บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

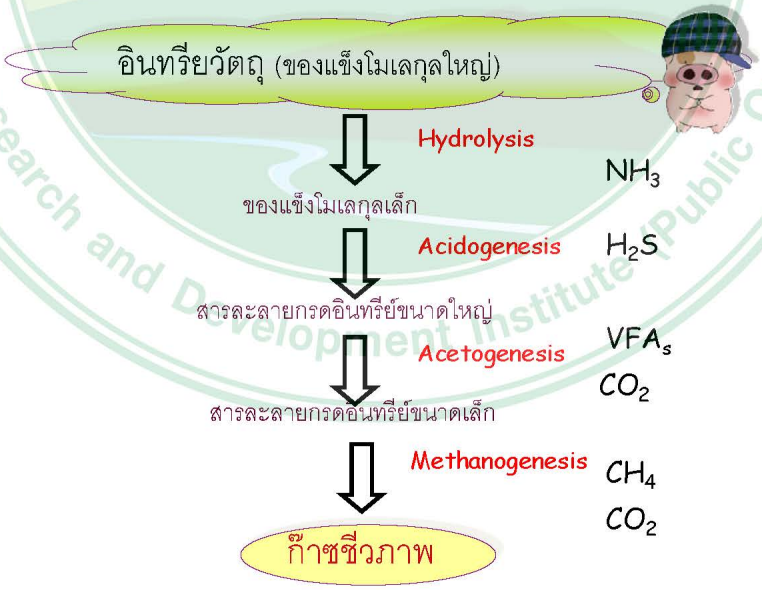
ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas หรือ Digester gas) หรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซมีเทน ที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือ ของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดเจน (H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ

หลักการผลิตก๊าซชีวภาพ

หลักการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (ไร้ออกซิเจน) โดยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น กลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติกจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ขนาดเล็กให้เป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน และขั้นตอนสุดท้ายกลุ่มแบคทีเรียจะสร้างมีเทนโดยเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือก๊าซชีวภาพ) ซึ่งก๊าซดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำ และจะถูกรวบรวมนำไปใช้ผลิตพลังงานทดแทนต่อไป

ทฤษฎีการผลิตมีเทน (CH_4)



$C_6H_{13}O_5 + xH_2O \longrightarrow COOH\text{-}(CH_2)_n\text{-}CH_3 \longrightarrow 4CH_4 + 2CO_2$

มูล + น้ำ ⟶ ส่วนผสมของกรดไขมันที่ระเหยได้ ⟶ มีเทน + คาร์บอนไดออกไซด์

ปัญหาจากสิ่งขับถ่ายและน้ำเสียจากเลี้ยงสัตว์ทุกประเภท (สุชนและคณะ, 2553)

1. ปัญหาจากกลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์

สารประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่น ได้แก่ สารระเหยอินทรีย์ (Volatile organic compounds) กรดไขมันสายโซ่สั้น และสารระเหยที่มีคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ กลิ่นเหล่านี้สามารถกระจายออกทันทีหลังจากมูลถูกขับออกจากตัวสัตว์ นอกจากนี้ก๊าซที่เกิดจากมูลสัตว์ยังมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยงโดยตรง เช่น

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้ามีมากกว่า 40,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) มีผลให้ตาลาย วิงเวียน เดินโซเซ หมดสติ
- ก๊าซแอมโมเนีย ส่วนมากเกิดจากมูลสด ถ้ามีความเข้มข้น 100 - 200 ppm ทำให้สัตว์มีอาการจาม น้ำลายฟูมปาก กินอาหารน้อยลง
- ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หากสัตว์ได้รับก๊าซชนิดนี้ 20 ppm อยู่ตลอดเวลา จะทำให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบประสาท อาเจียน ท้องร่วง

2. ปัญหาการเกิดโรคจากมูลสัตว์

การหมักหมมของมูลสัตว์ในฟาร์มนอกจากจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น ยังส่งผลต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น เป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ ที่อาจติดคนหรือสัตว์เลี้ยงอื่นๆ เช่น โรคระบบทางเดินอาหาร พยาธิบางชนิด และพาหะนำโรคต่างๆ ได้แก่ แมลงวัน แมลงหวี่ และยุง เป็นต้น

3. ปัญหาสังคม

การเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรบางแห่งทำให้บริเวณรอบๆ มีกลิ่นเหม็น มีแมลงวันชุกชุม หากอยู่ใกล้แหล่งชุมชนทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่น่ารังเกียจ ดังนั้นการเลี้ยงสัตว์บางแห่งอาจก่อให้เกิดการต่อต้านจากชุมชน และเกิดการทะเลาะวิวาท

4. ปัญหาต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ

การเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ของเกษตรกร มักอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ การปล่อยของเสียที่เกิดจากสัตว์จะไหลลงสู่แม่น้ำลำธาร หรือทำให้น้ำในคูคลองเกิดการเน่าเสียได้ และถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจทำความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่รอบๆ ได้ นอกจากนี้ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากมูลสัตว์ที่ปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตและแพร่กระจายของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้คุณภาพน้ำด้อยลง สำหรับการผลิตกาแฟขั้นตอนในการปอกเปลือกกาแฟนั้นจะมีการใช้เครื่องลอกเปลือก โดยใช้น้ำสะอาดเป็นตัวหล่อลื่น หลังจากนั้นก็จะมีขั้นตอนการกำจัดเมือก ซึ่งขั้นตอนนี้จะนำเมล็ดกาแฟที่ปอกเปลือกออกแล้วมาแช่น้ำ 24-48 ชั่วโมง ซึ่งจากขั้นตอนดังกล่าวจะมีเปลือกเมล็ดกาแฟและน้ำล้างเมล็ดกาแฟเป็นเศษเหลือทิ้ง ส่วนใหญ่เกษตรกรจะปล่อยทิ้งให้ย่อยสลายไปเอง และบางส่วนจะนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักและเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ แต่เนื่องจากในเปลือกเมล็ดกาแฟมีมีองค์ประกอบของผนังเซลล์ และมีสารประกอบบางชนิด เช่น สารประกอบ ฟีนอล คาเฟอีน และสารแทนนินอยู่สูง จึงทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และยับยั้งการดูดซึมสารอาหารของสัตว์ เปลือกเมล็ดกาแฟและน้ำล้างเมล็ดกาแฟที่เหลือทิ้งจึงสร้างมลภาวะต่อแหล่งน้ำ

ในอีกด้านหนึ่งก็มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับด้านปศุสัตว์ ด้านการส่งเสริมอาชีพ การพัฒนาสังคม ได้ส่งเสริมให้มีการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะเกษตรกรรายย่อยที่อยู่ตามชุมชนต่างๆ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกษตรกรมีอาหารโปรตีนไว้บริโภคในครัวเรือน เมื่อเหลือจากการบริโภคก็จะนำไปจำหน่ายเป็นรายได้ของครอบครัว ด้วยเหตุนี้มูลสัตว์และปัสสาวะที่ได้จากการเลี้ยงของเกษตรกรแต่ละราย ซึ่งมีปริมาณไม่มาก (ตารางที่ 1) จึงควรกำจัดออกไปด้วยระบบการหมักภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศ เพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่ง Landahl (2003) ได้กล่าวว่า

ก๊าซชีวภาพเกิดจากขบวนการหมัก Biomass (มูล ปัสสาวะ น้ำเสีย เศษซากพืชซากสัตว์) ในสภาพไร้อากาศ จะประกอบไปด้วยมีเทน (CH_4) 50-80%, CO_2 15-45%, H_2S 0-2% และน้ำ 5% โดย Kristoferson and Bokalders (1991) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีคุณค่าเท่ากับหลอดไฟให้แสงสว่างขนาด 60-100 วัตต์ นาน 6 ชั่วโมง ใช้ประกอบอาหารสำหรับครอบครัว 5-6 คนได้ 3 มื้อ ทดแทนน้ำมันเบนซินได้ 0.7 กิโลกรัม ขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าได้นาน 2 ชั่วโมง และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 1.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง การนำก๊าซชีวภาพจากการผลิตโดยเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่ต่างๆ ด้วยการใช้มูลสัตว์จำพวกสุกร โคเนื้อ โคนม โคขุน หรือสัตว์ปีก เช่น ไก่ไข่ จำนวน 10-15, 5-10, 3-5, 3-5 หรือ 100-200 ตัว ตามลำดับ จะผลิตก๊าซชีวภาพได้วันละประมาณ 2 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 2) สามารถนำไปใช้หุงต้มแทนก๊าซ LPG ได้เดือนละ 1-2 ถัง ขนาดถังละ 15 กิโลกรัม ซึ่งมีความเหมาะสมกับครัวเรือนเกษตรกรรายย่อยในชุมชนต่างๆ (สุชน และคณะ, 2552)

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลสดของสัตว์ที่เลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อยในชุมชน

ชนิดสัตว์	มูลสด (กิโลกรัม/ตัว/วัน)
โค-กระบือ (ปล่อยเล็มหญ้า ขังคอกกลางคืน) [1/]	4-5
สุกร	4
ไก่ไข่ / ไก่สามสายเลือด / ไก่ชน	0.03
โคนม / โคขุน	8

[1/] ปริมาณมูลที่เก็บจากคอกนอน ช่วงกลางคืน

ตารางที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลสัตว์ที่เลี้ยงโดยเกษตรกรรายย่อยในชุมชน (คำนวณโดยคณะผู้วิจัย)

ชนิดสัตว์	จำนวนสัตว์ที่เลี้ยง[1/]	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร) ต่อ		
	(ตัว)	กก. ของมูล	ตัว/วัน	วัน
โค-กระบือ [2/]	5 - 10	0.1 – 0.3	0.16	0.8 – 1.6
สุกร	10 - 15	0.4 – 0.5	0.18	1.8 – 2.7
ไก่ไข่ / ไก่สามสายเลือด / ไก่ชน	100 - 200	0.3 – 0.6	0.014	1.4 – 2.8
โคนม / โคขุน	3 - 5	0.4 – 0.5	0.36	1.1 – 1.8

[1/] ค่าเฉลี่ยโดยการประมาณ [2/] เลี้ยงแบบปล่อยแทะเล็มหญ้าในช่วงกลางวัน ส่วนช่วงกลางคืนนำมาขังคอก

ประโยชน์ของการทำบ่อก๊าซชีวภาพ

สุชนและคณะ (2553) ได้กล่าวอ้างว่า เมื่อเกษตรกรนำมูลสัตว์ / ขยะอินทรีย์ไปหมักจนได้ก๊าซชีวภาพแล้ว จะมีประโยชน์หลายด้าน ดังนี้

1. ด้านพลังงาน เมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐกิจแล้ว การลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม และไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพ จำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

1.1 ให้ความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนจะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20°ซ. เดือดได้

1.2 ใช้กับตะเกียงขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง

1.3 ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.25 กิโลวัตต์

1.4 ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง

1.5 ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

2. ด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อม โดยการนำมูลสัตว์ ปัสสาวะ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อลักษณะสุญญากาศ จะช่วยทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลง ผลจากการหมักมูลในบ่อหรือถุงที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานานๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคในมูลสัตว์ถูกทำลายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาต์ และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติอีกด้วย

3. ด้านการเกษตร

3.1 การทำเป็นปุ๋ย กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพสามารถนำไปเป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆ หรือปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักจะเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น

3.2 การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้ง แล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใช้ในระดับ 5-10% จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิต

การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน จะให้องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ดังนี้ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50 % และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำอีกเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยปกติการกำจัดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) 1 กิโลกรัม จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.3-0.5 ลบ.ม. ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภท โดยก๊าซมีเทนจะมีค่าความร้อนประมาณ 39.4 เมกะจูน/ลบ.ม. สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 ลิตร ซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 9.7 kWh

รูปแบบการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นพลังงาน

1. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน เป็นรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยการเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรง ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง ใช้กับหัวกกลูกสุกร ใช้ในครัวเรือน ฯลฯ

2. การใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า เป็นรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผลิตเป็นพลังงานกล/ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อผลิตเป็นไฟฟ้าแล้ว สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก

3. การผลิตพลังงานร่วม เป็นการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้น มากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนเพียงอย่างเดียว

ศักยภาพสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ควรมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้คือ

- เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย
- มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง
- มีปริมาณความชื้นสูง
- มีคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

แหล่งของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

- ขยะชุมชน ได้แก่ ขยะชุมชนในส่วนของขยะอินทรีย์
- ของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โรงงานเบียร์ โรงงานน้ำตาล เป็นต้น และของเสียที่เป็นกากตะกอนที่เป็นส่วนของสารอินทรีย์ ของเสียจากการเกษตร ได้แก่ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู วัว ไก่ เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่างๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature) การย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอยู่ในสภาพปราศจากออกซิเจน เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 4-60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์ ในสภาพภูมิอากาศแบบประเทศไทยควรอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส

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

3. สารอาหาร (Nutrients) สารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ควรมีอัตราส่วนของ C:N และ C:P ที่เหมาะสม เท่ากับ 25:1 และ 20:1 ตามลำดับ

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

5. สารอินทรีย์และลักษณะของสารอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่ใช้หมัก ถ้าผ่านการย่อยมาก่อน เช่น มูลสัตว์จะเกิดก๊าซได้ง่ายและมีปริมาณก๊าซมากกว่า

6. ชนิดและแบบของบ่อก๊าซชีวภาพ (Biogas plant) บ่อก๊าซชีวภาพแบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพการทำงานได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

6.1 บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง บ่อหมักช้าที่มีการสร้าง และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มี 3 แบบหลัก คือ

(1) แบบยอดโดม (fixed dome digester)

(2) แบบฝาครอบลอย (floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester)

(3) แบบพลาสติกคลุมราง (plastic covered ditch) หรือแบบพลักโฟลว์ (plug flow digester)

6.2 บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ

(1) แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic filter) หรืออาจเรียกตามชื่อย่อว่า แบบเอเอฟ (AF) ตัวกลางที่ทำได้จากวัสดุมีหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผตัดเป็นท่อน เป็นต้น ลักษณะของบ่อหมักเร็วนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนตามตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่กับที่ ก๊าซจะถูกเก็บภายในพลาสติกที่คลุมอยู่เหนือราง มักใช้ไม้แผ่นทับเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความดันก๊าซ

(2) แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow anaerobic sludge blanket) บ่อหมักเร็วแบบนี้ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมัก เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานเกิดขึ้นโดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ตะกอนส่วนที่เบาจะลอยตัวไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ (กระทรวงพลังงาน, 2557)

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาตรและทำให้ตะกอนคงสภาพดีขึ้น สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถช่วยลดการใช้สารพลังงานของฟาร์มปศุสัตว์หรือโรงงานอุตสาหกรรม

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยพื้นฐานขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของน้ำเสียที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ หากใช้มูลสัตว์จะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 20-22 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันของปริมาณน้ำเสีย หากโรงงานอุตสาหกรรมจะได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 2-200 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันของปริมาณน้ำเสีย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้อย่างมาก ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงก็ต่อเมื่อค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีค่าสูง มีการบำบัดในถังที่มีการให้ความร้อน และมีการปั่นหรือกวนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้แยกตามแหล่งที่มาของน้ำเสียมีดังต่อไปนี้

- เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร
- เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอย
- เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

นอกจากนี้ยังมีประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับขนาดครัวเรือนและสามารถทำเองได้ด้วยตนเองคือ เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบครัวเรือน

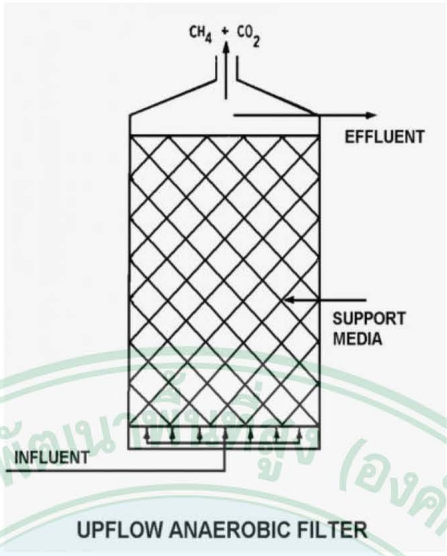
เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร

การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรนั้นต้องพิจารณาว่ามีคุณสมบัติและปริมาณที่เหมาะสมที่จะผลิตก๊าซชีวภาพหรือไม่ รูปแบบเทคโนโลยีที่นิยมมีดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง (Anaerobic Filter/Fixed Film)

ระบบได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีขึ้นจากถังหมักที่อาศัยการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำเสีย มาเป็นแบบระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะกับตัวกลาง จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนประกอบที่สำคัญคือถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5-2 นิ้ว หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ถ้าทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก โดยปกติเครื่องกรองไม่ใช้อากาศมีขนาดเล็กกว่าถังย่อยแบบธรรมดา เพราะมีอัตราบำบัดสูงกว่า (ใช้เวลากักน้ำต่ำกว่า) อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไม่ใช้อากาศมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข คือ หากความเร็วของน้ำในถังปฏิกิริยาเกิน 2 เมตร/วัน จะเกิดการชะเอา Floc Sludge ออกจากระบบ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และหากเกิด Fixed Film มากจนควบคุมไม่ได้ก็จะเกิดการอุดตันและเกิดการไหลลัดวงจร ทำให้ประสิทธิภาพลดลง จากข้อด้อยดังกล่าวทำให้ต้องใช้พื้นที่มากและมีความยุ่งยากในการบำรุงรักษา อีกทั้งตัวกลางที่มีคุณสมบัติที่ดีครบถ้วนจะมีราคาแพง (6,000 บาท/ลบ.ม.) ถัง

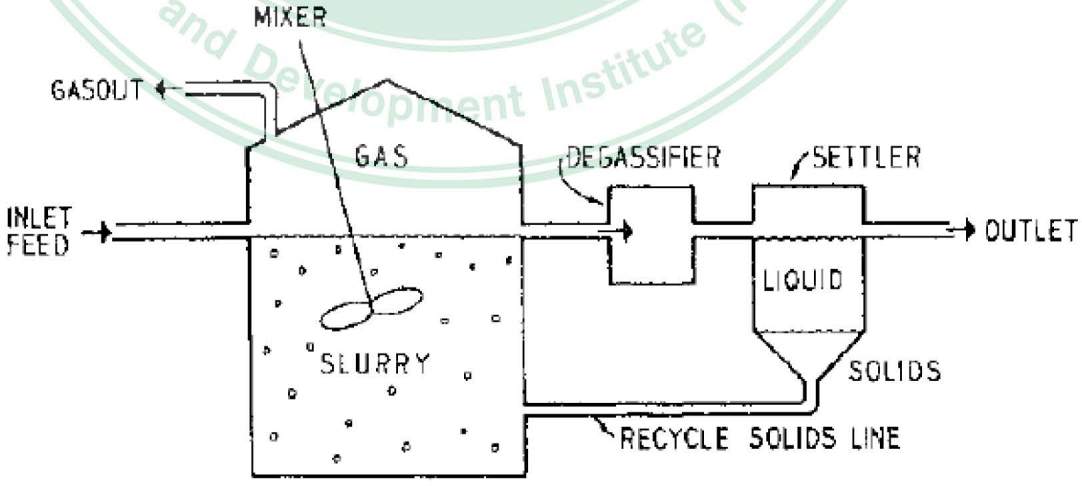
กรองไร้ออกซิเจนจึงไม่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานกับระบบขนาดใหญ่ แต่ก็มีการใช้งานอยู่บ้างกับระบบขนาดเล็กและขนาดกลาง



ภาพที่ 1 รูปภาพแสดงลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง

2. ระบบหมักแบบถังย่อยแบบสัมผัส (AC, Anaerobic Contact)

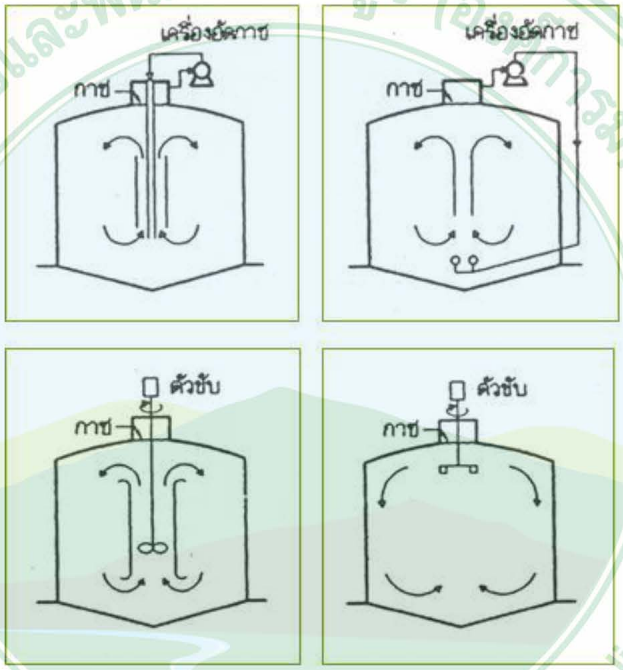
ถังย่อยแบบสัมผัส ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ถังย่อยแบบสัมผัสนี้อาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน ดังภาพที่ 2 โดยถังกวนสมบูรณ์จะมีถังตกตะกอนขนาดใหญ่ทำหน้าที่แยกแบคทีเรียออกจากน้ำเสียเพื่อนำตะกอนจุลินทรีย์มาหมุนเวียนกลับเข้าถังกวนสมบูรณ์ใหม่ เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ ถังกวนสมบูรณ์จะเลี้ยงแบคทีเรียชนิด Floc Sludge ให้มีความเข้มข้นสูงประมาณ 10,000 - 30,000 มก./ลิตร โดยทั่วไประบบจะสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงสุด 6 กก.COD/ลบ.ม. -วัน จากการที่ระบบต้องมีถังตกตะกอนและการหมุนเวียนตะกอนกลับ ทำให้ถังหมักมีค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดใกล้เคียงกับระบบเติมอากาศ ซึ่งจะแพงกว่าระบบไร้ออกซิเจนประเภทอื่นๆ อีกทั้งมีปัญหาในการควบคุมให้ Floc Sludge ตกตะกอน ระบบนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในหมู่วิศวกรผู้ออกแบบคนไทย ทำให้มีใช้กันน้อยมาก ส่วนในต่างประเทศนิยมใช้กันมากในอดีต



ภาพที่ 2 รูปภาพแสดงลักษณะการทำงานของถังย่อยแบบสัมผัส

3. ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ CSTR (CSTR: Completely Stirred Tank Reactor)

ระบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้อากาศ (Continuous Stirred Tank Reactor) เป็นการเรียกตามลักษณะของสสารที่อยู่ภายในถังซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) ถังปฏิกรณ์แบบนี้ถือเป็นถังปฏิกรณ์อุดมคติ (Ideal Reactor) แบบหนึ่งและเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่เก่าแก่ที่สุดประเภทหนึ่งด้วย โดยถังกวนสมบูรณ์นี้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในน้ำเสียและจากถังย่อยสลัดจ์ (Septic Tank)โดยมีการติดตั้งใบกวน เช่น แบบ Paddle แบบสกรู (Screw) หรือใช้ Gas Diffuser ในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารในถังปฏิกรณ์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้น เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High Concentration) มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษปนอยู่ (Toxic Wastewater) ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น



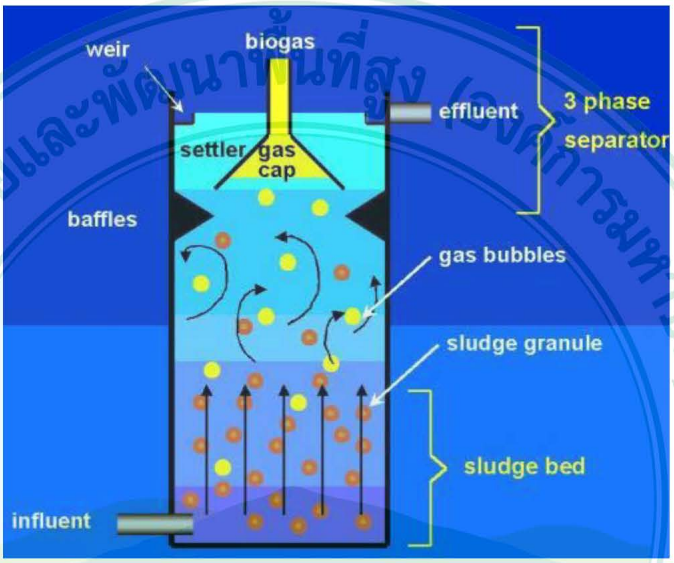
ภาพที่ 3 รูปภาพแสดงลักษณะการทำงานระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ CSTR

4. ระบบถังปฏิกรณ์แบบ UASB (UASB :Up flow Anaerobic Sludge Blanket)

ลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือน้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถัง ตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเรียกว่า Sludge Bed เป็นตะกอนเม็ด เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบา ช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gas-Solid Separator)

ระบบ UASB เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้สารตัวกลาง มีทิศทางไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยแบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนได้ดี เม็ดสลัดจ์ (กากตะกอน) ขนาดใหญ่จะจมตัวอยู่ข้างล่างส่วนเม็ดขนาดเล็กจะอยู่ข้างบน เม็ดเล็กที่สุดจะลอยตัวอยู่เป็นชั้นสลัดจ์ เม็ดบางส่วนอาจหลุดขึ้นถึงตอนบนของถัง

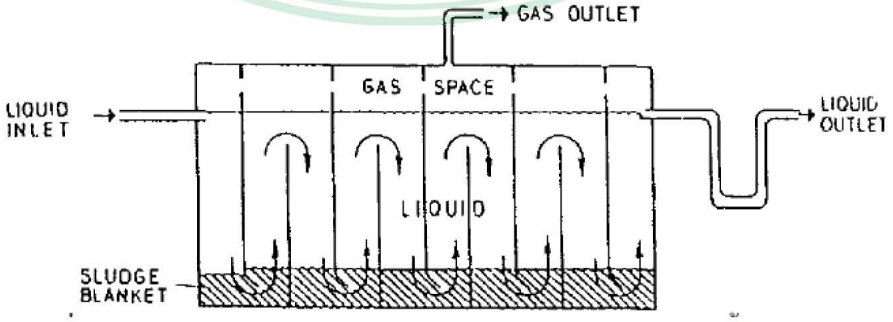
ตอนบนของระบบยูเอเอสบีมีอุปกรณ์ที่คล้ายถังตกตะกอน มีหน้าที่แยกเม็ดตะกอนขนาดเล็กและก๊าซชีวภาพออกจากน้ำ เรียกว่า Gas Solids Separator (GSS ทำหน้าที่แยกก๊าซ ตะกอนแบคทีเรีย และน้ำทิ้งออกจากกัน น้ำทิ้งจะระบายไปยังระบบ Secondary Treatment ก๊าซชีวภาพจะถูกรวบรวมส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีมีเทน (CH_4) อยู่ประมาณร้อยละ 50-85 ระบบสามารถรับ COD loading ได้สูงถึง 12 กก.COD/ลบ.ม-วัน มีผลทำให้ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียของระบบสั้นลงอย่างมาก เหลือเพียง 4 - 160 ชม. ระบบมีความสามารถในการส่งผ่านอาหารได้ดี เนื่องจากเม็ดตะกอนแบคทีเรียประกอบด้วยแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทนเกาะกันอยู่เป็นเม็ด และสามารถย่อยสลายมวลสารที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี โดยสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นถึง 100,000 มก./ล. ได้



ภาพที่ 4 รูปภาพแสดงลักษณะการทำงานของระบบถังปฏิกรณ์ UASB

5. ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Baffled Reactor)

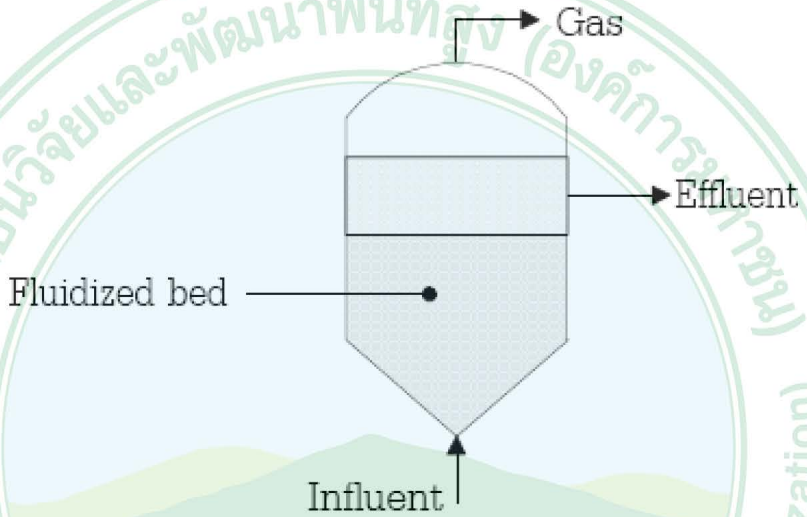
ระบบน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถัง หรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะมีลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2 - 0.4 เมตร/ชม. ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบ UASB ระบบนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง แต่ระบบมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบ UASB



ภาพที่ 5 รูปภาพแสดงลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์แบบแผ่นกั้น

6. ระบบถังหมักแบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB, Anaerobic Fluidized Bed)

ระบบนี้เป็นระบบที่ได้พัฒนามาจากระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) มีการดัดแปลงระบบโดยเปลี่ยนตัวกลางที่เป็นชนิดติดอยู่กับที่ มาใช้ตัวกลางที่สามารถเคลื่อนไหวได้และมีพื้นที่ผิวมากๆ ซึ่งตัวกลางดังกล่าวจะเป็นทราย, Anthracite, Activated Carbon หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงเม็ดทราย การทำงานของระบบจะให้ตัวกลางมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาจึงไม่เกิดการอุดตัน และระบบยังมีพื้นที่ผิวของฟิล์มจุลชีพต่อหน่วยปริมาตรมากกว่าถังกรองไร้ออกซิเจนอีกด้วย ซึ่งทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่า แต่ข้อเสียของระบบนี้คือ ต้องสิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากในการที่จะทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตัวกลาง และที่สำคัญที่สุดคือ มีการนำระบบมาใช้งานจริงในระดับ Full Scale น้อยมากในประเทศไทย



ภาพที่ 6 รูปภาพแสดงลักษณะการทำงานของถังหมักแบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอย

การกำจัดขยะชุมชนในพื้นที่ต่างๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งที่ถูกต้องควรจะเป็นการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) โดยสามารถผลิตก๊าซจากหลุมขยะ (Landfill Gas) เป็นผลพลอยได้ได้ด้วย แต่เทคโนโลยีการผลิตก๊าซจากหลุมขยะในเมืองไทยในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาด้านคุณภาพและปริมาณซึ่งไม่คงที่ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น เทคโนโลยีที่นิยมมีดังนี้

1. การกำจัดแบบแบบฝังกลบ (Landfill)

โดยการฝังกลบขยะมูลฝอยจะทำให้เกิดการย่อยสารอินทรีย์ทำให้เกิดก๊าซต่างๆ โดยก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟง่ายและเบากว่าอากาศ เมื่อสะสมอยู่ใต้ดินมากๆ จะมีแรงดันเพื่อระบายอากาศสู่บรรยากาศนอกกองขยะมูลฝอย ประกอบกับในดินที่กลบฝังขยะมูลฝอยจะมีอุณหภูมิสูง ถ้าไม่มีการระบายก๊าซที่ดีพอ อาจทำให้เกิดการระเบิดได้ง่าย สภาวะปกติทั่วไปก๊าซชีวภาพที่เกิดจาการฝังกลบมูลฝอยจะมีการระบายสู่บรรยากาศ 2 วิธี คือ อาศัยแรงดันก๊าซ และการแพร่ การควบคุมการเคลื่อนที่ของก๊าซสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

- ทำเป็นทางระบายก๊าซโดยใช้กรวด ทรายปิดทับขยะมูลฝอย ก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกทางช่องว่างเนื่องจากกรวดและทรายจะมีช่องว่าง

- การใช่ท่อระบายก๊าซออกท่อนี้ซึ่งจะต่อเข้ากับก๊าซที่ปิดทับขยะมูลฝอย แต่มีข้อควรระวังคือท่อที่ต่อนั้นไม่ควรอยู่ใกล้สิ่งก่อสร้าง

2. การหมักขยะมูลฝอยอินทรีย์ด้วยถังไร้อากาศ (Anaerobic Digester)

เป็นกระบวนการย่อยสลายให้มีขนาดเล็กลงโดยขั้นตอนแรกจะถูกส่งมายังถังเตรียมเพื่อเพิ่มความชื้นตามที่กำหนด ปรับค่ากรด-ด่างให้อยู่ช่วงประมาณ 6-7 ให้ควบคุมอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส และดำเนินส่งไปยังถังหมักปฏิกิริยาชีวภาพ โดยจะย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ไร้อากาศ โดยการควบคุมการไหลของส่วนผสมช้าๆ และต่อเนื่อง มีใบพัดกวนเข้ากันเพื่อป้องกันการเกิดฟองและวัสดุลอยอยู่เหนือผิวหมักประมาณ 20 วันหลังจากนั้นจะถูกส่งไปยังถังพักเพื่อลดอุณหภูมิและผสมกับโพลิเมอร์ และนำไปรีดน้ำออกโดยเครื่องรีดน้ำ กากที่ได้จะถูกอบโดยใช้ความร้อนจากเครื่องปั่นไฟเพื่อทำการฆ่าเชื้อและปรับความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์

ก๊าซที่เกิดขึ้นในฟาร์มส่วนหนึ่งมีผลต่อสภาพอากาศและบรรยากาศของโลก เพราะเป็นก๊าซเรือนกระจก (GHGs) การผลิตก๊าซชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดของเสียภายในฟาร์ม ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แก่ผลิตกระแสไฟฟ้า ทดแทนก๊าซหุงต้ม และสามารถใช้กับหัวกกลูกสุกรทดแทนก๊าซชีวภาพได้อีกด้วย

รูปแบบเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการส่งเสริมให้นำมาใช้จัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่ออนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ได้แก่

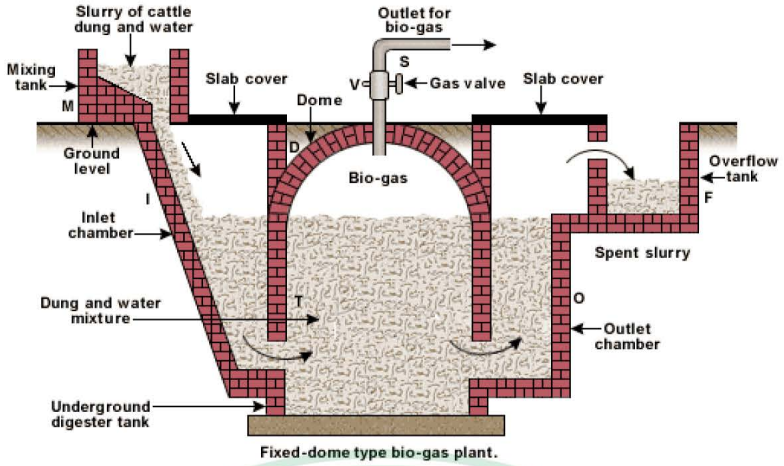
1. บ่อโดมคงที่ (Fixed Dome)

เป็นบ่อหมักก๊าซที่ส่งเสริมให้มีการใช้ในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมฝังอยู่ใต้ดิน ส่วนที่เก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดม ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์ม เนื่องจากถังหมักอยู่ใต้ผิวดิน จึงทำให้สามารถระบายน้ำมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง อุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ทำให้การหมักของมูลสัตว์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับข้อเสียของระบบนี้คือ ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูงการทำงานและการสร้างบ่อหมักจะค่อนข้างลำบาก และในบริเวณส่วนโค้งของถังหมักจะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญสูง ส่วนประกอบของบ่อโดมคงที่มีดังนี้

- บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมลงในบ่อหมัก

- บ่อหมัก (Digester Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำจากบ่อเติมมูลสัตว์มาหมักให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซอื่นๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้มูลสัตว์และน้ำที่อยู่ด้านล่างของบ่อหมักไหลไปอยู่ก้นบ่อ

- บ่อล้น (Expansion Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมัก โดยการทำงานจะเป็นระบบไดนามิก คือเมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันมูลสัตว์และน้ำที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้น เมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักเพื่อผลักดันก๊าซให้มีความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้

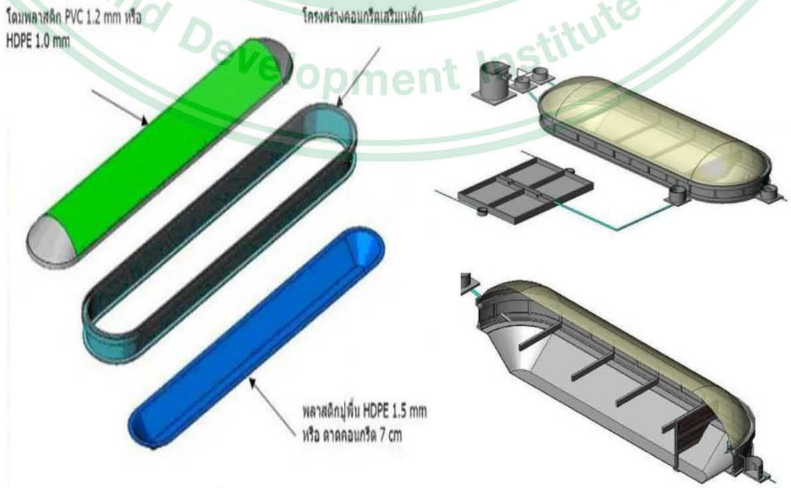


ภาพที่ 7 รูปภาพแสดงลักษณะบ่อโดมคงที่

2. บ่อหมักแบบราง

มีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตที่มีการบังคับการไหลของน้ำเสียให้เป็นแบบทิศทางเดียว ด้านบนของบ่อหมักรางจะติดตั้งโดมพลาสติก PVC หรือ HDPE เพื่อทำหน้าที่เก็บกักก๊าซชีวภาพสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ ภายในบ่อหมักรางจะมีการติดตั้งท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพเพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ การเดินระบบบ่อหมักรางจะต้องมีการดึงกากที่ผ่านการย่อยสลายสมบูรณ์ประมาณวันละ 1% ของปริมาตรบ่อหมักราง เพื่อป้องกันการสะสมของตะกอนในระบบมากเกินไป จึงทำให้ระบบบ่อหมักรางไม่จำเป็นต้องขุดลอกเหมือนกับระบบ Anaerobic Covered Lagoon โดยตะกอนที่สูบออกมาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะถูกนำไปตากให้แห้งในลานตากตะกอน อีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปหมุนเวียนกลับสู่บ่อรวบรวมน้ำเสีย บ่อหมักรางนิยมสร้างจากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยสามารถสร้างได้ทั้งบนดินหรือใต้ดิน โดยจะต้องทำให้มูลสัตว์ไหลเข้าสู่ระบบได้ง่าย ซึ่งส่วนประกอบสำคัญประกอบด้วย

- โดมพลาสติก ทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บก๊าซ นิยมใช้พลาสติกพีวีซีหนา 1.2 มม. หรือพลาสติก HDPE หนา 1.0 มม.
- โครงสร้างผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก
- พลาสติกปูพื้นหรือการดาดด้วยคอนกรีต อาจใช้พลาสติก HDPE หนา 1.0-1.5 มม. ปูพื้นหรืออาจใช้การดาดคอนกรีตหนา 7 ซม. โดยก้นบ่อหมักรางต้องมีความลาดชันประมาณ 1%



ภาพที่ 8 รูปภาพแสดงลักษณะถังหมักแบบราง

3. บ่อหมักน้ำเร็วน้ำข้น (H-UASB : High suspension solids- Up flow Anaerobic Sludge Blanket)

เป็นระบบที่มีการกวนผสมของตะกอนจุลินทรีย์ให้เข้ากับน้ำเสียโดยการใช้การกระจายน้ำเสียเข้าที่ด้านล่างของระบบ โดยตะกอนจุลินทรีย์จะแขวนลอยในน้ำเสียเพื่อให้มีการสัมผัสกับน้ำเสียอยู่ตลอดเวลา บ่อหมักดังกล่าวได้นำมาใช้กับฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ซึ่งสามารถทำงานได้ดี

ภาพที่ 9 รูปภาพแสดงลักษณะบ่อหมักเร็วน้ำข้น

4. บ่อหมัก MCL (MCL : Modify Covered Lagoon Digester)

เป็นบ่อหมักย่อยที่ลักษณะการไหลของน้ำเสียเป็นแบบตามแนวยาว (Horizontal Flow) ที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะการหมักย่อยแบบต่อเนื่องกันไป ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นได้จะถูกกักเก็บเอาไว้ใต้ผืนพลาสติกคลุมบ่อก๊าซชีวภาพนี้ ซึ่งพร้อมนำไปใช้ได้ทันที กากตะกอนที่ผ่านการหมักย่อยแล้วจะไหลไปตามแนวการเคลื่อนตัวของน้ำเสียตามแนวยาวและถูกระบายออกที่ด้านท้ายของบ่อนี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยชีวภาพต่อไป ด้านท้ายบ่อหมักก๊าซชีวภาพจะติดตั้งอุปกรณ์แยกกากตะกอนออกจากน้ำเสียส่วนใส เพื่อระบายเฉพาะน้ำเสียส่วนใสออกจากระบบก๊าซชีวภาพเท่านั้น โดยระบบดังกล่าวจะมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำเสียและตะกอน เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนตะกอนและน้ำเสียเพื่อรักษาสภาวะสมดุลของการย่อยสลาย ทำให้เดินระบบได้ง่าย และระบบมีเสถียรภาพ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบครัวเรือน

ปัจจุบันประเทศไทยมีพัฒนาการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในครัวเรือนโดยออกแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมแบบครัวเรือน วิธีการทำและอุปกรณ์เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถทำเองได้มีดังนี้

1. ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบ 200 ลิตร

1.1 ส่วนประกอบของถังหมักและถังเก็บก๊าซชีวภาพ ได้แก่

- ถังพลาสติกปิดฝา ขนาด 200 ลิตร จำนวน 1 ใบ ทำหน้าที่ในการบรรจุมูลสัตว์และเศษอาหารเพื่อย่อยสลายจนเกิดก๊าซ โดยมีช่องใส่วัตถุดิบ ท่อน้ำล้นเพื่อควบคุมปริมาตรภายในและท่อระบายด้านบนจะมีสายยางต่อเพื่อลำเลียงก๊าซที่ผลิตได้ไปสู่ถังเก็บ

- ถังพลาสติกเปิดฝาบน ขนาด 200 ลิตร จำนวน 1 ใบ เป็นถังเก็บก๊าซถังหงายโดยจะตั้งหงายเพื่อบรรจุน้ำสำหรับเป็นตัวกันไม่ให้ก๊าซรั่วออกนอกถังเก็บ ถังจะตั้งหงายเพื่อให้ถังใบ

เล็กอีกถังครอบ ในส่วนของคุณลุงเสาร์แก้ว ดัดแปลงใช้วงบ่อซีเมนต์ ขนาด 80 เซนติเมตร 2 วง ฉาบปูนแทน

- ถังพลาสติกเปิดฝาบน ขนาด 120 ลิตร จำนวน 1 ใบ เป็นถังเก็บก๊าซถังคว่ำ โดยจะตั้งคว่ำลงภายในถังเก็บก๊าซ ขนาด 200 ลิตร หรือวงบ่อที่ใส่น้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวกักก๊าซไวโดยตัวถังจะลอยขึ้นเมื่อก๊าซถูกลำเลียงมาจากถังหมัก ด้านบนจะมีท่อลำเลียงก๊าซไปจุดใช้งานต่อไป ก่อนจะเริ่มใช้งานให้ใส่น้ำลงไปในถังใบที่ 2 ถังเก็บก๊าซถังหงายให้เต็ม แล้วสวมถังใบที่ 3 หรือถังเก็บก๊าซถังคว่ำลงในถังใบที่ 2 ให้จมลงไปในน้ำพอดีก้นถัง ต่อสายยางจากถังหมักมายังถังเก็บก๊าซ และต่อสายยางจากถังเก็บก๊าซไปยังเตาแก๊สเพื่อไว้ใช้งานต่อไป

1.2 ส่วนประกอบสำหรับท่อน้ำล้นและท่อระบายของถังหมักก๊าซชีวภาพ ได้แก่
- ข้อต่อเกลียวนอก ขนาด 1 นิ้ว 1 อัน
- ข้องอเกลียวใน ขนาด 1 นิ้ว
- ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว ตัดยาว 2 นิ้ว 1 อัน
- 3 ทาง ขนาด 1 นิ้ว 2 อัน
- ฝาปิดพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว 1 อัน
- ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว ตัดประมาณ 40 เซนติเมตร 1 อัน
- ท่อพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว ตัดประมาณ 30 เซนติเมตร 1 อัน

1.3 ส่วนประกอบสำหรับช่องเติมและท่อส่งก๊าซของถังหมัก ได้แก่
- ท่อพีวีซีขนาดยาว 1 เมตร เจาะช่องกลางท่อขนาดกว้าง 0.5 ของท่อและยาว 15 เซนติเมตร ตัดให้ช่องห่างจากปากท่อ 32 เซนติเมตร
- ข้องอเกลียวนอก ขนาด 4 หุน 1 อัน
- หัวต่อสายยางเกลียวนอก ขนาด 4 หุน 1 อัน
- ส่วนประกอบสำหรับท่อนำก๊าซของถังเก็บก๊าซ
- ข้อต่อ 3 ทาง ขนาด 4 หุน 1 ตัว
- หัวต่อสายยางเกลียวนอก ขนาด 4 หุน 2 อัน

1.4. ส่วนประกอบปลีกย่อยอื่นๆ ได้แก่
- กิ๊บยึดท่อ ขนาด 1 นิ้ว 1-2 อัน
- กาวซีเมนต์ (กาวแห้งเร็ว 2 หลอดคู่) 1 ชุด
- กาวซิลิโคลน ชนิดใส 1 หลอด
- สายยาง 3 หุน ยาว 5 เมตร 1 เส้น

วิธีการประกอบถังหมักก๊าซ

นำถังใบที่ปิดสนิทเจาะรูขนาดเท่ากับเกลียวของข้อต่อเกลียวนอก 4 หุน บริเวณที่เรียบๆ บนฝาถัง เจาะรูถังขนาดเท่าเกลียวนอกของข้อต่อตรงขนาด 1 นิ้ว เจาะบริเวณข้างถังสูงจากก้นถังประมาณ 3 นิ้ว เนื่องจากฝาถังหมักปิดสนิทต้องใช้แท่งพีวีซี ติดข้อต่อเกลียวนอกขนาด 1 นิ้ว ไว้ที่ปลายแล้วแยงจากช่องเติมอาหารผ่านไปติดที่ข้างถังด้านใน โดยให้ปลายเกลียวพ้นรูถังออกมา ทากาวบริเวณที่พ้นผ่านรูออกมา และทากาวที่ปากท่อข้องอเกลียวใน 1 นิ้ว จึงนำมาประกอบกันในส่วนของส่วนประกอบท่อน้ำล้น โดย 3 ทางตัวบน ต้องสูงได้ 75 เปอร์เซ็นต์ของตัวถัง จากนั้นยึดด้วยกิ๊บยึดท่อก็เป็นอันเสร็จในส่วนท่อน้ำล้น จากนั้นนำข้องอเกลียวขนาด 4 หุน มาทากาวที่ปากท่อหมุนเกลียวเข้ารูที่ใช้ลำเลียงก๊าซด้านบนของถังหมัก และติดหัวต่อสายเกลียวนอก ขนาด 4 หุน ที่ข้องอเพื่อจะใช้ต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สายยางต่อไป ประกอบท่อพีวีซี 3 นิ้ว ส่วนที่เป็นที่เติมวัตถุดิบด้านบนของถัง โดยหย่อนลงในถังด้านบนที่เจาะรูไว้ หันช่องเติมที่เจาะเข้าด้านในถัง ทากาวขอบท่อให้ทั่วเพื่อกันอากาศเข้า

วิธีการประกอบถังเก็บก๊าซ

เจาะรูที่ก้นถังพลาสติกขนาด 120 ลิตร 1 รู ขนาดเท่ากับเกลียวของข้องอเกลียวนอก ขนาด 4 หุน ติด 3 ทาง ขนาด 4 หุน ที่ก้นถังด้านนอกอัดกาวให้ทั่ว ใช้เกลียวหมุนให้แน่น ต่อหัวต่อสายยางเกลียวนอก ขนาด 4 หุน ทั้ง 2 ด้าน ของรู 3 ทาง จากนั้นต่อสายยางขนาด 3 หุน เข้าหาถังหมัก และถังเก็บก๊าซความยาวตามต้องการ

ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ

นำมูลสัตว์แห้งหรือเปียกผสมกับน้ำแล้วใส่ลงไปในถังหมักปริมาตร 25 เปอร์เซ็นต์ของตัวถัง ใช้ท่อพีวีซีกระทุ้งให้มูลสัตว์กระจายตัวให้ทั่วถึง หมักมูลสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในถังประมาณ 10-15 วัน หลังจากนั้นเติมน้ำลงไปให้ถึงระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ของถัง ซึ่งจะอยู่ที่ระดับน้ำล้นของถัง แล้วจึงสามารถเติมเศษอาหารหรือมูลสัตว์เพื่อผลิตก๊าซต่อไปได้ ในระยะแรกเติมวัตถุดิบแต่น้อยทุกวันที่มีการใช้ก๊าซประมาณ 1-2 กิโลกรัม แต่ไม่ควรเกิน 4 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อใช้ไปนานๆ สามารถเติมได้มากขึ้นแต่ไม่เกิน 10 กิโลกรัม เมื่อเติมลงช่องให้ใช้ท่อพีวีซีกระทุ้งขึ้นลงให้เศษอาหารกระจายตัว กระบวนการย่อยเพื่อผลิตก๊าซจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้นชุดถังเก็บก๊าซที่คว่ำอยู่จะเริ่มลอย ก๊าซที่เกิดมาชุดแรกให้ปล่อยทิ้งก่อนเพราะจะจุดไฟไม่ติดหรือติดยาก เพราะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มาก เมื่อหมักจนเกิดก๊าซตั้งแต่ถังที่ 2 ต่อไปจึงสามารถจุดไฟใช้งานได้

การดูแลรักษา

ใช้งานจนถึงช่วง 7 เดือน ถึง 1 ปี ให้ปล่อยกากออกทางช่องระบายซึ่งสามารถสังเกตได้จากเมื่อเติมมูลสัตว์หรือเศษอาหารเข้าไปแล้วไม่ค่อยล้น แสดงว่ามีเศษไปตกตะกอนอุดตัน หรือดูได้จากอัตราการเกิดก๊าซน้อยลง แสดงว่ามีการอุดตันเช่นเดียวกัน ไม่ควรใส่เศษอาหารเปรี้ยวในถังหมักเพราะจะทำให้แบคทีเรียไม่ทำงาน เนื่องจากค่าความเป็นกรดด่างไม่เหมาะสม ในถังเมื่อมีค่ากรดเกินไปจะสังเกตได้จากการเกิดก๊าซน้อย และพยายามอย่าให้ถังกระทบกระเทือนมากเพราะกาวจะกะเทาะออกได้จนเกิดการรั่ว เมื่อเกิดก๊าซให้ตรวจสอบรอยรั่วและสามารถใช้กาวทาซ่อมได้

2. ถังหมักก๊าซชีวภาพจากโอ่งน้ำ

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่

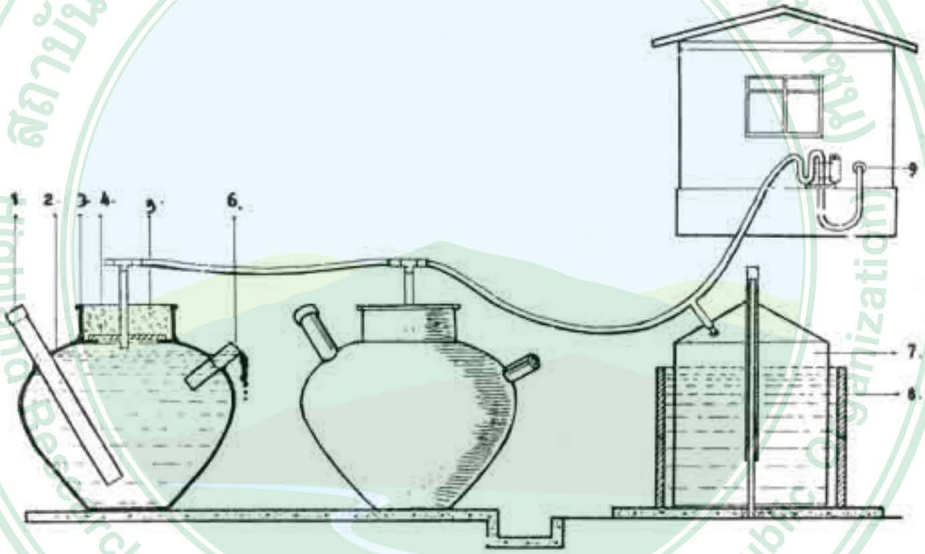
- ที่หมักมูลสัตว์
  1. โอ่งขนาด 1.20-1.60 ลูกบาศก์เมตร
  2. ถังส้วมหล่อด้วยคอนกรีต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง .80 เมตร สูง .40 เมตร หนา 3 ซม. 2 ถัง
  3. ฝาปิดโอ่งหล่อด้วยคอนกรีต เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับปากโอ่ง หนา 4 ซม. 2 ฝา
  4. ท่อซีเมนต์ใยหิน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาว 1.50 และ 0.60 เมตร อย่างละ 2 ท่อน
  5. เหล็กเส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาว 1 เมตร 1 ท่อน
- ถังเก็บก๊าซ
  1. แผ่นเหล็กขนาดกว้าง 4 ฟุต ยาว 8 ฟุต หนา 1.5 มม. 2 แผ่น
  2. ท่อเหล็กเหนียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 1.8 เมตร 1 ท่อน
  3. เหล็กเส้นสำหรับทำโครงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาว 10 เมตร 2 ท่อน

4. สีทารองพื้น สีแดง 1/2 แกลลอน
5. สีทาชั้นนอก 1/2 แกลลอน
6. ทินเนอร์ 1 แกลลอน
7. วัสดุเชื่อมเหล็กขนาด 2.6 มม. 1 ท่อน

- ที่ขังน้ำ

1. ถังส้วมหล่อด้วยคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 เมตร สูง .50 เมตร หนา 3 ซม. 3 ถัง
2. ท่อเหล็กเหนียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 1/2 นิ้ว ยาว 1.5 เมตร 1 ท่อน และขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 5 เมตร 1 ท่อน
3. เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ยาว 2 เมตร 1 ท่อน

- ท่อที่ใส่มูลสัตว์เข้าถังนี้จะอยู่ในระดับน้ำ ส่วนท่อระบายกากนั้นจะอยู่เหนือระดับน้ำ โอ่งนี้จะต้องปิดให้ดีและมีท่อเหล็กต่อออกมาทางด้านบน จากท่อเหล็กนี้จะมีสายยางเชื่อมโยงไปยังถังเก็บและเตาอีกทีหนึ่ง จำนวนโอ่งที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณมูลสัตว์และความต้องการในการใช้ก๊าซ อนึ่ง มูลสัตว์ที่นำมาใช้จะต้องผสมน้ำในสัดส่วนที่เท่ากันก่อนใส่ในถังหมัก และเพื่อเร่งให้เกิดก๊าซเร็วขึ้นให้ใส่ไม้รวกตัดเป็นท่อนสั้นๆ ยาว ประมาณ 2 ซม. จำนวนประมาณ 6,000 ท่อนลงไปด้วย



ภาพที่ 10 รูปภาพแสดงลักษณะถังหมักก๊าซชีวภาพจากโอ่งน้ำ

3. ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักในถุงพลาสติกพีวีซี

การทำบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักในถุงพลาสติกพีวีซี บ่อหมักในรูปแบบของ รศ.ดร. สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ และคณะมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเหมาะสำหรับเกษตรกรรายย่อย เนื่องจากลงทุนต่ำ ประมาณ 4,000 บาท เกษตรกรสามารถจัดทำได้เอง และก๊าซที่ได้มีปริมาณเพียงพอสำหรับใช้หุงต้มในครัวเรือน

อุปกรณ์ที่ใช้

1. พลาสติกพีวีซีสีดำ หนา 0.25 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 1.8 เมตร จำนวน 3 แผ่น
2. ท่อพีวีซี 4 นิ้ว ยาว 120 ซม. 2 อัน
3. กาวอีแว็ป

4. เกลียวนอก-ใน พีวีซี ¾- 1 นิ้ว จำนวน 1 ชุด
5. แผ่นยางในรถจักรยานยนต์ ขนาด 3 นิ้ว 2 แผ่น
6. แผ่นพลาสติกแข็งขนาด 3 นิ้ว 2 แผ่น (กระป๋องน้ำมันเครื่อง)
7. ท่อ พีอี หรือท่อ พีวีซี-ข้อต่อ ขนาด ¾ -1 นิ้ว
8. สามทาง พีวีซี ¾ - 1 นิ้ว จำนวน 1 อัน
9. ขวดดักจับไอน้ำ 1 ใบ
10. วาล์วทองเหลือง 4 หุน จำนวน 1 อัน
11. หัวก๊าซ 1 หัว
12. สายส่งก๊าซความยาว 2 เมตร
13. ปูนซีเมนต์ 1 ถุง

ขั้นตอนการทำ

1. ขุดหลุมขนาด 2 x 4 เมตร ลึก 1 เมตร โดยขุดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู
2. นำแผ่นพลาสติกพีวีซี 3 แผ่นมาต่อเข้าด้วยกันด้วยกาวอีแว็ปให้เป็นถุงลักษณะคล้ายไส้กรอก
3. เจาะรูด้านบนสำหรับประกอบชุดต่อสายส่งก๊าซ
4. มัดด้านหัวและด้านท้ายเข้ากับท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ยาว 1.2 เมตร
5. ทำให้พองขึ้นด้วยไอเสียรถยนต์
6. นำถุงพลาสติกลงในหลุมและเติมน้ำให้ท่วมปลายท่อทั้งสองด้าน
7. ทำวงบ่อมาต่อกับท่อพีวีซีสำหรับเติมมูลสัตว์ และทำบ่อล้นสำหรับระบายมูลทางด้านตรงข้าม โดยให้อยู่ในระดับต่ำกว่าทางเข้า
8. ต่อท่อสำหรับส่งก๊าซจากถุงหมักไปที่หัวเตา
9. ติดตั้งขวดปรับแรงดันและดักไอน้ำที่สายท่อส่งก๊าซ
10. ต่อสายส่งก๊าซเข้ากับหัวเตา
11. ใส่มูลสัตว์และน้ำ ในสัดส่วน 1:1 ถึง 1:4 ประมาณวันละ 24 ลิตร หมักไว้ประมาณ 2-3 สัปดาห์ จะเกิดก๊าซสามารถใช้หุงต้มได้

ภาพที่ 11 รูปภาพแสดงลักษณะถังหมักก๊าซชีวภาพแบบหมักในถุงพลาสติกพีวีซี

นอกจากการนำมูลสัตว์เป็นวัสดุหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว สุชนและคณะ (2554) ได้รายงานว่า การใช้หญ้าแฝก ใบกระถิน เศษผัก มูลสุกร มูลสุกรผสมเศษผัก สัดส่วน 1:1 (DM) มูลสุกรผสมข้าวโพดบด 10% DM และมูลสุกรผสมกากถั่วเหลือง 10% DM เป็นวัตถุดิบในการหมัก ผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากมูลสุกรผสมกากถั่วเหลือง 10% DM มีค่าสูงกว่ามูลสุกรผสมข้าวโพดบด 10% DM มูลสุกร มูลสุกรผสมเศษผักในสัดส่วน 1:1 (DM) หญ้าแฝก ใบกระถิน และเศษผัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (7.43 vs 6.71, 6.35, 5.59, 3.77, 3.60 และ 3.47 ลิตร ตามลำดับ) ทั้งนี้หญ้าแฝก ใบกระถินและเศษผัก แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุหมักที่ต่างกัน

ชนิดและสัดส่วนของวัสดุหมัก	ปริมาตรบ่อหมัก (ลิตร)	ปริมาณของแข็ง (%)	ปริมาณก๊าซ (ลิตร)
หญ้าแฝก	5.00	3.00	3.77^{d}
ใบกระถิน	5.00	3.00	3.60^{d}
เศษผัก	5.00	3.00	3.47^{d}
มูลสุกร	5.00	3.00	6.35^{b}
มูล+เศษผัก (1:1 DM)	5.00	3.00	5.59^{c}
มูลสุกร+ข้าวโพดบด 10% DM	5.00	3.00	6.71^{b}
มูลสุกร+กากถั่วเหลือง 10% DM	5.00	3.00	7.43^{a}

a-d Means with the same letter are not significantly different (P<0.01)

ก๊าซที่ไม่พึงประสงค์

Persson (2007) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ gasoline ต้องมี CO_2 น้อยกว่า 20% ซัลเฟอร์ต่ำกว่า 23 mg/Nm^3 มีฝุ่นละอองต่ำกว่า 1 µm น้ำน้อยกว่า 32 mg/Nm^3 ออกซิเจนต่ำกว่า 1 Vol % และ CH_4 มากกว่า 92%

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นสารที่มีพิษ หรือก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนโลหะและมีกลิ่นเหม็น การขจัดทำได้หลายวิธี เช่น การให้ก๊าซไหลผ่านฝอยเหล็ก (Iron sponge bed) ซึ่งปัญหาของการใช้ตัวกรองที่ผ่านมา ก็คือ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากมีความสามารถในการกักเก็บซัลเฟอร์ได้น้อย ตัวกรองบางชนิดนอกจากนำกลับคืนมาใช้ใหม่ไม่ได้แล้ว ยังเกิดของเสียที่เป็นอันตรายอีกด้วย

การใช้ตัวกรองที่ได้จาก Ferric ions จับกับ Calcined diatomite สามารถลดปริมาณ H_2S ที่มีในก๊าซชีวภาพจาก 30,000 ppm ให้เหลือน้อยกว่า 0.2 ppm ในการกรองผ่าน 1 ตัวกรอง และเมื่อตัวกรองอิ่มตัวด้วย sulfides สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการเป่าลมผ่านตัวกรองนี้ ซึ่งสามารถดูดซับ H_2S ได้เฉลี่ย 32 mg/g ของตัวกรองต่อหนึ่งรอบการกรอง ข้อดีของตัวกรองชนิดนี้ คือ ไม่ติดไฟ ไม่เสี่ยงอันตรายจากการเผาไหม้ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสามารถนำกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ด้วยการเป่าลมผ่านเม็ด Ferric hydroxide ดังที่ได้กล่าวข้างต้น

Kaladjian (2003) ได้ศึกษาการผลิตเม็ด Ferric hydroxide จากการใช้ทรายเป็นแกนกลางในการจับกับ Ferric hydroxide โดยใช้ทรายใส่ในสารละลาย 1M $FeCl_3$ หลังทำให้แห้งแล้ว นำไปใส่ในสารละลาย 3M NH_4OH ทำให้แห้ง นำไปบรรจุในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ยาว 35 ซม. ซึ่งสามารถบรรจุเม็ดทรายที่เคลือบ Ferric hydroxide ได้ 600 cm^3 สามารถกรองแบคทีเรียในน้ำได้ถึง 99.9% จากรายงานของปวิตราและคณะ (2548) ได้กล่าวอ้างไว้ว่า การใช้ดินเบาจากจังหวัดลำปางเคลือบด้วย Ferric hydroxide สามารถดูดซับโลหะหนัก (สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม) ได้ถึง 92%

Thirunavukkarasu *et al.* (2003) รายงานว่า Granular ferric hydroxide (GFH) ที่ผลิตจากสารละลาย Ferric chloride โดยวิธี neutralization และ precipitation ด้วย Sodium hydroxide ทำให้ตกตะกอนโดยการปั่นเหวี่ยง และทำให้เป็นเม็ดด้วยขบวนการอัดแรงดันสูง GFH ที่ได้นี้จะประกอบด้วย Ferric oxihydroxide ปริมาณ 52-57% โดยน้ำหนัก ความชื้น 43-48% grain porosity 72-77% (Driehaus *et al.*, 1998) และขนาดของ GFH ที่เหมาะสม คือ 0.8-1.2 mm นอกจากนี้ การใช้ $Fe(NO_3)_3$ 180 กรัม และ NaOH 28 กรัม ทำปฏิกิริยากันในน้ำเดือด 500 มล. pH 8.0 จะได้ $Fe(OH)_3$ 50 กรัม (Brad, 1997) อย่างไรก็ดี Zicari (2003) รายงานว่า การใช้มูลโคแห้งบรรจุในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-6 นิ้ว ยาว 50 ซม. สามารถลด H_2S ได้ 80-90%

Kwang-Joong *et al.* (1998) รายงานว่า การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพ โดยใช้จุลินทรีย์ Thiobacliilus sp. IW ในบ่อปฏิกิริยาแบบ Three phase fluidized bed bioreactor ขนาดสูง 0.85-1.00 เมตร และจัดสภาพของบ่อปฏิกิริยาให้มีอุณหภูมิ 30 °C pH 7.0 สามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่อเนื่องได้ 88% จากก๊าซชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ 30-160 ppm อัตราการไหล 2-5 ลิตร/นาที ซึ่งเท่ากับสามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงสุด 1,000 มล/นาที แต่ถ้าวัดที่ 16 และ 52 ชั่วโมง จะกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 99 และ 95% ตามลำดับ

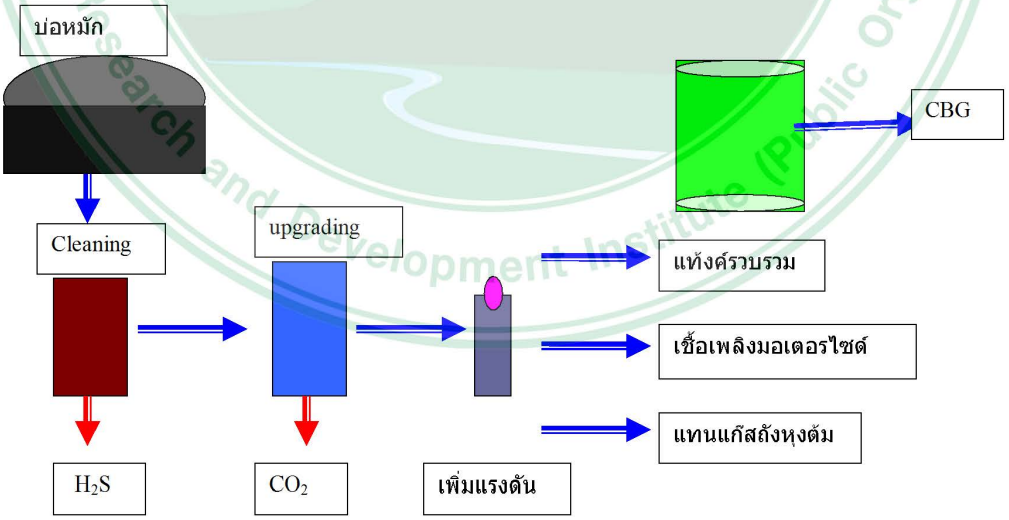
Zhuang *et al.* (1994) รายงานว่า การใช้ Packed-bubble tower โดยใช้จุลินทรีย์ *Thiobacillus ferrooxidans* เปลี่ยน Fe(II) เป็น Fe(III) ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 95% จากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไหลผ่าน 1.0-2.5 g/m^3 และเกิด Fe(II) oxidation rate ได้สูงถึง 1,170.87 mg/L.h

Rattanapan *et al.* (2008) รายงานว่า การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพ โดยใช้จุลินทรีย์ตรึงอยู่บนผิวของ granular activated carbon (GAC) สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 200-4,000 ppm มีอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 15-35 l/h ได้มากกว่า 98% หรือเท่ากับคิดเป็น 125 g H_2S/m^3 ของ GAC/h

Hee-Wook *et al.* (2009) รายงานว่า การใช้ Thermophillic microorganism (*Bacillus thermoleovorans*) ที่อุณหภูมิ 60 °C สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่า 95% ในก๊าซชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ 900 ppm

ดินเบา (Diatomaceous earth) เป็นวัตถุดิบที่ได้จากการทับถมของซากสัตว์ชนิดไดอะตอม ประกอบด้วยซิลิกา ดินเบาจากจังหวัดลำปาง ซึ่งมีซิลิกาในรูปไดอะตอมปริมาณ 30-50% มีผิวเป็นประจุลบ จะสามารถจับกับ $Fe(OH)_3$ ที่มีประจุเป็นบวกได้ดี (วิชัย, 2529)

เมื่อเร็วๆ นี้ สุชนและคณะ (2554) ได้รายงานว่า การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นยังไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้เพราะมีปัญหาเรื่องเครื่องยนต์ถูกกัดกร่อนจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการกักเก็บก๊าซที่ต้องใช้พื้นที่มาก เนื่องจากมีก๊าซ CO_2 ปนอยู่ 30-50% คณะผู้วิจัยชุดนี้จึงได้ศึกษาวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตสารตัวกลางในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เคลือบด้วย Ferric hydroxide และพัฒนาชุดกำจัดก๊าซ CO_2 เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนให้สูงกว่า 92% (ดังภาพที่ 1) ด้วยการผลิตเม็ด Ferric hydroxide ที่ได้จากการใช้วัสดุตัวกลางต่างกัน คือ ดินเบาและทราย เปรียบเทียบกับฝอยเหล็ก พบว่า ทรายมีประสิทธิภาพดีกว่าอีกสองชนิด เมื่อนำเม็ดที่ผลิตได้นี้ไปใส่ในชุดตัวกรองดูดซับ (ท่อ) ที่มีความยาวต่างกัน (50, 75 และ 100 ซม.) ท่อที่มีความยาว 100 ซม. สามารถดูดซับ H_2S ดีกว่าท่อที่มีความยาว 75 และ 50 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 3 และ 4) จากนั้นได้ทำชุดดูดซับแบบท่อคู่ขนาดผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1 เมตร ปรากฏว่า เหมาะสมกับระบบครัวเรือน ทั้งนี้เพราะสามารถลดกลิ่นเหม็นจาก H_2S ได้เกือบ 100% ประกอบกับเมื่อนำไปใช้งานจะใช้เพียงครั้งละ 1 ท่อ ใช้จนกระทั่งตัวกลางดูดซับตรงช่องด้านบน (สำหรับไว้สังเกต) เปลี่ยนเป็นสีดำแล้ว จึงสลับไปใช้อีกท่อหนึ่ง คือ ท่อที่ 2 ขณะเดียวกันให้เปิดวาล์วอากาศเข้าและออกของชุดเดิม (ท่อที่ 1) ไว้เพื่อให้ออกซิเจนช่วยทำปฏิกิริยา oxidation เปลี่ยนตัวกลางดูดซับให้กลับสู่สภาพเดิม ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้งหนึ่ง วิธีนี้จะทำให้ตัวกลางดูดซับมีสภาพพร้อมใช้งานได้ใหม่ โดยไม่ต้องนำออกมาตากแดดหรือสัมผัสอากาศภายนอกท่อ การทำงานก็จะหมุนเวียนกันไปเรื่อยๆ มีความสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ต้องเสียเวลา แรงงาน และไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม (ภาพที่ 2) ทั้งนี้ ชุดดูดซับดังกล่าวมีต้นทุนต่ำมาก ราคาจำหน่ายไม่เกิน 2,000 บาท/ชุด ส่วนการผลิตชุดกรอง CO_2 ได้ใช้แบบสเปรย์น้ำหมุนเวียนใน Column ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 1.80 เมตร ภายในบรรจุตาข่ายพลาสติกเป็นสื่อเพิ่มการกระจายของละอองน้ำให้สัมผัสกับก๊าซมากที่สุด และทำการแยก CO_2 ออกจากน้ำด้วยการพ่นน้ำเป็นละอองไหลผ่านอากาศในท่อเปิด หมุนเวียนกลับมาเข้าสู่ระบบด้วยปั๊มน้ำแบบแช่ขนาด 3/4 นิ้ว (ภาพที่ 3) เมื่อนำไปทดสอบกับก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสุกรแม่พันธุ์ จะช่วยลดได้ 17.7% จาก 74.5% กล่าวคือ สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนขึ้นเป็น 92.2%



ภาพที่ 12 การกำจัด H_2S และ CO_2 และแนวทางการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4 ผลของชนิดสารตัวกลางต่อการดูดซับ H_2S ในก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน

	แม่พันธุ์	สุกรขุน	นกกระทาไข่
ปริมาณ H_2S (ppm)			
ก่อนผ่านตัวกรอง	480.00	1,773.33	3,508.67
หลังผ่านตัวกรอง ยาว 50 ซม.			
ดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทา	101.67	408.33	913.33
ทรายผสมปูนซีเมนต์เทา	3.67	24.33	93.33
ฝอยเหล็ก	146.67	668.33	1,750.00
H_2S ที่ลดลง (%)			
ดินเบาผสมปูนซีเมนต์เทา	77.95^{b}	77.30^{b}	74.02^{bc}
ทรายผสมปูนซีเมนต์เทา	99.25^{a}	98.58^{a}	97.33^{a}
ฝอยเหล็ก	69.44^{c}	62.51^{d}	49.93^{e}

$^{a-c}$ Means with the same letter are not significantly different (P<0.01)

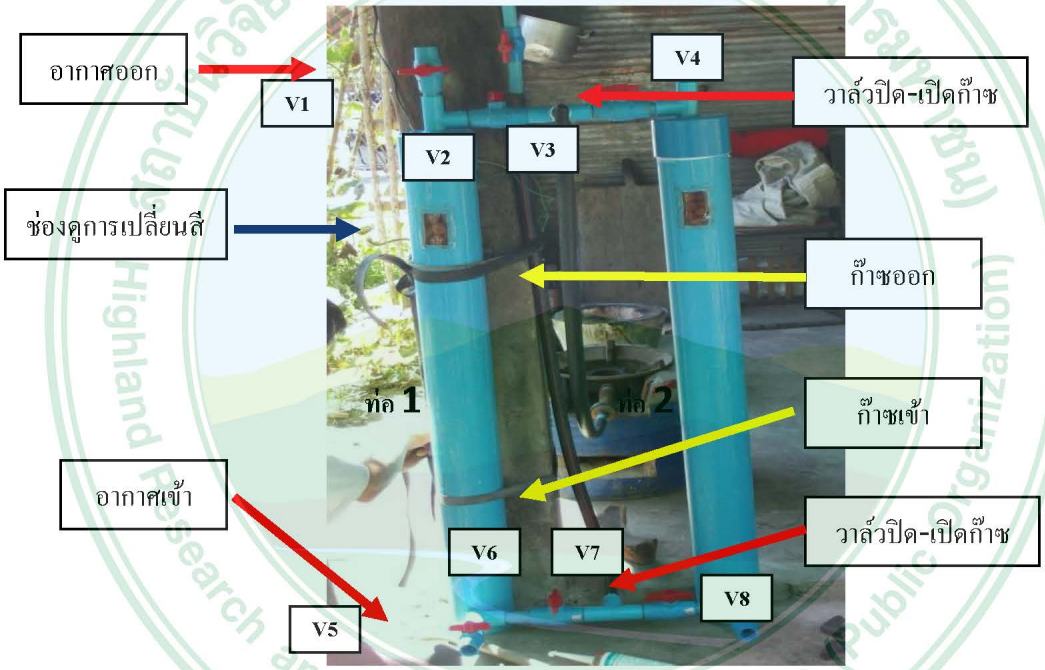
ตารางที่ 5 ผลของความยาวชุดดูดซับที่ทำด้วยทรายผสมปูนซีเมนต์เทาในการลด H_2S ในก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน

	สุกรแม่พันธุ์	สุกรขุน	นกกระทาไข่
ปริมาณ H_2S (ppm)			
ก่อนผ่านตัวกรอง	480.00	1,773.33	3,508.67
หลังผ่านชุดกรอง 50 ซม.	3.67	24.33	93.33
หลังผ่านชุดกรอง 75 ซม.	1.33	18.33	36.00
หลังผ่านชุดกรอง 100 ซม.	0.00	7.67	14.00
H_2S ที่ลดลง (%)			
หลังผ่านชุดกรอง 50 ซม.	99.25^{abc}	98.58^{c}	97.32^{d}
หลังผ่านชุดกรอง 75 ซม.	99.79^{a}	98.93^{bc}	98.98^{bc}
หลังผ่านชุดกรอง 100 ซม.	100.00^{a}	99.56^{ab}	99.60^{ab}

$^{a-d}$ Means with the same letter are not significantly different (P<0.01)

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

ภาพที่ 13 ช่องสังเกตการเปลี่ยนสีของตัวกลางดูดซับ



ภาพที่ 14 ชุดดูดซับ H_2S แบบท่อคู่ สูง 1 เมตร

ตามตัวอย่าง (ดังภาพข้างบน) เมื่อใช้งานในท่อที่ 1 ให้เปิดวาล์วหมายเลข V2, V4, V6, V8 ส่วนวาล์วหมายเลข V1, V3, V5, V7 ให้ปิดไว้ เมื่อเม็ดตัวกลางกลายเป็นสีดำ (ส่องดูจากรูที่เตรียมไว้) ให้เปลี่ยนไปใช้งานในท่อที่ ๒ ทั้งนี้ ให้สลับเปิดวาล์วหมายเลข V1, V3, V5, V7 ส่วนวาล์วหมายเลข V2, V4, V6, V8 ให้ปิดไว้ ซึ่งทำตรงข้ามกับเมื่อใช้งานในท่อที่ 1

ภาพที่ 15 ชุดดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 8 นิ้ว

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)