

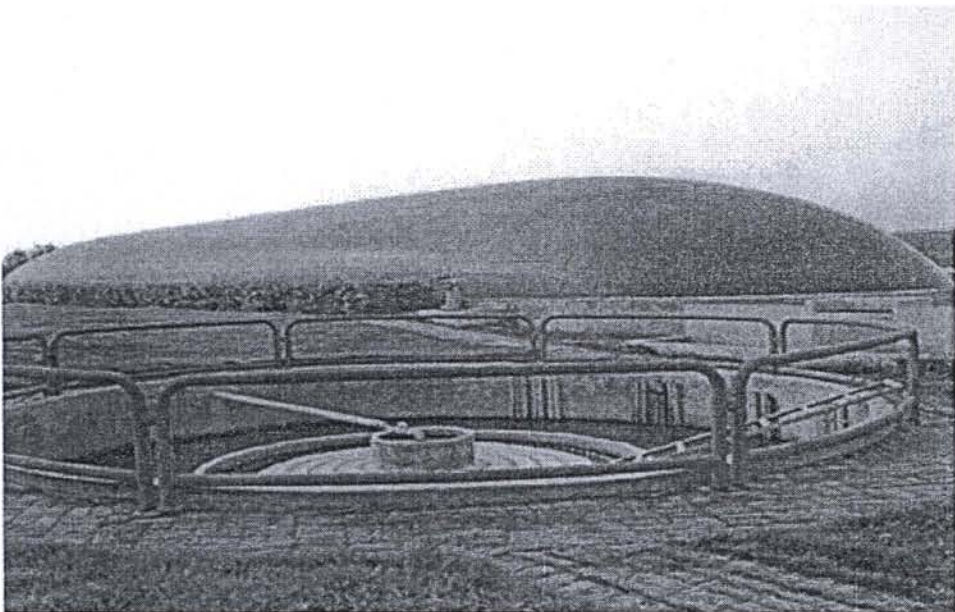
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการนำไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. ก๊าซชีวภาพ
2. ไทเทเนียมไดออกไซด์
3. เทคนิคโฟโตแคตาไลซิส
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 4.1 งานวิจัยในประเทศ
 - 4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

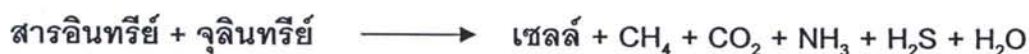
ก๊าซชีวภาพ (Biogas)



ภาพ 2 ระบบก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดตามธรรมชาติหรือจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ อุจจาระคน ตลอดจนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ ด้วยวิธีการทางชีววิทยา (Biological Treatment) ในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ ทำให้เกิดก๊าซที่ประกอบด้วย มีเทน (CH_4) 50-70% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 27-44% ไฮโดรเจน (H_2) 1% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 1-3% ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่เกิดขึ้นนี้มีคุณสมบัติติดไฟได้ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดเพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 1-3% หรือก๊าซไซเน่าให้ก๊าซสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น จึงจะนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานทั้งรูปของไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงสันดาปของเครื่องยนต์ นอกจากนี้กระบวนการการผลิตก๊าซชีวภาพยังมีประโยชน์ด้านอื่นๆ อีก เช่น กากตะกอนเหลือทิ้งจากกระบวนการหมักสามารถทำเป็นปุ๋ย ตลอดจนเป็นการกำจัดมูลสัตว์ ซึ่งเป็นการรักษาสังแวดล้อม และทำลายแหล่งเพาะพันธุ์แมลงและสัตว์ที่เป็นพาหะนำโรค โดยมีปฏิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังนี้

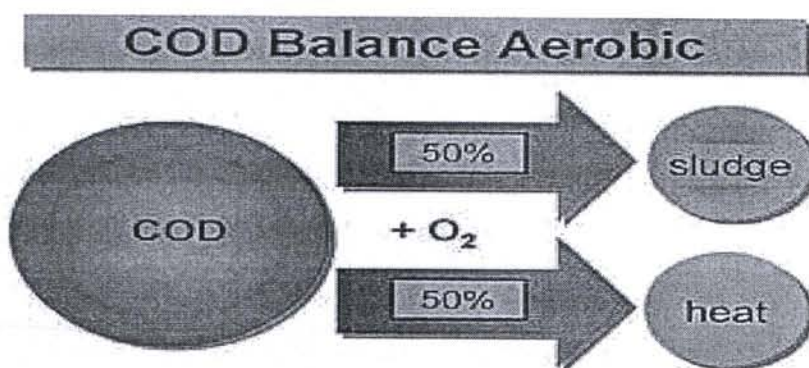


ทฤษฎีการเกิดก๊าซชีวภาพ

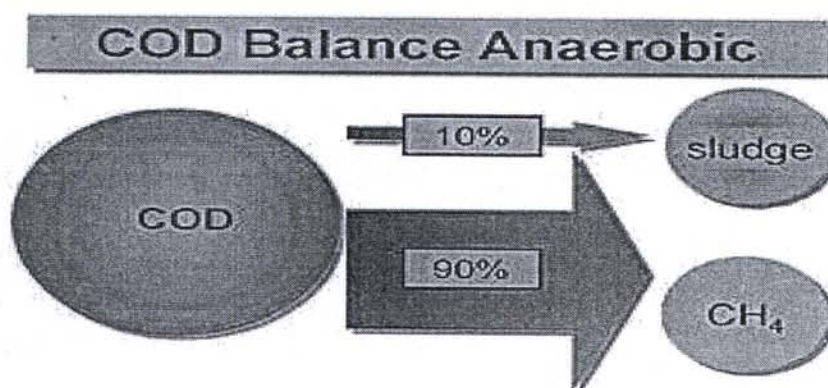
เราสามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดจากกระบวนการไร้ออกซิเจนได้จาก



จะเห็นว่าทุกๆ 1 โมล ของมีเทน (22.4 L, 0°C) จะถูกทำลายโดยออกซิเจน 2 โมล (หรือ 64 กรัม) ดังนั้น 1 g COD (Chemical Oxygen Demand) ที่ถูกกำจัด = 0.35 L CH_4 (ที่ 0°C , 1 atm) หรือ 1 g COD ที่ถูกกำจัด = 0.395 L CH_4 (ที่ 35°C , 1 atm)



ภาพ 3 การย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการใช้ออกซิเจน



ภาพ 4 การย่อยสลาย COD ในน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน

โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพจะประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ซึ่งองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ

1. ก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักและมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิง จะมีสัดส่วนอยู่ประมาณร้อยละ 50-70
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนประกอบรอง มีสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อยไม่ติดไฟ มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 28-38
3. ก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซไฮโดรซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 2-3

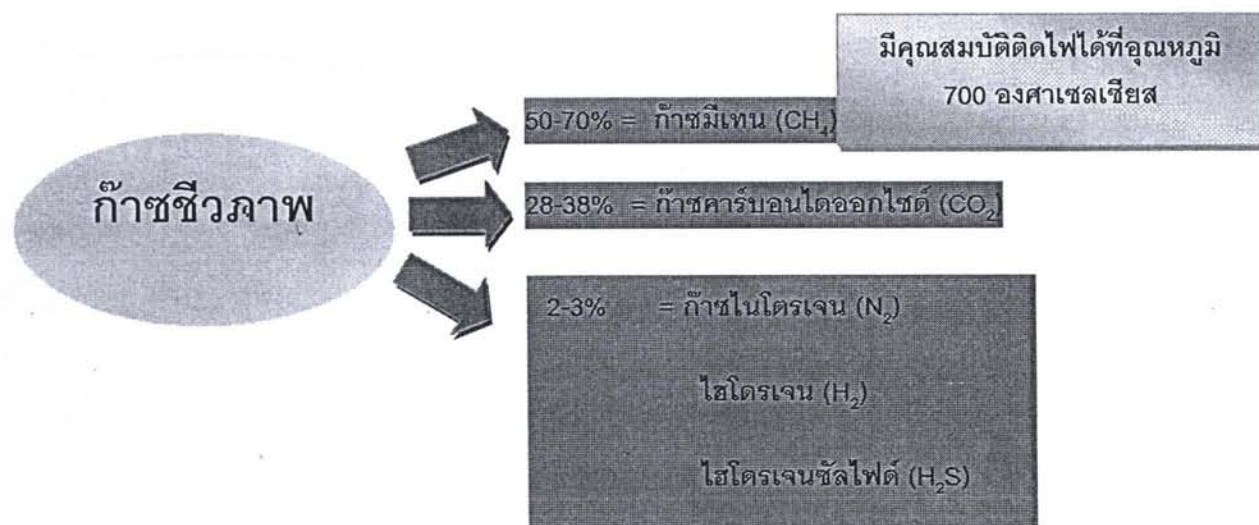
ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพจะคล้ายคลึงกับก๊าซมีเทน การนำมาใช้งานจึงใช้ในสภาพความดันปกติ หากต้องการอัดก๊าซมีเทนให้เป็นของเหลวจะต้องการความดันไม่ต่ำกว่า 45.8 เท่าของบรรยากาศ และอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า -82.5 °C ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีอยู่หลายแหล่งด้วยกัน โดยจะแตกต่างกันบ้างก็เพียงในรายละเอียดปลีกย่อย ซึ่งสามารถประมวลได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบ	คุณสมบัติ
ก๊าซมีเทน (CH ₄) ประมาณ 50-70%	ค่าความร้อน 21MJ/M ³
(60-70%, 60-65%)	ความเร็วเปลวไฟ cm/s
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ประมาณ	อัตราอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) ในทางทฤษฎี
30-50% (หรือ 28-38%, 30-38%)	6.19 m ³ _{air} /m ³ _{gas}
แอมโมเนีย (NH ₃) 0.1.0%	อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ 650 °C
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) 0-1.0%	อุณหภูมิจุดติดไฟของมีเทน 600 °C
ไนโตรเจน (N ₂) 2-5%	ค่าความจุความร้อน 1.6 kJ/m ³ . °C
ออกซิเจน (O ₂) 2-2.5%	ความหนาแน่น 1.15 kg/m ³
ไฮโดรเจน (H ₂) 0-0.2%	
ไอน้ำ (H ₂ O)	

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ,2544

ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อผสมกับอากาศประมาณ 5-7 เท่า สามารถจุดไฟติดได้ที่อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส และให้พลังงานความร้อน ดังนั้นก๊าซชีวภาพจึงใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อทดแทนพลังงานอื่นๆ ได้



ภาพ 5 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ค่าพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วน (%) ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในเนื้อก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป ดังนี้

ค่าความร้อนประมาณ	21.5	MJ/m ³ (CH ₄ 60 %)
ความเร็วเปลวไฟ	25	cm/s
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	6.19	m ³ -air/m ³ -gas
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	°C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH ₄	600	°C
ค่าความจุความร้อน (C _p)	1.6	kJ/m ³ - °C
ความหนาแน่น	1.15	kg/m ³

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ (Biogas Technology)

เป็นเทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้อากาศ (Anaerobic Digestion Technology) โดยกลุ่มของจุลินทรีย์ (Anaerobic Bacteria Group) ที่ทำหน้าที่ร่วมกันเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ (Organic Matter) โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้เป็นสารโมเลกุลที่เล็กลง และเปลี่ยนรูปให้เป็นกรดอินทรีย์ (Fatty Acid) และเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) ในที่สุด

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน(ตามภาพ 1) โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสลายโมเลกุลใหญ่

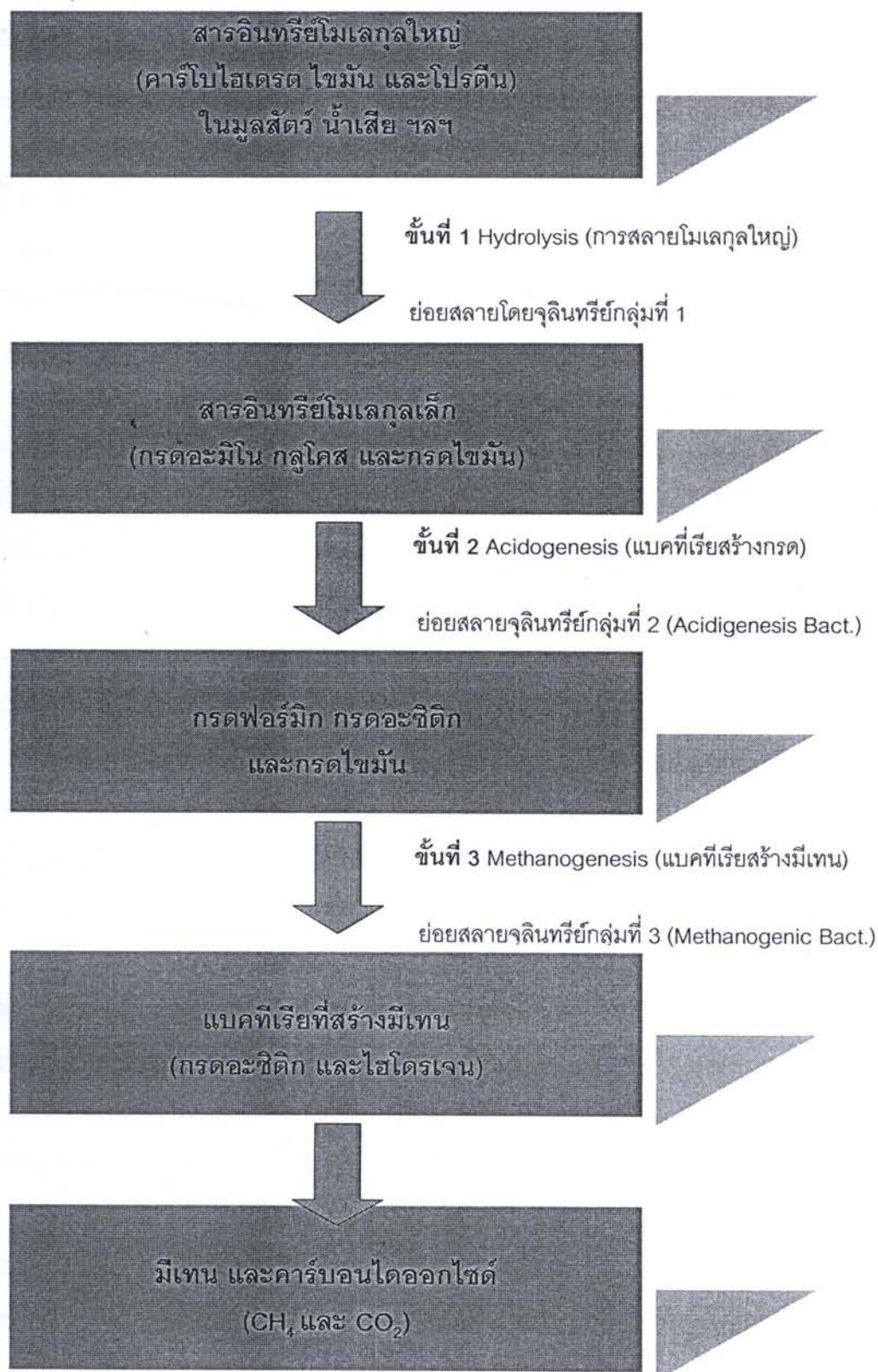
ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ (น้ำย่อย) ที่ปล่อยออกมาจากแบคทีเรียพวก Hydrolytic Organism ชนิดสร้างกรดหลังออกมานอกเซลล์ ผลที่ได้คือทำให้สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ถูกย่อยสลายแตกตัวออกเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การผลิตกรดอินทรีย์ (Acidogenesis)

สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid Former) ดูดซึมเข้าสู่เซลล์และหลั่งเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์พวกระเหยง่าย (Volatile Acid) และสารอื่นๆ กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) และก๊าซไฮโดรเจนแล้วขับออกมาภายนอกเซลล์ของแบคทีเรีย

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

แบคทีเรียชนิดสร้างมีเทนจะย่อยสลายและเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อกรดอินทรีย์ระเหยง่ายถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนใหญ่นั้น อาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำผสมอยู่ด้วย ซึ่งรวมเรียกกันว่า "ก๊าซชีวภาพ" หลังจากนั้นจะลอยตัวขึ้นเหนือผิวน้ำ และกระจายสู่บรรยากาศหรือถูกรวบรวมนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนต่อไป



ภาพ 6 ขั้นตอนปฏิบัติการการเกิดก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ

โดยสรุปคือการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้อากาศอาศัยการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ในที่สุดสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนรูปกลายเป็นก๊าซชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่ม จะต้องมีความสัมพันธ์กัน เพราะถ้าจุลินทรีย์กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ผลิตรวดออกมามาก จนกระทั่งจุลินทรีย์กลุ่มที่ 3 หยุดทำงานจะทำให้ไม่เกิดก๊าซชีวภาพ แต่หากสารอาหารมีน้อยเกินไป จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตช้าทำให้เกิดก๊าซชีวภาพน้อย ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ดีควรมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก จุดไฟติดได้ และสามารถนำไปทดแทนพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

ปัจจัยที่มีผลต่อก๊าซชีวภาพ

การที่จะผลิตก๊าซชีวภาพให้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักนั้น จะต้องควบคุมปัจจัยในแต่ละกระบวนการให้เหมาะสม โดยสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก ได้แก่ สภาวะของกระบวนการผลิต อาทิ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง อัลคาลินิตี กรดอินทรีย์ระเหยง่าย สารอาหาร สารยับยั้งและสารพิษ ส่วนการควบคุมกระบวนการผลิตจำเป็นต้องคำนึงถึงการกวน ระยะเวลาการกักเก็บ ความเข้มข้นของของแข็งบ่อหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ และปริมาณของแข็ง ดังจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ สำหรับระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20-28 °C และถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 15 °C อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลงทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัตถุดิบที่จะนำมาหมักควรมีค่าระหว่าง 6-7 โดยในช่วงแรกของการหมักนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงต่ำกว่า 5 และเมื่อทำการหมักดำเนินไปจะเกิดแอมโมเนียขึ้นทำให้ ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจนเกิน 8 ซึ่งในช่วงนี้แบคทีเรียก็จะสร้างก๊าซมีเทนขึ้นมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจนอยู่ในช่วง 7.2-8.2 แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำมากๆ อาจจะใส่ปูนขาว เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นกรด-ด่างขึ้นได้

3. อัลคาลินิตี (Alkalinity) หมายถึงความสามารถในการรักษาความเป็นกรด-ด่าง หากค่าอัลคาลินิตีต่ำเราจะต้องเพิ่มความเป็นด่างในการควบคุมการทำงานของระบบหมักก๊าซชีวภาพ เพราะมีแนวโน้มจะเป็นกรดได้ง่าย ค่าอัลคาลินิตีที่เหมาะสมต่อระบบหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

4. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Acid) กรดอินทรีย์ระเหยง่ายนี้เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน แต่ถ้าใช้ไม่ทันจะเกิด

การสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายส่งผลให้ค่า pH ลดลง เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน โดยทั่วไปปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ต่ออาจทนได้ถึง 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5. สารอาหาร (Nutrients) สารอาหารในน้ำเสียเกี่ยวพันโดยตรงกับชนิดของกลุ่มแบคทีเรียในระบบ และประสิทธิภาพในการย่อยสลาย ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบเพื่อให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี ควรมีค่าอัตรา COD : N : P เท่า 100 : 20 : 0.4 หรือ BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2

6. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Substances) การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอมโมเนีย ซัลไฟด์ และโลหะหนัก เช่น โซเดียม โปแตสเซียม สามารถทำให้การย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงัก เนื่องจากเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ซึ่งมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้โลหะหนักบางชนิด เช่น ทองแดง นิกเกิล โครเมียม สังกะสี และตะกั่ว มีประโยชน์ต่อแบคทีเรียในปริมาณน้อย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย แต่ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิดพิษได้

7. การกวน (Mixing) การผสมเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร (น้ำเสีย) ได้อย่างทั่วถึงมากยิ่งขึ้น ทำให้แบคทีเรียทำงานได้งานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้ปฏิกิริยาย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวออกจากระบบ อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิภายในระบบมีค่าใกล้เคียงกัน

8. ระยะเวลาการกักเก็บ (Retention Time) ระยะเวลาในการกักเก็บ เป็นช่วงเวลาที่สารอินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในบ่อหมัก เพื่อให้แบคทีเรียได้ย่อยสลาย และใช้เป็นอาหารในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มากขึ้น ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากบ่อหมัก ปกติใช้เวลา 20-50 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของแข็ง (TSC) อุณหภูมิ ขนาด ประเภทของบ่อหมัก และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม

9. ความเข้มข้นของของแข็งบ่อหมัก (Substrate solid content) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักแบบมีการเติมสารอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอ ควรมีค่า 25% สำหรับบ่อหมักแบบเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียว

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	05 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน.....	249076
เลขเรียกหนังสือ.....	



10. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ คือตั้งแต่ 8 : 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าประมาณ 23

11. ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ คือปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมากเกินไป จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไปจนทำให้ระบบล้มเหลว เนื่องจากแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็จะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด และในทางกลับกันถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์กำลังการผลิตเข้าสู่ระบบน้อย ก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย ทำให้เดินระบบไม่เต

12. ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC) ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์มีปริมาณของแข็งสูง (High Solid) ต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบตะกอน (Slurry) แต่เนื่องจากในระบบ High Solid ความเข้มข้นของน้ำในถังสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็น้อยกว่า ในทางกลับกันถังหมักที่สารอินทรีย์มีปริมาณของแข็งต่ำ (Low Solid) สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่า เนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่า จะทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้น และการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

ปริมาณก๊าซชีวภาพ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

แหล่งที่เกิดก๊าซชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ของเสีย/น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร เช่น โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ ขยะชุมชน และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งจะมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่เกิดก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนแยกตามชนิดของสาร
ตัวกลาง ที่ระยะเวลาหมัก 10-20 วัน อุณหภูมิประมาณ 30 °C

สารตัวกลาง	ปริมาณก๊าซ	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน
ชี้หมู	340-550	65-70
ชี้วัว	90-310	65
ชี้เปิด ชี้ไก่ (สัตว์ปีก)	310-620	60
ฟางข้าว (ข้าวสาลี)	200-300	50-60
ฟางข้าว (ข้าวฟ่าง)	200-300	59
ฟางข้าว (ข้าวบาร์เลย์)	250-300	59
ฟางข้าว (ข้าวโอ๊ต)	290-310	59
ฟางข้าว (ข้าวโพด)	380-460	59
ป่าน	360	59
ปอ	360	5
หญ้า	280-550	70
หญ้าแฝก	430-560	60
ใบทานตะวัน	300	59
ของเสียทางการเกษตร	310-430	60-70
เศษใบไม้	210-290	58
สอห่วย	240-500	63

แหล่งน้ำเสียที่มาของสารอินทรีย์

เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลักจึงทำให้มีสมบัติจุดติดไฟได้ดี และสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ได้

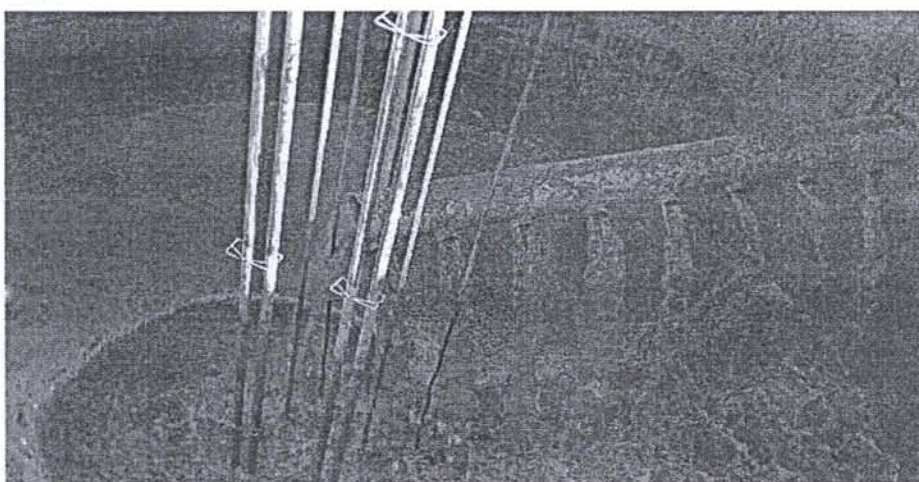
แหล่งของเสียหรือน้ำเสีย ที่สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้นั้น ต้องมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ (Biodegradable Organic Matter) เป็นสำคัญ เนื่องจากระบบก๊าซชีวภาพทำงานโดยอาศัยกลุ่มจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังกล่าว

สมบัติของแหล่งน้ำเสียที่ใช้บ่งชี้ความเหมาะสมในการนำแหล่งน้ำมาผลิตก๊าซชีวภาพคือ ค่าความสกปรกในรูป บีโอดี (Biological Oxygen Demand), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) และปริมาณน้ำเสีย เป็นต้น

ในประเทศไทย แหล่งน้ำที่มีการใช้งานระบบก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ น้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ รองลงมาคืออุตสาหกรรมเกษตร และน้ำเสียชุมชน ตามลำดับ

แหล่งน้ำเสียหรือของเสียในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ด้วยกันคือ

1. น้ำเสียจากเกษตรกรรมและปศุสัตว์ (Agricultural Wastewater)
2. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)
3. น้ำเสียและของเสียจากแหล่งชุมชน (MSW Domestic Wastewater)
4. น้ำเสียจากเหมืองแร่ (Mine Wastewater)



ภาพ 7 แหล่งน้ำเสียจากเกษตรกรรมและปศุสัตว์

แหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญ

น้ำเสียจากเกษตรกรรมที่มีแหล่งกำเนิดแน่ชัด (Point Source) และสามารถรวบรวม นำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้นั้นคือ น้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ ในประเทศไทยน้ำเสียจากฟาร์มสุกร เป็นน้ำเสียเกษตรกรรมที่มีการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด รองลงมาได้แก่ โคนม นอกจากนี้ยังมีแหล่งอื่น ๆ เล็กน้อย เช่น เป็ด ไก่ เป็นต้น โดยจากข้อมูลกรมปศุสัตว์ ปี 2549 พบว่าในแต่ละปี ประเทศไทยมีปริมาณมูลสัตว์เฉพาะสุกรและโคที่เกิดจากปศุสัตว์นี้ ประมาณ 16.49 ล้านตันมูลสด หรือคิดเป็นค่าสกปรกในรูป ซีไอดี กว่า 2.66 ล้านตัน ซีไอดีต่อปี

แหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับอาหารและเกษตร ประมงและแปรรูป เช่น อุตสาหกรรมผลิตแป้งมัน ลำปะหูลัง อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่มี แอลกอฮอล์ เช่น สุรา เบียร์ เป็นต้น โดยในแต่ละปีประเทศไทยมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรม ทางอุตสาหกรรมเหล่านี้นั้นมากกว่า 967 ล้านลูกบาศก์เมตร

แหล่งน้ำเสียจากชุมชนและขยะชุมชน

แหล่งน้ำเสียจากชุมชนและที่อยู่อาศัย มีของเสียที่สำคัญคือ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย ใน ประเทศไทยแหล่งน้ำเสีย และขยะชุมชนนี้ ไม่ค่อยมีการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพมากนัก มีเพียงขยะ ชุมชนเท่านั้นที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งมีทั้งเป็นระบบขนาดใหญ่ เช่น ก๊าซชีวภาพจากหลุมฝัง กลบ (Landfill) และจากระบบถังปฏิกรณ์ (Anaerobic Digester) ประมาณ 4-5 แห่ง ทำให้ของเสีย จากแหล่งชุมชนนี้ยังคงน่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้ในแต่ละปีประเทศไทยมี ปริมาณขยะที่เกิดจากแหล่งชุมชนนี้ประมาณ 14.6 ล้านตัน

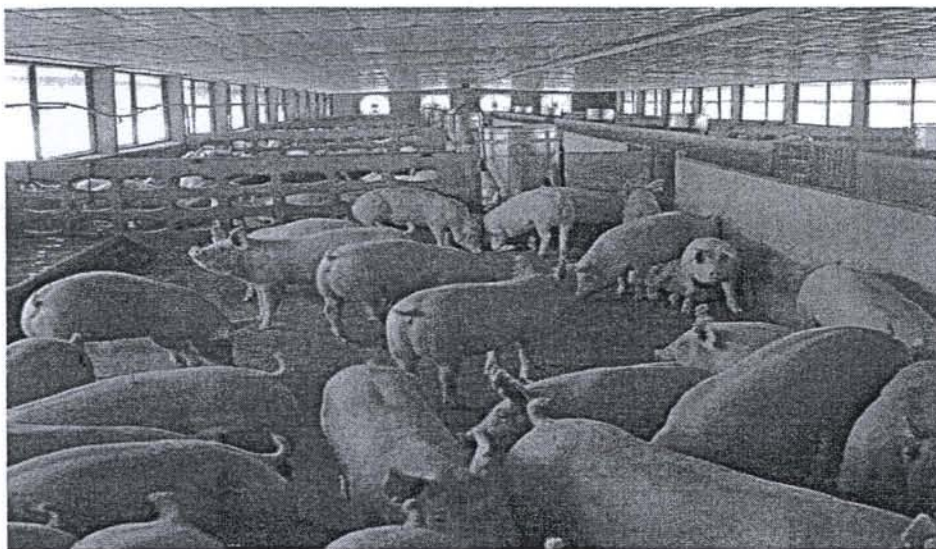
แหล่งน้ำเสียจากเหมืองแร่

ในประเทศไทย พบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นในขบวนการของเหมืองแร่ ไม่มีศักยภาพที่จะ นำมาใช้ผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เนื่องจากไม่มีสารอินทรีย์ที่จะช่วยสร้างก๊าซมีเทนได้เท่าที่ควร อีกทั้ง น้ำเสียที่ได้มีสารพิษเจือปน ดังนั้นการนำน้ำเสียจากเหมืองแร่มาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจึงไม่เป็น ที่นิยม

กฎหมาย/ข้อกำหนดที่ใช้ควบคุมคุณภาพ และปริมาณน้ำเสียในประเทศไทย แหล่งน้ำเสียจากเกษตรกรรมและปศุสัตว์

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทั้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทสุกร ตามประกาศ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม วันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ซึ่งกำหนดให้การเลี้ยงสุกร

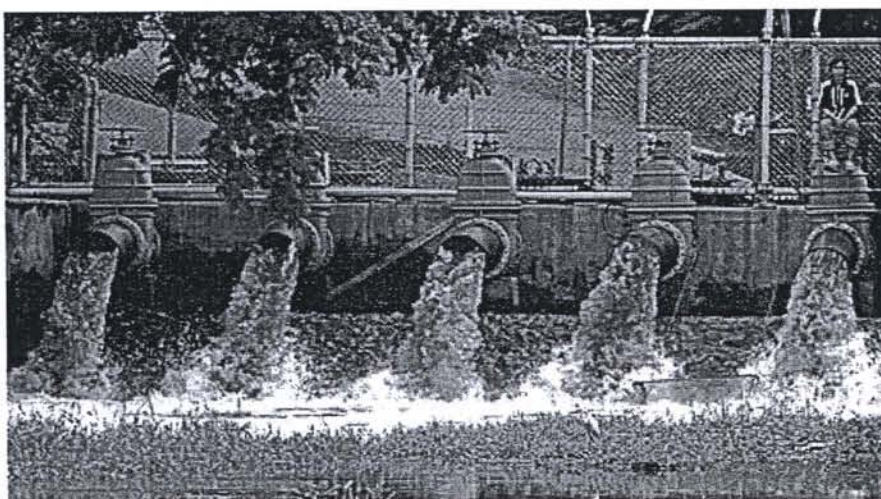
เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม ต้องมีการปรับปรุงน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด



ภาพ 8 แหล่งน้ำเสียจากเกษตรกรรมและปศุสัตว์

แหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

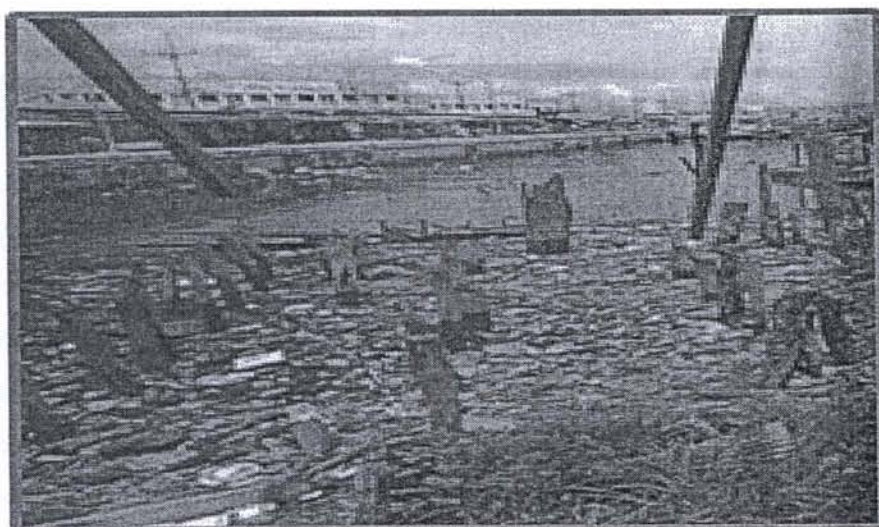
มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 ซึ่งกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ต้องมีการปรับปรุงน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม



ภาพ 9 แหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งน้ำเสียจากชุมชนและขยะชุมชน

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม วันที่ 3 มกราคม 2537 ซึ่งกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารแต่ละประเภท ต้องมีการปรับปรุงน้ำเสียให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม



ภาพ 10 แหล่งน้ำเสียจากชุมชนและขยะชุมชน

ศักยภาพ การผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งน้ำเสียที่มาจากกิจการหลัก ๆ คือ มูลสัตว์ น้ำเสีย และของเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร และเกษตรแปรรูป

ส่วนภาคอุตสาหกรรม 5 กลุ่มที่มีศักยภาพสูง ได้แก่ โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โรงงานเอทานอล โรงงานอาหารกระป๋อง และโรงงานน้ำยางข้น มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดประมาณ 1,275 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี

ศักยภาพที่เหลือ คือ น้ำเสีย/ของเสีย จากโรงฆ่าสัตว์ น้ำเสียจากชุมชน โรงแรมและรีสอร์ท รวมทั้งมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดประมาณ 125 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ตาราง 3 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ จากปศุสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน

แหล่งน้ำเสีย	ปริมาณจำนวน		ปริมาณน้ำเสีย / ของเสีย		ปริมาณก๊าซชีวภาพ	
1. ฟาร์มสุกร - เล็ก	3.00	ล้านตัว	34.02	ล้าน ลบ.ม/ปี	131.68	ล้าน ลบ.ม/ปี
2. ฟาร์มสุกร - กลาง - ใหญ่	4.14	ล้านตัว	46.93	ล้าน ลบ.ม/ปี	181.64	ล้าน ลบ.ม/ปี
3. โรงงานแปรงมันสำปะหลัง						
3.1 น้ำเสีย	77	โรง	40.93	ล้าน ลบ.ม/ปี	234.80	ล้าน ลบ.ม/ปี
3.2 กากมันสำปะหลัง	77	โรง	4.35	ล้าน ตัน/ปี	263.93	ล้าน ลบ.ม/ปี
4. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม						
4.1 น้ำเสีย	76	โรง	2.50	ล้าน ลบ.ม/ปี	50.03	ล้าน ลบ.ม/ปี
4.2 กากตะกอน	76	โรง	0.98	ล้าน ตัน/ปี	48.00	ล้าน ลบ.ม/ปี
5. โรงเอทานอล	45	โรง	17.40	ล้าน ลบ.ม/ปี	609.00	ล้าน ลบ.ม/ปี
6. โรงงานยางข้น	48	โรง	4.33	ล้าน ลบ.ม/ปี	8.66	ล้าน ลบ.ม/ปี
7. โรงงานอาหารกระป๋อง	170	โรง	41.47	ล้าน ลบ.ม/ปี	59.59	ล้าน ลบ.ม/ปี
8. โรงงานฆ่าสัตว์สุกร / โค	3,228	โรง	2.29	ล้าน ลบ.ม/ปี	4.70	ล้าน ลบ.ม/ปี
9. โรงชำแหละและแปรรูปไก่	25	โรง	8.62	ล้าน ลบ.ม/ปี	25.87	ล้าน ลบ.ม/ปี
10.ขยะเศษอาหารโรงแรม/ชุมชน	2,600	โรง	0.33	ล้าน ตัน/ปี	25.87	ล้าน ลบ.ม/ปี
รวมทั้งสิ้น					1,713.71	ล้าน ลบ.ม/ปี

จัดการของเสียเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและรักษาสีสิ่งแวดล้อม

การจัดการน้ำเสียโดยทั่วไป สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนเตรียมการ ซึ่งเป็นการแยกตะกอน และไขมันออกจากน้ำเสีย จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นที่สอง ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสีย โดยมีวิธีที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน และหากน้ำเสียมีสารพิษหรือเชื้อโรคปนเปื้อน เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภท และสถานพยาบาล เป็นต้น จะต้องส่งเข้ารับการบำบัดขั้นสูงเพื่อจำกัดของเสียอันตรายตกค้างอยู่ออกไป ดังนั้น น้ำเสียโดยส่วนมากจะสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ภายหลังการจัดการน้ำเสียขั้นที่สอง

ขั้นเตรียมการ (Pretreatment)	ขั้นที่สอง (Secondary)	ขั้นสูง (Advance Treatment)
- ดักด้วยตะแกรง - บดตัด - ดักกรวดทราย - กำจัดไขมัน	- ให้ออกซิเจน เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ ฯลฯ - ไม่ให้ออกซิเจน เช่น ระบบถังกรองไร้อากาศ	- กำจัดสิ่งสกปรกบางอย่างที่ยังเหลืออยู่ เช่น โลหะหนัก เชื้อโรค

ภาพ 11 ขั้นตอนการจัดการน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียรูปแบบเดิม

แต่เดิมของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น เศษอาหาร ขยะ อินทรีย์ชุมชน น้ำเสียมูลปศุสัตว์ของฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ของเสีย และน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น โรงงานแป้ง โรงงานปาล์ม โรงงานเส้นไหม โรงงานแปรรูปเนื้อสัตว์ โรงงานแช่แข็งอาหารทะเล โรงงานยางพารา โรงงานผลไม้ ล้วนเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เพราะก่อให้เกิดมลภาวะทั้งเรื่องกลิ่น แอมलगรบกวน ซึ่งจำเป็นต้องบำบัด วิธีบำบัดน้ำเสียรูปแบบเดิม จะเป็นการบำบัดแบบให้ออกซิเจน เช่น บ่อเติมอากาศ และบ่อผึ่งอากาศ ซึ่งสิ้นเปลืองพลังงาน เสียค่าใช้จ่ายมาก และเกิดกลิ่นรบกวน

แต่หากปล่อยเป็นของเสีย และน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงก็จะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติ ระบบนิเวศน์ในน้ำก็จะแปรเปลี่ยนไป อีกทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พาหะของโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิต

แนวทางที่จะสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่น และค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดแบบเดิม ๆ ก็คือ การประยุกต์ใช้เทคนิคก๊าซชีวภาพ ซึ่งหากประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม เข้าไปจัดการกับของเสีย และน้ำเสีย ที่แต่เดิมถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ และบำบัดน้ำเสีย เพิ่มสุขอนามัยของชุมชนให้ดีขึ้นได้ การดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของกลุ่มก็จะไม่กระทบกระเทือนชุมชนรอบข้าง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเปลี่ยนวิกฤตให้เป็นโอกาสที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาวะปัจจุบันที่เชื้อเพลิงต่าง ๆ มีราคาสูง และหายากมากขึ้น

ซึ่งกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนา ประยุกต์ใช้ เผยแพร่ และขยายผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับการจัดการของเสีย และน้ำเสียประเภทต่าง ๆ จึงได้ให้การสนับสนุน และส่งเสริมในการพัฒนาในทุก ๆ ด้าน ในหลาย ๆ ส่วนงานทั้งองค์กรของรัฐ และเอกชน เพื่อให้เกิดการช่วยเหลือเกื้อกูลซึ่งกันและกัน ในการดำเนินงานนับตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2538 เป็นต้นมา ถึงปัจจุบัน รวมระยะเวลาประมาณ 12 ปี มีผลทำให้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพแพร่หลายไปยังภาคชุมชน ฟาร์มปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นไปอย่างกว้างขวาง และรวดเร็วยิ่งขึ้นจนทำให้เป็นที่รู้จัก และได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนโดยทั่วไป

เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่มีการนำประยุกต์ใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันมีความหลากหลายอยู่มากพอสมควร ซึ่งเทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพแต่ละประเภทก็มีจุดเด่นแตกต่างกันออกไป ดังนั้น การเลือกนำไปประยุกต์ใช้ก็จำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาวะ และสถานะความต้องการของผู้ใช้ ทั้งด้าน พื้นที่ การลงทุน ความพร้อมในการใช้ และการดูแลรักษาระบบเทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่นำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันพอที่จะจัดแบ่งเป็นกลุ่มๆ ดังนี้

การพัฒนาเทคโนโลยีระบบการหมักกรุ่นแรก ๆ

Anaerobic Pond	:	สระเปิด
Anaerobic Lagoon	:	บ่อเกรอะ
Covered Lagoon	:	บ่อเกรอะคลุมปิด

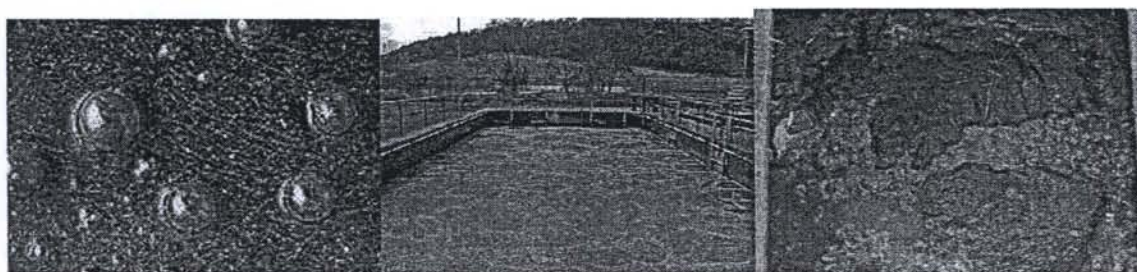
สระเปิด บ่อเกรอะ และบ่อเกรอะคลุมปิด เป็นเทคโนโลยีบ่อหมักรุ่นแรก ๆ ที่ใช้อย่างแพร่หลาย สารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียเข้าด้านหน้าบ่อ และไหลผ่านพื้นที่เปิดของบ่อออกส่วนด้านล่าง

ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์จะอยู่ส่วนล่าง แต่น้ำเสียจะไหลส่วนบน สารอินทรีย์ที่แขวนลอย (จม) จะตกลงด้านล่าง และถูกย่อยสลายโดยตะกอนจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศ ระบบอาจจะถูกกวนโดยกลไกทางธรรมชาติด้วย

ตะกอนจุลินทรีย์ที่จมอยู่ด้านล่าง และย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ และพาตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้เกิดการกวนวน ดังนั้นระบบบ่อเกรอะ และ/หรือสระเปิดจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย หรือกำจัดสารอินทรีย์ได้ระดับหนึ่ง

เทคโนโลยีประเภทนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ และหากนำวัสดุ เช่น แผ่นพลาสติก แผ่นพีวีซี และ/หรือวัสดุอื่น ๆ มาคลุมเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในบ่อหมักแบบสระเปิด และ/หรือบ่อเกรอะ ก็จะสามารถเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานทดแทนได้

การปิดคลุมบ่อเกรอะ จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพของการหมักย่อยดีขึ้นบ้างเล็กน้อย เพราะการปิดคลุมบ่อเกรอะทำให้ฝ้าลอย (Scum) เปียกและสะสม ซึ่งเป็นตัวกลางช่วยให้การย่อยสลายที่ผิวของน้ำเสียส่วนบนของบ่อเกิดเพิ่มขึ้น



ภาพ 12 บ่อเกรอะ

ต่อมาได้มีความพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อเกรอะแบบปิดคลุมโดยวิธีการสร้างแผ่นกั้น (Baffles) ระหว่างบ่อเป็นช่วง ๆ เพื่อให้การไหลของน้ำเสียมีการเปลี่ยนทิศทาง ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

บ่อหมักประเภทดังกล่าวนี้ในระยะยาวมักจะมีการสะสมของปริมาณตะกอนที่ย่อยสลายยากในบ่อเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้บ่อตันตันขึ้น ระยะเวลาในการหมักย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง ประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง การเกิดก๊าซชีวภาพก็จะลดลงไปด้วย ซึ่งจำเป็นจะต้อง มีการลอกตะกอนออกจากบ่อเป็นระยะ ๆ เพื่อรักษาผลการ

ทำงานของระบบให้คงที่ จึงได้มีการพัฒนาระบบการหมุนวนตะกอน และระบบดึงตะกอนออกจากบ่อหมัก เพื่อช่วยลดภาวะของการลอคตะกอนให้มีระยะเวลาให้ยืดยาวออกไป

บ่อหมักประเภทดังกล่าวนี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียชุมชน น้ำเสียฟาร์มปศุสัตว์ และน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียที่มีความสกปรกค่อนข้างสูง ทั้งนี้ในสมัยแรก ๆ จะใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียในขั้นต้นเป็นหลักแต่ต่อมาได้พัฒนามาเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีเพราะจะได้เป็นการเริ่มต้นปรับทัศนคติจากการมองน้ำเสียที่เป็นวิกฤติให้เป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ทั้งทางด้านอนุลักษณะพลังงานควบคู่ไปกับการรักษาสสิ่งแวดล้อม และเกิดการพัฒนานำระบบที่ประสิทธิภาพ และประสิทธิผลสูงไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมต่อไป

การพัฒนาเทคโนโลยีถังหมักแบบธรรมดาสำหรับฟาร์มและชุมชนชนบท

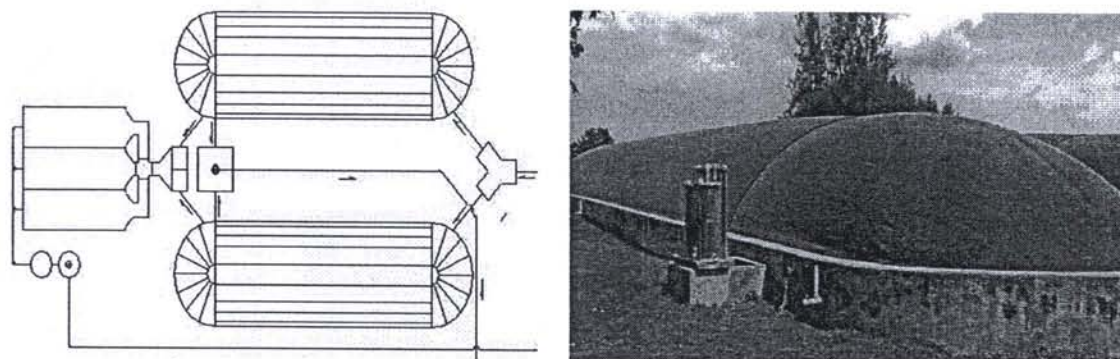
Fixed Dome	:	โดมคงที่
Floating Drum	:	ถังลอย
Channel Balloon	:	บอลลูนราง



ภาพ 13 ถังหมักแบบธรรมดาสำหรับฟาร์ม และชุมชนชนบท

ระบบบ่อหมักแบบบอลลูนราง (Channel Balloon) เป็นบ่อหมักที่ทำงานคล้ายคลึงกับบ่อหมักแบบโดมคงที่ และถังลอย แต่เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการถังหมักขนาดใหญ่เพื่อรองรับน้ำเสียหรือของเสียจำนวนมาก และเก็บก๊าซชีวภาพในบอลลูนความดันต่ำ ซึ่งหากต้องการนำส่งก๊าซ

ชีวภาพไปใช้ไกล ๆ หรือใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความดันสูงก็ต้องใช้เครื่องสูบลมก๊าซ (Gas Blower)



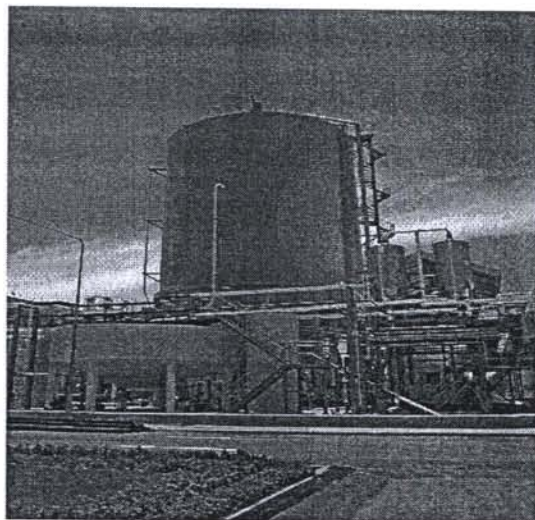
ภาพ 14 ระบบบ่อหมักแบบบอลลูนราง (Channel Balloon)

ระบบทั้ง 3 ประเภทนี้ ได้มีการพัฒนาทั้งระบบเติมสารอินทรีย์ และระบบระบายน้ำที่ผ่านการหมักย่อยแล้ว และระบบดักตะกอนส่วนเกินออกจากระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และเพิ่มประสิทธิผลของการผลิตก๊าซชีวภาพให้สูงมากยิ่งขึ้น

การพัฒนาเทคโนโลยีถังหมักแบบ CSTR (Completely Stirred Tank Reactor)

เทคโนโลยีถังหมักแบบ CSTR เป็นเทคโนโลยีถังหมักแบบกวนผสมที่ใช้สำหรับการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยอินทรีย์สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิยมใช้กับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์แขวนลอยไม่แยกตัวออกจากน้ำ เช่น น้ำเสียจากขบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ น้ำเสียฟาร์มปศุสัตว์ที่มีความเข้มข้นสูง เป็นต้น

ถังหมักแบบ CSTR มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับถังหมักแบบ Fixed dome หรือ Floating Drum เพียงแต่ถังหมักแบบ CSTR นิยมออกแบบเป็นระบบถังหมักขนาดใหญ่ที่มีระบบกระบวนกรกวนวนน้ำภายในถังหมักอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สารอินทรีย์ และตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสได้สัมผัสกันอย่างทั่วถึง



ภาพ 15 เทคโนโลยีถังหมักแบบ CSTR (Completely Stirred Tank Reactor)

การพัฒนาดังแบบ CSTR ขนาดใหญ่ในปัจจุบันได้มีการใช้วิธีการกวนน้ำในถังหมัก ทั้งแบบที่ใช้ก๊าซชีวภาพหมุนวนเพื่อกวนน้ำเสีย และ/หรือ ใช้ใบพัดเชิงกลกวนน้ำเสีย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิด ประเภท และลักษณะของน้ำเสีย รวมทั้งขนาดของถังหมักด้วย

ถังหมักแบบ CSTR, Fixed dome, Floating drum และ Channel balloon นี้ จัดเป็นกลุ่มถังหมักย่อยสลายช้า (Low Rate Digester) เพราะใช้หมักย่อยน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยอินทรีย์สูง และจำเป็นต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานพอสมควร แต่อย่างไรก็ตาม ถังหมักชนิดดังกล่าวสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง จึงให้ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อปริมาณถังต่อวันสูงด้วยเช่นกัน

การพัฒนาเทคโนโลยีถังหมักแบบตัวเกาะและกึ่งตัวเกาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร

Fixed Film Reactor	:	แบบตรึงฟิล์ม
Anaerobic Filter Reactor	:	แบบตัวกรองเกาะ
Hybrid Reactor	:	แบบลูกผสม เกาะ + ปล่อยาว

เทคโนโลยี Fixed Film Reactor, Anaerobic Filter Reactor และ Hybrid Reactor ทั้ง 3 ประเภทนี้ เป็นถังหมักประเภทย่อยสลายเร็ว (High Rate Digestion) ซึ่งโดยปกตินิยมใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก (Low – Medium Strength Wastewater) และต้องมีสารแขวนลอยไม่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแขวนลอยประเภทย่อยสลายยาก เพราะสารแขวนลอยประเภทตะกอนเฉื่อย (Inert Sludge) ย่อยสลายยากจะทำให้เกิดการสะสมของตะกอนในถังหมัก และ

ระบายออกได้ยาก เว้นแต่จะพัฒนาการออกแบบวิธีระบายตะกอนเชื้อยออกจากถังหมักให้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ถังหมักประเภทนี้จำเป็นจะต้องมีวัสดุตัวกลาง เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและไม่หลุดลอยไปกับน้ำที่ไหลล้นออก ซึ่งผู้ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีถังหมักดังกล่าวมักจะเน้นว่าถังหมักที่มีตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะนี้จะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของภาระน้ำเสียทั้งด้านภาระของไหล (Hydraulic Load) และภาระสารอินทรีย์ (Organic Load) ได้ดีกว่าถังหมักประเภทอื่น ๆ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาถังหมักแบบ Hybrid ที่ผสมผสานทั้งแบบที่มีวัสดุเกาะด้านบนถังและปล่อยโล่งด้านล่างถัง เพื่อลดการลงทุน และเพิ่มปริมาตรกักเก็บจุลินทรีย์ด้วย

การพัฒนาเทคโนโลยีถังหมักแบบพึ่งตนเองสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร

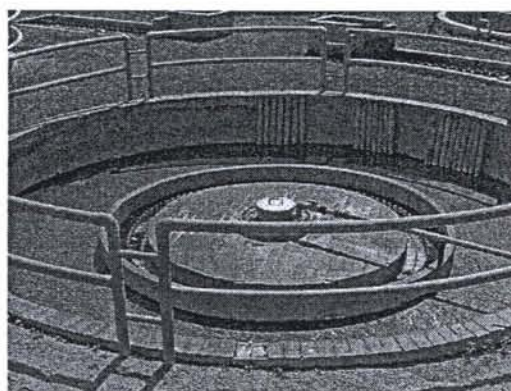
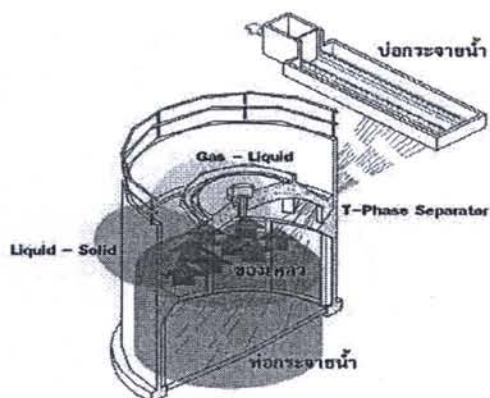
UASB Reactor	:	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor
Fluidized Bed Reactor	:	Turbulent Sludge Bed Reactor
EGSB Reactor	:	Expansion Granular Sludge Bed Reactor

เทคโนโลยีถังหมักในหัวข้อนี้ เป็นถังหมักแบบย่อยสลายเร็วถึงเร็วมาก (High and Very high Rate Digester) หลักการทำงานของถังหมักอาศัยการที่ป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังหมัก และปล่อยให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ด้านล่างของถังหมัก จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ทั้งสารอินทรีย์ที่เป็นสารละลาย และสารแขวนลอยทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซชีวภาพ มีผลทำให้สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียมีปริมาณลดลง น้ำก็สะอาดขึ้น ยิ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยสลายเปลี่ยนรูปกลายเป็นก๊าซชีวภาพมากเท่าไรก็ยิ่งจะทำให้เห็นน้ำที่ผ่านการหมักกักย่อยแล้วสะอาดมากขึ้นเท่านั้น

แต่อย่างไรก็ตามก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายอาจจะเกาะติดกับเซลล์จุลินทรีย์ และ/หรือ กลุ่มของเซลล์จุลินทรีย์ (Bacteria Cell Granular Sludge) ก็อาจจะพาเซลล์จุลินทรีย์ และ/หรือกลุ่มของเซลล์จุลินทรีย์ลอยขึ้นด้านบนของถังจึงทำให้ถังหมักในกลุ่มนั้น จำเป็นต้องมีชุดแยกสามสถานะ (3 – Phase Separator) คือ แยกสถานะของแข็ง ซึ่งหมายถึง เซลล์จุลินทรีย์ และ/หรือกลุ่มเซลล์จุลินทรีย์ ออกจากของเหลว คือน้ำที่ผ่านการบำบัดหรือการย่อยสลายแล้ว และก๊าซ คือ ก๊าซชีวภาพที่เปลี่ยนรูปมาจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก๊าซชีวภาพจะถูกเก็บรวบรวม และส่งไปใช้งาน

น้ำที่ผ่านการบำบัด และสะอาดมากขึ้นจะถูกปล่อยผ่านส่งไปบำบัดต่ออีกครั้ง และตะกอนจุลินทรีย์ (เซลล์จุลินทรีย์และ/หรือกลุ่มเซลล์จุลินทรีย์) ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจะตกกลับลงไปสู่ด้านล่างของถังเพื่อทำหน้าที่ดักกรองและย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนมากับน้ำเสียที่ถูกป้อนเข้ามาด้านล่างของถังถัดไปโดยปกติแล้วถังหมักที่มีหลักการดังกล่าวนี้จะนิยม

ประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก (Low – Medium Strength Wastewater) ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกับประเภท Fixed Film และ Anaerobic Filter และต้องมีสารแขวนลอยไม่สูงด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแขวนลอยประเภทที่ย่อยสลายยาก ซึ่งไม่เหมาะกับถังหมักประเภทย่อยสลายเร็วมาก เช่น Fluidized Bed และ EGSB Reactor เพราะจะทำให้เกิดการสะสมของตะกอนเฉื่อย (Inert Sludge) ภายในถังหมักทำให้มีปริมาตรของถังหมักลดลง และประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักลดต่ำลงด้วย นักวิชาการได้พยายามพัฒนาเทคโนโลยีถังหมักแบบ UASB ให้สามารถรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยได้สูงมากขึ้น และใช้ชื่อว่า A + UASB (Appropriate + Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Thailand) เพราะเป็นสารแขวนลอยที่เป็นอินทรีย์สารนั้นยิ่งมากขึ้นก็จะยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้นตามไปด้วยทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบันที่ต้องการประยุกต์ใช้ระบบก๊าซชีวภาพเพื่อการจัดการน้ำเสียให้เป็นแหล่งทรัพยากรที่มีคุณค่า ทั้งเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และบำบัดน้ำเสีย รักษาสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย มากกว่าเพียงเพื่อการเน้นเฉพาะการบำบัดน้ำเสียเท่านั้น ซึ่งถังหมักที่พัฒนาดังกล่าวนั้นสามารถที่จะปล่อยถ่ายตะกอนเฉื่อย (Inert sludge) ได้ ทำให้รักษาปริมาตรที่เหมาะสมของถังหมักได้สม่ำเสมอเช่นเดียวกัน และผลการพัฒนาดังกล่าวก็ประสบผลสำเร็จในการประยุกต์เพื่อการใช้งาน ทั้งในระดับอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้เป็นอย่างดีมากกว่า 10 ปี (ฟ้าสวณน้ำใสด้วยไบโอแก๊ส, การสัมมนา, 2550)



ภาพ 16 เทคโนโลยีถังหมักแบบ UASB

การนำเทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่มีองค์ประกอบครบถ้วนเหมาะสมไปประยุกต์ใช้จัดการของเสีย และหรือน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซชีวภาพ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีปริมาณลดลงน้ำจึงสะอาดเพิ่มขึ้น สารอินทรีย์บางส่วนที่ย่อยสลายยากจะตกตะกอน ทำให้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย น้ำที่ผ่านระบบแล้วก็จะสะอาดมากยิ่งขึ้น กากตะกอนที่ผ่านการหมักย่อยแล้วจะเสถียร (Stabilized) ไม่มีกลิ่นเหม็น เหมาะสำหรับใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจัดการกับของเสีย และน้ำเสียดังกล่าวจึงส่งผลทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานและรักษาสีสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

ประโยชน์ของการนำก๊าซชีวภาพไปใช้

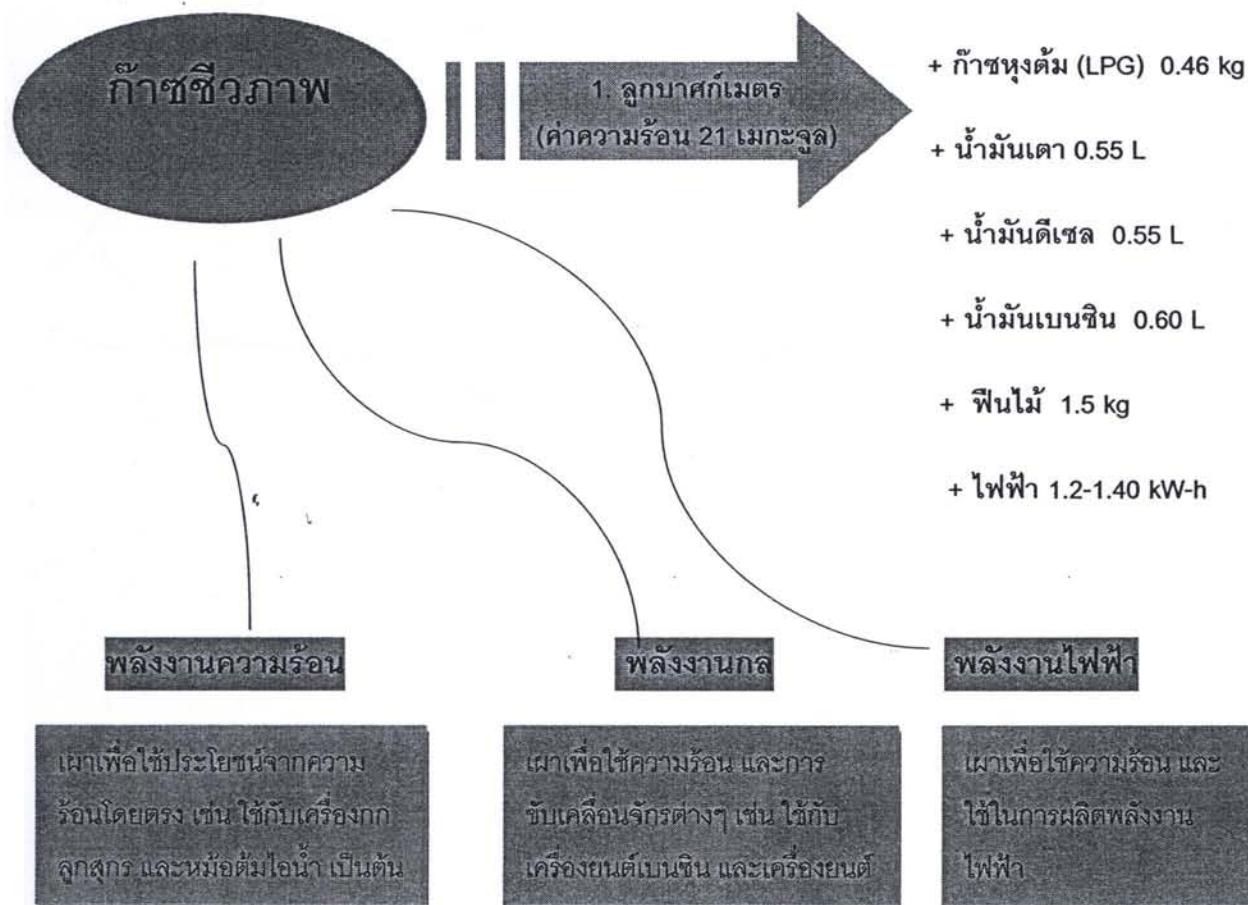
1. ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน การใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จะสามารถชดเชยหรือทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งต่างๆ กับอุปกรณ์ที่ต้องการความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีเนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดี และสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้

โดยอัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่างๆ ของก๊าซชีวภาพ จากก๊าซชีวภาพ ลบ.ม.

(1 ลบ.ม.) จะสามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่นได้เป็นปริมาณดังนี้

ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.67	ลิตร
น้ำมันเบนซิน	0.60	ลิตร
ฟืนไม้	1.50	กิโลกรัม
ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า	1.2-1.4	กิโลวัตต์/ชั่วโมง

คุณสมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ



ภาพ 17 คุณสมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

2. ประโยชน์ด้านพลังงาน สำหรับการเกษตรและฟาร์มทั้งหลาย สามารถใช้กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้เกิดประโยชน์ใน 2 ทาง ได้แก่ การทำปุ๋ย และการทำเป็นอาหารสัตว์ ดังนี้

2.1 การทำเป็นปุ๋ย ปากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กากตะกอนที่ผ่านระบบก๊าซชีวภาพแล้ว เช่น มูลสัตว์จะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ ละยังคงมีสารอาหารซึ่งมีธาตุหลักสำคัญต่างๆ อยู่ ได้แก่ ไนโตรเจน ประมาณ (0.6%) ฟอสฟอรัส ประมาณ (0.4%) โพแทสเซียม ประมาณ (0.1%) ซึ่งสามารถนำไปใช้เพาะปลูกพืชหรือปรับปรุงบำรุงดินได้เป็นอย่างดี และจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการหมุนเวียนเอามูลชีวภาพกลับมาใช้อย่างคุ้มค่า ทั้งยังปลอดภัยจากโรคพยาธิต่างๆ อีกด้วย

2.2 การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้ง แล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้ก็มีข้อจำกัดคือ การใส่อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัมต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

3. ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาคุณภาพชีวิตการประยุกต์ระบบก๊าซชีวภาพในระบบการจัดการน้ำเสีย จะช่วยลดและแก้ปัญหาเรื่องมลภาวะที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มปศุสัตว์และชุมชนโดยรวม ซึ่งอาจคาบเกี่ยวกับประโยชน์ในด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อมด้านการเกษตร และด้านการพัฒนาคุณภาพชีวิตสังคมเช่นกัน โดยจะสามารถลดปัญหาต่างๆได้ดังนี้

3.1 กลิ่น : ระบบก๊าซชีวภาพ จะช่วยลดกลิ่นรบกวนจากของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมหรือกระบวนการผลิตลงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากระบบก๊าซชีวภาพเป็นระบบปิด และก๊าซชีวภาพที่จุดติดไฟแล้วจะไม่มีกลิ่น รวมทั้งกากตะกอนและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนอีก

3.2 แมลงวัน : เนื่องจากของเสียและน้ำเสียจะถูกไล่เลียงเข้าสู่ระบบก๊าซชีวภาพทุกวัน จึงทำให้แมลงวันไม่สามารถใช้ของเสียและน้ำเสียเหล่านั้นเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่ขยายพันธุ์ได้ และซึ่งจะเป็นการตัดวงจรชีวิตของแมลงวัน ทำให้ปริมาณของแมลงวันที่สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยภายในฟาร์มปศุสัตว์ลดลงเป็นอย่างมาก

3.3 น้ำเสีย : ระบบก๊าซชีวภาพ และระบบบำบัดขั้นหลัง ที่มีขนาดเหมาะสมจะสามารถบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำความสะอาดโรงเรือนเลี้ยงสัตว์หรือบริเวณโรงงานที่ไม่ต้องการความสะอาดของน้ำมากนัก หรือใช้เพื่อการเพาะปลูกได้ ในฤดูฝนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำภายนอกโดยไม่มีปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอีกต่อไป

3.4 การแพร่กระจายของก๊าซมีเทน : ก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศโลก เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ทำให้โลกมีสภาพร้อนขึ้น ดังนั้นการใช้ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากระบบก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนอย่างเต็มที่ จะสามารถลดปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อยทิ้งในบรรยากาศได้อีกทางหนึ่งด้วย

ไทเทเนียมไดออกไซด์

สุพิน แสงสุข (2550) กล่าวว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งเท่าๆ กับโลกของเราและเป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดในโลก ลักษณะโดยทั่วไปมีสีขาวทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ใหญ่ คือ รูไทล์และอานาเทส ทั้ง 2 รูปแบบมีไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์อยู่กับสารปนเปื้อนต้องผ่านกระบวนการทางเคมีจึงจะนำสารปนเปื้อนออกได้เหลือไว้แต่ไทเทเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่มีสีขาวมีประโยชน์สำหรับการใช้งานได้หลากหลายเนื่องจากมันไม่มึกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับรังสีนี้พบได้ในหลายผลิตภัณฑ์ตั้งแต่สีทาบ้านไปจนถึงอาหารและเครื่องสำอางค์ ในกลุ่มเครื่องสำอางใช้เพื่อหลายวัตถุประสงค์ ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่มีสีขาวเป็นตัวที่ทำให้เกิดการทึบแสงและเป็นตัวป้องกันแสงแดด

ไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่ปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษ ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่ใช่สารที่มีพิษ และด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้สามารถทำสารให้มีขนาดเล็กที่เรียกว่า นาโนเทคโนโลยี เพื่อสะดวกต่อการนำมาใช้งาน

ไทเทเนียม ไดออกไซด์ หรือ " TiO_2 " เป็นพระเอกของนาโนเทคโนโลยีที่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ตัวนี้ก็คือตัวเดียวกับที่เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางที่มีคุณสมบัติในการป้องกันแสงแดดที่ช่วยให้สาวหลายคนมีผิวซิดเหมือนไก่ต้มได้สมใจ

ตามปกติแล้ว TiO_2 นั้นเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการดูดซับรังสี UVA ซึ่งเป็นแสงช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่าความยาวคลื่นที่ดวงตาของมนุษย์เราสามารถมองเห็น (UVA มีความยาวคลื่นประมาณ 400-320 นาโนเมตร) โดยที่ UVA นั้นพบได้ในแสงแดดแต่ไม่สามารถพบได้ในแสงไฟจากหลอดไฟทั่วๆ ไปหรือแสงสว่างธรรมชาติภายในบ้าน

นักวิจัยเลยทำการดัดแปลงคุณสมบัติของ TiO_2 โดยการใช้เติมสารเจือปน อย่างเช่นเหล็ก (Fe) หรือไนโตรเจน (N) ผสมลงไปกับผง TiO_2 ด้วยกรรมวิธีที่เรียกว่า "Doping" ซึ่งเป็นกรรมวิธีเดียวกันที่ใช้ในการเติม สารเจือปนลงในสารกึ่งตัวนำทั้งหลาย

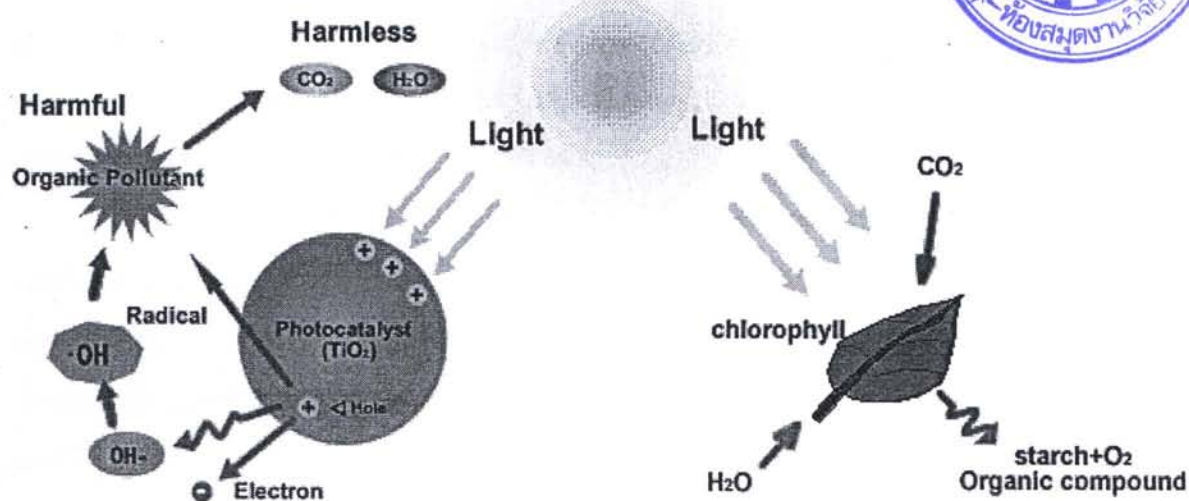
TiO_2 ที่ผ่านการเติมสาร เจือปนอย่างทีกล่าวนมาแล้ว จะมีคุณสมบัติ เปลี่ยนไปคือสามารถดูดซับแสงในช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่า 380 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่พบได้ในแสงสว่างภายในบ้านโดยทั่วไป

อิเล็กตรอนในโมเลกุลของ TiO_2 ที่ได้รับการกระตุ้นเนื่องจากการได้รับพลังงานจากแสงจะทำให้มันมีคุณสมบัติในการกักตรอนไม่แพ้สารอย่าง พวกคลอรีนเลยทีเดียว ดังนั้นมันจึงมี

คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคอย่างเช่นเชื้อแบคทีเรียได้ และยังมีคุณสมบัติในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์อีกหลายชนิดได้อีกด้วย

จากการศึกษาทางด้านนาโนเทคโนโลยี พบว่า สารไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยใช้แสงยูวีเป็นตัวกระตุ้น หรือที่เรียกว่า โฟโตแคตาไลซิส (photocatalyst) จะเกิดการแตกตัวและทำปฏิกิริยากับน้ำ จนได้เป็นอนุมูลอิสระซึ่งจะสามารถไปย่อยสลายโปรตีน หรือสารเคมีต่างๆ ได้

เทคนิคโฟโตแคตาไลซิส



ภาพ 18 เทคนิคโฟโตแคตาไลซิส

เป็นทางเลือกใหม่ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ที่อาจทำให้ลดต้นทุนการผลิตระบบบำบัดน้ำลง เนื่องจากประเทศเรามีพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอ ในปัจจุบันประเทศต่างๆได้ตระหนักถึงปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น , น้ำเสียนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอย่างหนึ่ง ที่มีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชน โดยเฉพาะน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ไม่ได้รับการบำบัดก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ หรือความไม่รับผิดชอบของเจ้าของ อุตสาหกรรมนั้นๆ โดยทั่วไปแล้วขบวนการบำบัดน้ำเสีย เริ่มจากการกำจัดสารที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำตามด้วยวิธีการทางชีววิทยา คือ ทำให้เกิดออกซิเดชัน

ของสารอินทรีย์ใน น้ำโดยแบคทีเรีย และขั้นตอนสุดท้าย จะกำจัดของแข็งที่เหลืออยู่ ทั้งชนิดที่ละลายและแขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้ค่าบีโอดี(BOD)ต่ำกว่า 20 ส่วนในล้านส่วน

ขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยวิธีการทางชีววิทยา ทางเคมีและทางกายภาพ เพื่อกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ที่เหลืออยู่ รวมทั้งเกลือแร่อนินทรีย์ที่ไม่ถูกกำจัดออกไป ในขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่สอง กระบวนการนี้จึงทำให้น้ำที่ได้มีความ สะอาดยิ่งขึ้นก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม เทคนิคต่างๆ ที่ทันสมัยที่ใช้ในขั้นตอนนี้ เช่น กระบวนการออสโมซิสผ้นกลับ (reverse osmosis) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และการทำอิเล็กโทรไดอะไลซิส (electrodialysis) นอกเหนือไปจากการตกตะกอน การกรอง และดูดซับกลิ่นและสีด้วยคาร์บอนกัมมันต์ (activated carbon) ดังนั้น กระบวนการกำจัดน้ำเสียในขั้นนี้ จึงมีค่าใช้จ่ายสูงมาก และไม่นิยมใช้กันใน ประเทศกำลังพัฒนา ปัจจุบันเทคนิคโฟโตแคตาไลซิส (photocatalysis technique) เป็นเทคนิคค่อนข้างใหม่อีกเทคนิคหนึ่ง สำหรับการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ หรือโลหะหนักบางชนิดที่เหลืออยู่ ซึ่งมีการศึกษาวิจัยถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้กับการบำบัดน้ำเสีย

จากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปด้วย เพราะเป็นเทคนิคที่ไม่ต้องลงทุนสูงมากการนำเทคนิคโฟโตแคตาไลซิสมาใช้ในการบำบัดน้ำ อาจเป็นผลจากการศึกษาวิจัยเมื่อ 10 กว่าปีมาแล้ว ที่พบว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น สระน้ำ แม่น้ำ ลำธาร และทะเลสาบ ส่วนมากจะมีระบบการให้น้ำบริสุทธิ์อยู่เองตามธรรมชาติ โดยการที่แสงอาทิตย์ไปทำให้โมเลกุลที่เล็กลง และกลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และผลิตภัณฑ์อนินทรีย์อื่นๆ ในที่สุด ในขบวนการนี้เกิดโดยอาศัยสารที่ทำให้เกิดสภาพไว (sensitizer) ทางธรรมชาติหลายตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาทดลองเพื่อยืนยันว่าสารประกอบกึ่งตัวนำ (semiconductor) ที่เกิดตามธรรมชาติสามารถ เพิ่มประสิทธิภาพขบวนการทำให้น้ำบริสุทธิ์โดยใช้แสงอาทิตย์ โดยการให้แสงช่วงอัลตราไวโอเลตใกล้ (near UV) กับสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (aqueous suspension)

ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดปริมาณโมเลกุลของสารอินทรีย์หลายชนิดลงได้ ต่อมาได้มีการศึกษาวิจัยถึงการใช้สารประกอบกึ่งตัวนำอื่น ๆ เช่น ทังสเตนออกไซด์ (WO_3) สังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เพื่อเป็นโฟโตแคตาลิสต์ (photocatalyst) ผลการวิจัยส่วนมากยืนยันว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นโฟโตแคตาลิสต์ที่มีประสิทธิภาพดี เพราะมีสมบัติที่ไม่ถูกแสงทำลาย ไม่เป็นสารพิษและไม่ละลาย ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ระหว่างต้นปี ค.ศ.1980 ได้มีการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เมื่อให้แสงช่วงอัลตราไวโอเลตใกล้กับไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีคลอรีนเตตอะลิฟาติก

ไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated aliphatic hydrocarbon) ปนเปื้อนมากับน้ำ จะสามารถลดปริมาณคลอรีนและเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์อินทรีย์ได้ทั้งหมด นอกจากนั้นในขบวนการนี้สารปนเปื้อนอื่นๆ รวมทั้งสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds) ที่ถูกออกซิไดส์ได้ยากก็สามารถเปลี่ยนให้เป็นการ์บอนไดออกไซด์ด้วย และสังเกตพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ระหว่างสารประกอบหนึ่งกับสารประกอบอื่นๆ ไม่แตกต่างกันนัก จากงานศึกษาวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ชัดว่าการให้แสงอัลตราไวโอเลตใกล้กับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่แขวนลอยอยู่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สมควรนำมาใช้ประโยชน์ จึงได้มีการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ กับการบำบัดน้ำที่มีสิ่งเจือปนในการกำจัดโลหะหนักหรือสารอินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียพบว่า โลหะที่ละลายอยู่ในรูปของไอออนบวกจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นรูปโลหะ (metallic form) และถูกดูดซับอยู่บนผิวของโฟโตแคตตาลิสต์ ขบวนการนี้ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นด้วย เพื่อรักษาความสมดุลทางไฟฟ้า (electro-neutrality) ดังนั้นปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดควบคู่กันไปทันที คือ สารอินทรีย์ถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาโฟโตแคตตาลิติกออกซิเดชัน ในขณะที่โลหะถูกกำจัดโดยปฏิกิริยารีดักชันนอกจากการกำจัดสารอินทรีย์และโลหะโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันแล้ว สารมลพิษอื่นๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ อาจถูกกำจัดจากสารละลาย โดยการดูดซับไว้ที่ผิวของโฟโตแคตตาลิสต์ หลักการพื้นฐานของเทคนิคโฟโตแคตตาลิซิส เริ่มจากการที่แสงอัลตราไวโอเลตใกล้ที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 390 นาโนเมตร ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ (Valence- band) ของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีสิ่งเจือปนหลุดออกจากตำแหน่งส่งผลให้คู่อิเล็กตรอนที่หลุดไป และโฮล (hole) ซึ่งเป็นช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอน และมีประจุบวกสามารถสร้างพลังงานความร้อนกลับมารวมตัวกันหรือทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยที่โฮลจะทำปฏิกิริยากับน้ำและหมู่ ไฮดรอกซิล (OH^-) เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง สามารถไปทำปฏิกิริยาโมเลกุล ของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่แตกตัวออกกลายเป็นน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และผลิตภัณฑ์อินทรีย์อื่นๆ ในที่สุด ส่วนอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ละลายอยู่ ทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (O_2^-) ซึ่งสามารถทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลได้ หลังจากปฏิกิริยาผ่านไปหลายขั้นตอน ในอีกทางหนึ่งอิเล็กตรอนสามารถลดปริมาณโลหะบางชนิด ที่ละลายอยู่ได้ด้วย อย่างไรก็ตามความสามารถในการที่อิเล็กตรอนและโฮลจะทำปฏิกิริยารีดอกซ์ (ออกซิเดชันรีดักชัน) อาจเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมได้โดยการเลือกใช้ค่าความเป็น กรด - ด่าง (pH)

ปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างสำคัญ ต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตตาลิติกคือ การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮล (electro / hole recombination) โดยปกติแล้วความสัมพันธ์

ของอัตราการรวมตัวกันใหม่กับปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง กล่าว คือ ถ้าปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วซึ่งหมายถึง ปริมาณอิเล็กตรอนที่แถบการนำ (conduction band) ของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์มีมากจะมีผลทำให้การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลมีอัตราลดลง และประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโฮลสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น ในทางกลับกันถ้าโฮลที่ว่างของแถบเวเลนซ์ถูกบรรจุด้วยอิเล็กตรอนให้เต็มอย่างรวดเร็วด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์โดยรวมแล้วคือว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะจะเป็นการส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตามสิ่งที่สนับสนุนการเพิ่มของขบวนการย้อนกลับเป็นความซับซ้อนยุ่งยากมาก เพราะโดยปกติแล้วปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดผ่านไฮดรอกซิลแรดิคัลเท่านั้น สำหรับการศึกษาวิจัยทางด้านนี้ เดิมใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์แขวนลอยอยู่ในน้ำ ที่มีสิ่งเจือปนโดยตรง แต่เนื่องจากการใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์วิธีนี้มีข้อเสียคือ หลังจากขบวนการบำบัดน้ำเสร็จสิ้นแล้ว จำเป็นต้องแยกผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นอนุภาคเล็กๆ นี้ สามารถติดอยู่ที่ผิวของภาชนะหรืออุปกรณ์ เช่น แก้ว ได้อย่างง่ายดาย ซึ่งถ้าปล่อยให้สารแขวนลอยของไทเทเนียมไดออกไซด์นี้แห้งติดอยู่บนเครื่องแก้วจะจัดออกได้ยาก คราบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ติดอยู่ในภาชนะ จะมีลักษณะเป็นฟิล์มเมื่อแห้งจะติดอยู่คล้ายขาว ไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำ นอกจากนี้ยังมีข้อเสียของการใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์โดยตรงอื่นๆ อีก จึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาการเตรียมโฟโตแคตาลิสต์ โดยเทคนิคใหม่ เช่น การยัดผงไทเทเนียมไดออกไซด์ไว้กับสิ่งที่อยู่กับที่เช่น กระดาษ แล้วผ่านน้ำที่จะบำบัดไปบนแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยแคตาลิสต์นี้ หรือการเตรียมโฟโตแคตาลิสต์โดยเตรียมสารละลายของไทเทเนียม โดยวิธีโซลเจล (sol-gel method) แล้วนำไปเคลือบบนแผ่นกระดาษ วิธีนี้จะได้โฟโตแคตาลิสต์ที่มีลักษณะโปร่งแสง ต่างกับการใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ยัดบนแผ่นกระดาษ นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่นๆ อีก

ในด้านของแหล่งพลังงานแสง ก็มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงานแทนหลอดปรอท (mercury lamp) ที่ใช้กันในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างของการศึกษาวิจัย เพื่อใช้เทคนิคโฟโตแคตาลิสต์บำบัดน้ำที่มีสิ่งเจือปน เช่น การศึกษาการลดปริมาณกรดพิกริก (picric acid) และสารประกอบอื่นที่มีลักษณะโมเลกุลใกล้เคียงกันคือ 2, 4 ไดไนโตรฟีนอล (2,4 - dinitrophenol) เมตาไนโตรฟีนอล (m-nitrophenol) และฟีนอล (phenol) โดยเทคนิคนี้ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับวัตถุระเบิด สีย้อม สิ่งทอ และอื่นๆจึงอาจปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง

จากการศึกษาพบว่า สารประกอบเหล่านี้ สามารถลดปริมาณลงได้โดยการใช้เทคนิคโฟโตแคตาไลซิส และฟีนอล จะลดปริมาณลงได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารดังกล่าวที่ความเข้มข้นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เทคนิคนี้ กับสารละลายของสารประกอบเหล่านี้ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ไนไตรต์และไนเตรต ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของขบวนการด้วย ยกเว้นฟีนอลที่เกิดเพียงคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว ขบวนการนี้ทำให้สารประกอบดังกล่าวสูญเสียคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (total organic carbon) อย่างเห็นได้ชัด และความแตกต่างระหว่างอัตราการลดปริมาณลงของสารประกอบเหล่านี้ กับอัตราการกำจัดคาร์บอน-อินทรีย์ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดของผลิตภัณฑ์มัธยันต์ (intermediate products) ระหว่างขบวนการขึ้น การศึกษาถึงสารมัธยันต์ที่เกิดระหว่างขบวนการนี้ จะทำให้เข้าใจถึงขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น แต่จะใช้เวลาในการศึกษามาก

ถึงแม้ว่าจะได้มีการศึกษาวิจัยเทคนิคโฟโตแคตาไลซิสกันไว้มาก แต่การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้ สำหรับการบำบัดน้ำจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ถ้ามีการวิจัยและพัฒนาต่อไป จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงในประเทศไทย ถ้าได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคนี้มากขึ้น จนสามารถนำไปใช้ได้ในระบบอุตสาหกรรม ก็คงเป็นทางเลือกใหม่ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ที่อาจช่วยลดต้นทุนการผลิตระบบบำบัดน้ำลง เนื่องจากประเทศเรามีพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอ และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้เป็นโฟโตแคตาไลซิสก็สามารถพบได้ในกากแร่ของเหมืองดีบุก ทางภาคใต้ของประเทศ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Calzada, et al., (1984) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากกาแฟ โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ ชนิดขั้นตอนเดียว และสองขั้นตอน ผลการศึกษาสรุปได้ว่ากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศชนิด 1 ขั้นตอน มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5-3 กรัมของของแข็งระเหยง่าย/ลิตร/วัน ระยะเวลาเก็บ 10 วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.55 ลิตร/ลิตร/วัน และมีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 79 ส่วนกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศชนิดสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรด ใช้ระยะเวลาเก็บ 12 ชั่วโมง ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.55 กรัมของของแข็งระเหยง่าย/ลิตร/วัน และขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการย่อยสลายของขบวนการการเกิดก๊าซมีเทน ใช้ระยะเวลาเก็บ 8 วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.8 กรัมของของแข็งระเหยง่าย/ลิตร/วัน และมีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 74 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ คือ กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศชนิดสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าชนิดขั้นตอนเดียว

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2530) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบหมักสองขั้นตอนและระบบหมักขั้นตอนเดียว เพื่อผลิตกรดอินทรีย์และก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ระบบหมักสองขั้นตอน มีสภาวะเหมาะสมที่เวลาเก็บกัก 1 วันสำหรับระบบหมักกรด และเวลาเก็บกัก 5 วันสำหรับระบบหมักมีเทน อัตราการบรทุกสารอินทรีย์ 3.63 กรัมของชีโอดีต่อลิตรต่อวัน (รวมทั้งสองระบบ) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสูงถึง 92.1% และมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดถึง 0.855 ลิตรต่อลิตรของถังหมักต่อวัน หรือ 5.13 ลิตรต่อลิตรน้ำทิ้ง และมีค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนสูงสุด (Methane Yield) 0.256 ลิตรต่อกรัมชีโอดี ที่ถูกจำกัดสำหรับระบบหมักขั้นตอนเดียวซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกับระบบหมักสองขั้นตอนนั้น ต้องมีเวลากักเก็บประมาณ 13 วัน ตรงกับอัตราป้อนสารอินทรีย์ 1.642 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ดังนั้น ระบบหมักสองขั้นตอนจึงมีขนาดเล็กเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของระบบหมักขั้นตอนเดียว จึงเป็นการลดค่าก่อสร้างระบบหมักลงได้มาก นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบหมักสองขั้นตอนสูงกว่าที่ผลิตได้จากระบบหมักขั้นตอนเดียว ระบบหมักสองขั้นตอนให้ปริมาณก๊าซชีวภาพต่ำกว่าระบบหมักขั้นตอนเดียวเล็กน้อย

Dinsdale, et al., (2000) ได้ทำการศึกษากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสอง ขั้นตอน โดยใช้ตะกอนของเสียจากผักและผลไม้ร้อยละ 10 ของปริมาตร ผสมกับน้ำเสียจากผักและผลไม้ที่มีของแข็งระเหยง่ายร้อยละ 25 ของปริมาตร อุณหภูมิภายในระบบ 30 องศาเซลเซียส อัตราการบรทุกสารอินทรีย์ 5.7 กรัมของของระเหยง่าย/ลิตร/วัน ระยะเวลาเก็บ 13 วัน (โดยขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรด ใช้ระยะเวลาเก็บ 3 วัน ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการย่อยสลายของกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน ใช้ระยะเวลาเก็บ 10 วัน ผลการศึกษาสรุปได้ว่า สามารถย่อยสลายของแข็งระเหยง่ายได้ร้อยละ 40 ของของแข็งระเหยง่าย และได้ก๊าซชีวภาพ 0.37 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยง่าย มีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 65

อุบลวรรณ ไชโย (2543) ได้ศึกษาซัลเฟตรีดิวซิงก์แบคทีเรียและมีเทนแบคทีเรียในการย่อยสลายกรดอะซิติก ที่อุณหภูมิปานกลางในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน กรดอะซิติกเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methane-Producing Bacteria (MPB) จากการศึกษา การใช้กรดอะซิติกในจุลินทรีย์ผสมพบว่าช่วงแรกมีการใช้กรดอะซิติกแต่ไม่มีก๊าซมีเทน เกิดขึ้นหลังจากใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานขึ้น พบว่ามีการใช้กรดอะซิติกเปลี่ยนไป เป็นก๊าซมีเทนเกิดขึ้น ผลการศึกษาสรุปได้ว่า มีจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งสามารถใช้กรดอะซิติกได้แต่ไม่ผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถใช้ซัลเฟตในการรับอิเล็กตรอนได้

ด้วยเรียกจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ว่า Sulfate-Reducing Bacteria (SRB) แสดงว่าในขั้นตอนการย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นก๊าซชีวภาพ มีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง อยู่ 2 กลุ่มคือ MPB และ SRB

ชยันต์ กิมยงค์ (2545) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศชนิดสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย โดยในกระบวนการนี้มีถังปฏิกรณ์ 2 ถัง ถังปฏิกรณ์แรกเป็นถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์เป็นถังที่เติมมูลสุกรเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลอง (batch reactor) ทำหน้าที่ผลิตกรดอินทรีย์จากมูลสุกร ในส่วนที่เป็นของแข็งและส่งผ่านไปยังถังปฏิกรณ์ที่สอง ถังปฏิกรณ์ที่สองเป็นถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน เป็นถังแบบมีตัวกลาง (packed bed) ซึ่งมีคุณสมบัติเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณน้ำในการไหลวนจะช่วยเพิ่มให้มีการพาสารอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ไปกำจัดในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 40 วันแรก และความสามารถในการกำจัดชีโอดีทั้งหมดที่อัตราการไหลวนน้ำ 2, 4 และ 6 ลิตรต่อวัน เป็น 3.1, 3.0 และ 3.3 กิโลกรัม ตามลำดับ และผลิตก๊าซชีวภาพได้ 38, 52 และ 135 ลิตร ตามลำดับ และยังได้ทำการศึกษาต่อ โดยเพิ่มปริมาณมูลสุกร ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ว่า การเพิ่มปริมาณมูลสุกร ไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน แต่การเกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดลดลง และพบว่าระบบบำบัดสองขั้นตอนมีเสถียรภาพการทำงานดีกว่าแบบขั้นตอนเดียว

วันทนีย์ อนันต์พุฒิกุล (2547) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลังดิบ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ส่วนประกอบหลักของหัวมันสำปะหลังสดโดยเฉลี่ยมีความชื้น 65% แป้ง 18% ปริมาณคาร์บอน 17% ไนโตรเจน 0.20% และของแข็งทั้งหมด 35% ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กระบวนการหมักแบบขั้นตอนเดียวนี้ได้เตรียม หัวมันสำปะหลังดิบในลักษณะแห้ง (ความชื้น 18.65% ปริมาณคาร์บอน 39.56% ไนโตรเจน 0.46% และของแข็งทั้งหมด 81.35%) และเริ่มหมักด้วยปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง (โดยเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 วัน โดยใช้ปริมาณหัวมันแห้งดิบที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดต่างกัน พร้อมทั้งทดลองเติมแหล่งไนโตรเจน (ยูเรีย) ในปริมาณต่างกัน และเติมหัวเชื้อที่เตรียมจากมูลสัตว์ และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่าที่ 1.00% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ของของแข็งทั้งหมด และการเติมยูเรีย 0.04% (น้ำหนักต่อปริมาตร) (สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 20 ต่อ 1) ให้ผลผลิตของแก๊ส 1.95 ลิตรต่อวัน ที่มีปริมาณมีเทนสูงสุดคือ 67.92% ที่ระยะเวลาการหมัก 10 วัน โดยกระบวนการหมักสิ้นสุดเมื่อหมักได้ 16 วัน และมีปริมาณก๊าซและมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด 530 และ 259 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมดที่เติมลงไป ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาตรของ วัสดุหมักเป็น 20 และ 50 ลิตร

ตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางของการขยายกำลังการผลิต พบว่าทั้งใน ถังหมักที่มีวัสดุนหมัก 20 และ 50 ลิตร นั้นเมื่อหมักได้ 16 วัน มีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นทั้งหมด 517 และ 546 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณมีเทน 252 และ 299 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด แต่กระบวนการหมักสิ้นสุดที่ 21 และ 24 วัน และได้ก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดคือ 580 และ 564 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด มีมีเทน 334 และ 322 ลิตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ตามลำดับ กล่าวโดยสรุปได้ว่าหัวมันสำปะหลังดิบ (ความชื้น 18.65%) 1 กิโลกรัม ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 443 ลิตร มีมีเทน 242 ลิตร ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานได้ 9,765 กิโลจูล

นายประมวล ทราทอง (2547) ได้ทำการศึกษาทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีน โดยวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศชนิดสองขั้นตอนในระดับห้องปฏิบัติการ ระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 27.73 ลิตร และถังหมักก๊าซมีปริมาตรการหมัก 52.83 ลิตร ซึ่งถึงปฏิกิริยาทั้งสองถังนี้มีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์เมื่อดำเนินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 10 และ 8 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 2.45 3.06 และ 4.45 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดค่าชีโอดีมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 88.68-93.69 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 73.49 - 87.45 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 85.11 - 94.32 และประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 88.75 - 95.62 โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าชีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 93.69 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 4.28 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 64.91 ส่วนที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.45 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าชีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 88.68 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 15.87 ลิตรต่อวัน และมีก๊าซชีวภาพเกิดสูงสุดถึง 21.05 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเท่ากับร้อยละ 67.78

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2551) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลัง จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การทดลองแบบ Batch เปอร์เซ็นต์ กากมันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับการหมักเป็นก๊าซชีวภาพ คือ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การหมักที่ เปอร์เซ็นต์กากสูงต้องการสารบัฟเฟอร์ในปริมาณที่สูง ซึ่งการเติมต่างมากเกินไปอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้(สำหรับ Batch test) นอกจากนั้นแล้วการดำเนินระบบที่ปริมาณของแข็งสูงในระดับห้องทดลอง จะทำให้เกิดการตันของท่อในระบบได้ การใช้เอนไซม์และการให้ความร้อนไม่ได้เพิ่ม ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อกากมันสำปะหลัง

คือประมาณ 0.047 ลบ.ม.ต่อ กก. ของกากมันสำปะหลัง และจากการทดลองด้วยระบบต่อเนื่องสรุปผลการศึกษาได้ว่า การหมักกากมันสำปะหลังในบ่อราง 2% TS ที่ HRT 10 วัน ในช่วงวันที่ 20-40 ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบนั้น ได้ผ่านการหมักกรดมาก่อนแล้วและมีค่า VFA สูง ส่วนในช่วงอื่นๆ พบว่าอัตราการเกิดกรดมีค่าต่ำและมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนประกอบของก๊าซมีเทนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาในการหมักมากขึ้น คือ ที่ 10, 20 และ 30 วัน ก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนประมาณ $46.2 \pm 3.5\%$, $54.5 \pm 3.2\%$ และ $56.0 \pm 2.01\%$ ตามลำดับ กากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้นจะเหลือประมาณร้อยละ 20-30 ต่อดันแปลงจากขบวนการผลิต (Soccol, 1996) กากจะมีความชื้นสูงมาก (ร้อยละ 72 ของน้ำหนักเปียก) และยังคงมีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงอยู่ (ร้อยละ 68.89 ของน้ำหนักแห้ง) ทำให้เน่าเสียได้ง่าย นอกจากแป้งแล้วยังประกอบด้วย เกล็ด โปรตีน เส้นใย และไขมัน ตามตาราง 1 โดยองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังจะแตกต่างกันตามคุณภาพวัตถุดิบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ พันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว แหล่งเพาะปลูก และการจัดการการเพาะปลูก นอกจากนี้ องค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย ซึ่งได้แก่ประสิทธิภาพการสกัดแป้ง

มิกิ กัณณะ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของไอออนโลหะบนไทเทเนียมไดออกไซด์ การดูดซับไอออนโลหะ Cu(II), Mn(II), Pb(II) และ Fe(III) บนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไทเทเนียมเตตระคลอไรด์กับสารละลายแอมโมเนียเจือจางที่อุณหภูมิห้องโดยจากการศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิค XRD, EDXRF, TGA, BET, DSC และ FT-IR พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้เป็นอสังฐาน มีพื้นที่ผิว (BET) ประมาณ 260-332 ตารางเมตรต่อกรัม คาดว่าอยู่ในรูป $\text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (ต่อไปจะใช้แทนด้วย HA- TiO_2) และในการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะบน HA- TiO_2 ใช้การทดลองแบบไม่ต่อเนื่องทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน โดยทำการศึกษาลักษณะการดูดซับระหว่าง HA- TiO_2 และไอออนโลหะ Cu(II), Mn(II), Pb(II) และ Fe(III) ที่ pH 7 พบว่าสอดคล้องกับสมการของไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบ Langmuir

ฉลาด บรรเทา และฐิติศรี ศรีสุทธิกมล (2548) การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานกระดาษด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ น้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษมีสีซึ่งเกิดจากลิกนิน เป็นองค์ประกอบ ซึ่งยากต่อการบำบัด โครงการนี้เป็นการศึกษาการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตเยื่อ

กระดาษโดยไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ระยะเวลา ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัด และประสิทธิภาพในการ นำไปใช้นำบัติน้ำเสียจริง การทดลองทำโดยใช้แบบจำลองแบบเดิมเดิมครั้งเดียว (Batch) และใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งปริมาณลิกนิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการหาระยะเวลาโดยใช้ไทเทเนียมได ออกไซด์ที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าระยะเวลาลิกนินถูกบำบัดหมดใน 8 ชั่วโมง การศึกษาหา ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมคือ 4.0 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัด สามารถกำจัดลิกนินได้ 100% และจากการทดลองในการ บำบัดสีจากลิกนินในน้ำเสียจริง ซึ่งมีปริมาณลิกนิน 27.4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ ไทเทเนียมไดออกไซด์ 4.0 กรัมต่อลิตร และระยะเวลา 8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดลิกนิน สามารถกำจัดได้ร้อยละ 69.8

นันทิยา เปปะตัง (2545) ได้ทำการศึกษาแนวทางการใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำ เสียรวมของฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรม อาหารขนาดกลาง-เล็กไปใช้เป็นพลังงานทดแทนใน จังหวัดนครปฐม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม จากฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลาง-เล็ก ได้ศึกษาในพื้นที่ 3 ตำบล คือ ตำบล ท่าข้าม ตำบลบ้านใหม่ และตำบลสามพราน ในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ระบบบำบัดน้ำ เสีย รวมที่คาดว่าจะใช้เป็นระบบก๊าซชีวภาพแบบ H-UASB และระบบบำบัดขั้นหลังแบบ Constructed Wetland ใช้พื้นที่ทั้งหมด 184 ไร่ น้ำเสียเข้าระบบบำบัดรวมประมาณ วันละ 2,500 ลบ.ม. และมีค่าความสกปรก 23,300 กิโลกรัม COD / วัน สามารถผลิต ก๊าซชีวภาพได้ประมาณวัน ละ 7,000 ลบ.ม. ที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 65 งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาแนวทางการใช้ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากระบบบำบัด น้ำเสียรวมไปใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยส่วนหนึ่งไปใช้เป็นแหล่ง พลังงานภายในระบบ บำบัดน้ำเสียรวมเองทั้งในเชิงความร้อนและไฟฟ้า และอีกส่วนหนึ่งนำมา ผลิต พลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชน พบว่าจะต้องผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบบำบัด อาคาร ควบคุมการ เติบระบบและบ้านพักคนงานประมาณ 205 กิโลวัตต์-ชม./วัน ใช้ก๊าซชีวภาพ ประมาณ 164 ลบ.ม./ วัน คิดเป็นร้อยละ 2.3 ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด ส่วนเครื่อง อบแห้งกากตะกอนขนาด 13,200 กิโลกรัม/วัน ต้องการก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ประมาณ 1,500 ลบ.ม./วัน คิดเป็นร้อยละ 21 ของ ก๊าซชีวภาพ ส่วนก๊าซชีวภาพ ที่เหลือจากการใช้ภายในระบบบำบัดน้ำเสียรวมอีกประมาณ 5,336 ลบ.ม./วัน หรือคิด เป็นร้อยละ 76.7 ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด นำไปผลิตไฟฟ้าได้ 6,670 กิโลวัตต์- ชม. ให้กับชุมชน 3 ตำบลเป้าหมาย สามารถนำไปทดแทนความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ได้ ร้อยละ 1.4 ของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีการใช้โดยเฉลี่ยต่อวัน ประมาณ 0.5 ล้าน

กิโวลต์-ชม. ซึ่งใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าราชบุรีเป็นหลัก การนำพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนได้เสนอทางเลือกไว้ 2 แนวทาง คือ ให้กับ ชุมชนโดยการขายเข้าระบบของการไฟฟ้าในราคาขายส่งเฉลี่ยที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทยขายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาครวมค่า Ft สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก ความคุ้มค่าทางการเงินเมื่อพิจารณารายได้จากการ ขายไฟฟ้าและปุ๋ยอินทรีย์มีมูลค่าประมาณ 4.84 และ 1.12 ล้านบาท/ปี ตามลำดับ รวมรายได้ปีละ 5.96 ล้านบาท กรณีที่พิจารณาค่าลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวม เป็นต้นทุนวิเคราะห์ทางการเงิน พบว่าไม่สามารถคืนทุนได้ในช่วง 15 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบ และอัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่าต่ำกว่าอัตราขั้นต่ำ ที่ยอมรับได้ แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าดำเนินการรายปีจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิประมาณ 20.1 ล้านบาท ที่ระยะเวลาดำเนินโครงการ 15 ปี อัตราส่วนลดร้อยละ 7 ตลอดทั้งโครงการ และรายได้มากกว่าค่าดำเนินการรายปีที่ไม่นับรวมรายจ่ายใน การเปลี่ยนอุปกรณ์ประมาณ 2.74 ล้านบาท/ปี และยังคงมากกว่าเมื่อรวมรายจ่ายใน การเปลี่ยนอุปกรณ์ ยกเว้นในปีที่มีการเปลี่ยน Gas Engine Generator Set แต่สามารถใช้ผลกำไรสะสมในปีอื่นๆ มาใช้สนับสนุนได้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็น ความน่าสนใจที่จะนำก๊าซชีวภาพมาทดแทนพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชนโดยการขาย เข้าระบบให้กับการไฟฟ้า ส่วนการให้พลังงานไฟฟ้ากับชุมชนในรูปแบบสาธารณะประโยชน์โดยการให้เปล่า เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทดแทนพลังงานไฟฟ้าให้กับชุมชน เช่น ใช้เป็นระบบ แสงสว่างตามถนน ใช้ในสวนสาธารณะ สนามเด็กเล่น หรือศูนย์กีฬาที่อาจสร้างขึ้น ในบริเวณใกล้เคียงกับระบบบำบัดน้ำเสียรวม เพื่อเป็นแรงจูงใจให้กับประชาชน ในชุมชน และแสดงภาพลักษณ์ที่ดีของระบบบำบัด

ชยันต์ กิมยงค์ (2545) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้กระบวนการย่อยสลาย แบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย โดยในกระบวนการนี้มีถังปฏิกรณ์ 2 ถัง ถังปฏิกรณ์แรกเป็นถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์เป็นถังที่เติมมูลสุกรเพียง ครั้งเดียวตลอดการทดลอง (batch reactor) ทำหน้าที่ผลิตกรดอินทรีย์จากมูลสุกร ในส่วนที่เป็นของแข็ง และส่งผ่านไปยังถังปฏิกรณ์ที่สอง ถังปฏิกรณ์ที่สองเป็น ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน เป็นถังแบบมีตัวกลาง (packed bed) ซึ่งมีคุณสมบัติ เก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี ระบบสองขั้นตอนนี้ทำงานโดยการใช้ น้ำไหลวนผ่าน ระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถัง ซึ่งน้ำมีหน้าที่ในการชะล้างอินทรีย์ที่ละลายน้ำ จากมูลสุกรในถังปฏิกรณ์ผลิตกรด และนำไปยังถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลวนน้ำระหว่างถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถัง และความหนาของชั้นมูลสุกรในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ การศึกษาผลของปริมาณน้ำโดยทดลองที่อัตราการไหลวนน้ำ 2, 4 และ 6 ลิตร ต่อวัน ที่ความหนาชั้นมูลสุกร 10 เซนติเมตร หรือปริมาณมูลสุกรบรรจุ

8.4 กิโลกรัม พบว่าการเพิ่มปริมาตรน้ำในการไหลวนจะช่วยเพิ่มให้มีการพาสารอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ ผลิตรกรดอินทรีย์ไปกำจัดในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนได้มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่าง รวดเร็วในช่วง 40 วันแรก และความสามารถในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดที่อัตราการ ไหลวนน้ำ 2, 4 และ 6 ลิตรต่อวัน เป็น 3.1, 3.0 และ 3.3 กิโลกรัม ตามลำดับ และผลิตก๊าซชีวภาพได้ 38, 52 และ 135 ลิตร ตามลำดับ ส่วนการศึกษาโดยการเพิ่ม ความหนาของชั้นมูลสุกรจาก 10 เซนติเมตร เป็น 20 เซนติเมตร ที่อัตรา การวนน้ำ 6 ลิตรต่อวัน พบว่าทำให้มีการชะสารอินทรีย์จากมูลสุกรมากขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการ ผลิต ก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน แต่การเกิดก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ผลิตรกรด ลดลง เนื่องจาก ผลความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น สภาวะที่เหมาะสมใน งานวิจัยนี้คือ ที่อัตราการวนน้ำ 6 ลิตร ความหนาชั้นมูลสุกร 10 เซนติเมตร (มูลสุกรบรรจุ 8.4 กิโลกรัม) โดยมีประสิทธิภาพการ กำจัดซีโอดี สารอินทรีย์ระเหย และของแข็งในถังปฏิกรณ์ผลิตรกรดอินทรีย์ เป็นร้อยละ 54, 38 และ 33 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 376 ลิตร และระยะเวลาในการหมักที่ดีที่สุดในการผลิต ก๊าซชีวภาพคือ 40 วัน ในการศึกษาการบำบัดมูลสุกรในส่วนที่เป็นของแข็งการดำเนินระบบไม่มี ปัญหา เรื่องการอุดตัน เนื่องจากมีการแยกระหว่างส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกจากกัน และพบว่าระบบบำบัดสองขั้นตอนมีเสถียรภาพการทำงานดีกว่าแบบขั้นตอนเดียว และ จากการ วิเคราะห์ทางด้านการเงินโดยเปรียบเทียบระหว่างระบบบ่อแบบราง ระบบบ่อแบบ H-UASB และ ระบบที่ทำการศึกษาคือระบบสองขั้นตอน คำนวณราคาก๊าซชีวภาพได้ 1.9, 1.7 และ 3.0 บาทต่อ ลูกบาศก์เมตรก๊าซชีวภาพ ตามลำดับ ระบบสองขั้นตอนถ้าได้มี การปรับปรุงประสิทธิภาพในการ ผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเต็มความสามารถ จะช่วยลดต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพลง ได้มาก เนื่องจากต้นทุนของราคาก่อสร้างระบบนี้ มีราคาถูกกว่า