

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากเบียร์สด

Feasibility Study of Biogas Production from Brewery Spent Grain

ชัยธร เกิดลำเจียก¹, รัตนชัย ไพรินทร์² และเก๋กัญญา สูดประเสริฐ¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 E-mail: dugfu@hotmail.com

Chaithron kidlomjick¹, Rattanachai Pairintra², Kaokanya Sudaprasert¹

¹Department of Energy Technology, School of Energy Environmental and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

²School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha-Utid Road, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140 Thailand Tel: 0-2470-8000 E-mail: dugfu@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากเบียร์สดเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในโรงงานอุตสาหกรรมเบียร์โดยวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซจากกากเบียร์สดโดยการหมักแบบไร้อากาศในถังหมักขนาด 3 ลิตรในห้องปฏิบัติการเป็นแบบ Batch แบ่งเงื่อนไขของการหมักออกเป็น กากเบียร์สด กากเบียร์สดผสมมูลโค 1:1, 1:2, 1:3 ที่ความเข้มข้นมูลสัตว์ 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรถังหมัก อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 37 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่น้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบปริมาณก๊าซด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ จากการทดลองพบว่า การหมักก๊าซชีวภาพจากกากเบียร์สด ได้ก๊าซมีเทน 48%, 58%, 54%, และ 62% ของปริมาณก๊าซรวมตามลำดับ ในส่วนที่สองทดลองนำกากเบียร์สดผสมมูลโค ทำการหมักแบบไร้อากาศที่ขนาดถัง 30 ลิตร แบบกึ่งต่อเนื่องสัปดาห์ละ 1:3 โดยเติมกากเบียร์สดผสมมูลโค 1 kg/ครั้ง เพื่อนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับตู้อบกากเบียร์สด จากการทดลองพบว่าสามารถนำก๊าซมาใช้งานได้ดี สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 12 ลิตร/วัน ได้มีเทนประมาณ 60% มีเปลวไฟสีฟ้า ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานการจุดติดไฟได้ระยะการเกิดก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่องนาน 51 วัน ค่า pH กากเบียร์ผสมมูลสัตว์ดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.8 โดยกากเบียร์สด 1 ตัน ผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 1950 ลิตร สามารถทดแทนน้ำมันเตาที่เป็นเชื้อเพลิงหลักในโรงงานผลิตเบียร์ 1.07 ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 2.34 kW-hr มีศักยภาพพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานเสริมในโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กากเบียร์สด, ก๊าซมีเทน, การหมักแบบไร้อากาศ, pH

Abstract

The propose of this research is to study the production of biogas from Brewery Spent Grain (BSG) and use it as an

addition fuel in beer industrial factory by analyzing an appropriate condition for biogas production from BSG in a 3-Liter tank batch anaerobic digestion. The conditions for digestion are fresh BSG, BSG mixed with cow dung in the ratio of 1:1, 1:2, 1:3 at 30% by weight per volume of digestion tank. The temperature for lab test is set at 37 C° Gas is stored by replacing water and it is analyzed by Gas Chromatography method. The result shows that the volume of methane in biogas are 48%, 58%, 52%, 54% and 62% respectively. In part two, BSG is with cow dung under anaerobic digestion in a 30 liter tank. This biogas is used as a fuel in BSG drying production. This can be done by mixing BSG with cow dung in the ratio of 1:3 with 12 liter biogas per day, yielding methane 60% by Volume. Methane is reached the ignition standard at 60 %, which can be ignite giving blue flame for 51-day duration. The average pH is 7.8 where 1 ton of BSG produces 1950 liter of biogas, equivalent to 1.07 liter furnace oil or compatible to 2.34 kW-hr electricity. This shows a potential as an addition feed in industrial factory.

Key words: anaerobic digestion, Brewery Spent Grain, methane,

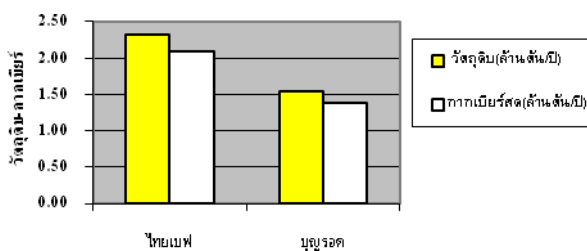
pH

1. บทนำ

ในปัจจุบันการนำระบบก๊าซชีวภาพมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและฟาร์มขนาดใหญ่จนถึงระดับโรงเรียน เพื่อเป็นการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนไปพร้อมๆกัน [1] และกากตะกอนที่ได้จากการหมักสามารถนำไปเป็นปุ๋ยชีวภาพได้อีกด้วยเนื่องจากพืชจะดูดซึมสารอาหารที่ผ่านการย่อยสลายได้ดีกว่า ในการใช้ก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงทำได้หลายรูปแบบทั้งแบบโดยตรง (Direct combustion) เช่นการนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงในการหุงต้ม

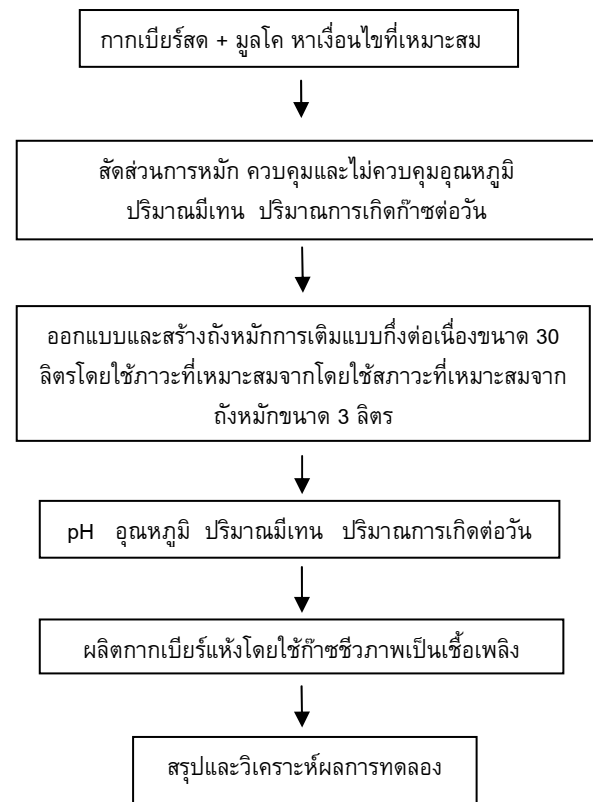
อาหาร ใช้กับตะเกียงในระบบแสงสว่าง เป็นต้น และแบบโดยอ้อม (Indirect combustion) เช่น การนำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเครื่องยนต์ทางทะเล [2] ส่วนกากใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีคุณภาพสามารถนำไปจำหน่ายเป็นการเพิ่มรายได้ช่องทางของผู้ประกอบการ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมากมายจึงมีวัสดุเหลือใช้ทางการผลิตมากมายหนึ่งในอุตสาหกรรมนั้นคือการผลิตเบียร์ มีกากเบียร์สดที่ได้กระบวนการผลิตเบียร์มีปริมาณ 15-25 ตัน/วัน (กากเบียร์สด กก.ละ 2 บาท ปี 2552) [3] มีความชื้น (Mo) เริ่มต้น 67% ทำให้กากเบียร์สดเน่าบูดง่าย จึงควรหาวิธีที่นำกากเบียร์สดไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด กากเบียร์สดส่วนมากถูกนำไปใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์แต่มีข้อจำกัดคือ ในประเภทสัตว์กระเพาะรวม เช่น โคเนื้อ โคนม สามารถใช้กากเบียร์สด เลี้ยงได้ประมาณวันละ 8-10 kg/ตัว และควรให้กินหมดวันต่อวัน เนื่องจากกากเบียร์สดบูดเน่าง่าย ในกรณีใช้กากเบียร์แห้งเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร สัตว์ปีก สามารถใช้ผสมสูตรอาหารได้ไม่ควรเกิน 2-5% ต่ออาหารทั้งหมด [4] เกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการลดต้นทุนโดยการหาวัตถุดิบที่ราคาถูก และสัตว์กินได้มาเป็นอาหารสัตว์ซึ่งกากเบียร์ก็เป็นที่ยอมรับ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ กากเบียร์มีกากใย (fiber) สูง ไม่ควรให้สัตว์กินในปริมาณมาก เพราะกากข้าวโมลท์ จะไปขยายตัวในกระเพาะก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบการย่อย จึงให้ได้ในสัดส่วนที่พอเหมาะหรือนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ และไม่สามารถนำไปเป็นอาหารหลักได้เนื่องจากขาดสารอาหารหลายอย่าง



รูปที่ 1 เปรียบเทียบวัตถุดิบเบียร์และกากเบียร์สดของบริษัทไทยเบฟเวอเรจและบุญรอดเบฟเวอเรจ (2551)

กากเบียร์สดเป็นของเสียที่ได้จากการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมเบียร์ ปริมาณมากซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 มีกลิ่นเหม็น นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ นอกจากผสมในอาหารสัตว์ ถ้าไม่มีการจัดเก็บหรือกำจัดที่ดีจะมีผลทำให้เป็นแหล่งเชื้อโรคและส่งผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย หนึ่งในแนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดกากเบียร์สดคือการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเบียร์ลดต้นทุนในด้านพลังงานและป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่เกิดจากการหมักหมม จึงมีแนวคิดนำของเสียจากกากเบียร์สดมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำกากเบียร์สดไปผสมกับมูลโคเพื่อการศึกษาถึงกลไกและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากระบบการหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศทั้งในแบบเติมครั้งเดียวขนาดถึง 3 ลิตร และการเติมแบบกึ่งต่อเนื่องขนาดถึง 30 ลิตร และนำก๊าซชีวภาพที่ได้มาทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบกากเบียร์สดเพื่อผลิตกากเบียร์แห้งเพื่อทดแทนน้ำมันเตาที่เป็นเชื้อเพลิงหลักในโรงงานอุตสาหกรรมเบียร์

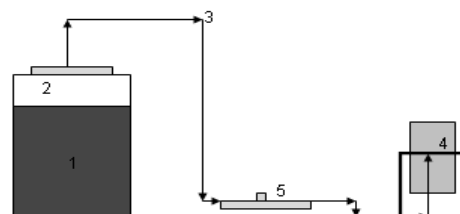


รูปที่ 2 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในรูปที่ 2 เป็นแผนภาพการดำเนินการวิจัย โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกได้ออกแบบและสร้างชุดถังหมักก๊าซชีวภาพจากกากเบียร์เพื่อนำกากเบียร์มาเป็นเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ส่วนที่สองเป็นการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในตู้อบในการอบกากเบียร์สดเพื่อผลิตกากเบียร์แห้ง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.2.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 1 (Lab scale) เป็นการหมักเพื่อทดสอบสภาวะที่เหมาะสมการเกิดก๊าซของมูลสัตว์แสดงไว้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบต่างๆของการหมักก๊าซชีวภาพ

- อัตราส่วนในการหมัก คือ กากเบียร์สด กากเบียร์สดผสมมูลโค 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1
- ถังหมักขนาด 3 ลิตร
- สายยางซิลิโคน
- ขวดพลาสติกทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 310 มิลลิลิตร ใช้เก็บก๊าซชีวภาพ (Biogas) โดยแทนที่น้ำ
- หลอด PVC เก็บตัวอย่างแก๊สใช้ฉีด GC

2.2.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 2 เป็นการหมักเพื่อทดสอบการทำงานของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ขนาดถึง 30 ลิตร แสดงไว้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 30 ลิตร แบบกึ่งต่อเนื่อง

1. พลาสติกขนาด 30 ลิตร แบบกึ่งต่อเนื่อง
2. ถังเก็บก๊าซแบบยกลอย ขนาด 10 ลิตร
3. หลอด PVC เก็บตัวอย่างก๊าซใช้ฉีด GC
4. ตู้ใช้ในการอบกากเบียร์สดขนาด 40 x 35 x 52 ลูกบาศก์ เซนติเมตร

2.2.3 การหมักเพื่อทดสอบการเกิดก๊าซของมูลสัตว์ในห้องปฏิบัติการ (Lab scale) วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) ได้แก่ กากเบียร์สด กากเบียร์สดผสมมูลโค 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1 ในตารางที่ 1 และค่า pH วัตถุประสงค์เริ่มต้นในงานวิจัยในตารางที่ 2 ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ 2 ครั้งต่อวัน เป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการวิเคราะห์หาปริมาณการเกิดก๊าซต่อวัน บันทึกข้อมูลค่า pH 1 ครั้งต่อวัน และวิเคราะห์ค่าปริมาณมีเทน 3 วันต่อครั้ง ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) โดยมีการเปรียบเทียบในส่วนการหมักแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิและแบบควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในระดับที่แบคทีเรียผลิตมีเทนทำงานได้ดีและเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปที่ชาวบ้านจะสามารถหาอุปกรณ์มาทำความร้อนให้กับระบบถังหมักได้

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนการหมักแบบการควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C และแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

วัตถุประสงค์	ควบคุมอุณหภูมิ 37°C และ ไม่ควบคุมอุณหภูมิ
กากเบียร์สด	900 g
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:1	อย่างละ 450 g
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:2	300 : 600 g
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:3	225 : 675 g
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 2:1	600 : 300 g
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 3:1	675 : 225 g

ตารางที่ 2 แสดงค่า pH เริ่มต้นของวัตถุประสงค์ที่เลือกใช้ในงานวิจัย

วัตถุประสงค์	ค่า pH วัตถุประสงค์
กากเบียร์สด	4-5
มูลโค	7.5-8.5

2.2.4 การผลิตก๊าซชีวภาพจากถังหมัก 30 ลิตร นำผลที่ได้จากการทดลองจากแบบเดิมครั้งเดียว (batch) ไปใช้กับ 30 ลิตร แบบเดิมแบบกึ่งต่อเนื่องโดยเลือกใช้สัดส่วนกากเบียร์สดผสมมูลโค 1:3 โดยมีเงื่อนไขการหมักคือ มีเติมกากเบียร์สดผสมมูลโคสัดส่วน 1:3 เดิมครั้งละ 1 kg ระยะเวลาในการเติม 3 วันต่อการเติม 1 ครั้ง ซึ่งสามารถเก็บก๊าซได้ปริมาณมากขึ้นเพื่อนำก๊าซมาใช้ในการอบกากเบียร์สดเพื่อผลิตเป็นแห้ง กากเบียร์ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ 2 ครั้ง/วันเป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการวิเคราะห์หาปริมาณการเกิดก๊าซ/วัน บันทึกข้อมูลค่า pH 1 ครั้ง/วัน และวิเคราะห์ค่าปริมาณมีเทน 3 วัน/ครั้ง ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)

2.2.5 นำก๊าซชีวภาพไปผลิตเป็นกากเบียร์แห้งโดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในตู้อบ นำกากเบียร์มารองน้ำออกแล้วทำการอบกากเบียร์สด 1 kg ให้มีค่าความชื้นให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกากเบียร์แห้งที่ Mc 7%

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของเวลาที่ส่งผลต่อปริมาณมีเทน

นำตัวอย่างก๊าซที่ได้จากหลอด PVC ที่ใช้เก็บก๊าซมาฉีดเข้าเครื่องโครมาโตกราฟี, การวัดค่า pH ใช้เครื่อง pH meter และวัดอุณหภูมิถังหมักใช้แท่ง Thermometer ใช้ Heater ในการหมักแบบควบคุมอุณหภูมิผลการตรวจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณก๊าซมีเทนที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C และแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

วัตถุประสงค์	ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (%)	
	ไม่ควบคุมอุณหภูมิ	ควบคุมอุณหภูมิ 37°C
กากเบียร์สด	N/A	N/A
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:1	58	63
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:2	54	58
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:3	62	67
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 2:1	N/A	N/A
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 3:1	N/A	N/A

ตารางที่ 4 แสดงระยะเวลาผลิตก๊าซได้ต่อเนื่องที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C และแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

วัตถุประสงค์	ระยะเวลาผลิตก๊าซได้ต่อเนื่อง (วัน)	
	ไม่ควบคุมอุณหภูมิ	ควบคุมอุณหภูมิ 37°C
กากเบียร์สด	N/A	N/A
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:1	23	20
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:2	21	15
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:3	25	21
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 2:1	N/A	N/A
กากเบียร์สดผสมมูลวัว 3:1	N/A	N/A

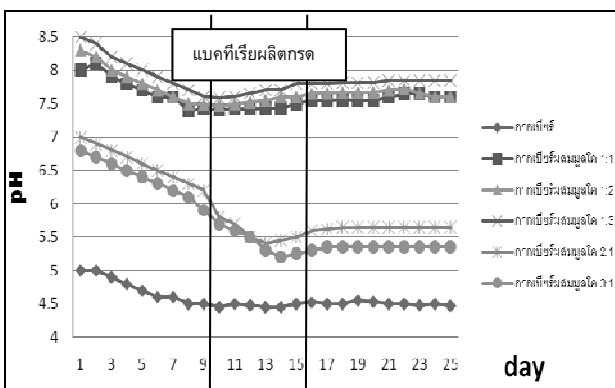
3.2 ผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปริมาณมีเทน

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าในส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิแบบควบคุมอุณหภูมิจะผลิตมีเทนได้มากกว่าเนื่องจากซึ่งสาเหตุเนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง 20-40 องศาเซลเซียส ที่เหมาะสมที่แบคทีเรียผลิตมีเทนได้ดี [5] และเนื่องจากแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ ช่วงเวลากลางคืนนั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำจึงส่งผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาการเกิดมีเทนต่ำลง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยกลางวันอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส กลางคืนอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิจะส่งผลต่อปริมาณมีเทนได้มากกว่าแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ในส่วนขอระยะเวลาการผลิตก๊าซต่อเนื่องจากตารางที่ 4 แบบควบคุมอุณหภูมิ มีระยะเวลาการเกิดก๊าซต่อเนื่องน้อยกว่าแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากการควบคุมช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นการกระตุ้นให้แบคทีเรียผลิตมีเทนทำงานได้ดี มีการย่อยอาหารเร็วกว่าและหมดก่อน แต่แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิแบคทีเรียจะไม่ได้อยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสมตลอดทำให้อาหารจะถูกแบคทีเรียค่อยๆย่อยเป็นสาเหตุให้ระยะเวลาการเกิดก๊าซต่อเนื่องมากกว่าแบบควบคุมอุณหภูมิ

3.3 ผลของค่า pH ที่มีผลต่อปริมาณมีเทน

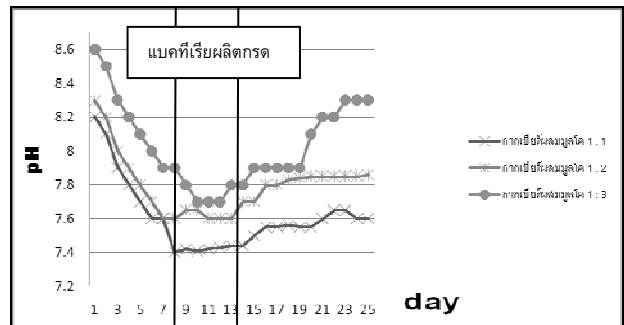
จากการทดลองค่า pH ของกากเปียกที่ให้ปริมาณมีเทนมากและผลิตได้นานที่สุด คือกากเปียกผสมมูลโค 1:3 มีค่า pH เริ่มต้นที่ 8.5 และมีค่า pH ในระบบอยู่ระหว่าง 7.8-8.5 ผลิตก๊าซชีวภาพได้นานสุด 25 วัน ซึ่งสาเหตุเนื่องจากว่า ค่า pH ดังกล่าวจะทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 5 แสดงค่า pH ของกากเปียกผสมมูลโค 1:3 โดยถ้า pH ต่ำกว่า 5 จะมีอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์สามารถทนต่อสภาพเป็นกรดได้ดีได้ถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตรายและเนื่องจากกากเปียกสดมีค่า pH 3-4 เมื่อนำมาหมักในสัดส่วน กากเปียกสดผสมมูลโค 2:1, 3:1 มีค่า pH ต่ำกว่า 5 เป็นกรดเกินกว่าที่แบคทีเรียผลิตมีเทนอยู่ได้จึงทำให้ระบบการหมักล้มเหลวในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 การแก้ไขเบื้องต้นทำการเติมด่าง เช่น โซดาหรือปูนขาวเพื่อปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 7.0-7.2 เพื่อให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนทำงานได้ [6]



รูปที่ 5 แสดงค่า pH ของกากเปียกผสมมูลโคที่อัตราส่วนต่างๆ โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ในทดลองจากรูปที่ 5 พบว่าแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ วันที่ 9-15 สังเกตได้ว่าค่า pH มีค่าต่ำลงเนื่องจากแบคทีเรียผลิตกรด (Acidogenesis) และ (Acetogenesis) เริ่มทำงานทำให้ระบบมีสภาวะที่เป็นกรดในทุกๆ

สัดส่วนการหมัก เมื่อค่า pH สูงขึ้นและคงตัวเนื่องจากการแบคทีเรียผลิตมีเทนทำงาน (Methanogenesis) [7] ในสัดส่วนการหมักที่ กากเปียกสดผสมมูลโค 1:1, 1:2 และ 1:3 เริ่มมีการผลิตก๊าซเกิดขึ้นในระบบ แต่ในสัดส่วนกากเปียกสดผสมมูลโค 2:1, 3:1 มีค่า pH ต่ำกว่า 5 เป็นกรดเกินกว่าที่แบคทีเรียผลิตมีเทนอยู่ได้จึงทำให้ระบบการหมักล้มเหลว ทำให้ไม่เกิดก๊าซ ในการหมักเริ่มต้นควรมีการปรับค่า pH อยู่ในระดับที่สูงตั้งแต่เริ่มต้น [8] เมื่อระบบเข้าสู่กระบวนการผลิตกรดค่า pH จะยังอยู่ในช่วงที่ระบบทำงานได้ดีไม่มีความเสี่ยงที่ระบบจะล้มเหลว ต่างกับเมื่อเริ่มระบบที่มีค่า pH ต่ำทำให้เมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตกรดค่า pH จะลดต่ำลงจนระบบการหมักไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เนื่องจากแบคทีเรียผลิตมีเทนไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะกรด



รูปที่ 6 แสดงค่า pH ของกากเปียกผสมมูลโคที่อัตราส่วนต่างๆ โดยควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยไว้ที่ 37 °C

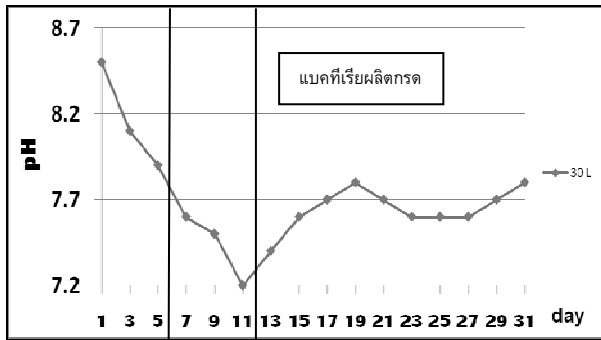
ในการทดลองจากรูปที่ 6 แสดงผลค่า pH มีการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยไว้ที่ 37 °C แบคทีเรียผลิตกรด (Acidogenesis) และ (Acetogenesis) ทำงานทำให้ระบบมีสภาวะที่เป็นกรดในทุกๆสัดส่วนการหมักวันที่ 7-13 เมื่อแบคทีเรียผลิตมีเทนทำงาน (Methanogenesis) ค่า pH ในระบบเริ่มสูงและคงตัว มีค่าเฉลี่ยของ pH 7.5-8.5 ของสัดส่วนกากเปียกสดผสมมูลโค 1:3 สามารถใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพแบบต่อเนื่องได้เนื่องจากค่า pH อยู่ในช่วงสร้างแบคทีเรียมีเทนได้ คือค่า pH ไม่ต่ำกว่า 6.0 ถ้าต่ำกว่าระบบการหมักก๊าซชีวภาพจะล้มเหลวไม่เกิดก๊าซชีวภาพได้

การเปรียบเทียบระบบการหมักแบบควบคุมอุณหภูมิกับแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า การหมักแบบควบคุมอุณหภูมิให้ปริมาณมีเทนที่มากกว่าแต่จะให้ระยะเวลาในการเกิดก๊าซน้อยกว่าแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้าน การใช้พลังงานเพิ่มในระบบควบคุมอุณหภูมิและค่ารักษาดูแลระบบและพิจารณาปริมาณมีเทนต่อระยะเวลาการเกิดก๊าซซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิจึงมีความเหมาะสมมากกว่าถ้าไม่คิดในเรื่องปริมาณมีเทน แต่ถ้าระบบที่นำก๊าซไปใช้งานต้องการปริมาณมีเทนที่มากหรือมีพลังงานที่เหลือใช้ควรพิจารณาเลือกระบบแบบควบคุมอุณหภูมิ

3.4 การผลิตก๊าซชีวภาพจากถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง 30 ลิตร

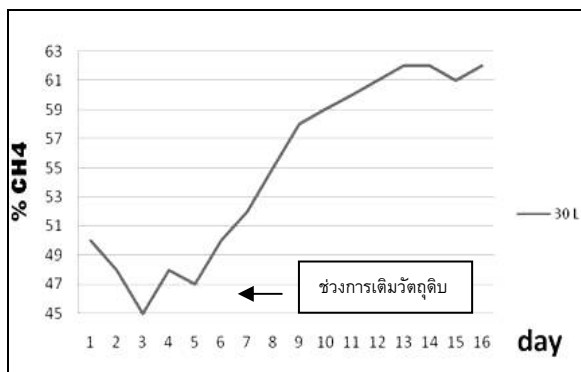
ในการทดลองเบื้องต้นในถังหมัก 3 ลิตร มาขยายขนาดถึงถังหมัก 30 ลิตร ที่อัตราส่วนกากเปียกผสมมูลโค 1:3 แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ เปลี่ยนการเติมเป็นแบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อให้เติมอาหารในระบบได้

3.4.1 การทดลองถังหมัก 30 ลิตร เติมสารอาหารแบบกึ่งต่อเนื่อง



รูปที่ 7 แสดงค่า pH ของถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง 30 ลิตร

จากรูปที่ 7 ค่า pH ของการหมักเบื้องต้น ในช่วงวันที่ 1-10 เป็นช่วงแบคทีเรียผลิตกรด (Acidogenesis) และแบคทีเรีย (Acetogenesis) เริ่มมีการทำงานของระบบการหมักถึง 30 ลิตร ค่า pH เริ่มต้นมีค่ามากเนื่องจากมีส่วนผสมของมูลโคมากขึ้นเพื่อทำการปรับค่า pH เพื่อลดความเสี่ยงให้ระบบล้มเหลวแบคทีเรียผลิตมีเทนทำงาน (Methanogenesis) ช่วงวันที่ 10-31 ในถังหมัก 30 ลิตร มีค่า pH ที่น้อยกว่าถังหมักแบบ 3 ลิตรเนื่องจากระบบแบบกึ่งต่อเนื่องมีการเติมสารอาหารเข้าสู่ระบบทำให้มีสถานะความเป็นกรดมีผลทำให้ค่า pH ต่ำกว่าถังหมัก 3 ลิตร ส่งผลถึงแบคทีเรียผลิตมีเทนจึงทำให้เมื่อนำก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์ค่าปริมาณมีเทนโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) พบว่า ถังหมัก 3 ลิตร มีปริมาณมีเทน 62% ซึ่งมีปริมาณมีเทนมากกว่าแบบถังหมัก 30 ลิตร โดยวิเคราะห์ค่าปริมาณมีเทนได้ 60%



รูปที่ 8 แสดงค่าปริมาณมีเทนถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง 30 ลิตร

ในการทดลองจากรูปที่ 8 เส้นค่าปริมาณมีเทนมีช่วงลดต่ำลง เพราะมีอากาศเข้าสู่ระบบเนื่องจากการนำก๊าซที่หมักมาใช้ทดสอบจุดติดไฟ และหาเวลาที่ใช้ก๊าซต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแต่ละวัน และเป็นช่วงการเติมอาหาร 2-3 วัน (แบบกึ่งต่อเนื่อง) ทำให้แบคทีเรียผลิตมีเทนลดต่ำลงแล้วจึงเริ่มเพิ่มปริมาณขึ้นได้จากการตรวจวัดจะเกิดการขึ้นลงของเส้นกราฟ การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากเบียร์สดในถังหมักแบบแบบกึ่งต่อเนื่อง 30 ลิตร สัดส่วนการหมักกากเบียร์สดผสมมูลวัว 1:3 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพประมาณ 12 ลิตร/วัน ให้ปริมาณมีเทนประมาณ 62% มีปริมาณมีเทน > 60% ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานการจุดติดไฟได้ มีค่า pH อยู่ในช่วง pH 7.1 - 8.1 ทำให้ระบบมีการผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณมีเทนได้ดี

4. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงาน

โรงงานอุตสาหกรรมเบียร์ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลัก ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนการใช้น้ำมันเตาได้ 0.55 ลิตร [5] ซึ่งนำไปใช้ในการต้มน้ำเบียร์ ระบบพลาสมาเจอร์ไรส์ อบแห้งกากเบียร์สด เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ ในระบบถังหมักขนาด 30 ลิตร ผลิตก๊าซชีวภาพ 12 ลิตร/วัน อุณหภูมิในการอบกากเบียร์สด 60 องศาเซลเซียส สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับตู้อบได้ 12 นาที และมีปริมาณมีเทนประมาณ 60%

เมื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการอบกากเบียร์สดเพื่อผลิตกากเบียร์แห้งที่มีความชื้นประมาณ Mc 67% ให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกากเบียร์แห้ง Mc 7% โดยการทดลอง ใช้ก๊าซชีวภาพประมาณ 360 ลิตร ในการการผลิตกากเบียร์แห้ง 1 kg และยังสามารถกำจัดกากเบียร์สดมีกลิ่นเหม็นและมีปริมาณมากได้อีกทางด้วย

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองหมักก๊าซชีวภาพจากกากเบียร์สดพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จาก กากเบียร์สด กากเบียร์สดผสมมูลโค 1:1, 1:2, 1:3 คือ 48%, 58%, 54%, และ 62% ของปริมาตรก๊าซรวม การนำมูลโคมาผสมทำให้กากเบียร์มีค่า pH เพิ่มขึ้นทำให้แบคทีเรียอยู่ในระบบได้และผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการเกิดก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิควบคุมกับอุณหภูมิแวดล้อม ที่อุณหภูมิควบคุม 37 องศาเซลเซียส จะเกิดได้ดีกว่า โดยได้ปริมาณมีเทน 67% และระยะเวลาเกิดอย่างต่อเนื่องนาน 21 วันและค่า pH ของมูลสัตว์ผสมดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.0 และการผสมกากเบียร์สดกับมูลโคสามารถนำก๊าซมาใช้งานได้เป็นอย่างดี เพราะมีปริมาณ มีเทน > 60%

ขนาดถังหมัก 30 ลิตร การเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง การเติมกากเบียร์สดทำให้ระบบมีสถานะเป็นกรดเนื่องจากแบคทีเรียผลิตกรด (Acidogenesis) และ (Acetogenesis) เริ่มทำงานทำให้ค่า pH อยู่ที่ประมาณ 6.7- 7.2 ส่งผลให้ปริมาณมีเทนต่ำลงอยู่ที่ 60% จึงมีปริมาณมีเทนน้อยกว่าการหมักแบบครั้งเดียวเมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณมีเทนเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ในการนำก๊าซชีวภาพขนาดถังหมัก 30 ลิตร ไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกากเบียร์แห้งสามารถนำไปใช้ได้ดีโดยการอบกากเบียร์สดที่มีความชื้นประมาณ Mc 67% ให้เหลือ Mc 7% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของกากเบียร์แห้งที่จำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ในปัจจุบัน

6 ข้อเสนอแนะ

6.1 การทดลองทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการนำกากเบียร์สดมาผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมหรือไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น แต่ปัญหาที่สำคัญคือ กากเบียร์สดมีแกลบข้าวผสมลเป็นหลักเป็นวัสดุที่ใช้เวลาย่อยสลายนาน มีผลทำให้ระยะเวลาการเกิดก๊าซชีวภาพช้า จำเป็นต้องทำการปั่นกากเบียร์สดก่อนทำการทดลองเพื่อให้ย่อยสลายเร็วขึ้นและทำให้เกิดก๊าซชีวภาพเร็วขึ้นอีกด้วย

6.2 เนื่องจากการใช้ heater เพื่อให้ความร้อนแก่ระบบการหมัก ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า การหาทางเปลี่ยนแหล่งพลังงานความร้อนเป็นอย่างอื่น เช่นความร้อนเหลือทิ้งจากระบบหรือจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น จะสามารถช่วยเพิ่มอุณหภูมิในระบบ

ลงได้ แต่ทั้งนี้ ต้องมีการวิจัยเพื่อศึกษาถึงวิธีการเพิ่มอุณหภูมิในระบบการหมักที่เหมาะสม

6.3 สำหรับการขยายขนาดของก๊าซชีวภาพสำหรับนำไปใช้ในระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถทำได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำมันเตาได้ แต่ต้องมีการคำนวณค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษาระบบ เป็นต้น เข้าไปด้วย เพื่อเป็นการสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง

6.4 ในการอบแห้งกากเบียร์สดควรมีการกรองน้ำในการเบียร์สดออกก่อนเนื่องจากกากเบียร์สดมีน้ำเจือปนอยู่มากจึงจำเป็นต้องกรองน้ำหนึ่งรอบเพื่อประหยัดเวลาและ เชื้อเพลิงในการอบกากเบียร์สด

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องทุนสนับสนุนในงานวิจัย ขอขอบคุณคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี (Lab Lipid) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ และอุปกรณ์ในงานวิจัย และขอขอบพระคุณทุกๆคน ในครอบครัวที่มีกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

8. เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.บุญมา ป้านประดิษฐ์ (2549), "ถังหมักหมักศรราย เพื่อครัวเรือน" คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.
2. Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T. and Oleskowicz -popiel, P.2009, "The Futuer of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization", Biomass and Bio energy, Vol. 99, No., pp. 4086-4095.
3. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนเล่ม 23, 2541, การผลิตเบียร์ [Online], Available: <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK23/chapter10/t23-10-l1.html> [1 เมษายน 2541].
4. วีระวุฒิ ทองบริบูรณ์, 2550, การบำบัดตะกอนจากระบบตะกอนเร่งและตะกอนสเปนท์เกรนของโรงงานผลิตเบียร์โดยถังหมักไร้อากาศและการใช้ตะกอนย่อยเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดิน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 89 หน้า.
5. ชัยณรงค์ ธรรมกุล, 2551, การพัฒนาเครื่องฟักไข่โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 11-14.
6. Yunqin, L., Dehan, W., Shaoquan, W. and Chunmin, W., 2009, "Alkali Pretreatment Enhances Bio Gas Production in the Anaerobic Digestion of Pulp Sludge" Journal of Renewable Energy, Vol. 1, No. 2, pp. 366-373.

7. Nuri, A., Tugba, K. and Aysegul Y., 2008, "Enhancement of Biogas Production from Olive Mill Effluent (OME) by Co-digestion", Biomass and Bioenergy, Vol. 32, No. 2, pp. 1195-1201
8. Neves, L., Ribeiro, R., Oliveira, R. and Alves, M.M., 2005, "Enhancement of Methane Production from Barley Waste", Biomass and Bioenergy, Vol. 30, No. 5, pp. 599-603.