

การผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้าในสนามกอล์ฟเขาชะงอกโดยถังหมักขนาดเล็ก Generating Biogas from Grass Clipping of The Khao Cha-ngok Golf and Country Club Using A Small Biogas Reactor

พันโทหญิง ภัทริยา ตันติกุล

อาจารย์ กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: pathareeya_t@yahoo.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้า และเศษหญ้าร่วมกับมูลวัวโดยถังหมักขนาดเล็ก ศักยภาพของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในการจุดติดไฟ และศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ให้สามารถจุดติดไฟและใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มในระดับครัวเรือนได้ โดยทำการหมักแก๊สชีวภาพจากวัสดุหมักประเภทเดียวคือ มูลวัวอย่างเดียว เศษหญ้าอย่างเดียว และวัสดุหมัก 2 ประเภท คือ เศษหญ้าร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1 : 3 และ 1 : 1 ทำการบันทึกปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากวัสดุหมักแต่ละประเภทและทดสอบการติดไฟของแก๊สชีวภาพจากถังรับแก๊สโดยตรง แก๊สชีวภาพที่จุดไฟไม่ติดหรือการลุกไหม้ไม่ต่อเนื่องสม่ำเสมอจะทำการปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพ โดยการให้แก๊สชีวภาพผ่านสารเคมีแตกต่างกัน 4 วิธี เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คือ วิธีที่ 1 ผ่านโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 100 กรัมที่บรรจุในกระบอกพีวีซี วิธีที่ 2 ผ่านสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 1.5 ลิตรที่บรรจุในขวดแก้ว วิธีที่ 3 ผ่านสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 1.5 ลิตรที่บรรจุในขวดแก้ว และวิธีที่ 4 ผ่านสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 200 ลิตรที่บรรจุในชุดถังรับแก๊ส แล้วทำการทดสอบการติดไฟและการใช้งานกับเตาหุงต้มแบบครัวเรือนของแก๊สชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแต่ละวิธี จากการวิจัยพบว่า การหมักแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้าร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1 : 1 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยสูงสุด 48.63 ลิตร/วัน แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้าไม่นิ่ง การลุกไหม้ไม่ต่อเนื่อง ดับง่าย ไม่มีเขม่าเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพวิธีที่ 1, 2 และ 4 ทำให้คุณภาพแก๊สชีวภาพดีขึ้นจุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้านิ่ง การลุกไหม้ต่อเนื่องสม่ำเสมอ ไม่มีเขม่า และใช้กับเตาหุงต้มได้ดี แต่วิธีที่ 4 สะดวกในการใช้งานมากที่สุด เนื่องจากบรรจุสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์แทนน้ำในชุดถังรับแก๊ส ให้แก๊สชีวภาพจากถังหมักผ่านเข้ามาสัมผัสและเก็บในถังรับแก๊ส โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์และขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น ส่วนแก๊ส

ที่ผลิตได้จากการหมักโดยใช้เศษหญ้าเป็นวัสดุหมักประเภทเดียวจุดไฟไม่ติด และเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพ แก๊สชีวภาพยังคงจุดไฟไม่ติด

คำสำคัญ: แก๊สชีวภาพ, เศษหญ้า, ถังหมักขนาดเล็ก, การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract: This research aims to study the potential of generating biogas from grass clipping and combinations of grass clipping and cattle manure using a small biogas reactor, to study the ignitability of generated biogas and to study methods of generated biogas purification for improving ignitability in order to use generated biogas as fuel in household cooking. The generation materials are divided into one type of material, i.e. cattle manure and grass clipping, and two types of material, i.e. the combinations of grass clipping and cattle manure in ratio 1:3 and 1:1. The volumes of generated biogas were recorded. Testings on ignition characteristics of generated biogas were recorded. Misfired generated biogas were purified by 4 optional chemical methods to remove carbon dioxide. The first chemical methods was to use 100 grams of sodium hydroxide solid in a PVC cylinder. The second chemical methods was to use 1.5 liters of sodium hydroxide solution in a bottle. The third chemical methods was to use 1.5 liters of calcium hydroxide solution in a bottle. The fourth chemical methods was to use 200 liters of calcium hydroxide solution in a gas container set. Then testings on ignition characteristics of purified biogas and the uses of them as fuel in household cooking were recorded. From this research it was found that the combination of grass clipping and cattle manure in ratio 1:1 generated the highest volume of biogas at the average of 48.63 litres per day. Even though biogas was generated but it was not well ignited. The first, the second and the fourth chemical methods made the gas was well ignited and used as fuel in household cooking. However, the fourth chemical method was, the most simple way, to contain calcium hydroxide solution instead of water in the gas container set with no more equipment and step required. It was also found that generated biogas from grass clipping was not ignited, even though it was purified by chemical methods.

Key words: Biogas, Grass Clipping, A Small Biogas Reactor, Carbon Dioxide Removal

1. บทนำ

สนามกอล์ฟเขาชะโงก ศูนย์พัฒนากีฬา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก เป็นสนามกอล์ฟ 18 หลุม บนพื้นที่ 637 ไร่ หญ้าที่ปลูกในสนามจำเป็นต้องมีการตัดแต่งและดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดเศษหญ้าขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งในธรรมชาติเมื่อมีแบคทีเรีย สารอินทรีย์และอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในสภาวะที่ไม่มีอากาศแก๊สชีวภาพมักจะเกิดขึ้น^[1] และถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ผลผลิตแก๊สชีวภาพจากกระบวนการย่อยสลายนี้ประกอบด้วยแก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีแก๊สอื่นๆ เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เช่น แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือแก๊สไข่เน่า และแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น^[1] แก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs) ซึ่งมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ในช่วง 100 ปี เท่ากับ 23 และ 1^[2] ตามลำดับ แต่ในขณะที่เดียวกันแก๊สมีเทนเป็นเชื้อเพลิงที่เมื่อเผาไหม้แล้วให้พลังงานความร้อน การนำเศษหญ้ามาเป็นวัสดุหมักผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง นอกจากเป็นพลังงานทดแทน ยังเป็นการช่วยแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านการจัดการของเสีย และการแพร่กระจายของแก๊สมีเทนสู่สิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

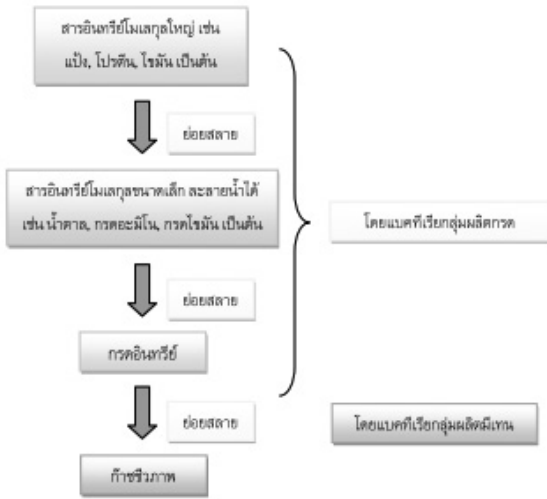
เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้าและเศษหญาร่วมกับมูลวัวโดยถึงหมักขนาดเล็ก เพื่อศึกษาศักยภาพของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในการจุดติดไฟ และเพื่อศึกษา

การปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ให้สามารถจุดติดไฟและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มในระดับครัวเรือนได้

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 กระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ

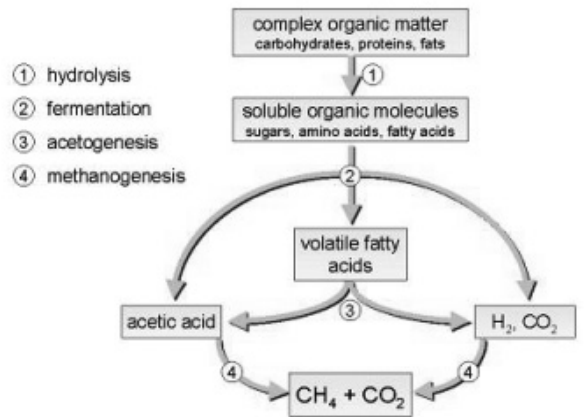
แก๊สชีวภาพ (Biogas)^[1] หมายถึง แก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) (กรด หมายถึง กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA)) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตแก๊สมีเทน (Methanogenic Bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กลง จากนั้นแบคทีเรียกลุ่มผลิตแก๊สมีเทนจะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กเป็นสารอาหารและย่อยสลายให้ผลผลิตหลักเป็นแก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีแก๊สอื่นๆ เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เช่น แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแก๊สแอมโมเนีย เป็นต้น กระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพต้องระวังไม่ให้อากาศเข้าไปสัมผัสกับแบคทีเรียกลุ่มผลิตแก๊สมีเทน เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สมีเทนลดลง แก๊สชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เมื่อมีแบคทีเรีย สารอินทรีย์ และอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ในธรรมชาตินั้นแก๊สชีวภาพมักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการหมัก เช่น ก้นบ่อ ก้นแม่น้ำ ก้นทะเลสาบ หนองน้ำ บึง และนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง เป็นต้น กระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ^[1]

3.2 กลไกการผลิตแก๊สมีเทนโดยแบคทีเรีย

กลไกการผลิตแก๊สมีเทนโดยแบคทีเรียสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน^[3] ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะอาศัยการทำงานของ จุลินทรีย์ต่างชนิดกัน โดยในขั้นแรกแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ (ของเสียต่างๆ) ให้มีขนาดเล็กลงให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน เรียกขั้นตอนนี้ว่า ขั้นไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จากนั้นจุลินทรีย์จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ละลายน้ำจากขั้นตอนแรกให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหย ขั้นตอนนี้เรียกว่า ขั้นการหมัก (Fermentation) หลังจากได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอินทรีย์ระเหยแล้ว แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดจะย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยให้กลายเป็นกรดอะเซติก หรือกรดน้ำส้ม ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกขั้นตอนนี้ว่า ขั้นสร้างกรดอะเซติก (Acetogenesis) ขั้นตอนสุดท้ายแบคทีเรียกลุ่มผลิตแก๊สมีเทน จะย่อยสลายกรดอะเซติกกลายเป็นแก๊สมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกขั้นตอนนี้ว่า ขั้นสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กลไกการเกิดแก๊สมีเทนในภาวะไร้อากาศ^[3]

3.3 องค์ประกอบและการใช้ประโยชน์แก๊สชีวภาพ

โดยทั่วไปแก๊สชีวภาพจะประกอบด้วยแก๊สชนิดต่างๆ^[4] ที่ผสมกันระหว่างแก๊สมีเทนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังตารางที่ 1 แต่ส่วนใหญ่แล้วประกอบด้วยแก๊สมีเทนเป็นหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ จึงใช้เป็นพลังงานให้ความร้อน แสงสว่าง และเดินเครื่องยนต์ได้ ซึ่งแก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ประโยชน์เทียบเท่าทดแทนปริมาณเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ^[4]

ชนิดของแก๊ส	ปริมาณ
มีเทน	50-68%
คาร์บอนไดออกไซด์	25-35%
ไนโตรเจน	2-7%
ไฮโดรเจน	1-5%
คาร์บอนมอนอกไซด์	เล็กน้อย
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เล็กน้อย
แก๊สอื่น ๆ	เล็กน้อย

ตารางที่ 2 ปริมาณเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ เทียบเท่าทดแทนได้^[4]

เชื้อเพลิง	ปริมาณ	หน่วย
แก๊สหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
ไฟฟ้า	1.20	กิโลวัตต์ ชั่วโมง (ยูนิต)

แก๊สชีวภาพไม่สามารถเปลี่ยนสถานะให้เป็นของเหลวได้ภายใต้อุณหภูมิ และสภาพความกดอากาศปกติ^[3] ซึ่งแตกต่างจากแก๊สปิโตรเลียมที่สามารถทำให้กลายเป็นของเหลวสำหรับบรรจุถึงเป็นแก๊สหุงต้มสำหรับใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปได้ภายใต้ความดันและอุณหภูมิปกติ จากการที่แก๊สชีวภาพไม่สามารถทำให้เป็นของเหลวได้และไม่คุ้มค่าที่จะบรรจุถึงไปใช้ ระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจึงเหมาะสมสำหรับการใช้เฉพาะที่ที่ไม่ต้องมีการขนส่งไปในระยะทางที่ไกล เช่นผลิตเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตความร้อนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ หรือใช้เพื่ออบแห้งพืชผลทางการเกษตร รวมถึงใช้เพื่อทดแทนแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่มีความต้องการปริมาณความร้อนไม่มากเกินไป

3.4 การผลิตแก๊สชีวภาพโดยการหมักร่วม

โดยทั่วไปการผลิตแก๊สชีวภาพระดับชุมชนทำได้โดยการหมักด้วยวัตถุดิบเพียงประเภทเดียว เช่น การใช้มูลสัตว์เป็นวัสดุหมัก แต่ปัจจุบันได้มีการหมักร่วมกันระหว่างสองวัตถุดิบหรือมากกว่าที่เรียกว่า “การหมักร่วม”^[5] ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพให้สูงขึ้น โดยจะทำให้ได้แก๊สชีวภาพในปริมาณที่มากขึ้นและได้ผลได้ของแก๊สมีเทนที่สูงขึ้น นอกจากนี้

นั้นยังช่วยกำจัดขยะของเสียจากแหล่งต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด หลักเกณฑ์พื้นฐานสำหรับการเลือกวัตถุดิบในการหมักร่วมเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ คือ วัตถุดิบต้องประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรอง โดยวัตถุดิบหลักส่วนใหญ่เป็นพวกมูลสัตว์หรือกากตะกอน และวัตถุดิบรองเป็นพวกที่มีเส้นใยในปริมาณที่สูง เนื่องจากเส้นใยจะมีสารประกอบพวกเซลลูโลสในปริมาณมากส่งผลให้เกิดแก๊สมีเทนได้เพิ่มขึ้น การหมักร่วมช่วยให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) และช่วยเพิ่มค่า C/N Ratio ให้สูงขึ้นกว่าการหมักด้วยวัตถุดิบเพียงชนิดเดียว โดยค่า C/N Ratio มีส่วนช่วยยับยั้งการเปลี่ยนไนโตรเจนส่วนเกินไปเป็นแอมโมเนียอันเป็นตัวยับยั้งการเกิดแก๊สชีวภาพ ผลพลอยได้ของการผลิตแก๊สชีวภาพคือ กากตะกอนที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับการปลูกพืชแทนการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาสูงได้ กระบวนการหมักร่วมแบบไร้อากาศจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ และการกำจัดของเสีย รวมทั้งได้ปุ๋ยชีวภาพในปริมาณที่มากขึ้นกว่าการหมักโดยใช้วัตถุดิบจากมูลสัตว์เพียงชนิดเดียว จันทิมา ชังสิริพร และคณะ^[5] ได้ทำการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลสุกรและของเสียจากการเกษตร โดยวัตถุดิบร่วมที่เป็นของเสียจากการเกษตร 2 ชนิด คือ ของเสียจากตลาดสดที่เป็นผัก ผลไม้ และใบยางพารา โดยทำการหมักในถังหมักขนาด 200 ลิตร พบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพที่มีความเข้มข้นของแก๊สมีเทนเฉลี่ย 60 – 70 % ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพประมาณ 120 ลิตร/วัน โดยสามารถนำแก๊สชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มได้ตั้งแต่วันที่ 12 ของการหมักเป็นต้น

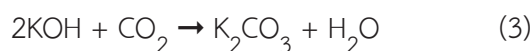
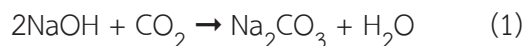
ไป และได้ปุ๋ยชีวภาพปริมาณ 80 ลิตร/เดือน ซึ่งมากกว่าการหมักโดยใช้วัตถุดิบจากมูลสัตว์เพียงชนิดเดียว

3.5 การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพ

องค์ประกอบสำคัญในแก๊สชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงคือ แก๊สมีเทน สำหรับองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในแก๊สชีวภาพ ล้วนเป็นสิ่งเจือปนที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งมีผลเสียต่อการใช้งานทั้งสิ้น[1] เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สเฉื่อยที่ไม่ให้พลังงานความร้อนในการเผาไหม้ เป็นแก๊สที่ทำให้ค่าความร้อนในแก๊สชีวภาพลดลงจนเป็นเชื้อเพลิงด้อยคุณภาพ แก๊สชีวภาพจะติดไฟยากขึ้นและลุกไหม้ช้าลงจนเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมดภายในห้องเผาไหม้ เป็นแก๊สที่รับความร้อนจากการเผาไหม้และพาความร้อนไปทิ้งทางปล่องไอเสีย เมื่อแก๊สนี้รวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับแก๊สชีวภาพ เช่น กัดกร่อนถังเก็บแก๊ส เป็นต้น

การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สมีเทน เพื่อรักษาระดับแก๊สมีเทนให้คงที่ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานแก๊สชีวภาพ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของพาหนะหรือทดแทนแก๊สธรรมชาติ มีผลดีต่อการใช้งาน ลดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือเปลวไฟไม่นิ่ง รวมทั้งลดความเป็นกรด ซึ่งในปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์^[1] ได้แก่ 1) Water Scrubber Technology 2) Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology 3) Chemical Adsorption Technology โดยใช้สารละลายต่าง

เอมีน (Amine) และ 4) Membrane Separation Technology เทคโนโลยีเหล่านี้มีประสิทธิภาพดีแต่อาจไม่คุ้มค่าที่จะลงทุนนำมาใช้กำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพเพื่อการหุงต้มในระดับครัวเรือน มีการใช้สารเคมีในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอากาศ โดยใช้สารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)^[6] ดังสมการที่ 1, 2 และ 3



4. การดำเนินการวิจัย

การผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้าในสนามกอล์ฟเขาชะโรงโดยถังหมักขนาดเล็กเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยดำเนินการวิจัยดังนี้

4.1 ประกอบชุดถังหมักแก๊สชีวภาพจากถังพลาสติกขนาด ความจุ 200 ลิตร ต่อประกอบกับชุดถังรับแก๊สและเตาหุงต้มแบบครัวเรือนดังภาพที่ 3 และเปลี่ยนวาล์วเปิด-ปิดของเตาหุงต้มเป็นวาล์วประตีสันใหม่ ดังภาพที่ 4 เพื่อให้แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้โดยไม่มีการปรับแรงดันสามารถไหลผ่านวาล์วได้ดีขึ้น



ภาพที่ 3 ถังหมักแก๊สชีวภาพขนาดเล็กต่อประกอบกับชุดถังรับแก๊สและเตาหุงต้มแบบครีวเรือน



ภาพที่ 4 เตาหุงต้มที่เปลี่ยนวาล์วเปิด-ปิดเป็นวาล์วประดิษฐ์ใหม่

4.2 เติมวัสดุหมักลงในถังหมักแก๊สชีวภาพ โดยแบ่งออกเป็น วัสดุหมักประเภทเดียวคือเศษหญ้า และวัสดุหมัก 2 ประเภท คือเศษหญ้าร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1 : 3 และ 1 : 1 เศษหญ้าที่ใช้เป็นวัสดุหมักเป็นเศษหญ้าในสนามกอล์ฟเขาชะโงก ใช้เฉพาะเศษหญ้าสดที่ตัดจากหญ้าบนกรีนในสนาม ซึ่งมีขนาดเล็กและสั้นไม่ต้องบดย่อย ดังภาพที่ 5 โดยปริมาณและวันที่เติมวัสดุหมักดังตารางที่ 3



ภาพที่ 5 เศษหญ้าสดที่ตัดจากหญ้าบนกรีนในสนามกอล์ฟเขาชะโงก

ตารางที่ 3 ข้อมูลปริมาณการเติมวัสดุหมักลงในถังหมักขนาดเล็ก

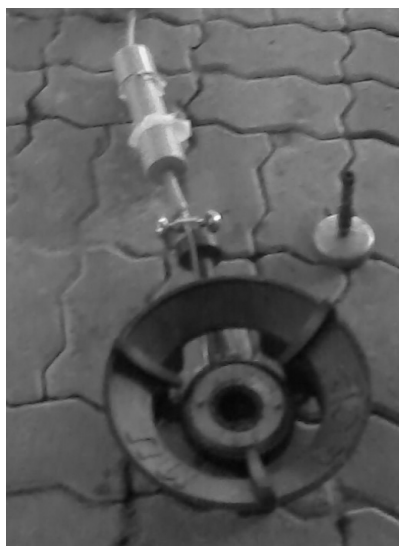
วันที่เติม วัสดุหมัก	ปริมาณวัสดุหมัก (กิโลกรัม)			
	มูลวัว	หญ้า	หญ้า : มูลวัว = 1 : 3	หญ้า : มูลวัว = 1 : 1
1	60	60	15 : 45	30 : 30
12	12	12	3 : 9	6 : 6
16	12	12	3 : 9	6 : 6
20	12	12	3 : 9	6 : 6
24	12	12	3 : 9	6 : 6
28	12	12	3 : 9	6 : 6

4.3 ศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้า และเศษหญ้าร่วมกับมูลวัว โดยการบันทึกปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบการหมักที่บรรจุในชุดถังรับแก๊สในแต่ละวัน

4.4 ศึกษาศักยภาพของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในการจุดติดไฟ โดยการทดสอบการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักและบันทึกลักษณะการจุดติดไฟ เปลวไฟ ความต่อเนื่อง และเขม่า

4.5 ปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ให้สามารถจุดติดไฟอย่างต่อเนื่อง และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มในระดับครัวเรือนได้โดยการให้แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ที่จุดไฟไม่ติด หรือลุกไหม้ไม่ต่อเนื่องหรือไม่สม่ำเสมอผ่านสารเคมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพ แบ่งออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

- 1) วิธีที่ 1 บรรจุเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 100 กรัม ในกระบอกที่ทำขึ้นจากท่อพีวีซี (PVC) มีท่อให้แก๊สชีวภาพผ่านเข้าและออกดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 1

2) วิธีที่ 2 บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 1.5 ลิตร (เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60 กรัม ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 1.5 ลิตร) ในขวดแก้ว มีท่อให้แก๊สชีวภาพผ่านเข้าและออก ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 2

3) วิธีที่ 3 บรรจุสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 1.5 ลิตร (เตรียมจากปูนแดง 100 กรัม ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 1.5 ลิตร) บรรจุในขวดแก้ว มีท่อให้แก๊สชีวภาพผ่านเข้าและออก ดังภาพที่ 8



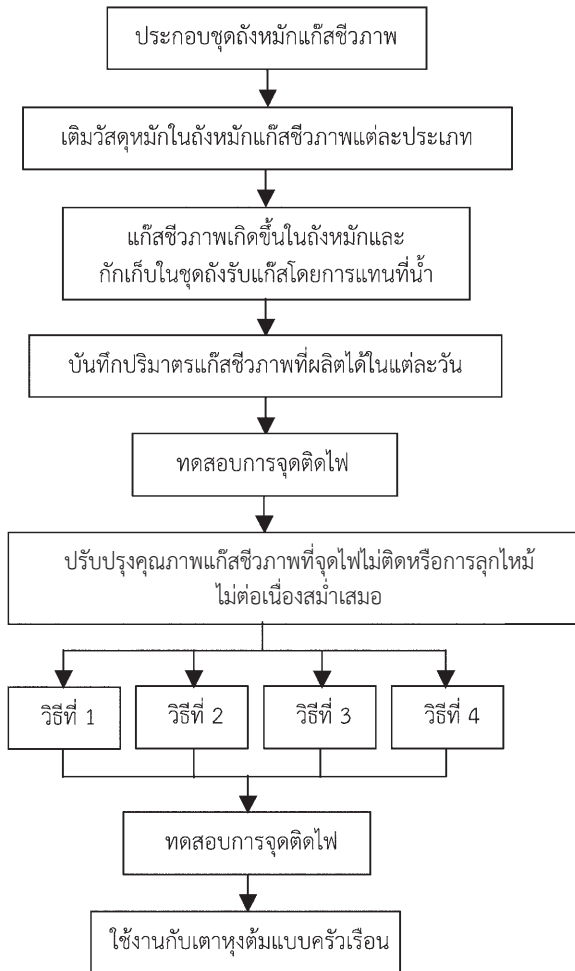
ภาพที่ 8 การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 3

4) วิธีที่ 4 บรรจุสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 200 ลิตร (เตรียมจากปูนแดง 600 กรัม ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 200 ลิตร) แขนงน้ำในชุดถังรับแก๊ส ให้แก๊สชีวภาพจากถังหมักผ่านเข้ามาสัมผัสและเก็บในถังรับแก๊สดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 4

เมื่อแก๊สชีวภาพผ่านสารเคมีแต่ละวิธีแล้ว ทดสอบการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพ บันทึกลักษณะการจุดติดไฟ เปลวไฟความต่อเนื่อง เหม่า และการใช้งานกับเตาหุงต้ม รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังภาพที่ 10



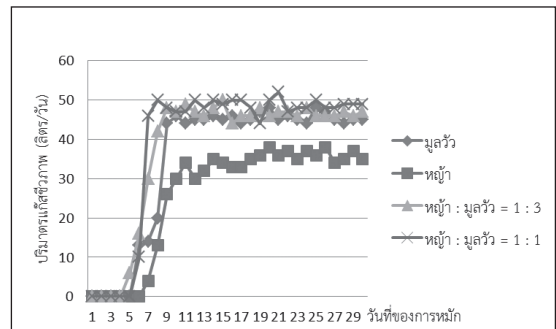
ภาพที่ 10 การดำเนินการวิจัย

5. ผลการวิจัย

5.1 ศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้า และเศษหญ้าร่วมกับมูลวัวโดยถังหมักขนาดเล็ก

การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลวัว เศษหญ้า เศษหญ้าร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1 : 3 และ

เศษหญ้าร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1 : 1 แก๊สเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 6, 7, 5 และ 6 ของการหมักตามลำดับ แก๊สผลิตได้คงที่ตั้งแต่วันที่ 9, 10, 9 และ 7 ของการหมัก ตามลำดับ และปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ย 45.41, 34.76, 46.86 และ 48.63 ลิตร/วัน ตามลำดับ(ข้อมูลตั้งแต่วันที่การผลิตแก๊สชีวภาพได้คงที่) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักที่บรรจุในชุดถังรับแก๊สในแต่ละวัน

5.2 ศึกษาศักยภาพของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในการจุดติดไฟ

การจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักมีลักษณะการจุดติดไฟ เปลวไฟ ความต่อเนื่อง และเขม่าที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักวัสดุหมัก

วัสดุหมัก	ลักษณะการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพ
มูลวัว	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้านึ่ง การลุกไหม้ต่อเนื่องสม่ำเสมอ ไม่มีเขม่าจุดไฟไม่ติด
หญ้า	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้าไม่นึ่ง การลุกไหม้ไม่สม่ำเสมอ
หญ้า : มูลวัว = 1 : 3	ดับง่าย ไม่มีเขม่า
หญ้า : มูลวัว = 1 : 1	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้าไม่นึ่ง การลุกไหม้ไม่ต่อเนื่อง ดับง่าย ไม่มีเขม่า

5.3 การปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ ให้สามารถจุดติดไฟและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มในระดับครัวเรือนได้

การให้แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ที่จุดไฟไม่ติดหรือลุกไหม้ไม่ต่อเนื่องหรือไม่สม่ำเสมอผ่านสารเคมี เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพ 4 วิธี การจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพมี

ลักษณะการจุดติดไฟ เปลวไฟ ความต่อเนื่อง เขม่าและการใช้งานกับเตาหุงต้มที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5 และพบว่าเมื่อแก๊สชีวภาพผ่านสารเคมีวิธีที่ 1 เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดการละลายและมีความร้อนสูงเกิดขึ้นในกระบอกที่ทำขึ้นจากท่อพีวีซี

ตารางที่ 5 ลักษณะการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ผ่านสารเคมี เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพ 4 วิธี

วัสดุหมัก	ลักษณะการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพ			
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
มูลวัว	-	-	-	-
หญ้า	จุดไฟไม่ติด	จุดไฟไม่ติด	จุดไฟไม่ติด	จุดไฟไม่ติด
หญ้า : มูลวัว = 1 : 3	จุดติดไฟ	จุดติดไฟ	จุดติดไฟ	จุดติดไฟ
	เปลวไฟสีฟ้านึ่ง	เปลวไฟสีฟ้านึ่ง	เปลวไฟสีฟ้า	เปลวไฟสีฟ้านึ่ง
	การลุกไหม้ต่อเนื่อง	การลุกไหม้ต่อเนื่อง	ไม่นึ่ง	การลุกไหม้ต่อเนื่อง
	สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ	การลุกไหม้ไม่สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ
	ไม่มีเขม่า	ไม่มีเขม่า	ดับง่าย	ไม่มีเขม่า
	ใช้กับเตา	ใช้กับเตา	ไม่มีเขม่า	ใช้กับเตา
	หุงต้มได้ดี	หุงต้มได้ดี	ใช้กับเตา	หุงต้มได้ดี
			หุงต้มได้ไม่ดี	

ตารางที่ 5 ลักษณะการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพที่ผ่านสารเคมี เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพ
4 วิธี (ต่อ)

วัสดุหมัก	ลักษณะการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพ			
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
หญ้า : มูลวัว = 1 : 1	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้า การลุกไหม้ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ ไม่มีเขม่า ใช้กับเตา หุงต้มได้ดี	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้า การลุกไหม้ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ ไม่มีเขม่า ใช้กับเตา หุงต้มได้ดี	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้า ไม่ การลุกไหม้ไม่ต่อเนื่อง ดับง่าย ไม่มีเขม่า ใช้กับเตา หุงต้มได้ไม่ดี	จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้า การลุกไหม้ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ ไม่มีเขม่า ใช้กับเตา หุงต้มได้ดี

6. สรุปผล

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การหมักแก๊สชีวภาพจากเศษหญ้าร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1 : 1 ปริมาตรแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เฉลี่ยสูงสุด 48.63 ลิตร/วัน แก๊สเกิดขึ้นคงที่ตั้งแต่วันที่ 7 ของการหมัก แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้าไม่นิ่ง การลุกไหม้ไม่ต่อเนื่อง ดับง่าย ไม่มีเขม่า เมื่อให้แก๊สชีวภาพผ่านสารเคมี เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 1, 2 และ 4 ทำให้คุณภาพแก๊สดีขึ้นจุดติดไฟ เปลวไฟสีฟ้าไม่นิ่ง การลุกไหม้ต่อเนื่องสม่ำเสมอ ไม่มีเขม่า และใช้กับเตาหุงต้มได้ดี การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 4 มีประสิทธิภาพดีและสะดวกในการใช้งานมากที่สุด การกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพวิธีที่ 1 มีประสิทธิภาพดี แต่มีปัญหาในการใช้งานเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการละลายของเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สชีวภาพ

วิธีที่ 2 มีประสิทธิภาพดีแต่ต้องมีอุปกรณ์และขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น ส่วนแก๊สที่ผลิตได้จากการหมักโดยใช้เศษหญ้าเป็นวัสดุหมักประเภทเดียวจุดไฟไม่ติด และเมื่อให้แก๊สผ่านสารเคมี เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สชีวภาพยังคงจุดไฟไม่ติด

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (กทพ.ร.จปร.) ขอขอบคุณ

พันเอกวิเชียร งามพัตร พันเอกบุญเรือง แพทอง และเจ้าหน้าที่สนามกอล์ฟเขาชะโงก ศูนย์พัฒนากีฬาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก ที่ช่วยประสานงานและอำนวยความสะดวก ขอขอบคุณคณาจารย์และกำลังพลกองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

บรรณานุกรม

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้แก๊สชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [2] นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์, 2552. เคมีบรรยากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] ฤกษ์ฤทธิ เคนหาราช, 2548. การผลิตพลังงานจากชีวมวล: การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ : ส่วนยุทธศาสตร์นโยบายและแผนพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
- [4] บุญมา ป่านประดิษฐ์ และอรอุวฤทธิ์ รื่นเริงใจ, มปป. ถังหมักมีดัดจรรยาเพื่อครัวเรือน. www.eng.kps.ku.ac.th/powercenter/ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] จันทิมา ชั่งสิริพร นายชิตชนก คงแดง นายอนิรุทธิ์ อารมณ์สุขโข และนางสาวกุลภัสสร จันทร์พิทักษ์, 2555. การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากหมักร่วมของมูลสุกรและของเสียจากการเกษตร. Research Utility Magazine : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [6] M.L.Nuckols, A.Purer, G.A.Deason, 1985. Technical manual design guidelines for carbon dioxide scrubbers. Florida : Naval Coastal Systems Center.