

# การปรับสภาพขุยมะพร้าวเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับมูลวัว

## Pretreatment of Coconut Husk for Biogas Production by Anaerobic Fermentation with Cow Dung

เวสารัช สุนทรชัยบุรณ์<sup>1</sup> ธัญวิทย์ พลาวยงาม<sup>2</sup> และ รัชพล พะวงศ์รัตน์<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์ชีวผลิตภัณฑ์ <sup>2</sup>นักศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ <sup>3</sup>อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ชีวผลิตภัณฑ์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม 73140

### บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะที่เหมาะสมในการปรับสภาพขุยมะพร้าวโดยวิธีการทางเคมีร่วมกับทางกายภาพ เพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยทำการเตรียมตัวอย่างขุยมะพร้าว นำไปอบแห้งและลดขนาด (ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเริ่มต้น ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน  $35.67 \pm 2.02$ ,  $7.41 \pm 0.69$  และ  $40.82 \pm 0.62$  โดยน้ำหนัก ตามลำดับ หลังจากที่ยุขมะพร้าวผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี พบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้องค์ประกอบทางเคมีสูงสุด คิดเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน  $43.30 \pm 0.35$ ,  $29.69 \pm 0.48$ ,  $27.36 \pm 0.03$  โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น ( $p < 0.05$ ) หลังจากนั้นศึกษาคัดยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับมูลวัว ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน (1:1 1:2 1:3 และ 1:4) เป็นเวลา 30 วัน พบว่า ที่อัตราส่วน 1:4 มีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุด เท่ากับ 442.6 มิลลิลิตร มีแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 46.1 และ 23.1 ร้อยละการกำจัด (% remove) ของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และซีโอดี (COD) คิดเป็นร้อยละ 69.3 32.5 50.0 และ 58.4 ตามลำดับ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 23:1 ดังนั้น ขุยมะพร้าวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่ามาประยุกต์ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพโดยประยุกต์ใช้ร่วมกับมูลวัว ซึ่งขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตแก๊สชีวภาพ อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้เพื่อเกิดประโยชน์ในอนาคต

### Abstract

The optimal pretreatment condition of coconut husk by physicochemical methods for biogas production was investigated. The coconut husk was dried and ground into powder (~0.1 nm) and was then determined for chemical contents such as cellulose, hemi-cellulose and lignin, respectively. The chemical contents of cellulose, hemi-cellulose and lignin were  $35.67 \pm 2.02$ ,  $7.41 \pm 0.69$  and  $40.82 \pm 0.62$  w/w, respectively. After pretreatment with 4 different methods, the results showed that the pretreatment of sodium hydroxide 30% (w/w) gave the highest chemical contents of cellulose, hemi-cellulose and lignin with  $43.30 \pm 0.03$ ,  $33.69 \pm 7.48$  and  $27.36 \pm 0.03$  w/w, respectively. As for the biogas production, the result showed that the ratio of coconut husk to cow dung of 1:4 with C:N ratio of 23:1 gave the highest cumulative biogas of 442.6 ml for 30 days. Methane and carbon dioxide contents were 46.1 and 23.1%. Moreover, the removal percentages of the total solids (TS), volatile solid (VS), suspended solids (SS) and COD were 69.3, 32.5, 50.0 and 58.4%, respectively. The coconut husk could be used as an alternative material for the application of biogas production with cow dung in the near future.

**คำสำคัญ** : แก๊สชีวภาพ การปรับสภาพ กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ขุยมะพร้าว มูลวัว

**Keywords** : Biogas, Pretreatment, Anaerobic Fermentation, Coconut Husk, Cow Dung

\* ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ [faasrpp@ku.ac.th](mailto:faasrpp@ku.ac.th) โทร. 0 3428 1105-6 ต่อ 7678

## 1. บทนำ

จากสถานการณ์ปัจจุบันที่ราคาพลังงานต่างก็ปรับตัวสูงขึ้น ประกอบกับความต้องการพลังงานก็มีเพิ่มมากขึ้นและผลของการใช้พลังงานฟอสซิล ทำให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ปัจจุบันหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยก็มีการพัฒนาพลังงานทางเลือกของตนเอง สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นกลุ่มของชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ของพืช เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น (กิตติกานท์, 2554) ขุยมะพร้าวถือเป็นวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรอีกประเภทหนึ่งที่ดีเป็นวัสดุพวกลิกโนเซลลูโลส และมีจำนวนมากเพราะประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกมะพร้าวราว 1.4 ล้านไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 1.38 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) การนำวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์มีได้หลายรูปแบบ การผลิตแก๊สชีวภาพก็เป็นรูปแบบการผลิตพลังงานทดแทนที่พบเห็นได้มาก เพราะการผลิตแก๊สชีวภาพสามารถทำได้ในระดับครัวเรือน แต่ปัญหาในการผลิตแก๊สชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลสโดยส่วนใหญ่ คือ วัสดุประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อนยากแก่การย่อยสลายของจุลินทรีย์ เช่น ลิกนิน (พงษ์ศักดิ์, 2553) จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการปรับสภาพ (Pretreatment) เพื่อลดขนาดโมเลกุล และกำจัดส่วนประกอบที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้ออกไป

โดยขั้นตอนการปรับสภาพสามารถทำได้หลายวิธีการ โดยอาจจะใช้วิธีการทางเคมี เช่น การใช้กรดหรือ ด่าง ทางกายภาพ เช่น การบด กาใช้ไอน้ำแรงดันสูง ทางชีวภาพ เช่น การใช้เอนไซม์ เซลลูเลส หรืออย่างใดอย่างหนึ่งร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมทั้งชนิดของวัสดุที่ใช้ด้วย (รัชพล, 2554)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาขั้นตอนการปรับสภาพ (Pretreatment) วัสดุพวกลิกโนเซลลูโลสจากขุยมะพร้าวโดยวิธีการเคมีร่วมทางกายภาพให้เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับมูลวัว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพ อีกทั้งยังศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาประยุกต์ใช้เพื่อเกิดประโยชน์ในอนาคต

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมตัวอย่างขุยมะพร้าว และมูลวัว

นำตัวอย่างขุยมะพร้าว (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน จ.นครปฐม) บดลดขนาด (ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเริ่มต้น ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน นำมูลวัวสด (คาวบอยแลนด์ กำแพงแสน จ.นครปฐม) ตากผึ่งแดดเป็นเวลา 1-2 วัน เก็บใส่ภาชนะปิดให้มิดชิด ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) และความชื้น

## 2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพ ขุยมะพร้าว โดยวิธีการเคมีร่วมกับกายภาพ

การปรับสภาพเพื่อเตรียมตัวอย่างขุยมะพร้าว โดยใช้วิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมีพร้อมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงที่ได้ดัดแปลงมาจากวิธีการของ รัชพล (2554) โดยแบ่งออกเป็น 4 วิธีการคือ

### 2.2.1 การปรับสภาพด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์

นำตัวอย่างจำนวน 30 กรัม ต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (ร้อยละ 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแยกตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH ~ 7 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิท

### 2.2.2 การปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ แรงดันสูง (Autoclave)

นำตัวอย่างจำนวน 30 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที กรองแยกตัวอย่าง นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิท

### 2.2.3 การปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ แรงดันสูง (Autoclave) แล้วตามด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์

นำตัวอย่างจำนวน 30 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วย่อยด้วย Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที กรองแยกตัวอย่าง จากนั้นแล้วมาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (ร้อยละ 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองแยกตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH ~ 7 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิท

### 2.2.4 การปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ แรงดันสูง ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

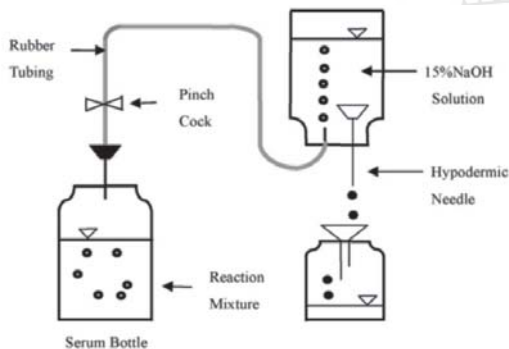
นำขุยมะพร้าวที่เตรียมไว้ 30 กรัม มาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน (ร้อยละ 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก) แล้วย่อยด้วย Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที กรองแยกตัวอย่าง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิท จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย และน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือหลังการปรับสภาพ

## 2.3 ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของขุยมะพร้าว หลังจากผ่านกระบวนการปรับสภาพ

ขุยมะพร้าวที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพจะนำไปศึกษาโครงสร้างของเส้นใยโดยผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง หรือ Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใย

## 2.4 ศึกษาศักยภาพของขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพ

การศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพโดยใช้กระบวนการหมักแบบกะ (Batch) โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ Pilanee *et al.* (2011) โดยพิจารณาอัตราส่วนของขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพในสภาวะที่เหมาะสมกับมูลวัวในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน (1:1 1:2 1:3 และ 1:4) วัดปริมาณแก๊สชีวภาพโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ ทุก ๆ 3 วันโดยทำการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในชุดอุปกรณ์การผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Hu *et al.* (2008) (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์การผลิตแก๊สชีวภาพ

## 2.5 การวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมีของเส้นใยขุยมะพร้าวก่อนการปรับสภาพและหลังการปรับสภาพ โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ AOAC (1980) วิเคราะห์องค์ประกอบของมูลวัว ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และความชื้น โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ (AOAC, 1980) การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ (มันลินและมันรัช, 2551) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดย

เครื่องวัดค่ากรดต่าง (pH-meter) วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542) การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ (Walkley and Black, 1934) วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊ส ได้แก่ ปริมาณแก๊สมีเทน ( $CH_4$ ) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) โดยดัดแปลงมาจากวิธีการของ (สมจินตนา, 2554)

## 2.6 การวิเคราะห์พลาทงสถิติ

ขั้นตอนในการวิจัยและผลการทดลองทั้งหมดจากการวิจัยทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0 เปอร์เซ็นต์ ( $p < 0.05$ )

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัสดุหมัก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของมูลวัว พบว่า มูลวัวมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (VS) และของแข็งแขวนลอย (SS) มีค่าเท่ากับ 107,184.44 75,482.10 251,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความชื้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 52.55 (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยการหมักมูลวัวแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพของทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Abubakar and Ismail (2012) พบว่า ความชื้นมีค่าใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 41.2) มีปริมาณ TS และ VS

มีค่าน้อยกว่า เท่ากับ 156 และ 32.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณของสารอินทรีย์และการสุมตัวอย่างมาวิเคราะห์ เพราะมูลวัวมาจากแหล่งที่แตกต่างกัน

**ตารางที่ 1** คุณลักษณะเบื้องต้นของมูลวัว

พารามิเตอร์	องค์ประกอบ
ของแข็งทั้งหมด (TS) มก./ล.	107,184.44±1,124
ของแข็งระเหยง่าย (VS) มก./ล.	75,482.10±2,358
ของแข็งแขวนลอย (SS) มก./ล.	251,000±2,458
ความชื้น (ร้อยละ)	52.55±3.48

### 3.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพ (Pretreatment) ขุยมะพร้าวโดยวิธีทางเคมีร่วมกับทางกายภาพ

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพขุยมะพร้าวโดยวิธีทางเคมีร่วมกับทางกายภาพ จากตารางที่ 2 พบว่า วิธีการปรับสภาพโดยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) แล้วตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการใช้หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave) ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลสน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด ( $p < 0.05$ ) และการปรับสภาพโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงอย่างเดียวมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) เป็นผลให้การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ

30 โดยน้ำหนัก มีปริมาณผลรวมเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเส้นใยสูงสุด และพบว่า วิธีการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงจะมีน้ำหนักคงเหลือหลังปรับสภาพน้อยที่สุดใน การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการปรับสภาพขุยมะพร้าว การปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง แล้วตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือพร้อม เป็นสภาวะที่รุนแรงมีผลให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเส้นใยลดน้อยลง ซึ่งอาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยามากเกินไปจนทำให้ไม่เพียงแต่จะกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการแต่ยังกำจัดส่วนที่เราต้องการอีกด้วย (นวรรตน์, 2553) ดังนั้น จึงใช้ตัวอย่างที่ผ่านการปรับสภาพโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ในการทดลองขั้นต่อไป

### 3.3 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

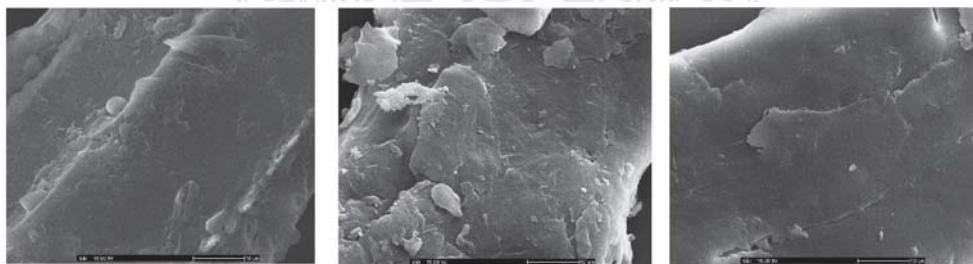
จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) จากผลการทดลองเมื่อทำการปรับสภาพขุยมะพร้าวด้วยวิธีการทางเคมีร่วมกับทางกายภาพ พบว่า โครงสร้างของขุยมะพร้าวมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (รูปที่ 2 ก-ค) การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีลักษณะของขุยมะพร้าวที่เปิดออกมากกว่า (รูปที่ 2ข) ซึ่งอาจเป็นผลของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงทำให้โครงสร้างขุยสูง ที่ส่งผลต่อโครงสร้างขุยมะพร้าว (จุติมา มะพร้าวอัดแน่นมากขึ้น (รูปที่ 2ค) อาจเป็นผล และคณะ, 2554) จากความร้อนและแรงดันของหม้อนึ่งไอน้ำแรงดัน

ตารางที่ 2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีต่าง ๆ

การปรับสภาพ	องค์ประกอบทางเคมีของขุยมะพร้าว (กรัมต่อ 100 กรัม)			เส้นใย	ร้อยละน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ	
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน			
ไม่ผ่าน	ชุดควบคุม	35.67±2.02 <sup>b</sup>	7.41±0.69 <sup>d</sup>	40.82±0.62 <sup>b</sup>	43.08±0.18 <sup>d</sup>	100±0.0 <sup>a</sup>
Autoclave	NaOH 20%	46.30±1.42 <sup>a</sup>	12.45±3.64 <sup>c</sup>	29.31±2.04 <sup>c</sup>	58.75±1.57 <sup>b</sup>	35.50±0.42 <sup>e</sup>
	NaOH 25%	44.83±0.13 <sup>a</sup>	17.69±1.14 <sup>c</sup>	26.65±1.18 <sup>de</sup>	62.53±0.9 <sup>b</sup>	36.00±1.27 <sup>e</sup>
	NaOH 30%	43.30±0.35 <sup>a</sup>	29.69±0.48 <sup>a</sup>	27.36±0.03 <sup>cd</sup>	72.99±5.31 <sup>a</sup>	32.86±0.33 <sup>ef</sup>
Autoclave	-	37.05±2.62 <sup>b</sup>	0.85±1.54 <sup>e</sup>	46.80±0.39 <sup>a</sup>	36.59±0.21 <sup>c</sup>	77.59±1.11 <sup>b</sup>
Autoclave	NaOH 20%	44.39±0.21 <sup>a</sup>	15.30±0.63 <sup>bc</sup>	28.25±0.07 <sup>cd</sup>	59.69±0.59 <sup>b</sup>	47.25±6.94 <sup>c</sup>
ตามด้วยต่าง	NaOH 25%	46.42±1.52 <sup>a</sup>	16.72±0.66 <sup>bc</sup>	28.22±0.55 <sup>de</sup>	62.32±0.08 <sup>b</sup>	41.46±1.24 <sup>d</sup>
	NaOH 30%	45.47±0.73 <sup>a</sup>	16.10±0.79 <sup>bc</sup>	27.43±0.27 <sup>cd</sup>	61.84±0.04 <sup>b</sup>	41.28±3.30 <sup>d</sup>
หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง + ต่าง	NaOH 20%	43.23±1.49 <sup>a</sup>	20.59±0.84 <sup>b</sup>	26.93±2.06 <sup>cd</sup>	63.98±2.06 <sup>b</sup>	29.66±0.86 <sup>fg</sup>
	NaOH 25%	45.01±1.10 <sup>a</sup>	20.33±1.14 <sup>b</sup>	26.62±1.02 <sup>de</sup>	65.01±0.03 <sup>b</sup>	26.10±1.85 <sup>g</sup>
	NaOH 30%	46.02±1.11 <sup>a</sup>	17.73±0.98 <sup>bc</sup>	25.71±1.41 <sup>e</sup>	63.68±0.48 <sup>b</sup>	27.65±3.49 <sup>g</sup>

หมายเหตุ: a, b, c, d, e, และ f เป็นค่าทางสถิติที่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เส้นใย คือ ผลรวมเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส



ก

ข

ค

รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของขุยมะพร้าว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

ก. ขุยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

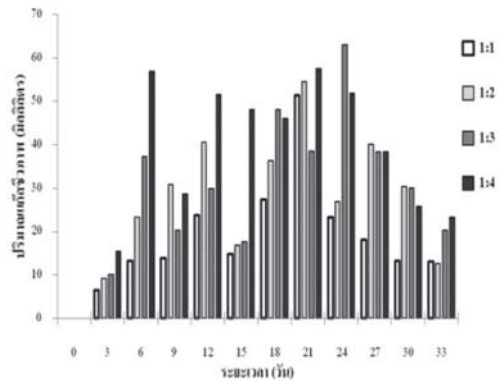
ข. ขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

ค. ขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักร่วมกับหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (Autoclave)

### 3.4 ผลการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัว

จากการศึกษาปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยทำการวัดปริมาณแก๊สชีวภาพโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ ทุก ๆ 3 วัน ของทั้ง 4 อัตราส่วน คือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 จาก (รูปที่ 3) แสดงปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพ ในช่วงแรก (วันที่ 0-6) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกอัตราส่วนโดยที่อัตราส่วน 1:4 สูงสุด รองลงมาเป็น 1:3, 1:2 และ 1:1 เท่ากับ 56.75, 37.25, 23.25 และ 13.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ และค่อย ๆ ลดลง พอวันที่ 15 เป็นต้นไป ปริมาณแก๊สชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยพบว่าวันที่ 21 อัตราส่วน 1:4, 1:2 และ 1:1 ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 57.5, 54.5 และ 51.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในวันที่ 24 อัตราส่วน 1:3 ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 63 มิลลิลิตร หลังจากนั้นวันที่ 27 เป็นต้นไป ปริมาณแก๊สชีวภาพเริ่มลดลงในทุกอัตราส่วน และมีแนวโน้มลดลงไปเรื่อย ๆ ซึ่งรายงานวิจัยของนฤมล (2556) กล่าวไว้ว่าการที่ปริมาณแก๊สในช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้นในทุกอัตราส่วน เนื่องจากจุลินทรีย์อยู่ในช่วงปรับตัวให้คุ้นเคยกับวัสดุหมักและทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายก่อนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ จากนั้นจึงจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยยากต่อไป และรายงานวิจัยของสมฤติ (2551) ยังกล่าวว่าการที่อัตราการผลิตแก๊สในช่วงหลังเริ่มลดลงเนื่องจากการทดลองนี้เป็นแบบกะ ซึ่งมีการเติมสารอินทรีย์เข้าระบบเพียงครั้งเดียวระยะเวลาดำเนินการทดลองนานขึ้น ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบเหลือน้อยลง และย่อยสลายยาก ไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ การที่อัตราส่วน 1:4 และ 1:3

มีปริมาณแก๊สชีวภาพสูงกว่า 1:2 และ 1:1 เนื่องจากอัตราส่วนที่มีสารอินทรีย์มาก จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่และเปลี่ยนไปให้แก๊สมีเทนได้มาก นอกจากนี้ การผลิตแก๊สชีวภาพให้ได้ปริมาณสูง ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พีเอช อุณหภูมิ ควบคุมการควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่การทดลองนี้ไม่ได้มีการควบคุมพีเอชและอุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

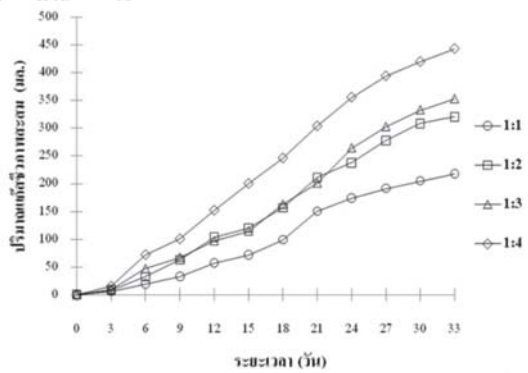


รูปที่ 3 การผลิตแก๊สชีวภาพในแต่ละวันของขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ต่างกัน

การผลิตแก๊สชีวภาพแบบกะ จะจำเพาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเมทาโนเจนส์ จาก (รูปที่ 4) ซึ่งในช่วง 3 วันแรกจะมีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมน้อยในทุกอัตราส่วน อยู่ในช่วง 6.38-15.38 มิลลิลิตรและในวันที่ 6-27 มีการปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจากตารางที่ 3 แสดงแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p < 0.05$ ) โดยที่อัตราส่วน 1:4 ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงที่สุด รองลงมาเป็นอัตราส่วน 1:3, 1:2 และ 1:1 เท่ากับ 442.63,

352.75, 320.5 และ 217.88 มิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงว่าอัตราส่วนสารอินทรีย์ที่เพิ่มมีผลต่อปริมาณ การเกิดแก๊สชีวภาพ จากรายงานของเพ็ญแข (2544) ได้กล่าวถึงวงจรการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบกะว่า ในช่วงแรก จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตช้าเพราะอยู่ในช่วง Lag Phase เป็นช่วงการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะ แวดล้อมใหม่ เมื่อระยะเวลาผ่านไปการเจริญ เติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในระยะ Exponential หรือ Log Phase เป็นช่วงที่มีสมดุลของการเจริญ เซลล์มีการแบ่งตัวเพิ่มประชากรเป็นสองเท่า ทำให้ ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมในช่วงนี้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่ง สอดคล้องกับการพิจารณาองค์ประกอบของแก๊ส ชีวภาพที่ได้ในช่วงสุดท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพ ทำการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) และ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ด้วยเครื่องแก๊ส โครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC) พบว่า ที่อัตราส่วน 1:4 ให้ปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุด รองลงมาเป็นที่อัตราส่วน 1:3 ส่วน 1:2 และ 1:1 ให้ปริมาณแก๊สมีเทนไม่แตกต่างกัน เท่ากับร้อยละ 46.10 39.03 32.10 และ 32.11 ตามลำดับ ปริมาณ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในอัตราส่วน 1:4 รองลงมาเป็น 1:3 1:2 และ 1:1 เท่ากับร้อยละ 23.09 21.55 19.28 และ 16.10 ตามลำดับ ซึ่งมี รายงานวิจัยของนฤมล (2548) กล่าวไว้ว่าปริมาณ แก๊สมีเทนที่ได้เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนสารอินทรีย์ ที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนที่มีสารอินทรีย์น้อยจุลินทรีย์ จะย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้สร้างเซลล์ใหม่และ

เปลี่ยนไปเป็นแก๊สมีเทนได้น้อย และจากรายงาน วิจัยของวนิดา (2543) ได้กล่าวถึงปริมาณแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าทางทฤษฎี คือ ควร มีปริมาณแก๊สมีเทน ประมาณร้อยละ 50-70 แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 30-40 ส่วนที่ เหลือเป็นแก๊สอื่น ๆ จากการทดลองทั้ง 4 อัตราส่วน พบว่ามีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎี ทั้งนี้อัตราส่วน 1:4 มีปริมาณแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง กว่าที่อัตราส่วนอื่น ๆ ถึงแม้จะไม่เป็นไปตามทฤษฎี แต่ก็ใกล้เคียงทฤษฎีมากกว่าที่อัตราส่วนอื่น ๆ บ่ง บอกว่า อัตราส่วน 1:4 มีประสิทธิภาพในการผลิต แก๊สมีเทนมากที่สุด อาจเนื่องจากเป็นช่วงสุดท้าย ของการทดลองระบบเริ่มมีประสิทธิผลลดลง มีปริมาณแก๊สลดลง



รูปที่ 4 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมของขุยมะพร้าวที่ ปรับสภาพร่วมกับมูลวัว ในอัตราส่วนที่ แตกต่างกันอย่างต่างกัน



**ตารางที่ 3** ปริมาณแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ของการผลิตแก๊สชีวภาพจากขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่ต่างกันที่ต่างกัน

อัตราส่วน	ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสม (มล.)	ร้อยละโดยปริมาตร		
		$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	อื่น ๆ
1:1	217.88 <sup>b</sup>	32.11	16.10	51.79
1:2	320.50 <sup>ab</sup>	32.10	19.28	48.62
1:3	352.75 <sup>ab</sup>	39.03	21.55	39.42
1:4	442.63 <sup>a</sup>	46.10	23.09	30.81

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีตัวอักษรร่วมแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของ C:N Ratio ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพของขุยมะพร้าวต่อมูลวัว ในอัตราส่วนที่ต่างกัน คือ 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 พบว่า มีค่า C:N Ratio เท่ากับ 58.59:1, 32.24:1, 29.40:1 และ 23.23:1 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:4 ดีที่สุดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yen and Brune (2007) ได้กล่าวว่าค่า C:N Ratio ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 20-30 ถ้าค่าสูงมากแบคทีเรียในกลุ่มเมทาโนเจนส์ (Methanogenic Bacteria) จะใช้ไนโตรเจนเพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็วส่งผลทำให้การผลิตแก๊สต่ำ แต่ในทางกลับกันถ้า C:N Ratio ต่ำมาก ๆ ทำให้ไนโตรเจนมีมากไปและจะไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4$ ) แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าพีเอชสูงกว่า 8.5 ก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเมทาโนเจนส์

**ตารางที่ 4** อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ของขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่ต่างกันที่ต่างกัน

อัตราส่วน	C:N Ratio
1:1	58.59:1
1:2	32.24:1
1:3	29.40:1
1:4	23.23:1

### 3.5 ผลการศึกษาค่า TS VS SS COD pH และอุณหภูมิของการผลิตแก๊สชีวภาพจากขุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพร่วมกับมูลวัว

จากตารางที่ 5 พบว่า แต่ละอัตราส่วนมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ต่างกัน โดยปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยได้ (VS) และ

ของแข็งแขวนลอย (SS) และซีโอดี (COD) ใน วันแรกของระบบจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตรา ส่วนที่เพิ่มขึ้นโดยอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการ บำบัด TS สูงสุด คือ 1:4 เท่ากับร้อยละ 30.78

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบกะซึ่งจะมีการเติม วัสดุหมักเพียงครั้งเดียว ดังนั้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณสารอินทรีย์จะลดลงเพราะว่าจุลินทรีย์ ย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง (นฤมล, 2548)

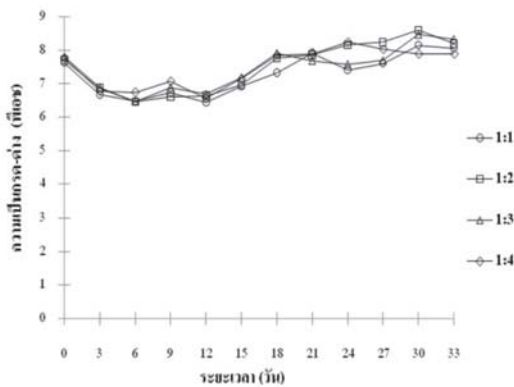
**ตารางที่ 5** ปริมาณอินทรีย์วัตถุในวันแรกและวันสุดท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพจากขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพ ร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่ต่างกันที่ต่างกัน เป็นเวลา 30 วัน

อัตราส่วน	พารามิเตอร์	เริ่มต้น	สุดท้าย	% Remove
1:1	TS (มก./ล.)	79,560±1,136	56,998±1,134	28.36
	VS (มก./ล.)	69,536±1259	50,225±1,499	27.77
	SS (มก./ล.)	214,675±26,125	26,125±2,379	87.83
	COD (มก./ล.)	49,215±1,291	17,360±224	64.73
1:2	TS (มก./ล.)	106,753±2,424	90,078±4,414	15.62
	VS (มก./ล.)	80,783±2,127	75,751±2,482	6.23
	SS (มก./ล.)	236,025±5,893	86,550±4,639	63.33
	COD (มก./ล.)	59,240±2,419	35,174±2,007	40.62
1:3	TS (มก./ล.)	143,584±2,202	114,601±1,610	20.19
	VS (มก./ล.)	82,306±943	53,626±1,428	34.85
	SS (มก./ล.)	279,775±4,260	96,325±2,693	65.57
	COD (มก./ล.)	67,764±1,113	40,744±624	39.87
1:4	TS (มก./ล.)	189,735±1,094	131,446±3,221	30.78
	VS (มก./ล.)	93,886±2,358	30,494±1,649	67.52
	SS (มก./ล.)	253,759±2,007	126,800±4,926	50.03
	COD (มก./ล.)	122,278±1,335	71,417±485	41.59

ประสิทธิภาพในการบำบัด VS สูงสุด คือ ร้อยละ 1:4 เท่ากับ 67.52 ในวันแรกของการผลิต แก๊สชีวภาพปริมาณ SS ที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าเท่ากับ 214,675, 236,025, 279,775 และ 253,759 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ในวันสุดท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า ปริมาณ SS ลดลงจากวันแรก ที่อัตราส่วน 1:1,

1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าเท่ากับ 26,125, 86,550, 96,325 และ 126,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS สูงสุด คือ 1:1 เท่ากับร้อยละ 87.83 สำหรับปริมาณ COD ในวันแรกของการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า ปริมาณ COD ที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่า เท่ากับ 49,215, 59,240, 67,764 และ 122,278

มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในวันสุดท้ายของการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า ปริมาณ COD ลดลงจากวันแรก ที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 มีค่าเท่ากับ 17,360, 35,174, 40,744 และ 71,417 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD คือ 1:1 เท่ากับร้อยละ 64.73 ตามลำดับ

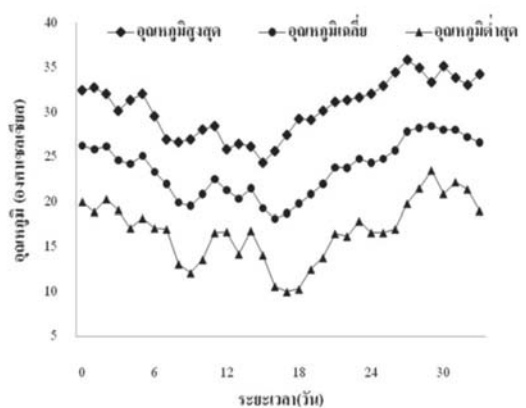


รูปที่ 5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในแต่ละวันของการผลิตแก๊สชีวภาพจากขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

สำหรับค่าพีเอชของแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงใน (รูปที่ 5) โดยในวันแรกของการผลิตแก๊สชีวภาพมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.63-7.81 วันที่ 0-6 ของการหมักค่าพีเอชลดลง และในวันที่ 12 เป็นต้นไป ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงแรกมีการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างกรดทำให้ค่าพีเอชลดลง และเมื่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนสามารถนำกรดที่สร้างได้ไปใช้ผลิตแก๊สมีเทนทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการผลิตแก๊สชีวภาพจากตะกอนดิแคนเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบของนฤมล (2556) คือ พีเอชช่วงเริ่มต้นของแต่ละสภาวะอยู่ในช่วง 7.6-7.67 และค่าพีเอชในถังหมักเกี่ยวข้องโดยตรงกับระยะเวลา

ในการหมัก ถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.5 หรือสูงกว่า 7.6 ประสิทธิภาพของระบบจะเริ่มลดลง เพราะที่สภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Mc Carty, 1964) จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมาก ถ้าต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพควรมีการควบคุมพีเอชให้เหมาะสม เพราะพีเอชเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญในการควบคุมระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (Poh and Chong, 2010)

อุณหภูมิตลอดระยะเวลาการผลิตแก๊สชีวภาพ (รูปที่ 6) พบว่า ช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ คือ วันที่ 8-9 มีอุณหภูมಿಯอยู่ในช่วง 19.55-19.90 องศาเซลเซียส และวันที่ 15-18 มีอุณหภูมಿಯอยู่ในช่วง 18.15-19.8 องศาเซลเซียส ซึ่งจากรายงานของกิตติกานท์ (2554) กล่าวว่าพวกจุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจนส์จะไม่ทนอุณหภูมิต่ำมากหรือสูงมาก ถ้าอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสแบคทีเรียเมทาโนเจนส์จะไม่ทำงาน การทำงานของระบบนี้จะอยู่ในช่วง Mesophilic (อุณหภูมิประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละวันของการผลิตแก๊สชีวภาพจากขุยมะพร้าวที่ปรับสภาพร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

#### 4. สรุป

จากการศึกษาการปรับสภาพขุยมะพร้าว โดยวิธีการเคมีร่วมทางกายภาพ พบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำให้มีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เพิ่มขึ้นมากกว่า การปรับสภาพวิธีอื่น ๆ และปริมาณลิกนินลดลง นอกจากนี้ ผลการศึกษาเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตแก๊สชีวภาพของแต่ละอัตราส่วน พบว่า อัตราส่วนของปริมาณแก๊สมีเทน ( $CH_4$ ) ต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ที่ 1:4 ให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมสูงสุดเท่ากับ 442.63 มิลลิลิตร ปริมาณแก๊สมีเทนเท่ากับร้อยละ 46.10 และ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 23.01 จึงกล่าวได้ว่าขุยมะพร้าวมีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุหมักร่วมกับมูลวัวในการผลิตแก๊สชีวภาพได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ส่งเสริมการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี (ศสวท.) และหน่วยวิจัยจุลินทรีย์เพื่อการเกษตร คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

#### 6. เอกสารอ้างอิง

กิตติกันท์ สุขวานิชย์. 2554. การเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังระหว่างกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดและด่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฐิติมา คาไชยใหญ่, สมบูรณ์ อนันตลาโภชัย และศุภรินทร์ ไชยกกลางเมือง. 2554. การปรับสภาพต้นข้าวโพดด้วยไอน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางเพื่อผลิตเอทานอล. รายงานการประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ทัศนีย์ อัดตนันท์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช ปฐพีวิทยา. คณะเกษตร กำแพงแสน กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวรรตน์ จินดารัตน์. 2553. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสสผักตบชวาโดยหม้อหนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มปท.

นฤมล ศรีวิทูตร. 2548. การผลิตฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากขานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุดูดซับน้ำมันปนเปื้อนในทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล เชากระโทก. 2556. การผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนดีแคเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พงษ์ศักดิ์ โพธิ์ศรีทอง. 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคและเปลือกกล้วยปัดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

- เพ็ญแข วันไชยธนวงศ์. 2544. **เทคโนโลยีชีวภาพ**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันลิน ตันทุลเวศม์ และ มันรัชช์ ตันทุลเวศม์. 2551. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วนิดา จุลเมตต์. 2543. **การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบ่อไบโอแก๊ซโดยสารสกัดจากต้นยัคคา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชพล พะวงค์รัตน์. 2554. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล. **Veridian E - Journal SU**. 4 (1): 891-901.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2552**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมจินตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรม และอนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล. 2554. การผลิตแก๊ซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรอลดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล. **วิศวกรรมสาร มข**. 38(2) (เมษายน-มิถุนายน): 101-110.
- สมฤดี ฤทธิยากุลม. 2551. **ศักยภาพการผลิตแก๊ซชีวภาพและผลพลอยได้จากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Abubakar, B.S.U.I. and N. Ismail. 2012. Anaerobic digestion of cow dung for biogas production. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences** 7, 2: 169-172.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists (1980). **Official methods of analysis**. 13<sup>th</sup> edn. AOAC, Washington, DC.
- Hu Q.H., X. F. Li, L. He, G.C. Du and C. Jian. 2008. Enhancement of methane fermentation in the presence of Ni<sup>2+</sup> chelators. **Biochem Eng J**. 38: 98-104.
- Mc Carty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamental part I, II, III and IV. Process Design. **Journal public work** 95(9): 107-115.
- Pilanee, V., Waraporn, A., Wuttinunt, K., and Sarima, S. 2011. The potential of coconut husk utilization for bioethanol production. **Kasetsart J**. 45: 159-164.
- Poh, P.E. and M.F. Chong. 2010. Biomethanation of Palm Oil Mill Effluent (POME) with a thermophilic mixed culture cultivated using POME as a substrate. **Chemical Engineering Journal** 164: 146-154.
- Walkley, A. and I.A. Black, 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci**. 37: 29-38.
- Yen, H.W. and D.E. Brune. 2007. Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane. **Bioresource Technology** 98(8): 130-134.