บทที่ 3

ระบบ UASB

3.1 ประวัติความเป็นมาของระบบ ยูเอเอสบี

UASB (upflow anaerobic sludge blanket) ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดย Winlow และ Phelps (1910) ได้พัฒนาให้มีระบบถังหมักที่มีการฉีดน้ำเสียขึ้นด้านบนแทนการใช้ใบกวน แต่ต่อมา ได้มีการพัฒนาขึ้นในขั้นโรงงานต้นแบบและระบบที่ใช้งานจริงที่ Western Caper Regional Laboratory เมือง Belliville โครงการพัฒนา ระบบ UASB เริ่มต้นอย่างจริงจังในปี 1970 โดยการทำงานร่วมกันของกลุ่มงานวิจัย Centrale Suier Maatschappij (CSM), มหาวิทยาลัย Delf, มหาวิทยาลัย Wagenigen และมหาวิทยาลัย Amsterdam โดยได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลเนเธอร์แลนด์

3.2 หลักการทำงานของระบบ ยูเอเอสบี

ลักษณะการทำงานของระบบยูเอเอสบี มีลักษณะเด่นดังต่อไปนี้

- มีเครื่องแยกตะกอนที่ส่วนบนของถังหมัก
- ตะกอนจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นเม็ดอยู่ในชั้นตะกอนล่าง (sludge bed) และมีตะกอนเบาในชั้นตะกอนลอย (sludge blanket)
- มีการฉีดพ่นจากด้านล่าง (up flow feeding)
- ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องกวน

จากลักษณะเด่นต่าง ๆ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

- ไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอน ตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ชั้นตะกอนล่าง และ ชั้นตะกอนลอย โดยมีอุปกรณ์แยกแก๊ส กับตะกอนจุลินทรีย์ที่ด้านบนของถังหมัก ซึ่งเรียกว่า gas - solid separator ซึ่งแม้ว่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักจะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด แต่ก็มีฟองก๊าสฟุ้งกระจายจากชั้นตะกอนล่าง ในสภาวะที่ระบบมี

อัตราการรับสารอินทรีย์ (organic loading) สูง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความปั่นป่วนภายในถังหมัก เนื่องจากขบวนการเกิดแก๊ส หรือ เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ เพราะว่าเกิดการเกาะตัวของตะกอนชีวภาพ กับฟองแก๊ส แต่ตะกอนจุลินทรีย์ที่ถูกพาลอยขึ้นมา ส่วนใหญ่เป็นพวก flocculant bacteria จากชั้น sludge blanket เมื่อไหลผ่าน settler ตะกอนเบานี้ จะตกกลับลงถังหมัก ดังนั้นอุปกรณ์แยกนี้จึงมีความจำเป็นมาก เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกไปจากถังหมัก ซึ่งลักษณะการใช้งานจริงของระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น(UASB) ในส่วนของชั้นตะกอนลอยที่เข้าไปอยู่ในส่วนของอุปกรณ์แยกแก๊สกับตะกอนจุลินทรีย์ จะเป็นตัวช่วยไม่ให้ตะกอนจากชั้นตะกอนล่างที่ฟุ้งกระจาย ขึ้นไปถึงอุปกรณ์แยกแก๊สกับตะกอนจุลินทรีย์ ลอยตัวออกไป เพราะจะมีการจับตัวกันตกกลับไป ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายในชั้นตะกอนล่าง แต่ที่เป็นปัญหาจริง ๆ คือ การลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์เป็นครั้งคราว (Lettinga. 1980)

- ตะกอนจุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้ง่าย เนื่องจากแบคทีเรียที่มีลักษณะ เป็นเม็ดมีน้ำหนักสูง ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงของระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) นี้ Lettinga และคณะ (1984) ได้รายงานว่า ระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) นี้ จะมีประสิทธิภาพสูงก็ต่อเมื่อ ตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก มีลักษณะเป็นเม็ด เพื่อให้ได้ตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด จึงต้องมีวิธีการเริ่มต้นเดินระบบที่ถูกวิธี โดยให้มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในถังหมัก 10 - 15 กก.วีเอสเอส / $ม^3$ โดยให้มีอัตราการรับสารอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ 0.05 - 0.1 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส.วัน และต้องไม่เพิ่มอัตราการรับสารอินทรีย์จนกว่ากรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดจะถูกย่อยสลายไปมากกว่า 80 % และในการเดินระบบ ต้องยอมให้มีการชะล้างของตะกอนชีวภาพที่มีความสามารถในการตกตะกอนต่ำออกจากระบบของถังหมัก และต้องพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่มีน้ำหนักสูงไว้ในระบบ ซึ่งขบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด (granulation) จะเกิดขึ้นในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบของถังหมักดังกล่าว ซึ่ง Lettinga และคณะ (1984) ได้แสดงการทดลองความสามารถในการรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนั้น granular sludge (UASB), fluidized bed, fixed film expanded bed, anaerobic filter และ down fixed film.

ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) ซึ่งมีตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด มีความสามารถในการรับอัตราป้อนสารอินทรีย์ของน้ำเสียได้สูงจึงเหมาะสมสำหรับน้ำเสียของโรงงานสุราที่มีค่าความสกปรก ความเข้มข้นของซัลเฟต และกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระดับที่สูงด้วย (Sanchez และคณะ ,1985)

-การฉีดพ่นของน้ำเสียจากส่วนล่างของถังหมักอย่างสม่ำเสมอ ระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงมาก ๆ จำเป็นที่จะต้องป้องกันการเกิดช่อง (channelling) ในชั้นตะกอนล่าง ซึ่งการเกิดช่องมีโอกาสเกิดได้มาก เมื่อถังหมักถูกป้อนด้วยน้ำเสียที่มีอุณหภูมิต่ำและมีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งจะทำให้ปริมาณของแก๊สมีเทนน้อยเกินกว่าที่จะทำให้มีการกวนผสม และ สัมผัสของตะกอนจุลินทรีย์อย่างพอเพียง นอกจากนี้ ถ้าชั้นตะกอนล่าง มีความสูงน้อยเกินไปก็เกิดช่องได้ ดังนั้นอุปกรณ์การป้อนน้ำเข้าและจำนวนท่อฉีดจึงมีความสำคัญ ซึ่ง Lettinga และคณะ (1984) ได้เสนอแนะว่า ถ้าเป็นชั้นตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดที่หนา (thick glanular sludge) ที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 1-2 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน ให้ใช้ 1 หัวฉีด ต่อ 1 ตารางเมตรของพื้นที่ถังหมัก

เมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักระบบอื่น ๆ แล้ว ระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) นี้ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง และค่าก่อสร้างระบบต่ำ เนื่องจากไม่ต้องใช้ตัวกลาง ไม่ต้องมีเครื่องกวนผสม และ ไม่ต้องมีถังตกตะกอนแบคทีเรีย การออกแบบง่าย นอกจากนี้ยังมีตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินน้อยมาก เพราะ 80 % ของ ซีโอดีในน้ำเสียที่ถูกกำจัดไปจะเปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทน โดยทั่วไปจะเกิดตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 0.1 กก.ของตะกอน 1 กก.ซีโอดี ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบใช้อากาศแล้วจะน้อยมาก ทำให้ลดปัญหาการกำจัดตะกอนส่วนเกินได้มาก ตะกอนจุลินทรีย์จากถังหมักนี้ สามารถรักษาคุณสมบัติไว้ได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ ปราศจากอาหารซึ่งเก็บได้นานถึง 1 ปี ดังนั้น ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับโรงงานที่ปล่อยน้ำเสียเป็นฤดูกาลไม่สม่ำเสมอ (Lettinga และคณะ, 1984) แต่อย่างไรก็ตาม ระบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศแบบไหลขึ้น (UASB) ก็มีข้อเสียที่ต้องมีการดำเนินการเดินระบบที่ถูกต้องมิฉะนั้นแล้วแบคทีเรียในถังหมักจะไม่เป็นชนิดเม็ดที่มีน้ำหนักสูง ประสิทธิภาพของระบบจะไม่สูงอย่างที่คาดหมายไว้

3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบยูเอเอสบี

3.3.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบ

Victor และ Luis (1987) ได้ให้แนวทางไว้ดังนี้

1. การออกแบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 10 - 20 กิโลกรัมซีโอดี/ม^3.วัน ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C และอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่ใช้ในการออกแบบจะสูงขึ้นที่อุณหภูมิช่วง thermophilic
2. ระบบยูเอเอสบี สามารถออกแบบ สำหรับความเข้มข้นของน้ำเสีย 200-100,000 มก. ซีโอดี / ลิตร
3. การกวนผสมต้องมีอัตราการผลิตแก๊ส 60 ม^3/วัน-ตารางเมตรจึงจะพอเพียง สำหรับการกวนผสมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสูง 2-3 เมตร
4. ควรมีการฉีดพ่น 1 หัวฉีดต่อ 5 ตารางเมตรของพื้นที่ก้นถัง
5. ความสูงของถังหมักที่เหมาะสมคือ 4 - 6 เมตร และพื้นที่ 3.5 ใน 4 ส่วน ตามความสูงของถังหมัก ต้องการความเร็วของแก๊สชีวภาพ 1.0-1.5 ม./ชม.
6. settler ต้องมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 99% ผนังจึงต้องการความลาดเอียง 50^{o} เพื่อควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ให้ไหลย้อนกลับ โดยมี surface loading ของ settler ต่ำกว่า 0.7 เมตร/ชั่วโมง และ มีค่าเฉลี่ยอัตราการไหลผ่านช่องเปิดต่ำกว่า 2 เมตร/ชั่วโมง
7. gas collector ต้องสามารถเก็บรักษาแก๊สป้องกันการหนีในช่วงแยกตัวจากตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี
8. การแยกจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและจุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทนออกจากกันเป็นสิ่งที่เหมาะสม
9. ความเร็วที่ปลายหัวฉีด 2-4 ฟุต/วินาที โดยมีดัชนีความเคลื่อนไหวของน้ำ (re-number) ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ = 170,000-200,000 และช่วงปกติ 50,000-70,000

3.3.2 ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม

ระบบยูเอเอสบี จะมีประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

1. ปริมาณอาหารเสริมที่จำเป็นต้องมีอย่างพอเพียงสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังเช่น ระบบหมักอื่น ๆ คือ COD : N : P = 100 : 1 : 0.2
2. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดมี 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ mesophilic อุณหภูมิ 20 - 30 ^{o}C และระยะ thermophilic อุณหภูมิที่ 55 ^{o}C (Wiegant และ Lettinga. 1985) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและมีช่วงกว้างย่อมมีผลต่อลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์
3. pH ของน้ำเสียต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 6.5-7.8 (Hulshoft และคณะ, 1983)
4. ชนิดของน้ำเสีย โดยเฉพาะองค์ประกอบที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้แก่ สารประกอบทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ สารประกอบที่เป็นตัวยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น เมื่อมีแอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่า 1000 มก/ลิตร (สมศักดิ์ ศรีวะโลสกุล, 1991)

3.3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed sludge)

สามารถสรุป ได้ดังนี้ (สมศักดิ์ ศรีวะโลสกุล, 1991)

1. ควรมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์สูง
2. มีอัตราการจมตัวสูง
3. ควรมีอนุภาคเฉื่อยธรรมชาติที่เกิดจากการแตกหัก ในตะกอนจุลินทรีย์

3.3.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นเดินระบบ (สมศักดิ์ ศรีวะโลสกุล, 1991)

1. ขั้นตอนในการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ ถ้าไม่เหมาะสม อาจเกิดสภาพ overload ซึ่งจะเกิดการสูญเสียตะกอนแขวนลอยออกจากระบบมาก ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ อัตราป้อนสารอินทรีย์เหมาะสม

อยู่ในช่วง 2-5 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส-วัน (Hul shoff และคณะ, 1983) และควรเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ เมื่อย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้มากกว่า 80% (Lettinga และ คณะ 1984)

2. ระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ที่ยาวนาน จะเป็นการแสดงถึงความสามารถในการตกตะกอน ความเข้มข้น และชนิดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ดี ซึ่งระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ จะเป็นดัชนีที่ดีที่สุดในการควบคุมการเดินระบบกำจัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะเป็นการป้องกันความล้มเหลว ที่เกิดจากการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบ จึงต้องให้มีระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ ยาวนานกว่าระยะเวลาที่จุลินทรีย์ ใช้ในการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น 1 เท่าตัว

3. ระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียมีความสัมพันธ์กับขนาดของถังหมัก และอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ยังมีผลต่อระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี แต่ถ้าหากตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ มีความสามารถในการตกตะกอนสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จะขึ้นกับระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียในระบบ

4. การกวนผสมและอัตราการไหลของน้ำเสีย จะมีผลต่อการสัมผัสกันของอาหาร กับตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี การกวนผสมจะขึ้นกับอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพของระบบที่ส่วนล่างของถังหมัก ทำให้สามารถแบ่งพื้นที่ของถังหมักตามการกวนผสมได้เป็น 3 ส่วน คือ ชั้นตะกอนล่าง ชั้นตะกอนลอย และ ชั้นsettler ในชั้นตะกอนล่างจะมีการกวนผสม 2 อย่าง คือ แบบที่กระแสน้ำผ่าน และ ในชั้น settler จะมีการไหลแบบราบเรียบไปทางเดียว (plug flow)

5. ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นต้องเหมาะสมอยู่ในช่วง10-15 กก.วีเอสเอส/ม^3 ถังหมัก (Lettinga และ คณะ 1984)

3.4 การออกแบบระบบยูเอเอสบี (Design of UASB Plant)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบ anaerobic digestion ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นใหม่ ดังนั้นข้อมูลในการออกแบบของระบบนี้ในขั้น full scale จึงมีอยู่น้อยมาก ส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้น pilot scale ประเภทของน้ำเสียที่นำมาทดลองบำบัดด้วยระบบยูเอเอสบี มีลักษณะแตกต่างกันไป ยังหาข้อสรุปที่แน่นอนไม่ได้ สำหรับประเทศเนเธอร์แลนด์ปัจจุบันได้มีการนำระบบยูเอเอสบีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในขั้น full scale แล้ว ขนาดของถังปฏิกริยามีตั้งแต่ 100 - 5,000 m^3 น้ำเสียที่นำมาบำบัดด้วยระบบยูเอเอสบี มีหลายประเภท เช่น potato starch waste, brewery waste, sugar beet root waste ในอนาคตคาดว่าคงจะมีข้อมูลในการออกแบบระบบยูเอเอสบี มากขึ้น (G.Lettiga, 1983) อย่างไรก็ตามการออกแบบ UASB reactor ควรยึดถือข้อกำหนดที่สำคัญดังนี้

3.4.1 ระบบพ่นกระจายน้ำเสีย (feed inlet distribution system)

สำหรับการออกแบบให้ระบบยูเอเอสบี สามารถรับปริมาณน้ำเสียเข้าบำบัดได้ในปริมาณสูง (high load) ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่างหัวพ่นฉีด (feed inlet nozzles) ที่ติดตั้งอยู่บริเวณก้นถังปฏิกริยา กับพื้นที่ผิวบริเวณก้นถังปฏิกริยา โดยในช่วงของการทำ first start up (organic loading rate < 1-2 kg.COD/m^3d) กำหนดให้ใช้ 1 หัวฉีด ต่อพื้นที่ 5-10 ตารางเมตร (one feed inlet point per 5- 10 m^2) ซึ่งยังมีข้อปลีกย่อยต่างกันออกไปอีกในกรณีที่ชนิดของ seed sludge ที่นำมาใช้ในการ start up เป็น sludge แบบต่าง ๆ กัน ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Rough guidelines for the number of feed inlet nozzles required in a UASB reactor

Type of Sludge	Area (m^2) per nozzles
1. Dense flocculant sludge (exceeding 40 kg.TS./m^3)	One at loads less than 1-2 kg.COD/m^3d
2. Thin flocculant sludge (less than 40 kg.TS./m^3)	Five at loads exceeding approx. 3 kg.COD/m^3d
3. Thick granular sludge	One at loads approx. 1-2 kg.COD/m^3d

3.4.2 อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อพื้นที่ของถังหมัก (the height - area ratio of reactor)

สำหรับ ระบบยูเอเอสบีนั้น height - area ratio นับว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ถูกนำมาพิจารณาเป็นข้อมูล ในการออกแบบ เพื่อกำหนดความเร็วของน้ำเสียในถังหมัก (surface loading) ให้มีค่าความเร็วที่เหมาะสม ก่อนที่จะกำหนด height - area ratio ของ reactor ได้นั้น จะต้องรู้ปริมาณน้ำเสียที่ต้องการนำเข้าระบบบำบัด (amount of wastewater) และอัตราการเติมน้ำเสียเข้าระบบบำบัด(organic loading rate) เสียก่อน ค่า surface load ที่แนะนำให้ใช้คือ 1-1.5 เมตร/ชั่วโมง สำหรับการ start up ระบบยูเอเอสบีด้วย seed sludge ที่เป็น flocculant sludge

3.4.3 อุปกรณ์แยกตะกอนแบคทีเรีย แก๊สชีวภาพ และน้ำทิ้ง ที่ออกจากระบบ (effluent) ได้แก่ Gas Solid Separator (GSS)

เนื่องจากระบบยูเอเอสบีไม่มี settling tank เพื่อ return sludge จึงจำเป็นต้องมี GSS ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งของ UASB reactor ลักษณะการทำงานเป็น three-phase separator สำหรับข้อกำหนดในหลักการที่สำคัญของการออกแบบยูเอเอสบี คือ ต้องมีประสิทธิภาพในการแยกแก๊สชีวภาพออกจากตะกอนแบคทีเรียได้ดีที่สุด โดยการออกแบบติดตั้ง baffle plates ที่ด้านใต้ช่องว่างระหว่างส่วนของgas collector อย่างถูกต้อง นอกจากนั้น ค่าความลาดเอียง (slope) ของผนังในส่วนของ settler ควรมี slope 50^{0} เพื่อแยก sludge ออกจากแก๊สชีวภาพและตกลงสู่ก้นถัง reactor ได้ง่ายขึ้น ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เช่น separator เพิ่มเติมเข้าไปใน settler นั้นสามารถทำได้ แต่สำหรับกรณีที่น้ำเสียที่นำเข้าบำบัดมีปริมาณไขมันสูงเกินไปจำเป็นต้องติดตั้ง skimmer เพื่อช่วยกวาดเอาไขมันออก

3.5 ข้อกำหนด และวิธีการ start up UASB reactor (start up regime and method of UASB reactor)

ข้อกำหนดที่มีความสำคัญที่สุดในการทำ first start up UASB reactor คือ จำเป็นต้องเพาะเลี้ยง granular sludge ขึ้นมาให้ได้เสียก่อน (de Zeeuw 1982,

Hulshoff Pol Wevers and Lettinga 1983, de Zeeuw and Lettinga 1983, Hulshoff Pol และคณะ 1983, 1984) ส่วนรายละเอียดของข้อกำหนดและวิธีการมีดังนี้

3.5.1 ปริมาณของ seed sludge ที่ใช้ในการ start up (amount of seed sludge) ต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของ UASB reactor สำหรับ seed sludge ที่เป็นพวก thick type (>40 kg.TS/m^3) ค่าที่เหมาะสม คือ 12-15 กก.วีเอสเอส/$ม^3$.ถังหมัก สำหรับช่วงอุณหภูมิของ mesophilic แต่โดยทั่วไปแล้ว seed sludge ที่ใช้เท่ากับ 10-15 กก.วีเอสเอส/$ม^3$ถังหมัก

3.5.2 ค่าของ sludge load ขณะเริ่ม start up (initial sludge load) ควรเลือก seed sludge ที่มี methanogenic activity ต่ำ มาใช้ในการ start up เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการ wash out of seed sludge ที่มีความคุ้นเคยกับชนิดของน้ำเสียที่นำมาบำบัดด้วย UASB reactor แล้ว ค่า sludge load ที่เหมาะสม คือ 0.05 - 0.1 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส/วัน โดยทั่วไปแล้วจะเริ่มต้นที่ 0.05 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส/วัน

3.5.3 การเพิ่มค่า sludge load (increasing of sludge load)ในการพิจารณาเพิ่มค่า sludge load ในแต่ละช่วงของ loading rate ให้ถือหลักเกณฑ์ดังนี้ คือ จะต้องมีการย่อยสลาย VFA ได้ตั้งแต่ 80 % ขึ้นไป ซึ่งจะอยู่ในช่วง steady stage ของแต่ละ load จึงจะพิจารณาเพิ่มได้

3.5.4 การ wash out ตะกอนแบคทีเรียที่มีน้ำหนักเบาออกจากUASB reactor (the wash out of poorly settling sludge) ในช่วงเริ่มต้นของการ start up UASB reactor จะพบว่ามีตะกอนแบคทีเรียลอยออกมากับ effluent เป็นจำนวนมาก ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากตะกอนแบคทีเรียที่ลอยออกมานี้เป็นตะกอนที่มีน้ำหนักเบา (floc) มี settling velocity ต่ำ ตะกอนพวกนี้จะถูก wash out ออกไปตลอดเวลา จนเหลือแต่ตะกอนแบคทีเรียที่มี settling velocity สูงซึ่งจะพัฒนาไปเป็น granular bacteria ต่อไปเป็นการเลือก seed sludge ของ UASB reactor

3.5.5 พยายามรักษาตะกอนแบคทีเรียที่มี settling property ที่ดีเอาไว้ให้มากที่สุด (retain the heavy part of the sludge) เนื่องจากตะกอนแบคทีเรียพวกที่มี settling velocity สูง (heavier sludge) เป็นพวกที่มีความสำคัญในการทำ

first start up UASB reactor ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาตะกอนแบคทีเรียส่วนนี้เอาไว้ให้มากที่สุดโดยวิธีการกำหนดค่า sludge loadให้ต่ำ (0.05 กก.ซีโอดี/กก.วีเอสเอส/วัน) ในช่วงเริ่มต้นการ strat up ดังได้กล่าวแล้วในข้อ 3.5.2

3.5.6 <u>ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่นำมาบำบัด</u> (waste strength) เพื่อให้ granulation process เกิดได้ง่ายและรวดเร็ว ความเข้มข้นของสารอินทรีย์คิดในเทอมของซีโอดี ควรมีความเข้มข้นต่ำ หรือ ปานกลาง (low or medium waste strength) โดยทั่วไปแล้ว เมื่อคิดในเทอมของซีโอดีสูง จำเป็นต้องนำมาเจือจาง (dilution) ก่อน นอกจากนี้ยังต้องหาวิธีการ recycle effluent กลับมา dilution feed อีกด้วย เพื่อให้ได้ waste strength ตามข้อกำหนดดังกล่าว

3.5.7 <u>สภาวะแวดล้อมของ UASB reactor</u> (environmental factor) สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ UASB reactor เช่น อุณหภูมิ , pH , alkalinity และ อื่น ๆ คงเป็นไปตามข้อกำหนดของสภาวะแวดล้อม ที่เหมาะสมสำหรับระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (anaerobic digestion) ตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว

3.6 ช่วงระยะเวลาของการ start up (the period of first start up UASB reactor)

ช่วงระยะเวลาในการทำ first start up เมื่อแบ่งตาม stage ต่าง ๆ ของ characteristic pattern of granulation process จะมีทั้งหมด 3 stages ดังนี้

3.6.1 <u>the stage of wash out (stage I)</u>

ในช่วงแรกของการทำ first start up นี้ เริ่มจากการ load sludge ลงสู่ถัง reactor แล้วสูบน้ำการสำเข้าสู่ระบบบำบัดที่ loading rate ต่าง ๆ กันจนถึง loading rate 5 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน ในช่วงนี้จะมีการลอยตัวออกของแบคทีเรียที่เบาและมีขนาดเล็กตลอดเวลา

3.6.2 <u>the stage of appearance of granules</u> (stage II)

ในช่วงนี้ loading rate เพิ่มขึ้นเกิน 5 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน เริ่มพบ granular bacteria ใน reactor บ้างแล้วแต่ยังไม่มากและขนาดของ granule ยังเล็ก (1-2 มม.) ตะกอนแบคทีเรียที่มีน้ำหนักเบา (flocculant sludge) ถูก wash out ออกมามากขึ้น

3.6.3 the stage of progressive formation of granules (stage III)

ในช่วงนี้จะเกิดการสร้าง granular sludge เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในชั้นของ sludge bed จะเต็มไปด้วย granular sludge ค่า organic loading rate ถูกเพิ่มขึ้นเป็น 15 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน หรือสูงกว่านี้ เมื่อถึงขั้นนี้ระบบสามารถรับปริมาณน้ำกากส่าได้ตาม design load โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาแต่ประการใด

สำหรับระยะเวลาในแต่ละ period และระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำ first start up จะเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการ operate UASB reactor ให้เป็นไปตามข้อกำหนด และ วิธีการ start up ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว นอกจากนี้ characteristic of waste ก็มีความสำคัญเช่นกัน กล่าวคือ พวก waste ที่มี toxic substance และ protein เจือปนอยู่ในปริมาณสูง จะก่อให้เกิดปัญหาในการ operate ทำให้ต้องใช้ระยะเวลายาวนานขึ้นกว่าปกติในการทำ first start up

3.7 ปัญหาระบบยูเอเอสบี

1. ระยะเวลา เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีการเจริญเติบโตช้ามาก ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ จึงต้องใช้เวลามาก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเช่น สารยับยั้งต่างๆ

2. ความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ (methanogenic activity) การเลือกตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นมีความสำคัญ ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถต่ำ(inactive sludge) เป็นพวกที่ไม่เหมาะสม เพราะจะทำให้ปัญหาการสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบลดน้อยลง

3. ธรรมชาติของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น โดยทฤษฎีแล้ว ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเกาะอยู่บนตัวกลาง สามารถที่จะนำมาใช้กับระบบยูเอเอสบี ได้ เช่น มูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตะกอนโคลนตมน้ำจืด ตะกอนจากบ่อ septic tank ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการหมักแล้ว และ ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากค่าของ ขี้เถ้า (ash) ความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ และความสามารถในการตกตะกอน

4. ระยะ lag phase เมื่อใช้ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ยังไม่คุ้นเคยกับน้ำเสีย จะเกิดระยะ lag phase ซึ่งระยะนี้จะสั้นหรือยาว จะขึ้นกับปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความ active การกวนผสม และความเข้มข้นของน้ำเสียในระยะเริ่มต้น

5. การเพิ่มจุลินทรีย์ (growth yield) ปริมาณการเพิ่มขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์จะมีผลต่อความยาวนานของระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ แต่การเพิ่มปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ จะขึ้นกับธรรมชาติของอาหารและปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม ดังนั้น ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม และอาหาร จึงเป็นปัญหาหนึ่งในการเดินระบบ

6. การสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ และ ระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ยูเอเอสบี จะขึ้นกับความเร็วของน้ำเสีย และอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งทำให้เกิดการแพร่กระจายและสูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ออกจากระบบนี้ เป็นการทำให้เกิดการคัดเลือกตัวของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งนำไปสู่การเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด

3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบหมักยูเอเอสบี

Lettinga และ คณะ (1980) ได้สรุปว่าระบบยูเอเอสบี เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความสกปรกต่ำ ซึ่งระยะเวลาเก็บกักในถังหมัก จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ การทดลองโดยใช้น้ำเสีย sugar - beet และน้ำเสียจากขบวนการผลิตแป้งมันฝรั่ง พบว่าสามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงถึง 25 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน และตะกอนจุลินทรีย์มีการพัฒนาตัวในน้ำเสียได้ดี มีลักษณะการตกตะกอนที่ดี และมีประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สมีเทนสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การอัดตัวของตะกอนที่ดี ความสูงของชั้นตะกอนล่าง ความเข้มข้นของตะกอน เป็นต้น การพยายามรักษาตะกอนจุลินทรีย์ไม่ให้มีการล้างออก (wash out) โดยทำให้มีการไหลแบบราบในส่วนดักตะกอน (settler) และมีการกวนที่สมบูรณ์ นอกจากนั้น ระบบยังมีความต้องการแยกถังหมักออกเป็นถังหมักกรด และถังหมักแก๊สมีเทนเมื่อส่วนประกอบของน้ำเสียนั้น ไม่ได้ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และจากการทดลองพบว่าระบบนี้เหมาะสำหรับขบวนการ denitrification ในถังหมักที่สร้างกรด

Hack (1985) ได้รายงานผลทดลองการบำบัดน้ำเสียขั้นแรกของโรงงานเบียร์ ในขั้นโรงงานต้นแบบ ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบไหลขึ้น พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดจะลดค่าซีโอดีได้สูง แต่ถ้ามีการขยายตัวของชั้นตะกอนล่าง จะเกิดการลอยตัวของตะกอน และ สูญเสียออกจากระบบ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จะน้อยลง

Sanchez และคณะ (1985) ได้ศึกษาความเหมาะสมของหลักการกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบไหลขึ้น (UASB) ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากการกลั่นผลผลิตจากการหมักน้ำตาล (mollasses) ในประเทศอาร์เจนตินา ในถังหมักขนาด 100ลิตร โดยรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้น ซีโอดี (COD) 35,000 - 100,000 มก/ล. พบว่า สามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงถึง 24 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน เฉลี่ยแล้วสามารถลดค่า ซีโอดี (COD)ได้ 75 % และได้แก๊สชีวภาพสูงถึง 9 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลิตร-วัน โดยมีแก๊สมีเทนเฉลี่ย 58 % โดยความเร็วของการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ จะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของตะกอนชีวภาพและยังพบว่าตะกอนที่ไม่ได้รับอาหารนาน 1 เดือน ก็ยังสามารถปรับตัวมีประสิทธิภาพสูงเช่นเดิมได้

Hulshoff Pol และคณะ (1983) ได้ศึกษาขบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการ และได้รายงานว่า ในการศึกษาขบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจาก เป็นขบวนการทางพลศาสตร์ แต่ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2 - 5 กก.ซีโอดี/ม^3.วัน ของตะกอนจุลินทรีย์ จะเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด และเมื่อมีการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดในถังหมักเล็กน้อย จะมีผลให้ methanogenic activity เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดที่เพิ่มให้ จะเป็นตัวนำในการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ด และพบว่า แคลเซียมที่ความเข้มข้น 150 มก./ล จะทำให้การตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดดีขึ้น ที่สำคัญเขาได้กล่าวว่า จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่าน้ำเสียที่ได้จากการกลั่นสุรา (distillery waste), rendening waste และ corn-starch waste เมื่อใช้เดินระบบยูเอเอสบี สุดท้ายจะเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดได้

Herrtjes และ Vander Meer (1978) ได้รายงานว่า ถ้าเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังหมักสั้น เป็นไปได้ที่มีผลทำให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจน มีค่าต่ำจนไม่เพียงพอที่ทดแทนตะกอนจุลินทรีย์ที่ล้างออก จากการทดลองพบว่า ชั้นตะกอนล่าง (sludge bed) มีลักษณะการกวนผสมอยู่ 2 อย่าง คือ ผ่านไป (by passing) และกระแสน้ำไหลย้อน แต่ในส่วนของชั้นตะกอนเบา (sludge blanket) มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ ขณะเดียวกันใน settler จะมีการไหลแบบราบ และได้สรุปว่า ถ้าชั้นตะกอนล่างสูงเพิ่มขึ้นจาก 1.2 เมตร ไปเป็น 2.2 เมตร จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่จะมีการทะลุผ่านเพิ่มขึ้น

Bolle และคณะ (1986) ได้ตรวจสอบลักษณะการไหลของน้ำเสียในถังหมักโดยใช้ลิเธียมที่เป็นไอโซโทปเป็นตัวนำ พบว่า ชั้นตะกอนล่าง (sludge bed) และชั้นตะกอนลอย (sludge blanket) มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ ในบริเวณของ settler จะมีการไหลแบบราบ (plug flow) การเกิดลัดวงจร (short circuit) เหนือชั้นตะกอนล่างขึ้นกับความสูงของชั้นตะกอนล่าง

Wiegant และ Deman (1985) ได้รายงานว่าการเพิ่มอัตรารับสารอินทรีย์แต่ละครั้งเป็นสาเหตุทำให้ความเร็วของน้ำเร็วขึ้น อัตราการเกิดแก๊สเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลทำให้เกิดความปั่นป่วนในถังหมัก ทำให้อนุภาคเล็ก ๆ หลุดออกไปจากถังหมัก ทำให้มวลชีวภาพที่เกิดขึ้นใหม่จะเกิดจากอนุภาคที่ยังคงอยู่ในถังหมัก

Vanderr Meer และ de Vlettler (1982) ได้สรุปว่า settler สามารถช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Botte และคณะ (1989) ซึ่งได้อธิบายถึงส่วน settler ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 99% เป็นผลให้ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ

Souza (1986) ได้รายงานว่าน้ำเสียที่มีค่า pH ต่ำมีความเหมาะสมในระบบบำบัดโดยยูเอเอสบี (UASB) เนื่องจากระบบนี้จะมีค่า buffer ที่สูงมาก

Schulze และคณะ (1988) ได้รายงานถึงความสำเร็จในการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะเม็ดของระบบยูเอเอสบี ที่มี gelatine เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียและเป็นแหล่งของคาร์บอนแต่ในสภาพของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ NH^{+}_{4} สูงจะได้ตะกอนจุลินทรีย์ขนาดเล็กและมีความหนาแน่นต่ำ

Wu Wei-min และคณะ ได้วิจัยเกี่ยวกับรูปแบบการเกิด granular sludge ว่าแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

- ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนที่ ระบบมีอัตราป้อนสารอินทรีย์ถึง 5 กก./ม^3.วัน ขั้นตอนนี้ ยังไม่มีการก่อตัวเป็น granule
- ขั้นตอนที่สอง ตะกอนเริ่มมีการก่อรูป (floc-form) ในขั้นนี้จะเกิดปรากฏการณ์สูญเสียตะกอน (wash-out) มาก และจำนวนตะกอนแบคทีเรียในระบบจะลดลงมาก
- ขั้นตอนที่สาม ตะกอนเริ่มก่อต่อเป็นเม็ด (granules formation) ในขั้นตอนนี้ จุลินทรีย์จะก่อตัวอย่างรวดเร็ว และระบบสามารถรับอัตราป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น มากกว่า 16 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน

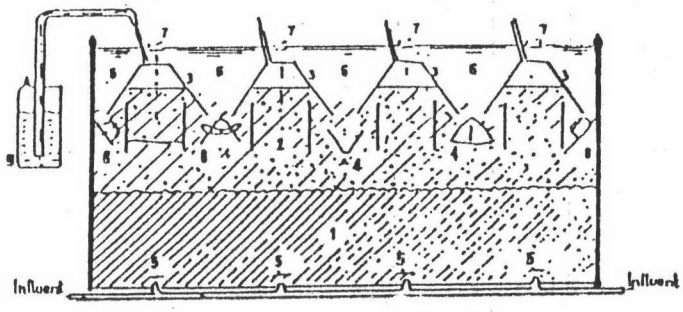
จากงานวิจัยพบว่า เม็ดตะกอน (granular sludge) มีขนาดตั้งแต่ 0.1 - 5 มิลลิเมตร และมีค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ประมาณ 1.05 และหลังจากการก่อตัวเป็นตะกอนเม็ด พบว่าค่า HRT จะลดลง รวมถึงปรากฏการณ์สูญเสียตะกอน (wash out) ก็จะลดลงด้วย Lettinga และ Hulshoff (1983) กล่าวถึงการป้องกันปัญหาการ wash out ของตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบ อันมีสาเหตุหลักมาจาก จำนวนของจุดป้อนสารอาหาร (feed-inlet point requirement) ความเหมาะสมของตัวแยกตะกอน (settler)และได้ให้วิธีการในการออกแบบเพื่อแก้ปัญหา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 แสดงแนวทางในการกำหนดปริมาณ จุดป้อนสารอินทรีย์ (feed-inlet point) สำหรับตัวปฏิกริยายูเอเอสบี

type of sludge present	area per feed inlet point (m^2)
Dense flocculent sludge (> 40 kg TSS/m^3)	0.5-1 at loads < 1 kgCOD/m^3.day 1-2 at loads 1-2 kgCOD/m^3.day 2-3 at loads > 2 kgCOD/m^3.day
Medium thick flocculent sludge (20-40 kg TSS/m^3)	1-2 at loads < 1-2 kgCOD/m^3.day 2-5 at loads > 3 kgCOD/m^3.day
Granular sludge	0.5-1 at loads up to 2 kgCOD/m^3.day 0.5-2 at loads 2-4 kgCOD/m^3.day > 2 at loads > 4 kgCOD/m^3.day

ตารางที่ 3.3 แสดงแนวทางในการออกแบบตัวแยกตะกอน (settler) สำหรับถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี

1. The slope of the settler bottom (i.e. inclined wall of the gascollector) should be between 45-60.
2. The surface area of the apertures between the gascollectors should be 15-20 % of the reactor surface area.
3. The height of the gascollector should be between 1.5-2m at reactor heights of 5-7 m.
4. A liquid gas interface should be maintained in the gascollector in orded to facilitate the release and collection of gas bubbles and to combat scumlayer formation.
5. The overlap of the baffles installed beneath the apertures should be 10-20 cm in order to avoid upward flowing gas bubbles and to enter the settler compartment.
6. Generally scumlayer baffles shold be installed in front of the effluent weers.
7. The diameter of the gas exhaust pipes should be sufficient to guarantee the easy removal of the biogas from the gas collection cap, particularly also in the case of foaming.
8. In the upper part of the gas-cap anti-foam spray-nozzles should be installed in the case the treatment of the wastewater is accompanied with heavy foaming.



รูปที่ 3.1 รูปแบบของระบบยูเอเอสบีที่ใช้งานจริง

1.	sludge bed	=	ชั้นตะกอนล่าง
2.	sludge blanket	=	ชั้นตะกอนลอย
3.	gas bowl	=	ที่เก็บแก๊ส
4.	gas seal	=	ส่วนที่ป้องกันแก๊สรั่วออกไป
5.	feed inlet distribution	=	หัวฉีดพ่นน้ำเสีย
6.	settler	=	ส่วนที่น้ำไหลนิ่ง
7.	effulent launder	=	ส่วนที่ไหลออก
8.	gas collector	=	ส่วนที่แยกแก๊สหรือที่วัดแก๊ส
9.	water seal	=	ส่วนของน้ำที่ป้องกันแก๊สรั่ว

ที่มา : Letting และคณะ (1980)