหารเข้าสู่กระบวนการหมัก (Pretreatment) และศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจน

3. แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิดการวิจัย

ของเสียจากเศษอาหาร มีส่วนประกอบของโพลิแซคคาไรด์หลายชนิด เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส แป้ง และโปรตีน เมื่อนำมาไฮโดรไลซ์จะได้น้ำตาลกลูโคสและไซโลส [4] สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยที่แป้งสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ชอบร้อน ไฮโดรไลเสตที่ได้จากจากการย่อยสลายจะประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลต่ำ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตไฮโดรเจนได้ จากปัญหาการขาดแคลนพลังงานดังกล่าวมาแล้วข้างต้น กลุ่มผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเศษอาหารมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานทดแทน ทั้งนี้มีรายงานการวิจัยว่ามีจุลินทรีย์ที่สามารถนำไฮโดรไลเสตของวัสดุจำพวกเศษอาหารไปเป็นสับสเตรทเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ [5]

4. วิธีดำเนินการ

4.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเสียเศษอาหาร

ของเสียจากเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองได้จากของเสียจากเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่งในเขตเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา ได้แก่ เศษอาหารตลาดรถไฟ เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากตลาด เศษอาหารจากชุมชนชัยมงคล เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากชุมชน เศษอาหารจากร้านอาหารฟักทอง เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากร้านอาหาร เศษอาหารจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เป็นตัวแทนของเสียเศษอาหารจากสำนักงาน ทำการเก็บของเสียเศษอาหารเป็นเวลา 1 เดือนเก็บตัวอย่างครั้งละ 5 กิโลกรัม เพื่อศึกษาถึงความแปรปรวนขององค์ประกอบจากการพฤติกรรมการบริโภคและสถานที่ โดยนำมาแยกเศษของแข็งที่ย่อยสลายได้ยากออก เช่น กระดูก เปลือกหอย เปลือกปู นำตัวอย่างของเสียมาบดละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เพื่อให้มีขนาดเล็กลง วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ค่า pH โดยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (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) โดย Kyowa Hakko method [9]

4.2 ศึกษาวิธีการเตรียมของเสียเศษอาหารเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจน

ศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างของเสียสำหรับผลิตไฮโดรเจน โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 5 แบบ ได้แก่ 1) การย่อยด้วยความร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง [10] 2) ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริค 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 เก็บตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

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

3) การย่อยด้วยเบสเจือจาง นำเศษอาหารที่ผ่านการบดแล้วมาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3 M ในอัตราส่วนของ เศษอาหารต่อกรดเท่ากับร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาแยกของแข็งออกโดยกรองผ่านกระดาษกรอง ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง ด้วย H_2SO_4 ความเข้มข้น 3 M ตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

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

เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และนำวิธีการเตรียมที่ให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดของแต่ละแหล่งไปเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการผลิตไฮโดรเจนในการทดลองต่อไป

4.3 การศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหาร

4.3.1 การปรับสภาพกลุ่มจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจน

ในการทดลองนี้จะใช้กลุ่มจุลินทรีย์จากมูลวัว (Cow dung) เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฮโดรเจนเริ่มจากยับยั้งจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตมีเทนซึ่งอยู่ในตะกอนก่อนโดยการให้ความร้อนที่ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการปรับสภาวะเพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์แบบไร้อากาศนี้มีความสามารถในการใช้น้ำตาล และแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเศษอาหารเพื่อเป็นสับสเตรทในการผลิตไฮโดรเจนได้ โดยเพาะเลี้ยงกลุ่มจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมไฮโดรไลเสตจากของเสียเศษอาหารที่เหมาะสมสองแหล่ง (จากการทดลองที่ 4.2) เป็นแหล่งคาร์บอนที่ความเข้มข้นน้ำตาลโดยรวมเริ่มต้นเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร และเติมแร่ธาตุต่างๆ เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้แก่ KH_2PO_4 1.5 กรัมต่อลิตร $(NH_4)_2SO_4$ 2 กรัมต่อลิตร $CaCl_2.2H_2O$ 0.1 กรัมต่อลิตร $MgCl_2.6H_2O$ 0.1กรัมต่อลิตร และ $FeSO_4$ 0.003 กรัมต่อลิตร ซึ่งมูลวัวที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว 2 กรัม เติมลงในขวดซีรัมขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีไฮโดรไลเสตจากของเสียเศษอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลเหมาะสมสองชุดๆ ละ 68 มิลลิลิตร ทำการเพาะเลี้ยงที่ 60 องศาเซลเซียส เขย่า 100 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 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 ที่ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retention time) เท่ากับ 48 ชั่วโมง ปรับค่าพีเอชในสับเสตรทเริ่มต้นเป็น 5.5-6.5 โดยใช้ $NaHCO_3$ เพื่อควบคุมระดับพีเอชในน้ำหมักให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ในแต่ละรอบจะถ่ายอาหารเก่าออก 400 มิลลิลิตร และใส่อาหารใหม่ลงไป 400 มิลลิลิตร ดำเนินการเพาะเลี้ยงโดยวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตโดยใช้ Gas counter และเริ่มเก็บก๊าซที่ตรวจวัดในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซขนาด 5 มิลลิลิตร เมื่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มีค่าคงที่ สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ (ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ที่ตรวจวัดในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ10) นำตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้ในระยะการผลิตก๊าซคงที่ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไฮโดรเจน (โดยใช้ GC/TCD)

5. ผลการศึกษา

5.1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของเสียเศษอาหาร

ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร ร้านอาหาร และชุมชน มีองค์ประกอบของแป้งสูง ซึ่งเมื่อย่อยแป้งจะได้น้ำตาลซึ่งสามารถใช้ผลิตไฮโดรเจน ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหาร จากร้านอาหารและชุมชน มีองค์ประของแป้ง ร้อยละ 55 63 และ 43 ของน้ำหนักเศษอาหารแห้ง และมีสภาพเป็นกรดมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.0-5.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อผลิตไฮโดรเจน ของเสียเศษอาหารจากร้านอาหาร และโรงอาหารเป็นของเสียเศษอาหารที่มีสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรทสูง 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

เนื่องจากของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารมีองค์ประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรทสูง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการย่อย (Hydrolysis) ด้วยปัจจัยทางกายภาพ ทางเคมี หรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์จะได้น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่กระบวนการหมักไฮโดรเจนด้วยเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค จึงใช้ของเสียเศษอาหารทั้งสองแหล่งศึกษาสภาวะที่เหมาะของการย่อย

5.2.1 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหาร จากโรงอาหารต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

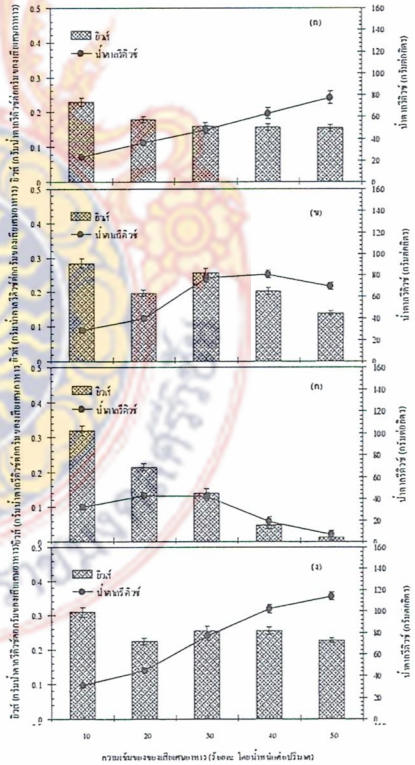
การย่อยด้วยความร้อน ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 30 44 55 60 และ 70 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายิวส์ของน้ำตาลของรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.23 0.18 0.16 0.156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

การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริค 1.7% (w/v) ที่ความเข้มข้นของเศษอาหารร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 28.5 39.5 65 76 และ 69.6 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 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 ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.32 0.21 0.14 0.04 และ 0.01 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 1ค)

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าการย่อยทางกายภาพและเคมีให้ค่าผลที่ได้จากน้ำตาลต่ำลง เมื่อความเข้มข้นของเศษอาหารสูงขึ้นเนื่องจากอาหารมีความหนืดมากพองตัวได้น้อยและไม่สามารถย่อยได้ ทำให้ค่าผลที่ได้ของน้ำตาลลดลง [1]

การย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้ง 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 ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 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 ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ0.28 0.22 0.19 0.19 และ 0.19 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหาร ตามลำดับ (ภาพ 2ก)

การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริค 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 ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 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 ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.22 0.15 0.1 0.03 และ 0.01 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 2ค)

การย่อยด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้ง 7.5% (w/w) ที่ความเข้มข้นร้อยละ10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้คือ 43.4 63.0 107.4 142.8 และ 159.6 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยของเสียจากร้านอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 0.43 0.32 0.36 0.36 และ 0.32 กรัมน้ำตาลต่อกรัมเศษอาหารตามลำดับ (ภาพ 2ง)

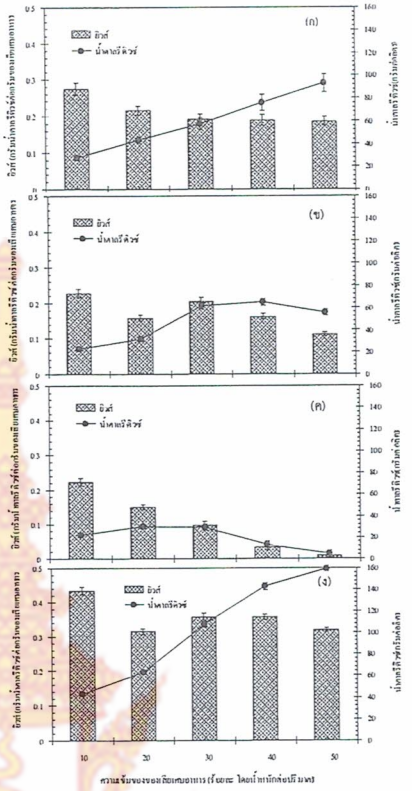
จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารโดยการใช้วิธีการต่างๆ พบว่ามีสภาวะเหมาะสมต่างกัน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมนั้นพิจารณาจากความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารที่ย่อยแล้วได้น้ำตาลรีดิวซ์และค่ายิวส์ของน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณสูงสอดคล้องกัน

การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยความร้อน ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 20 ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 44.0 และ 43.2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยให้ค่ายิวส์ของน้ำตาลคือ 0.18 และ 0.22 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ

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

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

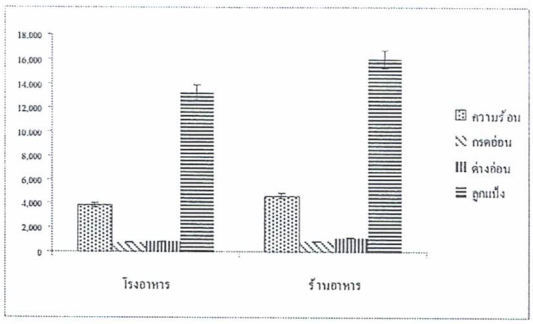
การย่อยของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหารด้วยจุลินทรีย์จากลูกแป้ง 7.5% (w/w) ที่ความเข้มข้นของของเสียเศษอาหารร้อยละ 30 ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 76.7 และ 107.4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยให้ค่ายิวส์ของน้ำตาลสูงสุด คือ 0.26 และ 0.36 กรัมต่อกรัมของเสียเศษอาหาร ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ผลของการย่อยของเสียเศษอาหารจากร้านอาหารโดยวิธีต่างๆ

5.3 การผลิตไฮโดรเจนจากของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหาร

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



ภาพที่ 3 แนวโน้มในการผลิตไฮโดรเจนจากหมักที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหาร

วิธีการย่อย	ไฮโดรเจนจากโรงอาหาร L H_2/ Lเศษอาหาร	ไฮโดรเจนจากร้านอาหาร L H_2/ Lเศษอาหาร
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 แนวโน้มในการผลิตไฮโดรเจนจากหมักที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ของเสียเศษอาหารจากโรงอาหารและร้านอาหาร

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของเสียเศษอาหารจากแหล่งต่างๆ 4 แหล่ง ได้แก่ โรงอาหาร ชุมชน ร้านอาหาร และตลาด พบว่าของเสียจากจากร้านอาหารและโรงอาหารมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรทสูง สามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักไฮโดรเจนได้ เมื่อนำของเสียจากทั้งสองแหล่งที่ความเข้มข้นต่างๆ มาผ่านกระบวนการย่อยโดยใช้ความร้อน 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 นับได้ว่าเป็นแนวทางที่น่าสนใจอีกวิธีการหนึ่งที่สามารผลิตก๊าซไฮโดรเจนทางชีวภาพได้ ซึ่งจะสามารถใช้ของเสียเศษอาหารเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก และช่วยลดผลกระทบจากการทิ้งของเสียเศษอาหารสู่สิ่งแวดล้อมได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่องการพัฒนกระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจากมูลฝอยเศษอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ 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.