

## ก๊าซชีวภาพ แหล่งพลังงานทดแทน

วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์ สุภางค์ จุฬาลักษณ์านุกูล และ วรวิภา จุฬาลักษณ์านุกูล\*

### บทคัดย่อ

ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ โดยเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทนที่ความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร วัตถุประสงค์หลักส่วนใหญ่ในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ น้ำเสียสิ่งปฏิกูล ของเสียทางการเกษตร และขยะอินทรีย์ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ กระบวนการไฮโดรลิซิส เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก กระบวนการต่อมาคือ กระบวนการการสังเคราะห์กรดจากสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กกลายเป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก กระบวนการที่ 3 คือ กระบวนการผลิตกรดอะซิติก และสุดท้ายคือ กระบวนการสร้างมีเทน การผลิตก๊าซชีวภาพมีประโยชน์ทั้งในด้านการอนุรักษ์พลังงาน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการนำไปใช้ในการผลิตพลังงานร่วมระหว่างพลังงานกลและไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดความร้อนและไฟฟ้าในตัวเดียวกัน ผลผลิตที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมีได้ โดยเป็นสารตั้งต้นเพื่อการผลิตเคมีภัณฑ์ต่างๆ การผลิตก๊าซชีวภาพจัดเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าจากวัตถุดิบมูลค่าต่ำหรือวัสดุเหลือทิ้ง จึงนับเป็นกระบวนการลดมลพิษสิ่งแวดล้อม ส่วนก๊าซมีเทนที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานที่ได้จากปิโตรเลียม ก๊าซชีวภาพจึงนับเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานและการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนในประเทศ

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ พลังงานทดแทน มูลสัตว์

# Biogas is a Renewable Energy

Wipada Siri-anusornsak, Suphang Chulalaksananukul  
and Warawut Chulalaksananukul\*

---

## ABSTRACT

Biogas, is a clean renewable energy generated from various organic substances under anaerobic conditions by a mixed population of microorganisms. The most important biogas component is methane (approximately 60% by volume). Biogas is usually produced from wastewater, sludge, agricultural waste, and other organic wastes. There are 4 steps of biogas production. The first step is hydrolysis, during which large organic molecules are hydrolyzed to small components. The second step, acidogenesis is the process in which small organic substances are changed into small organic acid molecules. The third step is acetogenesis, during which acetic acid is produced and the last step is methanogenesis, during which methane is produced. The benefits of biogas are energy conservation, environmental conservation and electrical cogeneration. The produced biogas may be utilized for combined heat and power (CHP) production. It can also be used as a raw material in industrial processes and as a precursor for various chemicals production. Biogas production is classified as a process that can add value to many waste products. In addition, some air pollutant emissions such as methans can be converted and used as a source of renewable energy to replace petroleum-based fuels. It is an interesting potential alternative energy that could add to energy security and sustainable energy development.

**Keywords:** biogas, renewable, animal manure

## บทนำ

การหาแหล่งพลังงานให้แก่ประชากรในประเทศเป็นหนึ่งในนโยบายที่สำคัญที่สุดของประเทศต่างๆ เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น และปัญหาจากมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นแต่ละประเทศจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาหาแหล่งพลังงานทดแทนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยหรือไม่มีเลย [1, 2] พลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์ ลม พลังงานน้ำ และก๊าซชีวภาพ เป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจและสอดคล้องกับการพัฒนาด้านพลังงานของโลกในทิศทางที่ยั่งยืน [3, 4]

เทคโนโลยีชีวภาพเป็นศาสตร์หนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการเลือกใช้ประโยชน์จากชีวมวลบางประเภทเพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานและประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งกระบวนการผลิตนี้สามารถลดปัญหามลภาวะของสภาพแวดล้อมเนื่องจากเป็นกระบวนการทางชีวภาพ ส่วนกากที่ผ่านการย่อยสลายแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพปุ๋ยน้ำและปุ๋ยแห้ง เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินได้ดี ซึ่งก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นประโยชน์มากมายแก่มวลมนุษย์ด้านการอนุรักษ์และปกป้องสิ่งแวดล้อม [5] สิ่งที่ทำให้ก๊าซชีวภาพแตกต่างจากพลังงานทดแทนอื่นๆ คือ ก๊าซชีวภาพสามารถผลิตได้ทุกพื้นที่ และมีกระบวนการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน [6]

## ความหมายของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นรูปแบบพลังงานทดแทนที่สะอาดประเภทหนึ่ง ที่สามารถใช้ทดแทนแหล่งพลังงานที่ใช้อยู่ภายในชุมชน เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล และน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมด้านนิเวศวิทยาและในขณะเดียวกันยังเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป [5] ทั้งนี้ พบว่าองค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) โดยทั่วไปมีความเข้มข้นประมาณ 55-65 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) 34-35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และก๊าซอื่นๆ [7] ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแตกต่างจากก๊าซธรรมชาติ ที่ประกอบด้วยก๊าซมีเทนมากถึง 90-95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นก๊าซชีวภาพจึงเป็นส่วนหนึ่งของก๊าซธรรมชาติทั่วไป [8] ก๊าซชีวภาพทำให้เกิดความร้อน ประมาณ 5.0-7.5 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 2 แสดงถึงคุณสมบัติการเผาไหม้ทั่วไปของก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ส่งผลถึงประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจในด้านการทดแทนพลังงานจากน้ำมันดิบ 60 เปอร์เซ็นต์ของการนำเข้าพลังงานจากภายนอกประเทศ

## ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ [9]

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
มีเทน ( $\text{CH}_4$ )	55-65
คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )	35-45
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0-1
ไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ )	0-3
ไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ )	0-1
ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ )	0-2
แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ )	0-1

## ตารางที่ 2 คุณสมบัติการเผาไหม้ทั่วไปของก๊าซชีวภาพ [9]

อุณหภูมิขณะที่มีการลุกไหม้	700 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ปริมาณความเข้มข้นก๊าซขณะลุกไหม้	6-12 เปอร์เซ็นต์
ค่าความร้อน	5.0-7.5 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร

## แหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่จะใช้น้ำเสีย สิ่งปฏิกูล ของเสียทางการเกษตร เช่น มูลสัตว์ และขยะอินทรีย์อุตสาหกรรม เป็นแหล่งวัตถุดิบหลัก โดยแหล่งวัตถุดิบชีวมวลขนาดใหญ่จากอุตสาหกรรม การผลิตอาหารสัตว์ คือ มูลสัตว์ ส่วนใหญ่มาจากฟาร์มวัวและฟาร์มหมู ในสหภาพยุโรป (EU-27) แต่ละปี มีการผลิตมูลสัตว์ มากกว่า 1,500 ล้านตัน (ตารางที่ 3) [10,11] ในของเสียจากมูลสัตว์จะมีจุลินทรีย์ชนิด ไม้ใช้ออกซิเจนประเภทเดียวกับที่ผลิตก๊าซธรรมชาติ เช่น *Methanobacterium ruminantium*, *Methanosarcina* sp. และ *Methanococcus* sp. เป็นต้น [12] ดังนั้นมูลสัตว์จึงเหมาะที่จะเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากการนำมูลสัตว์มาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว ในปัจจุบัน มีการใช้พืชพลังงาน เช่น ข้าวโพด เมล็ดทานตะวัน หล้า และหญ้าชูดาน มาเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งพืช เหล่านี้เป็นพืชพลังงานที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีการใช้พืชในเขตร้อนชื้น เช่น ชานอ้อย เปลือกกล้วย กากปาล์ม ฟางข้าว เปลือกข้าว และผักตบชวา เป็นต้น เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการใช้พืชพลังงานและมีความหลากหลายของพืชในการนำมาผลิต เป็นก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น [3]

## ตารางที่ 3 ศักยภาพพลังงานของมูลสุกรและมูลโคในสหภาพยุโรป (EU-27) [11]

มูลทั้งหมด, Mt	ก๊าซชีวภาพ, Mm <sup>3</sup>	ก๊าซมีเทน, Mm <sup>3</sup>	ศักยภาพ, PJ	ศักยภาพ, Mtoe
1,578	31,568	20,519	827	18.5

หมายเหตุ: Mt (ล้านตัน), Mm<sup>3</sup> (ล้านลูกบาศก์เมตร); Mtoe (ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ); 1 ล้านตัน = 44.8 พิกะจูลน์ (PJ) ความร้อนในการเผาไหม้ของก๊าซมีเทน เท่ากับ 40.3 เมกะจูลต่อ ลูกบาศก์เมตร; สมมติก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 65 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 แสดงศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคและมูลสุกร ซึ่งมูลสัตว์ทั้งสอง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 31,568 ล้านลูกบาศก์เมตร ขณะที่ปริมาณมีเทนผลิตได้ 20,519 ล้านลูกบาศก์ เมตร [11] สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 39,460 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งในครัวเรือนขนาด ทั่วไปของประเทศแถบยุโรปใช้พลังงาน 4,667 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังนั้นพลังงานที่ได้จากผลผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถนำมาใช้กับครัวเรือนขนาดทั่วไปของประเทศแถบยุโรปได้มากกว่า 8 ล้านครัวเรือน

สำหรับในประเทศไทยนั้น แหล่งวัตถุดิบที่นิยมกันมาก คือ น้ำเสียจากโรงงานต่างๆ ของเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร ขยะอินทรีย์ มูลสัตว์จากอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์ในระบบไร้ออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซมีเทน นอกจากนี้วัตถุดิบดังกล่าวแล้ว ประเทศไทยได้มีการนำพืชผลการเกษตร (agricultural crops) เช่น มันสำปะหลัง และ ต้นข้าวโพด ซึ่งเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายภายในประเทศ นอกจากนี้การนำผลผลิตทางการเกษตรมาผลิตก๊าซชีวภาพนี้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบรรเทาปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังช่วยลดปัญหาการคาบเกี่ยวของมันสำปะหลังและข้าวโพดลงด้วย

นอกจากนี้เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (agricultural residues) ก็ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย เช่น เปลือกมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง เปลือกสับประรด ชานอ้อย และกากปาล์ม เป็นต้น

### กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic process) เป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไร้ออกซิเจนหลายกลุ่ม มีกระบวนการที่สลับซับซ้อนมาก โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีเกิดขึ้นนับร้อยกระบวนการซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเข้าทำปฏิกิริยา [13] กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรลิซิส (hydrolysis)

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (acidogenesis)

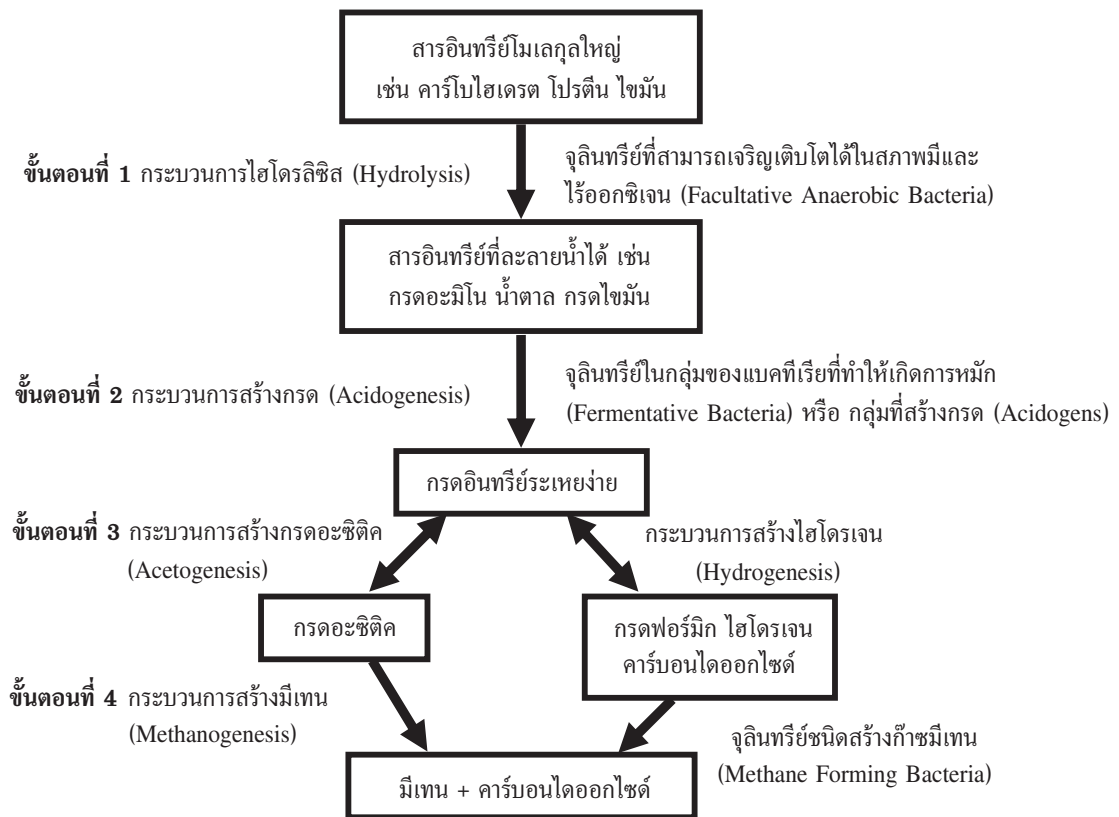
ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการผลิตกรดอะซิติก (acetogenesis)

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (methanogenesis)

ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอินทรีย์จำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน ให้มีขนาดเล็กจนถึงขั้นของกรดไขมันระเหยง่ายขนาดเล็ก เช่น กรดอะซิติก (acetic acid,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกรวมกันว่าเป็นขั้นตอนการสร้างกรด (acid formation phase) โดยกลไกการสร้างกรดแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์และกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ [14]

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 คือกระบวนการไฮโดรลิซิส สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว (monomer) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด [15] จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลาย คือ จุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในสภาพมีและไร้ออกซิเจน (facultative anaerobic bacteria) โดยกลุ่มของจุลินทรีย์ในขั้นตอนนี้แบ่งได้ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส (cellulolytic bacteria) จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไขมัน (lipolytic bacteria) และจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีน (proteolytic bacteria) [16-18] สำหรับความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ ซึ่งเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมา จะเลือกชนิดของปฏิกิริยา ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

รวมถึงการทำงานของเอนไซม์ที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิและการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น [19] หลังจากเกิดกระบวนการย่อยสลายภายนอกเซลล์แล้ว การย่อยสลายก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ ขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ดังปรากฏในรูปที่ 1 โดยในขั้นตอนที่ 2 หรือการเกิดกระบวนการสร้างกรด การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้นสำหรับจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรด โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) กรดวาเลอริก (valeric acid) และกรดแลคติก (lactic acid) [20] โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีปริมาณสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุดและมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย จุลินทรีย์สร้างกรดมีอัตราการเจริญสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เป็นผลสืบเนื่องมาจากการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์หลายสปีชีส์ กรณีที่กลุ่มของจุลินทรีย์สร้างกรดมีการสร้างกรดมากเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยรวม เนื่องจากจุลินทรีย์สร้างมีเทนจะถูกยับยั้งการทำงาน เนื่องจากกรดที่มากเกินไปทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงและส่งผลกระทบต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนได้ สำหรับจุลินทรีย์ในขั้นตอนการสร้างกรด คือ จุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการหมัก (fermentative bacteria) หรือกลุ่มที่สร้างกรด (acidogens) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้อีกด้วย [14]



รูปที่ 1 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ดัดแปลงจาก Sirianuntapiboon [14]

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 หรือการเกิดกระบวนการผลิตกรดอะซิติกนั้นเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทนต้องการสารอาหารที่มีความจำเพาะสูง โดยสารอาหารที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก กรดฟอร์มิกไฮโดรเจน เมทานอล และเมธิลลามีน (methylamine) แต่ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) ที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยได้ที่สร้างขึ้นยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม จุลินทรีย์สร้างมีเทนจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนลดลงเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ จุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติกได้ ได้แก่ จุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจน (hydrogen producing acetogenic bacteria) ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน [14] ในขั้นตอนที่ 4 เรียกว่ากระบวนการสร้างมีเทน โดยกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทน ก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบที่ 1 เกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้มีปริมาณเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ และอีกแบบหนึ่งจะเกิดจากการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลับไปเป็นก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์ประเภท Hydrogen-utilizing methane bacteria [21]

### ก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีแหล่งวัตถุดิบมากมายไม่ว่าจะเป็น มันสำปะหลัง ปาล์ม น้ำมัน น้ำตาล และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยกระบวนการแปรรูปเหล่านี้จะให้น้ำเสียจำนวนมากและมีกลิ่นเหม็น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งและยังให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้ อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและปริมาณของน้ำเสีย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศไทย

แหล่งน้ำเสีย	โรงงานผลิต แป้งมัน	โรงงานผลิต น้ำมันปาล์ม	ฟาร์ม หมู	โรงงานผลิต น้ำตาล	โรงงานผลิต เอทานอล
	สำปะหลัง ตัน	ดิบ ตัน	ตัว	ตัน	ลูกบาศก์เมตร
การผลิต (ล้านยูนิิตต่อปี)	0.70	6.39	9.30	64.40	191.75
น้ำเสียต่อหน่วยการผลิต (ลูกบาศก์เมตร)	15.00	0.40	9.86	0.11	10.00
ปริมาณน้ำเสียทั้งหมด (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)	10.50	2.56	91.70	7.08	1,917.50
ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ (ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย)	10.00	35.00	3.50	7.00	35.00
ก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)	105.00	89.46	320.94	49.59	67,112.50

หมายเหตุ: ข้อมูลผลผลิตปี 2550

แหล่งที่มา: ดัดแปลงมาจาก Energy for Environment Foundation [22]

สำหรับแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยมีดังนี้

- ฟาร์มเลี้ยงสุกร [22]

เนื่องจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร การใช้น้ำในฟาร์มแต่ละแห่งจะแตกต่างกันไป จากการศึกษาปริมาณน้ำเสียของฟาร์มในประเทศไทย พบว่าโดยเฉลี่ยปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันต่อตัวสุกร (เทียบกับสุกรน้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัมต่อตัว) จะอยู่ที่ 27 ลิตรต่อตัว หรือประมาณ 222 ลิตรต่อหน่วยปศุสัตว์ (1 หน่วยปศุสัตว์ เทียบเท่ากับน้ำหนักสุกรยืนคอกประมาณ 500 กิโลกรัม) และลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีข้อแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการจัดการของแต่ละฟาร์ม ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่ คือ เรื่องกลิ่นเหม็นและแมลงวัน ฟาร์มเลี้ยงสุกรบางแห่งใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝัง (open pond) ซึ่งระบบดังกล่าวต้องใช้พื้นที่เป็นบริเวณกว้างมาก และมีการตื่นเงินเนื่องจากการตกตะกอนของของเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร ทำให้ต้องทำการขุดลอกอยู่บ่อยๆ สิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาดำเนินการ รวมทั้งเป็นภาระในการกำจัดกากตะกอนจำนวนมากเหล่านั้นด้วย ส่วนบางฟาร์มที่พอจะมีศักยภาพในการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้ เช่น การใช้เครื่องแยกตะกอนเพื่อแยกส่วนกากของเสียออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่ระบบบ่อฝังในฟาร์ม และ/หรือใช้เครื่องเติมอากาศในบ่อบำบัดน้ำเสีย แต่การใช้เทคโนโลยีดังกล่าวนั้นจะมีค่าใช้จ่ายค่าพลังงานในการเดินเครื่องและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเดินระบบน้อย แต่มีศักยภาพในการช่วยลดความสกปรกและกลิ่นเหม็นได้



ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ สามารถนำไปใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงอื่นๆ เช่น ทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม ฟืน น้ำมันเชื้อเพลิง หรือใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในฟาร์มได้เป็นอย่างดี ตลอดจนได้ปุ๋ยอินทรีย์แห้งที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับการเพาะปลูกและปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรภายในฟาร์ม หรือเพื่อจำหน่ายให้แก่เกษตรกรภายนอกได้ ตัวอย่างเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ เช่น ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบปิด (Modified Covered Lagoon) เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบถังไร้ออกซิเจนแบบชั้นสลัดจ์ไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแบบถังไร้ออกซิเจนแบบชั้นสลัดจ์ไหลขึ้นสูง (High Upflow Anaerobic Sludge Blanket: H-UASB) และบ่อโดมคงที่ (Fixed Dome) เป็นต้น

- โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง [23]

ในประเทศไทยสามารถผลิตแบริ่งมันสำปะหลังได้ประมาณ 2 ล้านตันต่อปี กระบวนการผลิตแบริ่งมันสำปะหลังนั้นได้น้ำเสียประมาณ 15-20 ลูกบาศก์เมตรต่อตันแบริ่ง และน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถให้ก๊าซชีวภาพ 10 ลูกบาศก์เมตร สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนั้นมีทั้งเทคโนโลยีแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน ปัจจุบันมีหลายโรงงานที่เริ่มนำระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาใช้ เช่น โรงงานสงวนวงศ์อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโรงงานผลิตและส่งออกแบริ่งมันสำปะหลังขนาดใหญ่ของประเทศไทย ใช้ระบบถังไร้ออกซิเจนแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor: ABR) โรงงานชลเจริญและโรงงานชัยภูมิพืชผล ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Fixed Film Reactor: AFFR) และโรงงานแบริ่งมันเยี่ยมเฮงอุตสาหกรรม ใช้ระบบถังไร้ออกซิเจนแบบชั้นสลัดจ์ไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เป็นต้น ผลพลอยได้ที่ได้จากการจัดการน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนคือก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้นี้ไปทดแทนการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงหรือใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ภายในโรงงานได้อีกด้วย

- โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ [24]

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามอัตราการเพิ่มปริมาณการผลิต (โดยเฉลี่ยผลปาล์มสด 1 ตัน จะมีน้ำเสียเกิดขึ้น ประมาณ 0.4 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 40% ของผลปาล์มสด) ปกติน้ำเสียจะมีสิ่งสกปรกในรูปของไขมัน น้ำมัน และสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถจัดการน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีหลายเทคโนโลยีด้วยกัน เช่น เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพระบบถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Stirred Tank Reactor: CSTR) เป็นระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic system) โดยน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 35 ลูกบาศก์เมตร และเทคโนโลยีนี้ได้ผ่านการใช้งานตั้งแต่เดือนมีนาคม 2542 ที่ บริษัท เอเชียน น้ำมันปาล์ม จำกัด จังหวัดกระบี่ และได้นำก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า และขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ขนาดไม่เกิน 1 เมกกะวัตต์ ตามเกณฑ์เงื่อนไขของการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก หรือ VSPP)

- โรงงานผลิตน้ำตาล [25]

การผลิตน้ำตาลสามารถสกัดได้จากพืชหลายชนิด เช่น อ้อย หัวบีท เป็นต้น ภายในโรงงานผลิตน้ำตาลมีความต้องการไอน้ำและกระแสไฟฟ้าจำนวนมากในกระบวนการผลิตน้ำตาล ปัจจุบันมีทุก

โรงงานได้นำเอาชานอ้อยที่เหลือจากการผลิตมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และไอน้ำใช้ในโรงงาน หากกระแสไฟเหลือจากการใช้ภายในโรงงานแล้ว สามารถขายต่อให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นการแบ่งเบาระบบของรัฐด้านพลังงานได้อีกทางหนึ่ง สำหรับวันทำการผลิตน้ำตาลต่อปีนั้น 120 วัน โดยต้นอ้อย 1 ต้นจะทำให้เกิดน้ำเสีย 0.11 ลูกบาศก์เมตร และน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 7 ลูกบาศก์เมตร อนึ่ง ปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำตาลหลายโรงได้ทำการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล (molasses) ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลได้น้ำเสียจำนวนมากและน้ำเสียเหล่านี้ยังสามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ และเมื่อน้ำเสียของทั้งสองกระบวนการคือ จากการผลิตน้ำตาลและเอทานอล มารวมกันก็จะมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้น

## งานวิจัยเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

1. Jitpupakdee และคณะ [26] ทำการวิจัยผลกระทบของระยะเวลาพักเก็บต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor: CSTR) และถังปฏิกรณ์แบบลูกผสม (hybrid reactor) ทำการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากสับปะรด (เปลือกสับปะรด: เนื้อสับปะรด ในอัตราส่วน 1: 1) โดยระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน ระยะการสร้างกรดดำเนินการในถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่อง ขนาด 7.5 ลิตร กรดระเหยทั้งหมดในถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่องที่ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน เท่ากับ 2,734 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ณ ระยะเวลาพักเก็บ 10 วันในถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่อง คือ 390 มิลลิตรต่อวัน มีปริมาณมีเทนเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 29.1, 26.7, 17.6 และ 2.4 เปอร์เซ็นต์ ณ ระยะเวลาพักเก็บ 10, 7, 5 และ 3 วัน ส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในถังปฏิกรณ์แบบลูกผสม ขนาด 7 ลิตร พบว่า ณ ระยะเวลาการพักเก็บที่ 10, 7, 5 และ 3 วัน เท่ากับ 3,947 3,645 3,444 และ 3,22 มิลลิตรต่อวัน มีปริมาณเท่ากับ 55.2, 46.1, 41.2 และ 37.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดซีโอดีของระบบคือ 70.3, 68.3, 66.4 และ 63.8 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาพักเก็บ 10, 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ

2. Siri-anusornsak และคณะ [27] ศึกษาหาความเข้มข้นของยูเรียที่เหมาะสมในความเข้มข้นมันสำปะหลัง 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับความเข้มข้นมูลโค 10 เปอร์เซ็นต์ ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.60 ถึง 8.00 เนื่องจากมันสำปะหลังมีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูง เหมาะสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อมันสำปะหลังผ่านกระบวนการไฮโดรลิตซิสจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ขณะที่มูลโคมีจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของก๊าซชีวภาพ สำหรับสภาวะการหมักมันสำปะหลังร่วมกับมูลโคนั้นสามารถรักษาสภาพจุลินทรีย์ได้ในช่วงแรก โดยการเติมยูเรียซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนลงไป เนื่องจากเกิดปริมาณกรดที่มากเกินไปในช่วงแรก ซึ่งจะทำให้สภาวะในการหมักเหมาะสมขึ้น จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของยูเรีย 0.08 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมสำหรับการหมักมันสำปะหลังร่วมกับมูลโค ซึ่งปริมาณดังกล่าวผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณมีเทนเท่ากับ 6.26 เปอร์เซ็นต์

3. Anunputtikul และ Rodtong [4] ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังย่อยแบบกะขนาด 5 ลิตร และ 20 ลิตร ที่อุณหภูมิ 29-31 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่าในถังย่อยแบบกะขนาด 5 ลิตร ถูกป้อนด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมของแหล่งคาร์บอนคือ ของแข็งทั้งหมดร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และ ยูเรีย (แหล่งไนโตรเจน) ร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณก๊าซที่ได้ 1.96 ลิตรต่อวัน ประกอบด้วยปริมาณมีเทนสูงสุด 67.92 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเวลา 10 วัน และปฏิกิริยาการหมักจะสิ้นสุดลงหลังจาก 16 วัน เมื่อเพิ่มขนาดถังย่อยเป็น 20 ลิตร พบว่า ปริมาณก๊าซที่ได้ต่อวันประมาณ 5.50 ลิตร ประกอบด้วยปริมาณมีเทน 55.70 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเวลา 10 วัน ขณะที่ปริมาณก๊าซที่ได้ 3.88 ลิตรต่อวัน ประกอบด้วยปริมาณมีเทน 67.57 เปอร์เซ็นต์ในช่วงเวลา 14 วัน และปฏิกิริยาการหมักจะสิ้นสุดลงหลังจาก 24 วัน จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลังในถังย่อยแบบกะอย่างง่ายสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ประมาณ 67 เปอร์เซ็นต์

### การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ [28, 29]

ก๊าซชีวภาพก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการอนุรักษ์พลังงาน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการนำไปใช้ ดังนี้

1. การอนุรักษ์พลังงาน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้ ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร พลังงานไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

2. การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพในการจัดการน้ำเสีย ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม คือ ลดปัญหามลพิษทางน้ำ โดยสามารถบำบัดและลดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ และช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ซึ่งเป็นการช่วยลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร การใช้เทคโนโลยีที่มีการจัดการของเสียอย่างครบวงจร และมีการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้อย่างคุ้มค่าหรือมีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (waste minimize) ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

4. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการผลิตพลังงานร่วม (cogeneration system) ระหว่างพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น นอกเหนือจากการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งรูปแบบการผลิตพลังงานร่วมนี้อาศัยหลักการนำความร้อน ที่เกิดขึ้นจากระบบการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้ากลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพนอกเหนือจากพลังงาน ยังสามารถนำผลผลิตข้างเคียงไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมีได้ โดยเป็นสารตั้งต้นเพื่อการผลิตเคมีภัณฑ์ต่างๆ เช่น acetylene, carbon disulphide, carbon tetrachloride, hydrogen cyanide, methyl chloride และ methylene chloride เป็นต้น แต่ยังคงประสบปัญหาก็คือ ยังไม่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ [29]

## สรุป

การผลิตก๊าซชีวภาพจัดเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าของเสีย เช่น น้ำเสีย มูลสัตว์ได้ อีกทั้งช่วยลดมลภาวะที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศมาใช้งานเป็นพลังงานทดแทนพลังงานที่ได้จากปิโตรเลียม ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย ทำให้ก๊าซชีวภาพมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน โดยประเทศในยุโรปได้มีการใช้งานก๊าซชีวภาพมานานแล้ว เนื่องจากมีอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ผลิตของเสียอินทรีย์จำนวนมากซึ่งสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ ทั้งนี้พลังงานที่ได้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน นอกจากนี้ ยังมีความพยายามในการส่งเสริมให้มีการนำพลังงานก๊าซชีวภาพมาใช้ในรถยนต์โดยการพัฒนาให้ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพสูงขึ้น ขณะที่ประเทศไทย รัฐบาลให้การส่งเสริมการใช้งานก๊าซชีวภาพทั้งด้านการให้ความรู้และเงินอุดหนุนแก่เกษตรกรในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ โดยนโยบายพลังงาน 15 ปี ของกระทรวงพลังงาน มีเป้าหมายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพให้ได้ถึง 120 เมกกะวัตต์จากปัจจุบันที่ 29 เมกกะวัตต์ และมีเป้าหมายในการใช้พลังงานความร้อนที่ 600 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) จากปัจจุบันที่ 79 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ภายในปี 2565 ก๊าซชีวภาพจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่งที่มีความสอดคล้องกับความมั่นคงทางด้านพลังงานและการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน

## เอกสารอ้างอิง

1. Ediger, V. S., and Akar, S. 2007. ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by Fuel in Turkey. *Energy Policy* 35:1701-1708.
2. Meher, L. C., Sagar, D. V., and Naik, S. N. 2006. Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification-A Review. *Renew. & Sustain. Energy Reverend* 10: 248-268.
3. Bauer, A., Hrbek, R., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Wagentristl, H., Pötsch, E., Zollitsch, W., and Amon, T. 2007. Potential of Biogas Production in Sustainable Biorefinery Concepts. 5<sup>th</sup> Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering. 20-24 June 2007. Kiev, Ukraine. p. 1-5.
4. Muneer, T., Maubleu, S., and Asif, M. 2006. Prospects of Solar Water Heating for Textile Industry in Pakistan. *Renew. & Sustain. Energy Reverend* 10: 1-23.
5. Santosh, Y., Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., and Rana, V. 2004. Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques-A Review. *Bioresource Technology* 95: 1-10.
6. Taleghani, G., and Kia, A. S. 2005. Technical-Economical Analysis of the Saveh Biogas Power Plant. *Renewable Energy* 30: 441-446.
7. Anunputtikul, W., and Rodtong, S. 2004. Laboratory Scale Experiments for Biogas Production from Cassava Tubers. The Joint International Conference on “Sustainable

- Energy and Environment (SEE)". 1-3 December 2004. Hua Hin, Thailand. p. 238-243.
8. House, H. 2007. Alternative Energy Sources-Biogas Production. London Swine Conference--Today's Challenges: Tomorrow's Opportunities. 3-4 April 2007. London, England. p.119-128.
  9. Balat, M., and Balat, H. 2009. Biogas as a Renewable Energy Source-A Review. *Energy Source Part A* 31: 1280-1293.
  10. Hartmann, H., and Ahring, B. K. 2005. The Future of Biogas Production. Riso International Energy Conference on Technologies for Sustainable Energy Development in the Long Term, Riso-R-1517 (EN). 23-25 May 2005. Roskilde, Denmark. p.163-172.
  11. Nielsen, J. B. H., Oleskowicz-Popiel, P., and Al Seadi, T. 2007. Energy Crops Potentials for Bioenergy in EU-27. 15<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition from Research to Market Deployment. 7-11 May 2007. Berlin, Germany. p. 1-17.
  12. Wolfe, R. S. 1971. Microbial Fermentation of Methane. *Advance Microbiology Physiology* 6: 774.
  13. Barker, J. C., Crouse, D. A., Zublena, J. P., and Yong, J. 2001. North Carolina Farm A Syst: Improving Storage, Handling, and Disposal of Livestock Waste. U.S.A. North Carolina Cooperative Extension Service.
  14. Sirianuntapiboon, S. 2006. Wastewater Treatment System: Selection, Design, Operation and Problem Solving. Bangkok. Top Publishing Co.
  15. Polprasert, C. 1996. Organic Waste Recycling Technology and Management. 2<sup>nd</sup> Edition. Bangkok. John Wiley & Sons.
  16. Forday, W., and Greenfield, P. F. 1983. Anaerobic digestion. *Effluent Water Treatment Journal* 10: 405-413.
  17. Hobson, P. N. 1973. The Bacteriology of Anaerobic Sewage Digestion. *Process Biochemistry* 8: 19-25.
  18. De Haast, J., and Britz, T. J. 1986. Characterization of Aerobic and Facultative Anaerobic Bacteria from the Liquid Phase of an Anaerobic Fixed-Bed Digester Treating a Cheese Whey Substrate. *Microbial Ecology* 12 (2): 173-179.
  19. Dague, R. R. 1968. Application of Digestion Theory to Digester Control. *Water Pollution Control Federation* 12: 2021-2033.
  20. Buswell, A. M., and Mueller, H. F. 1952. Mechanism of Methane Fermentation. *Industrial and Engineering Chemistry* 44: 550-552.
  21. Pender, S., Toomey, M., Carton, M., Eardly, D., Patching, J. W., Colleran, E., and O'Flaherty, V. 2004. Long-Term Effects of Operating Temperature and Sulphate Addition on the Methanogenic Community Structure of Anaerobic Hybrid Reactors. *Water Resource* 38:

- 619-630.
22. Energy for Environment Foundation. 2008. Biogas. Available from URL: <http://www.efe.or.th/download/Potential.pdf> . 30 March 2010.
  23. Energy for Environment Foundation. 2008. Biogas. Available from URL: <http://www.efe.or.th/download/Flour%20Mill.pdf>. 30 March 2010.
  24. Energy for Environment Foundation. 2008. Biogas. Available from URL: <http://www.efe.or.th/download/Palm%20Oil.pdf>. 30 March 2010.
  25. Energy for Environment Foundation. 2008. Biogas. Available from URL: <http://www.efe.or.th/download/sugar.pdf>. 30 March 2010.
  26. Jitpapakdee, J., Namsree, P., Suvajittanont, W., Sillapacharoenkul, B., and Rungdsardthong, V. 2010. Effect of Hydraulic Retention Time on Biogas Production Using CSTR and Hybrid Reactor. The 3<sup>rd</sup> Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference (TISD 2010). 4-6 March 2010. Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand. p. 607-611.
  27. Siri-anusornsak, W., Hirunpatrawong, P., Chulalaksananukul, S., and Chulalaksananukul, W. 2010. Optimization of Urea Concentration by Cassava Mixed with Cow Dung for Biogas Production. The 11<sup>th</sup> Graduate Research Conference. 12 February 2010. Khon Kaen University, Thailand. p. 865-870.
  28. Herringshaw, B. 2009. A Study of Biogas Utilization Efficiency Highlighting Internal Combustion Electrical Generator Units. Undergraduate Honors Thesis. College of Food, Agricultural, and Biological Engineering. U.S.A. The Ohio State University.
  29. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., and Oleskowicz-Popiel, P., 2009. The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization. *Bioresource Technology* 100 (22): 5478-5484.

ได้รับบทความวันที่ 7 พฤษภาคม 2553

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 7 กรกฎาคม 2553