

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศของสารอินทรีย์ประเภท เศษอาหารเข้มข้นในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

พัชรี อินธนู* และ จิตติยา แทนคำ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

รับบทความ 23 มกราคม 2017; ตอปรับบทความ 13 มีนาคม 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่าน และไม่ผ่านการบด ด้วยเชื้อจุลินทรีย์ผสมในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ภายใต้อุณหภูมิมีโซฟิลิก (37 องศาเซลเซียส) โดยไม่มีการควบคุมความเป็นกรดต่าง (pH) และมีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของเศษอาหารเข้มข้นที่ 6.20 และ 7.00 จากการศึกษาพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ผสมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 2,100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดอย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าการย่อยเศษอาหารเข้มข้นที่ไม่ผ่านการบด เนื่องจากเมื่อทำการบดเศษอาหารจะทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น 1.37 เท่า และสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ คือ สภาวะที่มีความเป็นกรดต่างที่ 7.00 ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปของประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ (% COD removal) ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 18.81 และสอดคล้องกับอัตราการเกิดแก๊สมีเทนที่สูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 19.10

คำสำคัญ : แก๊สชีวภาพ; เชื้อจุลินทรีย์ผสม; กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ; เชื้อจุลินทรีย์ชนิดผลิตมีเทน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9555 2731, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: tle_turn@hotmail.com

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Anaerobic Digestion of Concentrated Food Waste in Biogas Production System

Patcharee Intanoo* and Jittiya Tankam

Faculty of Science, Maejo University
63 Nonghan, Sansai, Chiang Mai, 50290

Received 23 January 2017; accepted 13 March 2017

Abstract

The purposes of this research were to investigate anaerobic digestion of concentrated food waste in biogas production system at mesophilic temperature (37 °C). The effect of grinding and pH controlled at 6.20 and 7.00 on methane production were also studied. It was found that the ability of mix bacteria, which had initial concentration of 2,100 mg/l, for digesting concentrated food waste with grinding was higher than that without grinding because of the increase in surface area (about 1.37 time). In this system, the optimum condition for bacteria growth was found at pH 7.00. Under optimal condition, the digestion efficiency in term of chemical oxygen demand (COD) removal was 18.81% higher corresponding to an increase in methane production rate (19.10%) than other conditions.

Keywords : Biogas; Mixed Culture; Anaerobic Digestion; Methanogens

* Corresponding Author. Tel.: +668 9555 2731, E-mail Address: tle_turn@hotmail.co

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ ซึ่งพลังงานที่ใช้ทั่วไปเป็นพลังงานที่มาจากฟอสซิล เรียกว่า พลังงานฟอสซิล พลังงานฟอสซิลเป็นพลังงานที่เกิดจากการทับถมของสิ่งมีชีวิตภายใต้พื้นผิวโลกและใช้เวลาหลายร้อยปีเพื่อเปลี่ยนสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไปและไม่สามารถหาสิ่งอื่นมาทดแทนได้ มากไปกว่านั้นเมื่อเชื้อเพลิงฟอสซิลถูกเผาไหม้เพื่อการใช้งานมักเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น [1] ดังนั้นในหลายประเทศจึงเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานสะอาดที่มาจากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวล ซึ่งเป็นพลังงานที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อย อย่างไรก็ตามพลังงานทดแทนที่มาจากแสงอาทิตย์และลมเป็นพลังงานทดแทนที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ จึงทำให้พลังงานชีวภาพเป็นพลังงานที่นักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจ เนื่องจากในกระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ มาผ่านกระบวนการหมักโดยมีเชื้อจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิปกติ โดยระหว่างกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์นั้นจุลินทรีย์จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของแก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ เรียกว่า แก๊สชีวภาพ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต่อไป [2]

กระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยกระบวนการหมักแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักต่อเนื่องกัน คือ กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นการย่อยสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยสลายโปรตีนเป็นกรดอะมิโน จาก

นั้นโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในกระบวนการอะซิโดเจเนซิส และกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการอะซิโต เจเนซิส จนกระทั่งในขั้นตอนสุดท้ายกรดอะซิติกถูกหมักจนกลายเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการเมทาโนเจเนซิส [3]

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดด้วยเชื้อจุลินทรีย์ผสมในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ภายใต้อุณหภูมิมีโซฟิลิก (37 องศาเซลเซียส) ที่ไม่มีการควบคุมความเป็นกรดต่าง (pH) และมีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของเศษอาหารเข้มข้นที่ 6.20 และ 7.00

2. วิธีการศึกษา

2.1 เทคนิคการวิเคราะห์และทดสอบ

องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นในระบบมีการวิเคราะห์สองจุดคือ ก่อนและหลังที่แก๊สผ่านสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟี (GC, Auto System GC, Perkin-Elmer) ที่มีเครื่องตรวจวัดชนิด (Thermal Conductivity, TCD) สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแสดงในงานวิจัยก่อนหน้า [4] นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดอินทรีย์ทั้งหมดด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงแสดงในงานวิจัยก่อนหน้า [5] ขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวของเศษอาหารก่อนและ หลังหมักวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mastersizer 3000 การวิเคราะห์ค่าซีไอดีจะใช้วิธีโดเดคิเมต ส่วนปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสวิเคราะห์ด้วย Diazotization Cadmium Reduction และ Acid Persulfate Digestion ตามลำดับ [6] อีกทั้งยังมีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณไขมัน

และปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในระบบหมัก (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid, MLVSS) ด้วยวิธีมาตรฐาน [6]

2.2 การเตรียมตะกอนหัวเชื้อ

ตะกอนหัวเชื้อที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังของบริษัท อุบลไบโอเอทานอล จำกัด จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย นำตะกอนหัวเชื้อมากรองเพื่อกำจัดเศษหินและทรายออก จากนั้นนำตะกอนหัวเชื้อที่ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ตะกอนหัวเชื้อที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีความเข้มข้น 2,100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของตะกอนหัวเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย

คุณลักษณะ	ค่า
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS) (mg/L)	54,000
ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total Volatile Solid, TVS) (mg/L)	48,000
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, N) (mg/L)	745.55

2.3 การเตรียมเศษอาหารเข้มข้น

เศษอาหารเข้มข้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากร้านสดพิบูล ออาคารจุฬารณณ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ประเทศไทย ทำการตรวจ

วัดขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวเริ่มต้น เมื่อนำมาลดขนาดด้วยเครื่องปั่นที่ 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ทำการตรวจวัดขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิว เศษอาหารเข้มข้นถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสก่อนนำไปใช้งานทุกครั้ง จากนั้นนำเศษอาหารเข้มข้นไปตรวจคุณลักษณะเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 2

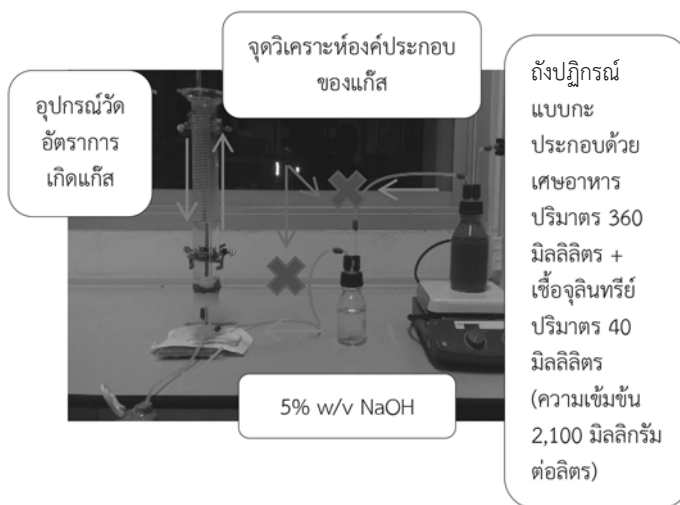
จากคุณลักษณะเบื้องต้นของเศษอาหารเข้มข้นพบว่าเศษอาหารเข้มข้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอัตราส่วนระหว่าง COD:N:P มากกว่าทฤษฎี (อัตราส่วนระหว่าง COD:N:P ทางทฤษฎีสำหรับกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีค่าเท่ากับ 100:1.0:0.2 [4] แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารเข้มข้นที่ใช้นี้มีสารอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ [7]

2.4 การติดตั้งระบบหมักแบบกะ

ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจะใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) ซึ่งประกอบด้วยขวดแก้วขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีการกวนด้วยแม่เหล็ก (250 รอบต่อนาที) เพื่อให้ระบบอยู่ในรูปสารแขวนลอยภายในถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประเภทเศษอาหารเข้มข้น 360 มิลลิลิตร และเชื้อจุลินทรีย์ผสม (ที่มีความเข้มข้น 2,100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีท่อเชื่อมต่อกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 %w/v ก่อนที่จะทำการวัดอัตราการเกิดแก๊สด้วยหลักการแทนที่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการปั่น 900 รอบต่อนาที กับเศษอาหารที่ไม่ผ่านการปั่น

ลักษณะ	ค่า (บดที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที)	ค่า (ไม่ผ่านการบด)
Chemical Oxygen Demand (COD) (mg/l)	186,000	228,560
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen, N) (mg/l)	3,300	3,560
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorous, P) (mg/l)	2,500	2,680
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) (mg/l)	218,000	218,000
ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (Volatile Solid, VS) (mg/l)	212,000	212,000
ปริมาณไขมันทั้งหมด (%)	3.78	3.89
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	3.86	4.02
ขนาดอนุภาค (mm)	0.119	0.229
พื้นที่ผิว (m ² /kg)	236.05	172.3
COD:N:P	100:1.77:1.34	100:1.55:1.17



รูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบของกระบวนการหมักเศษอาหารเข้มข้น

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

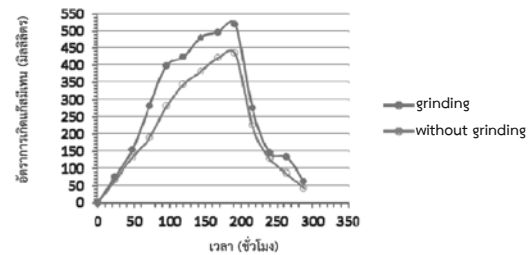
3.1 ผลของขนาดอนุภาคต่อประสิทธิภาพ

การย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นภายใต้สภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิมีโซฟิลิกของกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่าความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดสูงกว่าเศษอาหารเข้มข้นที่ไม่ผ่านการบดส่งผลทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (%COD Removal) ของเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดมากกว่าเศษอาหารเข้มข้นที่ไม่ผ่านการบดคิดเป็นร้อยละ 18.81 การบดเศษอาหารเป็นการลดขนาดอนุภาคให้เล็กลง (1.15 เท่า) และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเศษอาหารกับเชื้อจุลินทรีย์ (พื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นประมาณ 1.37 เท่า) จึงทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปใกล้เศษอาหารได้ง่ายและสามารถย่อยสลายได้ดีขึ้น [8] การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มากขึ้นส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์สูงขึ้นด้วย (ความเข้มข้นเชื้อจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้น 1.03 เท่า) เนื่องจากมีการใช้สารอาหารหลักคือไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเศษอาหารเข้มข้นในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 3) มากไปกว่านั้นยังพบว่าองค์ประกอบของไขมันที่มีอยู่ในเศษอาหารเข้มข้นนี้สามารถย่อยสลายแบบไร้อากาศ ณ อุณหภูมิมีโซฟิลิก ได้ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 53.72

การเปรียบเทียบอัตราการเกิดแก๊สจากการหมักเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านและไม่ผ่านการบดภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างที่ 7.00 พบว่าการหมักเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดมีอัตราการเกิดแก๊สมีเทนสูงกว่าเศษอาหารเข้มข้นไม่ผ่านการบดและมีค่าสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 180 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 20.45 สำหรับเวลาที่มากกว่า 180 ชั่วโมง อัตราการเกิดแก๊สมีเทนจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงรูปที่ 2 ทั้งนี้อัตราการเกิดแก๊สมีเทนที่มีลดลงอย่างรวดเร็วนี้ เนื่องจากมาจาก

ขนาดอนุภาคที่เล็กเกินไปของเศษอาหารเข้มข้นทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ จนกระทั่งเกิดการคืนทรีย์สะสมในระบบ ซึ่งจะกล่าวในตอนต่อไป



รูปที่ 2 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนจากเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านและไม่ผ่านการบดภายใต้สภาวะความเป็นกรดต่างที่ 7.00

3.2 ผลของค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้น

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นในระบบที่ผ่านการบดสูงกว่าเศษอาหารเข้มข้นในระบบที่ไม่ผ่านการบด จึงมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบด โดยแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบที่ไม่ควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง ระบบควบคุมค่าความเป็นกรดต่างที่ 6.20 และระบบควบคุมค่าความเป็นกรดต่างที่ 7.00 จะเห็นได้ว่าระบบที่ไม่มีการควบคุมค่า pH หมายถึง ระบบจะมีค่า pH ประมาณ 4.00 ซึ่งเป็นสภาวะที่อัตราการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นเป็นไปอย่างช้าๆ ในขณะที่ประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นของระบบที่ค่า pH เท่ากับ 7.00 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.55 การควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของระบบหมักจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์โดยตรง คือ เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้

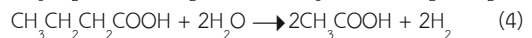
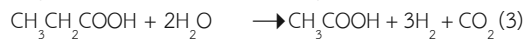
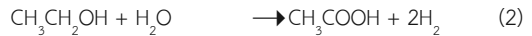
อัตราการเกิดแก๊สมีเทนเพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 3) สอดคล้องกับ % COD Removal และปริมาณการใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีสภาวะในการดำรงชีวิตแตกต่างกัน คือ ความเป็นกรดต่างประมาณ 7.00 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดผลิตมีเทน ส่วนความเป็นกรดต่างประมาณ 5.00 นั้นเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดผลิตกรด (หรือผลิตไฮโดรเจน) เป็นต้น สำหรับค่า pH ที่ต่ำกว่า 5.00 เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดผลิตมีเทน [9]

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านและไม่ผ่านการบดเมื่อผ่านกระบวนการหมัก

คุณลักษณะ	อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (%)	การใช้ไนโตรเจน (%)	การใช้ฟอสฟอรัส (%)	MLVSS (mg/L)	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (mg/L)
ผ่านการบด (pH=7.00)	48.63	10.02	13.33	54.000	2,788
ผ่านการบด (pH=6.20)	40.40	9.95	12.50	70.000	1,840
ผ่านการบด (ไม่ควบคุม pH)	32.30	11.02	12.00	184,640	1,130

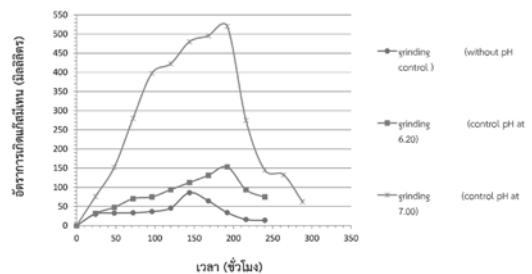
ในระหว่างกระบวนการหมักเศษอาหารที่ผ่านการบดทำให้น้ำขนาดอนุภาคลดลงเป็น 0.089 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดอนุภาคของเศษอาหารเข้มข้นที่ลดลงจาก 0.119 มิลลิเมตร เป็น 0.089 มิลลิเมตร นั้นมักเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสและแอสซิเดชันสูงขึ้นเนื่องจากโอกาสของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษอาหารมีมากขึ้น ส่งผลทำให้อัตราการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นเร็วขึ้นและเกิดกรดอินทรีย์ (VFA) ในปริมาณมากขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุให้อัตราการเกิดแก๊สมีเทน (สมการที่ 1) ต่ำกว่าอัตราการเกิดกรดอะซิติก (สมการที่ 2-4) [7] จึงเป็นสาเหตุทำให้ค่า pH ลดลง (pH < 5.00) และค่า pH ที่ลดลงเกิดจากกรดอินทรีย์ที่ไม่สามารถสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สได้จนกระทั่งถูกสะสมในระบบ และอัตราการผลิตแก๊สต่ำลงตามลำดับ [2] นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลทำให้อัตราการผลิตแก๊สต่ำนั้นคือ แอมโมเนียไอออน (NH₄⁺)

ที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนอีกด้วย [10]



ตารางที่ 4 คุณลักษณะเศษอาหารของระบบที่ผ่านการบดเศษอาหารเข้มข้น

คุณลักษณะ	อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (%)	การใช้ไนโตรเจน (%)	การใช้ฟอสฟอรัส (%)	MLVSS (mg/L)	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (mg/L)
ผ่านการบด	48.63	10.02	13.33	54.000	2,788
ไม่ผ่านการบด	40.93	8.00	10.04	56.000	2,697



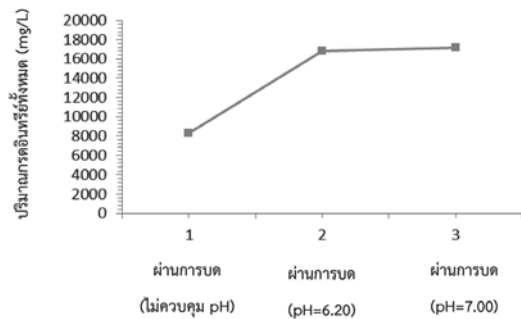
รูปที่ 3 อัตราการเกิดแก๊สมีเทนของเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดในระบบควบคุม pH

3.3 กรดอินทรีย์ทั้งหมด (Volatile Fatty Acid, VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการผลิตเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านและไม่ผ่านการบดแสดงในรูปที่ 4 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH มีเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงที่สุดที่ pH 7.00 จะเห็นว่าระบบที่ไม่ควบคุมความเป็นกรดต่างมีปริมาณกรดอินทรีย์ต่ำกว่าระบบที่ควบคุมความเป็นกรดต่างซึ่งสอดคล้องกับอัตราการผลิตแก๊สมีเทนที่ต่ำลงเนื่องจากปริมาณกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทริกมีปริมาณน้อยจึงทำให้กรดอะซิติกและผลิตภัณฑ์แก๊สลดน้อยลง

(สมการ 1, 3-4) ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (pH < 4.00) จนทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ต่ำลงและไม่สามารถย่อยสลายเศษอาหารได้

การลดลงของประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์นั้น เป็นผลมาจากเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถดึงสารอาหารประเภทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่อยู่ในเศษอาหารเข้มข้นมาใช้ในการเจริญเติบโต ทว่าทางตรงกันข้ามระบบที่มีการควบคุมความเป็นกรดต่างจะผลิตกรดอินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแก๊สมีเทนในปริมาณมาก เช่น กรดไพโรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดแลคติก กรดวาเลอิก และกรดอะซิติก (รูปที่ 5) เมื่อปริมาณของกรดดังกล่าวมีปริมาณมากส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนกรดเหล่านี้เป็นแก๊สมีเทนได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดแลคติก ทั้งนี้แก๊สมีเทนที่ผลิตจากระบบนี้ส่วนใหญ่เกิดมาจากการแตกตัวของกรดอะซิติกเป็นหลัก ดังสมการที่ 1 [11]

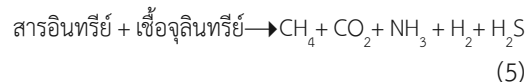


รูปที่ 4 ปริมาณความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ทั้งหมดในแต่ละระบบ

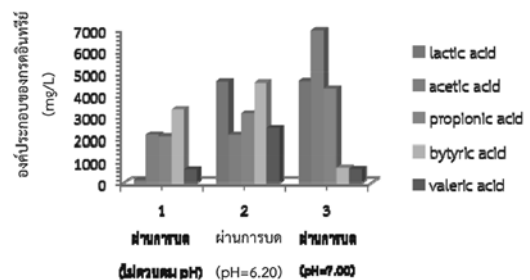
3.4 ลักษณะทางกายภาพของเศษอาหารเข้มข้น

ลักษณะทางกายภาพของเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดก่อนและหลังการหมักแสดงในรูปที่ 6 เศษอาหารเข้มข้นเริ่มต้นมีสีเหลืองอ่อนและเมื่อผสมกับ

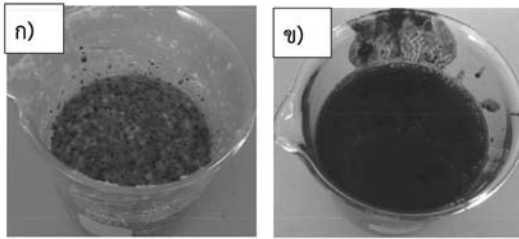
ตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เศษอาหารเข้มข้นเริ่มต้นมีสีเหลืองเข้มขึ้น (รูปที่ 6ก) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายในระบบหมักนอกจากกระบวนการผลิตแก๊สมีเทนแล้วยังเกิดกระบวนการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยดังแสดงในสมการที่ 5 [12] โดยการผลิตแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถสังเกตได้จากสีที่เปลี่ยนไปของเศษอาหารเข้มข้นหลังการหมัก คือ เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีดำ (รูปที่ 6ข) ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของโลหะซัลไฟด์ในระบบ ได้แก่ เหล็กซัลไฟด์ แมงกานีสซัลไฟด์ โมลิบดีนัมซัลไฟด์ สังกะสีซัลไฟด์ โคบอลต์ซัลไฟด์ ซิลิเนียมซัลไฟด์ ทังสเตนซัลไฟด์ และนิกเกิลซัลไฟด์ ดังแสดงในสมการที่ 6 [13] โดยองค์ประกอบของโลหะที่มีอยู่ในเศษอาหารเข้มข้นทำหน้าที่เป็นสารอาหารรองที่เชื้อจุลินทรีย์ต้องการในปริมาณน้อยเพื่อการเจริญเติบโต แต่ขาดไม่ได้



เมื่อ M^{2+} คือ สารอาหารรองประเภทโลหะ



รูปที่ 5 ความเข้มข้นขององค์ประกอบของกรดอินทรีย์ในแต่ละระบบ



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของเศษอาหารเข้มข้น
ที่ผ่านการบด (ก) ก่อนการทดลอง
(ข) หลังการทดลอง

4. สรุป

จากการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านและไม่ผ่านการบดด้วยเชื้อจุลินทรีย์ผสมในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศภายใต้อุณหภูมิมีโซฟิลิก (37 องศาเซลเซียส) ที่ไม่มีการควบคุมความเป็นกรดต่าง (pH) และมีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของเศษอาหารเข้มข้นที่ 6.20 และ 7.00 พบว่าประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดสูงกว่าเศษอาหารที่ไม่ผ่านการบดเป็นผลทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเศษอาหารเข้มข้นที่ผ่านการบดสูงกว่าเศษอาหารเข้มข้นที่ไม่ผ่านการบดคิดเป็นร้อยละ 18.81 และยังส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยมีค่าความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้น 1.03 เท่า สามารถระบุได้ว่าค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นที่ pH 7.00 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทำงานวิจัยตลอดจนให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สารเคมี และอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงวิทยาลัยปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์สาร

ตัวอย่าง ขอขอบคุณทุนนักวิจัยรุ่นใหม่ (มจ. 3-58-01) ในการให้ทุนสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และร้านอาหารครัวพิศกุล มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับเศษอาหารเข้มข้นที่ใช้เป็นสารอินทรีย์และบริษัทอุบลไบโอเอทานอล จำกัด จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย สำหรับตะกอนหัวเชื้อ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] National Science and Technology Development Agency: NSTDA. (2014). Fossil fuel drives living on the earth [online]. Available: <http://nstda.or.th/ruralpublic/100%20articles-stkc/11.pdf>
- [2] Biomass of Asia Handbook. (2014). Chapter 5 Biochemical change of biomass [Online]. Available: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/Part-5_T.pdf
- [3] A. Tasneem, S.M. Tauseef and S.A. Abbasi, "Anaerobic digestion for global warming control and energy generation-an overview," *Renewable and Sustainable Energy*, vol. 16, pp. 3228–3242, 2012.
- [4] I. Patcharee, R. Pramoch, N. Weerachart, T. Bandhit, C. Jittipan and C. Sumaeth, "Hydrogen production from alcohol wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor under thermophilic operation: Nitrogen and phosphorous uptakes and transformation," *International journal of hydrogen energy*, vol. 37, pp. 11104–11112, 2012.
- [5] S. N. Nhatthaphon, C. Sumaeth and I. Patcharee, "Enhancement of hydrogen and methane production from ethanol

- wastewater by microaeration,” in *Proceedings of The 6th Research Symposium on Petrochemical and Materials Technology and The 21st PPC Symposium on Petroleum, Petro chemical, and Polymers*, Bangkok, Thailand, 2015, pp. 168-173.
- [6] I. Patcharee, S. Thitiporn, L. Malinee, G. Erdogan and C. Sumaeth, “Hydrogen production from alcohol wastewater with added fermentation residue by an anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) under thermophilic operation,” *International journal of hydrogen energy*, vol. 39, pp. 9611–9620, 2014.
- [7] M. Chunlan, F. Tongzhong, W. Xiaojiao and R. Guangxin, “Review on research achievements of biogas from an aerobic digestion,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 540–555, 2015.
- [8] I. Kouichi, O. Yu-Ki, N. Norio, N. Chiaki, Y. Shuichi and T. Tatsuki, “Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 64, pp. 601-608, 2010.
- [9] R. Chavalit and M. Panlekha, “Comparative assessment of prototype digester configuration for biogas recovery from anaerobic co-digestion of food waste and rain tree leaf as feedstock,” *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 113, pp. 367–374, 2016.
- [10] Z. Cunsheng, S. Haijia, B. Jan and T. Tianwei, “Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 383–392, 2014.
- [11] Y. Jingqing, L. Dong, S. Yongming, W. Guohui, Y. Zhenhong, Z. Feng and W. Yao, “Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen waste and pig manure,” *Waste Management*, vol. 33, pp. 2653–2658, 2013.
- [12] M. Buranasak, “Biogas energy usage for energy management,” *Technology Promotion Journal*, vol. 36, pp. 060-067, 2008.
- [13] P. Maimansomsuk. (2017). Analysis of sulfide in water [Online]. Available: <http://www2.diw.go.th>