Academic Focus
เมษายน 2563

ก๊าซชีวภาพผลผลิตจากมูลสัตว์ สู่พลังงานทดแทน

สารบัญ

บทนำ	1
ปัญหาจากการขับถ่ายและน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์	2
ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊สคืออะไร	3
ความเป็นมาการผลิตแก๊สชีวภาพหรือก๊าซชีวภาพในต่างประเทศ	3
การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย	3
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ	4
ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ	4
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	5
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์	5
ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ	7
นโยบายพลังงานทดแทน	8
งานวิจัยเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ	10
ตัวอย่างการนำไบโอแก๊สหรือก๊าซชีวภาพมาใช้	11
บทสรุปและข้อเสนอแนะจากผู้ศึกษา	13
บรรณานุกรม	15

เอกสารวิชาการอิเล็กทรอนิกส์

สำนักวิชาการ
สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร
http://www.parliament.go.th/library

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เพราะมีสภาพภูมิศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติที่มีความหลากหลายในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ทำให้เป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำการเกษตรและทำปศุสัตว์ควบคู่ไปด้วย โดยเฉพาะการทำปศุสัตว์เกี่ยวกับสุกร โคนมหรือโคเนื้อ และไก่เนื้อ เป็นต้น จึงทำให้ผู้ประกอบการหันมาทำปศุสัตว์มากขึ้นและมีการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีผลผลิตหมุนเวียนและเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นภายในประเทศและส่งออกสินค้าปศุสัตว์ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก ทำให้มีผู้ประกอบการได้พัฒนาการเลี้ยงสัตว์เป็นฟาร์มขนาดใหญ่ในหลายพื้นที่ของประเทศ เพื่อยกระดับให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของจำนวนประชากรโลก และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ แต่พบว่าของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขเร่งด่วน เนื่องจากกลิ่นของมูลสัตว์ น้ำปัสสาวะและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งของเสียเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น เช่น กลิ่นเหม็น เกิดก๊าซพิษที่เกิดจากการหมักของมูลสัตว์ และยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคทำให้เกิดหนอน แมลงวัน และยุง ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในฟาร์มและบริเวณใกล้เคียง รวมถึงทำให้เกิดน้ำเน่าเสียตามคูคลอง หนอง และบึง ส่งผลให้สัตว์น้ำตามธรรมชาติไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ นอกจากนี้ทำให้เกิดโรค เช่น อหิวาตกโรค อาการอาหารเป็นพิษ โรคที่เกิดจากหนอนพยาธิ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล หากยัง

ไม่มีระบบบริหารจัดการของเสียที่ดีและเหมาะสมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน สัตว์เลี้ยงและสิ่งแวดล้อมโดยรวม รวมถึงเป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อนอันเนื่องจากก๊าซมีเทน เป็นต้น

ปัญหาจากการขับถ่ายและน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

1. ปัญหากลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์

สารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่น ได้แก่ สารระเหยอินทรีย์ (Volatile organic compounds : VOC) กรดไขมันสายโซ่สั้นที่ระเหยได้ และสารระเหยที่มีคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบซึ่งเกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ และสามารถกระจายออกทันทีหลังจากมูลถูกขับออกจากตัวสุกร นอกจากนี้ ก๊าซที่เกิดจากมูลสัตว์ยังมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยงโดยตรง เช่น

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้ามีมากกว่า 40,000 ppm (Part Per Million : 1 ใน 1,000,000 หน่วยวัด PPM การวัดค่ามลพิษทางอากาศ) มีผลทำให้สุกรตาลาย วิงเวียน เดินโซเซ หมดสติ

- ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งส่วนมากเกิดจากมูลสด ถ้ามีความเข้มข้น 100-200 ppm ทำให้สุกรมีอาการจามน้ำลายฟูมปาก กินอาหารน้อยลง

- ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์ เกิดจากการหมักมูลภายใต้สภาวะไร้อากาศ หากสุกรได้รับก๊าซชนิดนี้ 20 ppm อยู่ตลอดเวลา จะทำให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบประสาท อาเจียน ท้องร่วง

2. ปัญหาการเกิดโรคจากมูลสัตว์

การหมักหมมของมูลสุกรในฟาร์ม นอกจากจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น ยังส่งผลต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น เป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ที่อาจติดคนหรือสัตว์เลี้ยงอื่น ๆ เช่น โรคระบบทางเดินอาหาร พยาธิบางชนิด และพาหะนำโรคต่าง ๆ ได้แก่ แมลงวัน แมลงหวี่ และยุง เป็นต้น

3. ปัญหาสังคม

การเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรบางแห่งทำให้บริเวณรอบ ๆ บ้าน และใกล้แหล่งชุมชน ส่งกลิ่นเหม็นและมีแมลงวันชุกชุม ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่น่ารังเกียจ ดังนั้น การเลี้ยงสัตว์บางแห่งอาจก่อให้เกิดการต่อต้านจากชุมชน และเกิดการทะเลาะวิวาทกับเพื่อนบ้าน

4. ปัญหาต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ

การเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่มักอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ การปล่อยของเสียที่เกิดจากสัตว์แล้วไหลลงสู่แม่น้ำหรือทำให้น้ำในคูคลองเกิดการเน่าเสีย และหากมีปริมาณมากเกินไปอาจทำความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่รอบ ๆ นอกจากนี้ ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากมูลสัตว์ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตและแพร่กระจายของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้คุณภาพน้ำด้อยลง (สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์และคณะ, 2560, น. 3-4)

ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงมีการศึกษาวิจัยและพัฒนานวัตกรรมหลากหลายรูปแบบ เพื่อลดปริมาณของเสียจากฟาร์มและนำมาใช้ประโยชน์ เช่น การพัฒนานวัตกรรมระบบก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส เพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในฟาร์มและบริเวณโดยรอบ ทั้งนี้ การนำของเสียจากฟาร์มสุกรมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ประชาชนจะได้ประโยชน์จากการผลิตก๊าซเพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับการหุงต้ม ให้แสงสว่าง และเป็นพลังงานฉุดมอเตอร์

หรือกิจกรรมอื่น ๆ ภายในครัวเรือน รวมถึงช่วยลดมลพิษที่จะถูกปล่อยออกสู่ธรรมชาติเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ทุกรัฐบาลให้ความสำคัญกับเรื่องพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก เนื่องจากพลังงานธรรมชาตินับวันจะมีปริมาณลดลง แต่ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่เพิ่มขึ้น

ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส คืออะไร

ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊สเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ทุกชนิด น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ และขยะจากชุมชน หรือร้านค้า ภัตตาคาร ขยะหรือของเหลือใช้ทางการเกษตรมาผ่านกระบวนการหมัก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะได้ไบโอแก๊สหรือก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนได้ ซึ่งปัจจุบันมีการผลิตและใช้ก๊าซดังกล่าวอย่างแพร่หลาย ทั้งในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ รวมถึงชุมชนทั่วไป (กระทรวงพลังงาน, 2556, น. 1)

ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-40 ที่เหลือจะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้ จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพแต่จะเกิดก๊าซมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลาย เช่น พืชสดจะเกิดก๊าซยากกว่ามูลสัตว์ เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายแล้วส่วนหนึ่งจากสัตว์ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น (“ก๊าซชีวภาพ,” ม.ป.ป.)

ความเป็นมาการผลิตแก๊สชีวภาพหรือก๊าซชีวภาพในต่างประเทศ

ในศตวรรษที่ 17 Robert Boyle และ Stephen Hale นักวิทยาศาสตร์ค้นพบแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายผุพังของสารอินทรีย์ครั้งแรก โดยทั้งสองคนได้กล่าวว่า การกวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบทำให้มีแก๊สที่สามารถติดไฟได้ลอยขึ้นมา ต่อมาใน ค.ศ. 1859 Sir Humphrey Davy ได้กล่าวไว้ว่า ในแก๊สที่เกิดจากขี้วัวนั้นมีแก๊สมีเทนอยู่ด้วย และประเทศอินเดียได้มีการสร้างถังหมักแก๊สในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digester) ขึ้นเป็นครั้งแรกในปีเดียวกัน และ ค.ศ. 1985 ประเทศอังกฤษได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ คือ ใช้ถังสิ่งปฏิกูลผลิตแก๊สแล้วนำแก๊สไปจุดไฟส่องสว่างตามถนน (เสกสรร ชะนะ และลัญฉกร นิลทรัตน, 2558, น. 5)

การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพมานานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ในระยะแรกจำกัดอยู่ในระดับครัวเรือนหรือเกษตรกรรายย่อย ต่อมาใน พ.ศ. 2531 คณะทำงานของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยการสนับสนุนจากองค์การ Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีได้จัดตั้ง “โครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน” ขึ้น เพื่อศึกษาปัญหาการใช้ระบบก๊าซชีวภาพในช่วงเวลาที่ผ่านมา พร้อมทั้งปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพให้มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมากขึ้น

พ.ศ. 2534 ได้มีการจัดตั้งหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สังกัดสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อดำเนินการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพต่อเนื่อง จากโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน รวมทั้งเพื่อดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น และในปลาย พ .ศ. 2538 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ (สพช.) (ปัจจุบัน คือ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน) ได้ให้การสนับสนุนแก่หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ และดำเนินงาน “โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ระยะที่ 1” ต่อมา ใน พ.ศ. 2551 หน่วยบริการก๊าซชีวภาพได้รับการจัดตั้งเป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" และใน พ.ศ. 2553 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้ากรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้พระราชทานชื่อหน่วยงานใหม่ เป็น “สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่” ซึ่งได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพต่อเนื่องมาจนปัจจุบัน (“แก๊ซชีวภาพ-คลินิกเทคโนโลยี,” ม.ป.ป., น. 34)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature) การย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอยู่ในสภาพปราศจากออกซิเจน เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 4-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสำคัญต่อการหมักมากช่วง pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 6.6-7.5 ถ้าต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

3. อัลคาลินิตี้ (Alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

4. สารอาหาร (Nutrients) สารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ควรมีอัตราส่วนของ C:N (Carbon : Nitrogen) และ C:P (Carbon : Phosphorus) ที่เหมาะสมเท่ากับ 25:1 และ 20:1 ตามลำดับ

5. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจนหรือแอมโมเนีย สามารถทำให้ขบวนการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้

6. สารอินทรีย์และลักษณะของสารอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่ใช้หมัก ถ้าผ่านการย่อยมาก่อน เช่น มูลสัตว์จะเกิดก๊าซได้ง่ายและมีปริมาณก๊าซมากกว่า (เขษมพงษ์ สงสอน และคณะ, 2559, น. 16)

ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

ขั้นที่ 1 การสลายสารโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis) สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ทำให้แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง

ขั้นที่ 2 การผลิตกรดอินทรีย์ (Acidogenesis) สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile acid) และสารอื่น ๆ โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด (acid former) กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ กรดอะซิติก (Acetic acid) และกรดโพรพิโอนิค (Propionic acid)

ขั้นที่ 3 การผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่และอาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำผสมอยู่ด้วย ซึ่งรวมกัน เรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ”

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

1. ก๊าซมีเทน เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีคุณสมบัติจุดไฟติดได้ดีและมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 50-75
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนประกอบรอง เป็นก๊าซเฉื่อย ไม่ติดไฟ มีประมาณร้อยละ 36-39
3. ก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีประมาณร้อยละ 1-3

ทั้งนี้ ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (ค่าความร้อน 21 เมกะจูล) สามารถเทียบเท่ากับ

- ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม
- น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร
- น้ำมันเตา 0.55 ลิตร
- ไฟฟ้า 1.2 กิโลวัตต์/ชั่วโมง
- ไม้ฟืน 1.5 กิโลกรัม

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์มีหลายระบบ ดังนี้

1. ระบบฝาครอบแช่ในบ่อมูล (Floating drum digester) เป็นรูปแบบที่อยู่ในประเทศอินเดียและประเทศเนปาล แพร่หลายในประเทศไทย เมื่อประมาณ พ.ศ. 2519 เพื่อใช้ในการกำจัดมูลของสัตว์เลี้ยงที่กองอยู่ใต้ถุนบ้าน และแก้ปัญหาด้านสุขอนามัย ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นเพียงผลพลอยได้

2. ระบบฝาครอบแช่ในน้ำ (Separate Floating drum digester) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานปรับปรุงมาจากระบบฝาครอบแช่ในบ่อมูล โดยการทำบ่อกักเก็บมูลด้านบน ส่วนที่เป็นฝาครอบเก็บก๊าซเป็นบ่อ 2 ชั้น เพื่อหล่อน้ำในวงนอกป้องกันก๊าซออกและยังทำให้ฝาครอบเหล็กเก็บก๊าซที่แช่อยู่ในน้ำที่หล่อไม่ให้สัมผัสกับมูลสัตว์โดยตรง และสามารถยืดอายุการใช้งานของฝาครอบได้

3. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโอ่งพร้อมฝาครอบเก็บก๊าซ เป็นรูปแบบที่ออกแบบโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เมื่อประมาณ พ.ศ. 2522 มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการที่จะใช้วัสดุที่มีและใช้งานในท้องถิ่นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งาน และเป็นแบบของประเทศไทยร่วมกับฝาครอบเก็บก๊าซ

4. บ่อหมักแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) ส่วนใหญ่สร้างด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐโบกปูนฝังอยู่ในดิน มีท่อเพื่อเติมมูลสัตว์และท่อให้มูลสัตว์ไหลออก ส่วนสถานที่เก็บก๊าซจะสร้างด้วยคอนกรีตหรือก่ออิฐฉาบปูนติดกับตัวบ่อหมัก ทำให้แรงดันของก๊าซไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาตรของก๊าซภายในบ่อ

5. บ่อ UASB (Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าที่ก้นถังตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถัง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นตะกอนเม็ด ขนาด 2-5 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นแบคทีเรียใยยาวเกาะกันชั้นบนเป็นแบคทีเรียตะกอนเบา ส่วนบนของบ่อหมักจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกก๊าซและป้องกันมิให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำเสีย

6. แบบระบบก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักเร็วน้ำข้น (High suspension solid Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket : H-UASB) เป็นเทคโนโลยีหรือระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ส่งเสริมในโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งพัฒนาจากระบบ UASB เพื่อแก้ปัญหาการอุดตันระบบหัวจ่ายน้ำ เนื่องจากตะกอนของมูลสัตว์มี Buffer tank ทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียและมูลสัตว์ให้มีปริมาณน้อยที่สุด และนำแผ่นพลาสติก PE (Polyethylene : PE) ที่ใช้คลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบรางมาคลุมบนบ่อพักน้ำเสีย (Buffer tank) ซึ่งทำหน้าที่เก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบ UASB

7. บ่อหมักแบบราง (Plug Flow digester) เป็นบ่อซึ่งก่อสร้างด้วยคอนกรีต ตัวบ่อมีรูปร่างยาวคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำซึ่งมีชื่อเรียกว่า Channel digester ส่วนบนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ในดิน มีท่อเติมมูลและท่อนำมูลสัตว์ออกทางหัวและท้ายบ่อ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซ ดังนั้น จึงมีแรงดันก๊าซค่อนข้างต่ำจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มแรงดันเพื่อนำก๊าซไปใช้งาน

8. บ่อหมักแบบบ่อราง Mini CD (Mini Channel Digester) เป็นระบบที่ย่อมาจากระบบขนาดใหญ่และขนาดกลางที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ส่งเสริมและเผยแพร่ โดยมีปริมาตรประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตร เพื่อเสริมระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อราง

9. บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบถุง PVC ได้นำระบบแบบถุงของประเทศไต้หวันมาปรับปรุงให้ใช้วัสดุที่ผลิตในประเทศ และมีราคาถูก รูปร่างมีลักษณะทรงกระบอกวางแนวนอนทำจาก PVC มีปริมาตร ประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร กำลังผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

10. บ่อแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Covered lagoon) รูปแบบของระบบนี้ได้นำรูปแบบถุงยางเก็บก๊าซของบ่อแบบ Plug Flow มาสร้างครอบไปบนบ่อรวบรวมมูลสัตว์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือบ่อดินขุด ในกรณีที่เป็นบ่อดินขุดอาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บนำมาปูทับ เพื่อมิให้เกิดการรั่วซึมของของเสียลงใต้ดิน

11. บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบ พพ. 1 แบบสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป สำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กและขนาดย่อย สามารถรับน้ำเสียได้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

12. บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบ พพ. 2 แบบสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป สำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กและขนาดย่อย สามารถรับน้ำเสียได้ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (“การผลิตก๊าซชีวภาพ จากของเสียฟาร์มปศุสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรม,” ม.ป.ป.)

สำหรับประเทศไทยมีฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ ฟาร์มสุกร โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ฟาร์มขนาดใหญ่หรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ก เทียบเท่ากับจำนวนสุกรขุนมากกว่า 5,000 ตัว หรือมากกว่า 600 หน่วยปศุสัตว์

2. ฟาร์มขนาดกลางหรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ข เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนตั้งแต่ 500-5,000 ตัว หรือ 60-600 หน่วยปศุสัตว์

3. ฟาร์มขนาดเล็กหรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ค เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน 50-500 ตัว หรือ 6-60 หน่วยปศุสัตว์

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มปศุสัตว์ ส่วนใหญ่จะดำเนินการในฟาร์มสุกรทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถรวบรวมมูลลงสู่บ่อบำบัดได้ง่าย ในขณะที่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มโค

ส่วนใหญ่มีศักยภาพสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 822 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี แต่ไม่มีการรวบรวมและการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากการเลี้ยงโคส่วนใหญ่จะปล่อยเลี้ยงในทุ่งหญ้า ทำให้การรวบรวมมูลสัตว์เพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพค่อนข้างลำบาก นอกจากนี้ มูลโคประกอบด้วยหญ้าซึ่งเป็นไฟเบอร์ยังก่อให้เกิดการอุดตันภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อใช้ไประยะหนึ่ง หากจะผลักดันให้มีการใช้และผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มโคคงจะต้องพิจารณาถึงแนวทางในการแก้ปัญหาและอุปสรรคดังกล่าวด้วย (กระทรวงพลังงาน, 2554, น. 7)

ตารางที่ 1 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มปศุสัตว์และสถานภาพการผลิตถึงปัจจุบัน

ลำดับ	ประเภทฟาร์ม	ศักยภาพก๊าซชีวภาพ		สถานภาพ			
				มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ		ยังไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	
		ล้านตัว	(ล้านลบ.ม./ปี)	ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้านลบ.ม./ปี)	ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้านลบ.ม./ปี)
1	ฟาร์มสุกรเล็ก	3	131.69	1.77	77.7	1.23	53.99
2	ฟาร์มสุกรกลางและใหญ่	4.14	181.67	2.19	96.1	1.95	85.57
3	ฟาร์มโค(โคเนื้อและโคนม)	8	822	N/A	N/A	N/A	N/A
4	ฟาร์มสัตว์อื่นๆ(ไก่ เป็ด ช้าง)	N/A	125	N/A	N/A	N/A	N/A
ปริมาณก๊าซชีวภาพ(ล้านลบ.ม./ปี)		รวม	1260.36	รวม	173.80	รวม	139.56

ที่มา: “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพ” โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, ม.ป.ป., *กระทรวงพลังงาน,* น. 7.

ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

1. ประโยชนด้านพลังงาน เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดี และยังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในรูปต่าง ๆ ได้ เช่น

1.1 นำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหุงต้มในครัวเรือน เชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งใช้กับเครื่องกกลูกสุกร เป็นต้น

1.2 นำก๊าซชีวภาพไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า ได้แก่ ใช้กับชุดเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์ภายในฟาร์ม หรือสามารถนำไปใช้กับเครื่องสูบน้ำโดยตรง หรืออุปกรณ์อื่น ๆ การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเครื่องยนต์นั้น สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น รถยนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันทุกชนิด ซึ่งการใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ 4 รูปแบบ คือ

1) เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะ (เครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ) มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 40

2) เครื่องยนต์เบนซินหรือดีเซลขนาดเล็ก ได้แก่ เครื่องตัดหญ้า เครื่องยนต์ต้นกำลังขนาด 5-12 แรงม้า นำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพร่วมกับน้ำมันเบนซินหรือดีเซล โดยการทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ประมาณร้อยละ 80-90

3) เครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลาง นำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพ ร่วมกับน้ำมันดีเซล โดยทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ประมาณร้อยละ 80

4) เครื่องยนต์เบนซินหรือดีเซลขนาดกลางและใหญ่ นำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 100

1.3 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการผลิตพลังงานร่วม เป็นการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกัน ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว รูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อน โดยอาศัยหลักการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากระบบการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้ากลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อน เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า จะเกิดความร้อนในน้ำหล่อเย็นและส่วนของไอเสียเครื่องยนต์ การนำเอาความร้อนทิ้งที่เกิดจากความร้อนในน้ำหล่อเย็นและส่วนของไอเสียเครื่องยนต์กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพดังกล่าวเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 70-80 โดยการนำความร้อนทิ้งดังกล่าวมาใช้ในการอบแห้งหรือระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

2. <u>ประโยชนด้านการเกษตร</u> สำหรับเกษตรกรและฟาร์มทั้งหลายสามารถใช้กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้เกิดประโยชน 2 ทาง ไดแก

2.1 ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน ทั้งในรูปปุ๋ยแห้งและปุ๋ยน้ำได้เป็นอย่างดี

2.2 การย่อยสลายอินทรีย์แบบไร้อากาศทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลงและมีส่วนทำลายการงอกของเมล็ดวัชพืช

3. <u>ประโยชนด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาคุณภาพชีวิต</u>

3.1 ลดกลิ่นรบกวนจากของเสียที่เกิดขึ้น

3.2 ทำให้แมลงวันไมสามารถใช้ของเสียและน้ำเสียเหล่านั้นเป็นแหล่งเพาะพันธุและแพรขยายเชื้อโรค

3.3 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแลว จะสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ และจะถูกปล่อยออกสูแหล่งน้ำภายนอกโดยไมมีปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอีกต่อไป

3.4 การแพรกระจายของกาซมีเทนลดลง ช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

4. <u>การจ้างงาน</u> เป็นการส่งเสริมให้คนไทยมีงานทำทั้งในระยะสั้น (ระยะก่อสร้างระบบ) และระยะยาว (ระยะการใช้งานของระบบ) โดยในระยะการใช้งานของระบบจะมีการจ้างงานที่สม่ำเสมอตลอดอายุการใช้งานของระบบ

5. <u>การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร</u> การใช้เทคโนโลยีที่มีการจัดการของเสียอย่างครบวงจรภายในฟาร์มและมีการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้อย่างคุ้มค่า หรือการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Waste Minimize) ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (กระทรวงพลังงาน, 2554, น. 28-31)

นโยบายพลังงานทดแทน

ด้วยความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลกที่ปรับตัวขึ้นลง ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโลก และต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะน้ำมันจะทำให้การบริหารจัดการเศรษฐกิจมหภาคของประเทศที่มีสัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจของประเทศ

อย่างต่อเนื่อง รัฐบาลจึงได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าน้ำมัน
2. เพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ
3. ส่งเสริมการใช้พลังงานรูปแบบชุมชนสีเขียวแบบครบวงจร
4. สนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ
5. วิจัย พัฒนา ส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนประสิทธิภาพสูง

โดยมีเป้าประสงค์ “เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนให้เป็นร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศใน พ.ศ. 2565”

<u>แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ป แบ่งเป็น 3 ระยะ</u> ไดแก

<u>ระยะสั้น</u> (2551-2554) มุ่งเน้นส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่ไดรับการยอมรับแลว (proven technologies) และมีศักยภาพแหล่งพลังงานทดแทนสูง ไดแก เชื้อเพลิงชีวภาพ การผลิตไฟฟ้า และความร้อนจากชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และ NGV โดยใช้มาตรการสนับสนุนทางด้านการเงินเต็มรูปแบบ

<u>ระยะกลาง</u> (2555-2559) ส่งเสริมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีพลังงานทดแทน และสนับสนุนพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ ๆ เช่น การผลิตเอทานอลและไบโอดีเซลจากสาหราย การผลิตน้ำมันจากชีวมวล และเชื้อเพลิงไฮโดรเจนให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีใหม่ในการผลิต พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ และพัฒนาต้นแบบ Green City และนำไปสูการสร้างความเข้มแข็งให้กับการผลิตพลังงานทดแทนระดับชุมชน

<u>ระยะยาว</u> (2560-2565) ส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ ๆ ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการขยายผล Green City และพลังงานชุมชน และสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์ส่งออกเชื้อเพลิงชีวภาพ และการสงออกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในภูมิภาคอาเซียน

ก๊าซชีวภาพหรือเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่อยู่ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกร้อยละ 25 ในระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) โดยเป้าหมายตามแผน คือ ภายใน พ.ศ. 2564 จะต้องใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้ารวม 600 เมกะวัตต์ (กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ป พ.ศ. 2551-2565, 2550)

นอกจากนี้ มีการพัฒนาพลังงานทดแทนภายในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากนโยบายส่งเสริมการผลิต การใช้พลังงานทดแทน โดยการใช้งานจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใน พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนทั้งสิ้น 9,025 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2556 ร้อยละ 9.6 หรือคิดเป็นร้อยละ 11.9 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ดังนั้น กระทรวงพลังงานกำหนดยุทธศาสตร์เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนใน พ.ศ. 2558-2579 ดังนี้

ยุทธศาสตร์ที่ 1 การเตรียมความพร้อมด้านวัตถุดิบและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน

ยุทธศาสตร์ที่ 2 การเพิ่มศักยภาพการผลิต การใช้ และตลาดพลังงานทดแทน

ยุทธศาสตร์ที่ 3 การสร้างจิตสำนึกและเข้าถึงองค์ความรู้ ข้อเท็จจริงด้านพลังงานทดแทน (กระทรวงพลังงาน, 2558)

งานวิจัยเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฐปน ชื่นบาล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศึกษาวิจัย “การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษวัชพืชร่วมกับของเสียจากสุกร” สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ภาคเหนือเป็นผู้สนับสนุน ผลการวิจัยพบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ สามารถผลิตจากการนำมูลสุกรหรือมูลไก่มาหมักเพื่อให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ในฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ที่มีปริมาณมูลจำนวนมาก แต่สำหรับฟาร์มขนาดเล็กหรือระดับครัวเรือนที่มีสุกรน้อย อาจจะไม่สามารถผลิตก๊าซใช้เองได้ ดังนั้น เพื่อช่วยเกษตรฟาร์มสุกรขนาดเล็กให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพใช้เองในครัวเรือนได้มากขึ้นและมีใช้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้การหมักร่วมกันระหว่าง 2 วัตถุดิบ ซึ่งเรียกว่า “การหมักร่วม” จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทีมวิจัยทดลองนำหญ้าหมักร่วมกับมูลสุกร และพบว่าหญ้าต้องใช้เวลาหมักนานกว่า จึงต้องนำจุลินทรีย์มาร่วมหมักเพื่อช่วยหมักหญ้าให้กลายเป็นกรดจุลินทรีย์ในบ่อหมักจึงทำให้สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้เร็วขึ้น และพบว่า การหมักในถังที่มีฝาปิดมิดชิดขนาด 200 ลิตร โดยใช้อัตราส่วนวัชพืชท้องถิ่นต่อมูลสัตว์ในอัตรา 30:70 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้งานได้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง/วัน ทั้งนี้ หากเป็นวัชพืชขนหรือพืชสด เช่น หญ้าขน หญ้าคา จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ประโยชน์จากการหมักเศษวัชพืชร่วมกับของเสียจากสุกรจะช่วยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว ยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงสัตว์ และลดปัญหาการเผาเศษพืช อีกทั้งกากวัชพืชที่เหลือจากการหมักยังนำไปใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืชผลทางการเกษตรได้

2. รองศาสตราจารย์ สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ ศึกษาวิจัยและพัฒนา “นวัตกรรมขจัดก๊าซไข่เน่าออกจากก๊าซชีวภาพ” ทีมวิจัยได้พัฒนาชุดดูดซับก๊าซไข่เน่าออกจากก๊าซชีวภาพเป็นเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างง่ายจากมูลสัตว์ ด้วยระบบถุงหมักพลาสติก แบบบอลลูนของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (CMU Balloon Digester) นับเป็นพลังงานทางเลือกที่ช่วยเกษตรกรได้มาก ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีการปนเปื้อนด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า ทำให้มีกลิ่นเหม็นและมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ง่าย ทั้งนี้ ทีมวิจัยได้พัฒนาชุดดูดซับก๊าซไข่เน่าออกจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสัตว์ด้วยเดเฟอริกไฮดรอกไซด์ (Ferric Hydroxide) ที่เคลือบเม็ดตัวกลาง ผลิตจากทรายผสมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 2:1 และบรรจุไว้ในถังพลาสติกพีวีซี ขนาดความจุ 75 ลิตร สูง 60 เซนติเมตร แบบมีฝาปิด จากนั้นปล่อยก๊าซชีวภาพให้ไหลผ่านเม็ดตัวกลางดูดซับดังกล่าว โดยระบบนี้สามารถลดกลิ่นเหม็นจากก๊าซไข่เน่าได้เกือบร้อยละ 100 ระบบการลดปริมาณก๊าซนี้เหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน เพราะใช้งานง่ายและนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยเปิดวาล์วให้อากาศผ่านเข้าออก จึงไม่ต้องเสียเวลาแรงงานและไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม ช่วยให้เกษตรกรใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และช่วยลดปริมาณก๊าซไข่เน่าที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์จำพวกโลหะต่าง ๆ ปัจจุบันชุดดูดซับก๊าซไข่เน่าได้นำร่องไปใช้ประโยชน์ที่ศูนย์เรียนรู้การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ ตำบลสันปูเลย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ และมีการขยายผลนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เป้าหมายอื่น ๆ เช่น เครือข่าย

การผลิตก๊าซชีวภาพของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน (“ก๊าซชีวภาพมูลสุกร,” 2560)

ตัวอย่างการนำไบโอแก๊สหรือก๊าซชีวภาพมาใช้

1. บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) หรือซีพีเอฟ ซึ่งมีโครงการระบบไบโอแก๊สที่นำมาใช้ในภาคปศุสัตว์เป็นรายแรกของประเทศ และคิดค้นโครงการ “ผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย” ทั้งนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor : ABR) เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นด้วยฝีมือคนไทย และนำมาปรับใช้เป็นครั้งแรกกับโรงงานแปรรูปเนื้อไก่ในเขตมีนบุรี กรุงเทพฯ ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณส่วนหนึ่งจากสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ภายใต้โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้ โครงการดังกล่าวไม่เพียงก่อให้เกิดพลังงานทดแทนเพื่อนำมาใช้ภายในโรงงาน แต่ยังช่วยลดกลิ่นที่ส่งผลกระทบกับชุมชนโดยรอบ และโครงการดังกล่าวถูกนำไปต่อยอดสู่อีก 6 โรงงาน คือ

1. โรงงานอาหารแปรรูปสัตว์น้ำ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง
2. โรงงานอาหารแปรรูปสัตว์น้ำ อำเภอมหาชัย จังหวัดสมุทรสาคร
3. โรงงานอาหารแปรรูปสัตว์น้ำ อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา
4. โรงงานอาหารสำเร็จรูป เขตหนองจอก กรุงเทพฯ
5. โรงงานแปรสภาพขนไก่-เป็ด จังหวัดนครราชสีมา
6. โรงงานแปรรูปเนื้อไก่ จังหวัดนครราชสีมา

นอกจากนี้ “โครงการไบโอแก๊สจากระบบบำบัดน้ำ” สามารถเปลี่ยนค่าความสกปรกในน้ำเสียให้เป็นก๊าซชีวภาพ เพื่อลดมลพิษทางกลิ่นและก่อให้เกิดพลังงานทดแทน และใช้นวัตกรรมใหม่เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการเสริมแผ่นกั้นทิศทางการไหลของน้ำ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์กับน้ำเสียสัมผัสกันมากขึ้น จึงเกิดการหมักที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น สำหรับการทำงานของไบโอแก๊สจากน้ำเสียของโรงงาน คือ บ่อบำบัดน้ำจะถูกปิดด้านบนของบ่อด้วยผ้าใบ PVC อย่างมิดชิด ภายในบ่อออกแบบให้มีกำแพงบังคับทิศทางการไหลของน้ำ (Anaerobic Baffle Reactor : ABR) ด้วยลักษณะการไหลขึ้น-ลงภายในบ่อ ทำให้เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์กลายเป็นก๊าซชีวภาพที่มีส่วนผสมของแก๊สมีเทนประมาณร้อยละ 60-70 และก๊าซจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงธรรมชาติได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้แทนเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ หรือใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Gas Generator) ขณะเดียวกันน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ซึ่งโรงงานได้นำน้ำที่ผ่านการบำบัดส่วนหนึ่งกลับมาใช้ภายในโรงงานเพื่อใช้รดต้นไม้ (“CPF ดันนวัตกรรมรักษ์โลก “ไบโอแก๊สจากระบบบำบัดน้ำ” ต่อยอดความสำเร็จสู่อีก 6 โรงงาน,” ม.ป.ป.)

2. สำนักงานพลังงานจังหวัดแพร่ร่วมกับเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุน โครงการส่งเสริมอาชีพการเลี้ยงสุกรขุนแก่เกษตรกรรายย่อย (คอนแทรคฟาร์มโครงการฝากเลี้ยง) กับบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) หรือซีพีเอฟ จำนวน 4 ราย ในพื้นที่บ้านอัมพวัน อำเภอสอง จังหวัดแพร่ ร่วมกันดำเนินโครงการ “ส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์ให้กับชุมชน” โดยมีแนวคิดจะปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรรวม 2,600 ตัว ซึ่งชาวบ้านได้ขอคำปรึกษาจากองค์การบริหารส่วนตำบลเตาปูน จังหวัดแพร่ และสำนัก

นโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน และสำนักงานพลังงานจังหวัดแพร่ โดยได้รับงบประมาณสนับสนุนจากกระทรวงพลังงาน เพื่อสร้างระบบบำบัดของเสียด้วยไบโอแก๊ส บ่อหมักขนาด 200 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ กระทรวงพลังงานได้สนับสนุนงบประมาณร้อยละ 60 องค์การบริหารส่วนตำบลเตาปูน จังหวัดแพร่ สนับสนุนงบประมาณร้อยละ 35 เกษตรกรร้อยละ 15 และบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) สนับสนุนงบประมาณในรูปแบบผลตอบแทนการเลี้ยงสุกร ซึ่งโครงการดังกล่าวช่วยแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นจากฟาร์มสุกรและช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กับชุมชน รวมถึงประชาชนในชุมชนได้รับประโยชน์จากก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทนก๊าซหุงต้ม จากความสำเร็จของโครงการนำร่องดังกล่าว คณะทำงานจึงผลักดันให้มีการก่อสร้างบ่อบำบัดขนาด 300 ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้สามารถขยายประโยชน์ให้กับชุมชนเพิ่มขึ้นถึง 100 ครัวเรือน ทำให้สามารถลดรายจ่ายในการซื้อก๊าซหุงต้มได้ร้อยละ 100 รวมถึงมีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเดินเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้าขนาด 50 กิโลวัตต์ โดยใช้กับพัดลมระบายความร้อนในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ปั๊มน้ำ ไฟฟ้าส่องสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในฟาร์ม ทำให้ประชาชนในชุมชนสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้มากกว่าร้อยละ 30-40 (รัชนีวรรณ สุขสำราญ, 2560)

3. นายพิสิษฏ์ มณีโชติ และนางสาวอันธิกา เพชรี มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้นำเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส มาใช้ในชุมชนบ้านหนองมะเกาะ ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร เพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปศุสัตว์ เพราะเป็นชุมชนที่ประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากมูลสัตว์ ได้แก่ การเลี้ยงสุกรและโค ปัจจุบันมีจำนวนครัวเรือนทั้งหมด 150 ครัวเรือน และมีการปศุสัตว์ 30 ครัวเรือน โดยมีสุกร จำนวน 483 ตัว และโค จำนวน 57 ตัว ส่งผลให้เกิดปัญหาในชุมชนทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและมีกลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์รบกวนชุมชน ดังนั้น จึงนำเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส เป็นเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่สามารถลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด และเป็นการจัดการของเสียอย่างบูรณาการเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ ก๊าซชีวภาพช่วยลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมและสามารถนำมาใช้แทนก๊าซหุงต้ม (แอลพีจี) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ รวมถึงได้ปุ๋ยชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและยังเป็นการปรับปรุงบำรุงดินอีกด้วย (“ชุมชนกำแพงเพชรต้นแบบแก้ปัญหามูลสัตว์เหม็นด้วยไบโอแก๊ส,” 2561)

4. นายละม่อม สิทธิศาสตร์” ผู้ใหญ่บ้านทับไฮ ตำบลแสงสว่าง อำเภอหนองแสง จังหวัดอุดรธานี กล่าวว่า ใน พ.ศ. 2554 หมู่บ้านประสบปัญหามลพิษทางกลิ่นจากการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะมูลสัตว์สุกร และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ซึ่งมีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ จนเป็นภาระของชุมชนที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดูแล และต้องจัดการกับปัญหาเพื่อไม่ให้กระทบต่อสุขภาพของคนในชุมชน เนื่องจากชาวบ้านในชุมชนส่วนใหญ่ทำการเกษตรและเลี้ยงสัตว์ ดังนั้น ชุมชนจึงดำเนินการพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้น พร้อมหาแนวทางแก้ไขระยะยาว จึงเกิดแนวคิดในการจัดทำบ่อก๊าซชีวภาพ (bioGas) โดยสามารถช่วยแก้ไขปัญหาทั้งหมดอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ ในอดีตชาวบ้านนำมูลสัตว์ไปทำปุ๋ย แต่ปัจจุบันมีปริมาณมากทำให้เกิดมลพิษส่งผลกระทบต่อชุมชน ชาวบ้านจึงระดมความคิดและไปดูงานด้านการเกษตรเกี่ยวกับบ่อก๊าซชีวภาพ เพื่อมาดำเนินงานในชุมชน โดยเริ่มต้นจาก 7 ครัวเรือน โดยการส่งเสริมให้ชาวบ้านคัดแยกขยะในครัวเรือน จัดทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร และกำจัดสิ่งปฏิกูลจากฟาร์มด้วยการทำบ่อก๊าซชีวภาพ จนนำมาสู่การเป็นพลังงานทดแทนใน

ชุมชน ช่วยลดปัญหาขยะ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงสำหรับชุมชนและโรงเรียนในหมู่บ้าน เพราะการทำบ่อก๊าซชีวภาพ จะได้ก๊าซมีเทนมาเป็นเชื้อเพลิงสามารถทดแทนการใช้ก๊าซ LPG ได้ประมาณเดือนละ 1 ถัง ประหยัดเงินได้ 300-400 บาทต่อครัวเรือน ขณะที่เศษมูลสัตว์ที่เหลือจากบ่อก๊าซชีวภาพยังสามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยลดค่าใช้จ่ายไปได้อีกเดือนละ 300 บาท (“บ่อก๊าซชีวภาพชุมชน ลดมูลสัตว์-สร้างรายได้สู่ครัวเรือน,” 2560)

<u>บทสรุปและข้อเสนอแนะจากผู้ศึกษา</u>

ประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำการเกษตรและปศุสัตว์ควบคู่ไปด้วย ซึ่งการทำปศุสัตว์ไม่ว่าสุกร โคนมและโคเนื้อ ไก่เนื้อ จะพบว่า ของเสียจากการทำปศุสัตว์ เช่น กลิ่นจากมูลสัตว์และน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเลี้ยงสัตว์ ยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขเร่งด่วน เนื่องจากของเสียเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่นับวันทวีความรุนแรงมากขึ้น เช่น น้ำเสียจากคอกสัตว์ส่งกลิ่นเหม็นและทำลายสิ่งแวดล้อมในฟาร์มและบริเวณใกล้เคียง เกิดก๊าซพิษ และเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคต่าง ๆ จึงมีการศึกษาวิจัยและพัฒนานวัตกรรมหลากหลายรูปแบบ เพื่อลดปริมาณของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยการนำของเสียดังกล่าวมาผลิตเป็น “ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส” เพื่อเป็นพลังงานทดแทนสำหรับการหุงต้ม ให้แสงสว่าง และเป็นพลังงานฉุดมอเตอร์หรือกิจกรรมอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังสามารถนำกากจากมูลสัตว์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนและฟาร์มปศุสัตว์ รวมถึงช่วยลดมลพิษที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะปัญหาด้านกลิ่นมูลสัตว์และน้ำเสียจากกระบวนการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งจะทำให้ชาวบ้านมีคุณภาพชีวิตที่ดี และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ไม่เป็นที่รังเกียจของชุมชน นอกจากนี้ ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้ไม่เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้พลังงานฟอสซิล ดังนั้น รัฐบาลจึงได้กำหนดให้ก๊าซชีวภาพอยู่ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ร้อยละ 25 ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) เพื่อให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศ ลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น ๆ และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70

อย่างไรก็ตาม การผลิตก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊สจากมูลสัตว์ สิ่งสำคัญ คือ ขั้นตอนของการนำมูลสัตว์มาผลิตเป็นเป็นก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส ถึงแม้จะมีการส่งเสริมจากภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหลายแห่ง แต่การใช้ประโยชน์ดังกล่าวยังมีปัญหาและมีข้อจำกัด เช่น รูปแบบและต้นทุนการสร้างบ่อยังมีราคาสูง ทำให้ฟาร์มขนาดเล็กไม่สามารถดำเนินการได้จึงปล่อยปละละเลยในเรื่องดังกล่าว อีกทั้งระบบก๊าซชีวภาพที่มีการก่อสร้างในอดีตเป็นชนิดที่ออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์ของก๊าซโดยใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว ทำให้การทำงานของระบบยังมีปัญหาทางเทคนิคหลายด้าน นอกจากนี้ ข้อจำกัดของนโยบาย กฎหมายด้านพลังงานทดแทนและระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้ประกอบการบางรายไม่กล้าตัดสินใจในการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ หรือไม่ทราบถึงเงินอุดหนุนช่วยเหลือและวิธีการเข้าร่วมโครงการกับภาครัฐ เป็นต้น ดังนั้น รัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรมีการประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องและให้ความรู้อย่างรอบด้าน เพื่อให้กลุ่มชาวบ้านหรือผู้ประกอบการทำปศุสัตว์มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านข้อมูลซึ่งกันและกัน รวมถึงกำหนดนโยบาย

สนับสนุนการพัฒนาก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนอย่างครบวงจร โดยหาแนวทางและมาตรการจูงใจในระดับที่เหมาะสมเพื่อเอื้อต่อการศึกษาพัฒนาและเป็นธรรมต่อทุกภาคส่วนเพื่อลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการทำปศุสัตว์ ดังนั้น ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊สจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญในการผลิตเป็นพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก เพื่อทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิลและสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศอย่างยั่งยืนในอนาคต

จัดทำโดย
นางสาวณิชชา บูรณสิงห์
กลุ่มงานบริการวิชาการ 3 สำนักวิชาการ
โทร 0 2244 2070
โทรสาร 0 2244 2058
Email : sapagroup3@gmail.com

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **การผลิตก๊าซชีวภาพ จากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม.** สืบค้น 26 มีนาคม 2563 จาก http://www2.dede.go.th/km_ber/Attach/Biogas-present.pdf

_____. (2550). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ป พ.ศ. 2551-2565**. สืบค้น 1 เมษายน 2563 จาก

_____. (2554). **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน.** สืบค้น 26 มีนาคม 2563 จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8

_____. (2556). **คู่มือไบโอแก๊สเซฟตี้ BIOGAS Safaty.** สืบค้น 26 มีนาคม 2563 จาก http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/files/Biogas%20Safety_Handbook.pdf

_____. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**. สืบค้น 3 เมษายน 2563 จาก www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf

ก๊าซชีวภาพ. (ม.ป.ป.). สืบค้น 1 เมษายน 2563 จาก http://www.siamchemi.com/%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E/

แก๊ซชีวภาพ-คลินิกเทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). สืบค้น 3 เมษายน 2563 จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20111261832311.pdf

เขษมพงษ์ สงสอน และคณะ. (2559) **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทน สำหรับครัวเรือนในชุมชนแบบยั่งยืน ปีที่ 6.** สืบค้น 1 เมษายน 2563 จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/usermanage/FinalReport/2016118162171.pdf

ชุมชนกำแพงเพชรต้นแบบ แก้ปัญหามูลสัตว์เหม็นด้วยไบโอแก๊ส. (2561). สืบค้น 1 เมษายน 2563 จาก https://www.posttoday.com/social/local/533493

บ่อก๊าซชีวภาพชุมชน ลดมูลสัตว์-สร้างรายได้สู่ครัวเรือน. (2560). สืบค้น 1 เมษายน 2563 จาก https://www.bedo.or.th/bedo/new-content.php?id=365

รัชนีวรรณ สุขสำราญ. (20 กันยายน 2560). “ขี้หมูไม่เหม็น” สู่พลังงานยั่งยืน. **กรุงเทพธุรกิจ.** น. 9.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2554). **“ก๊าซชีวภาพ” และการนำไปใช้ประโยชน์.** สืบค้น 3 เมษายน 2563 จาก http://www.erdi.cmu.ac.th/index_main.php/article/223?category=14

สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ และคณะ. (2560). **รายงานฉบับสมบูรณ์ การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับครัวเรือนในชุมชน.** สืบค้น 1 เมษายน 2563 จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/Usermanage/FinalReport/20171222193311.pdf

เสกสรร ชะนะ และลัญฉกร นิลทรัตน**. (2558). รายงานการวิจัย การพัฒนาชุดตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.** สืบค้น 3 เมษายน 2563 จาก http://ird.skru.ac.th/RMS/file/53635.pdf

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (20 สิงหาคม 2560). ก๊าซชีวภาพมูลสุกร. **โพสต์ทูเดย์.** น. 4.

เอกสารประกอบการอบรมโครงการการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษอาหาร เพื่อใช้ในครัวเรือนจังหวัดเชียงราย. (2554). สืบค้น 27 มีนาคม 2563 จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20111261832311.pdf

CPF ดันนวัตกรรมรักษ์โลก “ไบโอแก๊สจากระบบบำบัดน้ำ” ต่อยอดความสำเร็จสู่อีก 6 โรงงาน. (ม.ป.ป.). สืบค้น 26 มีนาคม 2563 จาก http://www.cpthailand.com/%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%A1%E0%B8%99/tabid/129/articleType/ArticleView/articleId/1729/CPF--6-.aspx