แก๊สชีวภาพ

สถิตรัตน์ รอดอารี*

แก๊สชีวภาพ คือ แก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ องค์ประกอบหลักของแก๊สชีวภาพประกอบด้วย มีเทน (CH_4) ประมาณ 60-70% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ไฮโดรเจน (H_2) ประมาณ 5-10% และแก๊สอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน (N_2) ประมาณ 2% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณ 1-2% ขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (anaerobic digester) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน แป้ง และโปรตีน ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายจนกลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile acids) โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) และขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน(methane producing bacteria)

ปัจจัยสำคัญในการผลิตก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นผลจากการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดเกี่ยวข้องกัน การที่จะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซได้ดีนั้นจะต้องสร้างสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เพราะถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้การผลิตก๊าซได้ผลลดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ *(1) ต้องไม่มีก๊าซออกซิเจนในบ่อหมัก* การย่อยสลายสารอินทรีย์หรือส่วนผสมมูลสัตว์เพื่อให้เกิดก๊าซมีเทนหรือก๊าซหุงต้มนั้น จำเป็นจะต้องทำให้บ่อหมักอยู่ในสภาพที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนอยู่เลย หากมีก๊าซออกซิเจนอยู่ก็จะทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหยุดการเจริญเติบโต นั่นหมายความว่าจะไม่มีการผลิตก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ ดังนั้นบ่อหมักก๊าซชีวภาพถ้ามีรอยรั่วหรือปิดไม่สนิท ก็จะทำให้ก๊าซมีเทนหยุดชะงักไป *(2) อุณหภูมิที่เหมาะสม* อุณหภูมิในบ่อหมักมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากความเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 3-70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนในช่วงอุณหภูมินี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือช่วงอุณหภูมิต่ำ ช่วงอุณหภูมิปานกลาง และช่วงอุณหภูมิสูง อุณหภูมิในแต่ละช่วงจะมีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ คืออุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จำนวนหนึ่งเพื่อที่จะให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ต้องการก็จะเร็วขึ้น ซึ่งทำให้สามารถสร้างบ่อก๊าซขนาดเล็กลงได้ (แต่อุณหภูมิจะไม่มีผลต่อปริมาณก๊าซที่ควรจะผลิตได้ทั้งหมดจากสารอินทรีย์นั้น ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์) *(3) ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมัก (Substrate Solids Content)* เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักแบบมีการเติมสารอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอควรมีค่าระหว่าง 5-10% และควรมีค่าประมาณ 25% สำหรับบ่อหมักแบบเติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียว ความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักมีมากไปหรือน้อยไปก็จะเกิดผลเสียคือ ถ้าความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มมากขึ้นเกินไป ก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดเพิ่มขึ้น (pH ต่ำลง) ทำให้ขบวนการหมักหยุดชะงัก เป็นผลทำให้ไม่มีการผลิตก๊าซ แต่ถ้าความเข้มข้นของของแข็งในบ่อหมักน้อยเกินไป ก็จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรของบ่อไม่

***อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์**

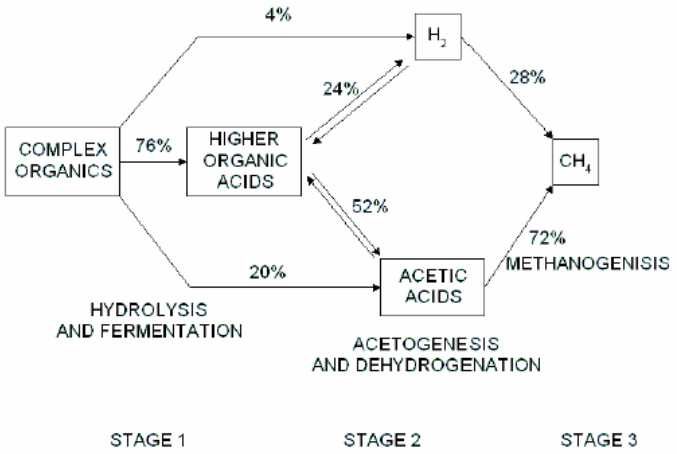
มากเท่าที่ควรทำให้ได้ก๊าซน้อย *(4) ระยะเวลาการพักตัวของการเกิดก๊าซ (Retention Time)* เป็นระยะเวลาที่ให้สารอินทรีย์ถูกผสมอยู่ในบ่อหมักก๊าซ เพื่อให้แบคทีเรียได้ย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้เป็นอาหารสำหรับการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ให้มากขึ้นก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากบ่อหมัก ปกติจะใช้เวลา 20-50 วัน ระยะเวลาการพักตัวของการเกิดก๊าซ สำหรับบ่อหมักก๊าซที่มีการเติมสารอินทรีย์ตลอดเวลาหรือเป็นระยะๆ สามารถคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยได้โดย

ระยะเวลาการพักตัว = ปริมาตรบ่อก๊าซ/ปริมาตรการเติมสารหมักต่อวัน

ถ้าระยะเวลาการพักตัวสั้นเกินไป การชะล้างของแบคทีเรียในบ่อหมักจะมีอัตราเร็วกว่าการสร้างแบคทีเรียใหม่ ปฏิกิริยาการย่อยสลายก็จะหยุดชะงัก เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียในบ่อหมักลดลงหรือหมดไป แต่ถ้าให้ระยะเวลาพักตัวนานเกินไป ก็หมายความว่าบ่อหมักจะต้องมีปริมาตรใหญ่ขึ้น ทำให้ราคาค่าก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพแพงตามไปด้วย *(5) ค่าพีเอช (pH) และความเข้มข้นของกรดระเหย (Volatile acid)* ค่าพีเอชของสารละลายถ้าวัดค่าพีเอชได้เท่ากับ 7 แสดงว่าสารละลายนั้นเป็นกลาง ถ้าค่าพีเอช ต่ำกว่า 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีความเป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 ก็แสดงว่าสารละลายนั้นมีความเป็นด่าง เมื่อขบวนการหมักเข้าสู่สภาพคงที่แล้วก็จะทำให้เกิดความสมดุลของสภาวะความเป็นกรดและด่าง เนื่องจากการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ไบคาร์บอเนต (CO_2, HCO_3) และเกิดแอมโมเนีย แอมโมเนียม (NH_3, NH_3^+) ทำให้สารละลายในบ่อหมักมีค่า พีเอชระหว่าง 7.0 ถึง 8.5 ซึ่งเป็นค่าพีเอช ที่วัดได้ในสารละลายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ทำงานเป็นปกติ ถ้าค่าพีเอชของสารละลายในบ่อหมักลดลงต่ำกว่า 6.2 จะหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นผลทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลงสำหรับขบวนการหมักปกติความเข้มข้นของกรดระเหยได้ ซึ่งวัดในรูปของกรดอะซิติค (Acetic acid) ควรจะต้องต่ำกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ากรดระเหยมีค่าสูงกว่านี้ก็จะไปหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนเช่นกัน *(6) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio)* อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ควรอยู่ระหว่าง 30 : 1 ถึง 10 : 1 เนื่องจากแบคทีเรียต้องใช้ทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโตถ้าปริมาณไนโตรเจนมากจนเกินไปจะเกิดการสร้างแอมโมเนียมากขึ้น เป็นผลทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นด่างซึ่งจะไปหยุดยั้งการทำงานของแบคทีเรีย *(7) สารเคมีและยาปฏิชีวนะ* สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ใช้ในการดูแลรักษาสุขภาพสัตว์ ล้างคอกและอื่นๆอาจมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งนั้น ทั้งนี้เป็นเพราะสารเคมีและยาปฏิชีวนะบางอย่างเป็นอันตรายกับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพน้อยลงหรือไม่เกิดเลย ดังนั้นการใช้และบำรุงรักษาบ่อก๊าซชีวภาพจะต้องระวังไม่ให้สารเคมีและยาปฏิชีวนะเข้าไปในบ่อก๊าซชีวภาพได้ เช่น เมื่อใดที่มีการใช้ยาฆ่าเชื้อโรคล้างคอกสัตว์ก็ให้นำน้ำนั้นไปทิ้งที่อื่น หรือถ้ามีการนำยาปฏิชีวนะให้สัตว์กินหรือฉีด ก็ต้องไม่ปล่อยให้มูลสัตว์นั้นไหลลงไปในบ่อเติมของบ่อก๊าซชีวภาพ (มานิตย์ อำพันธุ์, 2544)

<u>กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ</u>

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์จนเกิดเป็นก๊าซชีวภาพ สารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เศษอาหารที่ย่อยไม่ได้และถูกขับออกจากร่างกายสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยสารที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพคือ เซลลูโลส (Cellulose) โปรตีน (Protein) ลิกนิน (Lignin) แป้งและน้ำตาล (Carbohydrate) ไขมัน (Fat) กรดนิวคลีอิค (Nucleic acid) แอลกอฮอล์ (Alcohol)



รูปที่ 1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ (Danish International Development Assistance, 2003)

ตัวการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่จุลินทรีย์บางกลุ่มจะทำหน้าที่ย่อยสลายมูลสัตว์จนมีอนุเล็กลงและได้สารที่จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria) นำไปสร้างก๊าซมีเทนในที่สุด โดยมีการแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน(ดังแสดงในรูปที่ 1) คือ *ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolytic stage)* เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยกลุ่มของแบคทีเรียให้เป็นโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล เป็นต้นในขณะเดียวกันผลจากการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายนี้ก็จะเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ จากนั้นปฏิกิริยานี้จึงทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด (ค่า pH ต่ำ) และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป *ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Stage)* การสร้างกรดอะซิติก จากกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆโดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก ในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ *ขั้นตอนที่ 3 การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Stage)* ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียชนิดที่สามารถผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ซึ่งมีอยู่หลายชนิดและเป็นแบคทีเรียที่ต้องอาศัยอยู่ในสภาวะที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน ถ้ามีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้แบคทีเรียพวกนี้หยุดการเจริญเติบโต ก๊าซมีเทนอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์ (ส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก) กับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน เชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มจะต้องมีปริมาณสัมพันธ์กัน เพราะถ้าหากสารอาหาร(มูลสัตว์)มีมากเกินไป แบคทีเรียกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 จะผลิตกรดออกมามาก จนกระทั่งแบคทีเรียกลุ่มที่ 3 หยุดทำงาน (ก๊าซ

ไม่เกิด) หากสารอาหารมีน้อยเกินไปแบคทีเรียก็จะเจริญเติบโตช้า(ผลิตก๊าซได้น้อย) หากมีการกวนสารอาหารพอสมควร จะทำให้แบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มสัมพันธ์กันดี (มานิตย์ อำพันธุ์, 2544)

ระบบของการหมักก๊าซชีวภาพ

แบ่งตามแบบการเติมสารหมัก (อินทรีย์สาร+น้ำ) คือ *(1) แบบเติมครั้งคราว (Batch Operation)* โดยการเติมอินทรีย์สารครั้งเดียวแล้วปล่อยให้อินทรีย์สารถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงเอาออก และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซต่ำและก๊าซไม่คงที่ *(2) แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Operation)* โดยการเติมอินทรีย์สารเป็นประจำ วันเว้นวัน หรือวันเว้น สองวัน ขึ้นอยู่กับสภาพสารอินทรีย์ที่มี และขนาดของบ่อหมัก ผลที่ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก และ ก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่ *(3) แบบต่อเนื่อง (Continuous Operation)* เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าและเอาสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงสุด เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรม และก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา (มานิตย์ อำพันธุ์, 2544)

ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ

สารอินทรีย์ชนิดต่างๆ เมื่อย่อยสลายหมดแล้วให้ก๊าซชีวภาพไม่เท่ากัน มูลสัตว์มักจะย่อยสลายได้ง่ายและให้ปริมาณก๊าซมาก แต่ในการพิจารณาความเหมาะสมของสารเหล่านี้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ความหนาแน่น ความชื้น การอุดตัน กากที่ย่อยไม่ได้ ราคาและวิธีการเก็บ ตัวอย่างเช่น ผักตบชวามีความหนาแน่นต่ำจึงมีปริมาตรมากต่อน้ำหนักกิโลกรัมของของแข็ง ทำให้ต้องใช้บ่อหมักที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ จึงต้องมีวิธีการทำให้น้ำระเหยออกบ้าง ปัจจัยประกอบเหล่านี้ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวามีค่าใช้จ่ายสูง ถึงแม้ผักตบชวาจะผลิตก๊าซชีวภาพได้มากต่อกิโลกรัมของของแข็งก็ตาม (มานิตย์ อำพันธุ์, 2544)

ชนิดและแบบของบ่อแก๊สชีวภาพ (Biogas Plant)

บ่อแก๊สชีวภาพแบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพการทำงานได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ได้แก่ **บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง** บ่อหมักช้าที่มีการสร้างใช้ประโยชน์กันและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มี 3 แบบหลักคือ *(1) แบบยอดโดม (fixed dome digester)* ลักษณะโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมฝังอยู่ใต้ดิน ส่วนที่กักเก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดม แบบนี้เหมาะสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก มีข้อดีคือ ประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์ม ง่ายต่อการต่อรางระบายมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมัก เนื่องจากตัวบ่อหมักจะฝังอยู่ใต้ดิน และดินที่อยู่รอบๆ บ่อหมักจะช่วยป้องกันการแตกร้าวของบ่ออันเนื่องจากแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้น และน้ำหนักน้ำ และมูลสัตว์ที่เติมลงไปในบ่อได้ดีและอุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ช่วยให้การหมักของมูลต่อ เนื่องสำหรับข้อเสียของแบบนี้คือในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูงการทำงานและการสร้างบ่อจะค่อนข้างลำบาก (*2) แบบฝาครอบลอย (floating drum digester)* หรือ *แบบอินเดีย (Indian digester)* เป็นแบบแรกๆ ที่มีการนำมาก่อสร้างในประเทศไทยเป็นบ่อขนาดเล็กมีทั้งแบบบ่อสองชั้นและแบบบ่อชั้นเดียว บ่อหมักมีถังโลหะครอบอยู่ด้านบน ถังโลหะนี้จะเป็นตัวเก็บแก๊สและ

สามารถเพิ่มแรงดันแก๊สได้โดยการเพิ่มน้ำหนักบนถังโลหะเนื่องจากถังครอบเป็นโลหะการก่อสร้างบ่อขนาดใหญ่จึงทำได้ยาก มีการคิดประยุกต์โดยการขุดบ่อหมักหลายๆ บ่อ ก่ออิฐฉาบปูนหรือใช้ถังซีเมนต์แล้วปิดฝาตายตัว จากนั้นต่อท่อนำแก๊สมายังถังโลหะซึ่งคว่ำอยู่ในบ่อที่ใส่น้ำอีกบ่อหนึ่งให้ถังโลหะทำหน้าที่เป็นถังเก็บแก๊ส บ่อชนิดนี้เป็นบ่อแก๊สที่ไม่สลับซับซ้อนเกษตรกรที่มีความสามารถทางงานปูนมาบ้างก็สามารถก่อสร้างเองได้ การดูแลบำรุงรักษาง่าย อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำถังเก็บแก๊สและการบำรุงรักษา *(3) แบบพลาสติกคลุมราง (plastic covered ditch)* หรือ *แบบปล๊กโฟลว์ (plug flow digester)* มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูฝังในดิน ส่วนที่ใช้เก็บก๊าซจะใช้ผ้าพลาสติกที่เรียกว่า red-mud-plastic คลุมส่วนบนของบ่อหมักไว้ ข้อดีของบ่อแบบนี้ คือเนื่องจากลักษณะของบ่อเป็นแนว จึงทำให้ระยะเวลาในการหมักมูลสุกรมากขึ้น ซึ่งถ้ามูลสุกรมีเวลาในการหมักนาน ก็จะทำให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีมากขึ้นด้วย และเนื่องจากส่วนที่เก็บกักก๊าซเป็นผ้าพลาสติก จึงทำให้ทราบได้ว่าปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นมีมากน้อยเท่าไร *(4) ระบบไฮฟี (HYPHI)* ระบบนี้ออกแบบขึ้นมาเพื่อกำจัดของเสียจากฟาร์มสุกรระดับกลางถึงระดับใหญ่หรือฟาร์มขนาดประมาณ 1,500 ตัวโดยเฉพาะ โดยมุ่งกำจัดทิ้งของเสียที่เป็นของแข็งได้แก่มูลสุกรและส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่ ปัสสาวะและน้ำล้างคอก ระบบนี้ออกแบบมาเพื่อกำจัดของเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ คำว่า HYPHI ย่อมาจากคำว่า Hybrid Plug-flow High-rate System ระบบนี้ประกอบด้วยถังหมักตะกอนแบบหมักช้า (Plug-flow) และถังหมักของเสียเป็นน้ำแบบหมักเร็ว (High-rate) เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้ระบบการกำจัดของเสียดังกล่าวสามารถกำจัดของเสียที่เป็นน้ำได้ปริมาณมาก บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ *(1) แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter)* หรืออาจเรียกตามชื่อย่อว่า *แบบเอเอฟ (AF)* ตัวกลางที่ทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็วแบบนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่กับที่แก๊สถูกเก็บอยู่ภายในพลาสติกที่คลุมอยู่เหนือราง มักใช้ไม้แผ่นทับเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความดันแก๊ส (2) *แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket)* บ่อหมักเร็วแบบนี้ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้น โดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ตะกอนส่วนที่เบาจะลอยตัวไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ

รูปที่ 2 บ่อก๊าซชีวภาพแบบยอดโดม (fixed dome digester) (สมชัย จันทร์สว่าง, 2545)

รูปที่ 3 บ่อก๊าซชีวภาพแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester) (สมชัย จันทร์สว่าง, 2545)

รูปที่ 4 บ่อก๊าซชีวภาพแบบไฮฟี่ (HYPHI) (สมชัย จันทร์สว่าง, 2545)

รูปที่ 5 บ่อหมักเร็วแบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) และแบบยูเอเอสบี(UASB) (สมชัย จันทร์สว่าง, 2545)

<u>ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Type of Micro-Organism)</u>

(1) Fermentative bacteria ย่อยสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็ก แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตท โพพิโอเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล *(2) Hydrogen-producing acetogenic bacteria* จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายโพรพิโอเนท เอทานอล และกรดอินทรีย์อื่นๆได้เป็นกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน *(3) Homoacetogenic bacteria* ได้แก่ Butyribacteriaterium

methylophicum จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นกรดอะซิติก ถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น แลคเตท ไพรูเวท และ เฮกโซส ผลผลิตที่ได้เป็นกรดอะซิติกและกรดบิวทิริก *(4) Methanogenic bacteria* แบคทีเรียในกลุ่มนี้ตามธรรมชาติพบในชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลอง หรือในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นกับชนิดของ cell envelop ของแบคทีเรีย แบคทีเรียที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทนส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก obligately anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.0-7.8 ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมได้น้อย และมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ซึ่งโดยเฉลี่ยต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-5 วัน ที่ 35°C ถึง 10 วัน ที่ 10°C ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs และ Acetotrophic methanogens หรือ acetoclastic bacteria หรือ acetate splitting bacteria *(5) Non-Methanogenic bacteria* แบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นพวก facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน แอมโมเนีย และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดีมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่แบคทีเรียในกลุ่ม Acidogenic bacteria และ Acetogenic bacteria จากการศึกษาพบว่าถ้ามีเพียงแบคทีเรีย Non-Methanogenic bacteria จะไม่สามารถที่จะทำให้เกิดแก๊สชีวภาพได้ และถ้ามีเพียงแบคทีเรีย Methanogenic bacteria เพียงอย่างเดียวก็ไม่สามารถที่จะทำให้เกิดแก๊สชีวภาพขึ้นได้ด้วยเช่นกัน แต่ถ้ามีการนำแบคทีเรียทั้ง Non-Methanogenic bacteria และ Methanogenic bacteria มาใช้ร่วมกันสามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพได้ โดยที่จะต้องขึ้นอยู่กับ กลุ่มของชนิดแบคทีเรีย และค่าอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate; OLR)

<u>การใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพ</u>

ด้านพลังงาน เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจแล้วการลงทุนผลิตแก๊สชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้า แก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเดือดได้ ใช้กับตะเกียงแก๊สขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์ ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง ปัจจุบันมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้กับแก๊สชีวภาพได้โดยตรง แต่เนื่องจากแก๊สชีวภาพเป็นกลุ่มแก๊สที่ประกอบไปด้วยแก๊สหลายชนิด แก๊สแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันบางชนิดจะเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์เช่น แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์มีฤทธิ์เป็นกรดจะเข้าไปกัดกร่อนส่วนที่เป็นโลหะให้สึกหรอ และไอน้ำที่มากับแก๊สจะเข้าไปในเครื่องยนต์ทำให้เครื่องยนต์ขัดข้อง ดังนั้นก่อนที่จะนำแก๊สชีวภาพไปใช้กับ

เครื่องยนต์ต้องมีการดักไอน้ำและแยกไฮโดรเจนซัลไฟด์เสียก่อน ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ แก๊สจะเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อใช้หมดแล้วจะเกิดขึ้นมาใหม่ตราบใดที่เรายังมีการระบายมูลสัตว์เข้าไปในบ่อหมักอยู่

ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม การสร้างบ่อแก๊สชีวภาพแท้จริงแล้วเป็นการสร้างระบบกำจัดของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ หรือระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานทำเส้นก๋วยเตี๋ยว โรงงานทำแป้งมัน เป็นต้น โดยสามารถลดกลิ่นเน่าเหม็น ลดแหล่งเพาะเชื้อโรค ทำให้ทัศนียภาพโดยรอบน่ามอง และลดปัญหาสังคมที่อาจจะเกิดขึ้นจากการวิวาทกับเพื่อนบ้านอันเนื่องจากกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์ซึ่งสามารถสรุปจำแนกได้ดังนี้ (1) ลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม่น้ำลำคลอง (2) ลดการเกิดกลิ่นเหม็น ลดมลภาวะ การระบาดของแมลงที่เป็นพาหะนำโรคการนำมูลสัตว์ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อแก๊สชีวภาพจะเป็นการช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยงทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลง ผลจากการหมักมูลสัตว์ ในบ่อแก๊สชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานานๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาต์ และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (3) ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

ด้านการเกษตร การทำเป็นปุ๋ยกากที่ได้จากการหมักแก๊สชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การทำเป็นอาหารสัตว์โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมักนำไปตากแห้ง แล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใส่อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

<u>การใช้แก๊สชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า</u>

ก่อนที่เราจะทำการผลิตกระแสไฟฟ้า เราจำเป็นต้องรู้ก่อนว่าขนาดบ่อหมักบรรจุแก๊สได้กี่ลูกบาศก์เมตร และจำนวนที่ใช้กระแสไฟฟ้าในฟาร์ม จากนั้นจึงคำนวณหาอุปกรณ์ที่จะใช้ ดังกรณีตัวอย่างบ่อแก๊สชีวภาพแบบปลั๊กโฟลว์ ขนาดบ่อหมักซึ่งมีปริมาตร 170 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งชุดของเครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ *(1) เครื่องยนต์* ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ (เครื่องยนต์ใช้แล้ว) ความจุกระบอกสูบเท่ากับ 198 ลูกบาศก์เซนติเมตร สัดส่วนการอัดอากาศต่อแก๊สชีวภาพ 8.2:1 มีกำลัง 91 แรงม้า ที่ 4,800 รอบต่อวินาที แรงบิดสูงสุด เท่ากับ 160 นิวตันเมตร ที่ 3,200 รอบต่อนาที *(2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า* ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 13 กิโลวัตต์ ใช้ไฟ 3 สาย แรงขับเคลื่อนไฟฟ้า 380 โวลท์ ปริมาณไฟฟ้า 30 แอมแปร์ *(3) เครื่องควบคุมวงจรไฟฟ้า* วัตถุประสงค์ที่ติดตั้งเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าตกหรือสูงเกินไปหรือในกรณีแรง เคลื่อนไฟฟ้าต่ำ หรือสูงไม่เป็นไปตามปกติชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดนี้ได้ออกแบบมาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 30-50% ของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องการใช้โดยผลิตได้

1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อแก๊ส 1 ลูกบาศก์เมตร กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้กับเครื่องสูบน้ำขนาด 15 แรงม้าเครื่องผสมอาหาร 5 แรงม้า เครื่องบดอาหารขนาด 20 แรงม้า ซึ่งโดยปกติจะทำงานไม่พร้อมกัน

<u>ระบบก๊าซชีวภาพที่มีอยู่ในประเทศไทย</u>

ระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้อย่างแพร่หลายมีหลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำเสียต่อของเสียโดยสรุปเทคโนโลยีที่ใช้ในประเทศไทย ตามแหล่งที่มาของของเสียและน้ำเสียได้ดังต่อไปนี้ *(1) ระบบก๊าซชีวภาพจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร* ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรมากกว่า 5,000 โรงงาน ทั้งขนาดใหญ่และขนาดกลางกระจายทั่วประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียยังคงใช้ระบบบ่อเปิด (Open Pond) แต่ก็มีโรงงานบางส่วนที่เริ่มมองหาเทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานอุตสาหกรรม โรงฆ่าสัตว์ *(2) ระบบก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอย* การกำจัดขยะชุมชนในพื้นที่ต่างๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งที่ถูกต้องควรจะเป็นการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) โดยสามารถผลิตก๊าซจากหลุมขยะ (Landfill Gas) เป็นผลพลอยได้อีกทางหนึ่งด้วย แต่เทคโนโลยีการผลิตก๊าซจากหลุมขยะในเมืองไทยในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาด้านคุณภาพ และปริมาณซึ่งไม่คงที่ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น *(3) ระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์* สำหรับประเทศไทย ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ ฟาร์มสุกร โดยแบ่งกลุ่มฟาร์มสุกรออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ ฟาร์มขนาดใหญ่ หรือ ฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ก (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนมากกว่า 5,000 ตัว หรือ มากกว่า 600 หน่วยปศุสัตว์*)*หนึ่งหน่วยปศุสัตว์ = 500 กิโลกรัม เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ ได้แก่ UASB HSS-UASB และ Covered Lagoon ฟาร์มขนาดกลาง หรือ ฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนตั้งแต่ 500 - 5,000 ตัว หรือ 60 - 600 หน่วยปศุสัตว์) เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ ได้แก่ UASB MC-UASB-1 และ Covered Lagoon ฟาร์มขนาดเล็ก ฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน 50 - 500 ตัว หรือ 6 - 60 หน่วยปศุสัตว์) เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ ได้แก่ Fixed Dome และ Covered Lagoon

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

กฤษพนธิ์ เพี้ยนศรี. **ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กองบรรณาธิการ. (2549). **ระบบไบโอแก๊สในฟาร์มสุกร**. วารสารเมืองปศุสัตว์ : 12-16.

คณะกรรมาธิการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. (2545). **พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท แปลน พริ้นท์ติ้ง จำกัด.

เถลิงเดช พิลาศรี. **ก๊าซชีวภาพ**. <u>ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม</u>.

สมชัย จันทร์สว่าง. (2550). **รายงานวิจัยเรื่อง เทคโนโลยีแก๊สชีวภาพ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมพงษ์ ใจมา. (2548). **การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ**. รายงานวิศวกรรมพลังงาน สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุวิมล สวยสม. (2550). **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี : UASB**. วารสารเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ.

J. Holm-Nielsen, T.A. Seadi and P. Oleskowicz-Popiel, **The future of anaerobic digestion and biogas utilization**, . *Bioresource Technology*, **100** 22 (2009), pp. 5478–5484

L.C.M. das Neves, A. Converti and T.C.V. Penna, **Biogasproduction: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones**. *Chemical Engineering and Technology*, **32** 8 (2009), pp. 1147–1153.

N. Schmitz, J. Henke, G. Klepper, **Biokraftstoffe im Vergleich**, Tech. Rep., FNR, 2006.

P.J. He, **Anaerobic digestion: an intriguing long history in China**. *Waste Management*, **30** 4 (2010), pp. 549–550