บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ในปัจจุบันการใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ มีปริมาณมาก จากรายงานของ Stafford, Hawkes และ Horton (1980) พบว่าปริมาณที่ใช้ในแต่ละปีโดยประชากรโลกมีค่าสูง ดังตารางที่ 2.1 และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้นมาชดเชย โดยเฉพาะควรเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดและก่อให้เกิดปัญหาทางด้านมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.1 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละปีโดยประชากรโลก (Stafford และคณะ, 1980)

แหล่งพลังงาน	ชนิด	ปริมาณ($MJx10^{12}$)
Fossils Fuels	น้ำมัน	120.5
	แก๊สธรรมชาติ	47.7
	เชื้อเพลิงแข็ง	81.2
Renewable Fuels	พลังงานน้ำ	15.5
	พลังงานเชื้อเพลิง	12.0
	พลังงานนิวเคลียร์	4.2

แหล่งพลังงานหนึ่งที่น่าสนใจในขณะนี้ คือแก๊สมีเธนซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่ได้อย่างต่อเนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศขณะย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อน แก๊สดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (Merrill และ Merrill, 1973)

ตารางที่ 2.2 การนำแก๊สมีเธนไปใช้ในกิจกรรมชนิดต่างๆ (Merrill และ Merrill, 1973)

การนำไปใช้	ลูกบาศ์กฟุต	อัตราใช้
ให้แสงสว่าง	2.5	PER MANTLE PER HOUR
ประกอบอาหาร	12-15	PER PERSON PER DAY
เครื่องบ่ม	0.5-0.7	$Ft^3/Hr/Ft^3$ Incubator
ให้ความเย็นในตู้เย็น	1.2	$Ft^3/Hr/Ft^3$ Refrigerator
ใช้แทนแก๊ส	135-160	PER GALLON
ใช้แทนน้ำมันดีเซล	150-188	PER GALLON

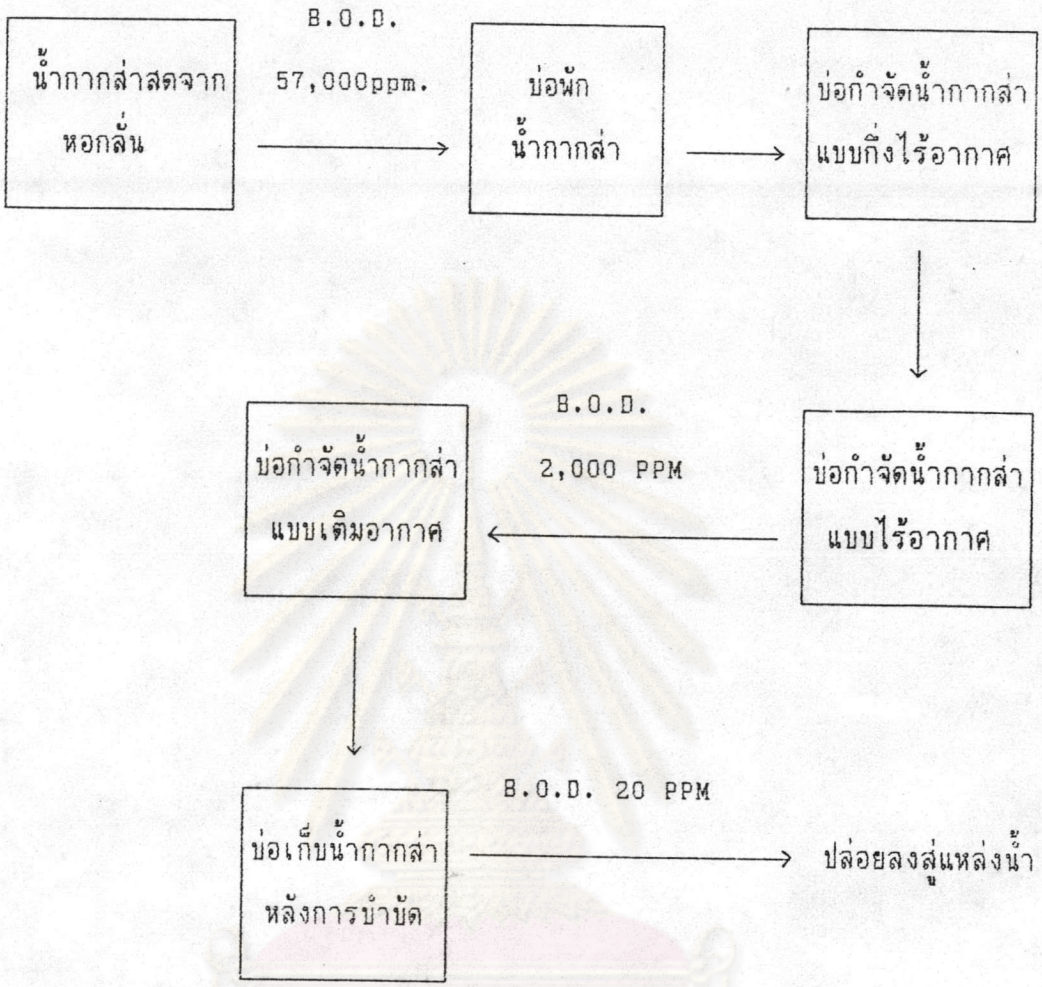
นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้แก๊สมีเธนกับเครื่องยนต์เป็นการยืดอายุการใช้งาน อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่สะอาด จึงไม่มีเขม่าและไม่มีสิ่งสกปรกเหลือภายหลังการเผาไหม้ จึงเป็นผลดีอีกทางในการลดมลภาวะของสิ่งแวดล้อม นอกเหนือจากการพบว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ สามารถลดค่าบี.โอ.ดี.ของน้ำเสียที่เกิดจากการหมัก (Fermentation Wastes) ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น (Stafford และคณะ, 1980) (ตารางที่ 2.3) และระบบนี้เป็นระบบที่ดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบี.โอ.ดี.สูงมาก และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะกับประเทศไทย ซึ่งอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์

ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพในการลดค่า บี.โอ.ดี.ของน้ำเสียที่เกิดจากการหมัก (Fermentation Wastes)โดยกระบวนการบำบัดแบบต่างๆ(Stafford และคณะ, 1980)

ชนิดของการบำบัด	%การลดของค่าบี.โอ.ดี.
กระบวนการบำบัดทางเคมี	10
อิเลคโตรไดอะไลซิส	28
กระบวนการกากตะกอนเร่ง	30
กระบวนการลานกรองจุลินทรีย์	72
กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	83

แต่อย่างไรก็ตาม ภายหลังระบบบำบัดนี้ น้ำเสียยังต้องผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดแบบอื่นอีก ดังที่รายงานโดยสุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2527) ถึงการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้เป็นการบำบัดแบบปฐมภูมิ (Primary Treatment) ในการบำบัดน้ำกากส่าที่โรงงานสุราไทยทำ จังหวัดนนทบุรี โดยสามารถลดค่าบี.โอ.ดี.ลงได้ 80% และเกิดแก๊สมีเธนประมาณ 15-20ลูกบาศ์กเมตร ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบอื่น เพื่อให้ค่าบี.โอ.ดี.ของน้ำทิ้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2528) รายงานถึงระบบกำจัดน้ำกากส่าของโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งต้องผ่านกระบวนการบำบัดทั้งแบบที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศจึงสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้



รูปที่ 2.1 ระบบกำจัดน้ำกากส่าของโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม
(สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2528)

ในปี 2526 จันทรา ทองคำเภา และวรรณี พฤฒิถาวร ได้รายงานถึงการบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานเส้นหมี่ชอเฮง จังหวัดนครปฐม โดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ พบว่าค่าบี.โอ.ดี.ของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าสูงถึง 3,000 PPM ต่อเมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแล้วจะลดค่าบี.โอ.ดี.ลงเหลือ 500 PPM และเหลือเพียง 20-30 PPM เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ ซึ่งการที่ของเสียต้องผ่านระบบบำบัดแบบอื่นภายหลังระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เพราะว่ากากตะกอนมีองค์ประกอบของจุลินทรีย์ไม่เหมาะสม เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับแบคทีเรียแต่ละกลุ่มในกากตะกอนรวมถึงความสัมพันธ์ของมันเพราะถ้าเกิดการยับยั้งหรือกำจัดแบคทีเรียกลุ่มใด จะทำให้การผลิตแก๊สมีเธนน้อยลงหรือ

ไม่เกิดเลย

จากการศึกษาของ Conrad, Phelps และ Zeikus (1985) พบว่าแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนซึ่งเป็นกลุ่มที่สร้างแก๊สไฮโดรเจน และเมธาโนเจนซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนอยู่ชิดกันมากในกากตะกอน เนื่องประโยชน์ในการถ่ายทอดสารสำคัญที่เป็นผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่ม ต่อมาในปี 1988 Thiele, Chartrain และ Zeikus ได้ทำการศึกษาและพบว่าการแลกเปลี่ยนแก๊สไฮโดรเจนระหว่างแบคทีเรียสองกลุ่มนั้นเกิดภายในกากตะกอน ดังนั้นการที่แบคทีเรียสองกลุ่มอยู่ชิดกันจะทำให้การเปลี่ยนสารอินทรีย์ซับซ้อนไปเป็นแก๊สมีเธนเกิดได้สูงสุด และเป็นการเลี่ยงการจำกัดการถ่ายทอดสารระหว่างกันด้วย

แบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนนั้น เป็นกลุ่มสำคัญในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นซับสเทรตของเมธาโนเจน แต่จะเจริญได้น้อยมากถ้าเลี้ยงในลักษณะเชื้อบริสุทธิ์ เพราะแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากการย่อยสลายซับสเทรต จะเป็นตัวจำกัดการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มนี้ ดังนั้นการนำเอาแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนไปเลี้ยงกับแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ไฮโดรเจน เช่นเมธาโนเจน จะทำให้อะซิโตเจนเจริญได้มากขณะเดียวกันก็ย่อยสลายซับสเทรตให้เมธาโนเจนได้มากด้วย นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียสองกลุ่มในแง่การพึ่งพาอาศัยกันนี้สำคัญมากในการควบคุมการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และกระบวนการเกิดแก๊สมีเธนของระบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจถึงสรีรวิทยาเชิงนิเวศน์เบื้องต้นของเชื้อจุลินทรีย์จากกากตะกอนของโรงงานอุตสาหกรรมนม และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงกากตะกอนให้มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเกิดแก๊สมีเธนในปริมาณสูง โดยแปรผันอุณหภูมิ ชนิด และความเข้มข้นของซับสเทรต รวมถึงอัตราส่วนของอะซิโตเจนและเมธาโนเจนในปริมาณที่พอเหมาะ พบว่าสาเหตุที่กากตะกอนที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเกิดแก๊สมีเธนสูงกว่าเป็นเพราะชนิดของแบคทีเรียต่างกัน บางชนิดหายไป บางชนิดเกิดขึ้นแทนที่ (Bhatnagar และคณะ, 1991) แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบชนิดของแบคทีเรียในกากตะกอนและกากตะกอนที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว (Bhatnagar และคณะ, 1991) โดย +++ แสดงถึงการมีแบคทีเรียชนิดนั้นๆในปริมาณมาก + แสดงถึงการมีแบคทีเรียชนิดนั้นๆ และ - คือการไม่มีแบคทีเรียชนิดนั้นๆ

ชนิดของแบคทีเรีย	กากตะกอน	กากตะกอนที่ปรับปรุงคุณภาพ
1.Hydrolytic- fermentative	+++	+
2.Syntrophic Acetogens		
Butyrate degraders		
Syntrophomonas sp.	+	-
Sporeforming strain BH	-	+
Non-sporeforming strain IB	-	+
Propionate degraders		
Synthrophobacter sp.	+	-
Sporeforming strain PT	-	+
Non-sporeforming strain PW	-	+
3.Methanogens		
Acetotrophic		
Methanothrix soehngenii	+	-
Methanothrix-like	-	+
Methanosarcina barkeri	+	-
H_2-CO_2 utilizing		
Methanobrevibacter	+	-
Methanobacterium formicicum	-	+
Methanospirillum hungatei	+	+

เมื่อได้กากตะกอนที่เหมาะสมแล้ว อาจมีการศึกษาต่อไปโดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่มีสมบัติต่างๆ เช่นการย่อยสลายสารพิเศษบางตัว เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพดีเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน

ถึงแม้ว่าปริมาณมีเธนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีค่า 1-5% ของพลังงานที่ต้องการใช้ในประเทศที่พัฒนา (Stafford และคณะ,1980) แต่ก็ยังมีการใช้เฉพาะในท้องถิ่นที่โรงงานตั้งอยู่เท่านั้น เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของการเก็บรักษาและการใช้ความดันอัดให้แก๊สกลายเป็นของเหลว ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงมาก ทำให้มีผู้สนใจในการผลิตมีเธนจากกระบวนการดังกล่าวน้อยเมื่อยังมีแหล่งพลังงานอื่นให้เลือกในราคาที่ไม่สูงมาก แต่ในความเป็นจริงระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจัดเป็นระบบที่มีประโยชน์มาก เพราะไม่ว่าจะเป็นระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบใดก็ตาม ก็เป็นวิธีการที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศในการกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำเสีย (Sumaeth Chavadej, 1990) เนื่องมาจากเครื่องปฏิกรณ์มีราคาไม่สูงมาก และการทำงานของเครื่องไม่ต้องการพลังงานคุณภาพสูงเหมือนในระบบบำบัดที่ใช้อากาศ นอกจากนี้ในระบบของมันยังไม่ต้องการการกวนที่ใช้พลังงานจากภายนอกแต่ใช้ฟองแก๊สชีวภาพที่เกิดและเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนเป็นตัวทำให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำเสียและกากตะกอนอย่างทั่วถึง การที่ใช้ฟองแก๊สในการกวนนี้ยังมีประโยชน์คือไม่ไปทำลายกระบวนการเกิดกากตะกอนที่เกิดขึ้นภายใน อันเป็นผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

สำหรับประเทศไทยใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศกันมาก เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงมากๆ กล่าวคือระบบของเสียที่มี ค่าบี.โอ.ดี.เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 2.5 (Sumaeth Chavadej, 1990) จะต้องผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศก่อนที่จะผ่านเข้ากระบวนการบำบัดแบบอื่นต่อไป

ตารางที่ 2.5 ค่าบี.โอ.ดี.ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ (Sumeeth Chavadej, 1990)

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ	ค่าบี.โอ.ดี.(mg/lit)
โรงต้มกลั่น	35,000-40,000
การผลิตแอลกอฮอล์	35,000
น้ำตาล	200-3,800
น้ำมันปาล์ม	6,700-27,700
น้ำมันพืช	2,000-14,000
ยางธรรมชาติ	240-5,800
ผงชูรส	100,000
อาหารกระป๋อง	560-3,500
ไอสครีม	220-4,000
อาหารทะเลแช่แข็ง	430-2,100
โรงฆ่าสัตว์และเนื้อแช่แข็ง	450-900
ยะหมี่	500-5,500
กระดาษและเยื่อกระดาษ	400-10,000

นอกจากนี้การที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเสียเหลือทิ้งประเภทเซลลูโลส (Cellulosic Materials) เป็นจำนวนมากในแต่ละปี ดังตารางที่ 2.6 (Stafford และคณะ, 1980) ดังนั้นถ้าระบบการย่อยสลายของเสียเหล่านี้เกิดควบคู่ไปกับการเกิดผลิตแก๊สมีเธนก็จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศเป็นอันมาก

ตารางที่ 2.6 ของเหลือทิ้งประเภทเซลลูโลสที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตแก๊สมีเธน (Stafford และคณะ, 1980)

วัสดุที่ใช้	%CH_4	%H_2	%CO_2
กระดาษกรอง	81.9	14.5	3.5
กระดาษหนังสือพิมพ์	88.8	4.4	6.8
กระดาษจดหมาย	78.6	12.6	8.7
เปลือกกล้วย	80.6	3.1	7.4
ต้นกล้วย	87.0	5.4	7.5

Merrill และ Merrill (1973) ยังแสดงให้เห็นถึงการนำเอากากตะกอนที่ได้ภายหลังบำบัดไปใช้ประโยชน์ดังนี้

1. ใช้เป็นปุ๋ย เพราะกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีธาตุไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเป็นส่วนมาก

2. ใช้ในการปรับปรุงสภาวะของดิน เพราะกากตะกอนจะช่วยให้ดินเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และปรับปรุงโครงสร้างของดิน

3. Sludge Hydroponics คือการปลูกพืชโดยตรงในสารละลายของอาหาร ซึ่งในที่นี้จะใช้ Digested Sludge และ Effluent ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์

4. Sludge-Algae-Fish (Aquaculture) โดยการใส่กากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วลงบ่อ เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งใช้เป็นอาหารของปลา

5. Sludge-Algae-Methane โดยการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวใน Diluted Sludge เมื่อเติบโตเต็มที่ก็เก็บเกี่ยว นำมาทำให้แห้ง และเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตแก๊สมีเธน

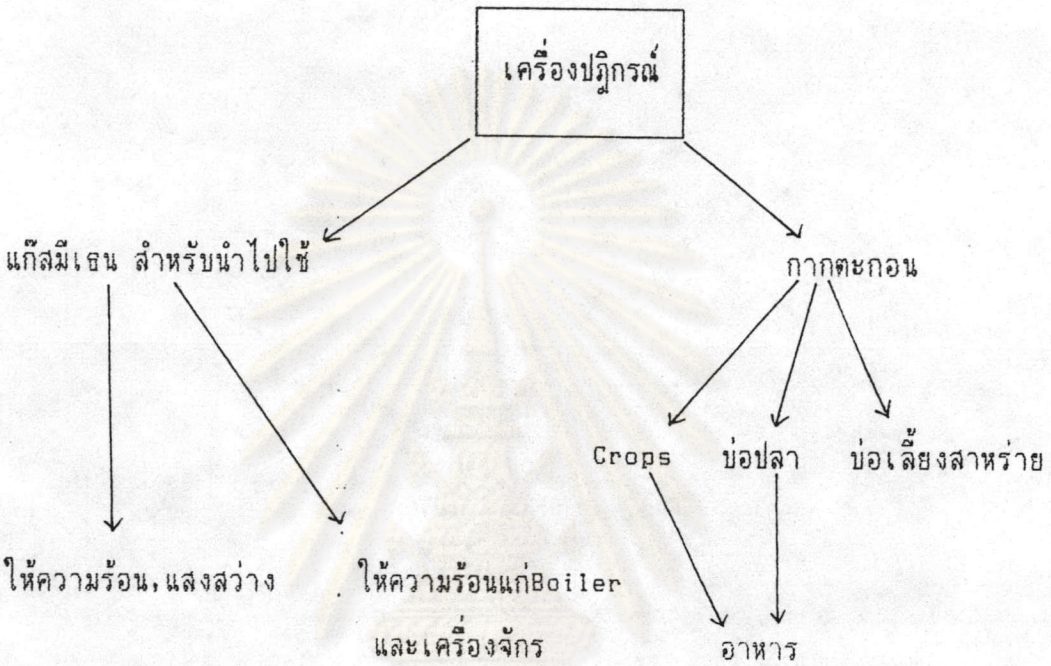
นอกจากประโยชน์ดังกล่าว ยังสามารถนำกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้ว มาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดในปริมาณสูง ดังตารางที่ 2.7 (Stafford และคณะ, 1980)

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดอะมิโน(มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)ในน้ำเสียและในกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Stafford และคณะ, 1980)

ชนิดของกรดอะมิโน	Sewage effluent	Sewage sludge
Cystine	3.9	4.2
Lysine-Histidine	5.5	22.4
Arginine	6.7	14.6
Serine-Glycine-Aspartic	18.3	31.6
Threonine-Glutamic	9.5	40.1
Alanine	7.0	23.4
Tyrosine	3.5	10.8
Methionine-Valine	15.1	27.8
Phenylalanine	11.1	26.5
Leucine	10.7	29.9
Total	91.3	231.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จึงเห็นได้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศทำให้เกิดพลังงานและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า แสดงดังรูปที่ 2.2 (Merrill และ Merrill, 1973)



รูปที่ 2.2 ประโยชน์ของผลพลอยได้ที่เกิดจากการใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Merrill, 1973)

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติของแก๊สมีเธน เมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สเชื้อเพลิงอื่น ดังตารางที่2.8 (Merrill และ Merrill, 1973) แล้วพบว่ามีเธนมีค่าพลังงานที่สูงกว่าแก๊สที่เกิดจากถ่านหิน (Coal gas) และให้ค่าความร้อนที่สูงพอประมาณ อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นผลพลอยได้ จึงกล่าวได้ว่าระบบบำบัดที่ไม่ใช้อากาศนั้นเป็นระบบที่น่าสนใจในการนำมาใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงต่างๆ (Merrill, 1973)

ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (บี.ที.ยู./ลูกบาศ์กฟุต)
แก๊สจากถ่านหิน	450-500
แก๊สชีวภาพ	540-700
แก๊สมีเธน	896-1,069
แก๊สธรรมชาติ	1,050-2,200
แก๊สโพรเพน	2,200-2,600
แก๊สบิวเทน	2,900-3,400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย