



ทฤษฎีและแนวความคิด

2.1 จุลชีววิทยาและชีวเคมีของการย่อยแบบไร้ออกซิเจนอิสระ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้อากาศนั้น เป็นปฏิกิริยาเคมีที่สลับซับซ้อนมาก ซึ่งอาจประกอบด้วย intermediate compounds และปฏิกิริยาเป็นร้อยก็ได้ (2) โดยขึ้นกับความพร้อมของจุลินทรีย์แต่ละชนิดในแต่ละปฏิกิริยาด้วย นักชีวเคมีได้ให้ทรรศนะถึงกลไกในการเปลี่ยนรูปสารเคมีว่า อาจใช้แนวทาง (pathway) เดียว หรือหลายแนวทางก็ได้

การย่อยสลายในแต่ละรูปแบบ (transformation) หรือปฏิกิริยา จะต้องอาศัย เอ็นไซม์หรือ คอโคสลิสต์เฉพาะตัว และสำหรับปฏิกิริยาภายในเซลล์ (intercellular reaction) ก็ยังต้องขึ้นกับความสามารถในการซึมผ่านผนังเซลล์ของสารอาหาร (substrate) ที่ต้องการย่อยสลายด้วย ซึ่งอาจแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายได้เป็นสองขั้นตอนคือ

- ขั้นตอนการสร้างกรด (acid production stage)
- ขั้นตอนการสร้างมีเทน (methane production stage)

2.1.1 ขั้นตอนการสร้างกรด

เริ่มต้นจากสารอินทรีย์ จะถูกทำให้ละลายน้ำ (hydrolysis) แล้วจะถูกเปลี่ยนให้เป็นของเหลว (liquefaction) โดยอาศัยน้ำย่อยที่ถูกส่งออกไปนอกเซลล์ (extracellular enzyme) ตัวอย่างของน้ำย่อย นอกเซลล์ที่เหมาะสมกับสารอินทรีย์เฉพาะ เช่น แป้ง (starch) และ glycogen ต้องใช้ amylases ไขมันและไลปิด (lipids) ใช้ lipases และ esterases โปรตีน ใช้ Protease ส่วน amino acid และ lysine ต้องใช้ trypsin เป็นต้น

เมื่อสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนให้เป็นของเหลวแล้วนั้น จะถูกผนังเซลล์ซึ่งเป็น ส่วนประกอบของไลปิดและโปรตีนทำหน้าที่คัดเลือกสารอาหารไอออนและของเสียต่าง ๆ ให้ผ่าน

เข้าออกเซลล์

ตัวอย่าง แนวทางซึ่งคาร์โบไฮเดรท จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก ดังใน Embden-Meyerhof-Parnas pathway of glycolysis ดังในรูปที่ 2.1

สารพวกไขมันเช่น longchain fatty acids ก็ก็สามารถเปลี่ยนเป็นอะซิเตท ได้โดย pathway ของขบวนการ β -oxidation ซึ่งจะแยกเอาคาร์บอนออกมาทีละสองตัว โดยอาศัย Coenzyme A (CoASH) หลังจากนั้นกรดอะซิติกจะถูกปลดปล่อยจาก Coenzyme เมื่อเกิดปฏิกิริยาต่อ หรือการแลก functional compounds ดังในรูปที่ 2.2

โปรตีนอาจถูกย่อยสลายได้หลายแนวทาง โดยขึ้นกับ enzyme ที่มี ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2.3 ซึ่ง Weng & Teris (1976) ใช้ ^{14}C ทดลองกับ glutamic acid

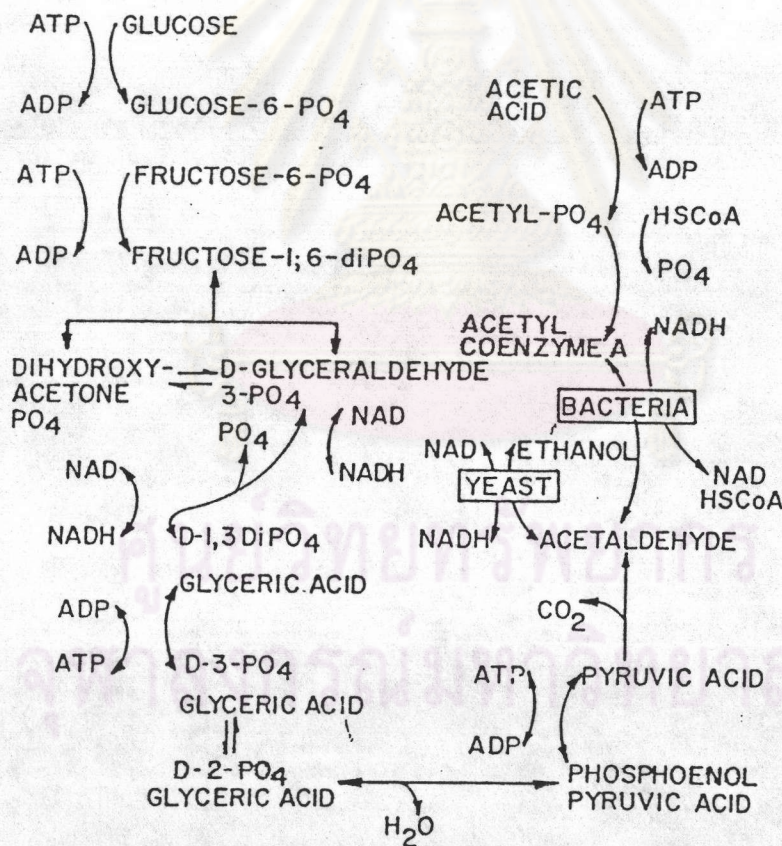


Figure Embden-Meyerhof-Parnas pathway of glycolysis.

รูปที่ 2.1 แสดงแนวทางการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรทเป็นกรดอะซิติก (2)

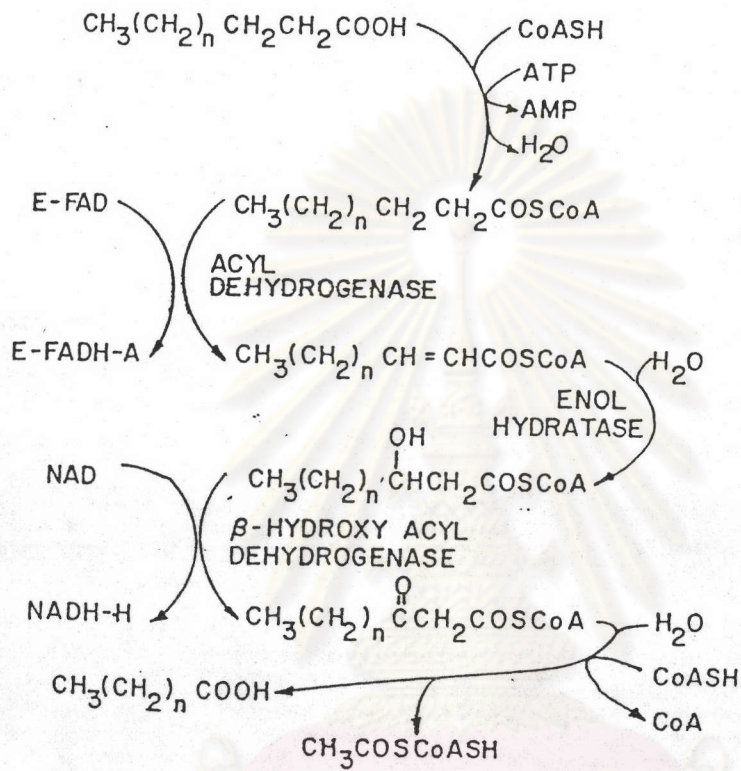


Figure Beta oxidation of fatty acids.

รูปที่ 2.2 แสดงแนวทางการเปลี่ยนไขมันให้เป็นกรดอะซิติค (2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

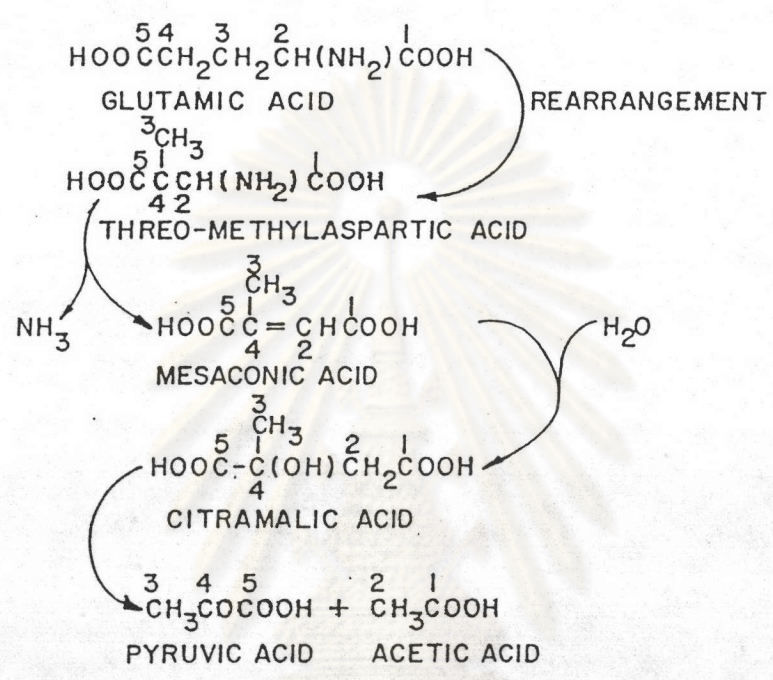


Figure Degradation of glutamic acid.

รูปที่ 2.3 แสดงแนวทางการเปลี่ยนโปรตีน (ใช้ glutamic acid เป็นตัวอย่าง) (2)

ไปเป็นกรดอะมิโน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์ จุลินทรีย์ในถังหมักแบบไร้อากาศ พบว่ากลุ่มแบคทีเรียที่ทำหน้าที่
สร้างกรดสามารถจำแนกชนิดได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดจากชนิดของอาหารต่าง ๆ (2)

BIOGAS PRODUCTION AND UTILIZATION

Bacterium	Isolated on				
	Cellulose	Starch	Protein		
			Peptone	Casein	Lipid
<i>Aerobacter aerogenes</i>					
<i>Alcaligenes bookerii</i>					X
<i>A. faecalis</i>	X				
<i>Bacillus</i> sp					
<i>B. cereus</i> var. <i>mycoides</i>		X		X	
<i>B. cereus</i>	X	X	X	X	
<i>B. circulans</i>			X		
<i>B. firmus</i>			X		
<i>B. kniefelhampi</i>					
<i>B. megaterium</i>	X	X		X	X
<i>B. pumilis</i>			X	X	
<i>B. sphaericus</i>			X	X	X
<i>B. subtilis</i>			X	X	X
<i>Clostridium carnofoetidum</i>	X				
<i>Escherichia coli</i>			X	X	
<i>E. intermedia</i>					
<i>Micrococcus candidus</i>		X			
<i>M. luteus</i>					X
<i>M. varians</i>		X	X	X	
<i>M. ureae</i>		X			
<i>Paracolonobacterium intermedium</i>			X		
<i>P. coliforme</i>			X		
<i>Proteus vulgaris</i>	X				
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	X				
<i>P. ambigua</i>					
<i>P. oleovorans</i>					X
<i>P. perolens</i>					X
<i>P. pseudomallei</i>					
<i>P. reptilivora</i>	X				
<i>P. riboflavina</i>	X				X
<i>P. spp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Sarcina cooksonii</i>					
<i>Streptomyces bikiniensis</i>					X

2.1.2 ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methane production stage)

กรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid) ที่ถูกสร้างจากกระบวนการสร้างกรดจะเป็นอาหารให้กลุ่มแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่สร้างมีเทนต่อไป และกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถแบ่งตาม genus ได้ 4 กลุ่มคือ

1. *Methanobacterium* ตัวเป็นท่อนและไม่สร้างสปอร์ (nonspore-forming rod)
2. *Methanobacillus* ตัวเป็นท่อนและสร้างสปอร์ (spore-forming rod)
3. *Methanococcus* ตัวกลมและไม่สร้างสปอร์ (nonspore-forming coccus)
4. *Methanosarcina* ตัวกลมและไม่สร้างสปอร์เกาะกันเป็นรูปลูกบาศก์ประกอบด้วยแปดเซลล์ (nonspore-forming coccus in packets of eight)

นอกจากนี้อาจจัดแบ่งย่อยตาม species ได้อีก ตามประเภทของอาหารหรือแหล่งคาร์บอนที่นำมาใช้ดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จำแนกแบคทีเรียสร้างมีเทน (2)

Bacterium	Substrates	Products
<i>Methanobacterium formicum</i>	CO	CH ₄
	H ₂ +CO ₂	
	Formate	
<i>M. mobilis</i>	H ₂ + CO ₂	CH ₄
	Formate	
<i>M. propionicum</i>	Propionate	CO ₂ + acetate*
<i>M. ruminantium</i>	Formate	CH ₄
	H ₂ + CO ₂	
<i>M. sohngeniei</i>	Acetate butyrate	CH ₄ + CO ₂
<i>M. suboxydans</i>	Caproate and butyrate	Propionate and acetate*
<i>Methanococcus mazei</i>	Acetate and butyrate	CH ₄ + CO ₂
<i>M. vannielii</i>	H ₂ + CO ₂	CH ₄
	Formate	
<i>Methanosarcina barkeri</i>	H ₂ + CO ₂	CH ₄
	Methanol	CH ₄
	Acetate	CH ₄ + CO ₂
<i>M. methanica</i>	Acetate	CH ₄ + CO ₂
	Butyrate	

*Acetate or propionate converted to CH₄ in a two-step process.

เราอาจสรุปแผนภูมิในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแนวทางปฏิกิริยาชีวเคมีได้ดังในรูป

ที่ 2.4

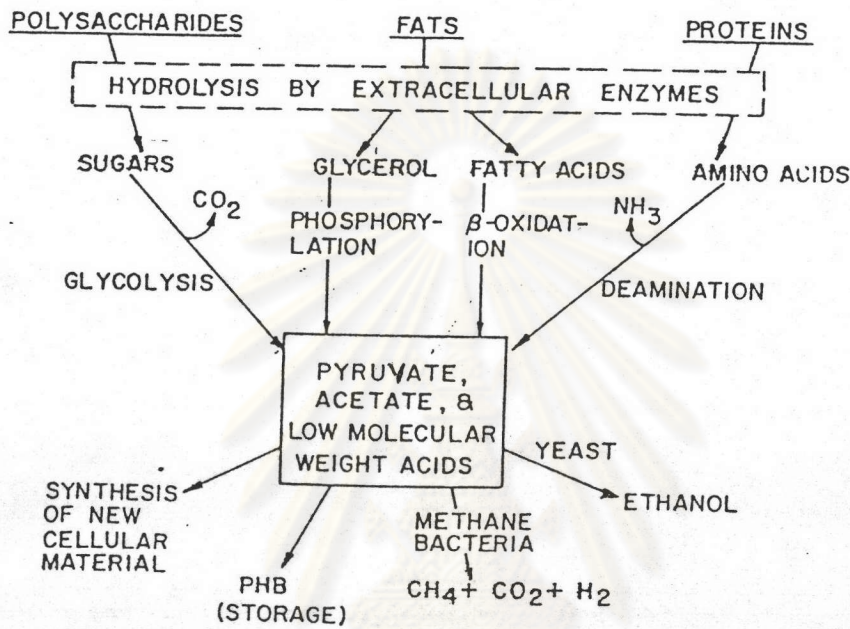


Figure Principal pathways of degradation of organic compounds.

รูปที่ 2.4 แสดงแผนภูมิการย่อยสลายในแนวปฏิกิริยาชีวเคมี

จะเห็นได้ว่า pyruvate และ acetate เป็น key intermediate ที่จะเปลี่ยนไปเป็นสารอื่นต่อไป ซึ่งอาจเปลี่ยนกลับไปเป็นพลังงานเก็บไว้ในเซลล์ได้ เรียกว่า Poly-beta-hydroxybutyric acid (PBH)

นอกจากกลุ่มแบคทีเรียที่เราใช้ประโยชน์แล้ว ยังพบแบคทีเรียซึ่งก่อปัญหาแก่ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนอิสระ ได้แก่ bacterium desulfovibro ซึ่งมีลักษณะเฉพาะคือ strictly anaerobe, gram-negative, non-spore forming rod สามารถแย่งอาหาร (H⁺) โดยอาศัย Sulfate, thiosulfate หรือธาตุ S ในน้ำเสีย เป็นตัวรับ electron

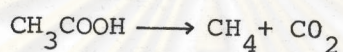
และในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด จะปลดปล่อย H_2S ซึ่งก่อปัญหาในเรื่องกลิ่นในระบบบำบัด

Mosey (3) ได้ให้ความเห็นว่าจากความรู้เกี่ยวกับสายพันธุ์ในปัจจุบัน น่าจะแบ่งแบคทีเรียที่ทำกรย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ ได้เป็น 4 กลุ่ม ดังในรูปที่ 2.5

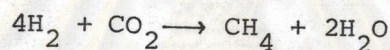
(1) Acid forming bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปกรดโวลลาไทล์

(2) Acetogenic bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดโวลลาไทล์ตัวใหญ่กว่าให้เป็นกรดอะซิติก พร้อมทั้งผลิตก๊าซ H_2 และคาร์บอนไดออกไซด์

(3) Acetoclastic bacteria ผลิตมีเทนโดยกระบวนการ decarboxylation ของ อะซิเตท



(4) H_2 -utilising methane bacteria



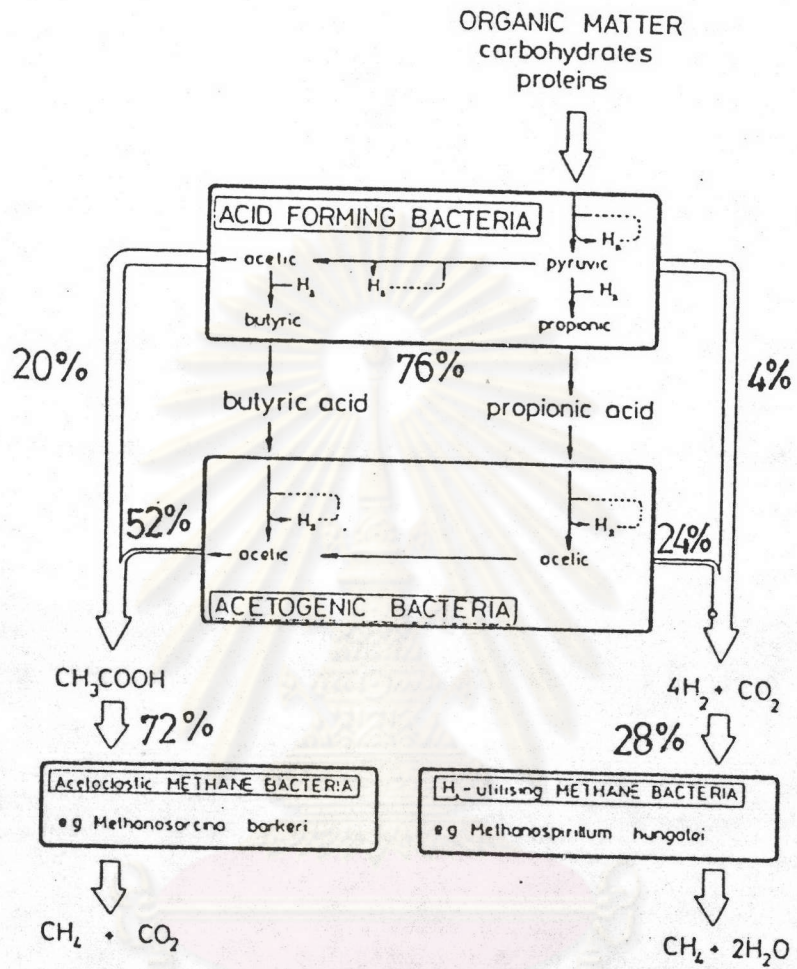
ซึ่งปฏิกิริยาโดยแบคทีเรียในกลุ่มที่ 3 นั้น ได้รับการเสนอโดย

Mc. Carty P.L., Andrew. J.F., Lawrence A.W. and Mosey. F.E. (5)

ส่วนปฏิกิริยา $H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$ ในกลุ่มที่ 4 นั้น

Shea T.G, et al. และ Hungate R.E. et al. (5) ได้ทดลองและเสนอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Regulation of metabolism in the anaerobic digestion process

รูปที่ 2.5 แสดงกลุ่มแบคทีเรียแบ่งตามหน้าที่เป็นสี่กลุ่ม (3) ส่วนตัวเลข% บอกปริมาณในรูปของชีโอดีไนในแต่ละขั้นตอน (4)

2.2 กระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB)

2.2.1 แนวความคิดของกระบวนการ

ความตั้งใจที่จะออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงใช้งานง่ายและค่าใช้จ่ายถูก ได้อยู่ในความคิดมาแล้วตั้งแต่ในอดีต ในปี 1950 Coulter et al. ได้ออกแบบถัง 2 ชุด ถังแรกเป็น Anaerobic contact tank และตามด้วยถัง filter ภายในบรรจุด้วยหิน เพื่อทดลองบำบัดน้ำเสียจากชุมชน แต่ไม่ประสบความสำเร็จนัก เพราะไม่สามารถรักษาปริมาณจุลินทรีย์ได้มากพอ ซึ่งถัง Anaerobic contact tank นี้เอง คือต้นแบบของระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี ต่อมา Stander (1966) ได้พัฒนาให้สามารถกักตะกอนให้มีปริมาณมากในถังหมักโดยติดตั้งชุดตกตะกอนไว้ตอนบน ทำให้รับปริมาณน้ำเสียได้มากขึ้น และใช้เวลาน้อยลง ซึ่ง Lettinga et al (26) ได้พัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถแยกน้ำเสีย ตะกอน จุลินทรีย์ และก๊าซชีวภาพออกจากกันได้ทั้งสามสถานะ จึงได้ตั้งชื่อกระบวนการนี้ว่า กระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

2.2.2 ลักษณะและการทำงานของกระบวนการยูเอเอสบี

รูปลักษณะจะเป็นไปดังในรูปที่ 2,6 จะเป็นถังกลมหรือเหลี่ยมก็ได้ ตอนล่างของถังจะประกอบด้วยตะกอนจุลินทรีย์หนาแน่น ซึ่งน้ำเสียจะถูกอัดเข้าทางตอนล่างของถัง เพื่อให้สัมผัสกับจุลินทรีย์อย่างทั่วถึง น้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วจะค่อย ๆ ไหลขึ้นสู่ตอนบนของถัง ขณะที่จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์ ในน้ำเสียจะผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นฟองลอยขึ้นจากชั้นตะกอนล่าง (Bed) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์เบาฟองลอยขึ้น ขณะเดียวกันฟองก๊าซที่สร้างขึ้นเอง เกาะติดไปด้วยแล้วลอยตามน้ำเสียที่ไหลขึ้น เมื่อถึงช่วงบนของถังจะเป็นชุดแยกสามสถานะ น้ำเสียจะปะทะกับแผ่นกั้นซึ่งเอียงทำมุม 45° (รายละเอียดดังในรูป 2.7) ซึ่งทำหน้าที่แยกก๊าซที่เกิดขึ้นให้หลุดจากกลุ่มตะกอนจุลินทรีย์ ก๊าซนี้จะถูกกักเก็บไว้ที่ตอนบนของแผ่นกั้นแล้วไหลออกไปตามท่อเมื่อแรงดันเกินกว่าแรงดันในส่วนกักเก็บ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกแยกฟองก๊าซออกไปแล้ว จะมีคุณสมบัติจมตัวได้ดีขึ้นและตกกลับสู่บริเวณย่อยสลายส่วนล่างของถังต่อไป ส่วนตะกอนเบาที่หลงเหลือจะไหลตามน้ำใส่ผ่านช่องหมายเลข 1 ซึ่งการไหลเป็นแบบไหลตามยาว (plug flow) ไปสู่ส่วนขยาย (expansion) ในบริเวณถังตกตะกอน ซึ่งมีการไหลแบบลามินาร์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถรวมตัวกันเป็นชั้นตะกอน (Blanket) ยิ่งใกล้ปลายล่างของถังตกตะกอน ชั้นตะกอนก็จะยิ่งหนาแน่นจนมีน้ำหนักพอแล้ว จมตัวกลับออกจากถังตกตะกอนสู่ส่วนย่อยสลายต่อไป ด้วยหลักการนี้ทำให้คงรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาไว้ให้มีค่าสูงต่อไปได้

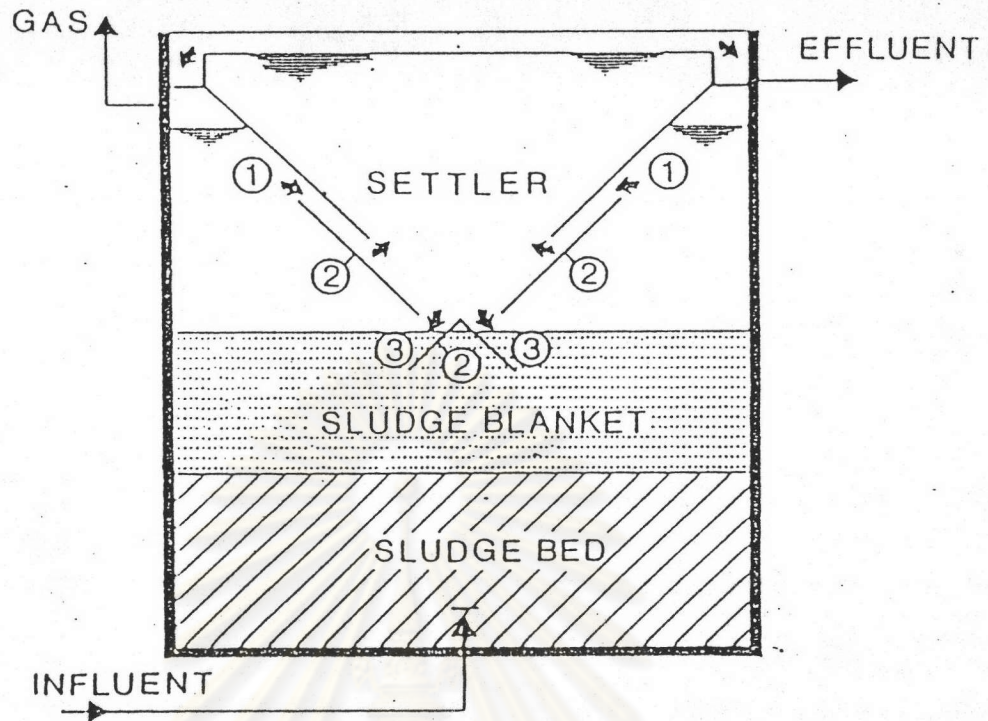


Figure Schematic Drawing of a U.A.S.B.-reactor.

- (1) Sludge - liquid mixture inlet.
- (2) Gasscreens.
- (3) Settled sludge return opening.

รูปที่ 2.6 แสดงรูปลักษณะของระบบยูเอเอสบี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

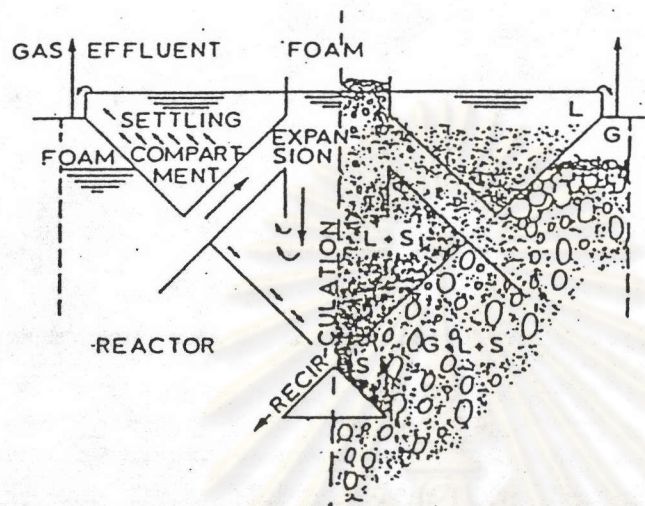


Figure —Schematic generalized picture of the cross section of settlers used in the pilot plants and the full-scale reactor. At the left side of this figure, the flow patterns of the fluid and sludge are shown. At the right are indicated the presence and distribution of sludge (S), gas (G), and liquid (L) in the compartments in and below the settler.

รูปที่ 2.7 แสดงรูปตัดการทำงานของเครื่องแยกสามสถานะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2 นั้น การทำงานของระบบบำบัดยูเอเอสบี ต้องขึ้นกับแบคทีเรียทั้ง 4 กลุ่ม การทำงานของแบคทีเรียทั้ง 4 กลุ่มจะเป็นไปได้เมื่อสภาพแวดล้อมซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ pH ความเป็นกรดเป็นด่าง อาหารเสริม และสารพิษ เป็นต้น ส่วนพารามิเตอร์อีกอันหนึ่งคือ อาหารหรือสารอินทรีย์ที่เราต้องการให้จุลินทรีย์บำบัดนั้นคือ พารามิเตอร์ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์

2.3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมจุลินทรีย์

เพื่อให้ได้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและทำงานจำเป็น ต้องรักษาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1.1 อุณหภูมิ

ช่วง อุณหภูมิที่สามารถทำให้เกิดการหมักแบบไร้ออกซิเจนนั้น อยู่ระหว่าง 4°C - 60°C ซึ่งจัดแบ่งตามความชอบของจุลินทรีย์ได้เป็น

- ช่วง Mesophilic 30°C - 35°C
- ช่วง Thermophilic 45°C - 55°C

Wiegant และ Lettinga (1981, 1982, 1983) ได้ให้ความเห็นว่า ระบบ UASB ถ้าทำงานที่ Thermophilic จะให้ผลสูงกว่าช่วง Mesophilic โดยเปรียบเทียบค่า Specific growth rate และค่า Half saturation constant ดังในตาราง

2.3 (6)

อีกตัวอย่างหนึ่งดังในรูปที่ 2.8 ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า μ_{max} และ K_S กลุ่มแบคทีเรียที่อุณหภูมิสูง (6)

Table Growth rates and half saturation (substrate affinity) constants of some acetogenic and methanogenic thermophilic organisms

Substrate	Temperature			
	55°C		35°C	
	Specific growth rate (per hour)	Half saturation constant (mg/l)	Specific growth rate (per hour)	Half saturation constant (mg/l)
H ₂ /CO ₂	0.532	—		
Acetate	0.036	124	0.019	300
Propionate	0.026	2.8	0.0075	42
Butyrate	0.109	14‡	0.008*	7.0†
			0.013*	7.3

* For these bacteria the highest known values (with *Desulfovibrio* spp.) are taken.

† Value determined at 33°C

‡ Detection limits generate this value

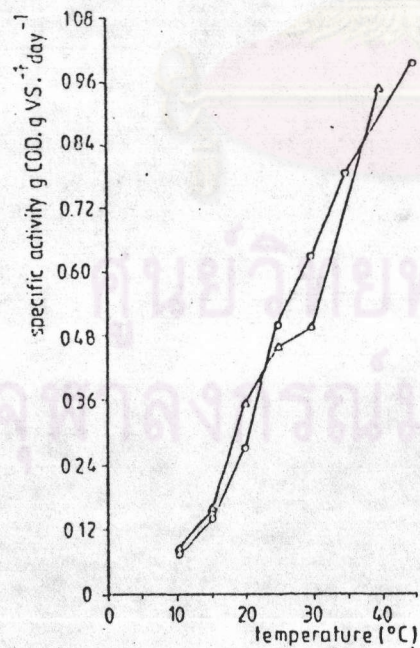


Figure Effect of temperature on the specific activity of anaerobic sludge fed with a mixture of YFA (O = 600 mg/l of C₂, C₃, and C₄; and Δ = dry solids from potato).

รูปที่ 2.8 แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่า Specific activity (8)

2.3.1.2 พีเอช

ค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการหมักแบบไร้อากาศควรอยู่ระหว่าง 6.6-7.6 (Mc Carty, 1964) แต่เนื่องจากจุลินทรีย์สร้างกรดสามารถปรับตัวได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า จาก 5-8.5 ดังนั้นการปรับ พีเอชสำหรับระบบสิ่งมุงเพื่อให้ เหมาะกับกลุ่มสร้างมีเทน

อย่างไรก็ดี ได้มีผู้พยายามสร้างกลุ่มสร้างมีเทน strain ใหม่ ให้ทนพีเอช ที่เป็นกรดได้ เพราะกลุ่มสร้างมีเทนต้องใช้กรดเป็นอาหาร เช่น Acid-Tolerant Strain จาก Peatland สามารถเติบโตได้ที่พีเอช < 5.3 และยังผลิตมีเทนได้ที่พีเอช.1 (9)

Erik et al (10) ได้เลี้ยง Methanotrix Soehgenii ให้ทำงานได้ที่ พีเอช 6 โดยใช้ส่วนผสมของ acetate-propionate เป็นอาหาร

2.3.1.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ซึ่งผลของความเป็นกรดเป็นด่างจะไปแสดงที่พีเอช ตัวที่จะสร้างความเป็นกรดได้แก่ CO_2 และ H_2 ที่เกิดจากระบบ และกรดโวลลาไทล์ ส่วนความเป็นด่างจะ ได้มาจาก NH_3 ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายโปรตีน และไบคาร์บอเนตในระบบ ซึ่ง Alberston, OE (1961) ได้ให้ความสัมพันธ์ดังสมการ 2.1

$$\text{pH} = 5.14 - \log(\% \text{CO}_2) + \log(\text{HCO}_3^-) \quad (2.1)$$

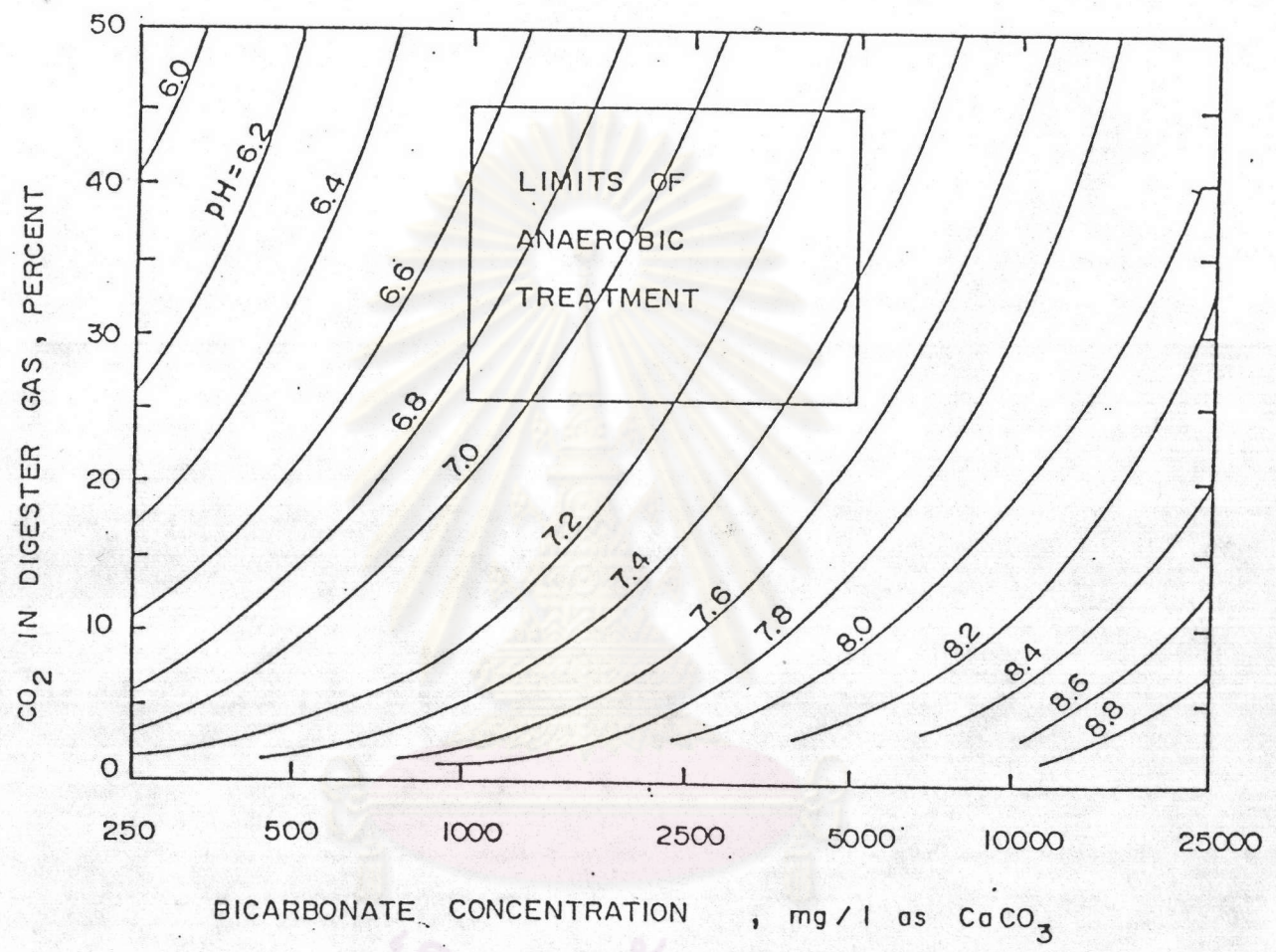
และ Mc Carty (1964) ได้ให้ความสัมพันธ์ของ CO_2 และค่าความเป็นด่างที่ต้องมีในระบบ ดังในรูปที่ 2.9

ซึ่งการเพิ่มความเป็นด่างให้แก่ระบบทำได้โดยการเติมปูนขาว NaOH หรือ NaHCO_3 เป็นต้น

2.3.1.4 อาหารเสริม

จากอัตราส่วนของ C:N:P:S ในเซลล์ค่าประมาณ

100:10:1:1 (2) ซึ่งจำเป็นต้องรักษาไว้ไม่น้อยกว่านี้ เพราะฉะนั้น การหมักจะไม่ให้ผลตามต้องการ เช่น P เป็นส่วนประกอบของพลังงานในเซลล์ให้แก่ ATP ดังแสดงใน pathway ของการย่อยสลาย



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณความเข้มข้นของ bicarbonate alkalinity ที่อุณหภูมิ 95°F (4)



2.3.1.5 สารพิษ

สารที่เป็นอาหารจำเป็นถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะเป็นพิษได้ เช่น กรดโวลลาไทล์ เกสออินทรีย์ โลหะหนัก แอมโมเนีย และสารประกอบของซิลเฟอรัส ซึ่งถ้ามีปริมาณพอเหมาะจะช่วยกระตุ้น การทำงานของจุลินทรีย์ได้ดี แต่มีสารเคมีบางตัวที่เป็นพิษอย่างเดี่ยว คือทำให้ตายได้ เช่น CN^- , CHCl_3 เป็นต้น (8) แม้จะมีปริมาณน้อย ๆ ก็ตาม

(1) สารประกอบอินทรีย์ของซิลเฟอรัสที่ไม่ใช่ซิลเฟตมีปริมาณตั้งแต่ 9 มิลลิโมล จะยับยั้งการย่อยสลายและการสร้างมีเทน ด้วยลำดับความมากน้อยดังนี้ (2)

ไทโอซิลเฟต > ซัลไฟท์ > ซัลไฟด์ > ไฮโดรเจนซัลไฟด์

(2) ส่วนแอมโมเนีย ที่ค่ามากกว่า 3,000 มก./ล ที่

pH > 7.4 จะเป็นพิษ ส่วนปริมาณที่น้อยกว่าจะเป็นประโยชน์ดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Mc Carty 1964)

$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	EFFECT ON TREATMENT
100-200	Beneficial
1,000-2,000	No Adverse Effect
1,500-3,000	Inhibitory at high pH value
>3,000	Toxic

(3) พิษจากไอออนของโลหะ (Cation)

แคทไอออน ทุกตัวสามารถสร้างภาวะเป็นพิษได้ ถ้ามี

ปริมาณสูงพอ โดยทั่วไป ความเป็นพิษจะเพิ่มตามขนาดของวาเลนซ์ และน้ำหนักอะตอม

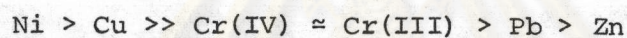
ผลของโลหะที่แตกตัว สรุปลดดังนี้

1. มีผลโดยตรงขึ้นกับ ความเข้มข้น
2. ค่าที่เหมาะสมได้แก่ พวกวาเลนซ์ 1 เช่น Na, K, NH₄ คือ 0.01M
ส่วนวาเลนซ์สอง คือ Ca, Mg จะเป็น 0.005M
3. ค่าอื่นนอกเหนือจากค่าที่เหมาะสม ประสิทธิภาพสูงสุดจะมีค่าต่ำกว่า
4. ผลเสียที่มีแคทไอออน ตัวหนึ่งมากไปอาจสามารถลดให้น้อยลงได้

โดยเพิ่มแคทไอออนอีกตัวหนึ่ง

5. การลดผลจากแคทไอออนตัวหนึ่งให้มากที่สุด (max antagonism) ได้โดยการเติมแคทไอออนที่เหมาะสมหลาย ๆ ตัว จะให้ผลดีกว่าใช้เพียงตัวเดียว.

โลหะหนักมีพิษมากกว่าโลหะเบา แต่แบคทีเรียสามารถลดพิษได้โดยการสร้างเป็นคอมเพล็กซ์กับโปรตีนที่ผนัง เซลล์ แต่ก็มีขีดจำกัดและมีความเป็นพิษน้อยลงตามลำดับดังนี้



นอกจากนี้ ลักษณะการรับของระบบ จะแสดงระดับความเป็นพิษต่างกัน ซึ่ง Hayes และ Theis (1978) ได้ศึกษาและสรุปผลดังในตาราง

ตารางที่ 2.5 แสดงความเป็นพิษจากรูปแบบที่ต่างกัน

Heavy Metal Toxicity Limits for Anaerobic Digestion (25)

	Step-Fed		Pulse-Fed
	Inhibiting Conc ⁿ (mg/l)	Toxic Limit (mg/l)	Toxic Limit (mg/l)
Cr (III)	130	260	< 200
Cr (VI)	110	420	< 180
Cu	40	70	< 50
Ni	10	30	> 30
Cd	-	> 20	> 10
Pb	340	> 340	> 250
Zn	400	600	< 1,700

2.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

นอกจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมดัง ในหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว การควบคุม จุลินทรีย์ ให้คงทำงานได้ดี จำเป็นต้องรักษาสภาพทางฟิสิกส์ ต่อตัวจุลินทรีย์ อันเป็นหัวใจของการทำงานให้เหมาะสมต่อไปดังนี้

2.3.2.1 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ไว้ให้สูงที่สุด และจมตัวได้ดีโดยให้絮แยก สลัมสถานะทำงานได้ปกติ นั่นคือต้องทำให้จุลินทรีย์รวมกันเป็นก้อนเม็ด (granular) ซึ่ง Wiegant et al (12) ได้ให้ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดภาวะรวมกันเป็นก้อนเม็ดดังนี้

- (1) ปริมาณ bivalent cation
- (2) HRT หรือ ความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสีย
- (3) ความเข้มข้นของน้ำเสียขาเข้า
- (4) แรงกดดันที่มีต่อกลุ่มลัสต์จิ้นถัง
- (5) อัตราการผลัดก๊าซที่กั้นถัง (Sludge bed)
- (6) การคัดพันธุ์จุลินทรีย์ที่จมตัวได้ดีเอาไว้
- (7) ใช้ seed ที่ดี เพื่อให้มี methanogenic activity สูงเพียงพอ โดยมีปริมาณ อินเนอกต่ำ

2.3.2.2 การกระจายน้ำเสียเข้าอย่างทั่วถึง

เพื่อป้องกันการไหลสัดวงจรของน้ำเสีย ผ่านชั้นฐาน (bed) ซึ่ง ถังทดลอง จุดเข้าหนึ่งจุด อาจครอบคลุมได้ถึง 5-10 ตารางเมตร ส่วนถังขนาดใหญ่จริงต้องเพิ่มจุดเข้าเป็นหนึ่งจุดต่อพื้นที่ 1-2 ตารางเมตร

2.3.2.3 การควบคุมการระบรทุกขาเข้า

โดยการควบคุมการลู่เข้าให้ความเร็วไหลขึ้นไม่เกิน 1 เมตร/ช.ม. โดยรักษาซีโอดีหรือค่าเวลากักน้ำ (HRT) ให้เกือบคงที่

2.3.2.4 การรักษาสภาพ Bed-blanket ไว้ให้ได้

เพื่อมิให้絮แยกสลัมสถานะต้องทำงานเกินกำลัง (overload) โดยอาจคอยรักษาระดับ ผิวบนของ Bed จนถึงจุดต่ำสุดของ絮แยกสลัมสถานะไว้อย่างน้อย 1 เมตร (14)

2.4 ผลงานวิจัยระบบยูเอเอสซีที่ผ่านมา

Lettinga et al. เริ่มทดลองระบบยูเอเอสซี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1971 ขนาดที่ใช้ทดลอง 2.7-61 ลิตร ความสูง 0.30-1.05 เมตร โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล โรงงานนม โรงงานอาหารกระป๋อง เป็นต้น มีค่าซีโอดีระหว่าง 5,000-12,000 ม.ก./ล ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีระหว่าง 65-95% ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10-14 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 48-5 ช.ม.

ในปี ค.ศ. 1975 ได้ทดลองขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณ 6 ลบ.ม. สูง 3 เมตร บำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลและมันฝรั่ง ค่าซีโอดีระหว่าง 2,000-16,500 ม.ก./ล ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 90-95% ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10-45 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ในปี ค.ศ. 1976 ได้ทดลองขนาด ปริมาตร 30 ลบ.ม. ความสูง 6 เมตร 4 เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ 16.7 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ข้อมูลนี้ นำไปใช้ออกแบบการใช้งานจริง

ในปี ค.ศ. 1977 ด้วยขนาดปริมาตร 200 ลบ.ม. สูง 4.5 เมตร บำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลที่มีค่าซีโอดีระหว่าง 4,000-5,200 ม.ก./ล. ด้วยระยะเวลาพักน้ำ 6-8 ช.ม. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีตั้งแต่ 87-95% ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 14-16 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

Heertjes และ Van der Meer (15), (16) ได้ทดลองขนาด 30 ลบ.ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เมตร สูง 6 เมตร ใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล ขนาดซีโอดีระหว่าง 2,500-6,500 ม.ก./ล. ระยะเวลาพักน้ำ 5 ช.ม. ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 17.2 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดถึง 95% นอกจากนี้ได้ศึกษาการไหลของน้ำเสียในถังปฏิกริยา โดยใช้ Li^+ tracer (1978)

Pette และ Versprille (17) ได้ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลที่เมือง Breda ในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีค่าซีโอดี 17,000 ม.ก./ล. ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด 96% จากนั้นได้ทดลองขนาด 900-1,425 ลบ.ม. โดยบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลขนาด ซีโอดี 1,850-4,000 ม.ก./ล. ระยะเวลาพักน้ำ 4-5.7 ช.ม. ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12-16.5 ก.ก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพในการบำบัด 70-75%

Pette et al. (18) ได้ทดลองขนาด 200 ลบ.ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ม. สูง 4.5 ม. บำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล ขนาด 500-1,430 ม.ก. คาร์บอน/ล. ระยะเวลาพักน้ำ 4.4-9.8 ช.ม. ประสิทธิภาพในการบำบัด 91-97% ที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 1.3-5.8 ก.ก. คาร์บอน/ลบ.ม.-วัน

Christensen, Gerick และ Eblen (1) ได้ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต โดยใช้ระบบยูเอเอสซี มีปริมาตร 2,200 ลบ.ม. ความเข้มข้นซีโอดี 2,500 ม.ก./ล. ระยะเวลาพักน้ำ 21.2 ช.ม. ประสิทธิภาพ ลดซีโอดีได้ 85% ที่ค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์ 3 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

Sayed, de Zeeuw และ Lettinga (19) ได้ทดลองใช้ระบบยูเอเอสซีแบบ Stage เดียวทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ ขนาดปริมาตร 30 ลบ.ม. รับภาระบรทุกสารอินทรีย์ 3.5 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ด้วยเวลาพักน้ำ 8 ช.ม. ประสิทธิภาพในการบำบัด 90% ในรูป COD_{sol} และ 70% ในรูปของ COD_{tot}

Wiegant และ Lettinga (20) เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่ออุณหภูมิ 55°C ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 5.75 ลิตร ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดี 14,650 ม.ก./ล. ระยะเวลาพักน้ำ 3.2 ช.ม. ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี 77.6% ที่ค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์ 104 ก.ก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

Cail และ Barford (21) ได้ทดลองระบบยูเอเอสซี เทียบกับ Upflow flocc. และใช้สารช่วยตกตะกอน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะจุลินทรีย์ และประสิทธิภาพ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลอ้อย ความเข้มข้นซีโอดี 7,500 ม.ก./ล. สรุปว่าแบบ Upflow flocc สามารถใช้ภาระบรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าแบบยูเอเอสซีเล็กน้อย

ในประเทศไทย ระบบบำบัดยูเอเอสซีแบบ 2 ขั้นตอน ได้สร้างเสร็จแล้วที่โรงงานสุราของ บริษัทสุราก็พิภย์ ทั้ง 12 โรง แต่ยังไม่ได้นำดำเนินงานจริง ขณะนี้ยังอยู่ในระหว่างการทดลองที่โรงราชบุรี ถึงสร้างกรตขนาด 450 ลบ.ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.15 ม. สูง 7.15 ม. ถึงสร้างมีเทนปริมาตร 3,000 ลบ.ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 23 ม. สูง 7.15 ม.

ส่วนการทดลองระบบยูเอเอสซีกับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำที่ผ่านมา

Lettinga et al. (22) ใช้ถังขนาด 1 ลบ.ม. เพื่อทดลองบำบัดน้ำเสียเข้มข้น มีค่า COD_t 10-700 ม.ก./ล. ค่า SS 100-900 ม.ก./ล. ทดลองด้วยค่าเวลาพักน้ำ 48-8 ช.ม. ประสิทธิภาพในการลด ซีโอดี 70-75% โดยอุณหภูมิห้องตั้งอยู่ระหว่าง 9-20°C

Piet Grin, Roersma และ Lettinga (23) ใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 64 ลบ.ม. รับอัตราการไหล 0-36 ลบ.ม./ช.ม. ทดลองที่เมือง Cali ประเทศ Colombia น้ำเสีย ชุ่มชื้นขนาด 500,000 คน มีค่าซีโอดีระหว่าง 144-770 ม.ก./ล. ประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดี 75-82% ด้วยเวลาดำเนินการ 6-2.3 ช.ม.

Fernandes, Cantwell และ Mosey (24) ทดลองถังปฏิกิริยา ขนาด 12.4 ลิตร ทดลองบำบัดน้ำเสียชุ่มชื้น สามารถลดค่า BOD และ SS ได้ระหว่าง 50-80% โดยมี เวลาดำเนินการ 3-12 ช.ม.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย