บทความวิจัย

ศักยภาพการผลิตชีวภาพมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดยกระบวนการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศกับกากน้ำตาล

Potential of Biomethane Production from Distillery Wastewater of Community Refined Liquors Plant by Anaerobic Co-digestion Process with Molasses

ทัศนี ศรีมาชัย[1,3] และ เกียรติศักดิ์ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต[2,3*]

Tussanee Srimachai[1,3] and Kiattisak Rattanadilok na Phuket[2,3*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนด้วยกระบวนการหมักร่วมแบบไร้อากาศกับกากน้ำตาลภายใต้อุณภูมิ 35 °C ซึ่งอัตราส่วนของการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า : กากน้ำตาล คือ 99 : 1 98 : 2 97: 3 96 : 4 และ 95 : 5 ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้ผลได้มีเทนและผลิตมีเทนสูงสุด คือ อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 (2.92 g COD) มีค่าเท่ากับ 334 ml CH_4/g COD หรือ 17 m^3 CH_4/m^3 Wastewater ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 55-70 และมีความเข้มข้นมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 62.5 การวิเคราะห์การเสริมกันของการหมักร่วมน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับกากน้ำตาลพบให้ผลได้มีเทนสูงสุดที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 มีผลได้มีเทนเพิ่มขึ้น 69 ml CH_4/g COD ในกระบวนการหมักร่วมสามารถปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำกากส่าให้สูงขึ้นจาก 14.39 เป็น 25.09 ด้วยการหมักร่วมน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 ส่งผลให้ศักยภาพการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การผลิตก๊าซชีวภาพ การย่อยสลายแบบไร้อากาศ น้ำกากส่า กากน้ำตาล

Abstract

The objective of this research was to determine the methane production potential of distillery wastewater (DW) by anaerobic co-digestion with molasses (ML) under mesophilic conditions (35°C), in which

[1]ดร., สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ. เมือง จ. สงขลา 90000

[2]ผศ. ดร., สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ. เมือง จ. สงขลา 90000

[3]ศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดนวัตกรรมชุมชน “ทุ่งใหญ่สารภีโมเดล” มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสตูล อ.ละงู จ.สตูล 90110

[1] Dr., Program in Agricultural Innovation for Sustainability, College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

[2]Assoc. Prof. Dr., Program in Agricultural Innovation for Sustainability, College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

[3]Community Innovation Learning and Transfer Center “Thung Yai Sarapee Model” Songkhla Rajabhat University, Satun campus, La-Ngu, Satun, 91100, Thailand

*Corresponding author Tel: 083-6554305 E-mail address: panpong1@hotmail.com

(Received: July 7, 2023; Revised: August 29, 2023; Accepted: September 5, 2023)

the ratio of DW and ML for the study was 99: 1, 98: 2, 97: 3, 96: 4 and 95: 5. The results showed that the optimal ratio of the anaerobic co-digestion of DW with ML was 99: 1 (2.92 g COD) with methane yield and methane production of 343 ml CH_4/g COD and 17 m^3 CH_4/m^3 wastewater, respectively. The biogas contained the density of methane with the range between 55-70% and the density average was at 62.5%. The synergy of methane potential analysis of co-digestion DW with ML revealed a high methane yield at the ratio of 99: 1 with methane yield increasing of 69 ml CH_4/g COD. Co-digestion with ML (99: 1) increased the ratio of carbon to nitrogen of DW from 14.39 to 25.09 which resulted in the methane production potential being enhanced.

Keywords: Biogas Production, Anaerobic Co-digestion, Distillery Wastewater, Molasses

บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการผลิตสุราชุมชนและเอทิลแอลกอฮอล์ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปี 2559 มีโรงงานผลิตสุรากลั่นชุมชนที่ได้รับใบอนุญาตกว่า 2,600 [1] การผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบทางการเกษตรของประเทศไทย เช่น กากน้ำตาลน้ำอ้อย ข้าวเหนียว น้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโตนด ซึ่งในกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ของโรงงานสุรากลั่นชุมชนจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นเรียกว่า น้ำกากส่า (Spent Wash or Distillery Wastewater) มีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน และมีค่าความสกปรกในรูปซีโอดีสูงถึง 50-104 g/L [2] ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ รวมทั้ง ยีสต์ แอมโมเนียฟอสเฟต และน้ำตาลที่คงเหลืออยู่ ไม่สามารถปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำได้โดยตรง ต้องมีการบำบัดหรือการนำน้ำกากส่าไปใช้ประโยชน์ ถ้าสามารถนำเอาน้ำกากส่าดังกล่าวมาผลิตก๊าซชีวภาพได้จะทำให้โรงงานสุรากลั่นชุมชนสามารถลดค่าใช้จ่ายเรื่องต้นทุนพลังงานได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันโรงงานใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงหลัก [3] ซึ่งการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 60-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 28-38 และก๊าซอื่นๆ ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ได้ใช้ให้ความร้อนในกระบวนการกลั่นเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

โรงงานสุรากลั่นชุมชนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพร่วมกับสามารถบำบัดน้ำเสียไปพร้อมๆ กันจะส่งผลให้โรงงานมีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดได้มากขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการของน้ำกากส่า เช่น มีปริมาณไนโตรเจนสูงและมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ ทำให้น้ำกากส่ามีผลผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียง 8-10 L CH_4/L Wastewater [2] เนื่องจากโปรตีนที่สูงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและส่งผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งมีปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียประเภทอื่นๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพ 10-15 L CH_4/L Wastewater [4] และผลผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานปาล์มน้ำมันสูงถึง 20-25 L CH_4/L Wastewater [5] เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวสามารถสรุปได้จากรายงานของ Wasterholm et al. [6] ดังนี้คืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (< 15) เนื่องจากมีปริมาณของโปรตีนสูงซึ่งมีแนวโน้มจะถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วและเป็นจำนวนมากในสภาวะไร้อากาศ มีปริมาณของซัลเฟตสูง ส่งผลให้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดการผลิตมีเทนลดลงแต่จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน มี Buffer Capacity และปริมาณของ Trace Elements ต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงด้วย ซึ่งความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในระบบหมักเท่ากับ 240 และ 52 mg/L ตามลำดับ [7] ทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การใช้กลยุทธ์การหมักร่วม (Co-digestion Strategies) เนื่องจากข้อดีของหมักร่วมคือ ปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงขึ้น ช่วยเจือจางสารพิษที่มีผลต่อจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนในน้ำทิ้ง ส่งผลให้ได้มีเทน (Methane Yield) สูงขึ้น [8,9] มีงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาการใช้วัสดุหมักมากกว่าหนึ่งชนิดในการ

ผลิตก๊าซชีวภาพ O-Thong et al. [10] กล่าวว่า ตัวย่อยร่วม มีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ตัวย่อยร่วมจะเป็นมูลสัตว์และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งสารอาหารให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเป็นแหล่งช่วยเพิ่มจุลินทรีย์

การใช้วัสดุเศษเหลือที่เป็นแหล่งของสารอินทรีย์เพื่อเป็นตัวย่อยร่วมกับน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และช่วยเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้การหมักแบบใช้ตัวย่อยร่วมมักใช้วัสดุหรือของเสียจากกระบวนการผลิตต่างๆ ที่มีปริมาณสารอินทรีย์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง เช่น กากน้ำตาล การศึกษาการใช้กากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วมกับตะกอนน้ำเสีย พบว่า ในอัตราส่วน 7 : 3 ให้ผลได้มีเทน 270 ml CH_4/g COD ซึ่งความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 74.4 เป็น 82.8 [11]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโดยการหมักร่วมระหว่างกับกากน้ำตาล โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบการทดลอง ซึ่งการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนด้วยระบบแบบกะได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อกากน้ำตาล ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนด้วยระบบแบบกะจะนำไปสู่การศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนแบบต่อเนื่องต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

1. วัสดุ

1.1 ตัวอย่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน (Distillery Wastewater of Community Refined Liquors) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากวิสาหกิจชุมชนปาริฉัตต์สุราทิพย์ ตำบลควนกาหลง อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล ซึ่งให้น้ำตาลโตนดเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง มีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณเดือนละ 30 m^3 กากน้ำตาล (Molasses) ได้จัดซื้อจากร้านสมศรีการเกษตร ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

1.2 กล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมสำหรับการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิ 35°C ซึ่งเป็นตะกอนจุลินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ตำบลห้วยยูง อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ และห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยการจัดการทรัพยากรจุลินทรีย์มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

2. การเตรียมกล้าเชื้อ

นำกล้ากล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมสำหรับการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิ 35°C จากโรงงานปาล์มน้ำมัน มาปรับสภาพด้วยการเติมน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับกล้าเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนต่อกล้าเชื้อเท่ากับ 2 : 8 จากนั้นทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 7-7.5 โดยการเติม $NaHCO_3$ ที่ความเข้มข้น 5 g/L และให้ได้ค่าความเป็นด่าง 5 g/kg $CaCO_3$ กวนผสมให้เข้ากันดี จากนั้นนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยในระหว่างการหมักทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วย Gas Counter และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography [10] เมื่อกล้าเชื้อหยุดผลิตก๊าซชีวภาพและมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ไม่ต่ำกว่า 40 g/L จึงสามารถนำมาใช้ในการทดสอบศักยภาพการผลิตมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนและสารหมักร่วม

3. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล และกล้าเชื้อ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในส่วนของเสียกลีเซอรอลเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างแต่ละชนิด โดยองค์ประกอบทางเคมีที่ทำการศึกษา คือ pH, COD, Volatile Fatty Acid (VFA), Alkalinity, Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP), Total Solid (TS), Protein, Carbohydrate และ Lipids ใช้วิธี Standard Method [12]

4. การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับกากน้ำตาลโดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วมในการผลิตมีเทน

การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับสารหมักร่วมต่อศักยภาพในการผลิตมีเทน ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือขนาด 500 ml ในปริมาตรใช้งาน 200 ml โดยผสมน้ำกากส่ากับสารหมักร่วม ดังนี้ คือ ใช้กากน้ำตาล ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (v/v) ผสมกับน้ำกากส่า โดยให้มีปริมาณของแข็งระเหยได้เริ่มต้นร้อยละ 2 จากนั้นทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นด้วย $NaHCO_3$ ให้อยู่ในช่วง 7-7.5 และเติมกล้าเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 80 (มีความเข้มข้นของ VSS 15 กรัมต่อลิตร) ของปริมาตรทดลอง ที่อัตราส่วนน้ำเสียต่อกล้าเชื้อร้อยละ 20 : 80 ผสมให้เข้ากันดี จากนั้นพ่นด้วยแก๊สไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำให้ภายในขวดน้ำเกลืออยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดขวดน้ำเกลือด้วยจุกยางและฝาอลูมิเนียมด้วย Hand Crimper นำไปบ่มที่สภาวะอุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 45 วัน โดยระหว่างกระบวนการหมักจะทำการตรวจวัดผลผลิตมีเทนโดยการวัดปริมาตรการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่น้ำ [13] และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี [10]

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design) โดยในแต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้วิธี T-Test (Independent Sample T-Test) กำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชั่น 17

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย (Results and Discussion)

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล ของเสียกลีเซอรอล และกล้าเชื้อ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (Distillery Wastewater : DW) กากน้ำตาล (Molasses : ML) และกล้าเชื้อ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล รวมทั้งกล้าเชื้อที่ใช้ในการทดลอง พบว่า น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนมีองค์ประกอบของซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) เท่ากับ 57 ± 0.71 g/L ค่าพีเอชเท่ากับ 3.52 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเท่ากับ 14.39 สอดคล้องกับรายงานของชุติมา ฉันท์พลากร [2] และไพจิตรา กระแจหิน [14] ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่า โดยพบว่าน้ำกากส่ามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 50-150 g/L ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.6-4.5 และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 จะเห็นได้ว่าน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม เมื่อเทียบจากการรายงานของ Álvarez et al. [15] พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 20-30

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล และกล้าเชื้อ

Characteristics	DW	ML	Inoculum
pH	3.52 ± 0.02	4.95 ± 0.01	7.61 ± 0.02
TS (g/l)	44.08 ± 0.60	914.50 ± 2.17	81.26 ± 1.41
VS (g/l)	40.67 ± 0.58	671.97 ± 4.96	48.48 ± 0.00
Ash (g/l)	0.34 ± 0.02	24.25 ± 2.79	3.29 ± 1.56
COD (g/l)	57 ± 0.71	1210 ± 2.83	73 ± 0.14
Alkalinity(mg/l)	6.67 ± 0.02	583.33 ± 0.01	33.33 ± 0.00
VFA (mg/l)	2214.26 ± 0.01	9470.62 ± 0.01	280.39 ± 0.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Characteristics	DW	ML	Inoculum
Carbohydrate (g/l)	28.68 ± 0.33	1355.56 ± 5.23	11.32 ± 1.11
Reducing sugar (g/l)	3.41 ± 0.96	267.92 ± 0.00	9.98 ± 8.56
Lipid (g/l)	11.90 ± 0.97	46.78 ± 2.79	1.33 ± 0.97
Hydrogen (%)	27.71 ± 0.09	5.83 ± 0.02	ND
Oxygen (%)	43.35 ± 0.04	37.55 ± 0.22	ND
Carbon (%)	27.06 ± 0.54	55.15 ± 0.04	ND
Nitrogen (%)	1.88 ± 0.02	1.46 ± 0.03	ND
C/N ratio	14.39 ± 0.03	37.77 ± 0.01	ND

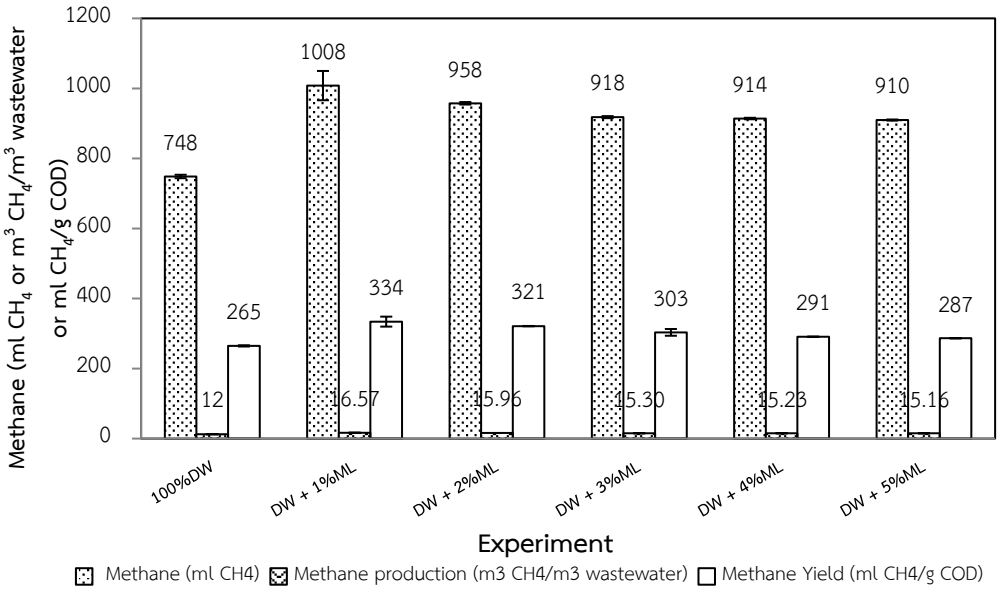
กากน้ำตาลที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมมีองค์ประกอบหลักสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1210 g/l มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 915 g/l และปริมาณของแข็งระเหยได้เท่ากับ 672 g/l ตามลำดับ ซึ่งจากรายงานของ Lee et al. [11] พบว่า กากน้ำตาลมีค่าซีโอดี 1280.40 g/L มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 890.70 g/L และมีปริมาณของแข็งระเหยได้เท่ากับ 860.20 g/L

2. ผลของอัตราส่วนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับกากน้ำตาลในการผลิตมีเทน

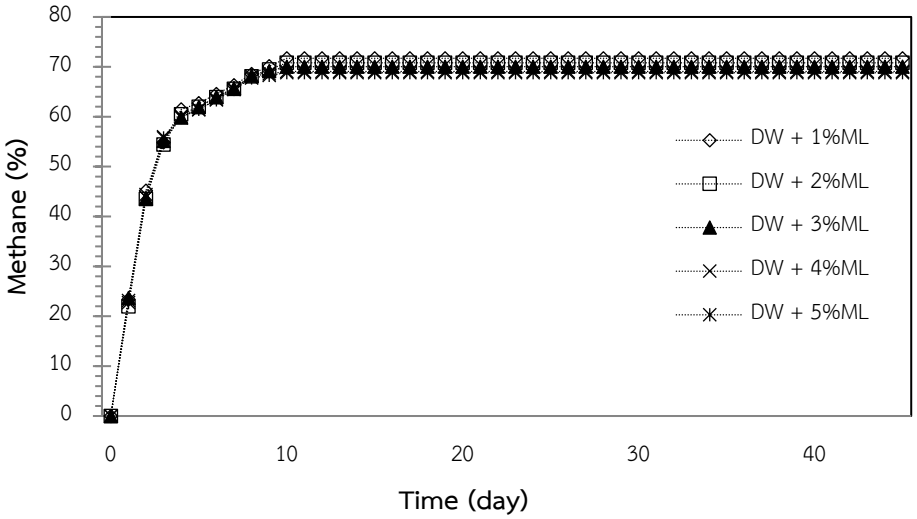
การศึกษาอัตราส่วนในการหมักร่วมแบบไร้อากาศต่อประสิทธิภาพการผลิตมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรา กลั่นชุมชน (DW) กับกากน้ำตาล (ML) ที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 98 : 2 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 ดังตารางที่ 2 โดยให้มีปริมาณของแข็งระเหยได้ไม่เกินร้อยละ 2 ทำการหมักที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 99 : 1 มีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณมีเทนสะสมสูงสุดถึง 1,008 ml CH_4 รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลร้อยละ 98 : 2 มีปริมาณมีเทนสะสมเท่ากับ 958 ml CH_4 และต่ำสุดจะเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลร้อยละ 97 : 3, 96 : 4 และ 95 : 5 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 918 914 และ 910 ml CH_4 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 สอดคล้องกับปริมาณผลได้มีเทน พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 99 : 1 มีปริมาณมีเทนสะสมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 334 ml CH_4/g COD รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลร้อยละ 98 : 2 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 มีปริมาณผลได้มีเทนเท่ากับ 321 303 291 และ 287 ml CH_4/g COD ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทน พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 99 : 1 มีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดถึง 16.38 m^3 CH_4/m^3 Wastewater รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลร้อยละ 98 : 2 มีปริมาณมีเทนสะสมเท่ากับ 15.96 m^3 CH_4/m^3 Wastewater และต่ำสุดจะเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลร้อยละ 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีปริมาณผลผลิตมีเทนเท่ากับ 15.30 15.23 และ 15.16 m^3 CH_4/m^3 Wastewater ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 ในแต่ละชุดการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นของมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

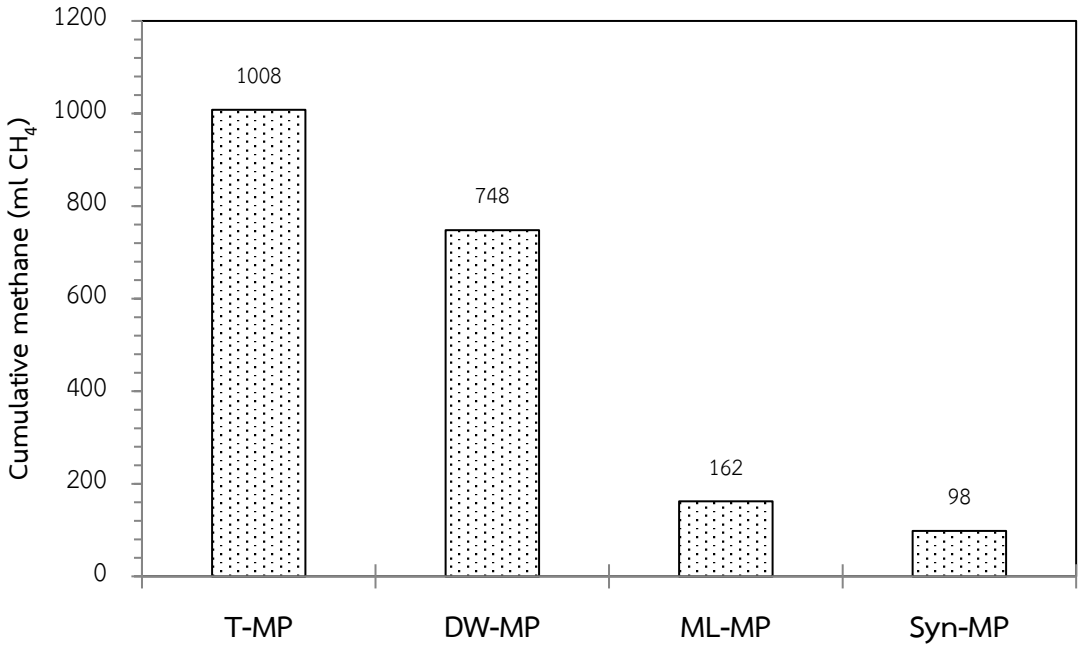
Experiment	pH	Carbon(g/l)	TN(g/l)	C/N
100%DW	7.56 ± 0.09	28.68 ± 0.33	1.88 ± 0.02	25.03 ± 0.03
DW+1%ML	7.64 ± 0.05	20.04 ± 0.21	0.47 ± 0.05	25.10 ± 0.05
DW+2%ML	7.67 ± 0.01	17.70 ± 0.33	0.46 ± 0.03	25.20 ± 0.08
DW+3%ML	7.68 ± 0.08	15.85 ± 0.57	0.45 ± 0.06	25.30 ± 0.02
DW+4%ML	7.79 ± 0.02	14.36 ± 0.02	0.44 ± 0.01	25.40 ± 0.07
DW+5%ML	7.74 ± 0.06	13.12 ± 0.08	0.44 ± 0.02	25.50 ± 0.04



ภาพที่ 1 ผลการผลิตมีเทนจากกระบวนการหมักร่วมของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DW) และกากน้ำตาล (ML) ที่ระยะการหมัก 45 วัน



ภาพที่ 2 ร้อยละความเข้มข้นของมีเทนจากกระบวนการหมักร่วมของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DW) และกากน้ำตาล (ML)



ภาพที่ 3 ปริมาณมีเทนสะสมจากน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน โดยการหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1; T-MP (Total Methane Production), DW-MP (Distillery Wastewater Methane Production), ML-MP (Molasses (1 %) Methane Production, Syn-MP (Synergistic Methane Production)

ตารางที่ 3 สรุป methane yield, biodegradability และ pH ของการหมักร่วมแบบไร้อากาศระหว่าง DW และ ML

Experiments	Initial loading (g COD/L)	CH_4 yield (ml CH_4/g COD)	Biodegradability (%)	pH after digestion	VFA/Alk ratio
100%DW	9.40 ± 0.08	265 ± 0.22	75.43 ± 0.25	7.64 ± 0.01	0.15 ± 0.25
DW+1%ML	9.72 ± 0.11	334 ± 0.05	96.23 ± 0.03	7.67 ± 0.05	0.13 ± 0.09
DW+2%ML	10.01 ± 0.23	323 ± 0.10	92.32 ± 0.14	7.68 ± 0.02	0.15 ± 0.06
DW+3%ML	10.24 ± 0.03	305 ± 0.03	87.12 ± 0.44	7.79 ± 0.15	0.16 ± 0.04
DW+4%ML	10.43 ± 0.25	292 ± 0.07	83.47 ± 0.09	7.74 ± 0.04	0.12 ± 0.11
DW+5%ML	10.58 ± 0.11	287 ± 0.6	81.87 ± 0.05	7.72 ± 0.05	0.26 ± 0.08

จากการศึกษาการเสริมกันของการผลิตมีเทน (Synergistic Methane Production) พบว่า การหมักร่วมน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 มีผลในการเพิ่มศักยภาพการผลิตมีเทนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล โดยที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 สามารถเพิ่มปริมาณมีเทนได้ 98 ml CH_4 ภาพที่ 3 ซึ่งมีปริมาณมีเทนสะสมเท่ากับ 1008 ml CH_4 และผลได้มีเทนเท่ากับ 334 ml CH_4/g COD (ภาพที่ 1) มีการย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 96.23 (ตารางที่ 3) และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมซึ่งมีค่าเท่ากับ 25.10 ดังตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดของร้อยละ 100 ของน้ำกากส่า มีค่าเท่ากับ 265 ml CH_4/g COD การย่อยสลายร้อยละ 75.58 เมื่อเทียบกับการหมักน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มร้อยละ 1 ของกากน้ำตาล เข้าไปผสมกับน้ำกากส่าสามารถเพิ่มการผลิตมีเทนได้

การย่อยสลายแบบไร้อากาศโดยการหมักร่วมวัตถุดิบหลายชนิด สามารถเพื่อผลผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการหมักวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว เช่น การเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ช่วยในการผสมวัตถุดิบกับกลุ่มเชื้อให้เข้า

กัน ทำให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสารตั้งต้นได้สูงขึ้น [10] อีกทั้งจะช่วยปรับปรุงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ในระบบให้มีความสมดุล ทำให้ผลผลิตมีเทน (Methane Yield) สูงขึ้น เนื่องจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของกระบวนเพราะว่าเป็นตัวกำหนดสุขภาพของจุลินทรีย์ภายในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว หากมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ อัตราการเกิดเซลล์จุลินทรีย์จะลดลง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้น้อยลง แต่ถ้าหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนมากเกินความจำเป็น จุลินทรีย์จะย่อยสลายไนโตรเจนส่วนเกินก่อให้เกิดแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของระบบได้ [8,9] จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อทำการหมักร่วมโดยเทียบกับการหมักน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 3

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

กระบวนการหมักร่วมแบบไร้อากาศของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DW) กับกากน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 1 (v/v) หรือ (1%ML) สามารถเพิ่มศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพและปริมาณของการผลิตก๊าซมีเทนได้ของ DW ได้ดีที่สุด โดยมีปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane Production) และผลได้มีเทน (Methane Yield) มีค่าเท่ากับ1,008 ml CH_4 และ 334 ml CH_4/g ซึ่งปริมาณมีเทนสะสมและผลได้มีเทนเพิ่มขึ้น 35% และ 26% เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนเพียงอย่างเดียว (100% DW) ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน โดยใช้กลยุทธ์การหมักร่วมกับกากน้ำตาล ซึ่งกระบวนการหมักร่วมเป็นแบบส่งเสริมกัน (Positive Synergisms) สามารถเพิ่มผลผลิตมีเทนได้เมื่อเทียบกับการหมักน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกากน้ำตาล ซึ่งเป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) สามารถช่วยปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Thai Industrial Standards Institute (TISI) (2016). *List of people who have been certified by community product standards 32/2546 community distilled liquor*. Bangkok, Ministry of Industrial, Retrieved on 5 January 2023, from https://www.tisi.go.th/website/about/tisi_cps

[2] Chanpalakorn, C. (2008). *Effect of cod loading rate on biogas production from distillery slop wastewater by anaerobic baffled reactor*. [Master's thesis, Chulalongkorn University]. Chulalongkorn University Library. http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/16127

[3] National Energy Policy Office (NEPO). (2000). *Study report on biomass power plants of small rural industries*. Black & Wish (Thailand) Co., Ltd. 1-78.

[4] Ma, J., Wambeke, M. V., Carballa, M. & Verstraete, W. (2008). Improvement of the anaerobic digestion of potato processing wastewater in a UASB reactor by co-digestion with glycerol, *Biotechnology Letters*. *30*(5), 861-867. https://doi.org/10.1007/s10529-007-9617-x

[5] Wong, Y. S., Teng, T. T., Ong, S. A., Norhashimah, M., Rafatullah, M. & Leong, J. Y. (2014). Methane gas production from palm oil wastewater-An anaerobic methanogenic degradation process in continuous stirrer suspended closed anaerobic reactor, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. *45*(1), 896-900. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.10.002

[6] Wasterholm, M., Hansson, M., & Schnurer, A. (2012). Improved biogas production from whole stillage by co-digestion with cattle manure. *Bioresource Technology*, *114*, 314-319. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.005

[7] Tang, Y.Q., Fujimura, Y., Shigematsu, T., Morimura, S. & Kida, K. (2007). Anaerobic treatment performance and microbial population of thermophilic upflow anaerobic filter reactor treating awamori distillery wastewater, *Journal of Bioscience and Bioengineering*. *104*(4), 281-287. https://doi.org/10.1263/jbb.104.281

[8] Kangle, K. M., Kore, S. V., Kore, V. S., & Kulkarni, G. S. (2012). Recent trends in anaerobic co-digestion: a review, *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. *2*(4), 210-219.

[9] Koupaie, E. H., Leiva, M. B., Eskicioglu, C., & Dutil, C. (2014). Mesophilic batch anaerobic co-digestion of fruit-juice industrial waste and municipal waste sludge: process and cost-benefit analysis, *Bioresource Technology*. *152*(1), 66-73. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.072

[10] O-Thong, S., Boe, K. & Angelidaki, I. (2012). Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil efficient biogas production, *Applied Energy*. *93*(C), 648-654. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.092

[11] Lee, J. Y., Yun, J., Kim, T. G., Wee, D. & Cho, K. S. (2014). Two-stage biogas production by co-digesting molasses wastewater and sewage sludge, *Bioprocess Biosystems Engineering*, *37*(12), 2401-2413. https://doi.org/10.1007/s00449-014-1217-2

[12] American Public Health Association (APHA). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, In Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. and Clesceri, L. S. (Eds.) (pp. 1-1220). USA: Washington D.C.

[13] Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P. & van Lier, J. B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays, *Water Science & Technology*. *59*(5), 927-934. https://doi.org/10.2166/wst.2009.040

[14] Krajahean, P. (2009). *Utilization of distillery slop for hydrogen production*. [Unpublished master's thesis]. Kasetsart University.

[15] Álvarez, J. A., Otero, L. & Lema, J. M. (2010). A methodology for optimizing feed composition for anaerobic co-digestion of agro - industrial wastes, *Bioresource Technology*. *101*(4), 1153-1158. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.061